

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ARQUITETURA

Roberto Lamberts
Luciano Dutra
Fernando O. R. Pereira

Ilustrações: Luciano Dutra



ELETROBRAS

Av. Presidente Vargas, 409 / 13º andar – Centro

20071-003 – Rio de Janeiro – RJ

Caixa Postal: 1639 Tel: (21) 2514-5151

www.eletrobras.com.br eletrobr@eletrobras.com

PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

Av. Rio Branco, 53 / 13º andar – Centro

20090-004 – Rio de Janeiro – RJ

www.eletrobras.com/procel procel@eletrobras.com

PROCEL EDIFICA Eficiência Energética em Edificações

Av. Rio Branco, 53 / 15º andar – Centro

20090-004 – Rio de Janeiro – RJ

Fax: (21) 2514-5767

www.eletrobras.com/procel pfpr@eletrobras.com

ELETROBRAS PROCEL

Presidente da ELETROBRAS

José da Costa Carvalho Neto

Superintendente de Eficiência Energética da ELETROBRAS

Renata Leite Falcão

Chefe do Departamento de Projetos de Eficiência Energética

Fernando Pinto Dias Perrone

Chefe da Divisão de Eficiência Energética no Setor Privado

Marco Aurélio Ribeiro Gonçalves Moreira

EQUIPE TÉCNICA

ELETROBRAS
PROCEL

Equipe do PROCEL Edifica

Edison Alves Portela Júnior

Elisete Alvarenga da Cunha

Estefânia Neiva de Mello

João Queiroz Krause

Lucas Mortimer Macedo

Luciana Dias Lago Machado

Maria Teresa Marques da Silveira

Colaboradores

Clóvis José da Silva

Frederico Guilherme Cardoso Souto Maior de Castro

Solange Nogueira Puente Santos

Vanda Alves dos Santos

Revisão Gráfica

Kelli Cristine Vidal Mondaini

Autores

Roberto Lamberts

Luciano Dutra

Fernando O. R. Pereira

Ilustração

Luciano Dutra

currículo resumido dos autores

Roberto Lamberts: Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Engenheiro Civil (1980), Mestre em Engenharia Civil (1983) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e PhD pelo Department of Civil Engineering da University of Leeds (Inglaterra) em 1988. Supervisor do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Atua nos cursos de pós-graduação Engenharia Civil (Mestrado e Doutorado) e Arquitetura e Urbanismo (Mestrado e Doutorado) e da UFSC. Coeditor do periódico Ambiente Construído, membro do comitê editorial dos periódicos Advances in Building Energy Research e do Journal of Building Performance Simulation. Membro das associações científicas ANTAC, Associação de Tecnologia do Ambiente Construído (onde foi da diretoria por vários mandatos) e IBPSA, associação internacional para a simulação do desempenho de edificações e membro do GT e ST de edificações do MME apoiando o desenvolvimento da etiquetagem de eficiência energética em edificações. Desenvolve pesquisas na área de Engenharia Civil, com ênfase em Eficiência Energética, desempenho térmico de edificações, bioclimatologia e conforto térmico. (<http://lattes.cnpq.br/0755959610406012>)

Luciano Dutra: Arquiteto e Urbanista pela Universidade Federal de Santa Catarina em 1991, mestre em Conforto Ambiental pela mesma instituição em 1994 e PhD pela Architectural Association School - AA School (Londres - Inglaterra) em 2010. Atualmente é professor do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL). É coordenador do curso de Especialização em Arquitetura Sustentável e Bioclimática, ministrando disciplinas neste curso e também no curso de Especialização em Engenharia e Segurança do Trabalho, ambos da UNISUL. É integrante da equipe do Projeto REGSA (Promoting Renewable Electricity Generation in South America), um convênio internacional entre a UNISUL e três outras universidades. Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em Arquitetura Bioclimática e Sustentável, atuando principalmente nos seguintes temas: projeto de arquitetura, ensino de arquitetura, arquitetura bioclimática, eficiência energética e conforto ambiental. (<http://lattes.cnpq.br/4612184525520681>)

Fernando Oscar Ruttkay Pereira: Professor Titular do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina. Eng. Civil (1979), Mestre em Eng. Civil (1984) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e PhD pela School of Architectural Studies, University of Sheffield (Inglaterra) em 1992. Supervisor do Laboratório de Conforto Ambiental desde a sua criação em 1987. Atua nos cursos de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (Mestrado e Doutorado) e Engenharia Civil (Mestrado e Doutorado) da UFSC. Diretor (gestão 2002 - 2008) do PLEA - Passive and Low Energy Architecture International Association, Membro da IESNA - Illuminating Engineering Society of North America, membro do Comitê de Iluminação Natural da IESNA e do CIE - Commission Internationale de L'Éclairage - seção Brasil, Divisão 3 e é Editor Regional - América do Sul, do International Journal Management of Environmental Quality. Desenvolve pesquisas nas áreas "Insolação e Iluminação no Ambiente Urbano, Sistemas Inovativos de Iluminação Natural, Simulação da Iluminação e Eficiência Energética no Ambiente Construído e Ensino de Conforto Ambiental e Eficiência Energética. (<http://lattes.cnpq.br/2498471958439979>)

prefácio

A primeira edição do livro Eficiência Energética na Arquitetura foi elaborada pelos professores Roberto Lamberts, Luciano Dutra e Fernando O. R. Pereira, em Convênio com o Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica no ano de 1997, sendo desde então referência sobre Arquitetura Bioclimática, em todo o País. Em 2004, uma segunda edição foi lançada e, passados mais de 15 anos, a Eletrobras, empresa do setor elétrico brasileiro que administra há quase três décadas o Procel, orgulha-se em apresentar à sociedade esta nova versão.

A 3ª edição, além de uma extensa revisão e atualização de conteúdo, conta com uma considerável ampliação, tratando de maneira mais específica conceitos e questionamentos relacionados à Eficiência Energética e à Sustentabilidade, como iluminação e ventilação naturais. Concomitantemente, propõe uma abordagem sistêmica listando estratégias e descrevendo os processos para a elaboração de Projetos de Arquitetura Bioclimática. Permanece, porém, a essência de levar à comunidade acadêmica, de um modo bastante didático, uma publicação de qualidade e com conceitos atuais de arquitetura energeticamente eficiente, sustentabilidade e conforto ambiental.

A importância deste livro torna-se ainda mais evidente no presente cenário em que a Eletrobras Procel, em parceria com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro, implementaram o Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações (PBE Edifica). Desde 2009, existem critérios técnicos nacionais para a avaliação de edifícios residenciais, comerciais, públicos e de serviços quanto ao nível de Eficiência Energética, e para a emissão da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. O objetivo é, mediante uma ferramenta orientativa, criar um mercado mais exigente e consciente quanto ao uso da energia elétrica nas edificações, sem, contudo, privar seus usuários de suas funcionalidades e conforto. Nesse contexto, esta publicação é de suma importância por contribuir para a formação acadêmica de futuros profissionais cada vez mais engajados com as novas soluções para os setores de Arquitetura e Construção Civil no Brasil.

A Eletrobras, como empresa consciente da importância das energias limpas para o Brasil, rejubila-se em presentear a sociedade brasileira com esta publicação que visa a um modo de pensar e de construir edificações confortáveis, energeticamente eficientes e com respeito ao meio ambiente.

JOSÉ DA COSTA CARVALHO NETO
Presidente da Eletrobras

apresentação

Nos últimos nove anos, desde a publicação da segunda edição do livro “Eficiência Energética na Arquitetura” em 2004, muita coisa surgiu em termos de eficiência energética, incluindo algumas publicações brasileiras. Estas iniciativas vêm suprir, numa primeira instância, as antigas carências em publicações nesta área no país. Além disso, refletem sobre nossa arquitetura e sobre os problemas e dificuldades enfrentadas pelos profissionais da área.

Na sua terceira edição e com conteúdo completamente revisado e atualizado, o livro “Eficiência Energética na Arquitetura” retorna com novos conceitos. Busca agora trazer, não somente uma atualização, mas também novos questionamentos referentes à arquitetura sustentável e sua relação com a eficiência energética e a arquitetura bioclimática.

O objetivo principal do livro continua o mesmo, introduzir os principais conceitos relativos ao manejo e controle do consumo de energia em edificações, tendo como critério central de projeto o conforto de seus usuários.

Um dos pressupostos é de que os conceitos físicos básicos precisam ser bem entendidos e assimilados quando se busca aplicar e implementar o controle ambiental de modo inteligente. Para isso, o livro baseia-se intensamente em esquemas, diagramas conceituais e analogias para guiar o leitor ao entendimento intuitivo sobre como o aquecimento, resfriamento e iluminação afetam as pessoas, o projeto das edificações e a energia utilizada pelos principais sistemas mecânicos e elétricos.

O livro traz capítulos novos como “geometria solar”, “iluminação natural” e “ventilação natural”, todos essencialmente práticos, mas cujos conteúdos são mais aprofundados que na edição anterior. Nestes capítulos, o leitor acessará conhecimentos essenciais ao bom projeto bioclimático e à eficiência energética.

O último capítulo do livro presta atenção ao aspecto mais importante no tema, o “projeto de arquitetura bioclimática”, onde o leitor irá trilhar pelos principais conceitos de projeto arquitetônico e verá como as variáveis discutidas no livro interagem ao longo do processo de projeto.

Esta terceira edição é completamente revisada e ampliada em relação à edição anterior, publicada em 2004. Traz 366 páginas e tem, ao todo, 334 ilustrações, das quais 137 são novas. Estas ilustrações seguem o mesmo padrão das edições anteriores (são coloridas e, na sua maioria, feitas completamente à mão) e buscam tornar claro e atraente um tema que, apesar de importante, nem sempre é facilmente digerido pelos estudantes das engenharias e da arquitetura e pelos próprios profissionais destas áreas. Espera-se, com isso, que o livro possa informar, conscientizar e preparar o arquiteto e demais profissionais da construção civil para enfrentar um novo desafio, projetar e construir edificações não somente adequadas às condicionantes ambientais do local e às necessidades de conforto do usuário, mas também com eficiência energética e a consequente sustentabilidade.

ROBERTO **LAMBERTS**, LUCIANO **DUTRA** e FERNANDO O. R. **PEREIRA**

sumário

Capítulo 1: Um Segundo Breve Histórico

O Conceito de Eficiência Energética	5
Da Arquitetura Vernacular aos Nossos Dias	8
A Crise de Petróleo	15
A Situação Atual.....	16
Consumo nos Setores Residencial, Comercial e Público.....	16
Normalização	20
O Conceito de Sustentabilidade	22
Bons Exemplos de Arquitetura Contemporânea	23
A Atuação de Cada Profissional	31
Estrutura do Livro.....	33
REFERÊNCIAS	34
Bibliografia também consultada	37

Capítulo 2: Conforto Ambiental

Conforto Térmico	43
Mecanismos Termorreguladores	44
Conceito de Conforto	46
Variáveis de Conforto Térmico	46
Índices de Conforto Térmico.....	49
Programas de Análise e Simulação de Conforto Térmico	51
Instrumentos de medição	53
Conforto Visual	57
Nível de Iluminação	57
Contraste	58
Ofuscamento	59
Escalar e Vetor Iluminação.....	62
REFERÊNCIAS	64

Capítulo 3: Arquitetura e Clima

Variáveis Climáticas	71
Radiação Solar	72
Luz Natural	76
Temperatura	77
Vento	79
Umidade	80
Climas do Mundo	81
Os Climas do Brasil	81
Microclima	83
A Bioclimatologia Aplicada à Arquitetura	83
Zona de Conforto	86
Zona de Ventilação Natural	87
Zona de Inércia Térmica Para Resfriamento	88
Zona de Resfriamento Evaporativo e Umidificação	88
Zona de Aquecimento Solar	89
Zonas de Condicionamento Artificial com Isolamento Térmico	90
Zona de Sombreamento	91
Interseções entre Estratégias	91
Métodos de Avaliação Bioclimática	92
Avaliação Bioclimática com Dados Climáticos Horários	92
Avaliação Bioclimática pelas Normais Climatológicas	93
Zoneamento Bioclimático Brasileiro	97
ZONA 1	98
ZONA 2	98
ZONA 3	98
ZONA 4	98
ZONA 5	98
ZONA 6	98
ZONA 7	98
ZONA 8	99
Programas de Análises Bioclimáticas	100
O Programa Analysis-Bio	100
“Painel Bioclimático”	101
REFERÊNCIAS	103

Capítulo 4: Geometria Solar

A Radiação Solar como Fonte de Calor	112
Trajectoria da Terra em Torno do Sol	114
Posição do Sol no Céu	116
Norte Geográfico versus Norte Magnético.....	116
Horário Local versus Horário Solar	117
A Carta Solar.....	119
Aplicações práticas da carta solar	124
O Transferidor de Ângulos	127
O ângulo α	127
O ângulo β	128
O ângulo γ	129
Análise de insolação e sombreamento de obstruções e aberturas.....	130
Análise de proteções solares	131
Proteção Solar horizontal	131
Proteção solar vertical	133
Projeto de proteções solares.....	135
Análise de sombreamento e projeto de proteções solares com aparatos de simulação em maquetes	140
Relógio Solar	140
Heliodons e Solarscópio	141
Análise de maquetes com heliodons e solarscópios	142
Simulação de sombreamento e acesso solar com auxílio de programas computacionais	143
Analysis-SOL-AR.....	143
Outros Aplicativos	144
Tabela de Brises.....	145
REFERÊNCIAS	145

Capítulo 5: Iluminação Natural

Fontes de Luz Natural	151
Avaliação da Iluminação Natural	152
Céu Artificial	154
Céu artificial do tipo Caixa de Espelhos	154
Céu artificial do tipo Hemisférico	154
Céu artificial do tipo Hemisférico com/sem domo translúcido.....	154
Céu artificial do tipo Hemisférico com domo opaco reflexivo.....	154

Medindo a Contribuição de Iluminação Natural com o céu artificial	154
Estratégias de Iluminação Natural	155
Pátios e Átrios	155
Prateleiras de Luz	156
Cores	157
Distribuição e posicionamento de Janelas	157
Orientação	158
Iluminação Zenital	158
Iluminação Artificial como Suplemento da Iluminação Natural	160
Sensor Fotoelétrico	160
Distribuição das Luminárias	160
Dimmer	161
Sensor de Presença	161
Programador de Tempo ou Minuteria	161
Iluminação de Tarefa	162
Programas de Análise de Iluminação	163
Radiance e Desktop Radiance	163
Ecotect Analysis 2011	164
Apolux	166
TropLux	166
Lux	167
Relux	167
DIALux	167
REFERÊNCIAS	168

Capítulo 6: Ventilação Natural

A rosa-dos-ventos	174
Correção da velocidade do vento	175
Coeficiente de pressão do vento (ΔCPL)	176
Área útil de ventilação	176
Fluxo de ar	177
Redução do fluxo de ar	178
Número de Trocas de Ar (N)	179
Influência da implantação e da orientação na ventilação natural	181
Barreiras de Vento	183
Ventilação Cruzada	185

Captadores de vento, peitoris ventilados, mansardas, lanternins e torres de ventilação	186
Elementos direcionadores e filtrantes da ventilação natural	187
Ventilação noturna	190
Ventilação em fachada dupla e periférica	190
Túneis de Vento e Mesa d'Água.....	191
Túnel de Vento com Serragem	191
Túnel de Vento com Fumaça	191
Mesa d'Água	191
REFERÊNCIAS	191

Capítulo 7: Propriedades Térmicas dos Elementos Construtivos

Fechamentos Opacos e Transparentes.....	197
Fechamentos Opacos.....	197
Fechamentos Transparentes	198
Absortividade, refletividade, transmissividade e emissividade	208
Condutividade térmica	210
Resistência térmica.....	210
Resistência Térmica Superficial	212
Resistência térmica de câmaras de ar	213
Transmitância térmica	215
Densidade de Fluxo de Calor	216
Temperatura SOL-AR	217
Fluxo de Calor	218
Capacidade térmica	220
Fator Solar	221
REFERÊNCIAS	225

Capítulo 8: Equipamentos e Sistemas Eficientes

Sistemas de Aquecimento de Água	231
Elétrico	231
A Gás	232
Solar	232
A Biomassa (lenha)	232
Sistemas de Iluminação Artificial	232
Lâmpadas	233
Incandescentes	234

Descarga Gasosa	235
Novos Tipos de Lâmpadas	238
Luminárias	241
Reatores	242
Controle da Iluminação	243
Climatização Artificial	243
Ventilação Mecânica	243
Aquecimento	245
Aquecimento a Biomassa	248
Aquecimento a Gás	249
Resfriamento	249
Ar Condicionado de Janela	249
Mini Centrais de Pequeno Porte ou Split	250
Multisplit	251
Self Contained	252
Chiller & Fan-Coil	253
REFERÊNCIAS	253

Capítulo 9: Projeto de Arquitetura Bioclimática

O Partido Bioclimático	261
Análise do Terreno	261
Análise do Clima Local	262
Análise dos Usuários e dos Horários de Uso	262
Programa de Necessidades	262
A Função	262
A Forma	263
Os Materiais Construtivos	267
O uso das Estratégias Bioclimáticas de Forma Integrada	268
A Expressividade Arquitetônica	268
Definição dos Elementos Bioclimáticos a serem Empregados	269
Ventilação	269
Resfriamento Evaporativo e Umidificação	271
Usar Inércia Térmica	274
Aquecimento Solar Passivo	275
Ar Condicionado	277
Aquecimento Artificial	278
Outras Técnicas para Diminuir o Consumo de Energia	279

Iluminação Natural e Artificial	284
Análise e Síntese da Primeira Alternativa de projeto	288
Simulação e Propostas Alternativas	289
Uso de Energia Alternativa	290
Captação da Água da Chuva	290
Reutilização de Água	291
Projeto de Arquitetura Bioclimática	291
REFERÊNCIAS	296

Referências Bibliográficas

Referências Bibliográficas	299
----------------------------------	-----

Apêndices

APÊNDICE 1: Paineis Bioclimáticos	313
APÊNDICE 2: Confeção de um Relógio Solar para uma Latitude Específica	328
APÊNDICE 3: Tabela de Brises	331
APÊNDICE 4: Tabelas de Propriedades Térmicas	342
APÊNDICE 5: Unidades e Conceitos Físicos	349
Quantidades Térmicas	349
Princípios Termodinâmicos	350
Psicrometria	353
Processos Psicrométricos	355
APÊNDICE 6: Carga Térmica	357
Conceitos	357
Exemplo Numérico	359
REFERÊNCIAS	365



UM SEGUNDO BREVE HISTÓRICO

sumário

1	UM SEGUNDO BREVE HISTÓRICO	5
1.1	O Conceito de Eficiência Energética	5
1.2	Da Arquitetura Vernacular aos Nossos Dias	8
1.3	A Crise de Petróleo	15
1.4	A Situação Atual.....	16
1.5	Consumo nos Setores Residencial, Comercial e Público.....	16
1.6	Normalização	20
1.7	O Conceito de Sustentabilidade	22
1.8	Bons Exemplos de Arquitetura Contemporânea	23
1.9	A Atuação de Cada Profissional	31
1.10	Estrutura do Livro.....	33
	REFERÊNCIAS:	34
	Bibliografia também consultada:	37

CAPÍTULO 1:

1 UM SEGUNDO BREVE HISTÓRICO

No período clássico, Vitrúvio (1982), autor do primeiro livro de arquitetura do qual temos conhecimento, entendia a arquitetura como um espaço habitável que deveria equilibrar os aspectos estruturais, funcionais e formais (Figura 1-1).



Figura 1-1: conceito vitruviano de arquitetura

1.1 O Conceito de Eficiência Energética

Hoje em dia, a arquitetura também deve ser vista como um elemento que precisa ter eficiência energética. A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA na arquitetura pode ser entendida como um atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia. Desta forma, o triângulo conceitual clássico de Vitrúvio é definido pelos termos *firmitas*, *utilitas* y *venustas*, inclui a eficiência energética nos seus três vértices (Figura 1-2).



Figura 1-2: retomada do conceito vitruviano de arquitetura

Firmitas relaciona-se à estrutura, ao que mantém a arquitetura íntegra, de pé. A economia e racionalização das soluções estruturais de um edifício podem auxiliar na redução do consumo de energia, consequentemente aumentando sua eficiência energética já nessa etapa construtiva. A especificação dos materiais construtivos participa deste cenário através do estudo da energia embutida nos seus processos de fabricação e transporte. *Utilitas* relaciona-se à funcionalidade arquitetônica, que inclui os conceitos de conforto térmico, visual e acústico dos usuários, pontos de partida para a eficiência energética do ambiente. *Venustas*, sinônimo de beleza, contempla uma arquitetura que tenha seus elementos, equipamentos e funções relacionados à eficiência energética, intrínsecos na sua forma e ambiência. Uma arquitetura que exterioriza a eficiência energética no seu envelope torna-se bela e é, portanto, íntegra e expressiva em relação a estes conceitos.

Muito se tem ouvido falar em economia de energia elétrica em edifícios. Além das campanhas contra o desperdício que vêm sendo feitas, surgem cada vez mais equipamentos de baixo consumo e maior eficiência energética, como alguns eletrodomésticos... (Figura 1-3).



Figura 1-3: lâmpada fluorescente compacta

O PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) tem investido na conscientização das pessoas em relação ao desperdício de energia. Um dos programas do PROCEL lançou o Selo de Eficiência Energética, que pode ser usado como comparativo entre diversos equipamentos eletrodomésticos (Figura 1-4).



Figura 1-4: Selo PROCEL/INMETRO

O Selo garante que o produto que o consumidor está adquirindo consome menos energia que seus similares. Existe também a Etiqueta de cores do Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO (2006) em parceria com o PROCEL, que classifica equipamentos numa escala de “A” até “E”, sendo “A” os mais eficientes e “E” os que consomem mais energia (Figura 1-5).

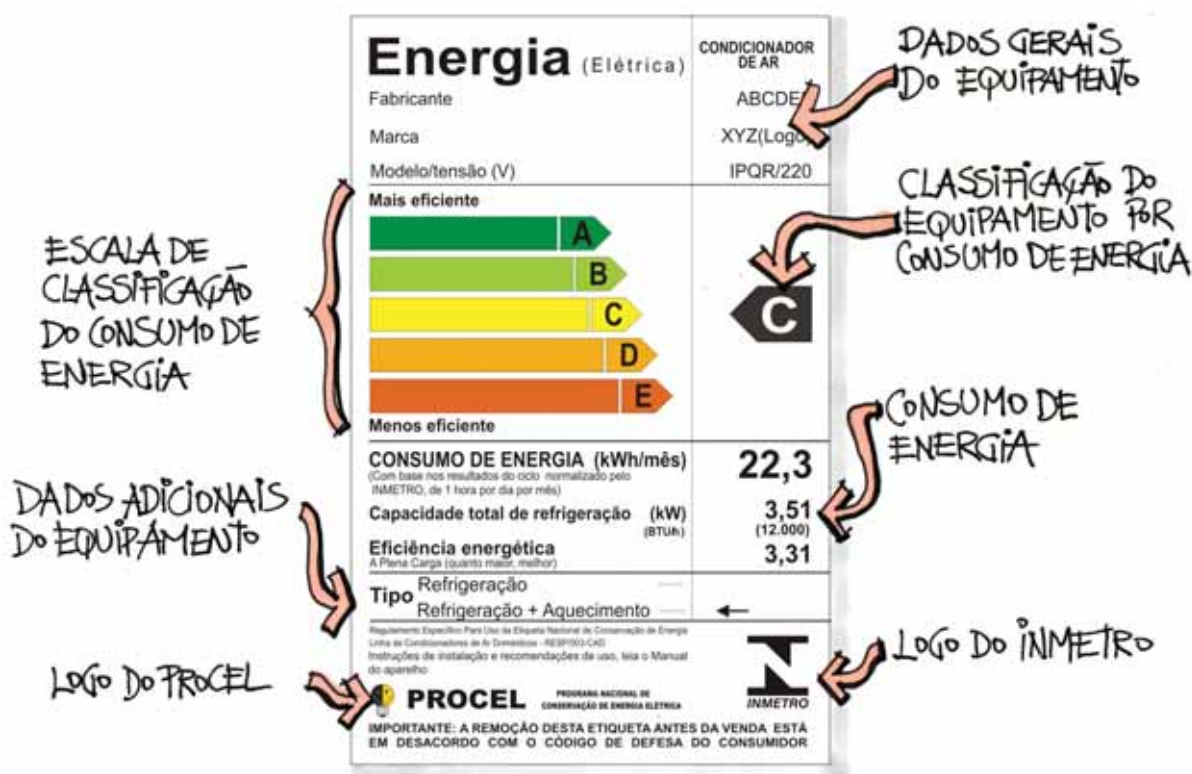


Figura 1-5: Etiqueta do INMETRO/PROCEL

O consumidor pode saber a economia que fará ao adquirir um equipamento mais eficiente comparando os consumos de energia deste com outras alternativas. Por exemplo, se um refrigerador com a classificação “A” (muito eficiente) consome 51,0 kWh/mês de energia e outro refrigerador com a classificação “C” (menos eficiente) consome 68 kWh/mês de energia, a redução de consumo da opção “A” é de 17 kWh/mês de energia elétrica. Isso equivale a uma economia anual de 204 kWh. O refrigerador classificado como “A” leva doze meses para gastar em energia elétrica o que o outro refrigerador gasta em oito meses, sendo 33% mais econômico.

Já está sendo implantada, por enquanto de forma voluntária, a etiqueta de consumo para edifícios, nos moldes do que vem sendo feito na Europa (CB3E 2012). Baseando-se em cálculos de aspectos da envoltória do edifício, do sistema de iluminação e do sistema de ar condicionado, esta regulamentação pretende obter a classificação geral do edifício analisado em termos de eficiência energética, que varia do nível A, mais eficiente, ao nível E, menos eficiente (Figura 1-6).

Além destes recursos, um bom projeto arquitetônico deveria incluir análises sobre seu desempenho energético, pois cada decisão tomada durante o processo de projeto influencia no desempenho térmico e luminoso do edifício. Para que o projeto tenha um bom desempenho, é importante que estas decisões sejam

baseadas no conhecimento das variáveis e conceitos que envolvem a eficiência energética e o conforto ambiental e nas análises que o arquiteto pode fazer das diversas alternativas de projeto em todas as etapas do processo. Estes conceitos e análises devem incorporar-se naturalmente ao processo de projeto do arquiteto desde o programa de necessidades. A prática da arquitetura exige, assim, a conscientização do profissional em relação a uma série de aspectos que são usualmente negligenciados. Esse tema voltará a ser discutido mais à frente, no último capítulo deste livro.



Figura 1-6: Etiquetagem de eficiência energética em edificações, fonte: CB3E 2012

Por enquanto, vamos lembrar alguns princípios usados na arquitetura vernacular, princípios estes que eram apreendidos empiricamente e transferidos diretamente de pai para filho e de mestre para aprendiz.

1.2 Da Arquitetura Vernacular aos Nossos Dias

A **ARQUITETURA VERNACULAR**, que é genuína, correta, pura e isenta de estrangeirismos (Ferreira 1999), ensina muitas técnicas, conceitos e princípios bioclimáticos e sustentáveis que podem ser empregados em edificações que persigam a alta eficiência energética.

O primeiro destes princípios era geralmente aproveitar as características desejáveis do clima enquanto se evitavam as indesejáveis.

Foi na antiga Roma que surgiu o primeiro sistema de aquecimento artificial de que se tem notícia. Existiam sistemas para aquecimento de água conhecidos como *Calidarium* e para aquecimento de ambientes como o *Ipocausto* - túneis subterrâneos onde uma fornalha aquecia o ar, que por sua vez aquecia os ambientes (Figura 1-7). Os *ipocaustos* queimavam madeira e carvão em fornos e impulsionavam o ar quente através de ladrilhos vazados situados nos pisos e paredes.

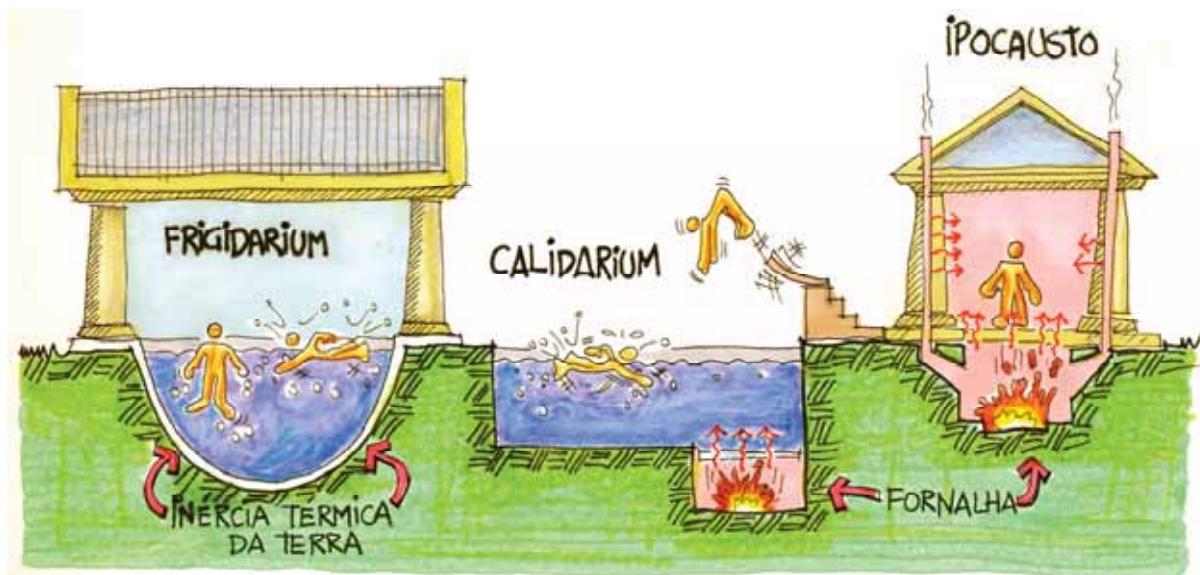


Figura 1-7: frigidarium, calidarium e ipocausto romanos

Um *ipocausto* podia devorar 150 quilos de madeira por hora, ou mais de 15 metros cúbicos de lenha diários (Espí 1999). Mas as reservas de madeira estavam se esgotando já no século 1 dC., exigindo dos romanos a busca de novas tecnologias mais sustentáveis de construção, considerando, assim, o Sol como principal fonte de calor. Plínio, escritor da época, participou do início deste processo construindo suas duas casas segundo a técnica solar dos gregos antigos. O escritório de uma destas casas tinha a forma semicircular, com grandes janelas, por onde o Sol penetrava desde a manhã até o entardecer. Plínio batizou esta técnica de *heliocaminus*. Este ambiente usava a técnica conhecida atualmente como inércia térmica, que dispunha materiais com maior capacidade térmica para as paredes que recebiam o sol direto.

Mas Roma era uma cidade insustentável e teve sua economia diminuída com a escassez da madeira. Os romanos se viram obrigados a adotar um estilo de vida (e de arquitetura) autosuficiente. Os arquitetos Faventino e Paladio escreveram manuais de técnicas que hoje denominamos de autoconstrução, com enfoque sustentável. Estas incluíam a reutilização da água, a distribuição dos ambientes acima dos banhos quentes, para aproveitar o calor solar e o calor que vinha dos próprios banhos. Também o uso de cores claras para refletir calor e escuras para absorvê-lo iniciou nessa época.

No século VI a importância do acesso solar foi finalmente registrada pelo imperador Justiniano, no que hoje podemos definir como a primeira legislação ambiental de que se tem notícia (Figura 1-8). A lei dizia o seguinte:

“Se um objeto está colocado de maneira a obstruir o Sol em um *heliocaminus*, deve afirmar-se que tal objeto cria sombra em um local onde a luz do Sol constitui uma absoluta necessidade. Isto é, assim, uma violação do direito ao sol do *heliocaminus*.” Traduzido e adaptado de Espí (1999)



Figura 1-8: *heliocaminus* romano

Em climas muito severos como no norte da China, na cidade de Honan, por exemplo, as edificações foram construídas subterrâneas (Rudofsky 1981, Romero 2001). São escolas, mercados, residências, tudo sob a superfície da terra (Figura 1-9). Vista de cima, a cidade mostra apenas os pátios das casas. A temperatura abaixo da superfície do solo é mais amena, compensando os extremos da temperatura do ar (alta durante o dia e baixa à noite).

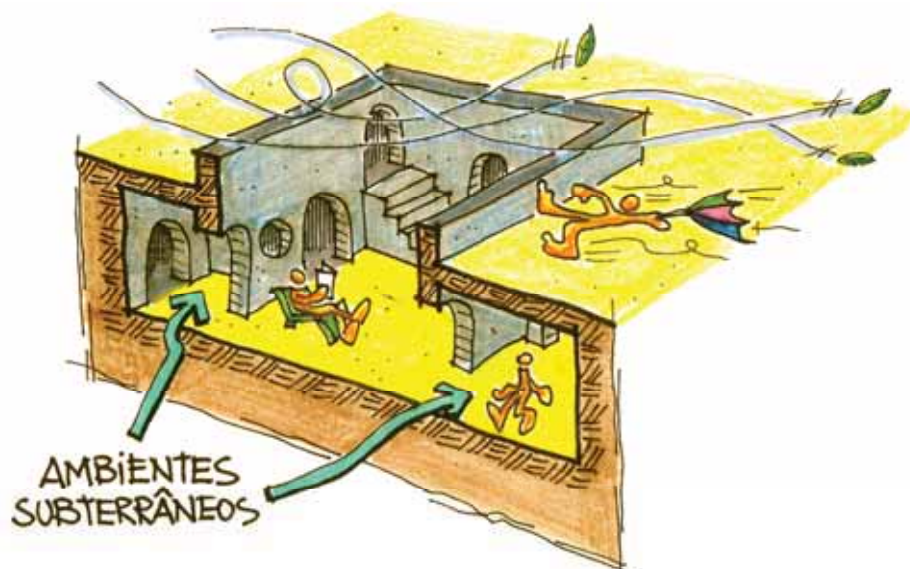


Figura 1-9: casas subterrâneas no norte da China, adaptado de Romero 2001

No deserto do Colorado, nos Estados Unidos, o povo de Mesa Verde construiu suas habitações protegidas do sol pelas encostas de pedra, de forma a sombrear a incidência dos raios solares no verão quente e seco (Rudofsky 1981, Romero 2001). No inverno, a inclinação mais baixa do sol permite sua entrada nas habitações, aquecendo-as durante o dia. O calor armazenado na rocha das encostas durante o dia é devolvido ao interior das habitações à noite, garantindo o *conforto térmico* (Figura 1-10).



Figura 1-10: Mesa Verde - habitações e kiwa, adaptado de Romero 2001

Na Tunísia, as habitações também eram enterradas para evitar os extremos de temperatura do clima quente e seco, além de protegerem as pessoas das tempestades de vento (Shelter 1973) (Figura 1-11).

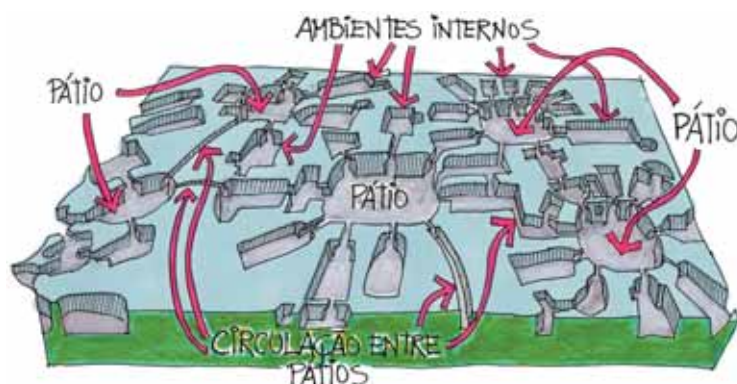


Figura 1-11: habitação troglodita, atualmente usada como hotel na Tunísia

Esse fenômeno acontece devido ao princípio conhecido como inércia térmica, conforme veremos mais detalhadamente no item 3.5 (A Bioclimatologia Aplicada à Arquitetura).

Em Sevilha, na Espanha, várias ruas eram sombreadas por toldos, reduzindo a incidência solar durante o dia (Figura 1-12). Esses toldos ainda hoje podem ser vistos em algumas ruas da cidade durante o período de verão.



Figura 1-12: rua sombreada em Sevilha

Até o **PERÍODO GÓTICO**, conhecido como a “Idade das Trevas”, o arquiteto e o artesão trabalhavam juntos. O conceber e o construir aconteciam simultaneamente. Nas catedrais góticas, a maior parte dos problemas construtivos era resolvida *in loco* (Figura 1-13).



Figura 1-13: arquitetura gótica

As novas técnicas estruturais surgidas na época possibilitaram mais aberturas nas paredes (inclusive com vitrais) que, paradoxalmente, trouxeram nova luz à “Idade das Trevas”.

Porém, esse quadro mudou no **RENASCIMENTO** com a invenção da perspectiva por Brunelleschi (Bicca 1984). A dignidade do arquiteto seria considerada a partir de agora tanto maior quanto maior fosse sua desvinculação com o artesão. Isto afastou

do projetista um rico vocabulário de soluções arquitetônicas da época e limitou o conhecimento que antes era passado de pai para filho.

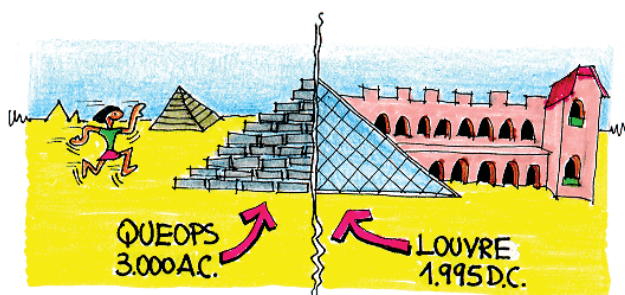


Figura 1-14: Revolução industrial

A **REVOLUÇÃO INDUSTRIAL** trouxe um novo elenco de materiais, como o aço e o concreto armado, que desafiaram a tradição de construir em alvenaria de pedra (dominante desde o Egito antigo até o século XIX) no mundo ocidental (Figura 1-14). No entanto, esta tradição construtiva persistiu até a Segunda Guerra Mundial. A partir daí, as grandes transformações sociais, econômicas e técnicas mudaram o quadro da arquitetura violentamente.

No período entre guerras surgiu o **ESTILO INTERNACIONAL**, revolucionando por completo os conceitos da arquitetura. Le Corbusier lançou ideias como o esqueleto estrutural, o terraço-jardim, a planta livre, os pilotis e o MODULOR, que relaciona as proporções entre o homem e o espaço arquitetônico projetado (Boesiger e Girsberger 1971) (Figura 1-15).

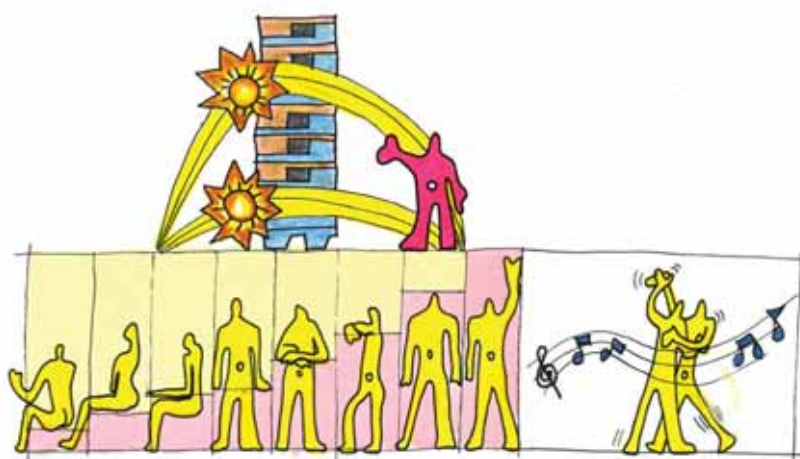


Figura 1-15: modulator de Le Corbusier

Infelizmente, poucos profissionais possuíam as habilidades de Le Corbusier, e se traíram quando limitaram a arquitetura funcionalista a um mero jogo de motivos em fachadas ou a uma luta pela conquista de vãos cada vez maiores em concreto armado. Paralelamente, os avanços de áreas particulares do processo de construção da arquitetura (entre elas o conforto ambiental) não eram mais assimilados pelos arquitetos. Mies van der Rohe, com suas cortinas de vidro, criou um verdadeiro ícone de edifícios de escritórios. Seu formalismo *clean* foi seguido por várias gerações de profissionais que internacionalizaram o que era distinto para algumas culturas (Figura 1-16).

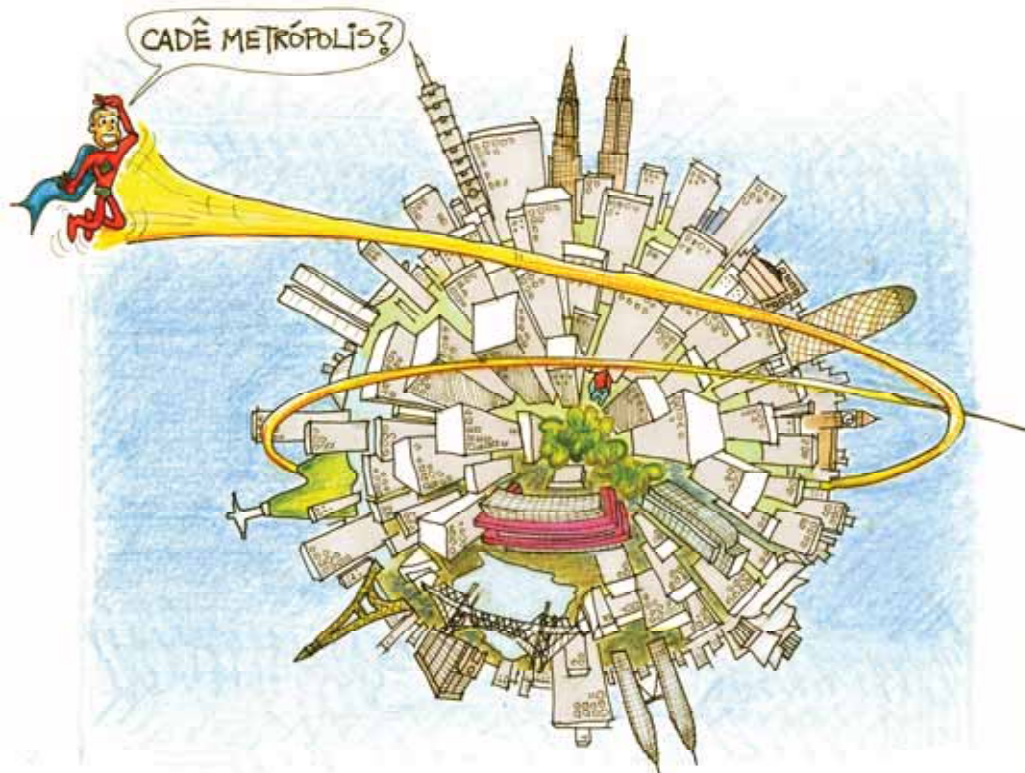


Figura 1-16: metáfora do Estilo Internacional

O conseqüente “edifício estufa” foi então exportado como símbolo de poder, assim como sistemas sofisticados de ar condicionado e megaestruturas de aço e concreto, sem sofrer readaptações às características culturais e climáticas do local de destino (Figura 1-17). A arquitetura estava se prostituindo ...

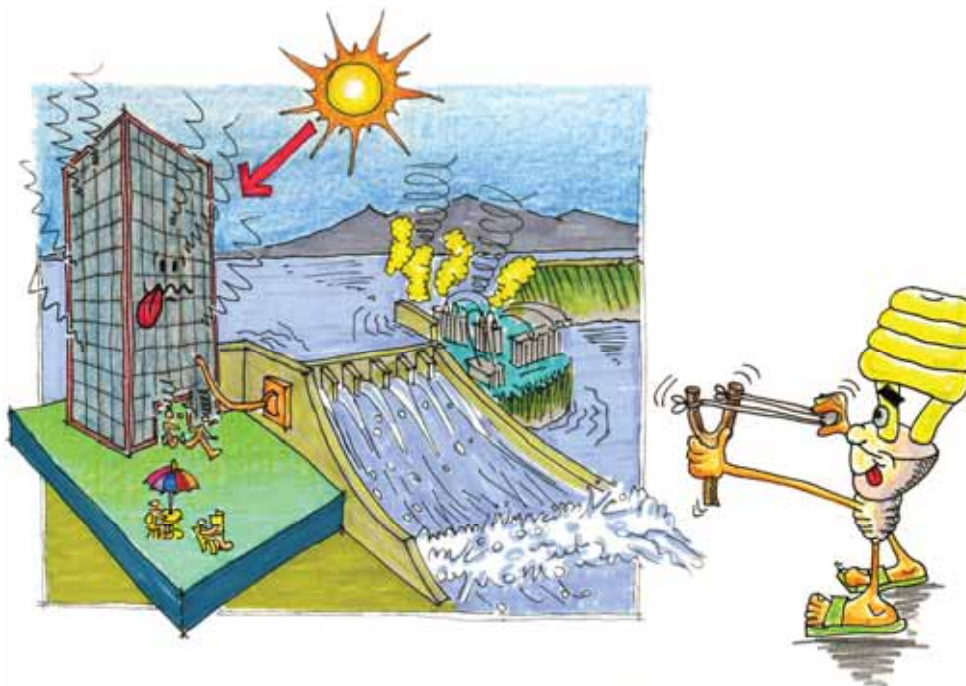


Figura 1-17: edifício estufa

1.3

A Crise de Petróleo

Sistemas de iluminação e de climatização artificial passaram a ser largamente utilizados, dando ao projetista uma posição bastante cômoda perante os problemas de adequação do edifício ao clima. Foram surgindo verdadeiros colossos arquitetônicos, submetidos a uma hemorragia energética (e econômica). Esta situação agravou-se com a crise de petróleo de 1973 e com o aumento da população nos centros urbanos na década de 80.

Para superar a crise, a produção de eletricidade teve que crescer muito desde então. Entretanto, esta alternativa traz os inconvenientes do impacto ambiental causado por novas usinas, como as possíveis inundações e deslocamentos de populações (hidrelétricas), a poluição e os riscos com a segurança pública (termoelétricas e nucleares). Além disso, a exigência de grandes investimentos do governo nestes projetos implica a redução dos investimentos em outras áreas (saúde, educação e habitação), antagonizando a ideia de progresso embutida nessa política.

A alternativa que se mostra mais adequada a esse quadro é aumentar a eficiência no uso de energia. Segundo Geller (1994), a economia de energia reduz a necessidade de gastos com o setor público, passando aos fabricantes de equipamentos e aos consumidores os investimentos necessários. Também se reduzem, com essa solução, os custos de produção de materiais construtivos, como o aço e o alumínio, tornando seus preços mais baixos no mercado interno e competitivos no externo. Vale a pena ressaltar que a energia elétrica passa por quatro fases distintas: geração, transmissão, distribuição e consumo. Quanto maior for o desempenho dos componentes de cada uma destas fases, menores serão as perdas de energia do processo como um todo. Ao arquiteto cabe a concepção de projetos que possibilitem a execução de edifícios mais eficientes, logrando com essa postura o conforto dos usuários e o uso racional da energia (Figura 1-18).

"é mais barato ECONOMIZAR energia do que FORNECÊ-LA!"



Figura 1-18: é mais barato economizar energia que fornecê-la

1.4 A Situação Atual

A oferta de energia no Brasil provém das seguintes fontes: hidráulica, gás, petróleo, lenha, óleo diesel e óleo combustível. A eletricidade total ofertada em 2011 foi de 531,76 TWh, sendo que 428,33 TWh vieram de geração hidrelétrica, equivalente a 80,5% do total (EPE 2012).

É importante lembrar que as unidades de medida de energia podem diferenciar conforme a fonte. Neste livro, as unidades mais utilizadas serão os múltiplos do quilowatt-hora (kWh) e a tonelada equivalente de petróleo (tep). Os múltiplos mais usados do quilowatt-hora (kWh) são o megawatt-hora (MWh), o gigawatt-hora (GWh) e o terawatt-hora (TWh).

$$1 \text{ MWh} = 10^3 \text{ kWh}$$

$$1 \text{ GWh} = 10^6 \text{ kWh}$$

$$1 \text{ TWh} = 10^9 \text{ kWh}$$

Do total do consumo de energia elétrica no Brasil em 2011 (480,12 TWh), as edificações representaram 46,7% (224,20 TWh), conforme ilustrado na Figura 1-19, sendo que o setor residencial chegou a 23,3% do total nacional (111,97 TWh), o setor comercial representou 15,4% do total (74,05 TWh) e o setor público, 8,0% do total (38,17 TWh) (EPE 2012).

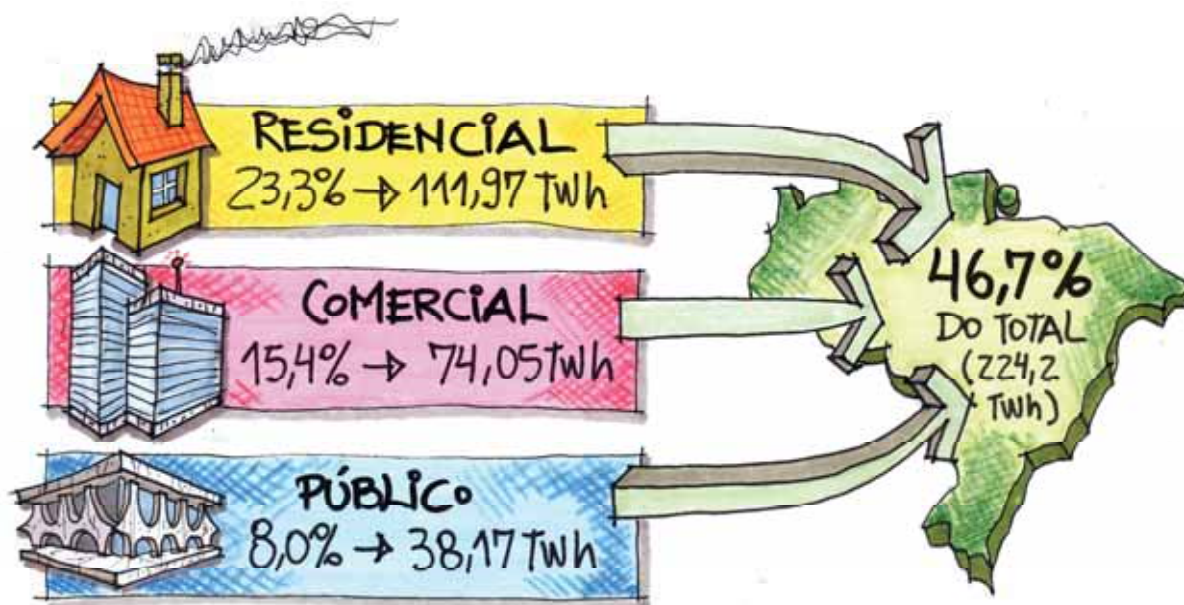


Figura 1-19: Consumo de energia elétrica em edificações no Brasil em 2011 (Fonte: EPE 2012)

1.5 Consumo nos Setores Residencial, Comercial e Público

É importante enfatizar que, em uma indústria, a maior parte da energia elétrica consumida provém das máquinas e motores (consumo que independe do projeto arquitetônico), limitando a atuação do arquiteto no sentido de economizar energia. Como o horário de funcionamento da maioria das indústrias é diurno, o aproveitamento da luz natural deve ser considerado como uma das principais estratégias de economia no projeto arquitetônico neste setor. A ventilação natural em indústrias, embora seja essencial para promover conforto térmico, pode não ser

suficiente, pois depende das condições climáticas nem sempre favoráveis, dificultando o condicionamento natural deste tipo de edificação.

Os setores residencial, comercial e público concentram, portanto, a parte mais significativa da atuação do arquiteto em aumentar a eficiência energética nas edificações, sendo mais detalhados a seguir.

Como visto anteriormente, do total da produção nacional de energia elétrica, 23,3% se destinam ao uso em **RESIDÊNCIAS**. A distribuição deste consumo pode ser vista na Figura 1-20 (adaptada de Eletrobras 2007a).

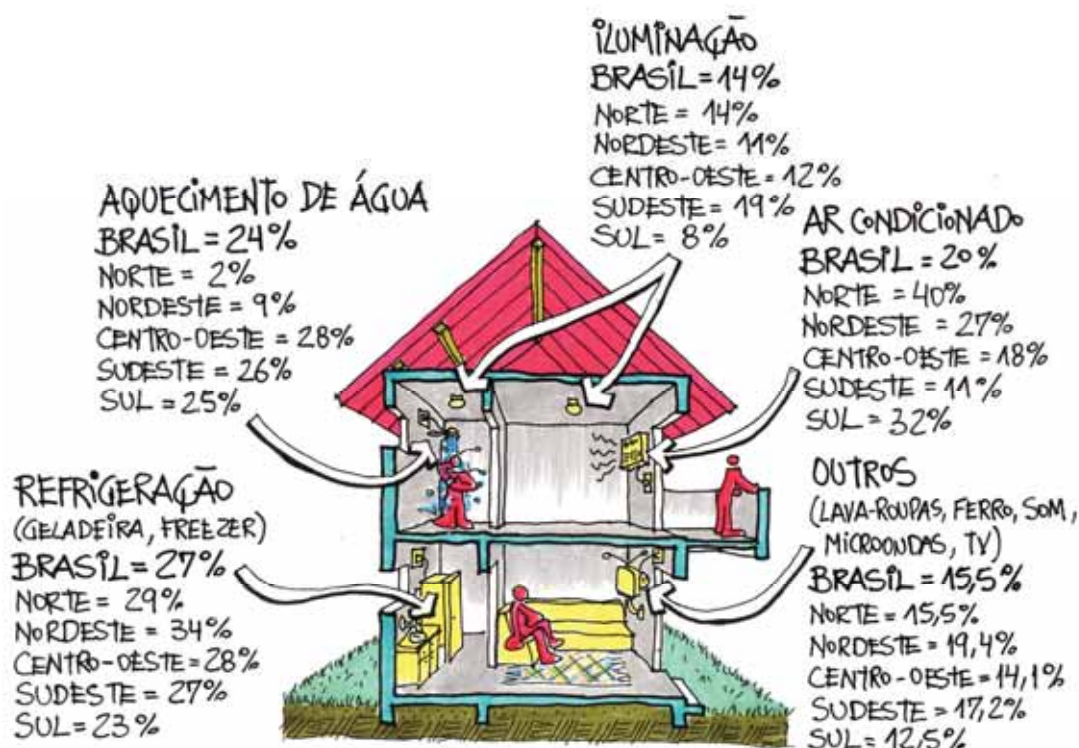


Figura 1-20: consumo por uso final em residências, baseada em Eletrobras 2007a

A maior parte do consumo de energia elétrica em residências destina-se a geladeiras, chuveiros e lâmpadas, porém, mais recentemente, o ar condicionado começa a participar deste cenário com maior consumo, chegando a 20% na média nacional. Esse valor tende a crescer mais ainda num futuro próximo conforme aumente o poder aquisitivo da população e devido a não adequação das edificações ao clima local.

As decisões de projeto influenciam fortemente o desempenho térmico, visual e energético da edificação. O arquiteto deve considerar a adequação do seu projeto ao clima local utilizando diversas estratégias de uso da luz natural, resfriamento e aquecimento passivo dos ambientes. O projeto também pode incluir o uso de fontes alternativas de energia, como a eólica, a biomassa e a solar, sendo esta última tanto através da geração e armazenamento de energia elétrica (fotovoltaica) como do aquecimento solar de água.

A Figura 1-20 mostra que o uso de energia elétrica para refrigeração, que inclui geladeiras e *freezers*, embora varie de região para região do Brasil, é da ordem de

27%. Na região Sul, a refrigeração representa 23% do consumo de energia elétrica em residências (menor percentual nacional), enquanto que nas regiões Norte e Nordeste, este percentual cresce respectivamente para 29% e 34% (maiores valores). Isso claramente reflete as diferenças climáticas entre estas regiões. O sul do Brasil, com temperaturas mais amenas, exige menor potencial de refrigeração que o norte e o nordeste, onde o calor impera ao longo de todo o ano.

Esse quadro de consumo muda quando se trata da energia elétrica gasta no aquecimento de água (principalmente chuveiros domésticos), sendo que os Estados do Norte e do Nordeste brasileiro, onde o aquecimento elétrico de água representa apenas 2% e 9% respectivamente, distanciam-se da média nacional de 24%. Neste tipo de uso final, as regiões Sudeste, Centro-oeste e Sul são as grandes vilãs de consumo, somando respectivamente 26%, 28% e 25% do total de consumo energético em residências.

A iluminação artificial abraça uma fatia de 14% do consumo energético nacional em residências, sendo a região Sul a que menos consome energia desta forma (apenas 8% do consumo energético numa residência são destinados à iluminação artificial). A região Sudeste é a que mais consome energia elétrica para iluminação (19%).

O uso do ar condicionado já representa 20% do total na média nacional de consumo energético em residências. Falando-se de forma regional, a região Norte é a que mais gasta energia com ar condicionado em residências, atingindo 40% do total do consumo residencial de energia elétrica, enquanto que a região Sudeste é a que menos consome nesta categoria de uso final, somando apenas 11% do total de consumo energético por uso final. Novamente isso se explica pelas grandes diferenças climáticas entre estas regiões. No Norte temperaturas altas são presentes durante todo o ano enquanto que no Sudeste, temperaturas baixas se fazem presentes em pelo menos três meses do ano. É importante ressaltar que na região Sul, o consumo em ar condicionado salta para 32% do total de energia gasta em uma residência, valor alto se for levado em consideração o fato de o clima do Sul ter verão igual, porém inverno frio.

Salienta-se que, com o desenvolvimento social crescente, a diminuição dos preços dos aparelhos e com a construção de edificações não adequadas ao clima, a aquisição de aparelhos de ar condicionado será cada vez maior, problema que tende a ser agravado com o tempo.

Segundo a Figura 1-20, os outros usos finais de energia (representado na ilustração por um aparelho de TV) somam aproximadamente 15,5% do total de energia elétrica consumida em residências na média nacional. Não há grandes variações regionais neste tipo de uso final. Deve ser destacado que o consumo de energia dos aparelhos em modo de espera (*stand by*) deve ser considerado, visto que estes aparelhos funcionam 24 horas. Enquanto estes aparelhos não tiverem sua eficiência aumentada, recomenda-se o desligamento total do sistema quando o usuário não for utilizá-lo por períodos muito grandes.

Do total da produção nacional de energia elétrica, 15,4% são usados em **EDIFÍCIOS COMERCIAIS** e 8,0% em **EDIFÍCIOS PÚBLICOS** (EPE 2012). A Figura 1-21 mostra que a iluminação e o ar condicionado são os grandes usos finais da energia neste setor. No setor comercial alimentado por alta tensão, por exemplo, o ar condicionado chega a representar 47% do total do consumo de energia na média nacional,

enquanto que a iluminação representa 22%. Os demais usos finais representam 31% do total de consumo. Nos edifícios públicos (Figura 1-22) o ar condicionado representa 48% do total do consumo de energia, enquanto a iluminação representa 23%, os equipamentos de escritório 15% e os demais usos finais 14% do total (Eletrobras 2007b).

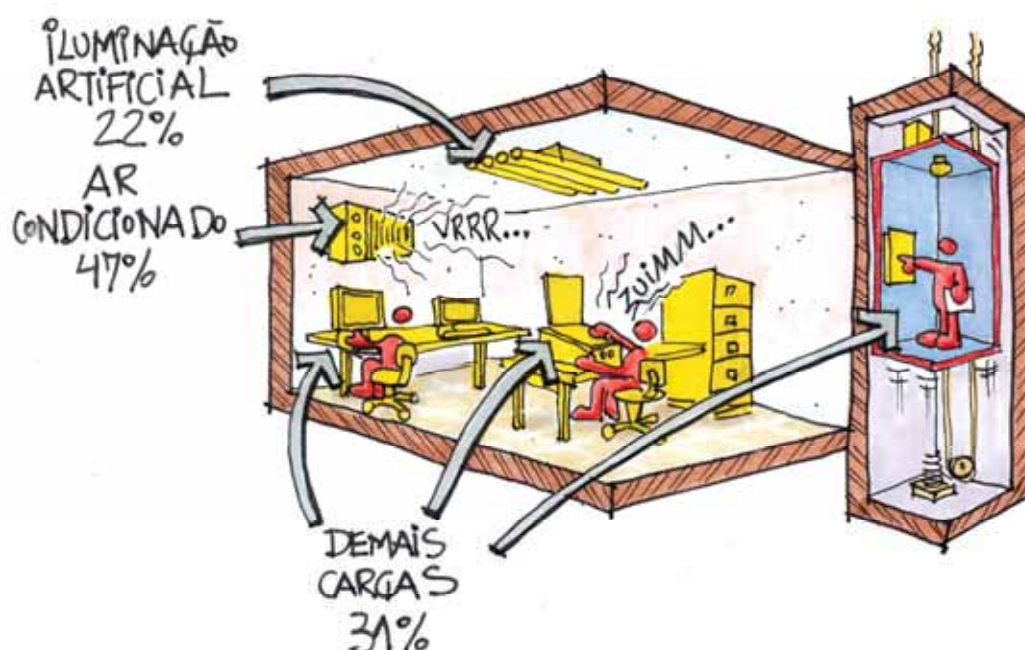


Figura 1-21: Consumo por uso final em edifícios comerciais, baseada em Eletrobras 2007b

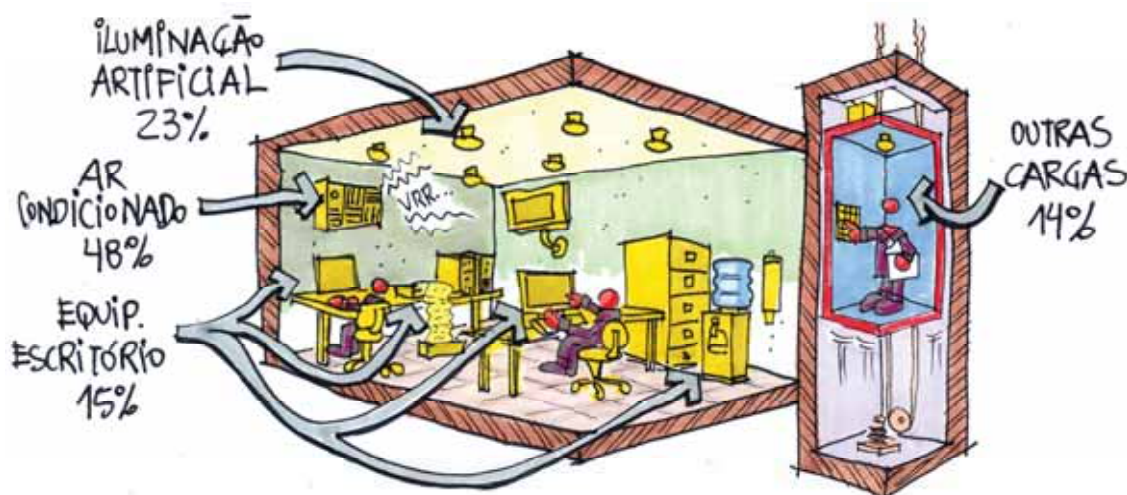


Figura 1-22: Consumo por uso final em edifícios públicos, baseada em Eletrobras 2007b

A partir destes dados de consumo de energia no Brasil, percebe-se que um projeto arquitetônico adequado ao clima e consciente das vantagens da utilização de estratégias naturais de iluminação, aquecimento e resfriamento dos ambientes tem um grande potencial em reduzir a demanda de energia esperada para os próximos anos.

1.6 Normalização

Nos últimos anos, a preocupação com os impactos ambientais provocados pelo contínuo crescimento populacional tem se tornado tema de extrema importância nos meios científicos e acadêmicos. Em termos de arquitetura, o aumento da população mundial representa maior demanda de edificações e de consumo de energia. Como resultado, várias medidas preventivas estão em voga em diversas partes do planeta, incluindo no Brasil.

Nos países desenvolvidos, a crise de energia e o alto consumo no setor de edificações levaram à elaboração de normas de eficiência energética em edificações. Na Europa, diretrizes relativas ao desempenho energético dos edifícios foram aprovadas para implementação em 2006. Pretende-se, com isso, atingir a meta de redução de 8% das emissões dos gases causadores do efeito estufa no período entre 2008 e 2012, conforme tratado no Protocolo de Kyoto (Goulart e Lamberts 2005a).

A preocupação com o efeito estufa e com a degradação dos recursos ambientais também alcançou os Estados Unidos, refletindo em novas leis que buscam melhorar a eficiência energética das edificações. Como exemplo, o *EPAct* de 2005 (*Energy Policy Act of 2005*; House of Representatives Senate 2005 e Goulart e Lamberts 2005b), uma lei de 1.724 páginas, representa um esforço do governo Norte-Americano em direção a uma política energética, fornecendo incentivos fiscais para a implementação de eficiência energética em edificações existentes e mesmo novas e obrigando os Estados Norte-Americanos a terem normas de eficiência energética iguais ou melhores à ASHRAE Standard 90.1 (Standard 90.1, 2004).

No Brasil, a Lei nº 10.295, de 17 de Outubro de 2001, dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia Elétrica, a qual se visa à alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente. A lei 10.295 tem como ponto fundamental o estabelecimento pelo Poder Executivo dos níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, tendo como base indicadores específicos. A lei discute também a responsabilidade em se elaborar mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações.

Em 19 de Dezembro de 2001 a lei 10.295 foi regulamentada pelo Decreto nº 4.059 que, entre outras atuações, dá origem ao Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações (Brasília, Distrito Federal 2001a e 2001b). Este grupo tem como principais objetivos a avaliação da eficiência energética das edificações, a criação de indicadores referenciais de consumo de energia nas edificações para certificação de sua conformidade com relação à eficiência energética e a determinação de requisitos técnicos para que os projetos a serem construídos atendam estes indicadores.

Mas além desta lei e decreto, o Brasil também já possui normas referentes ao desempenho térmico e de iluminação natural. As normas de iluminação natural (ABNT 2005a, 2005b, 2005c e 2005d) são as seguintes:

- NBR15215-1 - Iluminação Natural - Parte 1: Conceitos básicos e definições - descreve as variáveis e conceitos envolvidos no estudo e análise da iluminação

natural em edificações numa espécie de grande glossário, que introduz o arquiteto aos termos mais importantes.

- NBR15215-2 - Iluminação Natural - Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural - Descreve os procedimentos de cálculo para estimativa da disponibilidade de luz natural em um determinado lugar, dependendo da posição e mesmo da presença do sol no céu, o momento em questão (horário do dia e dia do ano), a posição geográfica do local (latitude e longitude) e o tipo de céu sob análise (céu claro, céu parcialmente encoberto e céu encoberto). O valor obtido de iluminância do céu pode ser utilizado nos cálculos de iluminação natural em ambientes internos, tratados na NBR 15215-3.
- NBR15215-3 - Iluminação Natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos - Esta norma descreve o algoritmo utilizado no cálculo da Contribuição da Iluminação Natural (CIN), com significado semelhante ao do Fator de Luz Diurna (FLD), que determina a quantidade de luz natural em ambientes internos. A NBR 15215-3 também apresenta cartas solares a cada 4° de latitude para latitudes de 0° até -36°.
- NBR15215-4 - Iluminação Natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição - Descreve métodos para a determinação experimental da iluminação interior. Esta norma fala sobre os instrumentos de medição e prescreve como os mesmos devem utilizados.

Também foram aprovadas no Brasil em 2005 cinco normas de desempenho térmico em edificações (ABNT 2005e, 2005f, 2005g, 2005h e 2005i). São elas:

- NBR 15220-1 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades - apresenta as variáveis referentes ao desempenho térmico em edificações, suas definições, símbolos e unidades.
- NBR 15220-2 - 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 - descreve com exemplos os métodos de cálculo das referidas variáveis.
- NBR 15220-3 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social - apresenta o zoneamento bioclimático e as diretrizes construtivas indicadas para cada região do Brasil. As diretrizes construtivas não estabelece limites obrigatórios, mas faz recomendações de adequação da edificação às diferentes zonas bioclimáticas.
- NBR 15220-4 - Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida - método de medição para laboratórios das referidas propriedades térmicas dos materiais construtivos.
- NBR 15220-5 - Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico -

outro método de medição para laboratórios das referidas propriedades térmicas dos materiais construtivos.

Existem ainda normas referentes ao desempenho mínimo de edificações em estágio de aprovação no Brasil. A Norma ABNT 136, em processo de aprovação, é dividida em seis partes, que dispõem sobre Requisitos Gerais (como segurança contra incêndio, estanqueidade, conforto térmico, lumínico e acústico, qualidade do ar e acessibilidade, entre outros), Estrutura, Pisos Internos, Fachadas e Paredes Internas, Coberturas e Sistemas Hidrossanitários em edificações.

Além disso, o novo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (LabEEE 2011a), e os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (LabEEE 2011b), ambos aprovados em 2010, em breve se tornarão obrigatórios, o que induzirá à elaboração de projetos energeticamente mais eficientes.

Embora estas normas, por si só, não garantam edificações mais eficientes e confortáveis, são passos importantes em direção a um cenário mínimo de exigências que irá, certamente, provocar alterações na maneira como os projetos de arquitetura vêm sendo feitos e na consciência ambiental dos arquitetos e da própria sociedade. Estas normas aliadas ao programa de etiquetagem de edificações, em testes no momento, certamente influirão nos modos de pensar e de projetar a arquitetura brasileira nos próximos anos.

1.7 O Conceito de Sustentabilidade

Após tantos momentos históricos onde a arquitetura teve seus conceitos criados, alterados e até excluídos, foi finalmente em 1992 que a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou uma conferência cujo tema foi o desenvolvimento sustentável. A então chamada Eco'92 discutiu o papel da humanidade em ser capaz de se desenvolver de forma sustentável, ou seja, de garantir que seu desenvolvimento, embora atenda as necessidades do presente, garanta às gerações futuras atenderem também às suas necessidades.

Além desse marco histórico, outros momentos podem ser destacados, como o Protocolo de Montreal de 1987, que discutiu o empobrecimento da camada de ozônio da atmosfera por substâncias como os gases do tipo CFC e o Protocolo de Kyoto de 1992, que estabeleceu metas de redução das emissões de CO₂ para a atmosfera em novos edifícios (redução de 40%) e em edifícios existentes (redução de 15%).

A Agenda 21 englobou diversos planos de ação, incluindo a Agenda Habitat II, assinada na Conferência das Nações Unidas realizada em Istambul em 1996, o CIB5, em 1999 (*Agenda 21 on Sustainable Construction*), que contempla medidas para redução de impactos através de alterações na forma como os edifícios são projetados, construídos e gerenciados ao longo do tempo e o CIB/UNEP6 de 2002 (*Agenda 21 for sustainable construction in developing countries*).

Com isso, o termo arquitetura sustentável surgiu a partir dos anos 90 como um meio de reconhecer na construção uma das principais fontes de degradação dos

recursos ambientais e, potencialmente, a principal fonte de renovação dos mesmos.

1.8 Bons Exemplos de Arquitetura Contemporânea

O século XX foi particularmente fértil para a arquitetura e hoje, quando estamos no início do século XXI, o panorama arquitetônico é jovem e pluralista. Estilos como o pós-modernismo, o *high-tech*, o construtivismo, e o desconstrutivismo mostram experiências significativas da preocupação crescente dos arquitetos com a melhoria da qualidade das edificações, inclusive considerando aspectos de eficiência energética e de conforto ambiental.

A poderosa cascata no **Pavilhão Britânico da EXPO'92** em Sevilha do arquiteto Nicholas Grimshaw (Figura 1-23), por exemplo, fez com que o edifício consumisse apenas um quarto da energia que seria necessária se fosse climatizado com ar condicionado (MEYHÖFER 1994).

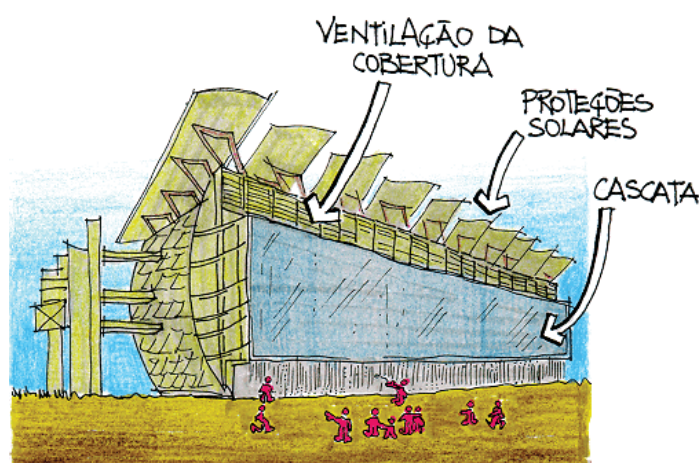


Figura 1-23: pavilhão britânico em Sevilha do arq. Nicholas Grimshaw

O **Instituto do Mundo Árabe** de Jean Nouvel teve uma de suas fachadas revestida com dispositivos em forma de diafragma que lembram a tapeçaria árabe (MEYHÖFER 1994). Estes elementos têm sua forma controlada eletronicamente, criando diferentes condições de iluminação e oferecendo proteção contra o sol (Figura 1-24).

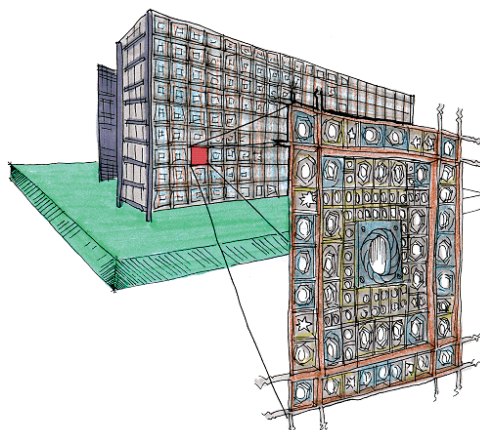


Figura 1-24: Instituto do Mundo Árabe com brise em destaque

O uso da iluminação natural é também bastante explorado no **Hong-Kong and Shanghai Bank** de Norman Foster. O edifício tem um átrio central que capta e distribui a luz do céu para os andares superiores. Nos andares inferiores, Foster projetou um sistema com linguagem *high-tech* de elementos refletores dentro e fora do edifício (AMSONEIT e TASCHEN 1994). A luz é distribuída pelos diversos andares, aumentando a qualidade do ambiente visual no interior do edifício e reduzindo o consumo de energia para iluminação artificial (Figura 1-25).

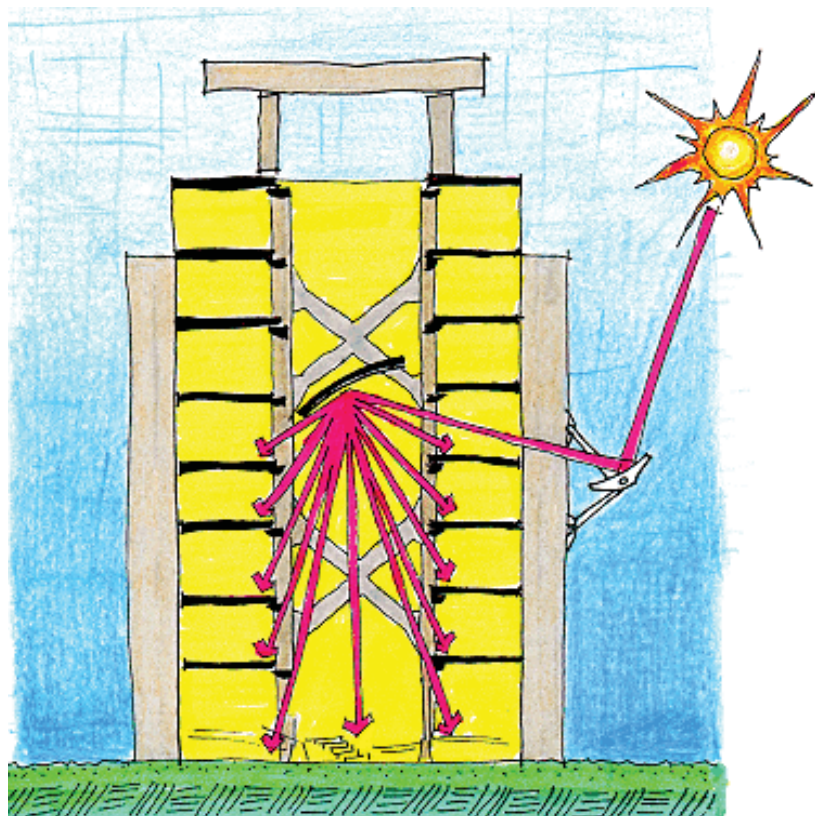


Figura 1-25: Shanghai Bank

O **BedZED**, do arquiteto Bill Dunster, é um conjunto de habitações mistas que inclui escritórios e residências na região sul de Londres (Figura 1-26). O projeto utiliza técnicas como painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica, materiais reciclados na construção, desenho solar passivo (orientação, inércia térmica, isolamento térmico), uso racional de água (captação da água da chuva), ventilação vertical natural por meio de torres de vento rotativas. Além disso, o tratamento de esgoto é feito através de zonas de raízes e há geração de calor com queima de lascas de madeira em fornalha (Arplus 2001; Antunes 2004).

Essa comunidade vai além destes conceitos quando também ensina culturas relativas à sustentabilidade, como a proibição de posse de veículos convencionais no condomínio, o incentivo ao aluguel de carros numa locadora local para os condôminos e o uso de carros elétricos, cujas baterias são alimentadas pelos painéis fotovoltaicos das residências.

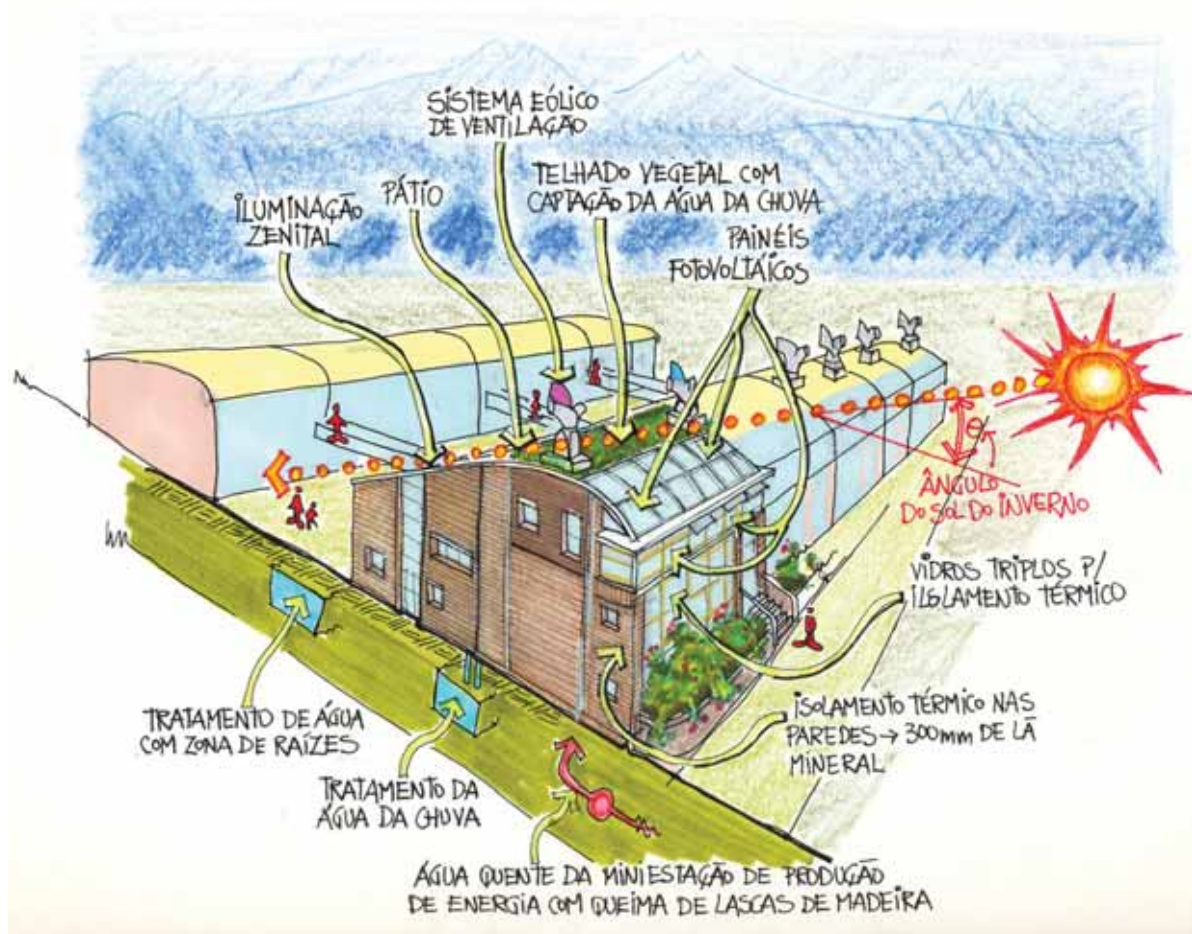


Figura 1-26: BedZED

O **Hockerton Housing**, da HHP Architects (HHP 2006), é um projeto pioneiro de comunidade em Hockerton, interior da Inglaterra, que explora vários conceitos de sustentabilidade (Figura 1-27). O projeto consiste em moradias com tipologia em fita semi-enterradas para aproveitamento da inércia térmica da terra. Todas as aberturas têm vidros duplos, que cumprem a função de isolamento térmico. A cobertura possui iluminação zenital para os ambientes mais no fundo da habitação e também painéis fotovoltaicos.

Cada família é incentivada a possuir apenas um automóvel convencional e, para facilitar deslocamentos para locais próximos, os projetistas desenvolveram um veículo a pedal para até 4 pessoas. A comunidade faz o aproveitamento da água da chuva e reutiliza essa água após filtrá-la e tratá-la biologicamente em zonas de raízes. A planta das habitações é bastante simples, todos os ambientes se abrem para um solário, ambiente de convívio que recebe o calor solar da orientação sul (a melhor para o hemisfério norte nesse sentido) e o distribui para os ambientes restantes. Os moradores consomem alimentos produzidos por eles mesmos em estufas e através da criação de alguns animais (peixes e ovelhas). A comunidade conta também com veículos elétricos e com 2 geradores eólicos de energia, tornando-se quase totalmente independente da rede elétrica local.

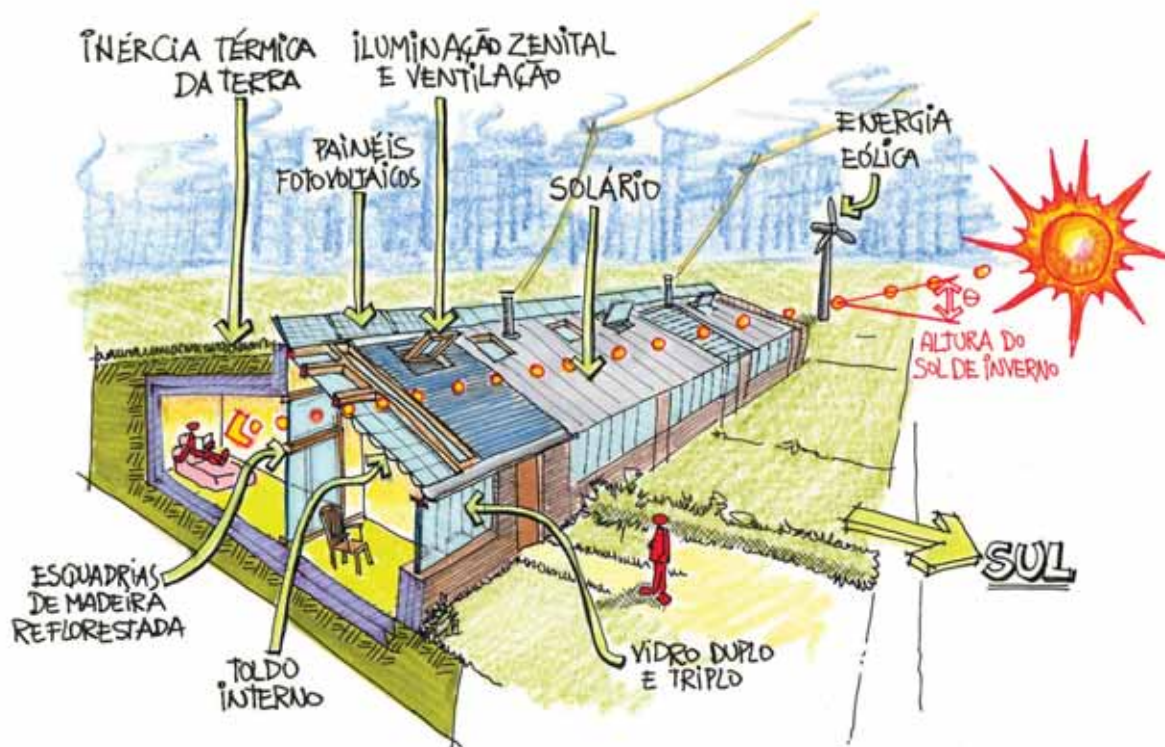


Figura 1-27: Hockerton Housing

O Protótipo para Edifícios de Escritórios, desenvolvido pelo arquiteto Mario Cucinella em Catania na Itália (Figura 1-28), utiliza uma estratégia conhecida como PDEC (do inglês *passive downdraught evaporative cooling*, que significa resfriamento evaporativo por corrente de ar descendente).

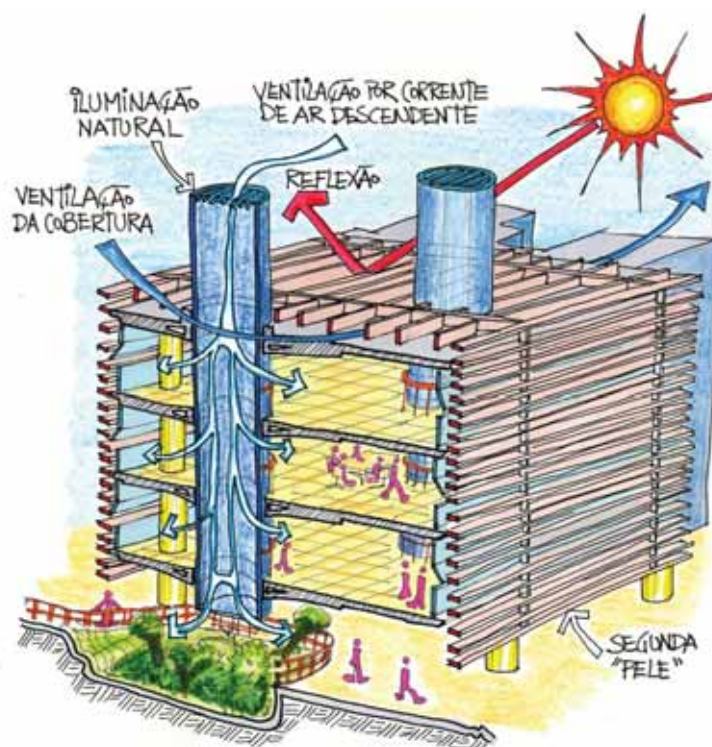


Figura 1-28: Projeto para Escritórios com PDEC

Esta técnica já foi tradicionalmente utilizada ao longo dos séculos pela arquitetura do leste Europeu (como no Irã e na Turquia). Baseia-se na instalação de captadores de vento que conduzem o ar externo para o interior através de materiais porosos cheios de água, induzindo a evaporação da mesma no ar mais seco, a diminuição de sua temperatura e, portanto, uma corrente de ar descendente por torres (Arplus 2000).

O PDEC é uma estratégia alternativa em relação ao ar condicionado convencional. Cucinella foi além desta função utilizando os mesmos elementos arquitetônicos (grandes tubos verticais vazados) para o PDEC e para a iluminação natural dos escritórios, que acontece através de vazios nas lajes dos pisos. Além disso, estas lajes têm grande inércia térmica, outra estratégia para conforto térmico utilizada.

O **Queen's Building**, da Short and Associates, em Leicester, na Inglaterra, abriga uma escola de engenharia e incorpora vários conceitos bioclimáticos (Figura 1-29), a Montfort University (Yannas 1994).

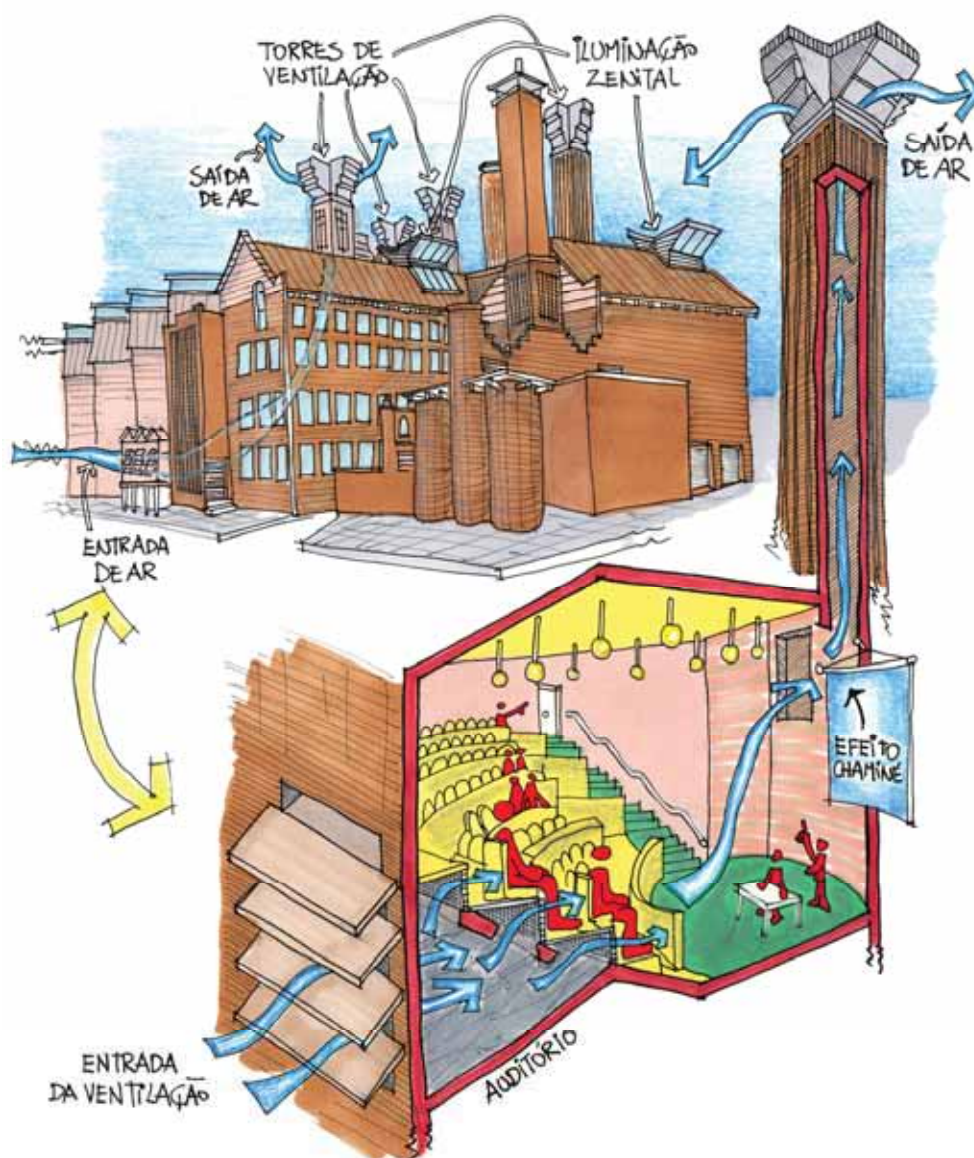


Figura 1-29: Queen's Building

O elemento de maior expressividade arquitetônica do projeto é certamente o conjunto de torres de ventilação dispostos na volumetria do edifício. A iluminação natural também é bastante explorada através de aberturas zenitais e laterais que permitem a entrada da luz, que é conduzida para os ambientes mais internos através de pátios, atriums, paredes translúcidas e mesmo de circulações com elementos translúcidos no piso, que transmitem a luz para os ambientes abaixo. Especial atenção deve se tomar ao auditório, que inclui um sistema bastante inovador de ventilação natural sob a platéia, vinda de aberturas horizontais na fachada, atravessando telas sob os assentos, circulando pelo ambiente e subindo por uma das torres de ventilação.

No **Centro de Proteção Ambiental de Balbina**, dos arquitetos Severiano Porto e Mário Emílio Ribeiro (Porto e Ribeiro 1989), construído em Presidente Figueiredo no Amazonas, os arquitetos utilizaram materiais locais, como a madeira, que foi empregada na cobertura, principal elemento formal do conjunto (Figura 1-30). As telhas são de cavacos de madeira local e sua estrutura de troncos roliços. As paredes são de alvenaria e independentes da cobertura, o que permite livre ventilação natural no vão acima dos ambientes. Como se trata de um centro de pesquisa, alguns laboratórios, devido à natureza de sua utilização, demandam ar condicionado. Algumas clarabóias sobre os ambientes condicionados permitem a visualização da cobertura. O projeto mostra claramente como um arquiteto genuinamente brasileiro utiliza, integra e adapta materiais, técnicas construtivas e forma em um conjunto que poderia, de outro jeito, simplesmente parecer como tantos outros espalhados pelo mundo. Sua arquitetura é um brilhante exemplo de integração formal ao entorno, de expressividade bioclimática, de utilização sustentável dos materiais e técnicas construtivas.



Figura 1-30: Centro de Proteção Ambiental de Balbina

Os hospitais da rede **Sarah Kubitschek** foram projetados pelo arquiteto João Filgueiras Lima, mais conhecido como Lelé (Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, 2000). Lelé utilizou *sheds* na cobertura, que permitem a entrada de luz natural, porém barrando a penetração direta do sol. Esses elementos também permitem a saída de ar, possibilitando a ventilação natural dos ambientes internos (Figura 1-31).

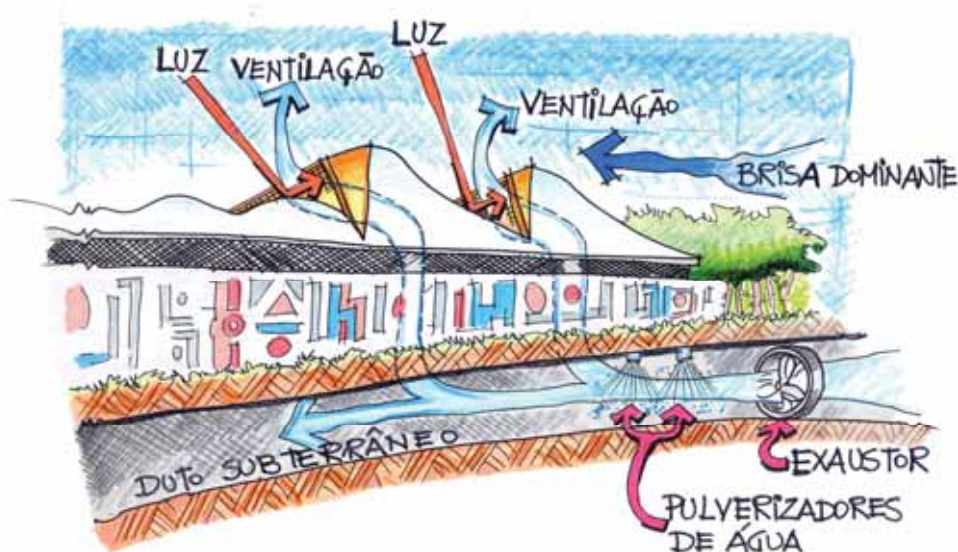


Figura 1-31: Hospital Sarah Kubitschek em Salvador

O **Retiro Tagaste**, (Castro Filho 1989) conjunto destinado a habitação dos padres agostinianos, foi concebido pelo arquiteto João Castro Filho e construído em Ananindeua, no Pará, como analogia a uma árvore grande e frondosa, que protege do sol e ao mesmo tempo permite a ventilação natural (Figura 1-32). Os grandes beirais protegem do sol nos horários onde este é mais indesejado, entre as 9:30 e as 16:30. Na borda do telhado existem quebra-chuvas e na parte mais alta lanternins permitem a entrada de luz e a ventilação cruzada da cobertura. Os materiais são locais, dando expressividade ao conjunto e harmonia com o entorno. É uma autêntica arquitetura dos trópicos, brasileira, bioclimática.

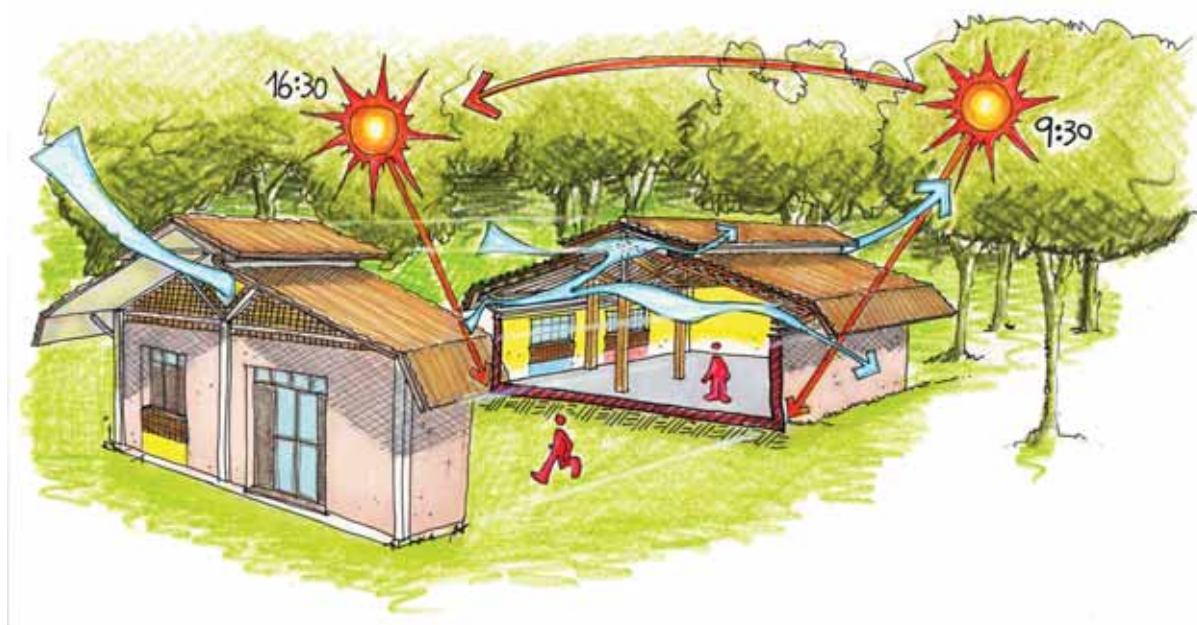


Figura 1-32: Retiro Tagaste

No edifício **Menara Mesiniaga**, na Malásia, completado em 1992, o arquiteto Ken Yeang usa uma combinação de inovações técnicas com vegetação (Jones 1998). Yeang mostra que conhece a trajetória solar, fazendo floreiras suspensas que se posicionam ao redor do edifício nos diversos andares de acordo com alturas e azimutes solares específicos, maximizando a exposição das mesmas ao sol. Segundo o arquiteto, o edifício é baseado na ecologia e nos conceitos bioclimáticos, entretanto usa todos os materiais industrializados, como aço, alumínio e vidro, tendo um visual *high-tech* (Figura 1-33).



Figura 1-33: Menara Mesiniaga

A **Casa Eficiente** foi um projeto que envolveu a Eletrosul, a Eletrobrás e o LabEEE da UFSC (Figura 1-34).



Figura 1-34: Casa Eficiente

A casa é uma vitrine de tecnologias bioclimáticas e sustentáveis. Incluindo a captação da água da chuva, o tratamento dos efluentes por zonas de raízes, o aquecimento solar de água, o uso de painéis fotovoltaicos como fonte de energia alternativa, o emprego de materiais construtivos locais e de isolamento térmico nas paredes duplas e na cobertura (Eletrosul Centrais Elétricas S.A. 2006). Além disso, o projeto contempla a correta orientação solar e a proteção dos ventos indesejáveis do inverno, bem como atende aos requisitos de acessibilidade recomendados pela norma NBR 9050 (ABNT 2004). A casa é, não somente um

exemplo de como integrar diversas técnicas para obter um melhor desempenho, mas também um excelente exemplo de uma arquitetura expressiva, que chama a atenção pela qualidade plástica e volumetria diferenciada. O objetivo é monitorar o consumo de energia e as variáveis ambientais no interior da casa após a construção e servir à comunidade como centro de visitação para estudantes, pesquisadores e profissionais da área. Pode-se fazer uma visita virtual pela casa através do endereço <http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/>.

Mas nem tudo é assim! Embora existam vários edifícios que respondem às necessidades de desempenho térmico e visual, também existem muitos exemplos ruins. Por isso, é muito importante que o arquiteto compreenda as variáveis envolvidas no projeto bioclimático e de eficiência energética, podendo fazer a arquitetura brasileira como uma resposta muito mais adequada aos nossos climas e às necessidades de conforto dos usuários.

1.9 A Atuação de Cada Profissional

É errônea a ideia de associar o trabalho do arquiteto apenas à elaboração do projeto arquitetônico, passando aos outros profissionais a responsabilidade da execução dos projetos complementares e, posteriormente, do edifício. As intenções de projeto e as tomadas de decisões devem ser definidas corretamente possibilitando que a matriz de respostas arquitetônicas dos diversos e inter-relacionados problemas produza, ao invés de resultados superpostos, um resultado integrado.

O ideal é que o arquiteto tenha o conhecimento básico de todos os conceitos relativos ao desempenho energético de edificações para tornar possível e eficiente a multidisciplinaridade de seu projeto (Figura 1-35).



Figura 1-35: Arquiteto como coordenador do processo

Os materiais de construção têm uma forte influência sobre as condições de conforto do ambiente interior. A especificação dos materiais exige o entendimento de suas propriedades e de sua adequação às características plásticas do projeto. O uso de isolamento térmico ou proteção solar em paredes, janelas e telhados, o tipo de telha e o tipo de vidro empregado nas janelas devem ser estudados a fim de se evitar ganhos térmicos excessivos e obter melhorias nas condições de conforto no interior. Esta tarefa deve ser balanceada entre os arquitetos e os outros profissionais, devendo estes conceitos estar presentes desde as etapas iniciais do projeto arquitetônico.

Um melhor aproveitamento do clima pode ser obtido pelo planejamento apropriado de detalhes da edificação. O paisagismo, a orientação e a escolha da tipologia arquitetônica são fundamentais na adequação do edifício ao clima. Algumas decisões do arquiteto quanto à localização de aberturas, por exemplo, podem melhorar a ventilação cruzada de um ambiente, o ganho de calor solar no inverno e a iluminação natural em um ambiente. Entretanto, se isso for feito de forma aleatória, ganhos indesejáveis de calor no verão e perdas no inverno podem ocorrer como consequências. Os dispositivos de sombreamento devem ser usados de maneira a evitar a penetração de radiação solar durante o verão e permitir a entrada da radiação, aquecendo passivamente as salas, nos períodos frios. Mas isso não deve ser generalizado, pois diferentes funções arquitetônicas como, por exemplo, uma sala de leitura em uma biblioteca, podem exigir a total ausência do sol direto no interior, mesmo no inverno. Além disso, a execução da obra deve ser de acordo com o projeto, garantindo o bom desempenho da edificação. O engenheiro mecânico deve saber dimensionar corretamente o sistema de ar condicionado de um edifício considerando o projeto arquitetônico e os cuidados que o arquiteto teve para redução das cargas térmicas, de forma a evitar desperdício de energia.

O engenheiro eletricista, ao elaborar o projeto de iluminação artificial, precisa considerar a sua integração com a luz natural, a qual é projetada pelo arquiteto, bem como especificar luminárias, lâmpadas e reatores mais eficientes e sistemas de controle da iluminação. Também é fundamental a distribuição correta dos pontos de luz, que podem ser direcionados para iluminação de tarefas, possibilitando maior eficiência visual nos ambientes de trabalho e menor consumo de energia.

A energia que a edificação consumirá tem se tornado um forte determinante na decisão dos sistemas de controle ambiental utilizados. A análise do consumo de energia de uma edificação é tão importante para o processo de projeto quanto qualquer das outras ferramentas usadas comumente pelos projetistas. Cabe ao arquiteto coordenar a interlocução dos vários profissionais com o objetivo de melhorar a eficiência energética de sua concepção arquitetônica. Mas para isso, deve ter algum conhecimento, pelo menos básico, sobre as diversas variáveis que influenciam esse processo. Este livro tem como principal objetivo discutir esses conhecimentos...

1.10 Estrutura do Livro

Após esta breve introdução, onde foram revisados diversos momentos históricos, cada qual com suas especificidades culturais, sociais e tecnológicas...



Figura 1-36: personagens

... deve-se lembrar que a arquitetura se encontra hoje em um panorama que torna cada vez mais necessário o controle do consumo de energia. Isto, como já foi dito, induz à necessidade de conceber edificações com melhor eficiência energética.

Para que esta realidade se torne possível é urgente aos arquitetos a compreensão do Conforto Ambiental e, conseqüentemente, o conhecimento das interrelações entre as variáveis que envolvem este conceito. O **SEGUNDO CAPÍTULO** deste livro, intitulado **CONFORTO AMBIENTAL**, estuda os conceitos de conforto térmico e visual do homem, variáveis humanas premissas para a eficiência energética na arquitetura.

Em seguida, o **TERCEIRO CAPÍTULO**, intitulado **ARQUITETURA E CLIMA**, apresenta as principais variáveis climáticas de interesse para a arquitetura. A temperatura, o movimento do ar, a umidade relativa e a radiação solar são fatores climáticos que podem ser sabiamente explorados na arquitetura com o intuito de garantir o conforto dos usuários e a conseqüente racionalização do uso da energia. Este capítulo também esclarece a interrelação destes fatores com as necessidades de conforto do ser humano através da bioclimatologia. É aí que afloram as questões que tornam possível o controle do consumo de energia de uma edificação. A partir dos dados climáticos de diversas cidades brasileiras e da carta bioclimática para edificações serão abordadas as estratégias naturais para aumentar a eficiência energética da arquitetura sob o ponto de vista do frio e do calor. Painéis com um resumo das características bioclimáticas de catorze capitais brasileiras (Belém, Brasília, Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Maceió, Natal, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Luis, São Paulo, e Vitória) finalizam o capítulo.

Os três capítulos seguintes tratam de três dos mais importantes aspectos relacionados à arquitetura bioclimática, a **GEOMETRIA SOLAR**, a **ILUMINAÇÃO NATURAL** e a **VENTILAÇÃO NATURAL**. A geometria solar e os procedimentos para análise e projeto de proteções solares são os temas do **QUARTO CAPÍTULO**. Este indispensável conhecimento é apresentado de forma simples e objetiva ao arquiteto, na tentativa de desmistificar a aparente complexidade do assunto.

Outro conhecimento indispensável a um bom projeto de arquitetura, a iluminação natural é tema do **QUINTO CAPÍTULO**. Através de vários exemplos práticos, o leitor pode compreender como a luz natural pode ser considerada desde o início do processo de projeto, trazendo mais conforto visual aos usuários e garantindo maior qualidade e eficiência energética à arquitetura.

A ventilação natural é apresentada no **SEXTO CAPÍTULO**, onde vários esquemas mostram como a vegetação e elementos da própria arquitetura podem direcionar os fluxos de ar para o edifício, favorecendo as perdas de calor quando necessário, mas também podem bloquear o vento indesejável nos períodos mais frios do ano. Alguns cálculos bastante simples, como o do coeficiente de pressão do vento, o do fluxo de ar que atravessa um ambiente e o do número de trocas de ar são mostrados.

O **SÉTIMO CAPÍTULO** do livro, intitulado PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS, fala sobre conceitos como transmitância térmica, fator solar e capacidade térmica, entre outros, que são descritos com exemplos que visam tornar seus cálculos tarefa quase banal ao arquiteto. O tipo de vidro especificado na edificação bem como cada decisão sobre materiais construtivos ou elementos arquitetônicos a serem empregados influencia diretamente na sua eficiência energética e no conforto ambiental dos usuários.

Uma arquitetura bioclimática que pretenda ter eficiência energética depende também do uso de equipamentos e sistemas mais eficientes, tema do **OITAVO CAPÍTULO** deste livro (EQUIPAMENTOS EFICIENTES). O arquiteto não deve simplesmente escolher um determinado sistema de aquecimento de água, sistema de iluminação artificial, ar condicionado, ventilação mecânica ou aquecimento artificial sem antes ler neste capítulo sobre os aspectos que envolvem os vários equipamentos e sistemas disponíveis no mercado.

O **NONO E ÚLTIMO CAPÍTULO** intitula-se PROJETO DE ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA e mostra as estratégias de projeto mais indicadas para a arquitetura que pretenda ser bioclimática. Embora sem querer traçar uma sequência de projeto ideal, o capítulo mostra como cada etapa do processo de projeto deve considerar diferentes aspectos de forma integrada, visando uma arquitetura formalmente mais expressiva, adequada à realidade brasileira e que inclua conceitos de sustentabilidade. O objetivo deste capítulo é incentivar o arquiteto a utilizar os conceitos discutidos no livro no seu próprio processo projetual. Com isso, pretende-se que a arquitetura bioclimática deixe de ser considerada um conceito aparentemente difícil e de trabalhosa elaboração. Que não seja apenas mais um epíteto que possa promover este ou aquele arquiteto, mas configure-se, na verdade, como um dever de todo arquiteto e um direito de todo usuário.

###

REFERÊNCIAS:

ABNT (2004). *NBR 9050*, Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Segunda edição, Rio de Janeiro.

ABNT (2005a). *NBR15215-1*, Iluminação Natural - Parte 1: Conceitos básicos e definições.

- ABNT (2005b). *NBR15215-2, Iluminação Natural - Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural.*
- ABNT (2005c). *NBR15215-3, Iluminação Natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos.*
- ABNT (2005d). *NBR15215-4, Iluminação Natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição.*
- ABNT (2005e). *NBR 15220-1, Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.*
- ABNT (2005f). *NBR 15220-2, 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.*
- ABNT (2005g). *NBR 15220-3, Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.*
- ABNT (2005h). *NBR 15220-4, Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida.*
- ABNT (2005i). *NBR 15220-5, Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.*
- ALMEIDA, M. A.; Schaeffer, R.; La Rovere, E. L. (2001). *The potential for electricity conservation and peak load reduction in the residential sector of Brazil.* in: **Energy** 26, Elsevier Science Ltd., 413-429.
- AMSONEIT, W; TASCHEN, B; (1994). *Contemporary european architects.* Vol.1. Benedikt Taschen, Germany.
- ANTUNES, B. (2004). *Por uma nova atitude.* in: **Arquitetura & Urbanismo**, Edição 123, junho de 2004. PINI, São Paulo, pp.50-59. e:
- ARPLUS (2000). *Cooling towers.* in: **The Architectural Review**, no 1235, January 2000 Emap Construct, London, pp.63-65.
- ARPLUS (2001). *Revolted Suburbs.* in: **The Architectural Review**, no 1252, June 2001 Emap Construct, London, pp.75-77.
- ASHRAE STANDARD 90.1-2004 (2004). *Energy standard for buildings except low-rise residential buildings.* SI Edition (ANSI Approved; IESNA Co-sponsored). Disponível em: <http://www.ashrae.org>
- BICCA, P.; (1984). *Arquiteto a máscara e a face.* Projeto Editores Associados, São Paulo, SP.
- BOESIGER, W.; GIRSBERGER, H.; (1971). *Le corbusier 1910-65.* Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona.
- BRASIL (2006). *Balanço energético nacional 2006: ano base 2005.* Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro. 188p.
- BRASÍLIA - Distrito Federal; (2001a). *Decreto Lei 10.295.* Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>
- BRASÍLIA - Distrito Federal; (2001b). *Decreto Lei 4059.* 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.
- CASTRO FILHO, J. (1989). *Retiro tagaste, uma arquitetura para a amazônia.* in: **Projeto**, Edição 120, abril de 1989. Projeto Editores Associados Ltda., São Paulo, pp.106-111.

- CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES - CB3E.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem>. Acesso em: outubro/2012
- ELETROBRÁS** (2007a). *Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - ano base 2005 - classe residencial*. Eletrobras, 2007. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B05070313-120A-45FD-964D-5641D6083F80%7D>. Acesso em: outubro/2012.
- ELETROBRÁS** (2007b). *Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: sumário executivo - ano base 2005*. Eletrobras, 2007. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B05070313-120A-45FD-964D-5641D6083F80%7D>. Acesso em: outubro/2012.
- ELETROSUL** Centrais Elétricas S.A. (2006). *Projeto casa eficiente*. Disponível em: <http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/index.php>, acesso em: 31 de outubro de 2006.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE).** Balanço energético nacional 2012: ano base 2011. Rio de Janeiro: EPE, 2012. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2012.pdf. Acesso em outubro/2012.
- ESPI,** Mariano Vásquez; (1999). *Una brevísima historia de la arquitectura solar*. in: Ciudades para um Futuro Más Sostenible, Boletim CF+S. Número 9, Instituto Juan de Herrera, Madrid, España. Disponível em: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>. Acesso em: 14 fev. 2006.
- FERREIRA,** Aurélio Buarque de Holanda; (1999). *Dicionário aurélio eletrônico - século XXI*. Nova Fronteira.
- GELLER,** H.; (1994). *O uso eficiente da eletricidade - uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil*. INEE, ACEEE, Rio de Janeiro, RJ.
- GOULART,** S. V. G.; Lamberts, R. (2005a). *AET n° 03/04 - Levantamento da experiência internacional - experiência européia*. Relatório Interno do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE-200520, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- GOULART,** S. V. G.; Lamberts, R. (2005b). *AET n° 03/04 - Levantamento da experiência internacional - experiência nos estados unidos*. Relatório Interno do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE-200508, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- HHP** (2006). *Hockerton housing project*. Hockerton, England. Disponível em: <http://www.hockertonhousingproject.org.uk>, acesso em 31 de outubro de 2006.
- HOUSE** of Representatives Senate (2005). *Energy policy act of 2005 - federal programs*. 1724p. Disponível em: <http://www.fsec.ucf.edu/epact-05.htm>
- INMETRO;** (2006). *Programa brasileiro de etiquetagem*. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe.asp>. Acesso em: 14 fev. 2006.
- INSTITUTO** Lina Bo e P. M. Bardi, (2000). *João filgueiras lima - lelê*. Editorial Blau Lda., Lisboa, pp.191-202.
- JONES,** D. L., (1998). *Architecture and the environment - bioclimatic building design*. The Overlook Press, New York, USA.
- LABEEE** (2011a). *Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais*. Elaborado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/etiquetagem/residencial/downloads>.

- LABEEE (2011b). *Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos*. Elaborado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/etiquetagem/comercial/downloads>.
- MEYHÖFER, D.; (1994). *Contemporary european architects*. Vol.2. Benedikt Taschen, Germany.
- PORTO, S. M.; Ribeiro, M. E.; (1989). *Um centro que aproveita o potencial da madeira*. in: Projeto, Edição 125, setembro de 1989. Projeto Editores Associados Ltda., São paulo, pp.69-75.
- ROMERO, M. A. B. (2001). *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. 2ed. São Paulo, ProEditores.
- RUDOFISKY, B.; (1981). *Architecture without architects - a short introduction to non pedigreed architecture*. London: Academy.
- SHELTER Publications; (1973). *Shelter*. California, EUA.
- SINPHA (1999). *Sistema de informações de posses de eletrodomésticos e hábitos de consumo*. Versão 2.0, Núcleo de Estatística Profissional, PUC, Rio de Janeiro.
- VITRUVIO, M. L.; (1982). *Los diez libros de arquitectura*. Editora Iberia S. A., Barcelona.
- YANNAS, S. (1994). *Design of educational buildings*. Environment and Energy Studies Programme, Architectural Association Graduate School, London.
- Bibliografia também consultada:**
- ANEEL (2002). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília. 153p.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL - FOCUS (2001). *Programa de Racionamento de Energia Elétrica no Brasil*. Paper. 12p.
- BARDELIN, C. E. A. (2004). *Os Efeitos do Racionamento de Energia Elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no Consumo de Energia Elétrica*. Dissertação, São Paulo. 113p.
- CORBELLA, C.; YANNAS, S.; (2003). *Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos - Conforto Ambiental*. Revan, Rio de Janeiro. 288p.
- ENARCH'83; (1983). *Architettura bioclimatica - bioclimatic architecture*. De Luca Editore, Roma, Italy.
- INMETRO. *Regulamento Específico para Uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE (Condicionadores de Ar Domésticos)*. 5° edição. 2003.
- JANNUZZI, G. M.; SCHIPPER, L.; (1991). *Structure of eletricity in the brasilian household sector*. in: Energy Policy, Butterworth-Heinemann, november.
- LOMARDO, L. L. B.; (1988). *Consumo de Energia nos Grandes Prédios Comerciais: Estudos de Caso*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Nuclear e Planejamento Energético - UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.
- MASCARENHAS, A. C. R. ET AL; (1995). *Conservação de Energia em Edificações Comerciais da Cidade de Salvador*. in: Anais do III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado, RS, pp 421-426.
- MINISTÉRIO de Minas e Energia (2010). *Balanço Energético Nacional 2010: Ano base 2009 - BEN 2010*. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro.
- PROCEL. *Potência e Consumo de Equipamentos Elétricos*. Disponível em: www.eletrobras.gov.br/procel

TOLEDO, L. M. A.; (1995). *Uso de Energia Elétrica em Edifícios Públicos e Comerciais de Florianópolis*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, SC.



CONFORTO AMBIENTAL

sumário

2	CONFORTO AMBIENTAL.....	43
2.1	Conforto Térmico.....	43
2.1.1	Mecanismos Termorreguladores	44
2.1.2	Conceito de Conforto	46
2.1.3	Variáveis de Conforto Térmico	46
2.1.4	Índices de Conforto Térmico.....	49
2.1.5	Programas de Análise e Simulação de Conforto Térmico	51
2.1.6	Instrumentos de medição	53
2.2	Conforto Visual	57
2.2.1	Nível de Iluminação	57
2.2.2	Contraste	58
2.2.3	Ofuscamento	59
2.2.4	Escalar e Vetor Iluminação.....	62
	REFERÊNCIAS	64

CAPÍTULO 2:

2 CONFORTO AMBIENTAL

O Conforto Ambiental pode ser entendido como um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo. Embora o tema seja bastante amplo, neste livro será concentrado em dois aspectos: o conforto térmico e o conforto visual.

Embora o clima seja bem distinto em qualquer região da Terra, o ser humano é biologicamente parecido em todo o mundo, sendo adaptável a diferentes condições climáticas ao se utilizar de mecanismos culturais como a vestimenta, a arquitetura e a tecnologia. Antes de entender o funcionamento destes mecanismos é fundamental o estudo das variáveis de Conforto Térmico e Visual relevantes ao tema deste livro. A importância destas variáveis se baseia na premissa de que existe uma forte correlação entre conforto e consumo de energia.

2.1 Conforto Térmico

O homem é um ser homeotérmico, ou seja, a temperatura interna do organismo tende a permanecer constante independente das condições do clima. Com o uso do oxigênio o organismo promove a queima das calorias existentes nos alimentos (processo conhecido como metabolismo), transformando-as em energia. Assim, é gerado o calor interno do corpo. Entretanto, sempre existem trocas térmicas entre o corpo humano e o meio. A Figura 2-1 mostra que estas trocas podem ocorrer por condução, convecção, radiação, evaporação e respiração, processos que dependem de certas variáveis de conforto térmico.

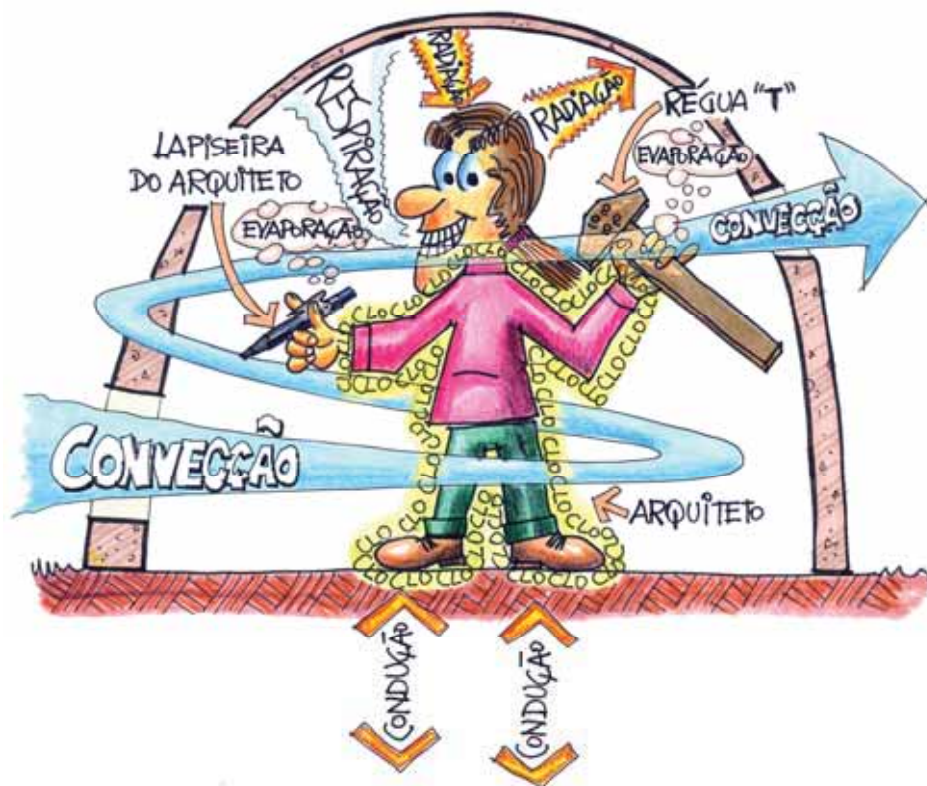


Figura 2-1: Trocas térmicas no ser humano

2.1.1 Mecanismos Termorreguladores

Havendo ganho ou perda de calor, pode haver uma tendência ao aumento ou à diminuição da temperatura interna do organismo (situada por volta de 37°C), podendo causar danos à saúde e até mesmo a morte. Por este motivo existem mecanismos com a finalidade de manter a temperatura interna constante, chamados Termorreguladores, ativados quando as condições térmicas do meio ultrapassam certas faixas.

Na presença de frio, os mecanismos termorreguladores são ativados com o objetivo de evitar perdas térmicas do corpo ou aumentar a produção interna de calor. O primeiro mecanismo termorregulador a ser disparado é a vasoconstrição periférica, ou seja, os vasos capilares mais próximos à pele se contraem, enquanto os mais próximos aos órgãos internos se dilatam (Figura 2-2). Desta forma a pele se resfria, atingindo uma temperatura o mais próxima possível à do meio, evitando perdas de calor por radiação e por convecção (Ramon 1980).

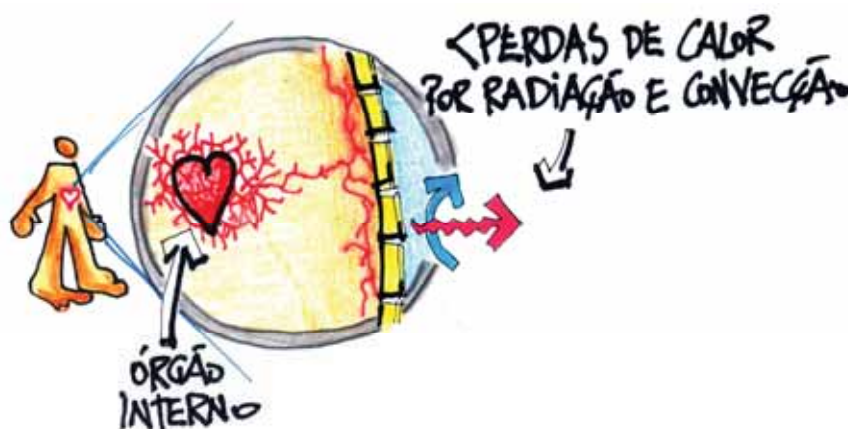


Figura 2-2: Vasoconstrição periférica

O segundo mecanismo termorregulador ativado na presença de frio é o arrepio (Figura 2-3). O movimento muscular que provoca o arrepio aquece a pele por atrito além de aumentar sua rugosidade, evitando perdas de calor por convecção.

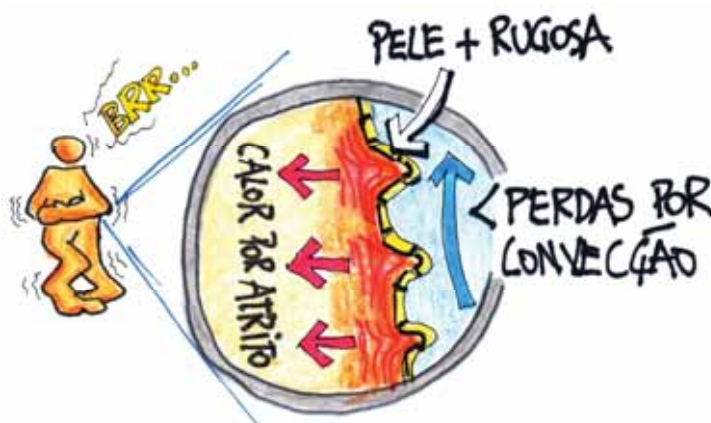


Figura 2-3: Arrepio

Após o arrepio, se o frio ainda for agressivo, haverá o aumento do metabolismo entre trinta e cem por cento, que pode se manifestar pelo tremor dos músculos. Assim o calor produzido internamente será maior, compensando as perdas do organismo para o meio.

A partir daí o homem lança mão de mecanismos instintivos (como curvar o corpo, diminuindo a área de exposição da pele) e culturais (como esfregar as mãos, fazer alguma atividade física ou ingerir alguma bebida quente) e faz uso de suas habilidades (tecer roupas e construir abrigos) para melhor se adaptar ao meio (Figura 2-4).



Figura 2-4: Mecanismos instintivos e culturais

No caso de calor o primeiro mecanismo termorregulador a ser disparado é a vasodilatação periférica, que ao contrário da vasoconstrição periférica, aumenta a temperatura da pele, incrementando perdas de calor por convecção e por radiação (Figura 2-5).

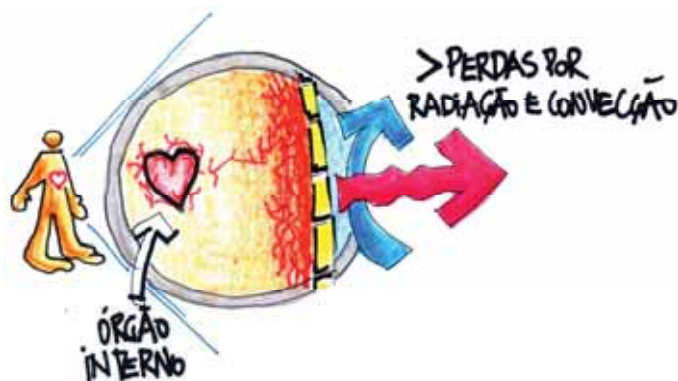


Figura 2-5: Vasodilatação periférica

O segundo mecanismo disparado é também o mais importante para a sensação de conforto térmico: o suor (Figura 2-6). Os poros sempre estão produzindo o suor, que vai sendo evaporado no seu interior. Esta evaporação incrementa as perdas de calor do corpo. Quando a temperatura da pele aumenta muito ou quando o ar está muito úmido, o suor não pode ser totalmente evaporado, ficando na superfície.

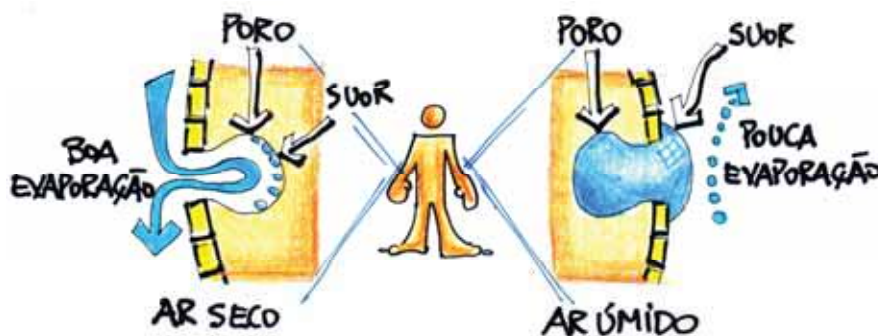


Figura 2-6: Suor

Também pode haver a redução automática do metabolismo a fim de diminuir a produção interna de calor no organismo. Existem também mecanismos instintivos e culturais que podem ser aplicados em situações de desconforto por calor (Figura 2-7).



Figura 2-7: Mecanismos instintivos e culturais

2.1.2 Conceito de Conforto

Segundo a ASHRAE (2005), Conforto Térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente Conforto Térmico.

2.1.3 Variáveis de Conforto Térmico

Variáveis Ambientais

As variáveis ambientais que influenciam no conforto térmico e podem ser medidas diretamente são a temperatura do ar (T_{AR} - °C), a temperatura radiante (TRM - °C), a umidade relativa (UR - %) e a velocidade do ar (V - m/s), conforme a Figura 2-8.

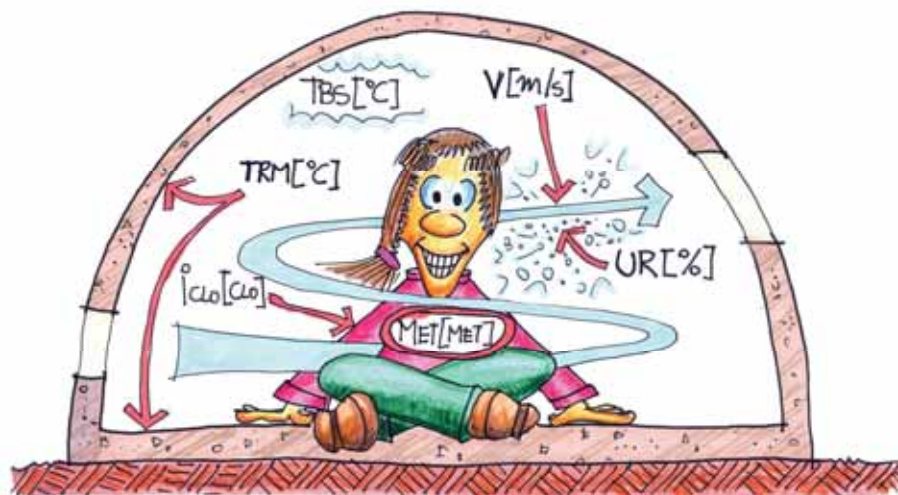


Figura 2-8: Variáveis ambientais

Além destas variáveis, a atividade física (MET - *met* ou W/m^2) e a vestimenta (I_{clo} - *clo* ou $m^2 \cdot ^\circ C/W$) também interagem na sensação de conforto térmico do homem.

Atividade Física

Quanto maior a atividade física, tanto maior será o calor gerado por metabolismo. É importante ao arquiteto saber a função de sua arquitetura de forma a prever o nível de atividade realizado no seu interior, tirando daí algumas premissas sobre a sensação de conforto térmico das pessoas. Em academias de ginásticas, por exemplo, onde a atividade física é muito intensa, é recomendável o uso abundante de ventilação (tanto para resfriamento quanto para higiene do ar). Já em uma sala de aula, embora se deva ter boa ventilação, é necessário dosar os fluxos de ar de forma a evitar que atrapalhem a atenção ou que façam voar papéis.

Na Figura 2-9 são apresentados os valores de metabolismo para algumas atividades físicas segundo a Norma ISO 7730 (2005).

É importante considerar que um homem adulto e uma mulher adulta têm, respectivamente, $1,8 \text{ m}^2$ e $1,6 \text{ m}^2$ de superfície corporal. Nesse caso, os valores da figura poderão ser convertidos para W/m^2 . Um homem adulto caminhando ($\text{MET} = 300\text{W}$ segundo Figura 2-9), por exemplo, tem um metabolismo de 165 W/m^2 ($300\text{W} \div 1,8 \text{ m}^2$).

Para obter mais detalhes sobre atividades físicas e seu respectivo metabolismo é interessante recorrer à própria ISO 7730 ou à ASHRAE (2005).

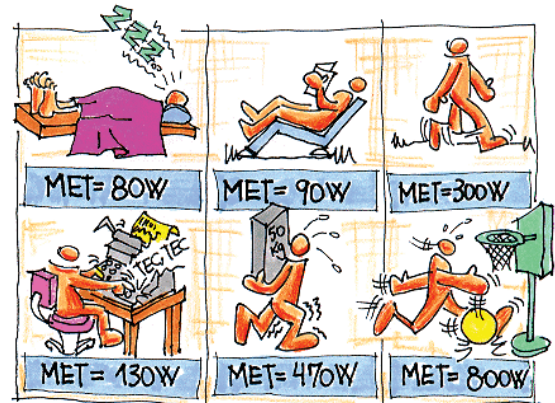


Figura 2-9: Atividades físicas e respectivo metabolismo segundo a ISO 7730

A área de superfície do corpo nu pode ser facilmente calculada pela Expressão de DuBois, dada por:

$$A_{DU} = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot l^{0,725}$$

Equação 2-1: cálculo da área de DuBois

onde:

- A_{DU} = área superficial do corpo ou área de DuBois (m^2);
- m = massa do corpo (kg);
- l = altura do corpo (m)

A Tabela 2-1, compilada a partir da ISO 7730, apresenta os valores de metabolismo para algumas atividades em W/m^2 e em *met*. O *met* é outra unidade de metabolismo e representa o valor de metabolismo de uma pessoa relaxada. Assim, 1 *met* equivale a $58,15 \text{ W/m}^2$ de área de superfície corporal. O metabolismo mais baixo é alcançado com a pessoa dormindo, e equivale a aproximadamente 0,8 *met*. O valor mais alto é atingido durante a prática de esforços extremos, como em esportes, que geralmente atingem a taxa de 10 *met*.

Tabela 2-1: Valores de metabolismo para algumas atividades

Atividade	Metabolismo	
	W/m ²	met
Dormir	41	0,7
Reclinado	46	0,8
Sentado, relaxado	58	1,0
Em pé relaxado ou atividade sedentária (escritório, escola, etc)	70	1,2
Fazer compras, atividades laboratoriais, lavar pratos em pé	93	1,6
Cozinhar	93 a 116	1,6 a 2,0
Limpar	116 a 198	2,0 a 3,4
Lavar e passar roupas	116 a 209	3,4 a 3,6
Caminhando em local plano a 2 km/h	110	1,9
a 3 km/h	140	2,4
a 4 km/h	165	2,8
a 5 km/h	200	3,4
Subindo rampas inclinadas (velocidade de 1,6 km/h) a 5%	140	2,4
a 15%	169	2,9
a 20%	209	3,6
Datilografar	52 a 70	0,9 a 1,2
Barbear-se, banhar-se e vestir-se	99	1,7

Vestimenta

A resistência térmica da roupa também é de grande importância na sensação de conforto térmico do homem. Esta variável é medida em “*clo*”: do inglês *clothing*, sendo que 1 *clo* representa uma resistência térmica de 0,155 m²°C/W e equivalente à resistência térmica de um terno completo. A pele troca calor por condução, convecção e radiação com a roupa, que por sua vez troca calor com o ar por convecção e com outras superfícies por radiação.

Quanto maior a resistência térmica da roupa, menor serão suas trocas de calor com o meio. Poderia parecer estranho o fato de em climas muito quentes e secos se utilizar roupas longas. Neste caso, o suor evaporado permanece entre a pele e a roupa, criando um microclima mais ameno, além de se diminuir as perdas de líquido do corpo por evaporação. Na Figura 2-10 se tem os valores dos índices de resistência térmica de alguns tipos de vestimenta. Maiores detalhes poderão também ser obtidos na ASHRAE (2005) ou na ISO 7730 (2005).

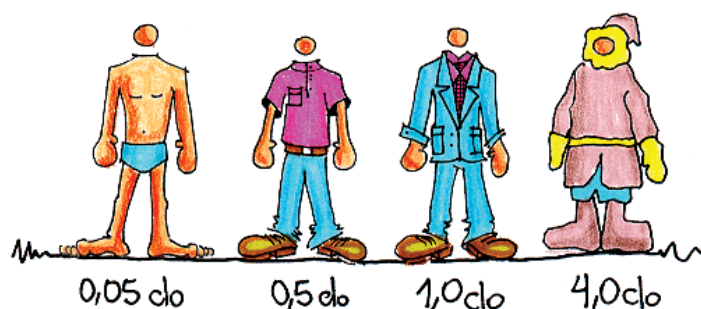


Figura 2-10: Resistência térmica de algumas vestimentas

A Tabela 2-2 apresenta o índice de resistência térmica (I_{clo}) para as principais peças de roupas.

Tabela 2-2: Valores de I_{clo} para algumas vestimentas

Vestimenta	I_{clo}	Vestimenta	I_{clo}
Meia calça	0,10	Colete em tecido leve	0,15
Meia fina	0,03	Colete em tecido pesado	0,29
Meia grossa	0,05	Sueter em tecido pesado	0,37
Calcinha e sutiã	0,03	Saia grossa	0,25
Cueca	0,03	Vestido leve	0,15
Cuecão longo	0,10	Vestido grosso manga comprida	0,40
Short	0,11	Jaqueta tecido leve	0,22
Bermuda	0,15	Jaqueta tecido pesado	0,49
Camiseta de baixo	0,09	Calça fina	0,20
Camisa de baixo mangas compridas	0,12	Calça média	0,25
Camisa manga curta	0,15	Calça flanela	0,28
Camisa fina manga comprida	0,20	Sandálias	0,02
Camisa manga comprida	0,25	Sapatos	0,04
Camisa flanela manga comprida	0,30	Botas	0,08
Blusa com mangas compridas	0,15		

2.1.4 Índices de Conforto Térmico

O conforto térmico sempre foi um conceito subjetivo, pois diversos são os fatores e variáveis que influenciam no bem estar térmico do homem no meio em que se encontra. Muitos pesquisadores buscaram enquadrar de forma simplificada este conceito para facilitar sua compreensão e mesmo prever quando o conforto ou desconforto ocorreria em determinada situação. Entre as principais e mais atuais tentativas, destacam-se os índices de conforto térmico a seguir.

O Voto Médio Predito (PMV)

Fanger (1972) derivou uma equação geral de conforto para calcular a combinação das variáveis ambientais incluindo temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, temperatura do ar, atividade física e vestimenta. Através de trabalho

experimental, Fanger avaliou pessoas de diferentes nacionalidades, idades e sexos obtendo o Voto Médio Predito (PMV do inglês *predicted mean vote*) para determinadas condições ambientais. O PMV consiste em um valor numérico que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor. O PMV para conforto térmico é zero, para o frio é negativo e para o calor é positivo (Figura 2-11).

A partir daí, foi implementado o conceito de Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD do inglês *predicted percentage of dissatisfied*). A Norma ISO 7730 de 2005 adota as pesquisas de Fanger, recomendando que em espaços de ocupação humana termicamente moderados o PPD deve ser menor que 10%, o que corresponde a uma faixa do PMV de -0,5 a +0,5.

As equações para cálculo do PMV e do PPD podem ser vistas em Auliciems e Szokolay (1997). Embora estes cálculos possam ser bastante complexos, uma maneira fácil de se obter os valores de PMV e de PPD é através do programa Analysis-CST (item 2.1.5).

Na Figura 2-11 observa-se a curva a que chegou Fanger ao relacionar o PMV e o PPD. A escala de variação é indicada mais à esquerda da figura.

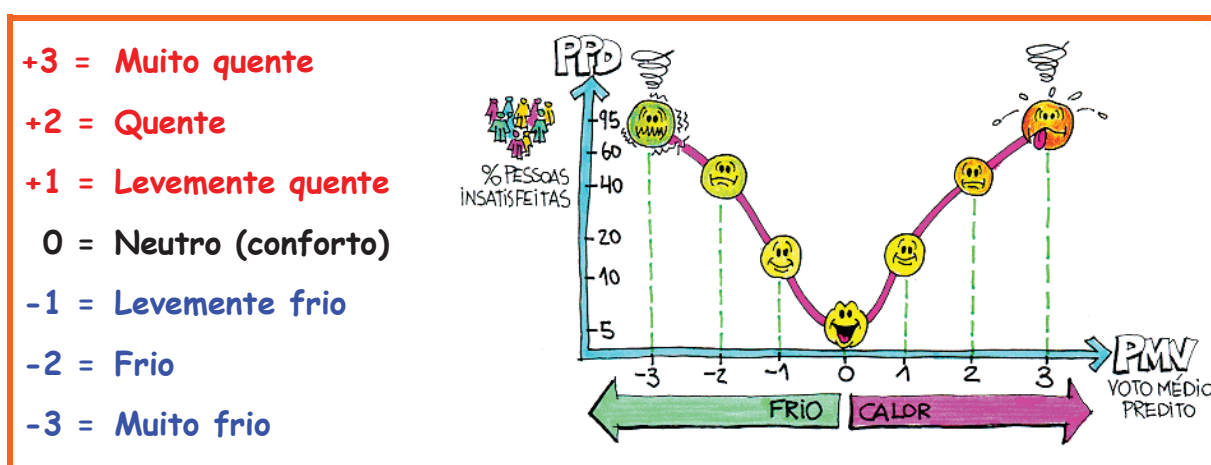


Figura 2-11: Gráfico que relaciona PMV e PPD

Na Figura 2-12 observa-se que a resistência térmica da roupa influencia bastante na sensação de conforto de uma pessoa. Em climas muito frios, por exemplo, além de necessitar de roupas com maior resistência térmica, talvez seja preciso que a pessoa aumente seu metabolismo, praticando alguma atividade física, para sentir conforto térmico.

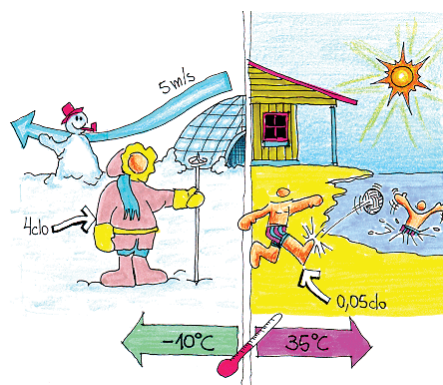


Figura 2-12: Resistência térmica X conforto

É considerado aceitável um ambiente que esteja dentro das seguintes faixas de PMV:

$$-0,5 < \text{PMV} < +0,5$$

Além disso, segundo a norma internacional ISO 7730 (2005, p21), os limites de conforto operativos são recomendados em função da vestimenta e da atividade exercida.

Pesquisas de Humphreys

Existem outros estudos que tentam determinar a temperatura de conforto. Diferentemente de Fanger, Humphreys (1975) estuda o fator da aclimatização das pessoas frente a determinado clima, relacionando a temperatura de conforto com a temperatura média do local em estudo. Humphreys desenvolve, assim, o conceito da Temperatura Neutra, que pode ser calculada pela seguinte equação.

$$T_n = 2,6 + (0,831 \times T_m)$$

onde:

- T_n = Temperatura neutra em °C;
- T_m = Temperatura média do ar em °C (no período que se esta estudando).

O modelo adaptativo, semelhante ao conceito de Humphreys, é utilizado pela ASHRAE Standard 55 (ASHRAE 2010) para determinação das condições aceitáveis de conforto térmico em ambientes com ventilação natural.

2.1.5 Programas de Análise e Simulação de Conforto Térmico Analysis-CST

The screenshot shows the 'Análise De Conforto Térmico' window. It has a menu bar with 'Vestimentas ISO 7730 1994', 'Atividades ISO 7730 1994', 'Ambiente', 'Relatório', and 'Figura'. Below the menu is a tabbed interface with 'Trajes' and 'Peça a Peça' (selected). The 'Peça a Peça' tab contains several groups of clothing items with checkboxes: 'Roupa de Baixo' (Calcinha, Cueção, Singlet, Camiseta, Camisa manga longa, Calcinha e sutiã), 'Calças' (Bermudas, Calça tecido fino, Calça normal, Calça de flanela), 'Suéteres' (Colete, Suéter fino, Suéter, Suéter grosso), 'c/ Isolante, em fibra' (Macacão, Calças, Jaquetas, Colete), 'Camisas e Blusas' (Manga curta, Fina, manga longa, Normal, manga longa, Camisa de flanela, manga longa, Blusa fina, manga longa), 'Saías e Vestidos' (Saia fina(Verão), Saia grossa(Inverno), Vestido fino, mangas curtas, Vestido de inverno, mangas longas, Macacão), 'Jaquetas' (Jaqueta fina de verão, Jaqueta, Avental), 'p/ amb. abertos' (Casaco, Jaquetas, Parka, Macacão em fibra), and 'Diversos' (Meias, Meia curta, grossa, Meia longa, grossa, Meia calça de Nylon, Sapato(Sola fina), Sapato sola grossa, Botas, Luvas). At the bottom, there are input fields for 'Vestimenta' (Peça a Peça, 0.98 [clo]), 'Atividade' (70 [W/m²], 1.2 [met]), and 'Ambiente' (Temp. Ar: 23 [°C], T. Globo: 28 [°C], Veloc. do Ar: 0.3 [m/s], U. Relativa: 70 %, T. Méd. Ext. Mensal: [°C], Pressão Bar.: 101.325 [kPa]). Buttons at the bottom include 'Gerar Relatório', 'Novo', 'Dados Via Arquivo', and 'Sair'.

Figura: 2-13: Programa Analysis-CST

O programa Analysis-CST (de Conforto e Estresse Térmico) permite ao arquiteto conhecer os conceitos de PMV e PPD (ver item 2.1.4) e sua relação com variáveis ambientais como a temperatura, a umidade relativa, a temperatura radiante média, a vestimenta e o metabolismo, entre outras. Assim, o profissional pode prever a condição de conforto

térmico a que o usuário estará submetido em um ambiente interior frente aos valores das citadas variáveis (Figura: 2-13). É um importante aliado nas etapas iniciais do processo de projeto, pois auxilia a compreensão de como o ser humano reage a alterações térmicas num ambiente. Pode ser também utilizado para estabelecer limites térmicos a serem perseguidos posteriormente em programas de simulação mais avançados.

Programa de Cálculo do PMV da Macquarie University - Sydney

Este programa da Macquarie University (Dear 2007) disponível diretamente na Internet pode ser acessado através do endereço <<http://atmos.es.mq.edu.au/~rdear/pmv/>> e calcula os índices PMV e PPD conforme os dados de entrada (Figura 2-14).

Figura 2-14: Programa de cálculo de PMV e PPD

Comfort Calculator

O Comfort Calculator, do grupo Square One research (Square One 2007a), calcula os índices PMV e PPD diretamente conforme os dados de entrada. Este programa é gratuito e pode ser obtido através do endereço <<http://www.squ1.com>>. (Figura 2-15)

Figura 2-15: Comfort Calculator

PMV Tool

Outro programa do mesmo grupo de pesquisa é o PMVTool (Square One 2007b), que também calcula os índices PMV e PPD, porém acrescentando um gráfico que mostra a influência de cada parâmetro ambiental nos cálculos. Uma interessante qualidade deste programa é que ele permite ao usuário fixar determinado parâmetro ambiental de forma a poder buscar os valores possíveis dos demais parâmetros que proporcionem um PMV próximo de zero, obtendo conforto térmico (Figura 2-16).

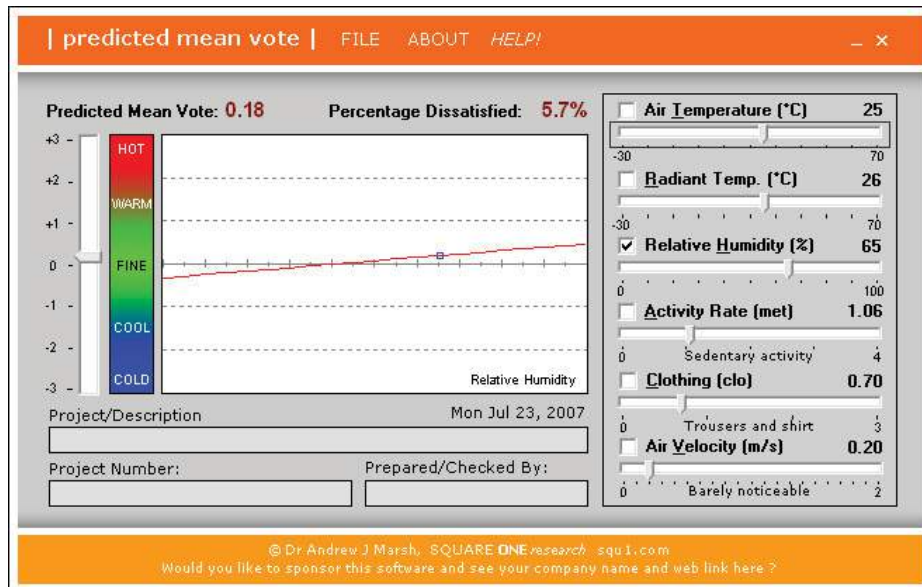


Figura 2-16: PMVTool

2.1.6 Instrumentos de medição

As variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante, umidade relativa e velocidade do ar) podem ser medidas com diversos instrumentos.

Termômetros

Os termômetros são utilizados para medir a temperatura de várias fontes de calor. Para medir a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), utiliza-se o **TERMÔMETRO DE BULBO SECO**. Para medir a temperatura de globo ($^{\circ}\text{C}$), utilizada no cálculo da temperatura radiante média, deve-se utilizar o **TERMÔMETRO DE GLOBO**.

Termômetro de Globo e Cálculo da Temperatura Radiante Média (TRM)

O termômetro de globo (Figura 2-17) possui um globo oco com diâmetro de 15 cm que absorve qualquer efeito da radiação térmica sobre o bulbo instalado no seu interior, além de evitar o contato deste com possível convecção.

O globo é normalmente de cobre pintado com cor especial preta, cuja emissividade é igual a 0,95. Ambos os termômetros existem na forma analógica (com escala de mercúrio) e digital.

Pode-se, a partir do valor medido de temperatura radiante (ou temperatura de globo) calcular a temperatura radiante média (TRM).

A TRM descreve o ambiente radiante em um ponto no espaço. Por exemplo, o efeito radiante em alguém próximo a uma lareira é bastante alto devido à alta temperatura do fogo. Um telhado quente pode também aquecer um ambiente devido a sua grande área

radiante. O efeito radiante pode também ser negativo, como no caso de uma pessoa parada em frente a uma janela no inverno.



Figura 2-17: termômetro de globo, psicrômetro giratório e anemômetro

A TRM pode ser calculada através de dados de temperatura de globo (TG) e da temperatura do ar (TBS). Devem-se obter os valores da temperatura do termômetro de globo (TG, em °C), da temperatura do ar (TBS, em °C), da velocidade do ar (V, em m/s) e também saber o diâmetro do globo padrão (valor padrão de 15cm = 0,15 metros na equação).

Em seguida, calculam-se os valores do coeficiente h_{cg} (coeficiente de troca de calor por convecção do globo) para duas situações distintas: convecção natural e convecção forçada, através das duas seguintes equações:

$$h_{cg} = 1,4 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{D}} \quad (\text{CONVECÇÃO NATURAL})$$

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

onde:

- ΔT = diferença entre a temperatura de globo e a temperatura de bulbo seco em módulo ($^{\circ}\text{C}$), calculada por $\Delta T = |TG - TBS|$,

onde:

- TG = temperatura de globo ($^{\circ}\text{C}$);
- TBS = temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$);
- D = diâmetro do globo, padronizado em 15cm (0,15m na equação);
- V = velocidade do ar em m/s.

Este coeficiente indica quando a convecção é dominante ou não. O maior valor de h_{cg} achado indica qual equação usar no cálculo da TRM. Adota-se a fórmula da TRM para a forma de convecção que apresentar o **MAIOR** coeficiente h_{cg} .

(CONVECÇÃO NATURAL)

$$TRM = \sqrt[4]{(TG + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \cdot \sqrt[4]{|TG - TBS|} \cdot (TG - TBS)} - 273$$

(CONVECÇÃO FORÇADA)

$$TRM = \sqrt[4]{(TG + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot V^{0,6} \cdot (TG - TBS)} - 273$$

Psicrômetros

Os psicrômetros são utilizados para medição da umidade relativa do ar (%). O psicrômetro giratório (Figura 2-17) possui dois termômetros, um de bulbo seco e um de bulbo úmido com ventilação forçada. Deve-se umedecer com água destilada o tecido que envolve o bulbo do termômetro de bulbo úmido e girar o psicrômetro por um minuto. Durante esse tempo, a circulação de ar devida ao giro do aparelho incrementa a evaporação da água contida no tecido, resfriando o bulbo úmido. Esse resfriamento é então lido pelo termômetro de bulbo úmido e a diferença entre esta temperatura e a temperatura de bulbo seco resulta, com auxílio de uma Carta Psicrométrica, na umidade relativa do ar. A Figura 2-18 mostra este procedimento feito sobre uma carta psicrométrica para pressão atmosférica ao nível do mar.

A carta psicrométrica (Figura 2-18) é uma ferramenta importante no entendimento das transformações do ar úmido, ou seja, diferentes combinações das variações de temperatura e de umidade e as influências nos processos de transferência de calor.

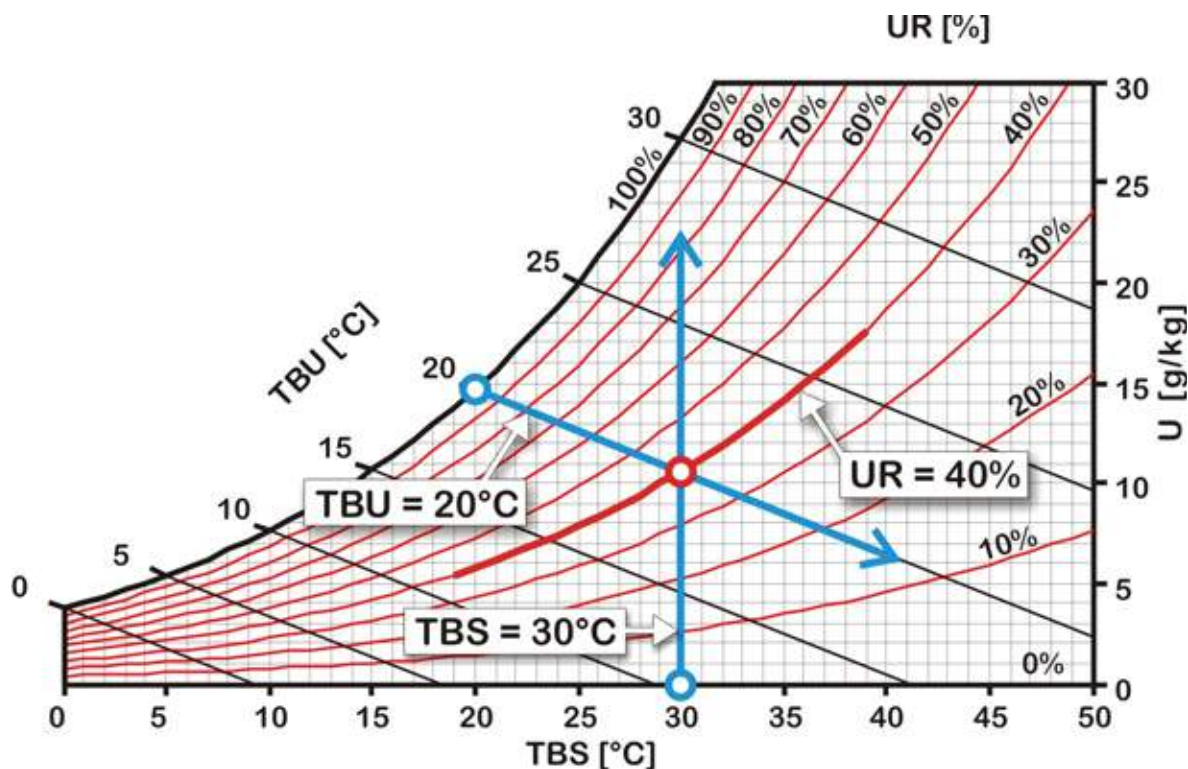


Figura 2-18: Carta Psicrométrica e as relações entre temperatura e umidade relativa

Anemômetros

A medição da velocidade do ar (m/s) é feita com auxílio de anemômetros (Figura 2-17). Os anemômetros mais comuns são o de copos, o de palhetas e o de fio quente, também conhecido como term oanemômetro. O anemômetro de copos é normalmente utilizado em estações meteorológicas. O anemômetro de palhetas, que pode ser tanto analógico quanto digital, deve ser direcionado no sentido de onde vem o vento. O term oanemômetro também mede o movimento de ar direcional, sendo, entretanto, bem mais preciso que os outros dois modelos de anemômetro.

Confortímetro

O confortímetro reúne num único aparelho sensores para a medição de todas as variáveis ambientais, como temperatura de bulbo seco (TBS), temperatura de bulbo úmido (TBU), umidade relativa (UR), temperatura de globo (TG) e velocidade do ar (V_{ar}). Através da conexão destes sensores com um computador que acompanha o aparelho, podem-se calcular índices de conforto, como o PMV, desenvolver gráficos de comportamento das variáveis ambientais medidas e armazenar dados destas variáveis para futuras análises e comparações.

Data Loggers compactos

Os *Data Loggers* são aparelhos normalmente bastante compactos para monitoração das condições ambientais em ambientes e no exterior por certo período de tempo. Possuem baterias internas que permitem a leitura e armazenagem dos dados desejados em intervalos de tempo pré-determinados. Os dados armazenados podem ser facilmente transferidos para um computador para posterior análise.

Segundo a ISO 7726 (1998), a precisão desejável para medições de temperatura é de aproximadamente $0,2^{\circ}\text{C}$ para cálculos de conforto térmico. Os *data loggers* têm precisão de aproximadamente $0,4^{\circ}\text{C}$, podendo ser limitados para algumas aplicações.

2.2 Conforto Visual

O Conforto Visual é um importante fator a ser considerado na determinação da necessidade de iluminação em um edifício. A boa iluminação deve ter direcionamento adequado e intensidade suficiente sobre o local de trabalho, bem como proporcionar boa definição de cores e ausência de ofuscamento. Os ambientes construídos (internos e externos) são iluminados para permitir o desenvolvimento de tarefas visuais (como leitura, visão, manufatura ou consertos). É, portanto, muito importante que se saiba o que influencia a habilidade das pessoas em desempenhar estas tarefas. A consideração dos aspectos fundamentais a respeito da iluminação de ambientes no projeto é, sem dúvida, a medida mais efetiva no controle das qualidades visuais destes ambientes. Conforto Visual é entendido como a existência de um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidentes. Estas condições, que estão relacionadas aos requisitos necessários para a ocorrência tranquila do processo visual (visão), podem ser classificadas como seguem (European Commission Directorate 1994):

- Iluminância suficiente;
- Boa distribuição de iluminâncias;
- Ausência de ofuscamento;
- Contrastes adequados (proporção de luminâncias) e
- Bom padrão e direção de sombras.

Deve-se ressaltar que a boa distribuição de iluminâncias não é sinônimo de uniformidade e que o contraste e o padrão das sombras ideal dependem da tarefa visual.

2.2.1 Nível de Iluminação

É importante balancear a qualidade e a quantidade de iluminação em um ambiente, bem como escolher adequadamente a fonte de luz natural ou artificial. Torna-se difícil, no entanto, estimar as preferências humanas à iluminação, visto que este fator varia conforme a idade da pessoa, a hora do dia e as relações contextuais com o local. O emprego preferencial da luz natural permite às pessoas maior tolerância à variação do nível de iluminação ou iluminância. Também se pode dizer que quanto mais complicada a tarefa a ser desempenhada em um ambiente e quanto mais velha for a pessoa, tanto maior deverá ser o nível de iluminação de um local. A iluminação inadequada pode causar fadiga visual, dor de cabeça e irritabilidade, além de provocar erros e acidentes (European Commission Directorate 1994).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 5413 (ABNT 1992), fixa as iluminâncias mínimas a serem atingidas em função do tipo de tarefa visual.

De forma simplificada pode ser feita uma verificação inicial do nível de iluminação necessário em um ambiente com a utilização de um luxímetro (Figura 2-19), medindo, segundo o procedimento exposto na NBR 15215-4 (ABNT 2005), a iluminância no local onde a tarefa visual é realizada e seguindo como diretriz os valores da Tabela 2-3. Entretanto, para uma verificação mais precisa, os valores constantes na NBR 5413 devem ser seguidos.

Tabela 2-3: Nível de iluminação necessário em ambientes

Classificação	Nível de iluminação a ser obtido	Tarefa
BAIXA	100 a 200 lux	• Circulação • Reconhecimento facial • Leitura casual • Armazenamento • Refeição • Terminais de vídeo
MÉDIA	300 a 500 lux	• Leitura/escrita de documentos com alto contraste • Participação de conferências
ALTA	500 a 1000 lux	• Leitura/escrita de documentos com fontes pequenas e baixo contraste • Desenho técnico

O sensor a ser utilizado para desenvolver as medições de nível de iluminação é uma fotocélula (elemento sensível à luz). O aparelho geralmente destinado a estas medições é chamado de luxímetro (Figura 2-19).

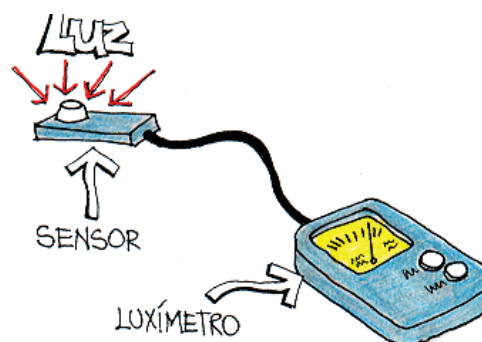


Figura 2-19: Luxímetro

2.2.2 Contraste

Contraste é definido pela relação entre a luminância (brilho) de um objeto e a luminância do entorno imediato deste objeto. Em pleno dia podemos perceber diferenças de luminâncias de até 1%, mas sob condições precárias de iluminação até diferenças de 10% podem passar despercebidas. A sensibilidade ao contraste melhora com o aumento da luminância, que por sua vez é função da iluminação, até certos limites (possibilidade de ocorrer ofuscamento). Uma aplicação importante da sensibilidade ao contraste é a iluminação de sinalização de emergência tipo “SAÍDA”. No caso de incêndio deve haver um alto contraste entre o sinal e o ambiente cheio de fumaça para permitir que o mesmo seja visível.

A avaliação do contraste pode ser feita de forma simplificada observando-se as taxas de proporção de luminâncias da Tabela 2-4:

Tabela 2-4: Proporção de luminâncias para avaliação de contraste

Proporção	Relação
• Entre a tarefa e o entorno imediato	3 : 1
• Entre a tarefa e superfícies escuras mais afastadas	10 : 1
• Entre a tarefa e superfícies claras mais afastadas	0,1 : 1
• Entre a fonte de luz (natural ou artificial) e superfícies adjacentes	20 : 1
• Máximo contraste em qualquer parte do campo de visão.	40 : 1

As luminâncias podem ser medidas por um fotômetro especial chamado luminancímetro (Figura 2-20). Tal instrumento mede luz proveniente de um ângulo sólido que varia de 20° até $0,33^\circ$. Os levantamentos da distribuição de luminâncias no campo de visão mantido por uma pessoa, no desenvolvimento de determinada tarefa visual podem ser úteis na solução de problemas visuais existentes.

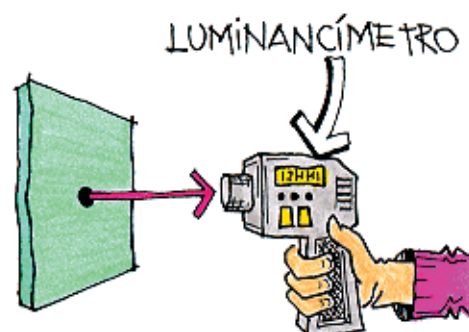


Figura 2-20: Luminancímetro

2.2.3 Ofuscamento

Quando o processo de adaptação não transcorre normalmente devido a uma variação muito grande da iluminação e/ou a uma velocidade muito grande, experimenta-se uma perturbação, desconforto ou até perda na visibilidade, que é chamada de ofuscamento. O ofuscamento pode ocorrer devido a dois efeitos distintos:

- **CONTRASTE**, caso a proporção entre as luminâncias de objetos do campo visual seja maior do que 10:1;
- **SATURAÇÃO**, o olho é saturado com luz em excesso; esta saturação ocorre normalmente quando a luminância média da cena excede 25.000 cd/m^2 .

Os ofuscamentos podem ser classificados como **DESCONFORTÁVEIS** ou **PERTURBADORES** e **INABILITADORES**. Os primeiros não impedem necessariamente o desenvolvimento da tarefa visual. São atribuídos à tendência do olho de fixar em objetos ou pontos brilhantes dentro do campo visual (fontes de luz ou reflexos intensos em superfícies muito polidas). O grau de desconforto produzido por luminárias é função de quatro parâmetros: luminância da fonte, tamanho da fonte, ângulo entre a fonte e a linha de visão do observador e a capacidade de adaptação do observador.

O **OFUSCAMENTO DIRETO** pode ser provocado pela geometria do ambiente visual. Quando uma fonte de luz está localizada mais próxima ao centro de visão, o ofuscamento é mais acentuado (Figura 2-21). A presença do sol ou mesmo da luz natural difusa no mesmo campo de visão de alguém que está trabalhando num computador, pode ofuscar a leitura do monitor.

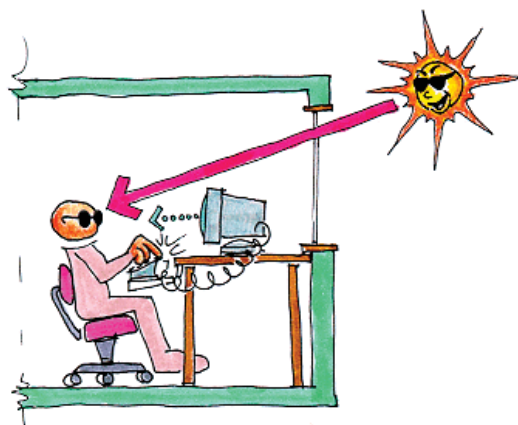


Figura 2-21: Ofuscamento direto

Uma vez que as luminárias são fontes potenciais de ofuscamento direto, muita pesquisa tem sido feita para quantificar e reduzir esse problema. Luminárias com difusores do tipo “caixa de ovos”, com difusores normais, aletadas, com filtros de vidro, entre outras, são usadas com esse intuito (Figura 2-22).

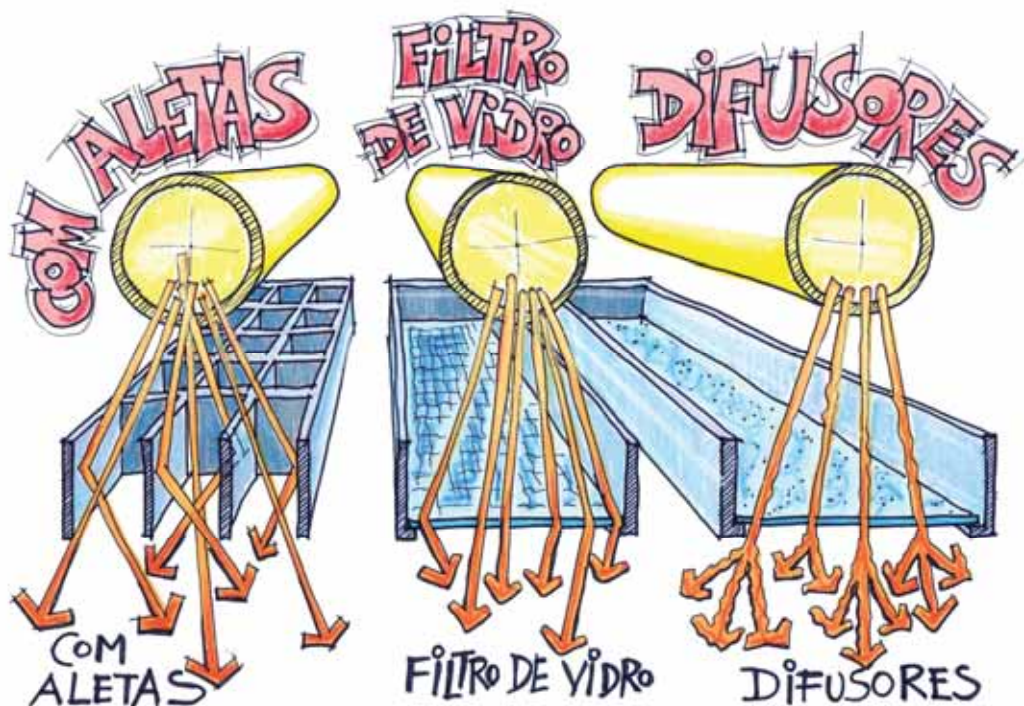


Figura 2-22: Controle do ofuscamento com luminárias especiais

Estes controladores óticos eliminam ou reduzem o ofuscamento reduzindo a luz emitida na zona do ofuscamento direto. A Figura 2-23 mostra como a zona de ofuscamento direto da fonte de luz (45° abaixo da horizontal) corresponde à zona de ofuscamento direto do observador (45° acima da horizontal).

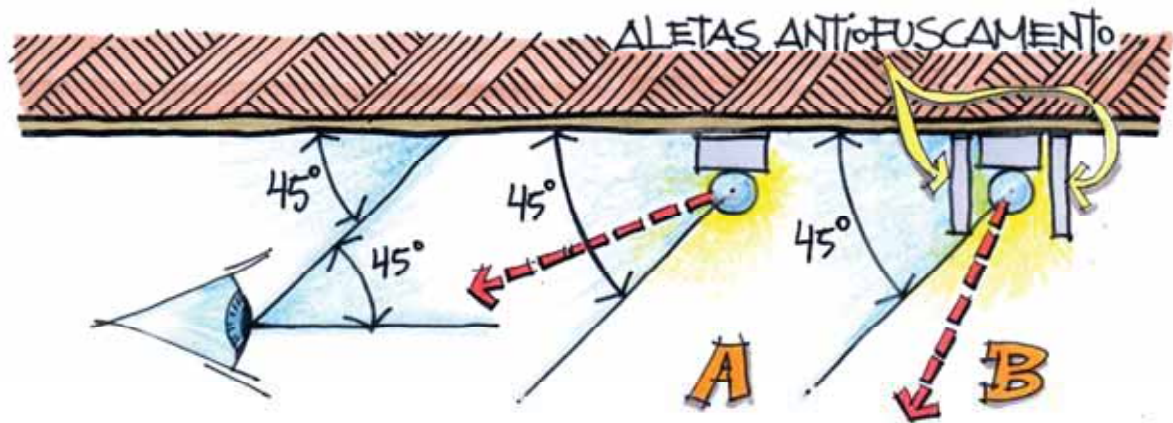


Figura 2-23: Zona de ofuscamento direto

A lâmpada na situação “A” causa ofuscamento porque a luz é emitida dentro da zona de ofuscamento direto, enquanto que a luminária colocada em “B” evita esse problema.

A luz indireta utiliza o teto como uma grande fonte de luz refletida, evitando quase completamente o ofuscamento (Figura 2-24).



Figura 2-24: Iluminação indireta através do teto

O **OFUSCAMENTO INDIRETO**, causado pela reflexão de fontes de luz numa superfície polida, pode ser evitado com a especificação de superfícies com acabamento fosco. Isso é muito utilizado em galerias de arte, onde as obras devem ser protegidas contra poeira e contato dos usuários através de um vidro que seja ao mesmo tempo transparente e fosco. Caso não seja possível utilizar essa solução, deve-se projetar corretamente o sistema de iluminação para evitar o ofuscamento em superfícies polidas.

O ofuscamento causado por reflexões de luz em superfícies impressas reflexivas é conhecido como **OFUSCAMENTO POR FALTA DE CONTRASTE**, pois reduz o contraste necessário para uma boa visibilidade. Essas reflexões são maximizadas quando o ângulo de incidência da luz é igual ao ângulo de reflexão, estabelecido pela posição dos olhos (Figura 2-25).

O campo da tarefa visual de leitura ou escrita é, usualmente, uma zona definida entre os ângulos de 25° e 40° medidos a partir de uma linha vertical que passa pelos olhos do usuário (Figura 2-25). Um material polido colocado nessa zona irá refletir a luz proveniente de uma zona correspondente no teto, conforme parte “B” da Figura 2-25.

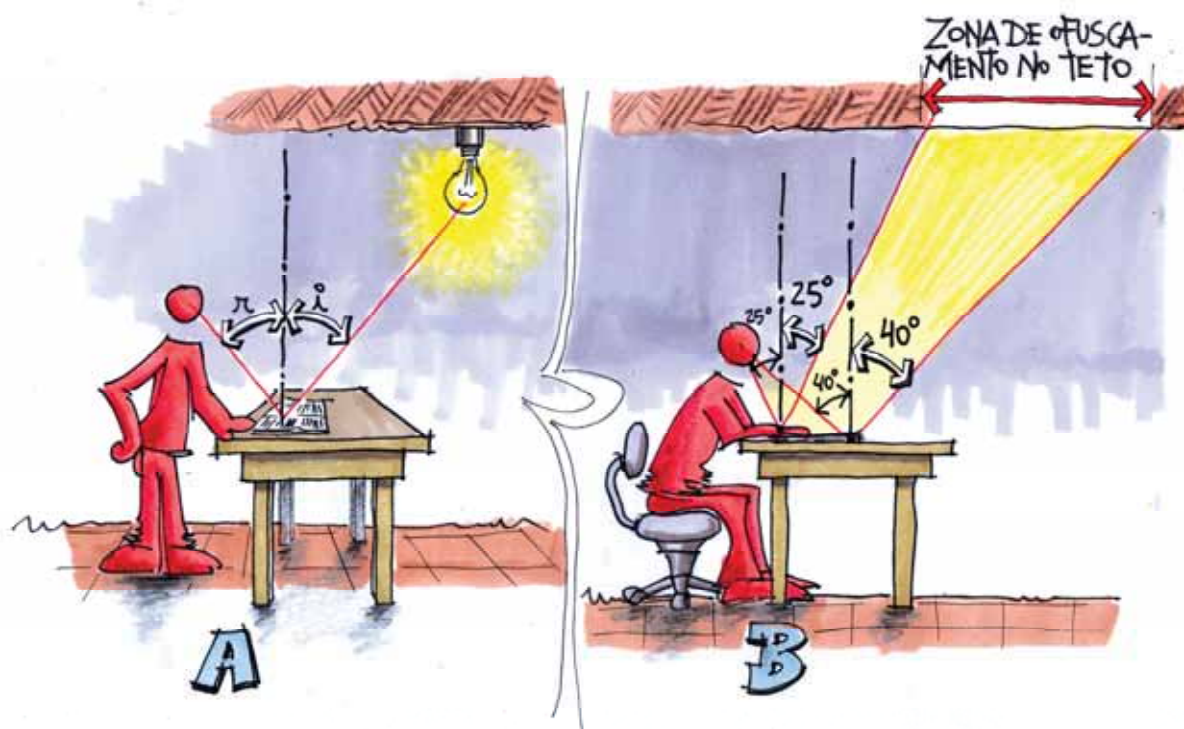


Figura 2-25: Zona de ofuscamento no teto

Cuidados especiais devem ser tomados em projetos de ambientes de leitura e escrita, como salas de aula e bibliotecas, para evitar problemas de ofuscamento por falta de contraste quando o papel do material sendo lido é relativamente reflexivo.

O **OFUSCAMENTO DESABILITADOR** atrapalha o desenvolvimento da tarefa visual. Isso pode ser perigoso em certas circunstâncias. Pode acontecer de três maneiras:

1. Espalhamento de luz pelo cristalino produzindo uma luminância na retina encobrindo a imagem da cena;
2. Tempo insuficiente do olho para adaptar-se a uma diferença de luminâncias;
3. Imagens fantasmas, produzidas por flash de câmeras fotográficas, visão do sol, faróis, etc. O processo de adaptação retinal lento sofre um distúrbio devido à luz excessiva. O cérebro se confunde e continua a ver imagens da fonte de luz, alternando o positivo e negativo numa frequência decrescente. A visão normal é restaurada após 5 a 10 minutos.

2.2.4 Escalar e Vetor Iluminação

As condições de iluminação são usualmente descritas, medidas ou especificadas em termos de luminância num dado plano, mais frequentemente num plano de trabalho horizontal (tomada a uma altura entre 0,75 e 0,9 metros) e, em algumas vezes, vertical ou inclinado. Em outras palavras, iluminação planar. Entretanto, isto não descreve totalmente as condições de iluminação. Certa iluminação pode ser produzida por um estreito raio de luz, vindo de uma determinada direção, ou por um ambiente onde a luz vem de todas as direções. Um sensor de luz plano registra a luz proveniente de um hemisfério e não distingue entre um raio de luz e um ambiente difuso. Existem certos ambientes, tais como praças de esporte, palcos, museus, estradas, etc., onde o objeto central da tarefa visual é essencialmente tridimensional; nestes casos a iluminação planar oferece informação limitada sobre as reais condições de iluminação (Figura 2-26).

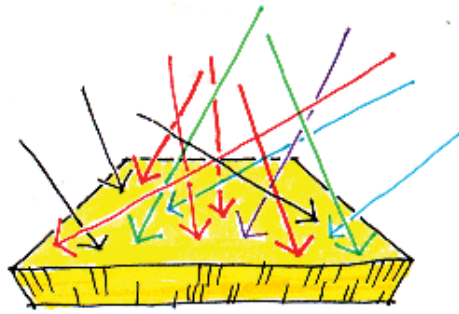


Figura 2-26: Iluminação planar

Iluminação escalar é a iluminância média recebida por uma pequena esfera, proveniente de todas as direções, isto é, o fluxo total incidente na esfera dividido pela sua superfície (medido em lux).

Vetor iluminação é uma figura composta, apresentando magnitude e direção. Sua magnitude é a diferença máxima de iluminação entre dois pontos diametralmente opostos na superfície de uma pequena esfera. Sua direção é dada pelo diâmetro que liga os dois pontos que apresentam a máxima diferença.

Em geral a iluminação uniformemente distribuída no plano de trabalho é desejada em ambientes industriais e comerciais, associada com efeitos direcionais e sombras da iluminação geral, para acentuar a profundidade e forma dos objetos. As sombras resultantes estão diretamente associadas a características de direcionalidade e intensidade do campo luminoso.

A taxa vetor iluminação/iluminação escalar, associada com a direção do vetor, é um parâmetro utilizado para estimar a direcionalidade da luz e suas qualidades de modelação de objetos. Esta taxa pode ser determinada para qualquer ponto no espaço e, teoricamente, varia entre 0 e 4, sendo que, na prática, os valores se situam entre 0,25 e 3,5. Um valor alto é necessário para revelar forma e textura e pode resultar num ambiente mais dramático, entretanto pode dificultar o reconhecimento de certos detalhes (por exemplo, feições). Em ambientes difusos, valores baixos para vetor/escalar podem ser mais agradáveis, mas não apresentam boa definição de sombras (Figura 2-27).



Figura 2-27: Ambiente Dramático X Ambiente Difuso

Todas as condições físicas da luz, analisadas anteriormente, podem ser resultantes de fontes de luz natural ou artificial. Salvo algumas exceções (câmaras escuras, boates,

cinemas, ...), a maioria dos espaços ocupados pelo homem necessitam abundantemente de luz. A luz natural é qualitativamente superior à luz artificial. Sua variabilidade, por exemplo, permite ao homem a percepção espaço-temporal do lugar onde se encontra. O jogo de intensidades diferenciadas de luz, sombras e de reprodução das cores são informações espaço-temporais que a luz natural fornece ao homem, fundamentais ao funcionamento do seu relógio biológico.

A iluminação artificial permite ao homem estender suas atividades em momentos onde a luz natural não é suficiente ou não está presente (à noite, por exemplo). Isto tudo faz com que o arquiteto necessite pensar em iluminação de forma a integrar fontes de luz naturais e artificiais. Assim, além de conceber ambientes mais agradáveis, onde o conforto visual é sempre possível, o projetista pode (como se verá mais adiante) tomar seu projeto mais eficiente com relação ao consumo de energia elétrica necessária para o sistema de iluminação artificial.



Após estes conceitos, é importante ressaltar que o conforto térmico e o conforto visual devem ser considerados em conjunto no projeto arquitetônico. Esta visão integrada torna possível o bom desempenho energético da arquitetura que, sendo adequada às necessidades do usuário, consumirá menor quantidade de energia para condicionamento térmico e iluminação.

REFERÊNCIAS

- ABNT - NBR 15215-4 (2005). Iluminação Natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição.
- ABNT; (1992). NBR 5413 - Iluminância de interiores.
- ANDERSON, B.; Wells, M.; (1981). *Passive solar energy*. Brick House Publishing Co., Massachusetts, USA.
- ASHRAE; (2005). *Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, USA.
- ASHRAE (2010). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2010: Thermal environmental conditions for human occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, EUA.
- AULICIEMS, A.; Szokolay, S. V.; (1997). *Thermal comfort*. PLEA NOTES, Passive and Low Energy Architecture International, The University of Queensland, Brisbane.
- CIBSE (1986). *Summertime temperatures in buildings. CIBSE GUIDE (Section A8)*, The Chartered Institution of Building Services, London.
- COMMISSION of the European Communities; (1992). *Energy conscious design: a primer for architects*. B. T. Batsford Ltd., London, UK.
- DEAR, R. de; (2007). *Human heat balance*. Atmospheric Science, Macquarie University, Sydney. Disponível em <<http://atmos.es.mq.edu.au/~rddear/pmv/>>, acesso em 23 de julho de 2007.

- EUROPEAN Commission Directorate - General For Energy; (1994). *Daylighting in buildings*. Energy Research Group, School of Architecture, University College Dublin Richview Clonskeagh, Dublin, Ireland.
- FANGER, P. O.; (1972). *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill, New York, USA.
- GIVONI, B.; (1992). *Confort, climate analysis and building design guidelines*. Energy and Building, vol. 18, July/92, pp. 11-23.
- GONZALEZ, E.; Hinz, E.; Oteiza, P.; Quiros, C.; (1986). *Proyecto clima y arquitectura*. Ediciones Gustavo Gili, S. A., México.
- GOULART, S. V. G.; Barbosa, M. J.; Pietrobon, C. E.; Bogo, A.; Pitta, T.; (1994). *Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico*. Relatório Interno no 02/94, Núcleo de Pesquisa em Construção, UFSC, Florianópolis, SC.
- HUMPHREYS, M. A.; (1975). *Field studies of thermal comfort compared and applied*. in: Building Research Establishment Current Paper, 75/76, Watfort - UK.
- INTERNATIONAL Organization for Standardization - ISO 7726; (1998). *Ergonomics of the thermal environment - instruments for measuring physical quantities*. Geneva, Switzerland. Disponível em <<http://www.iso.ch>>, acesso em outubro/2012.
- INTERNATIONAL Organization for Standardization - ISO 7730; (2005). *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Geneva, Switzerland. Disponível em <<http://www.iso.ch>>, acesso em outubro/2012.
- KOENIGSBERGER, O. H.; Ingersoll, T.G.; Mayhew, A.; Szokolay, S.V. (1977). *Viviendas y edificios en zonas calidas y tropicales*. ed. Paraninfo. Spain, 1977.
- OLGYAY, V.; (1968). *Clima y arquitectura en Colombia*. Universidad del Valle. Facultad de Arquitectura. Cali, Colombia.
- OLGYAY, V.; (1973). *Design with climate - bioclimatic approach to architectural regionalism*. 4° ed. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- RAMON, F.; (1980). *Ropa sudor y arquitecturas*. H. Blume Ediciones. Madrid, Espanha.
- SQUARE One Research (2007a). *Comfort calculator (ISO 7730-1993)*. Square One Research, Cardiff, UK. Disponível em <www.squ1.com>, acesso em 23 de julho de 2007.
- SQUARE One Research (2007b). *PMVTool*. Square One Research, Cardiff, UK. Disponível em <www.squ1.com>, acesso em 23 de julho de 2007.
- SZOKOLAY, S. V.; (1987). *Thermal design of buildings*. RIAA Education Division, Red Hill, Austrália.
- WATSON, D.; Labs, K.; (1983). *Climatic design: energy-efficient building principles and practices*. McGraw-Hill, New York, USA.



ARQUITETURA E CLIMA

sumário

3	ARQUITETURA E CLIMA	71
3.1	Variáveis Climáticas.....	71
3.1.1	RADIAÇÃO SOLAR	72
3.1.2	LUZ NATURAL	76
3.1.3	TEMPERATURA	77
3.1.4	VENTO	79
3.1.5	UMIDADE	80
3.2	CLIMAS DO MUNDO	81
3.3	OS CLIMAS DO BRASIL	81
3.4	MICROCLIMA	83
3.5	A BIOCLIMATOLOGIA APLICADA À ARQUITETURA.....	83
3.5.1	ZONA DE CONFORTO	86
3.5.2	ZONA DE VENTILAÇÃO NATURAL.....	87
3.5.3	ZONA DE INÉRCIA TÉRMICA PARA RESFRIAMENTO.....	88
3.5.4	ZONA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO e UMIDIFICAÇÃO	88
3.5.5	ZONA DE AQUECIMENTO SOLAR.....	89
3.5.6	ZONAS DE CONDICIONAMENTO ARTIFICIAL COM ISOLAMENTO TÉRMICO ..	90
3.5.7	ZONA DE SOMBREAMENTO	91
3.5.8	INTERSEÇÕES ENTRE ESTRATÉGIAS.....	91
3.6	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO BIOCLIMÁTICA	92
3.6.1	AVALIAÇÃO BIOCLIMÁTICA COM DADOS CLIMÁTICOS HORÁRIOS.....	92
3.6.2	AVALIAÇÃO BIOCLIMÁTICA PELAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS	93
3.7	Zoneamento Bioclimático Brasileiro	97
3.7.1	ZONA 1	98
3.7.2	ZONA 2	98
3.7.3	ZONA 3	98
3.7.4	ZONA 4	98
3.7.5	ZONA 5	98
3.7.6	ZONA 6	98
3.7.7	ZONA 7	98

3.7.8	ZONA 8.....	99
3.8	Programas de Análises Bioclimáticas.....	100
3.8.1	O Programa <i>Analysis-Bio</i>	100
3.9	“Painel Bioclimático”	101
	REFERÊNCIAS	103

CAPÍTULO 3:

3 ARQUITETURA E CLIMA

Antes de traçar o primeiro rabisco do projeto, deve-se ter como premissa um estudo do clima e do local. Este estudo fornece informações básicas à montagem do programa de necessidades. Um bom projeto de arquitetura deve responder simultaneamente à eficiência energética e às necessidades de conforto do usuário em função das informações obtidas da análise climática e formuladas no programa de necessidades.

É importante o conhecimento das diferenças conceituais existentes entre tempo e clima. Tempo é a variação diária das condições atmosféricas, enquanto que clima é a condição média do tempo em uma dada região baseada em medições em longos períodos de tempo (30 anos ou mais). Um projeto arquitetônico deve considerar o clima local e suas variáveis, que se alteram ao longo do ano devido a elementos de controle, tais como: proximidade à água (pois a terra se aquece ou esfria mais rapidamente que a água); altitude (a temperatura do ar tende a diminuir com o aumento da altitude na ordem de -1°C para cada 100 metros de altitude); barreiras montanhosas e correntes oceânicas.

Os fatores climáticos atuam de forma intrínseca na natureza. A ação simultânea das variáveis climáticas terá influência no conforto do espaço arquitetônico construído.



Figura 3-1: dica 1

3.1 Variáveis Climáticas

As variáveis climáticas são quantificadas em estações meteorológicas e descrevem as características gerais de uma região em termos de sol, nuvens, temperatura, ventos, umidade e precipitações. É fundamental o conhecimento destas variáveis para o projeto de edificações mais adequadas ao conforto do seu ocupante e mais eficientes em termos de consumo de energia.

Os dados climáticos mais difundidos no Brasil são as NORMAIS CLIMATOLÓGICAS, publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (1979) e pelo Departamento Nacional de Meteorologia (1992). Estes são compostos por valores médios e extremos mensais de temperatura, umidade, precipitação, nebulosidade, horas de sol, entre outros. As Normais Climatológicas foram instituídas no Brasil obedecendo aos critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), com intuito de assegurar a comparação entre os dados climáticos de diversas partes do mundo. Os períodos de trinta anos de medições padronizados já concluídos no Brasil são os anos de 1901 a 1930, 1931 a 1960 e 1961 a 1990.

Existem dados de Normais Climatológicas para centenas de cidades brasileiras que, na ausência de algo mais preciso, servem satisfatoriamente a uma análise climática do local do projeto. Devido à variabilidade do tempo meteorológico de dia para dia, e ao fato de a resposta térmica da edificação estar, muitas vezes, ligada ao dia anterior, a análise das Normais, de dias típicos de verão e inverno ou de temperaturas de projeto, não é suficiente para avaliar o desempenho energético de um edifício com precisão. O **ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA** (TRY do inglês *Test Reference Year*) é a base de dados mais precisa para uma análise completa da adequação da edificação ao clima local. Fornece a possibilidade de simulação horária do consumo de energia durante um ano, possibilitando a avaliação do custo-benefício de opções mais eficientes. Em Florianópolis foi feito o tratamento dos dados climáticos para algumas cidades do Brasil (Goulart e outros 1997), para a definição do TRY e de dias típicos estatísticos. Estes dados resultaram em um Ano Climático de Referência para cada cidade. Além do TRY, foram elaborados também dias típicos de projeto, entre outras informações estatísticas para cada cidade. A disponibilidade reduzida destes dados, que somam apenas catorze cidades brasileiras até o momento, é fator limitante do uso do TRY para inúmeros locais, onde as Normais são ainda a única solução.

Semelhante ao TRY, o Ano Meteorológico Típico (TMY - *Typical Meteorological Year*) já é disponível para vinte cidades brasileiras. Desenvolvidos pelo *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e pelo Laboratório LABSOLAR da UFSC, os arquivos no formato TMY podem ser visualizados diretamente em planilha eletrônica.

3.1.1 **RADIAÇÃO SOLAR**

A radiação solar é a principal fonte de energia para o planeta. Tanto como fonte de calor quanto como fonte de luz, o Sol é um elemento de extrema importância no estudo da eficiência energética na arquitetura. É possível tirar partido ou evitar a luz e o calor solar em uma edificação, e o critério mais sábio para definir o que fazer é ter como premissas básicas o conforto térmico e visual dos ocupantes e a economia de energia. Porém, o que normalmente se faz é adotar um dos enfoques (luz ou calor) como prioridade, deixando o segundo para ser resolvido posteriormente com sistemas artificiais - consumidores em potencial de energia. Para romper esta “tradição”, o arquiteto deve compreender de forma integrada os fenômenos térmicos e visuais em uma edificação e, em consequência, as variáveis climáticas das quais estes decorrem.

No movimento de translação, a Terra percorre sua trajetória elíptica em um plano inclinado de $23^{\circ}27'$ em relação ao plano do equador. É este ângulo que define a posição dos trópicos e isto faz com que os dois hemisférios terrestres recebam quantidades distintas de radiação solar ao longo do ano, caracterizando as estações pelos solstícios de inverno e de verão (“a” e “c”) e pelos equinócios de outono e de primavera (“b” e “d”) (Figura 3-2).

A posição do Sol na abóbada celeste pode ser definida através dos ângulos de **ALTURA SOLAR** (H) e de **AZIMUTE SOLAR** (A), ângulos que variam de acordo com a hora do dia e período do ano (Figura 3-3).

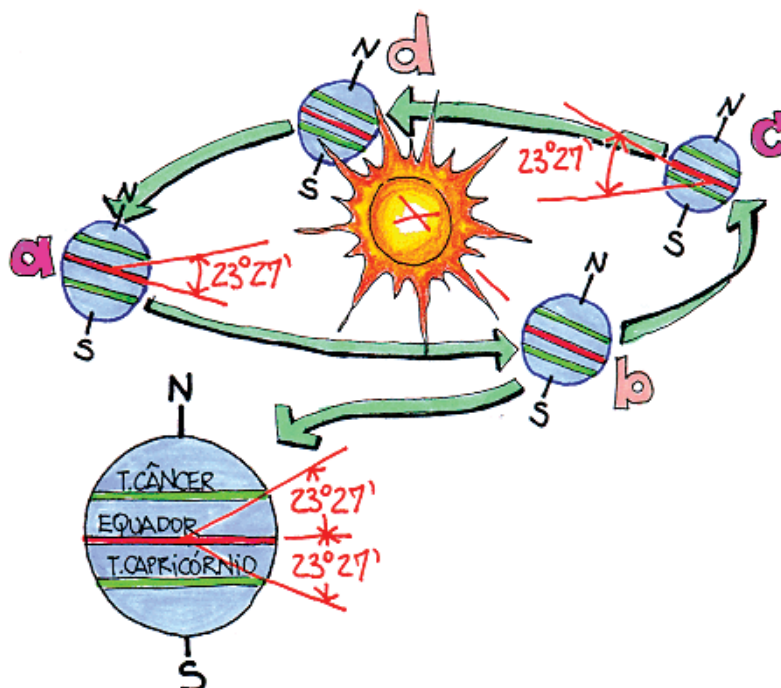


Figura 3-2: Translação da Terra e localização dos trópicos

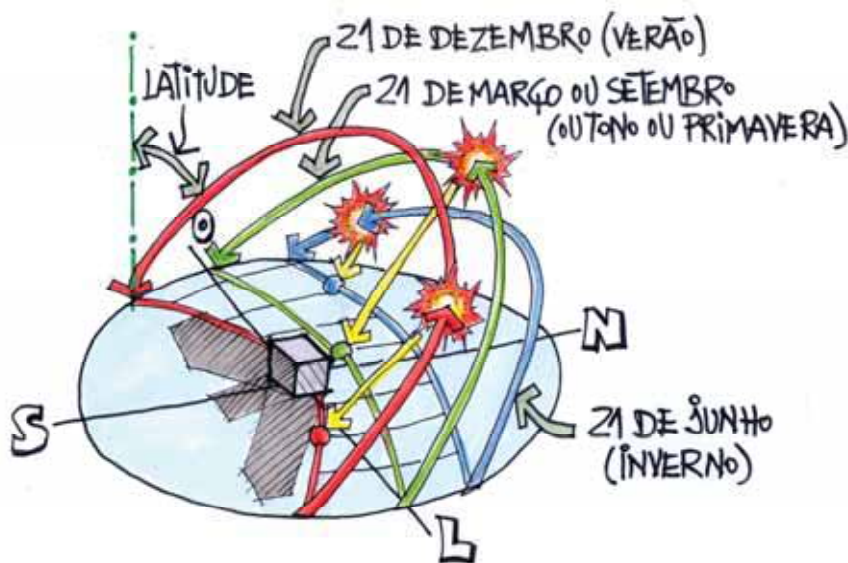
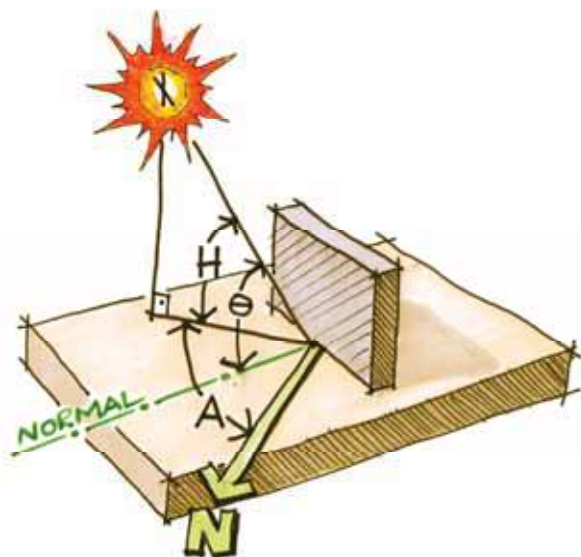


Figura 3-3: Trajetória do sol nos solstícios e equinócios

De todos os elementos climáticos, a radiação solar é o de comportamento mais conhecido, bastando marcar a altura e o azimute solar em uma **CARTA SOLAR** para saber onde está o Sol em determinado período do ano. A carta solar de uma determinada localidade é uma função da latitude do local. Em latitudes mais baixas (loais mais próximos ao Equador), o sol tem comportamento mais parecido nos dois solstícios, sendo o número de horas de sol diário mais semelhante. Em latitudes mais elevadas os dias são bem mais longos nos meses de verão que nos meses de inverno, tornando estas estações mais distintas. O diagrama solar pode ser encontrado em vários sistemas de projeção: estereográfico, equidistante, ortográfico e gnomônico (Fonseca 1983; Szokolay 1980). É importante saber a latitude do local sob análise para obter a carta solar correspondente. Explicações mais detalhadas sobre a Carta Solar e sobre a geometria solar e sua influência no projeto de edifícios estão disponíveis no quarto capítulo deste livro, intitulado “Geometria Solar”.



A radiação solar pode ser dividida em direta e difusa. Isto acontece porque, após sua penetração na atmosfera, a radiação começa a sofrer interferências no seu trajeto em direção à superfície terrestre. A parcela que atinge diretamente a Terra é chamada radiação direta e sua intensidade depende da altura solar (H) e do ângulo de incidência dos raios solares em relação à superfície receptora (θ), conforme ilustrado na Figura 3-4 (Evans e Schiller 1994).

Figura 3-4: Ângulos de altura solar (H), azimute solar (A) e incidência (θ)

Além de ser a principal influente nos ganhos térmicos em uma edificação, a radiação solar direta é a fonte de luz mais intensa.

A quantidade de radiação solar que chega à superfície terrestre depende basicamente de três fatores: a lei do cosseno, a dissipação atmosférica e a duração da luz do dia (Koenigsberger e outros 1977). A lei do cosseno estabelece que a intensidade de radiação incidente em uma superfície inclinada é igual à razão entre a intensidade normal e o cosseno do ângulo de incidência (Figura 3-5).

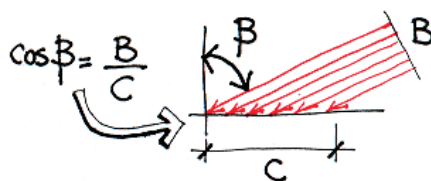


Figura 3-5: Lei do cosseno

Quanto menor a altura solar, mais longo é o trajeto da radiação através da atmosfera e menos radiação chega à superfície terrestre. Esse fenômeno é conhecido como **DISSIPACÃO ATMOSFÉRICA**, ou seja, a absorção da radiação solar pelo ozônio, vapores e partículas contidas na atmosfera. É graças a isto que o sol do poente é avermelhado, pois apenas a luz nesta frequência de onda consegue atravessar a camada atmosférica (Figura 3-6).

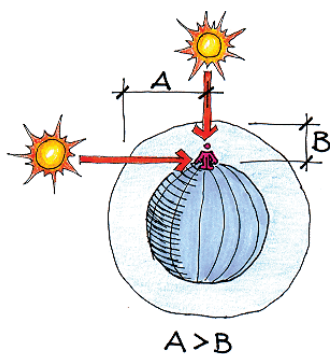


Figura 3-6: Posição relativa do Sol: poente e a pino

De forma semelhante, uma parte da radiação global incidente na atmosfera sofre um espalhamento, tendo sua direção alterada, constituindo a parcela difusa da radiação solar (Figura 3-7). A radiação difusa é tanto maior, quanto mais nublado for o céu. Nestes casos, a parcela direta da radiação solar se reduz bastante e todas as fachadas de um edifício tenderão a receber a mesma quantidade de radiação difusa.



Figura 3-7: Radiação difusa

A obtenção dos dados de radiação solar deveria ser feita por medições, já separando a radiação em suas parcelas direta e difusa. Estes valores podem ser medidos diretamente para as superfícies verticais e horizontais (o ideal) ou medidos apenas para as superfícies horizontais, sendo corrigidos posteriormente para as verticais através de métodos de cálculo. Porém, o que se utiliza normalmente no Brasil são as normas climatológicas (valores médios de horas de sol) ou estimativas feitas a partir dos valores de nebulosidade do Ano Climático de Referência. A medição da radiação solar poderia evitar toda a imprecisão de se trabalhar com os dados de nebulosidade, que são registrados de forma visual (sem instrumentos), ficando à mercê da sensibilidade do olho de quem faz a observação. Infelizmente ainda são poucas as estações que medem a radiação solar instantânea (W/m^2) no Brasil. Entre outras, pode-se destacar a estação do Labsolar da UFSC, que está integrada a uma rede internacional de medições (BSRN - *Base Line Surface Radiation Network*).

ATLAS DE IRRADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL

Todas as fontes de energia, como a hidráulica, a biomassa, a eólica, os combustíveis fósseis e a energia dos oceanos, são formas indiretas de energia solar. Porém, a radiação solar também pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Dentre os diversos processos de aproveitamento da energia solar, atualmente os mais utilizados são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. No Brasil, o aquecimento solar de água é bastante difundido nas regiões Sul e Sudeste, embora estas apresentem os menores níveis de radiação solar. Já a geração fotovoltaica se concentra mais nas regiões Norte e Nordeste, em localidades isoladas. A iniciativa para o emprego de geração fotovoltaica tem ocorrido em algumas edificações comerciais, residenciais e em pesquisas em instituições em diversas regiões do país, como a Casa Eficiente (Eletrosul e outros 2006) e o prédio do curso de Engenharia Mecânica e o Centro de Eventos da Universidade federal de Santa Catarina (LabSOLAR 2006), mas esse cenário ainda não faz parte do cotidiano da arquitetura, representando uma tímida realidade, dificultada pelo alto custo de aquisição inicial dos equipamentos e pela falta de subsídios econômicos.

O Atlas de Irradiação Solar no Brasil (Colle e Pereira 1998) apresenta o índice médio anual de radiação solar no país. Os maiores índices são verificados na região Nordeste e os menores no litoral Sul-Sudeste.

3.1.2 LUZ NATURAL

Além dos fenômenos térmicos, a radiação solar é a principal fonte de luz natural. Uma parte da luz que penetra em um edifício, principalmente sua parcela direta, é absorvida e convertida em calor. Na escala microclimática se pode tirar partido de fontes indiretas de luz. Quando uma superfície refletora é iluminada por uma fonte de luz primária como a luz solar ou a luz do céu, resulta em uma fonte indireta de luz. A qualidade desta luz é virtualmente idêntica à luz do céu admitida através de uma abertura de tamanho similar. Se a superfície refletora for diretamente iluminada pelo sol, sua **LUMINÂNCIA** pode atingir entre 5.000 a 10.000 cd/m^2 , ou seja, luminância superior à da abóbada celeste (entre 500 e 2.000 cd/m^2). De forma similar, um material translúcido pode ser utilizado como uma fonte indireta de luz.

A luz solar **DIRETA** ilumina uma superfície normal com 60.000 a 100.000 lux (Pereira 1993). Este valor é muito intenso para ser usado diretamente sobre o plano de trabalho. Por este motivo muitos projetistas preferem excluir completamente a luz direta do sol no interior. Devido à sua importância como aquecimento solar passivo, a radiação solar direta é muitas vezes considerada indesejável para iluminação pela sua componente térmica. Esta concepção é errônea. Como pode ser visto na Figura 3-8, a **EFICÁCIA LUMINOSA** da luz natural direta é maior que muitas das alternativas de luz artificial conhecidas. A luz natural direta também introduz menor quantidade de calor por **LÚMEM** para o interior de um edifício que a maioria das lâmpadas. Isto mostra que a luz natural pode ser uma estratégia atrativa para diminuir a carga de resfriamento necessária em edifícios por causa de iluminação artificial, assumindo-se que pode ser distribuída e largamente utilizada para este fim (Commission of the European Communities 1992).

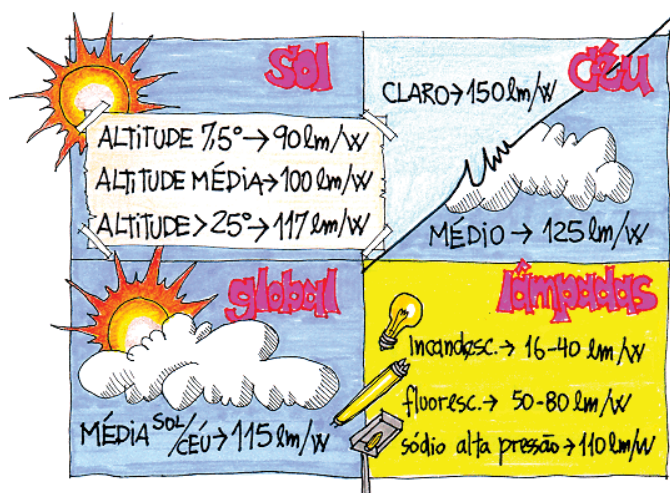


Figura 3-8: Eficácia luminosa de diversas fontes de luz

Com relação à luz **DIFUSA**, é consideravelmente mais baixa que a resultante da luz solar direta, variando entre 5.000 a 20.000 lux para céu encoberto. Com céu limpo, o pequeno tamanho das partículas existentes na atmosfera permite apenas a refração do comprimento de onda da luz azul do espectro, dando ao céu esta cor. Com céu nublado, o vapor de água em suspensão refrata e reflete todos os comprimentos de onda em todas as direções, resultando em luz difusa de cor branca na abóbada celeste.

Embora quantificáveis, tanto a radiação solar quanto a luz natural podem variar enormemente de um instante para outro. Para simplificar esta variação, são criados modelos padrões que representam alguns tipos de céu, basicamente o céu limpo (claro), o céu parcialmente nublado (anisotrópico) e o céu nublado (isotrópico), conforme mostra a Figura 3-9. No caso do céu limpo, a radiação direta é preponderante, vinda diretamente do Sol, e a

radiação difusa é mais intensa ao redor do Sol e próxima do horizonte. Com relação à luz, o céu e a atmosfera são claros e a luminância varia em relação ao **ZÊNITE**, ao horizonte e à posição do Sol. No caso do céu nublado, há um turvamento da abóbada celeste e o Sol não está visível. A distribuição da radiação e a luminância tendem a ser mais uniformes neste caso. O modelo que considera o céu parcialmente nublado é o mais próximo da realidade, pois representa a maior parte dos dias.



Figura 3-9: Modelos para céu claro, parcialmente encoberto e encoberto

3.1.3 TEMPERATURA

É a variável climática mais conhecida e de mais fácil medição. A variação da temperatura na superfície da Terra resulta basicamente dos fluxos das grandes massas de ar e da diferente recepção da radiação do sol de local para local (Figura 3-10).

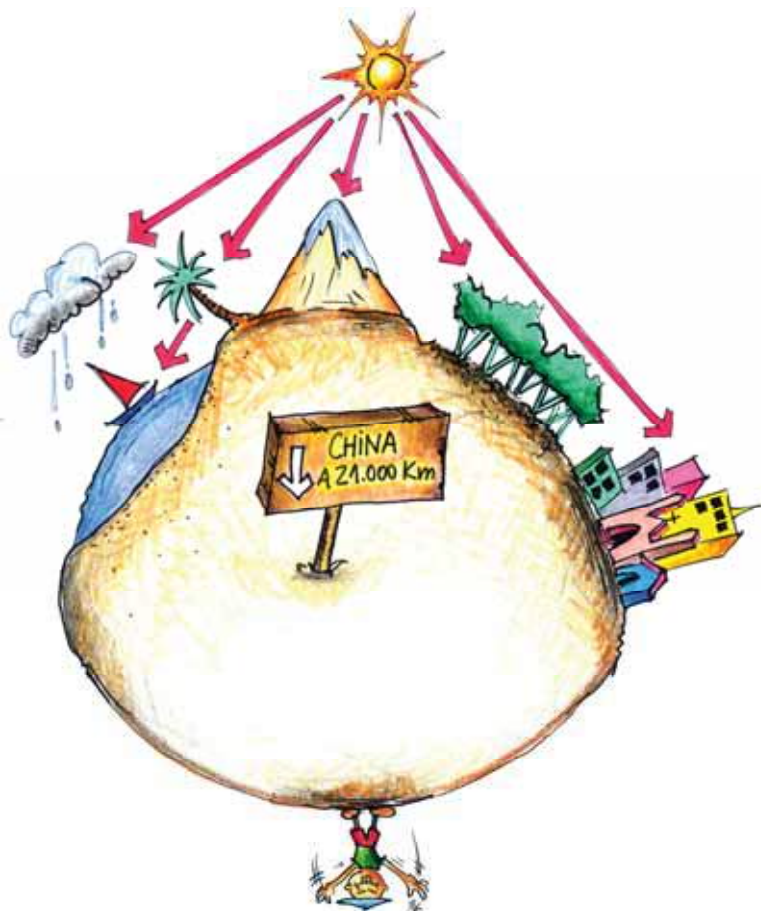


Figura 3-10: Variação da temperatura na superfície da Terra

Quando a velocidade dos fluxos de ar é pequena, a temperatura é consequente, na sua maior parte, dos ganhos térmicos solares do local. Nestes casos, a radiação solar que atinge a superfície terrestre é recebida de forma distinta, em consequência do tipo de solo e de vegetação, da topografia e da altitude do local. Quando a velocidade do ar é alta, a influência dos fatores locais na temperatura do ar é bem menor. Através dos dados climáticos obtidos nas Normais Climatológicas ou em Anos Climáticos (TRY ou TMY), pode-se conhecer o comportamento da temperatura do ar para um determinado local ao longo do ano. O tratamento dos dados climáticos pode fornecer valores mais prováveis de temperatura média, mínima e máxima para cada período do ano e, desta forma, proporcionar ao arquiteto os dados necessários para a identificação dos períodos de desconforto, importante informação de projeto (Goulart e outros 1997).

O arquiteto pode tirar vantagens das propriedades de inércia térmica da terra para amenizar as temperaturas no interior da edificação. O solo se mantém em temperaturas mais amenas que o ar exterior. Após ser aquecida pelo sol, a terra retém o calor por muito mais tempo que uma habitação convencional. Esta característica é conhecida como **INÉRCIA TÉRMICA**. A terra ganha ou perde calor lentamente se submetida a temperaturas respectivamente mais altas ou mais baixas.

O calor armazenado no solo pode ser útil em locais onde as noites são frias e os dias são quentes, ou seja, onde há grande **AMPLITUDE** diária de temperatura. Se a edificação for integrada à terra (edificações semi-enterradas, taludes, coberturas com terra), poderá absorver esse calor nos horários mais frios do dia, possibilitando conforto aos usuários. Esta solução pode ser bastante vantajosa nos climas desérticos, onde as amplitudes térmicas diárias são muito grandes.

A Figura 3-11 mostra o comportamento da temperatura do ar durante um dia qualquer. Percebe-se que a menor temperatura do dia ocorre nas primeiras horas da manhã, próximo ao nascer do sol. Em seguida, a temperatura começa a subir e atinge seu valor máximo por volta das 14 horas. A diferença entre esses dois valores (máximo e mínimo) chama-se amplitude térmica diária. Na mesma figura tem-se o comportamento da temperatura do ar para sete dias consecutivos, onde se vê algumas variações de amplitude e de máximas e mínimas.

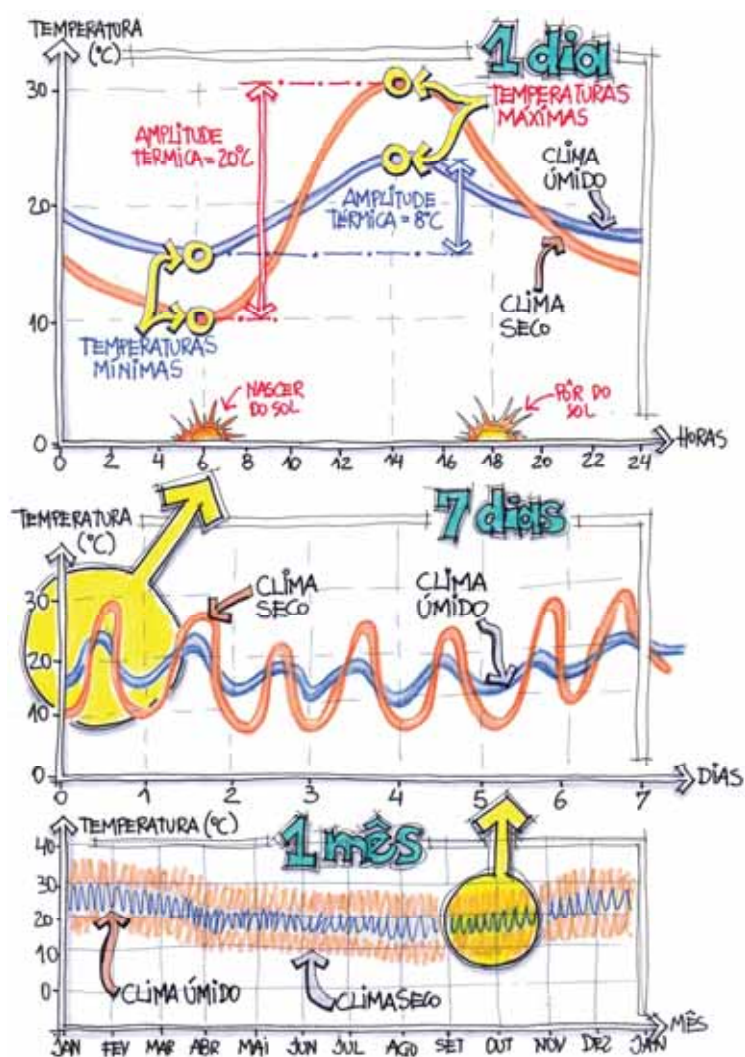


Figura 3-11: Variação diária da temperatura

Para uma mesma temperatura, a sensação de conforto térmico pode ser diferente em função de variáveis como o vento e a umidade do local.

3.1.4 VENTO

Em uma região climática pode haver variações significativas de direção e de velocidade do movimento do ar. Isto acontece principalmente pelas diferenças de temperatura entre as massas de ar, o que provoca o seu deslocamento da área de maior pressão (ar mais frio e pesado) para a área de menor pressão (ar quente e leve).

A velocidade e a direção do vento são geralmente medidas a 10 m de altura nas estações meteorológicas. Estas estações se localizam geralmente em regiões abertas, longe dos obstáculos urbanos, pois o movimento de ar sofre grande influência da rugosidade da superfície.

Através de diagramas do tipo “rosa-dos-ventos”, o arquiteto pode conhecer as probabilidades de ocorrência de vento para as principais orientações e sua velocidade. Este instrumento pode auxiliar o projetista na colocação de aberturas, de forma a aproveitar o vento fresco no período quente e evitar o vento forte no período frio. A Figura 3-12 mostra a rosa-dos-ventos com os ventos predominantes por estação em frequência de ocorrência (em percentual, à esquerda) e velocidade (em metros por segundo, à direita) para a cidade de Florianópolis. A Tabela 3-1 mostra os percentuais de ventos ausentes para Florianópolis.

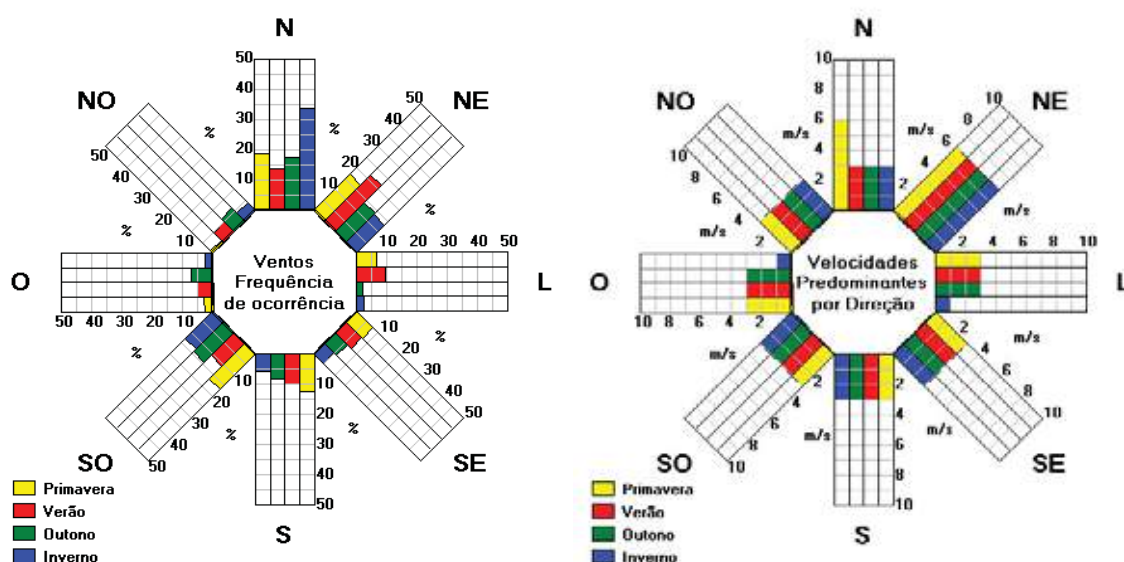


Figura 3-12: Rosa-dos-ventos, extraída do programa Analysis SOL-AR

Tabela 3-1: Tabela de Ventos Ausentes (%), extraída do programa Analysis SOL-AR

	P	V	O	I
Madrugada	28,7	28,8	38,7	33,3
Manhã	18,9	19,3	31,2	24,6
Tarde	5,7	4,7	6,3	8,6
Noite	18,0	21,2	30,1	26,0

As condições do vento local (tanto velocidade quanto direção) podem ser alteradas com a presença de vegetação, edificações e outros anteparos naturais ou artificiais. Pode-se tirar partido do perfil topográfico de um terreno para canalizar os ventos, desviando-os ou trazendo-os para a edificação. O sexto capítulo deste livro discutirá com maiores detalhes a ventilação natural em edificações, relacionando estas variáveis.

O movimento do ar também sofre grande influência da rugosidade da superfície (Figura 3-13). Em geral a velocidade do vento aumenta com a altitude. Devido aos obstáculos encontrados na cidade (como edifícios, por exemplo), a velocidade média do vento é mais baixa que em locais abertos (campo). O tamanho dos obstáculos influencia no gradiente vertical.

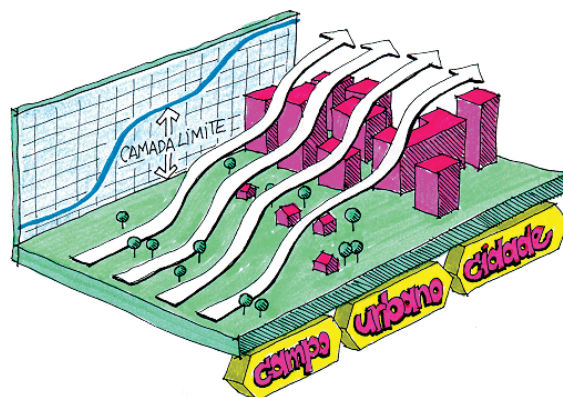


Figura 3-13: Vento e rugosidade do terreno

Também há mais turbulência e direcionamento mais variável no vento da cidade que em campo aberto. É importante lembrar que o desenho urbano pode canalizar o fluxo de ar de maneira a evitar o vento indesejável e aproveitar o desejável. Alguns obstáculos podem ser implantados na escala microclimática para obstruir a passagem do vento. No desenho paisagístico também se pode pensar na vegetação como proteção dos ventos fortes ou como condutoras das brisas de verão para a arquitetura.

3.1.5 UMIDADE

A pressão de vapor é a variável climática mais estável ao longo do dia. A umidade do ar resulta da evaporação da água contida nos mares, rios, lagos e na terra, bem como da **EVAPOTRANSPIRAÇÃO** dos vegetais.

O ar a certa temperatura pode conter uma determinada quantidade de água. Quanto maior a temperatura do ar, menor sua densidade e, em consequência, maior quantidade de água poderá conter. Se o conteúdo de água evaporada no ar é o maior possível para aquela temperatura, diz-se que o ar está **SATURADO**. Nesta condição, qualquer quantidade de água a mais em estado de vapor condensará. Deste fenômeno se originam a névoa, o orvalho e a chuva. Quando o conteúdo de vapor de água no ar é menor que o máximo possível para aquela temperatura, diz-se que esta proporção (em percentual) é a umidade relativa do ar.

A umidade relativa tende a aumentar quando há diminuição da temperatura e a diminuir quando há aumento da temperatura (Figura 3-14).



Figura 3-14: Comportamento da umidade do ar em relação ao da sua temperatura

Nos locais com alta umidade, a transmissão de radiação solar é reduzida porque o vapor de água e as nuvens a absorvem e redistribuem na atmosfera, refletindo uma parte de volta ao espaço. Em locais com ar muito seco, os dias tendem a ser muito quentes e as noites frias; já em locais úmidos, as temperaturas extremas tendem a ser atenuadas. A umidade do ar atua diretamente na capacidade da pele em evaporar o suor. Deve-se compreender que em altas umidades relativas temos mais dificuldades em evaporar o suor, aumentando a sensação de desconforto térmico. É importante ao arquiteto observar este par de informações (temperatura e umidade) e seu comportamento conjugado ao longo do ano.

A umidade pode ser modificada nas escalas mais próximas à edificação na presença de água ou de vegetação. Nas proximidades das massas de água (lagos, fontes, espelhos de água) o ar se umidifica, podendo ser utilizado para refrescar as edificações. Já o vegetal umedece o ar do seu entorno pela evapotranspiração. Pode ser útil em locais onde o clima é muito seco. Uma superfície gramada, por exemplo, reflete menor quantidade de radiação que uma superfície seca da mesma cor, em parte por absorver o calor para seu metabolismo, em parte pela sua evapotranspiração e em parte pela facilidade de dissipação do calor por convecção entre as folhas.

Dito de forma mais sintética, o arquiteto deve ter uma idéia sobre o comportamento das variáveis climáticas do local do projeto ao longo do ano. Desta forma poderá calçar-se de dados suficientes para identificar os períodos de maior probabilidade de desconforto e, conseqüentemente, onde se faz importante sua intervenção no projeto.

3.2 CLIMAS DO MUNDO

Nas últimas décadas temos presenciado os efeitos da mudança climática no planeta, provocados pela emissão de dióxido de carbono, o efeito estufa, o desflorestamento, o esgotamento de certos recursos e o aumento da população e da pobreza nos grandes centros urbanos dos países em via de desenvolvimento (de Andrade 2005). Estes fatos contribuem para o aquecimento global, tido como uma das maiores ameaças ao nosso ecossistema. A temperatura média do planeta teve um acréscimo de aproximadamente $0,7^{\circ}\text{C}$ no século passado, e já se pôde verificar o derretimento de geleiras, a violência de secas e enchentes, e a estréia no Brasil de um furacão, o Catarina (Cunha e outros 2004). As previsões indicam que nos próximos 100 anos a temperatura se eleve entre $1,4^{\circ}\text{C}$ e $5,8^{\circ}\text{C}$, nos levando às situações catastróficas, alterando os padrões climáticos vigentes, elevando o nível dos oceanos, ocasionando secas e enchentes, e extinções de até 37% das espécies do planeta.

Diante desse panorama alarmante, a arquitetura pode desenvolver um importante papel, através da adoção de técnicas bastante conhecidas, todas propostas e aceitas pela comunidade científica, porém ainda pouco praticadas. Essas técnicas, conhecidas como bioclimáticas, serão explicadas no decorrer do texto, mas incluem, resumidamente, o uso de iluminação, resfriamento e aquecimento mais eficientes, sempre tirando partido dos recursos naturais (sol, vento, chuva...), o uso de energia eólica e a adoção e disseminação do uso de energia solar.

Os climas do mundo são classificados diferentemente por diversos autores, dependendo das variáveis ambientais, como temperatura do ar, umidade, ventos, radiação solar e precipitação de cada região do planeta. Uma das classificações mais aceitas é a de Köppen (Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas 2006).

3.3 OS CLIMAS DO BRASIL

Devido ao seu imenso território e ao fato de se localizar entre os dois trópicos, o Brasil possui um clima bastante variado. Derivada da classificação de Köppen, a Figura 3-15 (adaptada de

IBGE 2006) mostra a divisão do clima brasileiro. As cidades que já possuem TRY são indicadas no mapa.

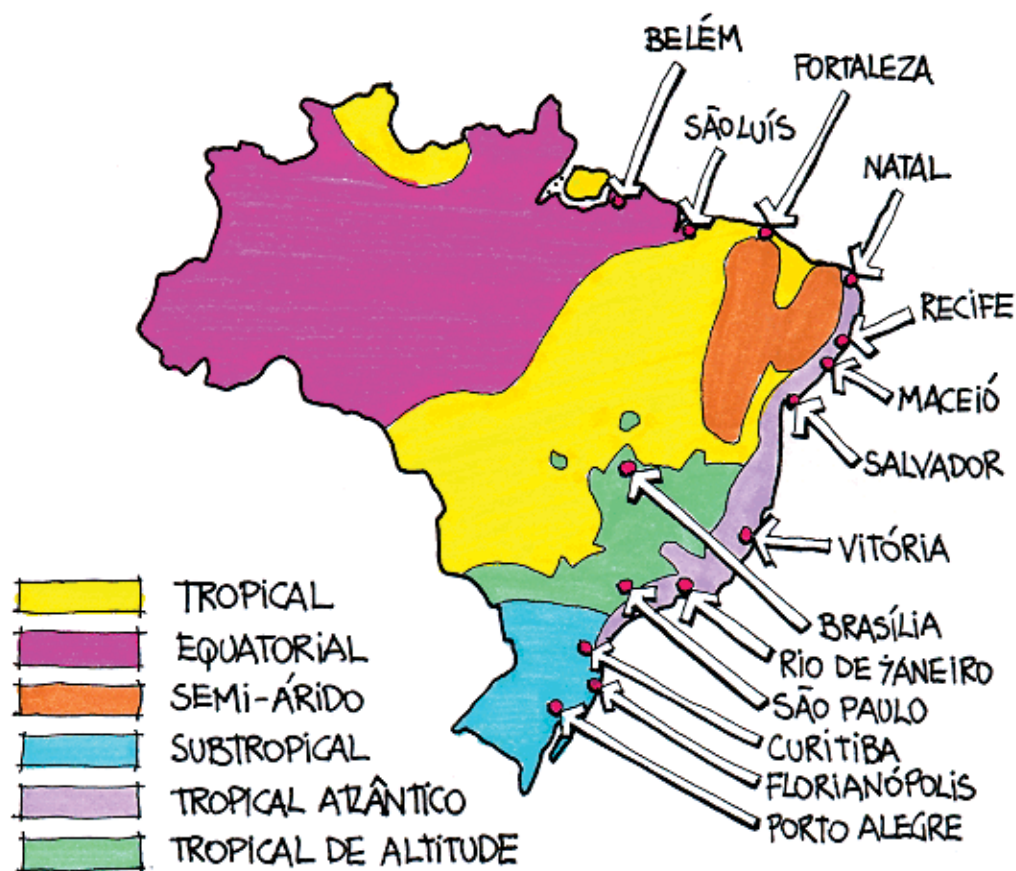


Figura 3-15: Mapa dos climas do Brasil

As características básicas de cada tipo climático são as seguintes:

CLIMA TROPICAL: No clima tropical o verão é quente e chuvoso e o inverno, quente e seco. Apresenta temperaturas médias acima de 20°C e amplitude térmica anual de até 7°C. As chuvas oscilam entre 1.000 mm/ano e 1.500 mm/ano.

CLIMA EQUATORIAL: O clima equatorial compreende toda a Amazônia e possui temperaturas médias entre 24°C e 26°C, com amplitude térmica anual de até 3°C. Nesta região a chuva é abundante e bem distribuída (normalmente maior que 2.500 mm/ano).

CLIMA SEMI-ÁRIDO: É a região climática mais seca do país, caracterizada por temperaturas médias muito altas (em torno dos 27°C). As chuvas são muito escassas (menos que 800 mm/ano) e a amplitude térmica anual é baixíssima (por volta de 5°C).

CLIMA SUBTROPICAL: Neste tipo climático, as temperaturas médias se situam, normalmente, abaixo dos 20°C e a amplitude anual varia de 9°C a 13°C. As chuvas são fartas e bem distribuídas (entre 1.500 mm/ano e 2.000 mm/ano). O inverno é rigoroso nas áreas mais elevadas, onde pode ocorrer neve.

CLIMA TROPICAL ATLÂNTICO: Este tipo de clima é característico das regiões litorâneas do Brasil, onde as temperaturas médias variam entre 18°C e 26°C. As chuvas são abundantes (1.200 mm/ano), concentrando-se no verão para as regiões mais ao sul e no inverno e outono para as regiões de latitudes mais baixas (próximas ao equador). A amplitude térmica varia de região para região. Mais ao norte, a semelhança entre as estações de inverno e de verão

(diferenciadas apenas pela presença da chuva, mais constante no inverno) resulta em baixas amplitudes térmicas ao longo do ano. Conforme a latitude aumenta, cresce também a amplitude térmica anual, diferenciando bem as estações.

CLIMA TROPICAL DE ALTITUDE: Neste clima as temperaturas médias se situam na faixa de 18°C a 22°C. No verão as chuvas são mais intensas (entre 1.000 mm/ano e 1.800 mm/ano) e no inverno pode gear devido às massas frias que se originam da massa polar atlântica. O clima tropical de altitude se estende entre o norte do Paraná e o sul do Mato Grosso do Sul, nas regiões mais altas do planalto atlântico.

3.4 MICROCLIMA

Chegando mais próximo ao nível da edificação, tem-se a escala microclimática. É aqui que variáveis como a vegetação, a topografia, o tipo de solo e a presença de obstáculos naturais ou artificiais irão influenciar nas condições locais de clima. O microclima pode ser concebido e alterado pelo arquiteto (Figura 3-16). O estudo das variáveis desta escala é fundamental para o lançamento do projeto, pois uma série de particularidades climáticas do local pode induzir a soluções arquitetônicas mais adequadas ao bem-estar das pessoas e à eficiência energética. Embora o estudo do microclima ainda seja uma realidade pouco documentada, existem alguns trabalhos de interesse que tratam desse tema, como o de Romero (2001a e 2001b), o de Lombardo e Quevedo Neto (2001), o de Monteiro e Mendonça (2003) e o de Assis (2005).

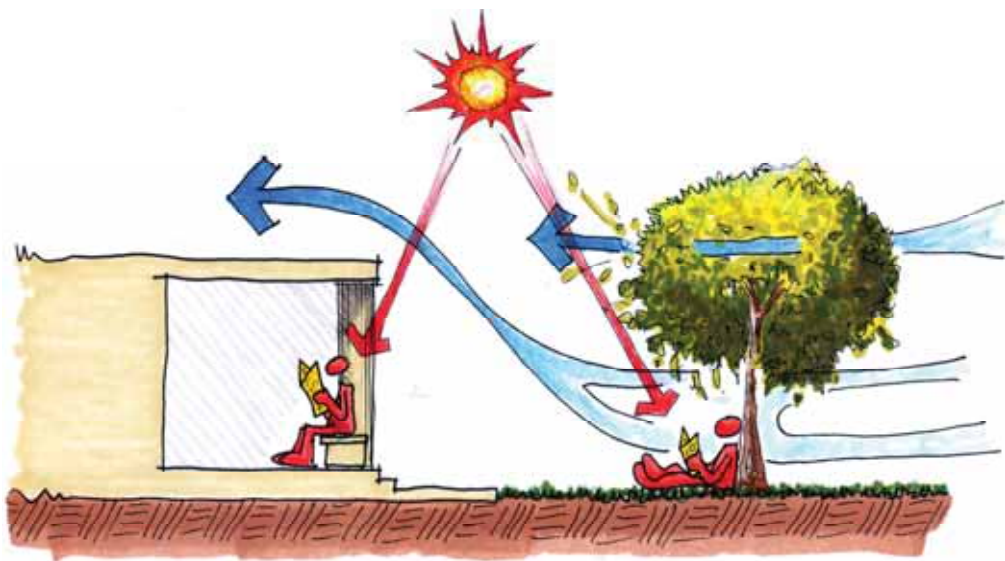


Figura 3-16: Microclima

3.5 A BIOCLIMATOLOGIA APLICADA À ARQUITETURA

Mesmo após o entendimento do clima, dos conceitos de conforto térmico e das estratégias de projeto que visam uma melhor integração entre o usuário e o clima, deve-se achar um meio de entender os efeitos destes fatores na arquitetura e em sua eficiência energética. Pode-se tirar partido ou evitar os efeitos destas variáveis, por intermédio da edificação, de forma a obter um ambiente interior com determinadas condições de conforto para os usuários. Isso pode ser feito de duas maneiras. A primeira, com o emprego dos já citados sistemas de climatização e iluminação artificial. A segunda, de forma natural, incorporando estratégias de aquecimento, resfriamento e iluminação naturais. É importante ao arquiteto integrar o uso de sistemas naturais e artificiais, ponderando os limites de exequibilidade e a relação

custo/benefício de cada solução. Se as estratégias naturais forem as mais adequadas, deve-se conhecer, primeiramente, a Bioclimatologia, que aplica os estudos do clima (climatologia) às relações com os seres vivos (Olgay 1968). Conhecendo os conceitos básicos que envolvem o clima e o conforto se pode compreender a importância da Bioclimatologia aplicada à arquitetura.

Na década de sessenta os irmãos Olgay aplicaram a bioclimatologia na arquitetura considerando o conforto térmico humano e criaram a expressão Projeto Bioclimático (Olgay 1973).

A arquitetura assim concebida busca utilizar, por meio de seus próprios elementos, as condições favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem. Também foi desenvolvido por Olgay um diagrama bioclimático que propõe estratégias de adaptação da arquitetura ao clima, conhecido como a Carta Bioclimática de Olgay (Figura 3-17).

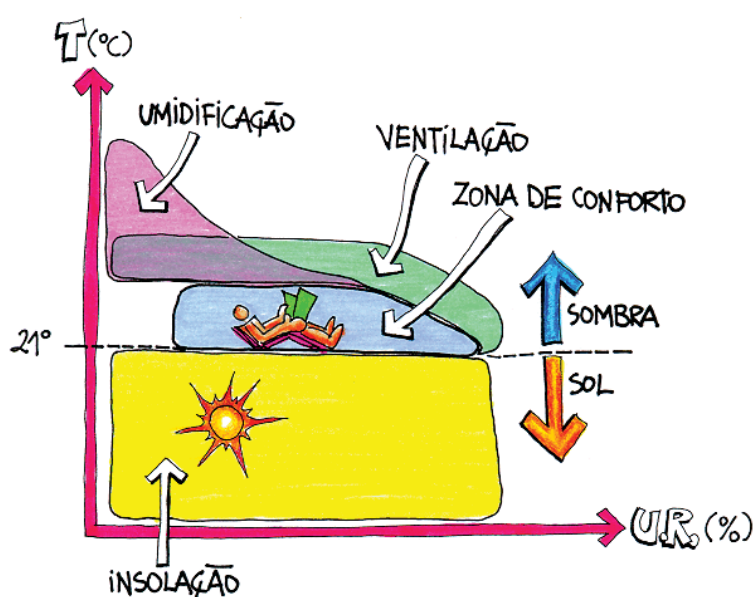


Figura 3-17: Carta Bioclimática de Olgay

Foi em 1969 que Givoni concebeu uma Carta Bioclimática para Edifícios que corrigia algumas limitações do diagrama idealizado por Olgay. A carta de Givoni é adaptada sobre a carta psicrométrica (descrita no segundo capítulo deste livro, no item 2.1.6), propondo estratégias construtivas para adequação da arquitetura ao clima, enquanto que Olgay aplicava seu diagrama estritamente para as condições externas.

Em trabalho mais recente, Givoni (1992) explica que o conforto térmico interno em edifícios não condicionados depende muito da variação do clima externo e da experiência de uso dos habitantes. Pessoas que moram em edifícios sem condicionamento e naturalmente ventilados, usualmente aceitam uma grande variação de temperatura e velocidade do ar como situação normal, demonstrando assim a sua aclimação. Givoni concebeu, então, uma carta bioclimática adequada para países em desenvolvimento, na qual os limites máximos de conforto da sua carta anterior foram expandidos. Foi desenvolvido um trabalho que faz uma revisão bibliográfica abordando o tema Bioclimatologia Aplicada à Arquitetura, com o objetivo de selecionar uma metodologia bioclimática a ser adotada para o Brasil (Bogo e outros 1994). Neste estudo foram analisadas as metodologias de vários autores, entre eles, Givoni (1992), Olgay (1968), Szokolay (1987) e Watson e Labs (1983). Com base nas análises concluiu-se que o trabalho de Givoni de 1992 para países em desenvolvimento é o mais adequado às condições brasileiras.

Na Tabela 3-2, tem-se as estratégias de controle climático a serem adotadas no projeto de arquitetura visando o conforto térmico, segundo Watson e Labs (1983).

A tabela relaciona princípios a serem considerados quando as condições climáticas proporcionam desconforto por frio (inverno) ou por calor (verão). Nos períodos frios, pretende-se evitar perdas de calor e promover ganhos térmicos, enquanto que no calor, o objetivo é evitar os ganhos e favorecer as perdas de calor. Cada um destes princípios é relacionado aos quatro mecanismos básicos de trocas de calor (condução, convecção, radiação e evaporação), indicando estratégias bioclimáticas a serem consideradas no projeto.

Tabela 3-2: Estratégias de controle climático a serem adotadas no projeto arquitetônico, adaptada de Watson e Labs (1983)

		CONDUÇÃO	CONVECÇÃO	RADIAÇÃO	EVAPORAÇÃO
INVERNO	Promover ganhos			Promover ganho de calor solar	
	Resistir às perdas	Minimizar fluxos de calor por condução	Minimizar fluxo de ar externo Minimizar infiltração de ar		
VERÃO	Resistir aos ganhos	Minimizar fluxos de calor por condução	Minimizar infiltração de ar	Minimizar ganho solar	Promover resfriamento evaporativo
	Promover Perdas	Promover resfriamento através do solo	Promover ventilação	Promover resfriamento radiativo	
	Fontes de calor		Atmosfera	Sol	
	Fontes de resfriamento	Solo	Atmosfera	Céu	Atmosfera

A carta da Figura 3-18 é construída sobre o diagrama psicrométrico, que relaciona a temperatura do ar e a umidade relativa. Obtendo os valores destas variáveis para os principais períodos do ano climático da localidade, o arquiteto poderá ter indicações fundamentais sobre a estratégia bioclimática a ser adotada no desenho do edifício. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar exterior podem ser traçados diretamente sobre a carta (conforme será explicado mais adiante), onde são identificadas as zonas bioclimáticas conforme a Figura 3-18.

As soluções arquitetônicas mais utilizadas para cada uma destas estratégias são fartamente ilustradas em diversas fontes, como: Anderson e Wells 1981; Commission of the European Communities 1992; Gonzalez e outros 1986; Watson e Labs 1983; Brown e DeKay 2004; Corbella e Yannas 2003; Roaf e outros 2004.

A seguir, a descrição de cada uma destas zonas bioclimáticas.

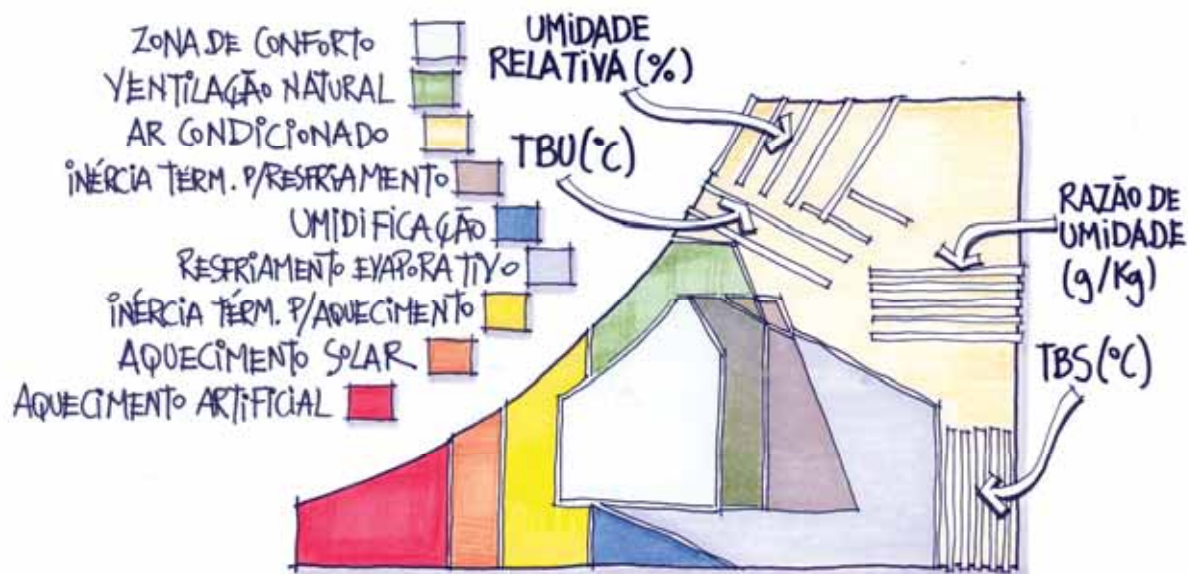


Figura 3-18: Carta Bioclimática adotada para o Brasil

3.5.1 ZONA DE CONFORTO

Nas condições delimitadas por esta zona haverá uma grande probabilidade de que as pessoas se sintam em conforto térmico no ambiente interior. Percebe-se que o organismo humano pode estar em conforto mesmo em diversos limites de umidade relativa (entre 20 e 80%) e de temperatura (entre 18 e 29°C), em países em desenvolvimento segundo Givoni. Quando o ambiente interior estiver com temperatura próxima a 18°C (pontos 1 e 2 na Figura 3-19) deve-se evitar o impacto do vento, que pode produzir desconforto. À direita da linha que representa a temperatura de 20°C, o conforto térmico só é possível quando há sombreamento. O limite superior da zona de conforto é a umidade relativa de 80% (pontos 2 e 3). Em temperaturas acima de 20°C, principalmente em situações próximas a 29°C (pontos 4, 5 e 6) é importante controlar a incidência de radiação solar sobre as pessoas, evitando assim o excesso de calor. Analisando esta situação pelo método de Fanger (1972) se conclui que o conforto térmico só é possível próximo aos 29°C se as pessoas estiverem na sombra, vestindo roupas leves e submetidas a pouca ventilação. Isto vem reforçar a idéia de Givoni de que em países em desenvolvimento estes costumes permitem a aclimação das pessoas até limites mais amplos de temperatura e umidade relativa em relação aos países desenvolvidos.



Figura 3-19: Zona de conforto

3.5.2 ZONA DE VENTILAÇÃO NATURAL

Se a temperatura do interior ultrapassar os 29°C ou a umidade relativa for superior a 80%, a ventilação (Figura 3-20) pode melhorar a sensação térmica.

No clima quente e úmido a ventilação cruzada é a estratégia mais simples a ser adotada, porém fazendo com que a temperatura interior acompanhe a variação da temperatura exterior. Supondo que a velocidade máxima permitida para o ar interior é da ordem de 2 m/s , a ventilação é aplicável até o limite de temperatura exterior de 32°C , pois a partir daí os ganhos térmicos por convecção tornam esta estratégia indesejável.

Em todos os casos, os espaços exteriores devem ser amplos, evitando barreiras edificadas para favorecer a boa distribuição do movimento do ar.

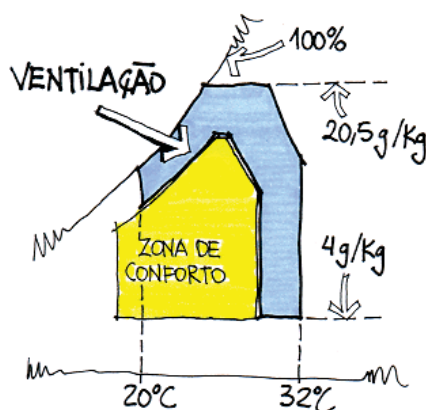


Figura 3-20: Zona de ventilação

Em regiões onde a temperatura diurna é maior que 29°C e a umidade relativa é inferior a 60%, o resfriamento convectivo noturno é mais adequado (Figura 3-21).

Esta estratégia é aplicável principalmente em regiões áridas, onde a temperatura diurna é de 30°C a 36°C e a temperatura noturna se situa por volta de 20°C . Mesmo que seja mais confortável, a ventilação diurna é indesejável nesta situação, pois implica em calor adicional a ser armazenados na edificação, aumentando a temperatura interior noturna. O princípio bioclimático se resume a controlar a ventilação durante o dia para reduzir o ingresso de ar quente e incrementar a ventilação noturna, aproveitando o ar mais fresco para resfriar o interior.

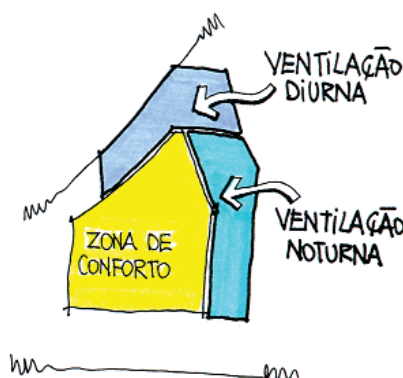


Figura 3-21: Ventilação diurna e noturna

Em regiões áridas, onde a temperatura diurna é superior a 36°C , a ventilação noturna não é suficiente para o conforto. Outros sistemas de resfriamento (ar condicionado, resfriamento evaporativo ou inércia térmica) são necessários.

3.5.3 ZONA DE INÉRCIA TÉRMICA PARA RESFRIAMENTO

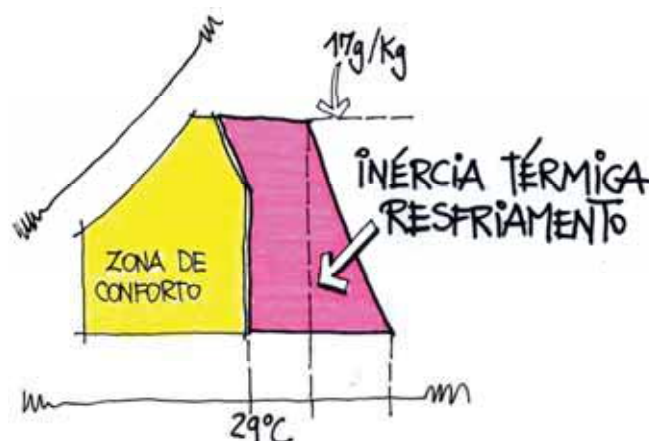


Figura 3-22: Zona de inércia para resfriamento

O uso da inércia térmica de uma edificação pode diminuir a amplitude da temperatura interior em relação à exterior, evitando os picos. Esta solução pode ser empregada com sucesso em locais onde as condições de temperatura e umidade relativa se situam entre os limites da zona de inércia térmica da Figura 3-22.

O comportamento de temperatura em um ambiente que se utilize desta estratégia é o seguinte:

- O calor armazenado na estrutura térmica da edificação durante o dia é devolvido ao ambiente somente à noite, quando as temperaturas externas diminuem.
- De forma complementar, a estrutura térmica resfriada durante a noite mantém-se fria durante a maior parte do dia, reduzindo as temperaturas interiores nestes períodos.

Além do uso da inércia térmica dos fechamentos, pode-se tirar partido também da inércia térmica da terra ou de emprego de materiais isolantes nas construções.

3.5.4 ZONA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO e UMIDIFICAÇÃO

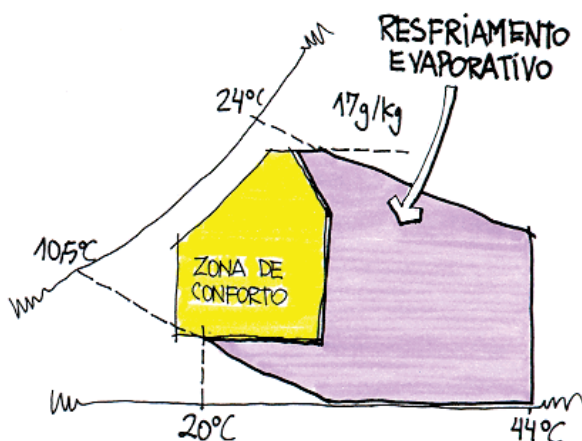


Figura 3-23: Zona de resfriamento evaporativo

A evaporação da água pode reduzir a temperatura e simultaneamente aumentar a umidade relativa de um ambiente. Um exemplo deste recurso é a típica fonte dos pátios árabes. Em épocas quentes e secas também a vegetação permite otimizar as condições de conforto por resfriamento evaporativo (evapotranspiração do vegetal).

Com o resfriamento direto dos espaços interiores através da evaporação se requer boa taxa de ventilação para evitar o acúmulo de vapor de água. Levando em conta este fator, pode-se sugerir que o resfriamento evaporativo é aconselhável apenas quando a temperatura de bulbo úmido (TBU) máxima não excede os 24°C e a temperatura de bulbo seco (TBS) máxima não ultrapassa os 44°C para países em desenvolvimento (Figura 3-23).

Exemplos de resfriamento evaporativo direto são o uso de vegetação, fontes d'água ou outro recurso que se fundamente na evaporação da água diretamente no ambiente que se quer resfriar.

Também existe a forma indireta, como acontece ao se empregar tanques de água sombreados no telhado. Neste caso, a temperatura da água inicialmente é igual a do ambiente interior. Com a evaporação, a água perderá calor, diminuindo a temperatura do teto e, conseqüentemente, a temperatura radiante média do interior. A forma indireta de resfriamento evaporativo pode ser aplicada em edificações de um pavimento ou no último andar de edificações de vários pavimentos.

Quando a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura for inferior a 27°C , haverá desconforto térmico devido à secura do ar. Nestes casos, a umidificação do ar melhora a sensação de conforto ainda que possa produzir um efeito de resfriamento evaporativo indesejável (Figura 3-24). As baixas taxas de renovação de ar permitem manter o vapor de água a níveis confortáveis com mínima evaporação e resfriamento.

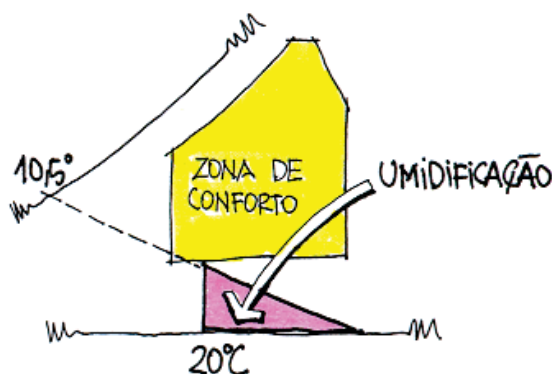


Figura 3-24: Zona de umidificação

Alguns recursos simples podem ser empregados no interior dos ambientes, como a utilização de recipientes com água e o hermetismo das aberturas, que ajuda a conservar o vapor proveniente das plantas e das atividades domésticas.

3.5.5 ZONA DE AQUECIMENTO SOLAR

Nessa região da carta, situada entre 10°C e 20°C , o aquecimento solar é a estratégia mais recomendada para conforto térmico (Figura 3-25).

Entre $10,5^{\circ}\text{C}$ e 14°C , o uso de aquecimento solar passivo com isolamento térmico é o mais indicado. Nesta região é recomendado o isolamento térmico do edifício de forma mais rigorosa, pois as perdas de calor tenderão a ser muito grandes. O edifício deve incorporar superfícies envidraçadas orientadas ao sol, aberturas reduzidas nas orientações menos favoráveis e proporções apropriadas de espaços exteriores para conseguir sol no inverno. Podem-se evitar as perdas de calor da edificação para o exterior (normalmente mais acentuadas pela cobertura e aberturas) enquanto se aproveitam os ganhos de calor internos (pessoas, aparelhos elétricos, cozinha, banho) aumentando a temperatura interior.

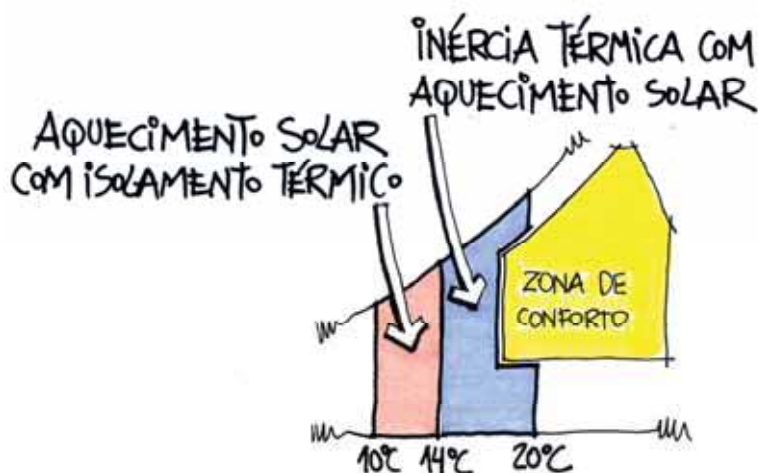


Figura 3-25: Zona de aquecimento solar

O aquecimento solar passivo pode ser feito utilizando-se diversas técnicas no projeto arquitetônico. A adequada orientação e cor dos fechamentos, o uso de aberturas zenitais controláveis (para poder fechar a noite), o emprego de painéis refletores externos, a parede trombe, os coletores de calor solar no telhado para aquecimento de ar, a estufa e os coletores de calor solar de água ou óleo são alguns exemplos encontrados nas diversas bibliografias sobre o assunto.

Em temperaturas entre 14°C e 20°C, pode-se utilizar a inércia térmica junto ao aquecimento solar passivo. A inércia térmica com ganho solar pode compensar as baixas temperaturas pelo armazenamento do calor solar, que fica retido nas paredes da edificação e pode ser devolvido ao interior nos horários mais frios, geralmente à noite.

3.5.6 ZONAS DE CONDICIONAMENTO ARTIFICIAL COM ISOLAMENTO TÉRMICO

Em algumas regiões o clima pode ser muito severo, ultrapassando os limites de temperatura e umidade relativa que tornam possível a aplicação de algum sistema passivo para resfriamento. Nestes casos, quando a temperatura de bulbo seco for maior que 44°C e a de bulbo úmido for superior a 24°C (área mais à direita na Figura 3-26), recomenda-se o uso de aparelhos de ar condicionado para climatização. É importante frisar que o ar condicionado não se limita à aplicação para estas situações, podendo ser coadjuvante nas zonas anteriormente analisadas.

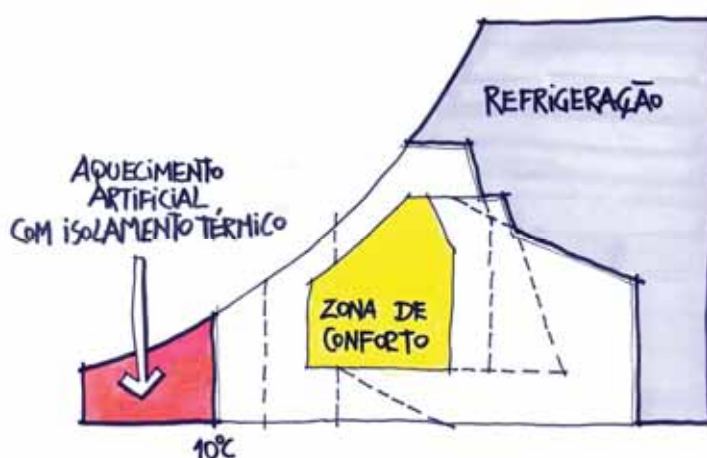


Figura 3-26: Zonas de condicionamento artificial

Da mesma forma, o uso dos sistemas naturais de resfriamento, pode não ser suficiente nestas condições extremas, mas poderá, se empregado conjuntamente ao ar condicionado, reduzir a dependência do ambiente ao uso deste e, conseqüentemente, ao consumo de energia.

Em locais muito frios, com temperaturas normalmente inferiores a $10,5^{\circ}\text{C}$ (área mais a esquerda na Figura 3-26), o aquecimento solar passivo pode não ser suficiente para conforto. Nestes casos, o uso de aquecimento artificial é adequado. Convém lembrar que o uso em conjunto dos dois sistemas (artificial e solar passivo) é aconselhável, pois reduz a dependência do consumo de energia para condicionamento.

3.5.7 ZONA DE SOMBREAMENTO

O sombreamento é uma das estratégias mais importantes no Brasil, pois o país tem clima quente na maior parte do seu território na maior parte do ano. Esta estratégia deve ser utilizada sempre que a temperatura do ar for superior a 20°C , mesmo quando a carta bioclimática indicar conforto térmico. As principais técnicas de sombreamento são o uso de proteções solares ou brises, beirais de telhado generosos, marquises, sacadas, persianas, venezianas ou outro protetor interno, a orientação adequada do projeto e o uso de vegetação. A Figura 3-27 mostra a linha de sombreamento sobreposta à carta bioclimática.

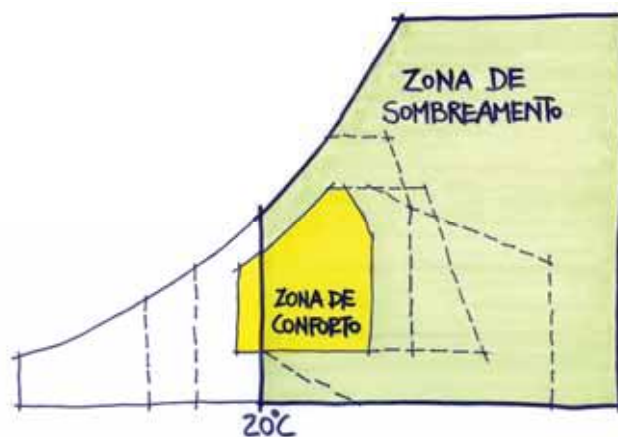


Figura 3-27: Linha de sombreamento na carta bioclimática

3.5.8 INTERSEÇÕES ENTRE ESTRATÉGIAS

Entre as zonas de ventilação (2), de resfriamento evaporativo (3) e de inércia térmica para resfriamento (4) acontecem algumas interseções, conforme a Figura 3-28.

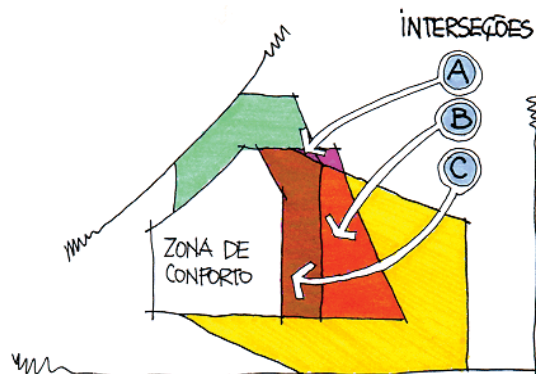


Figura 3-28: Interseção entre ventilação, inércia e resfriamento evaporativo

A região “A” representa a interseção entre a zona de ventilação e a zona de inércia térmica para resfriamento. Para esta situação, ambas as estratégias podem ser adotadas, inclusive simultaneamente.

Seguindo o mesmo raciocínio, os benefícios da inércia térmica para resfriamento ou do resfriamento evaporativo podem ser utilizados na região “B”. Na região “C”, as três estratégias podem ser aplicadas separadamente ou em conjunto.

3.6 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO BIOCLIMÁTICA

Apesar de se ter uma visão panorâmica sobre o clima brasileiro, isto não é suficiente para a aplicação de estratégias bioclimáticas em projetos para uma determinada localidade. É necessário fazer a análise bioclimática do local a partir dos dados climáticos disponíveis. O ideal é utilizar o Ano Climático de Referência (TRY), que possui valores horários. Caso não se disponha do TRY, se pode também usar as Normais Climatológicas (Departamento Nacional de Meteorologia 1992; Instituto Nacional de Meteorologia 1979), que possuem valores médios para várias localidades do Brasil.

3.6.1 AVALIAÇÃO BIOCLIMÁTICA COM DADOS CLIMÁTICOS HORÁRIOS

Através do Ano Climático de Referência, que contém valores horários de temperatura e umidade relativa, entre outros, se podem marcar os dados de diversas cidades brasileiras diretamente sobre a Carta Bioclimática; obtendo-se quais as estratégias mais adequadas para cada período do ano. As cartas bioclimáticas com as estratégias foram construídas para cada uma das quinze cidades brasileiras que têm disponíveis dados climáticos horários até o momento e fornecem uma indicação visual sobre o comportamento climático ao longo do ano. São estas: Belém, Brasília, Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Maceió, Natal, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Luis, São Paulo, Vitória e Belo Horizonte, sendo que o arquivo de Belo Horizonte não representa um ano climático de referência (TRY), mas sim um ano real medido em estação meteorológica. A Figura 3-29 mostra a Carta Bioclimática de Florianópolis, obtida no programa Analysis-BIO para dados climáticos horários.

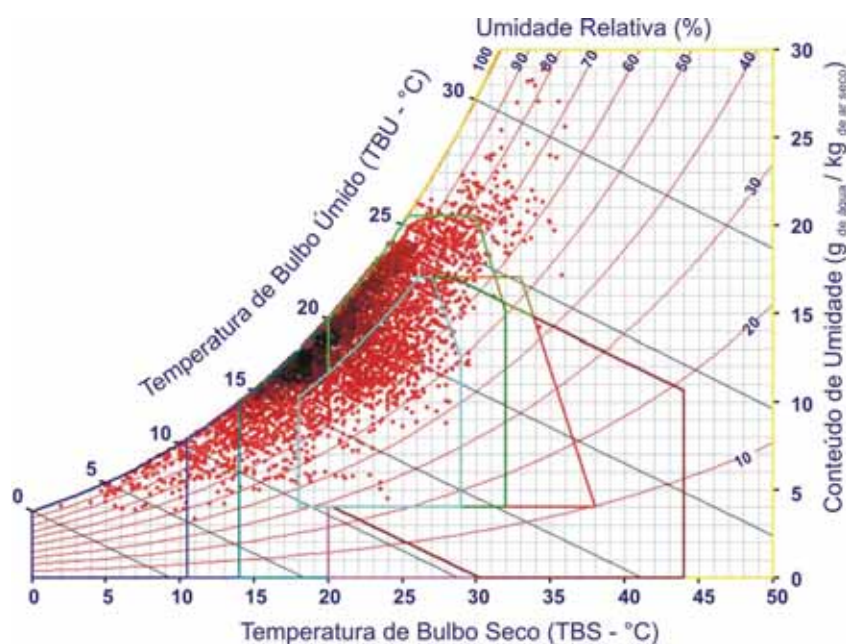


Figura 3-29: Carta Bioclimática de Florianópolis

Percebe-se que a diferença entre a temperatura mínima e máxima ao longo de um ano (amplitude térmica anual) na cidade é bastante alta, chegando a 34°C. As temperaturas máxima e mínima registradas foram de 36°C e 2°C respectivamente. A umidade relativa é muito alta na maior parte do ano, em vários horários o valor da umidade relativa chega próximo de 100%. Maiores detalhes sobre a análise bioclimática de Florianópolis e de outras treze cidades podem ser obtidos nos “Painéis Bioclimáticos” (item 3.9 e apêndice 1 deste livro).

A Tabela 3-3 mostra os percentuais de utilização de cada estratégia bioclimática indicados pelo programa Analysis-BIO para a cidade de Florianópolis. Analisando estes valores, percebe-se que se afiguram nesta cidade duas estratégias distintas: a necessidade de ventilação nos períodos quentes e de inércia térmica e aquecimento solar nos períodos frios. A dificuldade em solucionar estas duas indicações contrárias sublinha a importância de se conceber o envelope construtivo a partir dos dois conceitos de forma simultânea. Deve-se explorar o máximo possível da ventilação nos períodos de calor, proporcionando aberturas amplas e sombreadas e incluindo soluções de projeto como a possibilidade de ventilação cruzada e outras alternativas ilustradas mais adiante. O uso da inércia térmica para aquecimento traz a necessidade de se instalar as aberturas de forma a usufruir do sol nos períodos frios, com a incorporação de isolamento térmico para evitar perdas de calor à noite, além de garantir o sombreamento adequado nos períodos quentes.

Tabela 3-3: Percentuais das estratégias bioclimáticas indicados pelo programa Analysis-BIO para Florianópolis

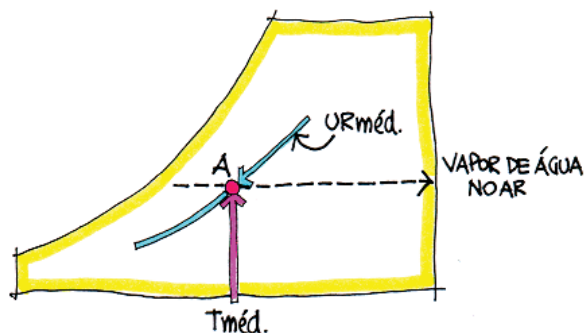
CONFORTO		21	
DESCONFORTO	CALOR	ventilação	35,5
		resfriamento evaporativo	0,0
		inércia térmica para resfriamento	0,0
		ar condicionado	1,7
		umidificação	0,0
		ventilação e inércia para resfriamento	0,0
		ventilação, inércia para resfriamento e resfriamento evaporativo	0,9
		inércia para resfriamento e resfriamento evaporativo	0,0
	FRIO	aquecimento solar com inércia térmica	35,4
		aquecimento solar com isolamento térmico	3,8
		aquecimento artificial	1,5

3.6.2 AVALIAÇÃO BIOCLIMÁTICA PELAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS

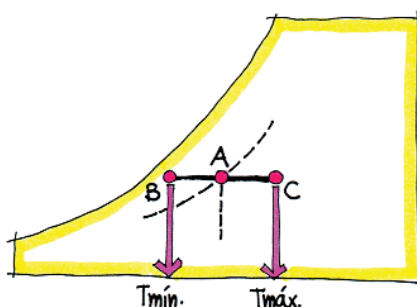
Para a avaliação bioclimática pelas Normais serão necessários os valores mensais de:

- Temperatura média, média das máximas e média das mínimas;
- Umidade relativa média.

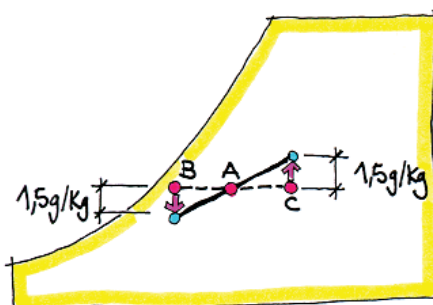
A partir desses dados, escolhe-se um mês e traça-se na carta psicrométrica uma linha vertical correspondente à sua temperatura média até atingir a curva da sua umidade relativa média. O ponto de interseção (A) indica, no eixo da direita, a quantidade de vapor de água no ar.



A partir do ponto A traça-se uma linha horizontal até encontrar as linhas verticais correspondentes às temperaturas média das máximas e média das mínimas (pontos B e C, respectivamente).



Considerando a variação média mensal de 3 g/kg no conteúdo de umidade diário (valor médio para o Brasil), toma-se a linha correspondente à quantidade de vapor, inclinada de acordo com a variação. Para isso, o conteúdo de umidade do ponto B deve ser diminuído em 1,5 g/kg, e no ponto C, acrescido do mesmo valor. Unindo os novos pontos obtidos, tem-se a linha correspondente ao mês em questão.



Repetindo esse procedimento para os doze meses do ano, obtêm-se doze retas. A relação das doze linhas com as zonas da carta psicrométrica fornece uma indicação visual do comportamento climático da cidade. Mas a fim de obter a efetividade de cada zona bioclimática, os seguintes procedimentos podem ser tomados:



Figura 3-30: Procedimento para fazer a análise bioclimática pelas Normais Climatológicas

- Mede-se o comprimento total das doze linhas;
- Medem-se as porções de linhas que se encontram dentro de cada zona bioclimática (zona de conforto, zona de ventilação, ...);
- Obtém-se o somatório correspondente a cada zona;
- Os percentuais de conforto térmico e de cada estratégia são obtidos pela comparação dos respectivos somatórios com o comprimento total das doze linhas.

Este procedimento pode ser feito automaticamente com o programa Analysis-BIO.

Analisando com o programa Analysis-BIO, de forma exemplificativa, a cidade de Florianópolis, obtiveram-se os seguintes dados (Figura 3-31 e Tabela 3-4):

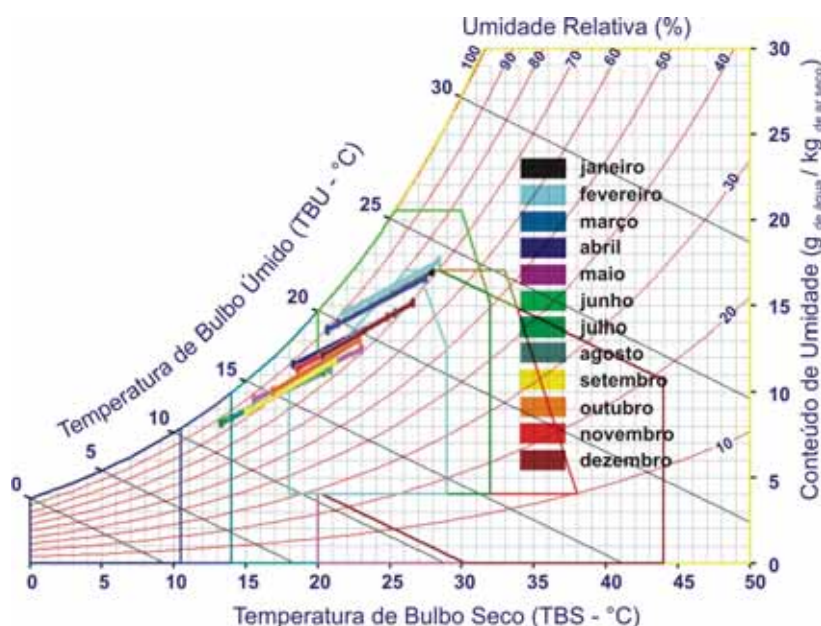


Figura 3-31: Carta bioclimática para Florianópolis com os dados das Normais Climatológicas

Tabela 3-4: Percentuais de cada estratégia bioclimática para Florianópolis

Zona Bioclimática	TRY	Normais	+ indicadas
Conforto	21,0	53,3	
Desconforto	79,0	46,7	
Frio	41,0	30,9	
Calor	38,0	15,8	
Ventilação	36,4	14,2	←
Inércia/Vent./Resf.Evap.	1,7	1,6	
Inércia com Aquec. Solar	35,4	29,4	←
Aquec. Solar	5,4	1,5	
Sombreamento	69,9	56,5	←

Comparando os valores de percentuais obtidos pelas Normais com os obtidos pelo TRY constata-se que, a partir das Normais, tende-se a superestimar o conforto e a subestimar as estratégias bioclimáticas em Florianópolis. Mesmo assim percebe-se que as estratégias de

ventilação natural, de sombreamento e de aquecimento solar com inércia térmica ainda são as mais indicadas, o que valida o uso das normais climatológicas para a maioria dos casos.

A mesma relação que existe entre a clara e a gema em um ovo frito pode sumarizar, de forma figurativa, a relação existente entre a carta bioclimática feita a partir do TRY e a partir das Normais. As Normais, por empregarem valores médios, tendem a concentrar as linhas representativas do ano na região correspondente ao centro de gravidade da mancha proveniente das 8.760 horas analisadas pelo TRY (Figura 3-32).

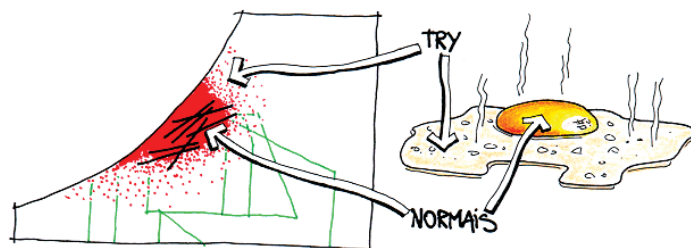


Figura 3-32: TRY X Normais

No caso particular de Florianópolis houve alterações significativas entre os resultados devido à grande amplitude anual de temperatura e umidade, que faz a mancha das horas do ano distribuir-se por grande área na carta. Em cidades com variações reduzidas de temperatura e umidade relativa ao longo do ano (São Luis, por exemplo, conforme ilustrado na Figura 3-33), os resultados obtidos pelas Normais e pelo TRY terão maior semelhança. Se a temperatura máxima absoluta e a mínima absoluta fossem utilizadas, os resultados percentuais provavelmente seriam mais próximos dos valores indicados pela análise com o ano climático.

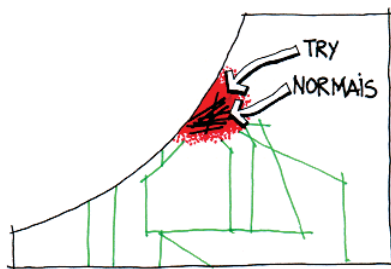


Figura 3-33: TRY X Normais em cidades com pouca variação climática anual

Partindo-se das análises das catorze cidades, algumas conclusões podem ser destacadas. Primeiramente quanto ao uso do ar condicionado, que se mostra imprescindível apenas em algumas cidades das regiões Norte e Nordeste, enquanto nas outras regiões seu uso geralmente pode ser substituído por alternativas mais econômicas, como a ventilação ou a inércia térmica para resfriamento.

Em todo o Brasil, a estratégia que mais se destaca é a ventilação, seguida pela inércia térmica com aquecimento solar passivo, indicada para os períodos frios na maioria das cidades. Em muitos casos, ambas as estratégias são indicadas, devendo-se tomar cuidados com a execução das aberturas, pois as mesmas devem permitir a ventilação nos períodos quentes, embora devam ser estanques nos períodos frios.

Quanto ao aquecimento solar e artificial, só foram sugeridos em poucos casos. Deve-se considerar, entretanto, que o TRY só foi obtido para um número limitado de cidades (catorze). As cidades mais frias do Brasil não aparecem, e certamente indicariam maiores percentuais dessas estratégias ao longo do ano.

Também se deve observar que boa parte das horas mais frias do ano se apresenta em horários noturnos, quando o nível de atividade das pessoas é bem reduzido e a tolerância a

temperaturas mais baixas é maior quando se dorme (devido ao isolamento térmico proporcionado pelo cobertor e pelo colchão).

O ponto mais importante é a grande diversidade climática do Brasil, que ficaria ainda mais saliente se fossem obtidos os Anos Climáticos de Referência de outras cidades. Contradizendo esta diversidade, as edificações brasileiras vêm sendo construídas de forma quase sempre padronizada, incorporando muitas vezes linguagens de outras culturas ou espalhando uma mesma tipologia por cidades de comportamentos climáticos distintos como Curitiba e São Luís, por exemplo.

A partir dessas observações a arquitetura deveria ser conduzida de forma diferente. O repertório do arquiteto deve ser mais amplo, permitindo que as especificidades de cada local aflorem como condicionantes a serem respeitadas em uma linguagem arquitetônica adequada, e enriquecendo a Arquitetura Brasileira com tipologias diferenciadas e próprias.

3.7 Zoneamento Bioclimático Brasileiro

A Norma Brasileira NBR 15220-3 estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro, subdividindo o país em oito Zonas Bioclimáticas, conforme a Figura 3-34 (ABNT 2005).

A NBR 15220-3 define as características principais e dá diretrizes construtivas para cada uma destas oito zonas bioclimáticas em relação ao tamanho de janelas, ao sombreamento necessário, ao tipo ideal de paredes e coberturas e também às estratégias bioclimáticas mais recomendadas para o local. As cidades que se apresentam no mapa são as que dispõem de dados climáticos horários no formato TRY.



Figura 3-34: Zoneamento Bioclimático Brasileiro

As características básicas de cada zona bioclimática são as seguintes:

3.7.1 **ZONA 1**

A Zona Bioclimática 1 inclui as cidades de Curitiba, Caxias do Sul, Lages, São Joaquim e Campos do Jordão e tem como principais recomendações construtivas o uso de aberturas para ventilação de dimensões médias, o sombreamento destas aberturas de forma a permitir o sol do inverno e o uso de paredes e coberturas de inércia térmica leve, sendo as coberturas idealmente isoladas. As principais estratégias bioclimáticas para esta região são o aquecimento solar e a grande inércia térmica nas vedações internas.

3.7.2 **ZONA 2**

A Zona Bioclimática 2 tem as mesmas diretrizes construtivas da zona 1, porém inclui a necessidade de ventilação cruzada no verão. Inclui as cidades de Laguna, Uruguaiana, Pelotas, Ponta Grossa e Piracicaba.

3.7.3 **ZONA 3**

A Zona Bioclimática 3 inclui as cidades de Florianópolis, Camboriú, Chapecó, Porto Alegre, Rio Grande, Torres, São Paulo, Campinas, Pindamonhangaba, Sorocaba, Belo Horizonte, Foz do Iguaçu, Jacarezinho, Paranaguá e Petrópolis e recomenda como diretrizes construtivas o mesmo que a zona 2, incluindo paredes externas leves e refletoras a radiação solar.

3.7.4 **ZONA 4**

Na Zona Bioclimática 4 tem como principais recomendações construtivas o uso de aberturas médias, sombreamento necessário nas aberturas durante todo o ano, paredes pesadas e cobertura leve com isolamento térmico.

As principais estratégias bioclimáticas para esta zona são o resfriamento evaporativo, a inércia térmica para resfriamento e a ventilação seletiva no verão e o aquecimento solar e a grande inércia térmica das vedações internas para o período frio. As cidades de Brasília, Franca, Limeira, Ribeirão Preto e São Carlos se situam nesta zona.

3.7.5 **ZONA 5**

A Zona Bioclimática 5 inclui as cidades de Niterói, São Francisco do Sul e Santos. Suas principais recomendações construtivas são janelas de tamanho médio com sombreamento, paredes leves e refletoras, coberturas leves isoladas termicamente, uso de ventilação cruzada no verão e de vedações internas pesadas (com grande inércia térmica) no inverno.

3.7.6 **ZONA 6**

A Zona Bioclimática 6 inclui as cidades de Goiânia, Campo Grande e Presidente Prudente e tem como principais diretrizes bioclimáticas construtivas o uso de aberturas médias sombreadas, paredes pesadas, coberturas leves com isolamento térmico, uso de resfriamento evaporativo e de ventilação seletiva no verão e uso de vedações internas pesadas no inverno.

3.7.7 **ZONA 7**

A Zona Bioclimática 7 inclui como recomendações construtivas o uso de aberturas pequenas e sombreadas o ano todo, o uso de paredes e de coberturas pesadas e o uso de resfriamento evaporativo, de inércia para resfriamento e de ventilação seletiva no verão. Inclui as cidades de Cuiabá e Teresina

3.7.8 ZONA 8

A Zona Bioclimática 8 inclui as cidades de Belém, Corumbá, Fernando de Noronha, Fortaleza, João Pessoa, Maceió, Manaus, Natal, Recife, Rio Branco, Rio de Janeiro, Santarém, Salvador, São Luís e Vitória. Suas principais diretrizes construtivas são o uso de aberturas grandes e totalmente sombreadas, o uso de paredes e coberturas leves e refletoras e o uso de ventilação cruzada permanente durante o ano todo. Um resumo das diretrizes construtivas indicadas pela norma pode ser visto na Tabela 3-5. Na tabela foram utilizados os seguintes símbolos e respectivas unidades físicas:

- U - transmitância térmica [W/m^2K];
- φ - atraso térmico [horas];
- FS_0 - fator solar para superfícies opacas [%].

Os procedimentos de cálculo destas variáveis são descritos no sétimo capítulo deste livro, intitulado Propriedades Térmicas dos Elementos Construtivos.

Tabela 3-5: Resumo das diretrizes construtivas definidas pela Norma NBR 15220-3, adaptado de Lamberts e Triana (2006)

zona	estratégias		aberturas para ventilação A (em % da área de piso)	sombreamento das aberturas	parede			cobertura		
	verão	inverno			U	φ	FS_0	U	φ	FS_0
1		aquecimento solar da edificação / vedações internas pesadas (inércia térmica)	médias $15\% < A < 25\%$	permitir sol apenas durante o inverno	$\leq 3,0$ (parede leve)	$\leq 4,3$	$\leq 5,0$	$\leq 2,0$ (leve isolada)	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
2	ventilação cruzada	aquecimento solar da edificação / vedações internas pesadas (inércia térmica)	médias $15\% < A < 25\%$	permitir sol apenas durante o inverno	$\leq 3,0$ (parede leve)	$\leq 4,3$	$\leq 5,0$	$\leq 2,0$ (leve isolada)	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
3	ventilação cruzada	aquecimento solar da edificação / vedações internas pesadas (inércia térmica)	médias $15\% < A < 25\%$	permitir sol apenas durante o inverno	$\leq 3,6$ (parede leve refletor a)	$\leq 4,3$	$\leq 4,0$	$\leq 2,0$ (leve isolada)	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
4	Resfriamento evaporativo e inércia térmica para resfriamento / ventilação seletiva nos períodos quentes, em que a temperatura interna seja superior à externa	aquecimento solar da edificação / vedações internas pesadas (inércia térmica)	médias $15\% < A < 25\%$	sombrear aberturas	$\leq 2,2$ (parede pesada)	$\geq 6,5$	$\leq 3,5$	$\leq 2,0$ (leve isolada)	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
5	ventilação cruzada	vedações internas pesadas (inércia térmica)	médias $15\% < A < 25\%$	sombrear aberturas	$\leq 3,6$ (parede leve refletor a)	$\leq 4,3$	$\leq 4,0$	$\leq 2,0$ (leve isolada)	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
6	Resfriamento evaporativo e inércia térmica para resfriamento / ventilação seletiva nos períodos quentes, em que a temperatura interna seja superior à externa	vedações internas pesadas (inércia térmica)	médias $15\% < A < 25\%$	sombrear aberturas	$\leq 2,2$ (parede pesada)	$\geq 6,5$	$\leq 3,5$	$\leq 2,0$ (leve isolada)	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
7	Resfriamento evaporativo e inércia térmica para resfriamento / ventilação seletiva nos períodos quentes, em que a temperatura interna seja superior à externa		pequenas $10\% < A < 15\%$	sombrear aberturas	$\leq 2,2$ (parede pesada)	$\geq 6,5$	$\leq 3,5$	$\leq 2,0$ (pesada)	$\leq 6,5$	$\leq 6,5$
8	ventilação cruzada permanente OBS: o condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes		grandes $A > 40\%$	sombrear aberturas	$\leq 3,6$ (parede leve refletor a)	$\leq 4,3$	$\leq 4,0$	$\leq 2,3.FT$ (leve refletor a)	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$

3.8 Programas de Análises Bioclimáticas

3.8.1 O Programa *Analysis-Bio*

O Analysis-BIO (Figura 3-35) é bastante útil para a compreensão do comportamento climático de cidades. O programa traça os dados climáticos horários existentes em arquivos no formato TRY, CSV ou XLS diretamente sobre a carta bioclimática de Givoni (ver item 3.5). É uma ferramenta bastante útil para a rápida análise visual das condições térmicas ao longo de um ano em determinado local e da aplicabilidade de estratégias de projeto bioclimáticas para resolver os problemas relacionados ao frio, calor, umidade e secura do ar.

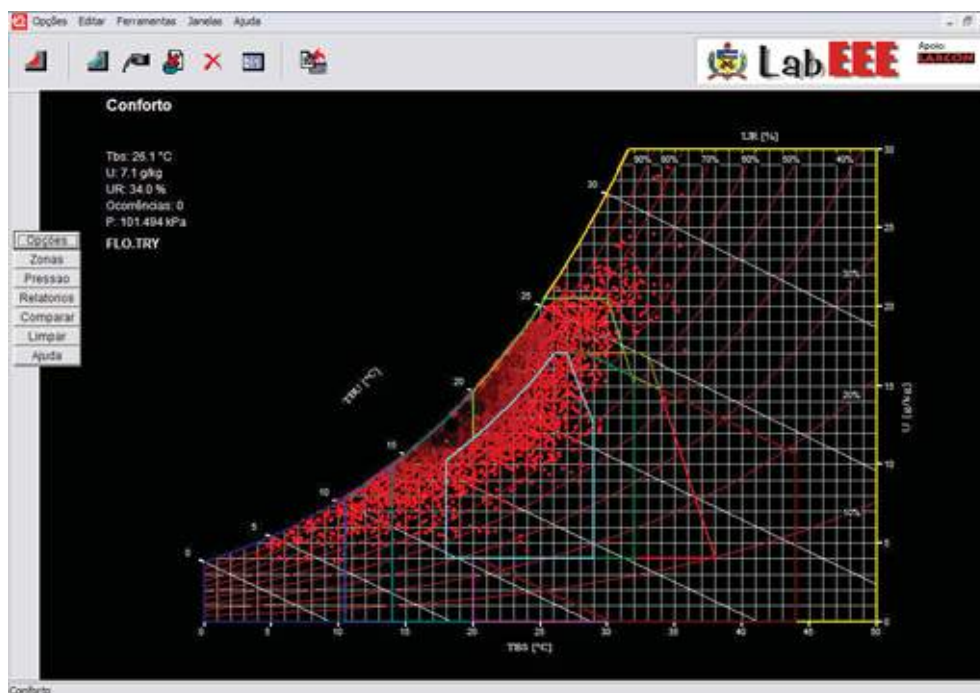


Figura 3-35: Imagem do programa Analysis-BIO com análise bioclimática horária

As nove principais zonas bioclimáticas (Zona de Conforto, Ventilação, Inércia Térmica para Resfriamento e Aquecimento, Resfriamento Evaporativo, Aquecimento Solar, Aquecimento Artificial, Umidificação e Ar Condicionado) são visualizadas na carta. O programa pode gerar relatórios em forma de texto e histogramas que fornecem dados quantitativos para adequabilidade de cada estratégia em um projeto genérico a ser desenvolvido no local sob análise.

O programa Analysis-BIO também traça as linhas correspondentes de cada mês do ano para locais que não possuam dados climáticos horários, mas possuam dados de temperatura e umidade médios mensais, como os que podem ser obtidos nas Normais Climatológicas (Departamento Nacional de Meteorologia 1992; Instituto Nacional de Meteorologia 1979) (Figura 3-36).

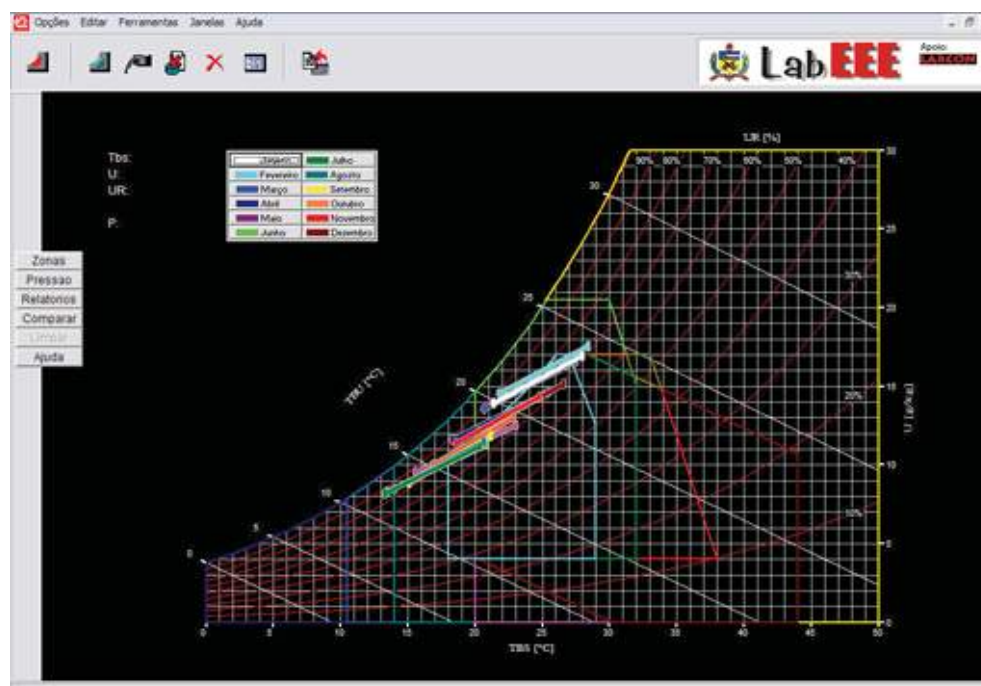


Figura 3-36: Imagem do programa Analysis-BIO com análise dos dados das Normais

O programa Analysis-BIO (2006) foi desenvolvido no Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina e pode ser obtido gratuitamente em <http://www.labeee.ufsc.br>.

Existem também outros programas de análise climática, como o *The Weather Tool*, o *Climate Consultant* e o *ABC (Architectural Bioclimatic Classification)*, da Universidade de São Carlos.

3.9 “Painel Bioclimático”

Após todos os conceitos discutidos até aqui, é importante achar um meio de visualizar as informações de forma organizada e esclarecedora, facilitando a análise bioclimática e a tomada de decisões relativas ao projeto arquitetônico que irá responder às necessidades do usuário e ao clima local. O “Painel Bioclimático” foi assim concebido para as catorze cidades brasileiras que possuem dados climáticos horários.

Para visualizar essas indicações de forma prática, o Painel Bioclimático a seguir é da cidade de Florianópolis. Todos os catorze painéis estão no apêndice 1 deste livro.

Cada painel mostra as seguintes informações a respeito de cada cidade:

- avaliação bioclimática da cidade feita através do Ano Climático de Referência, com auxílio do programa Analysis-BIO;
- avaliação das cartas solares com os dados de temperatura entre dezembro e junho e entre junho e dezembro traçados, com auxílio do programa Analysis-SOL-AR;
- avaliação das rosas-dos-ventos (Analysis-SOL-AR) com os dados de frequência de ocorrência e velocidades dos ventos predominantes para a cidade;
- fluxograma com a frequência de ocorrência das temperaturas;
- gráfico com as umidades relativas anuais da cidade;
- gráfico com a precipitação mensal na cidade;

REFERÊNCIAS

- ABNT (2005). NBR 15220-3 - *Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*.
- ANALYSIS-BIO (versão 2.1, 2006). *Programa Analysis-BIO: módulo bioclimatologia*. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível para download em: <http://www.labeee.ufsc.br>, Acesso em: 13 fev. 2006.
- ANDERSON, B.; Wells, M.; (1981). *Passive solar energy*. Brick House Publishing Co., Massachusetts, USA.
- BOGO, A.; Pietrobon, C. E.; Barbosa, M. J.; Goulart, S. V. G.; Pitta, T.; Lamberts, R.; (1994). *Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico*. Relatório Interno no 02/94, Núcleo de Pesquisa em Construção, UFSC, Florianópolis, SC.
- BROWN, G. Z.; DeKay, M.; (2004). *Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura*. 2a Edição, Bookman, Porto Alegre.
- CLIMATE Consultant (versão de agosto de 1991). *Programa Climate Consultant*. UCLA Department of Architecture and Urban Design, Los Angeles, EUA. Disponível para download em: <http://www2.aud.ucla.edu/energy-design-tools/>, Acesso em: 13 fev. 2006.
- COLLE, S.; Pereira, E. B.; (1998). *Atlas de irradiação solar do brasil (1ª versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície)*. INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, LABSOLAR - Laboratório de Energia Solar - EMC/UFSC, Brasília, DF.
- COMMISSION of the European Communities; (1992). *Energy conscious design: a primer for architects*. B. T. Batsford Ltd., London, UK.
- CORBELLA, O.; Yannas, S. (2003). *Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos - conforto ambiental*. Revan, Rio de Janeiro.
- CUNHA, G. R.; Pires, J. L. F.; Pasinato, A.; (2004). *Uma discussão sobre o conceito de hazards e o caso do furacão/ciclone catarina*. Documentos Online, Embrapa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do36.pdf; acesso em: 01 de outubro de 2006.
- DE ANDRADE, L. M. S. (2005). *Agenda Verde x Agenda Marrom: Inexistência de Princípios Ecológicos para o Desenho de Assentamentos Urbanos*. Dissertação, Brasília. 207p.
- DE ASSIS, E. S.; (2005). *A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória*. in: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-Americano Sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió, AL, pp. 92-101.
- DEPARTAMENTO Nacional de Meteorologia, (1992). *Normais Climatológicas, (1961-1990)*. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, DF.

- ELETROSUL, Eletrobrás/PROCEL, LabEEE/UFSC (2006). *Projeto Casa Eficiente: projeto de uma residência unifamiliar eficiente*. Eletrosul Centrais Elétricas S.A., Centrais Elétricas Brasileiras S.A./Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações/Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/>, Acesso em: 13 fev. 2006.
- EVANS, J. M.; Schiller, S. (1994). *Diseño bioambiental y arquitectura solar*. 3º ed. Série de Ediciones Previas. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Buenos Aires, Argentina.
- FACULTAD de Ciências Físicas y Matemáticas, (2006). *Clasificación del clima según Köppen*. Santiago, Chile. Disponível em: <http://www.atmosfera.cl/HTML/climatologia/koppen.htm>. Acesso em: 13 fev. 2006.
- FANGER, P. O.; (1972). *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill, New York, USA.
- FONSECA, M. R.; (1983). *Desenho solar*. Ed. Projeto, IAB, Bahia.
- GIVONI, B.; (1992). *Comfort, climate analysis and building design guidelines*. in: Energy and Building, vol. 18, july/92, pp. 11-23.
- GONZALEZ, E.; Hinz, E.; Oteiza, P.; Quiros, C.; (1986). *Proyecto clima y arquitectura*. Ediciones Gustavo Gili, S. A., México.
- GOULART, S.V.G., Lamberts, R., Firmino, S. (1997). *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*. Núcleo em Pesquisa em Construção/UFSC, Florianópolis.
- IBGE 2006. Mapa dos climas do Brasil. <http://mapas.ibge.gov.br>
- INSTITUTO Nacional de Meteorologia, (1979). *Normais Climatológicas, (1931-1960)*. Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, RJ.
- KOENIGSBERGER, O. H.; Ingersoll, T. G.; Mayhew, A.; Szokolay, S. V.; (1977). *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Paraninfo S. A., Madrid, Espanha.
- LabSOLAR/NCTS, (2006). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.labsolar.ufsc.br>>, Acesso em: 13 fev. 2006.
- LAMBERTS, R.; Triana, M. A.; (2006). *Tecnologias para construção habitacional mais sustentável*. Relatório número 1: Estado da Arte, capítulo 3, Energia. Projeto FINEP 2386/04, São Paulo.
- LOMBARDO, M. A.; Quevedo Neto, P. S.; (2001). *Transformação da paisagem na área de transição urbano-rural: repercussões sobre o clima urbano*. in: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, São Pedro, SP, pp. 1-6
- MONTEIRO, C. A. F.; Mendonça, F.; (2003). *Clima urbano*. Contexto, São Paulo.
- OLGYAY, V.; (1968). *Clima y arquitectura en Colombia*. Universidad del Valle. Facultad de Arquitectura. Cali, Colombia.

- OLGYAY, V.; (1973). *Design with climate - bioclimatic approach to architectural regionalism*. 4° ed. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- PEREIRA, F. O. R.; (1993). *Luz solar direta: Tecnologia para melhoria do ambiente lumínico e economia da energia na edificação*. in: II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Florianópolis, SC, pp 257-267.
- ROAF, S.; Fuentes, M; Thomas, S. (2004). *Ecohouse 2: a design guide*. Architectural Press, Oxford, UK.
- ROMERO, M. A. B.; (2001a). *Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano*. 2ª edição, ProEditores, São Paulo.
- ROMERO, M. A. B.; (2001b). *A arquitetura bioclimática do espaço público*. Editora Universidade de Brasília, Brasília. (ISBN 85-230-0652-4)
- SZOKOLAY, S. V.; (1980). *Environment science handbook for architects and builders*. The Construction Press Ltda, Lancaster, UK.
- SZOKOLAY, S. V.; (1987). *Thermal design of buildings*. RALA Education Division, Red Hill, Austrália.
- THE WEATHER Tool (versão 1.10). Programa The Weather Tool. Square One Research PTY LTD., Cardif University, Cardiff, Wales. Disponível para download em: <<http://www.squ1.com>>, Acesso em: 13 fev. 2006.
- WATSON, D.; Labs, K.; (1983). *Climatic design: energy-efficient building principles and practices*. McGraw-Hill, New York, USA.



o ENTENDIMENTO DA
GEOMETRIA SOLAR É, COM
CERTeza, UM DOS ASPECTOS
MAIS IMPORTANTES NUM
PROJETO BIOCLIMÁTICO!

GEOMETRIA SOLAR

sumário

4	GEOMETRIA SOLAR	111
4.1	A Radiação Solar como Fonte de Calor	112
4.2	Trajectoria da Terra em Torno do Sol	114
4.3	Posição do Sol no Céu	116
4.4	Norte Geográfico versus Norte Magnético	116
4.5	Horário Local <i>versus</i> Horário Solar	117
4.6	A Carta Solar	119
4.6.1	Aplicações práticas da carta solar	124
4.7	O Transferidor de Ângulos	127
4.7.1	O ângulo α	127
4.7.2	O ângulo β	128
4.7.3	O ângulo γ	129
4.8	Análise de insolação e sombreamento de obstruções e aberturas	130
4.9	Análise de proteções solares	131
4.9.1	Proteção Solar horizontal	131
4.9.2	Proteção solar vertical	133
4.10	Projeto de proteções solares	135
4.11	Análise de sombreamento e projeto de proteções solares com aparatos de simulação em maquetes	140
4.11.1	Relógio Solar	140
4.11.2	Heliodons e Solarscópios:	141
4.11.3	Análise de maquetes com heliodons e solarscópios	142
4.12	Simulação de sombreamento e acesso solar com auxílio de programas computacionais	143
4.12.1	Analysis-SOL-AR:	143
4.12.2	Outros Aplicativos... ..	144
4.13	Tabela de Brises”	145
	REFERÊNCIAS	145

CAPÍTULO 4:

4 GEOMETRIA SOLAR

Este capítulo trata de um dos mais importantes aspectos relacionados à arquitetura bioclimática, a **GEOMETRIA SOLAR**. No Brasil, particularmente, a geometria solar é um conhecimento fundamental para o arquiteto, pois a maior parte de nosso território tem verões quentes e muito sol ao longo do ano, tendo o sombreamento como uma das estratégias bioclimáticas mais indicadas. A tabela a seguir mostra a desejabilidade de sombreamento e de insolação nas principais cidades brasileiras, segundo a Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis-BIO. Esse valor é um percentual das horas do ano no período diurno (4745 horas, considerando horários entre as 6h da manhã e 18h), e representa os horários quando a temperatura do ar supera o valor de 20°C.

Tabela 4-1: Percentual de necessidade de sombreamento em algumas cidades brasileiras

cidade	necessidade de sombreamento (% das horas do ano no período diurno)	necessidade de sol (% das horas do ano no período diurno)
<i>cidades com grande necessidade de sombreamento durante todo o ano</i>		
Belém	100,0	0,0
Fortaleza	100,0	0,0
São Luís	100,0	0,0
Recife	100,0	0,0
<i>cidades com necessidade de insolação no inverno e de sombreamento no verão</i>		
Brasília	73,8	22,6
Florianópolis	69,9	25,6
Maceió	98,2	1,8
Natal	99,7	0,3
Rio de Janeiro	89,5	10,5
Salvador	98,6	1,4
Vitória	89,8	9,1
<i>cidades onde as necessidades de sombreamento e de insolação são parecidas</i>		
Curitiba	37,3	48,1
Porto Alegre	56,3	35,0
São Paulo	51,1	42,8

Observa-se um grande percentual de horas do ano onde o sombreamento é necessário na maior parte das cidades analisadas, principalmente no Nordeste brasileiro. Mais ao sul, nas cidades de Curitiba, Florianópolis, Porto Alegre e São Paulo, este percentual é menor, pois

o inverno nestas cidades é mais frio e o sol passa a ser importante como fonte de calor. Nas cidades de Curitiba, Porto Alegre e São Paulo, as horas diurnas onde o sol é desejável (períodos mais frios, como o inverno) somam valores semelhantes às horas diurnas onde o sombreamento é desejável (períodos quentes, como o verão).

Mas o sol, além de nos trazer calor, traz também luz natural para o interior, sendo este outro importante fator a ser considerado numa arquitetura bioclimática. Por este motivo, sombrear o sol exige conhecimentos precisos dos momentos em que ele é indesejável, ou seja, normalmente no calor do verão, e dos momentos onde ele é desejável, seja no frio do inverno ou na necessidade de iluminação natural.

A iluminação natural é assunto do próximo capítulo, mas neste trataremos dos aspectos mais importantes sobre a geometria solar e sobre a necessidade de sombreamento em edificações.

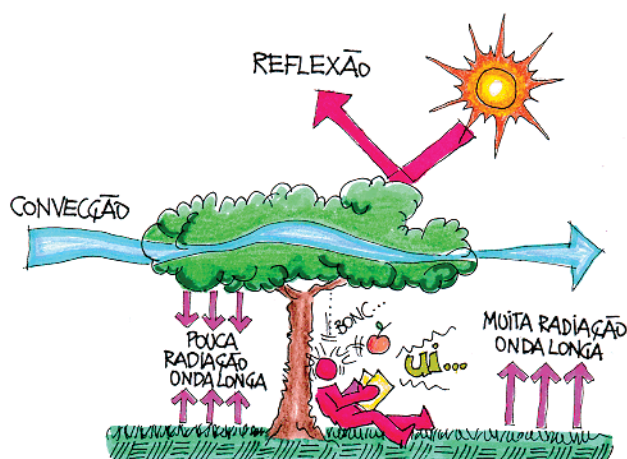
Já vimos anteriormente que desde a antiguidade o homem tem se preocupado com a necessidade ou não do sol. Exemplos como o *heliocaminus*, o Mesa Verde, as ruas sombreadas em Sevilha nos mostram que a arquitetura vernacular se preocupava com o sol. Mas esta preocupação não aconteceu apenas no passado mais longínquo, pois mesmo durante o movimento conhecido como estilo Internacional, o arquiteto Le Corbusier dizia que: “É missão da arquitetura moderna se preocupar com o sol” e que “O sol é nosso amigo em parte do ano, e nosso inimigo na outra parte”.

No Brasil, a arquitetura deveria adaptar-se às necessidades de sombreamento e de acesso solar nos períodos respectivamente mais quentes e mais frios, mas isso não acontece. Temos exemplos de edifícios que não exploram as técnicas de sombreamento adequadamente e que, mesmo utilizando brises ou outro tipo de proteção solar, não o fazem de forma correta. Além disso, em certos edifícios, o uso de fachadas envidraçadas é exagerado, resultando em espaços internos muito quentes no verão e frios no inverno.

Para que o arquiteto possa mudar esse cenário, é necessário que alguns conceitos de geometria solar sejam descritos.

4.1 A Radiação Solar como Fonte de Calor

A radiação solar é nossa principal fonte de calor, e pode ser explorada ou evitada conforme necessário.



A radiação solar pode ser interceptada pelos elementos vegetais e topográficos do local. A vegetação é diferente de outras possíveis obstruções no bloqueio da radiação solar. As árvores com folhas caducas, por exemplo, podem sombrear a edificação no verão, enquanto que no inverno permitem a passagem do sol. Em locais arborizados, a vegetação pode interceptar entre 60 e 90% da radiação solar, causando uma redução substancial da temperatura da superfície do solo, conforme ilustrado na Figura 4-1. (Olgay 1973).

Figura 4-1: Árvore e radiação solar

Isto acontece porque o vegetal absorve parte da radiação solar para seu metabolismo (fotossíntese). A parcela de calor emitida da árvore para o solo também é bem menor que a céu aberto. Além disso, o movimento do ar entre as folhas retira grande parte do calor absorvido do sol.

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) (1 na Figura 4-2), radiação solar difusa (onda curta) (2 na Figura 4-2), radiação solar refletida pelo solo e pelo entorno (onda curta) (3), radiação térmica emitida pelo solo aquecido e pelo céu (onda longa) (4) e radiação térmica emitida pelo edifício (onda longa) (5) (McCluney 1993). A radiação de onda curta refletida pelo solo e pelo entorno (3) depende das características da superfície refletora (albedo).

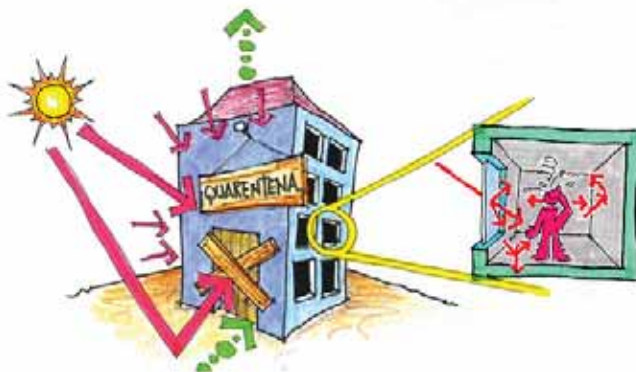


Figura 4-2: Trocas de calor por radiação em edifícios e Efeito Estufa

O albedo é uma variável adimensional, relativa a cada tipo de superfície refletora. Quanto maior o albedo, maior a capacidade da superfície em refletir a radiação - uma superfície gramada, por exemplo, tem albedo de 0,2, que significa que apenas 20% da radiação solar incidente é refletida.

Após receber a radiação solar, o solo se aquecerá, emitindo em seguida radiação térmica de onda longa (4 na Figura 4-2). Este fenômeno também ocorre com a edificação (5).

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.

A Figura 4-3 mostra a radiação solar disponível nas quatro principais orientações (norte, sul, leste e oeste) e na superfície horizontal no dia 21 de junho (inverno) para a cidade de Florianópolis. A Figura 4-4 mostra a radiação solar disponível no dia 21 de dezembro (verão). Estas duas figuras foram geradas com auxílio do programa DLN de Paulo Sérgio Scarazzato (Scarazzato 2007). Percebe-se que a fachada norte de uma edificação nesta cidade é a mais adequada termicamente, pois é a que menos recebe sol no verão e a que mais recebe no inverno. As fachadas leste e oeste podem ser problemáticas se não devidamente sombreadas nos períodos mais quentes, pois recebem muita radiação solar no verão, embora isto possa ser desejável no inverno. A fachada sul é a que menos recebe sol nestas duas estações, sendo mais adequada para ambientes onde a presença do sol é indesejável, como em salas de aula, por exemplo.

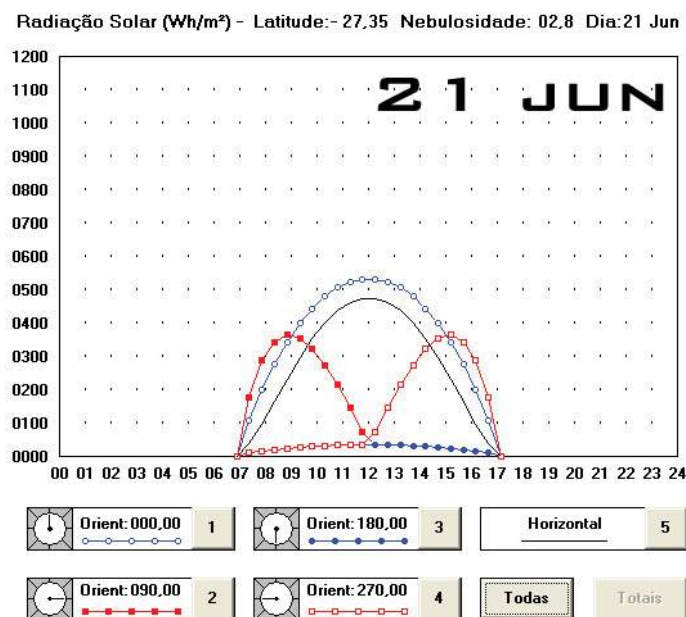


Figura 4-3: Insolação das fachadas norte, sul, leste, oeste e na horizontal no inverno para Florianópolis, segundo programa DLN

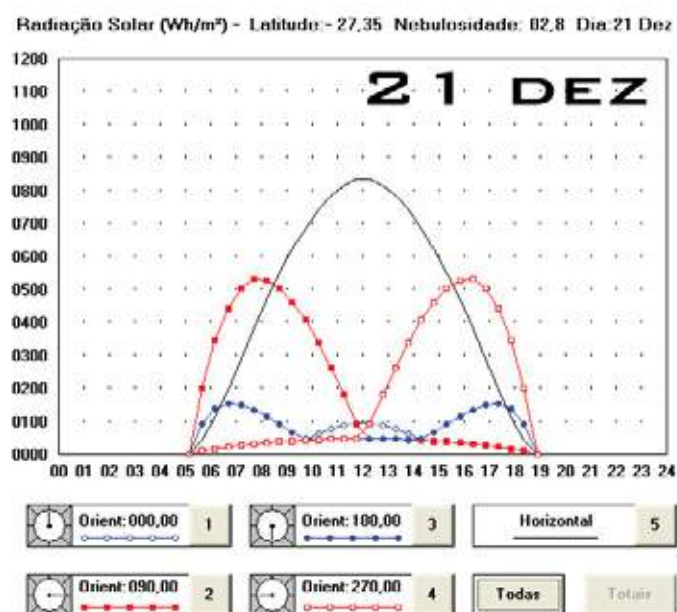


Figura 4-4: Insolação das fachadas norte, sul, leste, oeste e na horizontal no verão para Florianópolis, segundo programa DLN

4.2 Trajetória da Terra em Torno do Sol

O primeiro conceito importante é a noção sobre o que são solstícios e equinócios e como estes influem no posicionamento do sol na abóbada celeste.

É fácil perceber que, no verão, o clima é bem mais quente que no inverno, pelo menos para os locais com maiores latitudes. Isso acontece porque o sol está presente no céu por mais tempo no verão, e o número de horas de sol diminui consideravelmente no inverno. Existem dois momentos ao longo do ano que representam os extremos de maior trajetória

solar (maior número de horas de sol durante um dia específico) e de menor trajetória solar na abóbada celeste. São respectivamente os solstícios de verão e de inverno, normalmente nos dias 21 de dezembro e 21 de junho.

Esses solstícios acontecem por causa da inclinação que existe entre o eixo de rotação e o plano de translação da Terra em relação à sua órbita ao redor do Sol, cujo valor é de $23,5^\circ$ (Figura 4-5). Assim, no dia 21 de dezembro temos o solstício de verão no hemisfério sul e, simultaneamente, o solstício de inverno no hemisfério norte.

Exatamente três meses após cada um destes solstícios, a Terra está numa posição em que o sol incide igualmente em cada um dos seus hemisférios, e o ângulo de inclinação de $23,5^\circ$ não influi. São os equinócios, que acontecem nos dias 21 de março (equinócio de outono no Hemisfério Sul) e 21 de setembro (equinócio de primavera no Hemisfério Sul). Da mesma forma que nos solstícios, os equinócios são complementares nos dois hemisférios, ou seja, o outono inicia no norte quando a primavera inicia no sul e vice-versa.

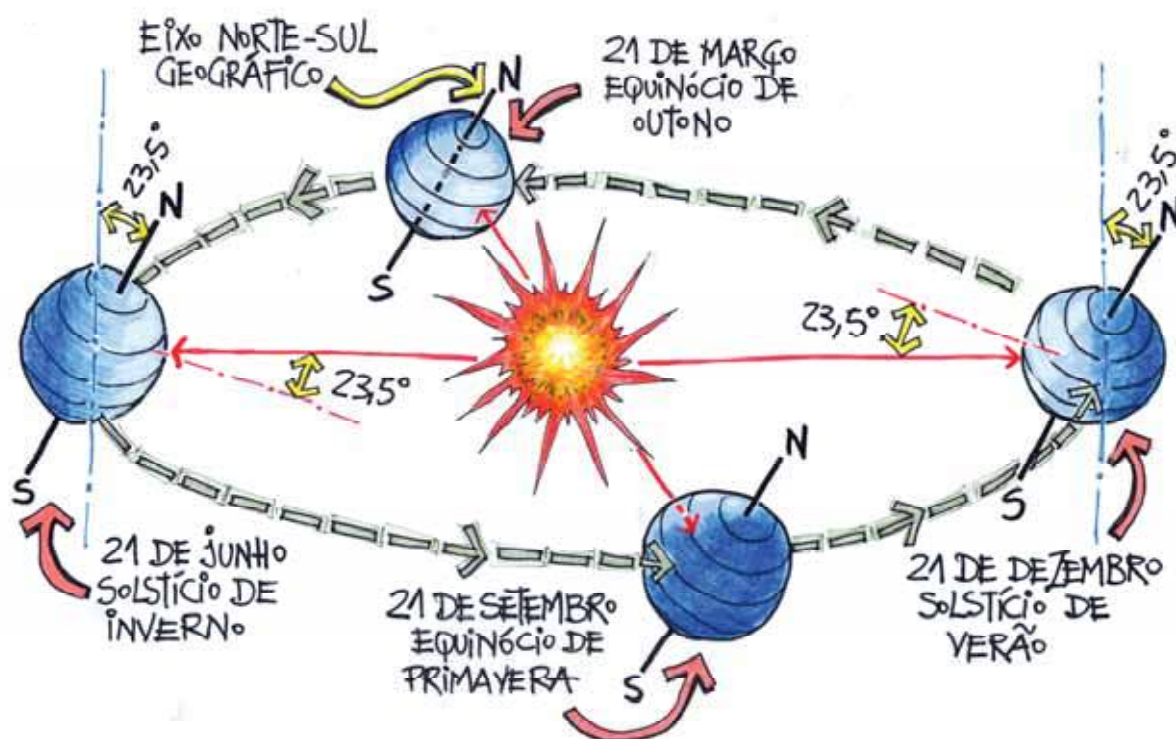


Figura 4-5: Trajetória da terra ao redor do sol (translação) com o ângulo de inclinação do eixo norte-sul, os solstícios e os equinócios para o hemisfério sul.

Esse ângulo de inclinação de $23,5^\circ$, medido a partir do Equador, gera os Trópicos de Capricórnio no hemisfério sul e de Câncer no hemisfério norte. Convencionou-se o Equador como o paralelo cujo ângulo de latitude é igual a zero. Desta forma, os trópicos têm suas respectivas latitudes com valores de $23,5^\circ$ N (Câncer) e $23,5^\circ$ S (Capricórnio). Em latitudes maiores que $23,5^\circ$ o sol não passa pelo zênite, o ponto mais alto na abóbada celeste em relação ao observador.

No dia 21 de dezembro, os raios solares estão perpendiculares à Terra no Trópico de Capricórnio e nenhuma parte da Terra com latitude maior que essa recebe o sol “a pino”, vindo diretamente do zênite celeste.

No dia 21 de junho, na posição oposta da Terra em relação à sua órbita ao redor do Sol, toda porção da Terra abaixo do Círculo Polar Antártico tem 24 horas de noite, enquanto que toda porção da Terra acima do Círculo Polar Ártico tem 24 horas de dia. Nesse mesmo dia, o sol é perpendicular à Terra no Trópico de Câncer, no hemisfério norte.

Nos dias 21 de março e 21 de setembro (equinócios) a Terra está na metade da sua trajetória ao redor do sol e tem-se um dia com o mesmo número de horas de sol e de noite. No dia 21 de março temos o equinócio de outono no hemisfério sul e de primavera no hemisfério norte e no dia 21 de setembro temos o equinócio de primavera no hemisfério sul e de outono no hemisfério norte. Nos equinócios, o sol está totalmente perpendicular ao Equador.

4.3 Posição do Sol no Céu

A posição do sol no céu pode ser definida por dois ângulos, a Altura Solar (H) e o Azimute Solar (A). A altura solar consiste no ângulo formado entre o sol e o plano horizontal da Terra e o azimute solar consiste no ângulo formado entre o norte geográfico e a projeção do sol no plano horizontal. Ambos os ângulos variam conforme a latitude do local, hora do dia e dia do ano. Estes ângulos são úteis para a identificação da insolação em aberturas, sombreamento das edificações e do seu entorno e análise e projeto de proteções solares.

4.4 Norte Geográfico versus Norte Magnético

O NORTE GEOGRÁFICO é o correto para utilização da geometria solar. Uma bússola lê o NORTE MAGNÉTICO, que tem uma defasagem angular em relação ao norte geográfico indicada pelo valor da declinação magnética para o local e data desejados. Essa declinação não é constante e deve ser corrigida anualmente através da leitura das cartas isogônicas para o local sob análise. As cartas isogônicas podem ser produzidas para qualquer local e data. A Internet dispõe de diversos endereços dedicados à construção de cartas isogônicas, como o site <http://www.ava.fmi.fi/MAGN/igrf/applet.html> (KORHONEN 2012). Para a construção da carta, deve-se entrar com os dados de latitude e longitude do local, bem como definir o ano para qual se deseja verificar a carta isogônica.

Para cálculo do valor da declinação magnética para qualquer local e data, pode-se acessar o site <http://www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/Declination.jsp> (NGDC 2012).

A declinação magnética para algumas cidades brasileiras em 2012 é segundo a Tabela 4-2.

Tabela 4-2: quinze cidades brasileiras e respectivas declinações magnéticas

<i>cidade</i>	<i>latitude</i>	<i>longitude</i>	<i>declinação magnética</i>
Belém	1° 27'S	48° 29'W	19° 59'W
Belo Horizonte	19° 55'S	43° 56'W	22° 21'W
Brasília	15° 41'S	47° 32'W	21° 10'W
Curitiba	25° 25'S	49° 15'W	18° 54'W
Florianópolis	27° 35'S	48° 34'W	18° 40'W
Fortaleza	3° 35'S	38° 31'W	21° 18'W
Maceió	9° 40'S	35° 41'W	22° 46'W
Natal	5° 47'S	35° 13'W	21° 38'W

<i>cidade</i>	<i>latitude</i>	<i>longitude</i>	<i>declinação magnética</i>
Porto Alegre	30°05'S	51°10'W	16°05'W
Recife	8°00'S	35°00'W	22°16'W
Rio de Janeiro	22°57'S	43°12'W	22°18'W
Salvador	13°00'S	38°30'W	23°21'W
São Luis	2°34'S	44°16'W	20°55'W
São Paulo	23°32'S	46°37'W	20°44'W
Vitória	20°20'S	40°22'W	23°26'W

Para se obter o norte geográfico para Florianópolis, por exemplo, cuja declinação magnética em 2012 é de 18°40'W (-18,67°) considera-se que o norte magnético (indicado pela bússola) está 18,67° a oeste (no sentido anti-horário) do geográfico, pois o valor da declinação magnética é negativo.

4.5 Horário Local versus Horário Solar

O horário indicado num relógio é diferente do horário solar, que é utilizado na carta solar. Para fazer a conversão entre os dois horários se utiliza a Equação da Hora e a diferença entre os meridianos local e padrão.

A equação da hora tem sua variação anual mostrada na Figura 4-6, adaptada de Szokolay 1996.

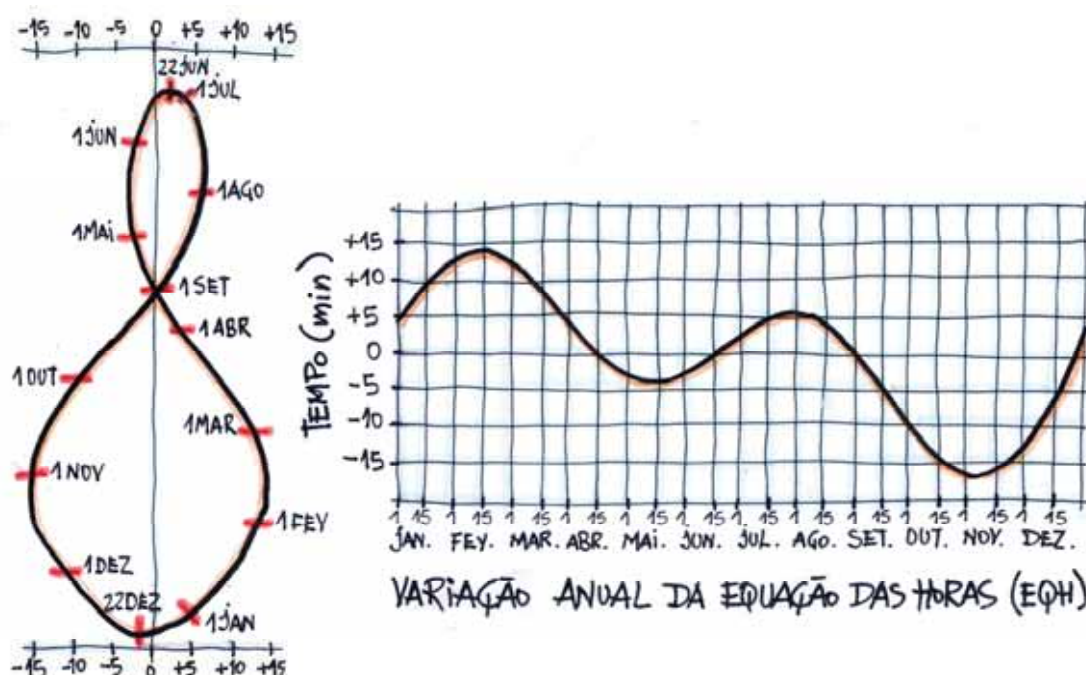


Figura 4-6: Variação anual da equação da hora

Para calcular a diferença a ser diminuída ou acrescentada na hora local para obter a hora solar, pode-se utilizar a equação dada abaixo (Bittencourt 2004):

$$HS = HL - EH - \lambda + 3$$

onde:

- HS = horário solar (utilizado na carta solar);
- HL = horário local (horário oficial de Brasília para Florianópolis e para a maioria das outras cidades brasileiras);
- EH = equação da hora (obter valor segundo a data desejada na Figura 4-6);
- λ = correção da longitude em relação ao meridiano de Greenwich - considera-se uma defasagem de uma hora para cada 15° de longitude e de quatro minutos para cada grau adicional - o valor deve ser negativo para locais a oeste de Greenwich, ou seja, todo o Brasil;
- + 3 = diferença do fuso horário da cidade de Florianópolis em relação ao de Greenwich (Obs: para outras localidades, checar este valor no mapa de fusos horários).

Como exemplo, calcula-se o horário solar em Florianópolis da seguinte forma:

- Cidade: Florianópolis - SC;
- Latitude: $27^\circ 35' 48''$ S (S = sul, pode ser escrita com sinal negativo, ou seja, $-27^\circ 35' 48''$);
- Longitude: $48^\circ 32' 47''$ O (O = oeste, portanto sinal negativo na equação);
- HL = 15h do dia 21 de dezembro (mesmo horário de Brasília);
- EH = -2,5 minutos (ver Figura 4-7, adaptada de Szokolay 1996)

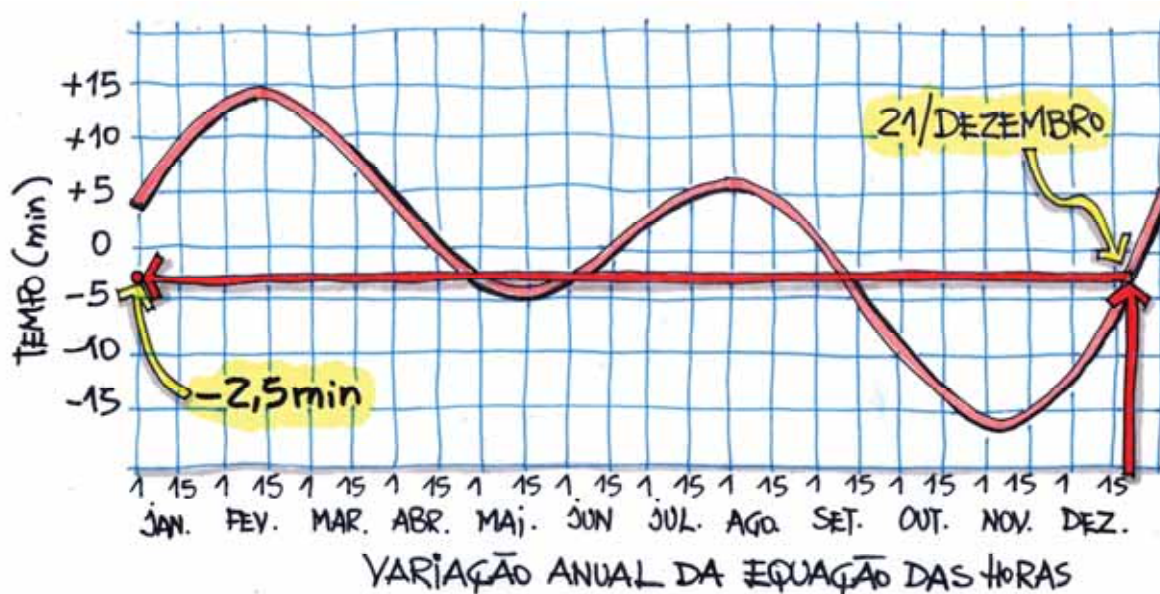


Figura 4-7: EH para o dia 21 de dezembro, igual a -2,5 minutos

- $\lambda = -3h14min$ (1h para cada 15° de longitude e de 4min para cada 1° adicional; sinal negativo se for longitude oeste).

Então:

$$HS = HL - EH - \lambda + 3$$

$$HS_{\text{Florianópolis, 15h, 21/ dezembro}} = 15h - (-2,5min) - 3h14min + 3h$$

$$HS_{\text{Florianópolis, 15h, 21/ dezembro}} = 15h - 11,5min$$

$$HS_{\text{Florianópolis, 15h, 21 / dezembro}} = 14\text{h}48\text{min}30\text{s}$$

Portanto, o valor da hora solar para Florianópolis no dia 21 de dezembro é defasado do horário oficial de 11,5 minutos a menos. Às 15h (horário oficial), o horário solar é de 14h48min30s. Se for necessário utilizar a carta solar para obter as sombras corretas às 15h, deve-se fazer a leitura quando o horário oficial for 15h11min30s neste dia.

4.6 A Carta Solar

Para saber exatamente qual é o azimute e a altura solar em cada horário desejado ao longo de um ano inteiro, o arquiteto precisa saber interpretar a Carta Solar para a região em que fará o 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.

A carta solar pode ser interpretada como a projeção das trajetórias solares ao longo da abóbada celeste durante todo o ano. Essa projeção pode ser construída através de diversos métodos. Os métodos mais conhecidos são o equidistante, o ortográfico, e o estereográfico, sendo este último o mais utilizado e, portanto, adotado neste livro (Figura 4-8).

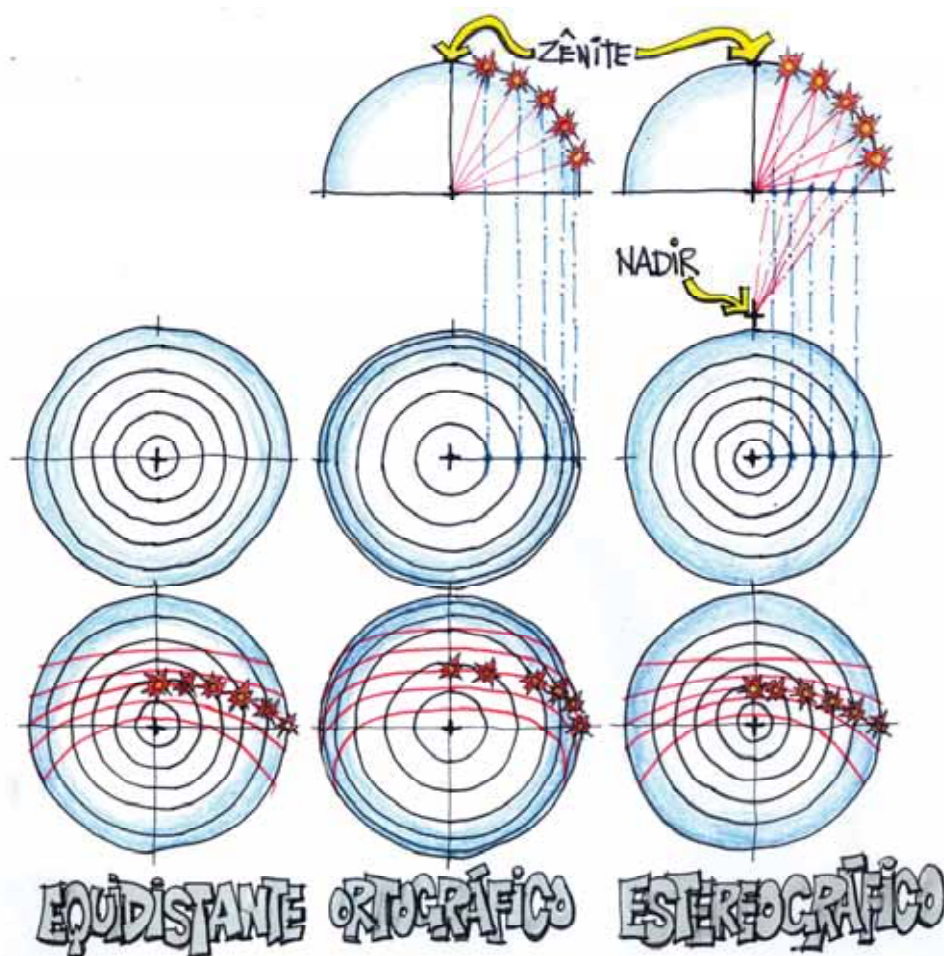


Figura 4-8: Projeção da carta solar equidistante, ortográfica e estereográfica, adaptada de Szokolay 1996

O método equidistante consiste no simples desenho de círculos concêntricos equidistantes, representando as alturas solares, sobre os quais as trajetórias solares são traçadas (Figura 4-8, ilustração à esquerda).

O método ortográfico mostra como pontos existentes no hemisfério celeste são visualizados no plano horizontal, dando o posicionamento dos círculos de alturas neste mesmo plano. O inconveniente deste diagrama é sua imprecisão em valores de alturas próximos ao horizonte, justamente porque os círculos se concentram mais nesta posição, enquanto são mais espaçados em regiões próximas ao zênite (Figura 4-8, ilustração central).

A projeção estereográfica (Figura 4-8, ilustração à direita) projeta qualquer ponto da abóbada celeste num ponto teórico chamado *nadir*. O *nadir* representa um ponto diametralmente oposto ao zênite celeste. Os círculos de alturas são traçados nas posições onde as projeções ao *nadir* interceptam o plano horizontal.

Imaginando que o sol risca a abóbada celeste enquanto se move por ela durante um dia, teríamos uma linha curva projetada no chão que representaria esse risco de um dia no plano horizontal. A Figura 4-9 mostra a projeção da trajetória solar para certo dia no plano horizontal para certa localidade com latitude semelhante à de Florianópolis.

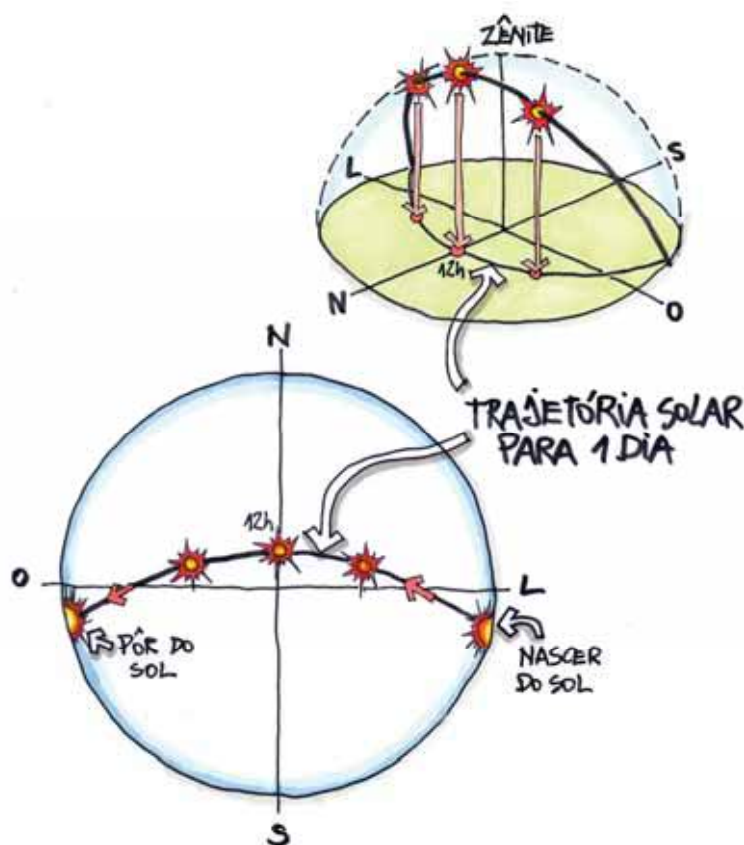


Figura 4-9: Trajetória solar em um dia qualquer na carta solar

Se detalhássemos mais um pouco a trajetória solar, marcando pontos para cada hora do dia, poderíamos visualizar todos os horários em que o sol está presente naquele dia específico (Figura 4-10).

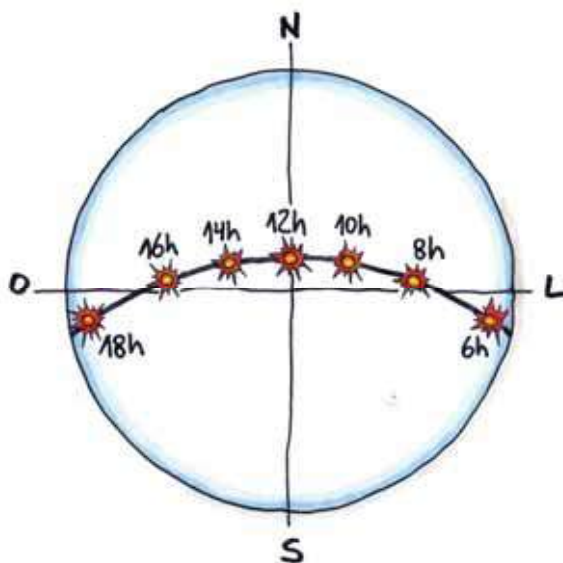


Figura 4-10: Trajetória do sol durante um dia na carta solar com marcação de horários

Se fizermos uma dessas linhas de projeção da trajetória solar com os horários do dia para cada dia 21 de cada mês, por exemplo, teríamos a projeção de doze linhas no plano horizontal. Mas o sol passa pela mesma trajetória duas vezes ao ano, exceto nos solstícios. Isso acontece nos equinócios de 21 de março e 21 de setembro, quando a trajetória solar é exatamente a mesma. Isso também acontece na maioria dos meses, por exemplo, no dia 21 de fevereiro a trajetória solar é a mesma do dia 21 de novembro. Existem apenas dois dias em que a trajetória solar é única, os solstícios de verão (21 de dezembro) e de inverno (21 de junho).

Mas existe ainda um fator muito importante, a latitude do local. A carta solar representa as trajetórias solares para uma determinada latitude. Para cada latitude teremos cartas solares diferentes. A Figura 4-11 mostra cartas solares para as latitudes de 0° (Equador), $23,5^\circ\text{S}$ (Trópico de Capricórnio), $66,5^\circ\text{S}$ (Círculo Polar Antártico) e 90°S (Pólo Sul).

Para a cidade de Florianópolis, cuja latitude é de $27,6^\circ\text{S}$, a carta solar teria então as seguintes projeções das trajetórias solares (Figura 4-12).

Observa-se que a linha que representa o solstício de verão é bem mais longa e tem mais horas de sol que a linha que representa o solstício de inverno. A linha que representa os equinócios coincide numa curva central a estes dois extremos.

Para se saber o posicionamento exato do sol, basta então dispor da carta solar e construir uma malha para os possíveis azimutes e alturas solares, facilitando a leitura destes ângulos. Temos assim linhas radiais que representam os azimutes solares (ângulos medidos no sentido horário a partir do norte que indicam a diferença entre este e a projeção do sol no plano horizontal) e círculos concêntricos que representam as alturas solares (ângulos que medem a diferença entre o sol e o horizonte).

A carta solar final, com as trajetórias para os dias 21 de cada mês, as horas marcadas e a malha para leitura de azimutes e alturas solares configura-se como na Figura 4-13.

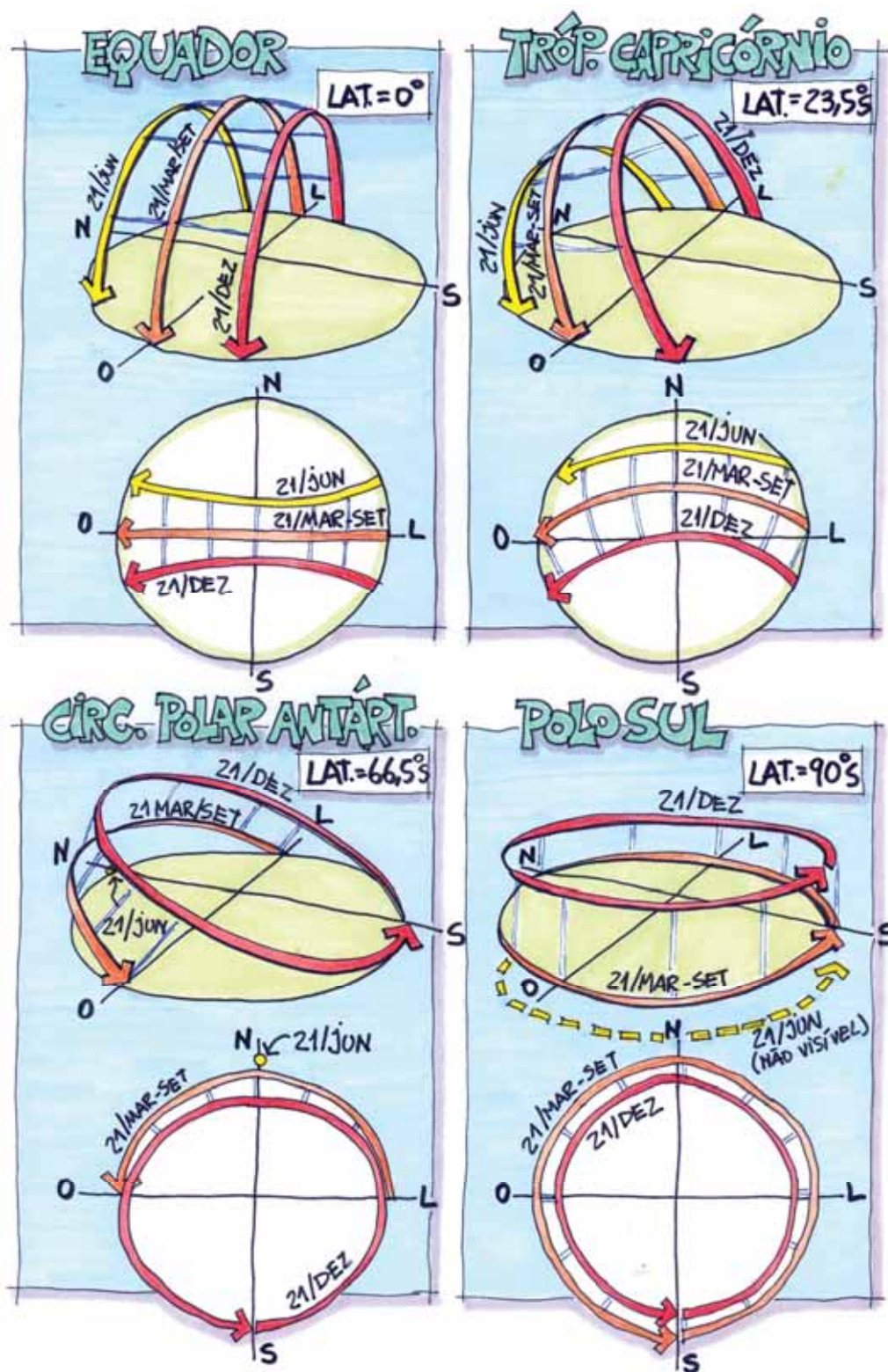


Figura 4-11: Cartas solares e suas representações em perspectiva

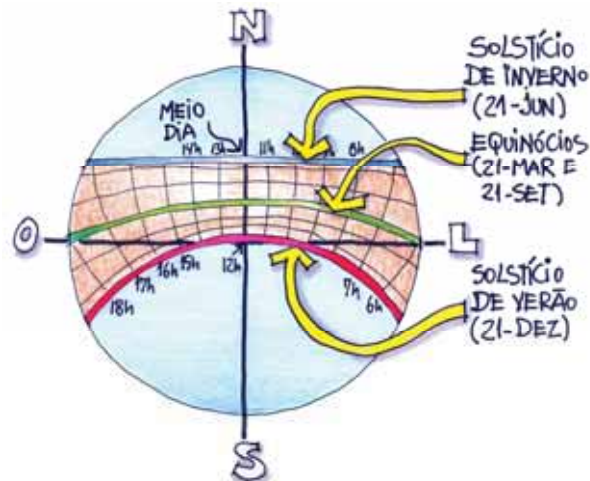


Figura 4-12: Trajetórias solares durante todo o ano

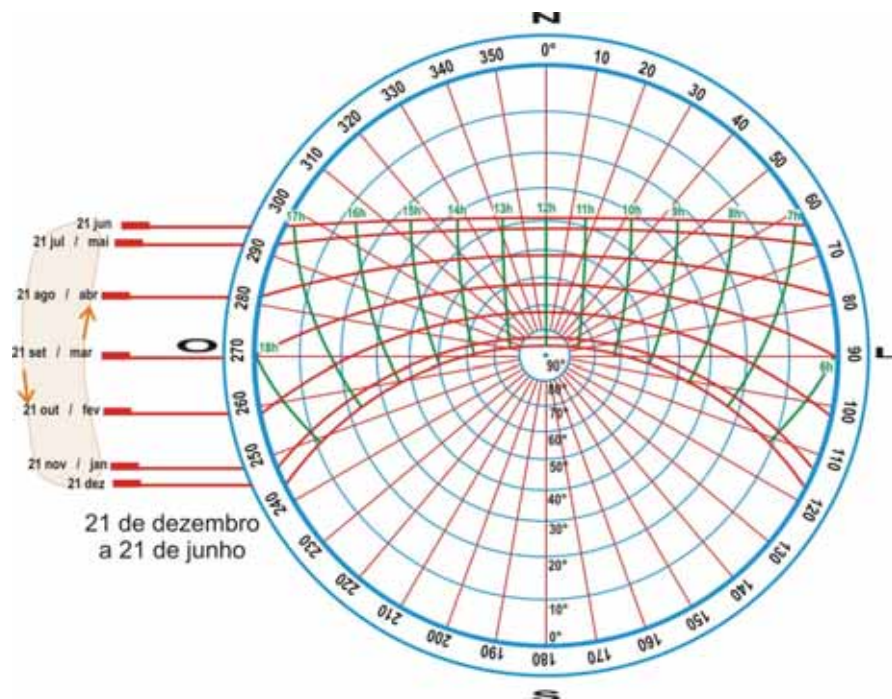


Figura 4-13: Carta solar para a latitude de 27,6° Sul (27° 35' 48'' S - Florianópolis)

A Figura 4-14 mostra as informações que podem ser lidas na carta solar: trajetória solar, hora do dia, altura solar, azimute solar e número de horas de sol.

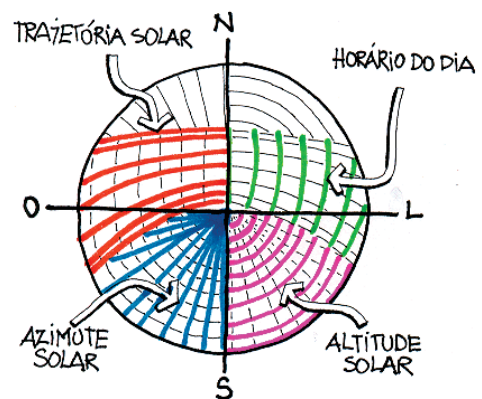


Figura 4-14: Leitura da carta solar

4.6.1 Aplicações práticas da carta solar

Sombreamento do entorno

A carta solar pode ser usada para a determinação do sombreamento que um edifício faz no seu entorno, conforme Figura 4-15, que mostra um edifício em Florianópolis e sua sombra no dia 21 de março às nove horas da manhã. Neste dia e horário teremos uma altura solar de 39° e um azimuth solar de 67° aproximadamente (Figura 4-15).

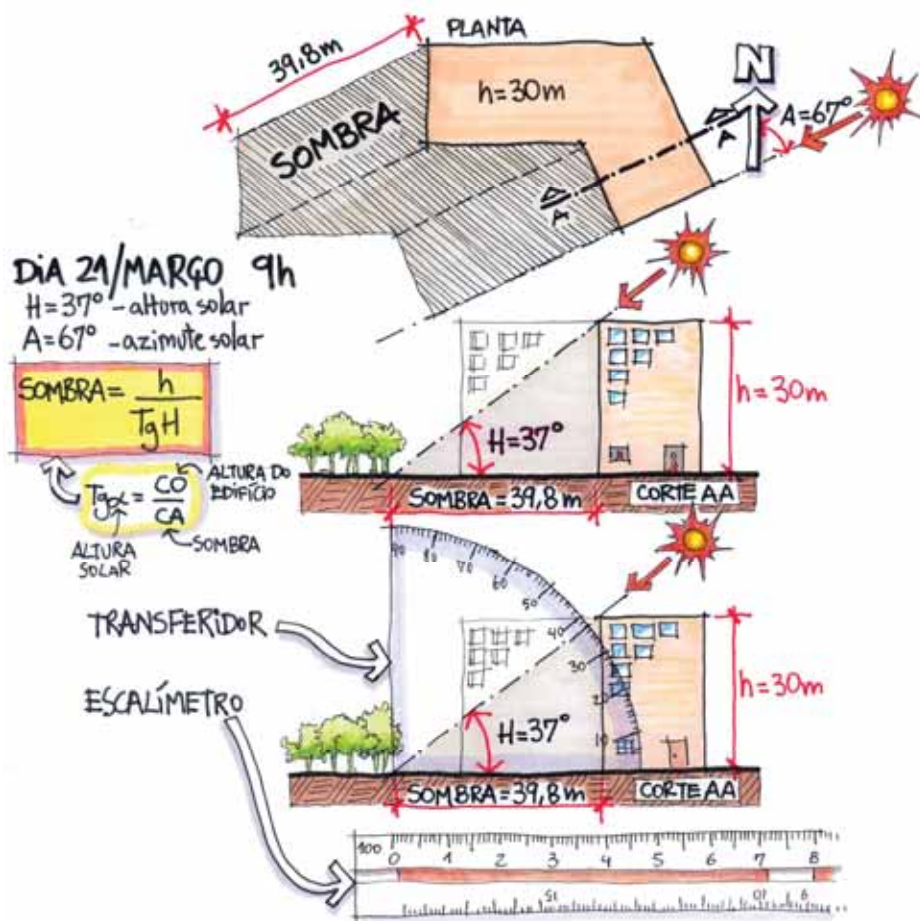


Figura 4-15: Sombreamento do entorno com auxílio da carta solar

A Figura 4-15 mostra duas possibilidades de definição da sombra. Na parte superior, a sombra é calculada através de trigonometria e na parte inferior da figura, com instrumentos de desenho (transferidor e escalímetro). Ressalta-se que para o procedimento com instrumentos, devem-se fazer os desenhos em escala.

Usualmente se faz esta análise para os dois solstícios e para o equinócio, tentando assim representar o maior leque de possibilidades de sombreamento com o mínimo possível de cálculos e desenhos. Da mesma forma, faz-se a análise para três horários para cada um destes dias, geralmente um horário pela manhã, um ao meio dia e um à tarde.

Como exemplo deste procedimento, usaremos a carta solar para Florianópolis (latitude $27,6^\circ S$). A Tabela 4-3 demonstra um bom quadro de análises a serem feitas.

Algumas observações importantes a serem feitas na tabela são:

- os azimutes ao meio dia são sempre 0° , considerando-se o horário solar (ver item 4.5) ;

- as alturas solares, para um mesmo dia, às 9h e às 15h serão sempre as mesmas e os azimutes serão complementares, ou seja, ambos com a mesma distância angular do norte;

Tabela 4-3: Azimutes e alturas solares para solstícios e equinócios (Florianópolis, lat. 27,5° S)

dia	horário solar		
	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°

Em planta, sabendo-se a altura do edifício, desenha-se o sentido da sombra baseando-se no ângulo de azimuth solar. Em corte, desenha-se o limite da sombra considerando-se o ângulo de altura solar. Este procedimento pode ser feito diretamente com o auxílio de um transferidor ou através da lei da tangente. No final, obtém-se a sombra que o edifício faz no entorno para o dia e horário especificado, como na parte superior da Figura 4-15.

Fazendo-se esta análise para todos os dias e horários da Tabela 4-3, tem-se algo como a Figura 4-16.

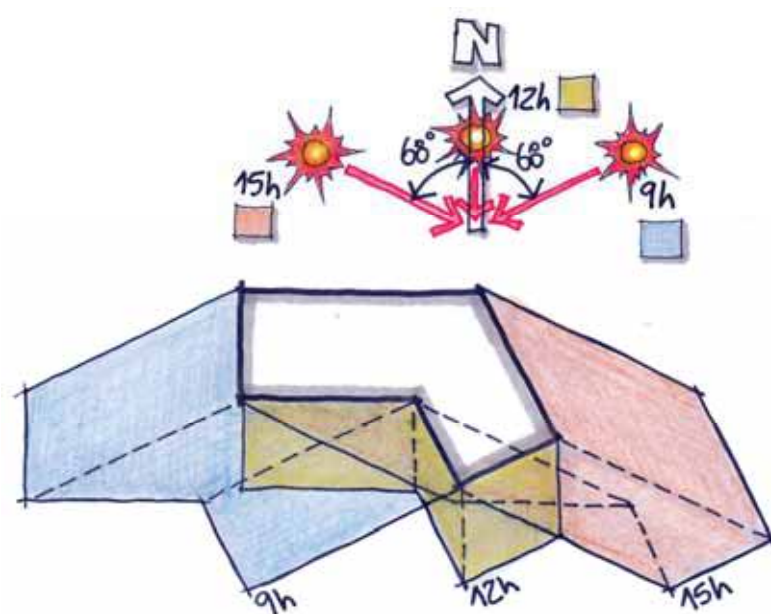


Figura 4-16: Sombreamento do entorno, dia 21 de março às 9h, 12h e 15h

Número de horas de sol

Pode-se calcular o número de horas de sol durante certo dia do ano para certa localidade através da carta solar. Para tanto, basta obter o horário do nascer e do pôr do sol para o dia desejado. Na Figura 4-17 percebe-se que no dia 21 de dezembro o sol nasce

aproximadamente às 5h15min e se põe às 18h40min. Este dia tem, portanto, treze horas e 25 minutos de sol. O dia 21 de junho tem dez horas e vinte minutos de sol, com sol nascente às 6h50min e poente às 17h10min.

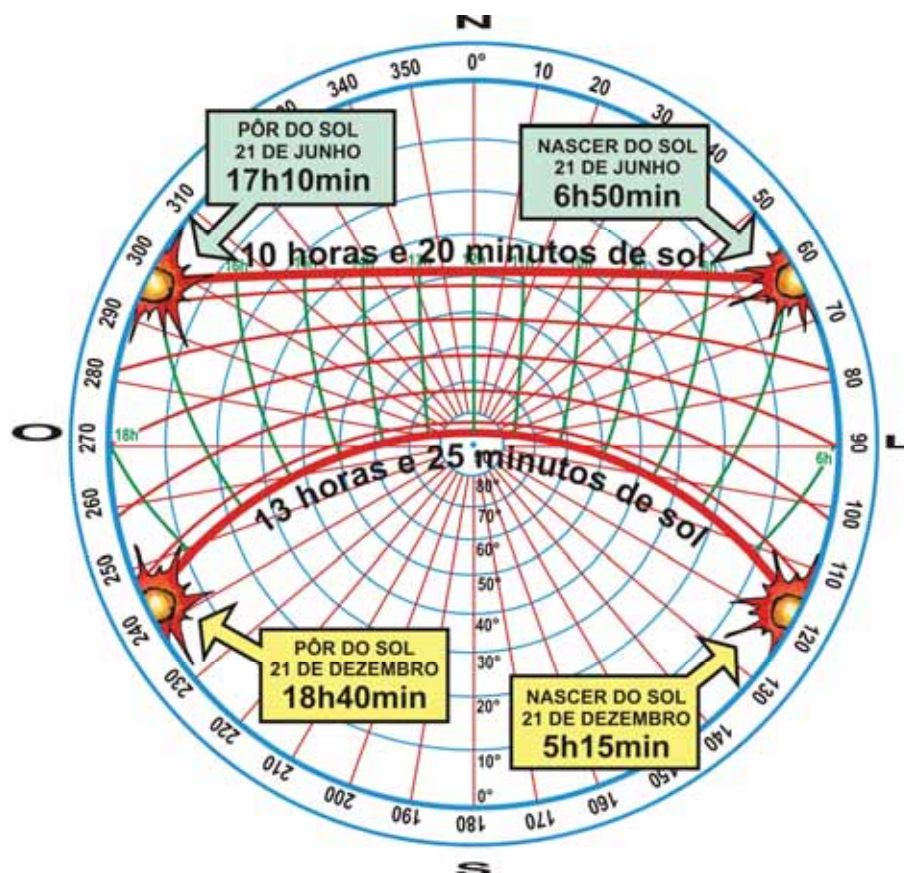


Figura 4-17: Número de horas de sol

Penetração solar em ambientes

Através da carta 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.

Usando os mesmos valores de alturas e azimutes solares da Tabela 4-3, obtém-se, para cada dia e horário desejado, a direção que os raios de sol seguirão no ambiente em planta e em cada vista interna de cada parede. É interessante planificar o ambiente para facilitar o processo.

Em seguida, desenha-se uma linha limite de penetração solar nas vistas das paredes, vinda das janelas e segundo a altura solar do horário sob análise.

Agora basta preencher a área formada entre os quatro limites da janela na planta e vistas das paredes (área amarela na Figura 4-18).

Da mesma forma, pode-se fazer o desenho da penetração solar para os outros dias e horários desejados.

zênite. O α auxilia no traçado de superfícies sobre a carta solar, a partir do traçado de suas arestas horizontais.

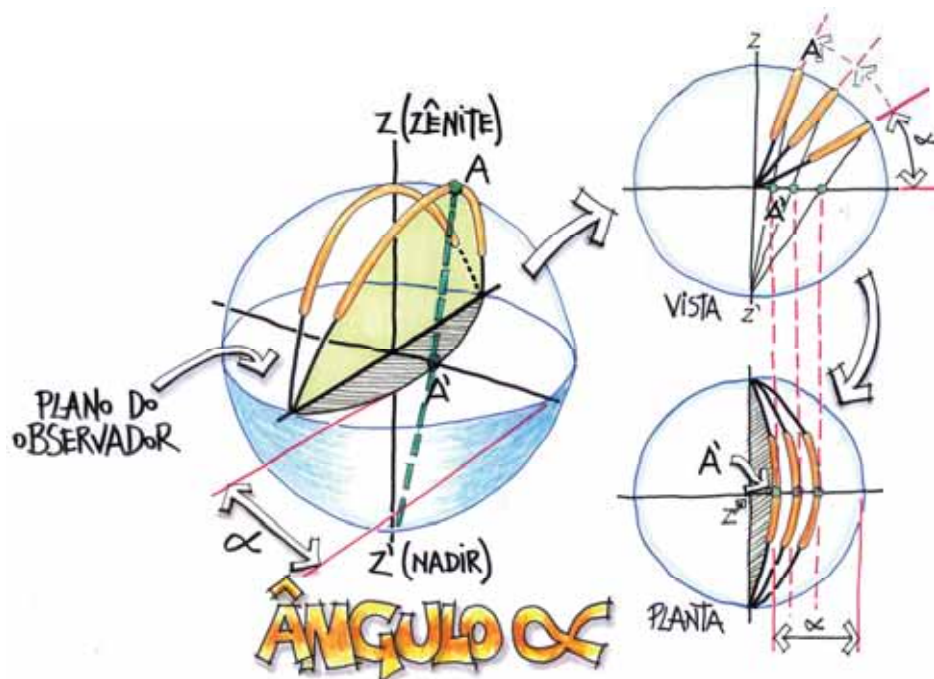


Figura 4-19: Traçado do ângulo α no transferidor de ângulos

4.7.2 O ângulo β

O ângulo β representa o azimuth da aresta a ser considerada (Figura 4-20). Seu valor pode variar de 0° a 360° , mas pode também ser considerado variando de 0° a 90° em cada um dos quatro quadrantes da circunferência. O β auxilia no traçado de arestas verticais sobre a carta solar.

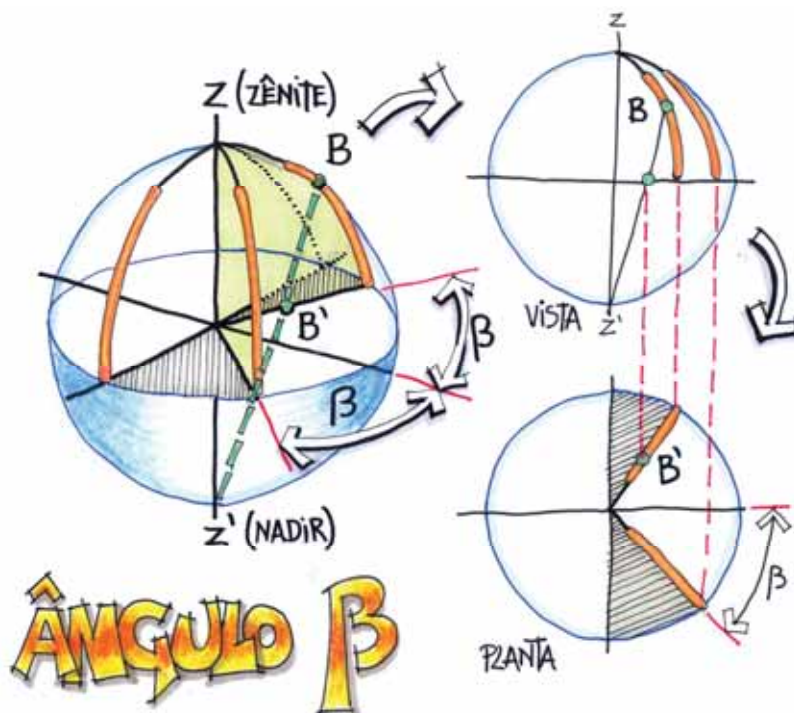


Figura 4-20: Traçado do ângulo β no transferidor de ângulos

4.7.3 O ângulo γ

O ângulo γ é traçado da mesma forma que o α , porém rotacionado em 90° em relação a este (Figura 4-21) e pode delimitar os ângulos α e β . Também representa superfícies horizontais, porém auxilia no traçado de bordas ortogonais às que dão origem ao ângulo α e β .

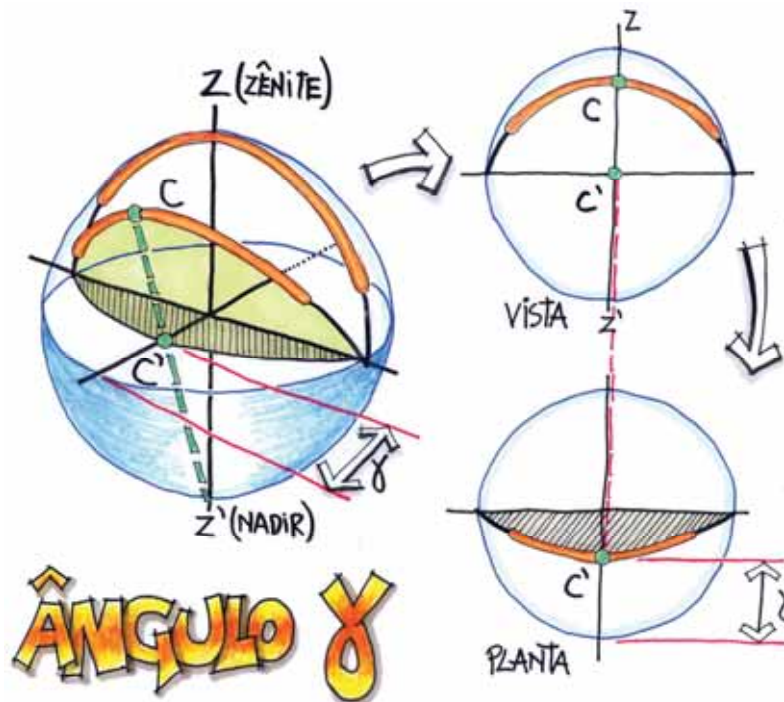


Figura 4-21: Traçado do ângulo γ no transferidor de ângulos

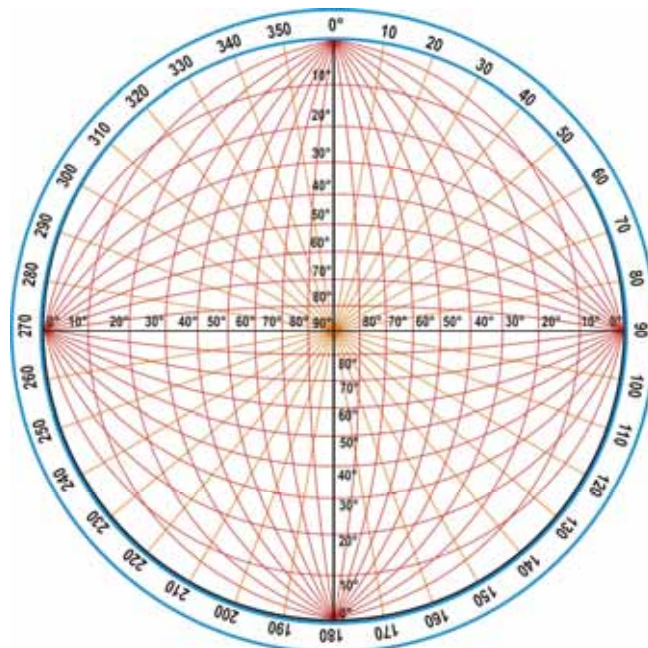


Figura 4-22: Transferidor de ângulos

4.8 Análise de insolação e sombreamento de obstruções e aberturas

Após a construção da máscara de sombreamento de uma obstrução ou da máscara de penetração solar em uma abertura, basta posicionar a máscara obtida sobre a carta solar para analisar o sombreamento provocado pela obstrução ou a penetração do sol ao longo do ano pela abertura. As trajetórias que estiverem na área da máscara representam os momentos onde o sol é obstruído (caso seja uma máscara de sombreamento) ou penetraria no ambiente interior (caso seja uma máscara de penetração solar).

Na Figura 4-23 tem-se um exemplo de aplicação desta técnica para uma obstrução (edifício). A figura mostra que o edifício sombreada o ponto 'P' a oeste.

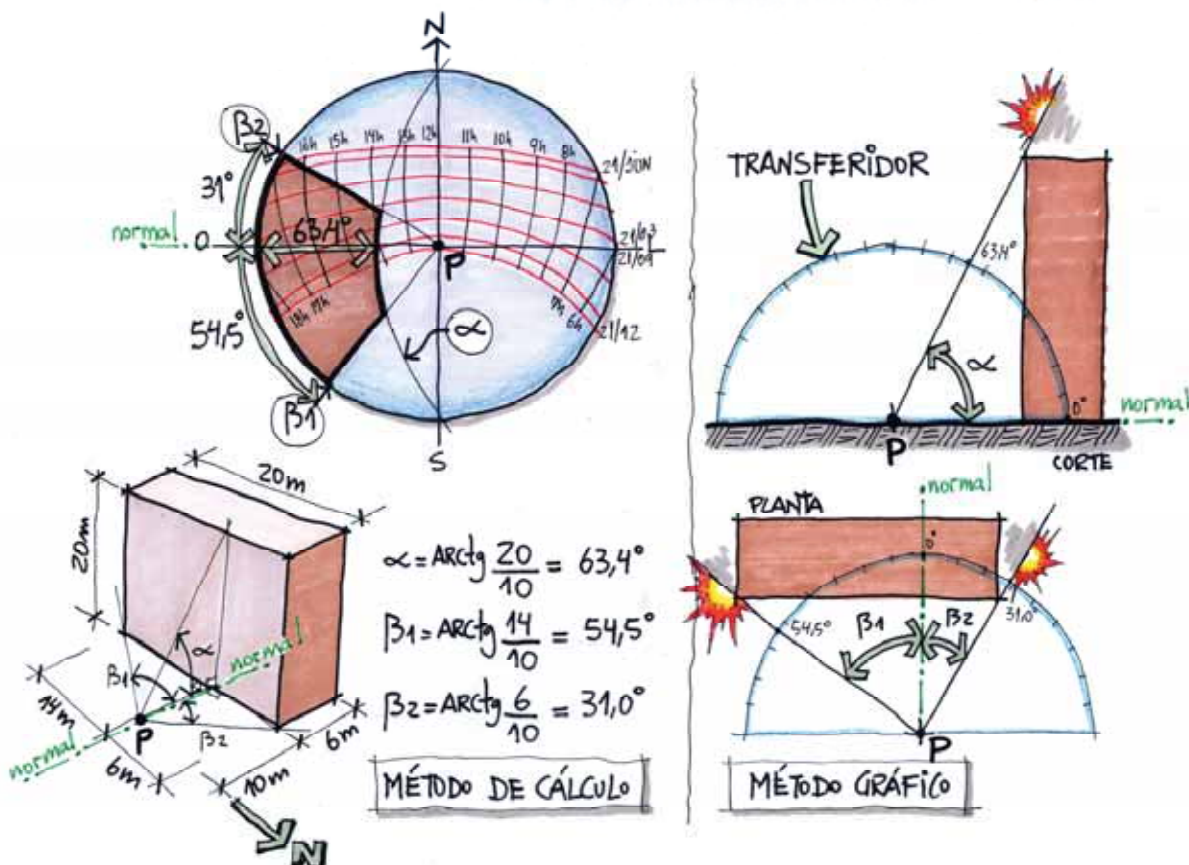


Figura 4-23: Máscara de sombreamento de um edifício para um ponto "P" sobreposta à carta solar

No solstício de verão, o sol deixa de incidir diretamente sobre 'P' a partir das 14h, nos equinócios no mesmo horário e no solstício de inverno a partir das 16h30min. É importante observar que a carta solar utilizada é para a latitude de 27,6° SUL, referente à cidade de Florianópolis, SC.

A mancha amarela (máscara de sombreamento) indica todos os horários em que o sol é sombreado pelo edifício e o restante da carta solar indica os horários em que o sol incide no ponto 'P'.

A Figura 4-24 mostra uma máscara de penetração solar em uma abertura para um ponto "P". Nota-se que o sol penetra pela abertura somente entre o solstício de inverno e os equinócios, não estando presente no verão. Nos equinócios, o sol incide no ponto 'P' entre as 10h40min e as 13h20min, enquanto que no solstício de inverno, o sol incide em 'P' somente próximo ao meio-dia.

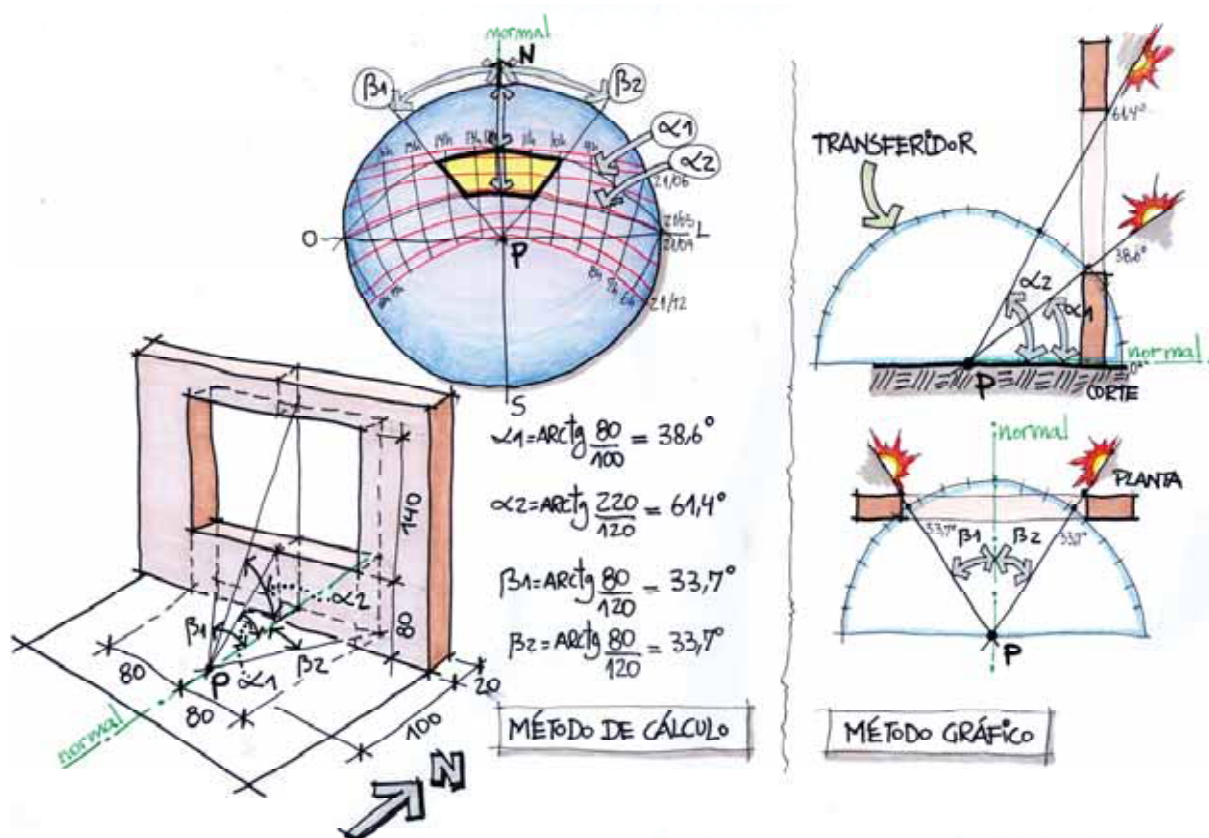


Figura 4-24: Máscara de penetração solar por uma abertura sobreposta à carta solar

A mancha amarela é a máscara de penetração solar e indica todos os horários em que o sol incide diretamente no ponto 'P' através da abertura em questão.

4.9 Análise de proteções solares

Empregando a mesma técnica descrita anteriormente, pode-se fazer a análise de proteções solares em aberturas. Utiliza-se o mesmo princípio dos ângulos α , β e γ conforme já explicado.

4.9.1 Proteção Solar horizontal

As proteções solares horizontais caracterizam-se por, geralmente, obstruir a visão do céu em ângulos com valores superiores ao do α . Em geral, considera-se que o sol é sombreado por este tipo de proteção solar quando sua altura solar está entre o zênite e o ângulo α , que é formado entre a borda mais externa da proteção e a parte interior do peitoril da abertura (Figura 4-25).

A proteção solar precisa de mais dois outros ângulos para delimitar onde o α termina. Usam-se, então, dois ângulos γ , um em cada borda lateral da proteção solar. Estes ângulos, em geral, são medidos entre as bordas laterais da proteção e o peitoril da abertura que esteja mais próximo (Figura 4-26).

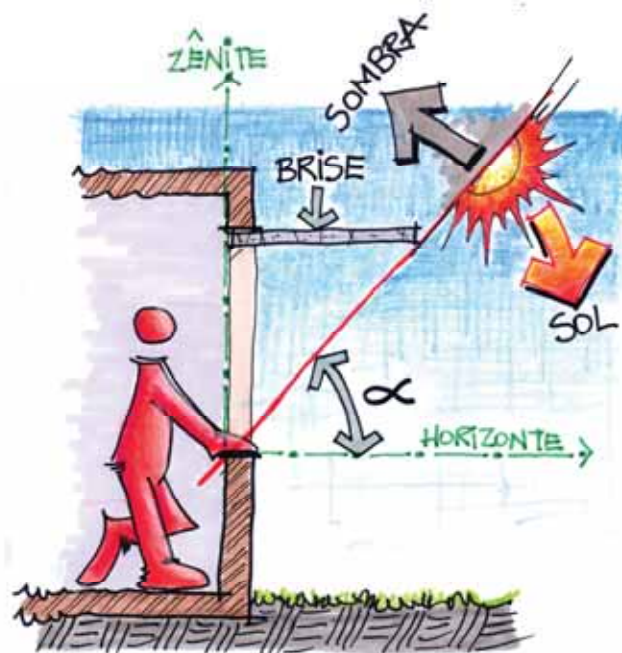


Figura 4-25: Proteção solar horizontal - ângulo α e sombreamento

A máscara de sombreamento final da proteção solar é composta de uma área que une os três ângulos medidos. A Figura 4-27 dá um exemplo de proteção solar horizontal com sua respectiva máscara. Sobrepondo a máscara de sombreamento à carta solar, percebe-se que se esta proteção estiver na fachada noroeste, sombreia parte do sol de verão, certamente indesejável em Florianópolis.

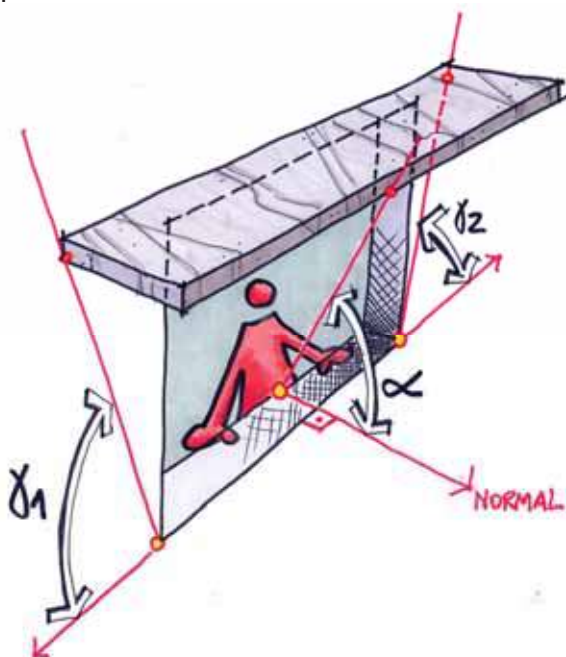


Figura 4-26: Proteção solar horizontal - ângulos γ e ângulo α

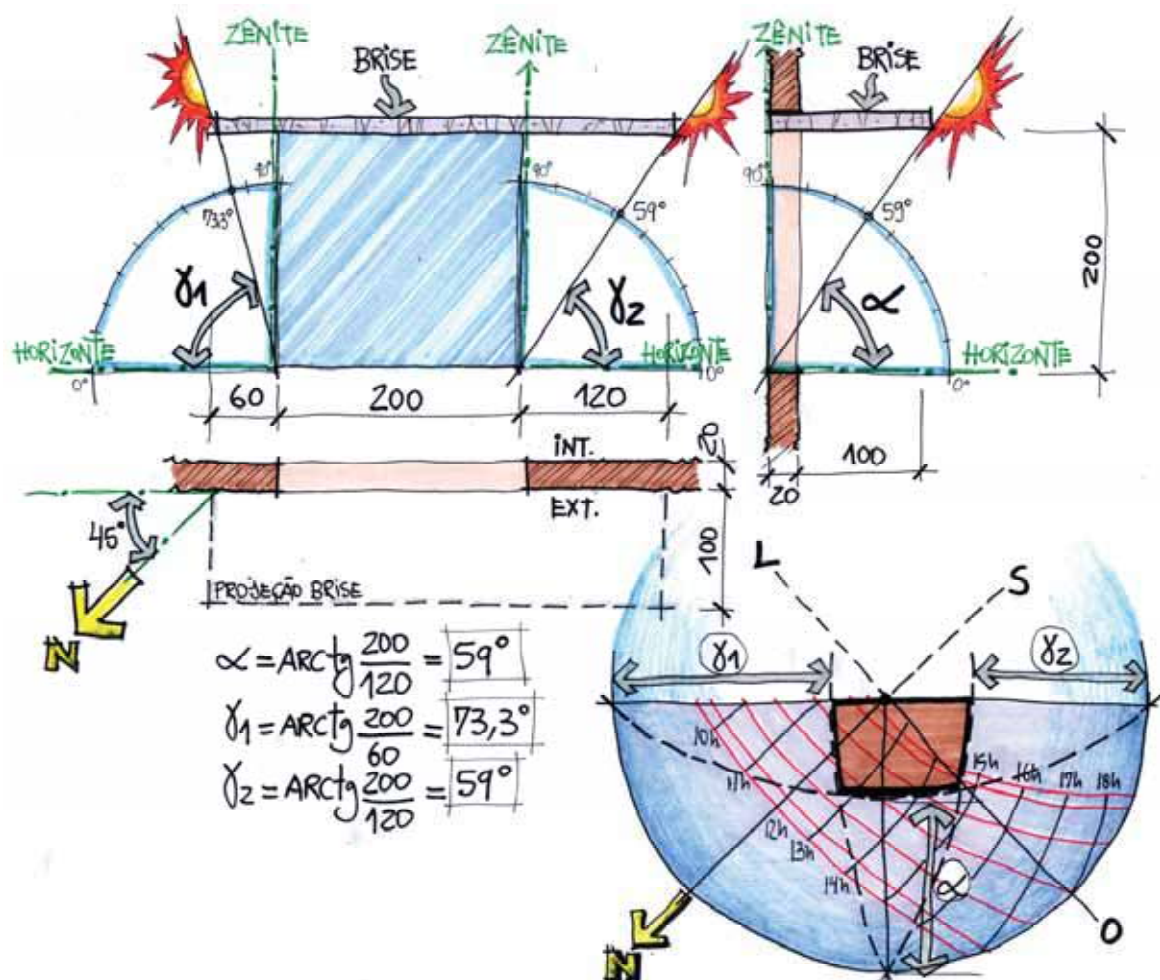


Figura 4-27: Proteção solar horizontal e máscara de sombreamento

4.9.2 Proteção solar vertical

As proteções solares verticais sombreiam o sol em relação ao seu ângulo de azimute, coplanar ao ângulo β da proteção. Normalmente, as proteções solares verticais são placas instaladas nas bordas laterais da abertura, e seu ângulo β é medido entre a borda mais externa da proteção e a lateral oposta da abertura, na borda interior da espessura da parede. Na maioria dos casos, se considera que o sol é sombreado por este tipo de proteção quando o sol está entre a linha da fachada e o ângulo β (Figura 4-28).

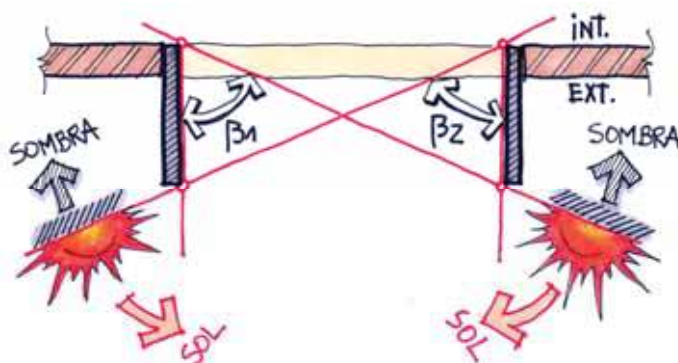


Figura 4-28: Proteção solar vertical - ângulo β e sombreamento

O ângulo β também é limitado por um ângulo γ , que é medido entre a borda superior da proteção solar e o horizonte, no ponto superior da janela mais afastado da proteção solar (Figura 4-29).

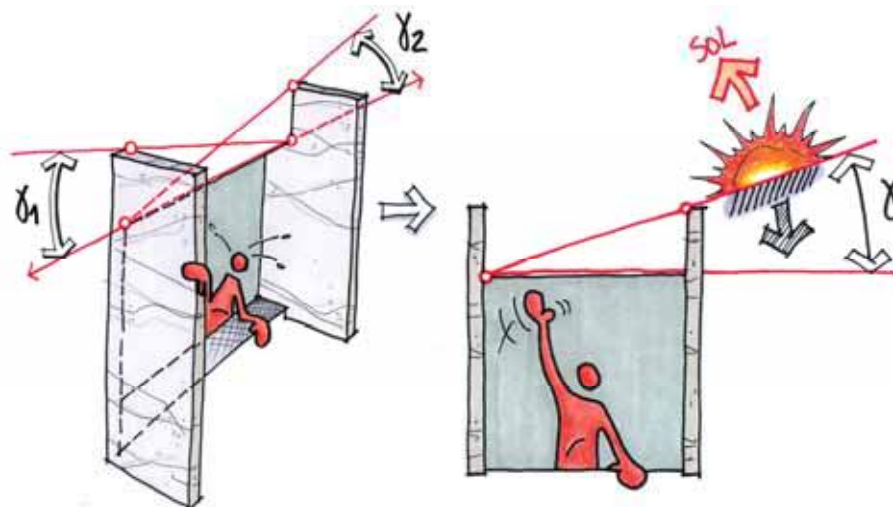


Figura 4-29: Proteção solar vertical - ângulos γ

A máscara da proteção solar vertical é composta pela área compreendida entre o ângulo β e o ângulo γ . A Figura 4-30 mostra uma proteção solar vertical com sua respectiva máscara.

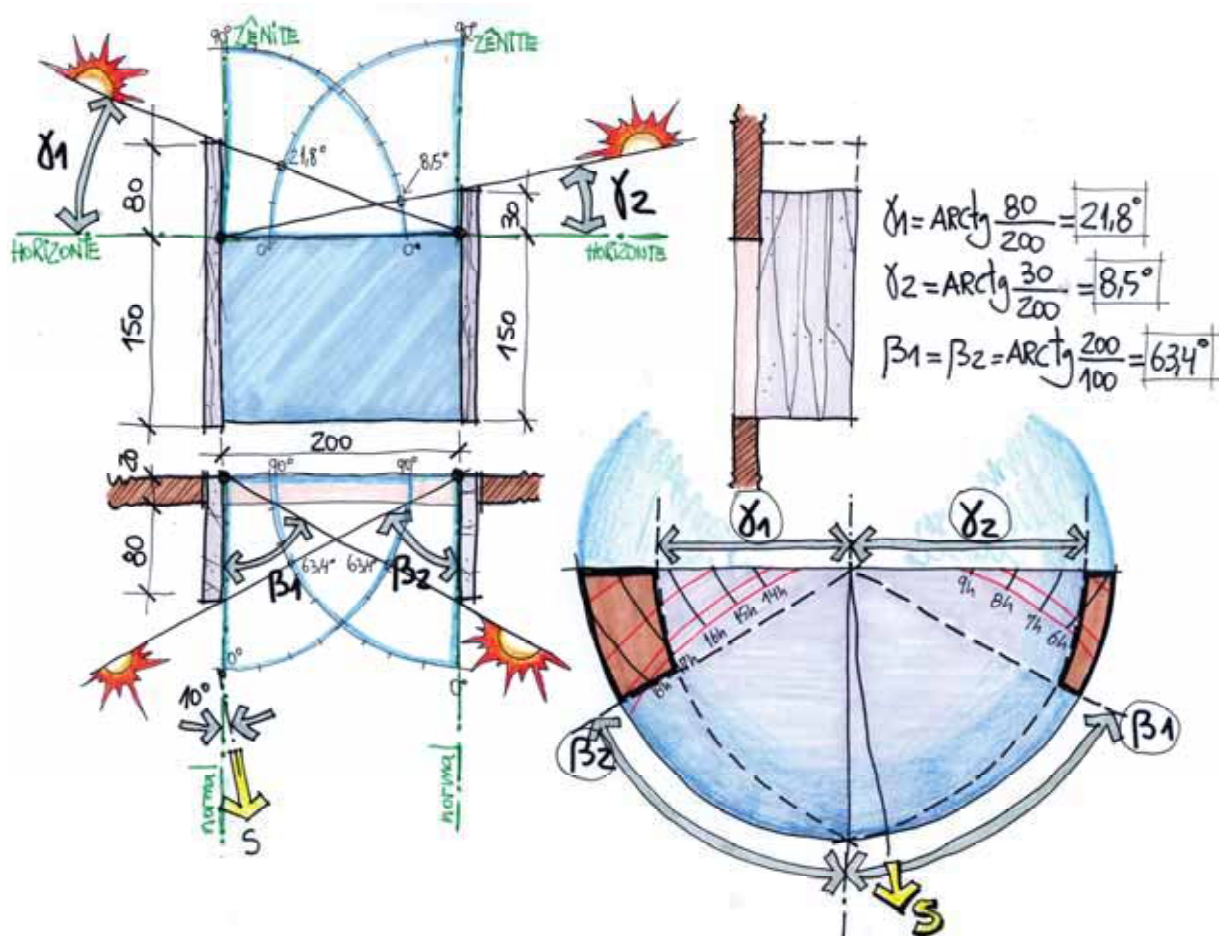


Figura 4-30: Proteção solar vertical - máscara de sombreamento

A proteção está orientada quase diretamente para o sul e percebe-se que é satisfatoriamente adequada a esta orientação, visto que sombreia parte do sol indesejável do verão.

4.10 Projeto de proteções solares

Para projetar uma proteção solar adequada a uma abertura em uma orientação específica é necessário saber qual é a necessidade de sombreamento ou de insolação no ambiente interior. Essa definição é tarefa do arquiteto, que conhece a função a ser exercida no interior do ambiente projetado.

É importante lembrar que o programa Analysis-BIO considera como necessidade de sombreamento os horários do ano quando a temperatura do ar excede 20°C. Já o programa Analysis-SOL-AR mostra faixas de sombreamento, pois traça manchas de temperaturas ao longo dos dois semestres (21 de dezembro a 21 de junho e 21 de junho a 21 de dezembro) diretamente sobre a carta solar da cidade especificada.

Outro fator importante é a carga térmica interna do ambiente, pois pode fazer com que as temperaturas internas sejam superiores às externas, exigindo sombra quando a temperatura do ar externo for menor que 20°C. A Tabela 4-4 mostra a relação entre a carga térmica interna de um ambiente e sua necessidade de sombreamento.

Uma vez definida a necessidade de sombreamento, deve-se obter a carta solar e a mancha de sol indesejável para a localidade em questão. O programa Analysis-SOL-AR (2006) fornece a mancha de temperaturas para 14 cidades brasileiras.

Tabela 4-4: Necessidade de sombreamento em função da carga térmica interna do ambiente

<i>condição de carga térmica interna</i>	<i>necessidade de sombreamento</i>
NENHUMA	acima de 20°C
EXISTENTE	abaixo de 20°C
MUITA	muito abaixo de 20°C

A Figura 4-31 mostra a mancha de temperaturas para Florianópolis para o primeiro semestre do ano, de 21 de dezembro até 21 de junho. A Figura 4-32 mostra a mancha de temperaturas no segundo semestre (21 de junho a 21 de dezembro). Para fazer uma proteção solar eficiente, deve-se tentar bloquear com os ângulos α , β e γ a área vermelha da carta solar.

Para desenhar a mancha de necessidade de sombreamento total e a mancha com necessidade de insolação total, transfere-se para a carta solar os horários em que a temperatura excede os valores descritos acima. Faz-se, normalmente, duas manchas diferentes, uma para o primeiro semestre do ano (dezembro a junho) e outra para o segundo semestre (junho a dezembro), adotando-se uma das duas conforme desejado. Na Figura 4-33 tem-se a carta solar com a mancha de necessidade de sombreamento total (cor laranja) e insolação total (cor verde).

Foram desenvolvidas duas cartas solares, uma para o período entre 21 de dezembro e 21 de junho (feita a partir dos dados visualizados na Figura 4-31) e outra para o período entre 21 de junho e 21 de dezembro (a partir dos dados da Figura 4-32). Nas duas cartas se percebe a grande diferença de necessidades de sombreamento nos dois períodos para a cidade.

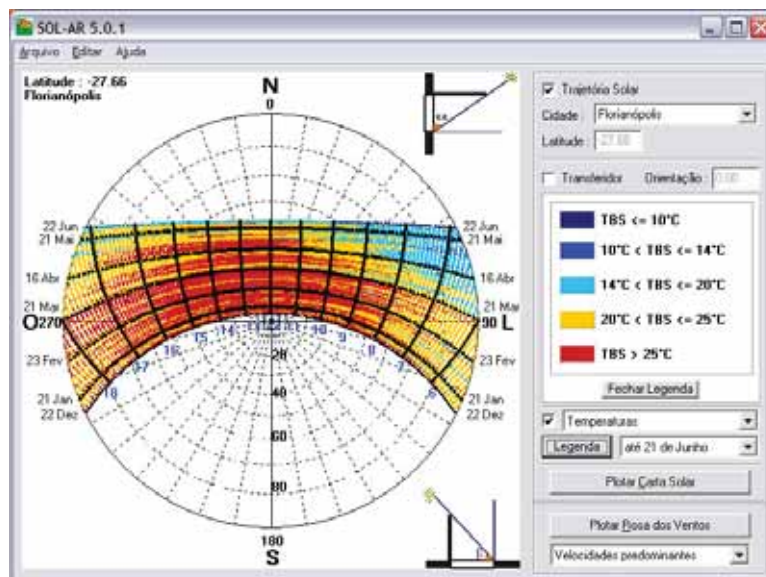


Figura 4-31: Mancha de temperaturas para Florianópolis de 21 de dezembro até 21 de junho

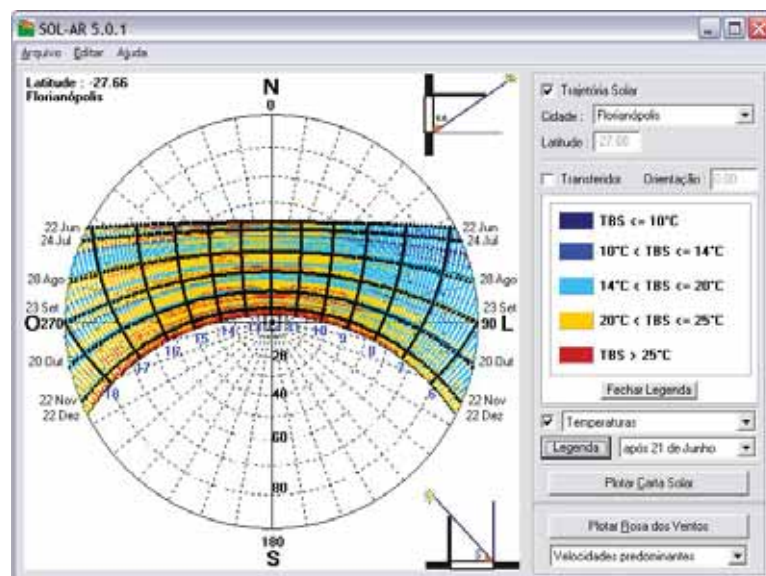


Figura 4-32: Mancha de temperaturas para Florianópolis de 21 de junho até 21 de dezembro

Isso implica em soluções de brises com partes fixas, para sombrear o sol indesejável comum aos dois períodos e partes móveis, para sombrear o sol indesejável do período mais quente quando necessário, porém deixando a abóbada celeste desobstruída no período mais frio, quando o brise não é mais requerido.

Para projetar o brise ideal para certa orientação, desenham-se ângulos α , β e γ sobre a carta solar com o objetivo de bloquear totalmente a mancha de sol indesejável e o mínimo possível do restante. A combinação destes ângulos resulta no brise necessário.

A título de exemplo, a Figura 4-34 mostra o desenvolvimento de um brise adequado à fachada noroeste segundo a mancha de necessidades de sombreamento e insolação para a cidade de Florianópolis.

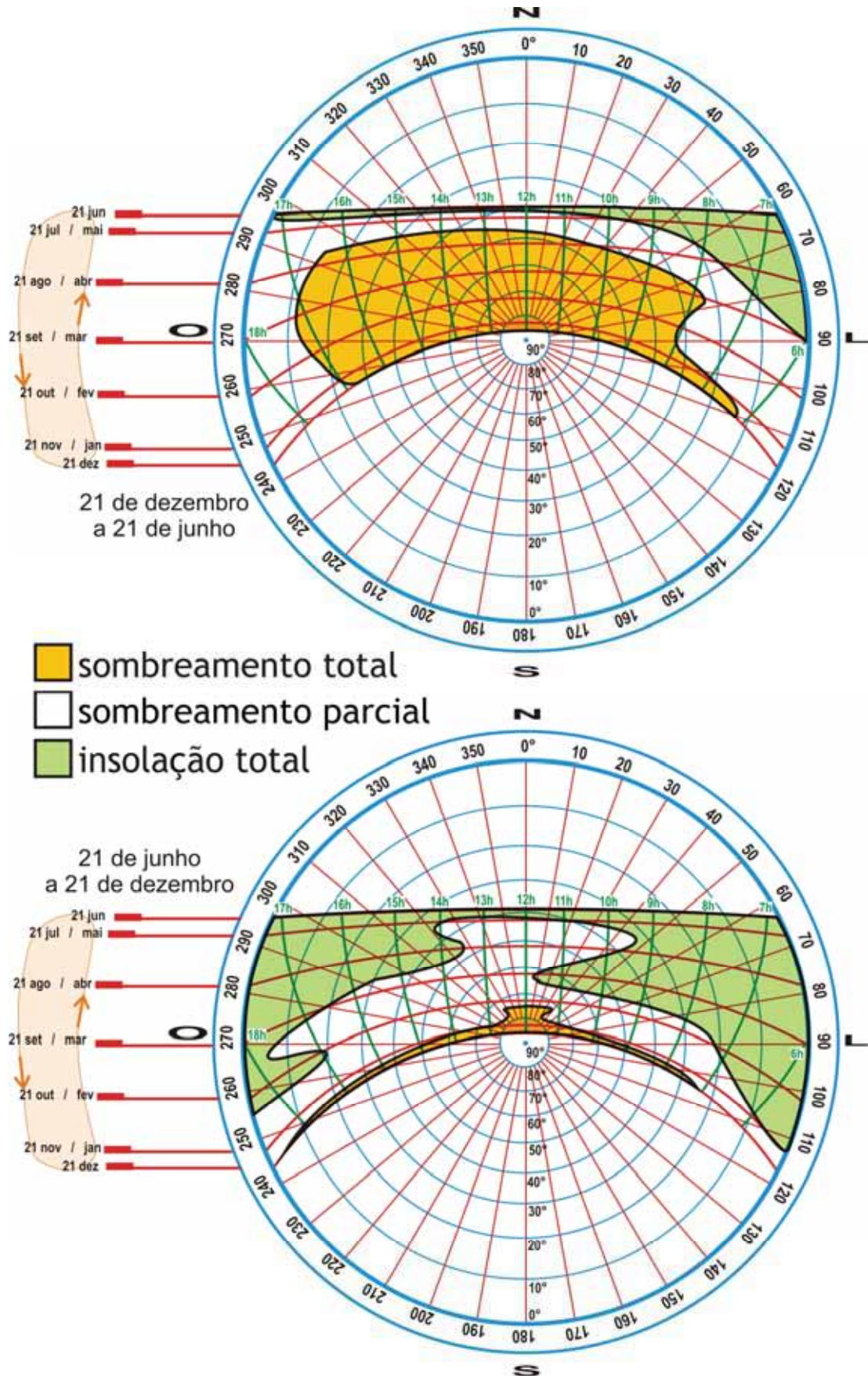


Figura 4-33: Carta solar para Florianópolis com sol indesejável e necessidade de insolação

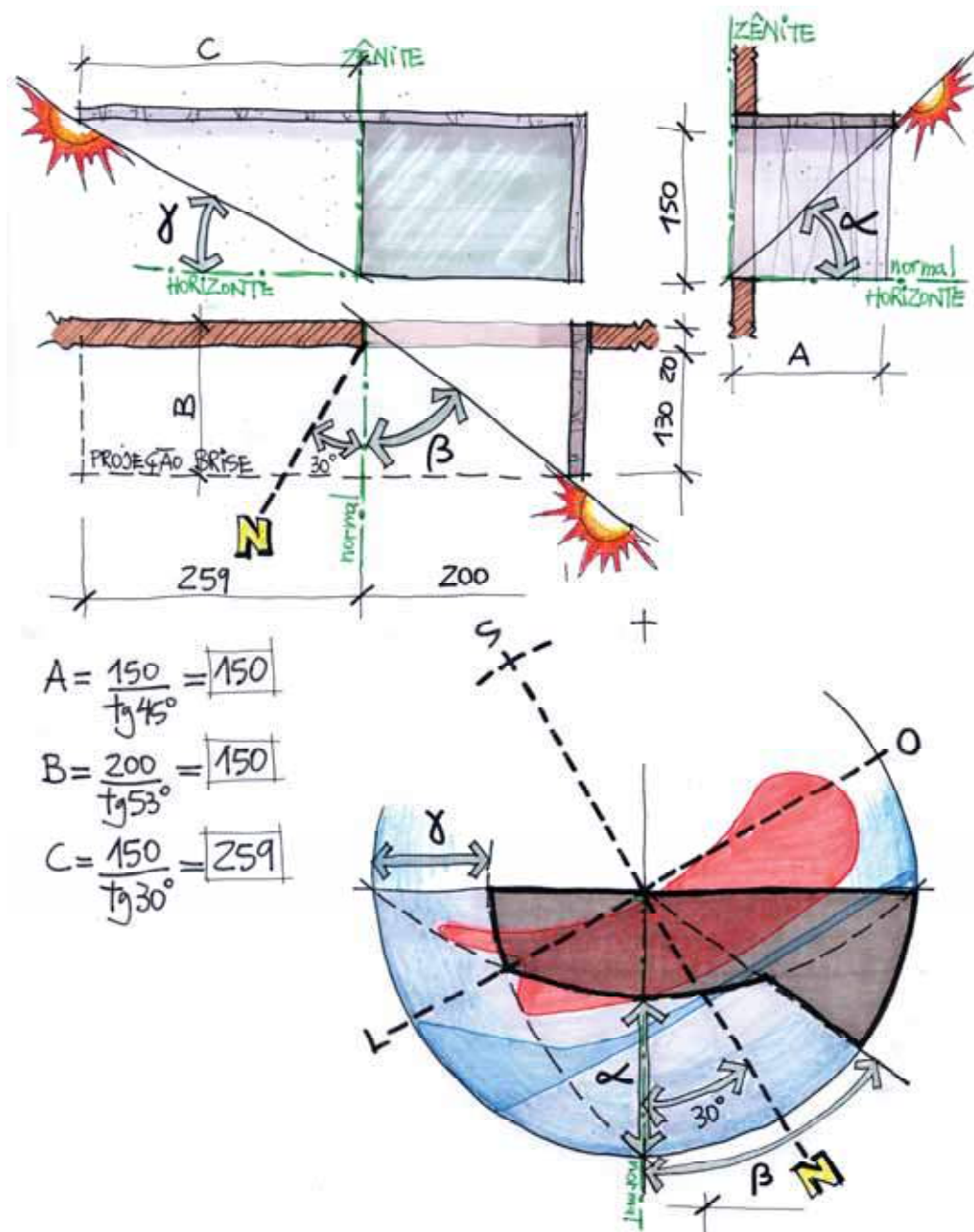


Figura 4-34: Projeto de um brise para a fachada noroeste em Florianópolis

Para projetar o brise, primeiro desenharam-se os ângulos necessários para bloquear o sol indesejável ($\alpha = 50^\circ$; $\gamma = 40^\circ$). Considerou-se que, por motivos formais, uma pequena parcela de sol poderia penetrar no ambiente em alguns períodos e que o brise poderia sombrear um pouco além do necessário em outros períodos. Para que a placa resultante tivesse sempre a mesma dimensão em saliência da superfície da parede, calculou-se o ângulo β por último, obtendo-se o valor de $41,7^\circ$. O brise resultante tem as medidas conforme a figura.

Visto que este brise é um pouco exagerado em algumas dimensões, pelo menos em relação às proporções da abertura, pode-se colocar mais placas horizontais e verticais com o objetivo de diminuir a saliência do brise. Com isso, obtém-se uma segunda alternativa, construtivamente mais adequada, embora com exatamente a mesma máscara e os mesmos ângulos α , β e γ (Figura 4-35). Esta alternativa é melhor em termos estruturais e também

em relação à iluminação natural, pois a placa horizontal no centro da abertura, se tiver cor clara, pode refletir a luz natural para o teto no interior. O inconveniente desta segunda opção é a visão para o exterior, que fica um pouco obstruída por esta mesma placa central. Outros aspectos a serem levados em consideração na decisão sobre qual tipo de brise deve ser construído são a proteção das chuvas e a ventilação natural.

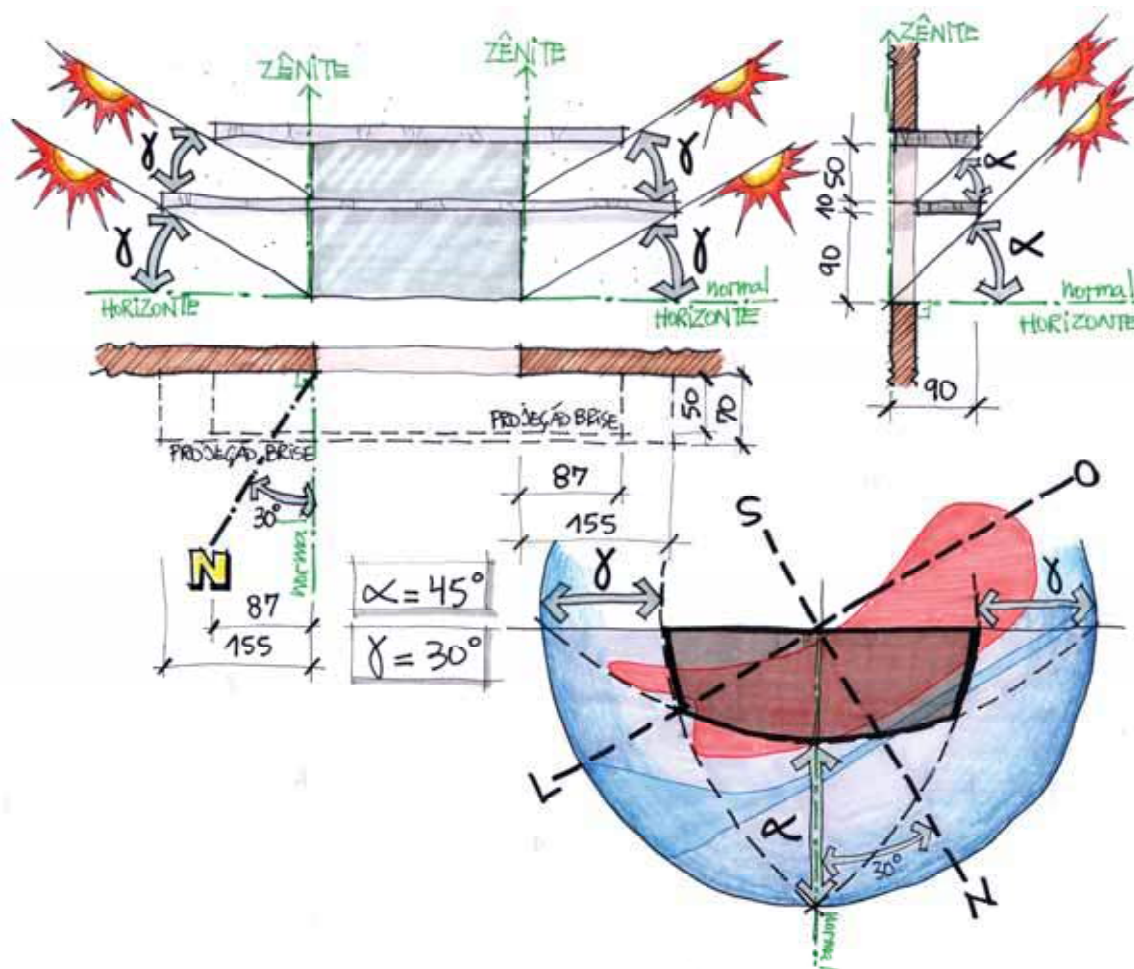


Figura 4-35: brise alternativo para a mesma fachada

	CONSTRUÇÃO	CONTATO VISUAL COM EXTERIOR	VENTILAÇÃO NATURAL	ILUMINAÇÃO NATURAL	SOMBREAMENTO	FUNCIONAL
	SIMPLES.	EXCELENTE.	PODE DIRECIONAR OU BLOQUEAR O VENTO.	BLOQUEIO PARCIAL DA ABÓBADA CELESTE	ADEQUADO NO VERÃO, INDESEJÁVEL NO INVERNO.	ABERTURA TOTAL DA JANELA.
	SIMPLES.	BOM.	AUXILIA NO DIRECIONAMENTO DO VENTO.	MENOR BLOQUEIO DA ABÓBADA, POSSÍVEL PRATELEIRA DE LUZ.	ADEQUADO TANTO NO VERÃO QUANTO NO INVERNO.	JANELA DE ABRIR P/ FORA E MÁXIMO-AR NÃO FUNCIONAM.

Figura 4-36: Comparação entre os dois brises com mesmo sombreamento

4.11 Análise de sombreamento e projeto de proteções solares com aparatos de simulação em maquetes

Existem alguns aparatos bastante úteis para visualização de sombreamento e acesso solar e mesmo projeto de proteções solares com o uso de maquetes. Os principais são: o **RELÓGIO SOLAR**, o **HELIODON** e o **SOLARSCÓPIO**.

4.11.1 Relógio Solar

O relógio solar é uma ferramenta de auxílio ao projeto bioclimático prática e compacta (Figura 4-37).

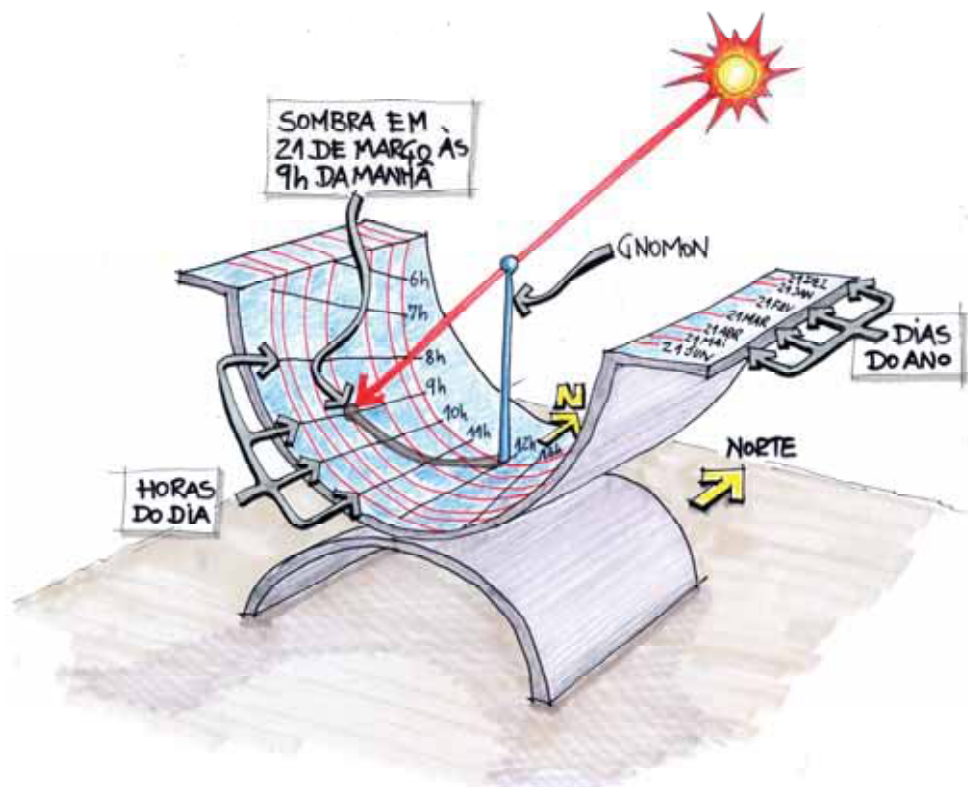


Figura 4-37: Relógio solar universal, com eixo giratório

Pode ser instalado na própria maquete sob análise e, depois de orientado segundo a orientação da maquete, indica visualmente a sombra estimada para os dias e horários especificados.

A precisão das sombras visualizadas depende da precisão da maquete. O relógio solar também pode ser utilizado para análise de penetração solar e projeto de proteções solares.

O relógio solar pode ser utilizado para simular sombras em edificações projetadas para qualquer local do planeta, pois inclui um eixo giratório que inclina o relógio em relação ao plano do equador, compensando diferenças de latitude.

Existe um programa de computador que pode auxiliar o arquiteto a construir um relógio solar adequado à latitude de uma cidade específica. O programa Luz do Sol (2012), de autoria do professor Maurício Roriz, da Universidade Federal de São Carlos e disponível na página do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina é gratuito e pode gerar relógios solares para praticamente

qualquer latitude desejada. O apêndice 2 fornece um roteiro explicativo para utilização do programa.

4.11.2 Heliodons e Solarscópios:

Há basicamente dois tipos de aparatos para analisar o sombreamento e a penetração solar em maquetes de edificações, o heliodon e o solarscópio. Estes superam o relógio solar em precisão e visualização, pois podem simular facilmente a presença do sol em qualquer situação desejada através de uma ou mais lâmpadas a pelo menos dois metros de distância da maquete, tornando desnecessária a presença do sol. Estes aparelhos têm basicamente três controles, o da latitude do local, o do dia do ano e o da hora do dia.

O **HELIODON** (Figura 4-38) faz as análises através de uma mesa giratória e inclinável, onde se põe a maquete a ser analisada.

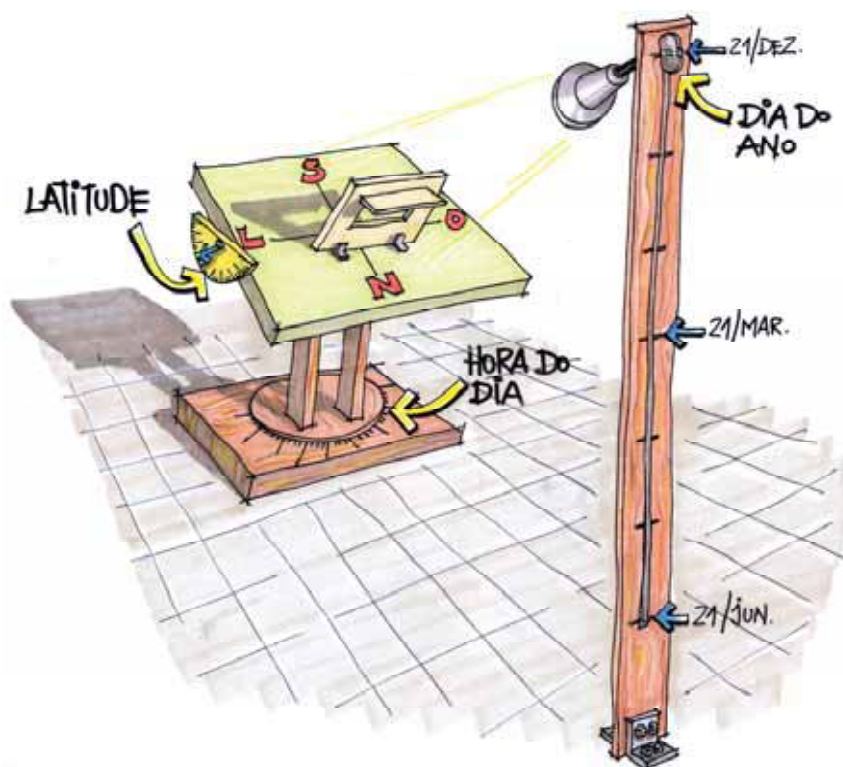


Figura 4-38: Heliodon

A mesa embute dois controles, o da hora do dia, que é acionado com o giro da mesa, e o da latitude do local, acionado com a inclinação da mesma. O controle do dia do ano é feito através de uma lâmpada instalada em um trilho vertical a uma determinada distância.

O **SOLARSCÓPIO**, (Figura 4-39) faz análises de sombreamento e de penetração solar em maquetes também. Ao contrário do heliodon, o solarscópio é mais representativo da geometria solar que estamos acostumados, sendo, portanto, um aparelho mais didático que o heliodon, pois se visualiza o sol em trajetórias mais parecidas com as que o vemos transitar na abóbada celeste.

Os solarscópios podem ter a mesa onde se instala a maquete fixa e um sistema de lâmpadas (ou mesmo uma única lâmpada) móvel, que dá o controle da latitude, ou uma mesa inclinável (controle de latitude) com um jogo de lâmpadas fixo. O solarscópio mais simples tem apenas um único trilho curvo (trajetória solar), onde se instala uma lâmpada (sol), que pode ser deslizado a outras posições para simular a insolação em vários dias do ano.

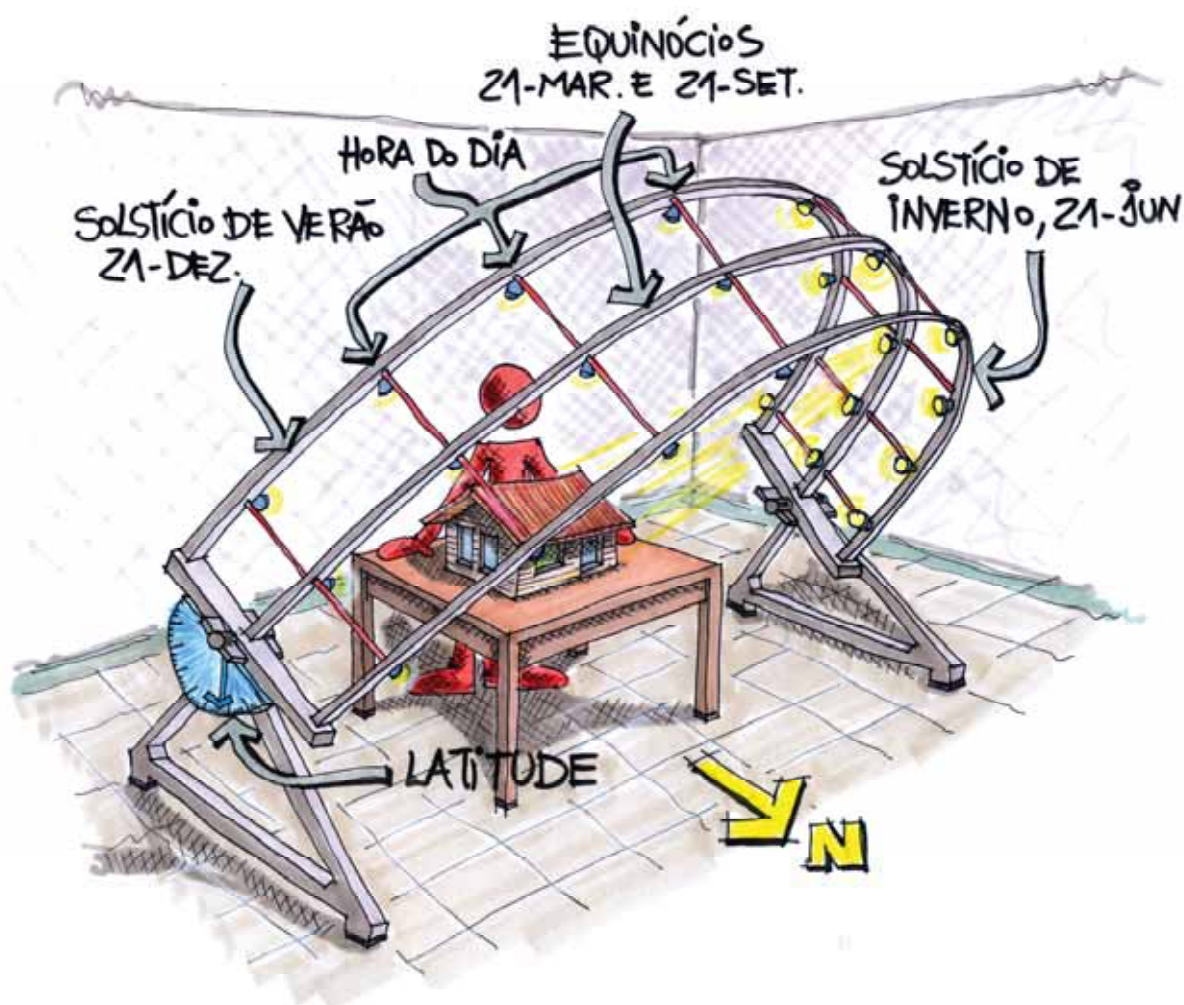


Figura 4-39: Solarscópio

Aumentando a complexidade, o aparato pode ter diversos trilhos, normalmente um para cada solstício e um para os equinócios, com uma ou várias lâmpadas cada um. O solarscópio com várias lâmpadas é ótimo para visualização da insolação simultaneamente em mais de um período.

4.11.3 Análise de maquetes com heliodons e solarscópios

Definidos os horários de análise, pode-se considerar a necessidade e a indesejabilidade do sol nos diversos períodos do ano. Por exemplo, pode-se considerar que o sol é necessário em uma residência no inverno e indesejável no verão. Para isso, define-se pelo menos um horário de análise no período da manhã, um ao meio dia e outro à tarde para alguns meses representativos do ano todo, como dezembro para verão, março ou setembro para meia estação e junho para inverno. Para cada um destes meses foi escolhido o dia 21 e os horários das 9h, 12h e 15h. Montam-se, assim, três situações distintas, a de inverno, onde se analisa se o sol presente na maquete é suficiente para a função desempenhada no edifício, a de meia estação, onde se considera uma desejabilidade mediana do sol, e a de verão, onde o sol deve ser evitado integralmente. Coloca-se a maquete no solarscópio ou heliodon corretamente orientada segundo o norte do terreno e fotografa-se (ou desenha-se) as manchas de sombra que o edifício faz no seu entorno ou que o entorno faz no terreno, para cada dia e horário estabelecido na análise, obtendo-se assim uma imagem semelhante à da Figura 4-40.

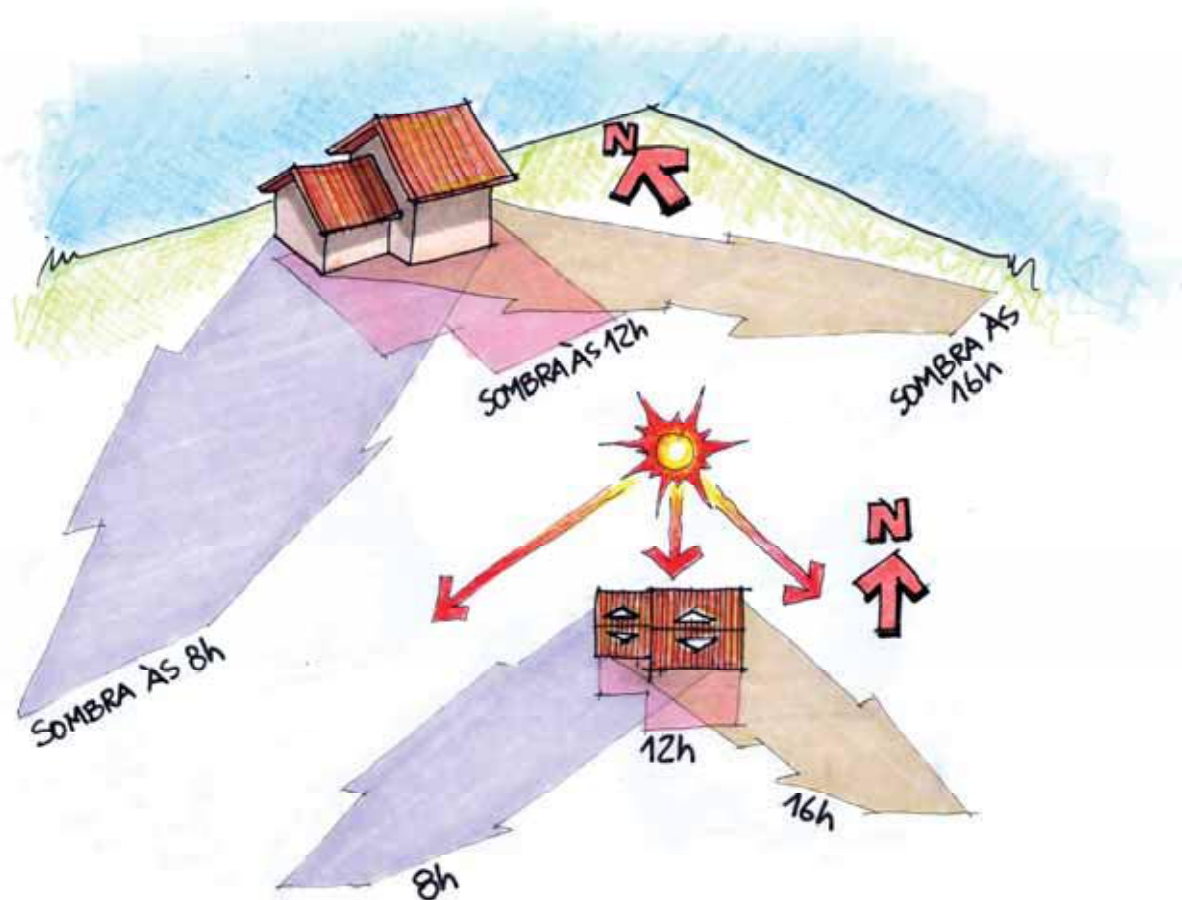


Figura 4-40: Sombras na maquete para três horários distintos

4.12 Simulação de sombreamento e acesso solar com auxílio de programas computacionais

Atualmente existe uma série de programas de computador para facilitar a tarefa do projetista de proteções solares e a análise de sombreamento e acesso solar nas diversas escalas construtivas. A seguir, uma breve descrição de dois deles.

4.12.1 Analysis-SOL-AR:

Mais recente integrante da família de programas Analysis, o Analysis-SOL-AR (2012) é dividido em dois módulos básicos, um que analisa a carta solar para a região desejada e outro que analisa a rosa-dos-vetos. O programa marca os dados de temperatura do ar diretamente sobre a carta solar para determinada latitude, e mostra através de cores diferenciadas como essas temperaturas se distribuem ao longo do ano, ferramenta bastante útil para a adequação de proteções solares para qualquer orientação desejada.

Na Figura 4-41 o programa Analysis-SOL-AR mostra a carta solar para a cidade de Florianópolis com as temperaturas do ar do período de 21 de junho a 21 de dezembro indicadas e inclui o transferidor de ângulos e o traçado de um ângulo α de 45° e um ângulo β de 30° . O transferidor de ângulos foi girado de 35° em relação ao norte para refletir a análise de uma fachada nordeste. Nota-se que o programa mostra a máscara de um brise do tipo misto, com uma placa horizontal (definida pelo ângulo α) e uma placa vertical na parte direita da abertura (definida pelo ângulo β).

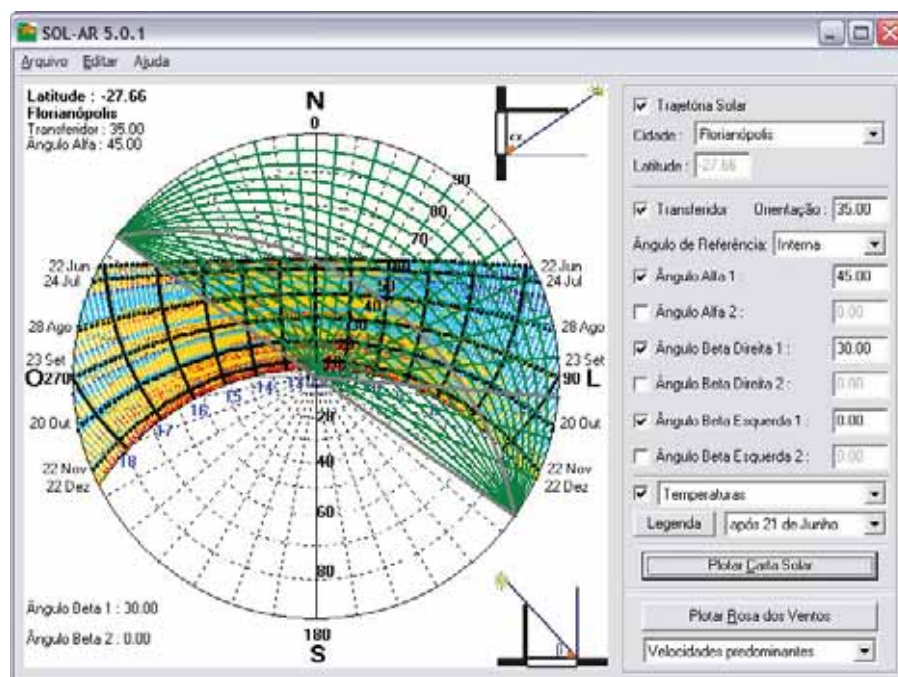


Figura 4-41: Imagem do programa Analysis-SOL-AR

4.12.2 Outros Aplicativos...

Existem outros programas computacionais que servem para análise de sombreamento na arquitetura, entre eles podem ser destacados o AutoCAD, o 3D Studio e o Ecotect. O AutoCAD e o 3D Studio mostram o sombreamento de modelos com o sol sendo posicionado na abóbada celeste para qualquer latitude, dia do ano e horário do dia.

O Ecotect (2012) é um programa de simulação que faz análises térmicas, de insolação, de iluminação natural e artificial e acústicas de edifícios. O módulo de análise de geometria solar simula com exatidão o sombreamento e a penetração solar em ambientes e, inclusive, pode ser utilizado para projeto de proteções solares (Figura 4-42).

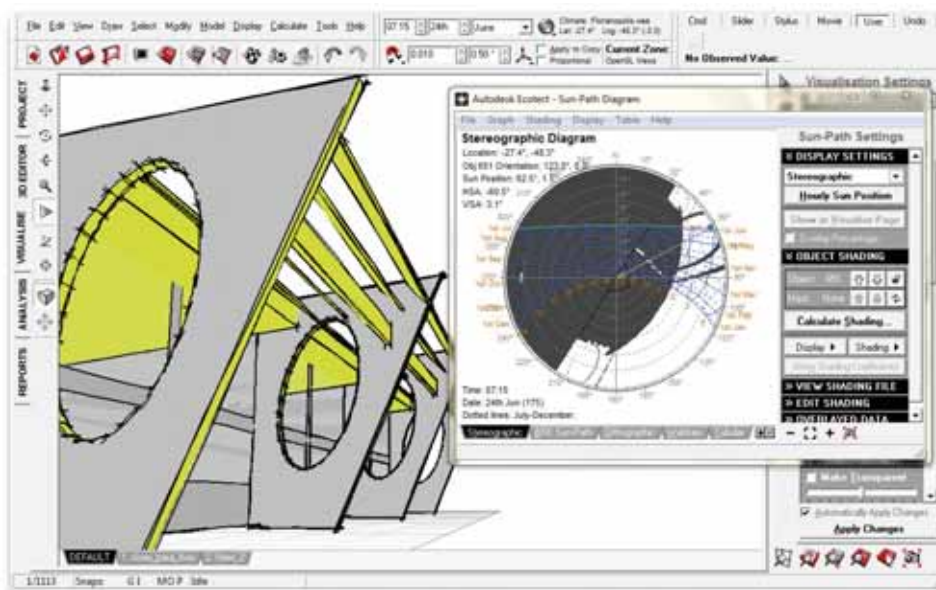


Figura 4-42: Imagem do programa Ecotect

4.13 Tabela de Brises

Para auxílio de arquitetos e projetistas no projeto de proteções solares, o apêndice 3 apresenta trinta brises e respectivas máscaras de sombreamento, seguindo o exemplo da abaixo. Observa-se que os brises são adimensionais e suas máscaras servem apenas como referência básica. Esta Tabela de Brises foi originalmente desenvolvida por Dutra (1990) e pode ser utilizada como auxílio na especificação preliminar de proteções solares para diversas orientações e linguagens arquitetônicas.

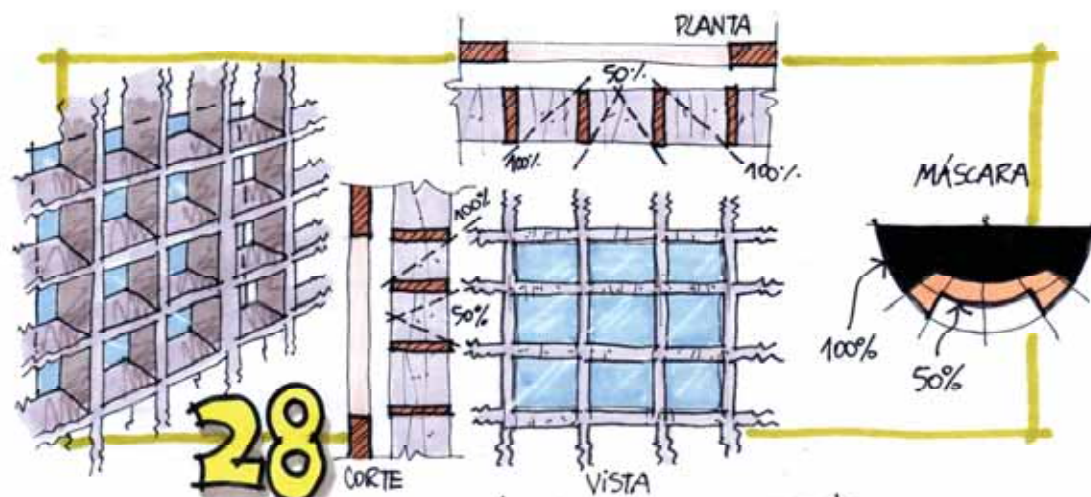


Figura 4-43: Brise nº 28 da Tabela de Brises (Apêndice 3)

REFERÊNCIAS

- ANALYSIS-SOL-AR;** (2012). Programa que confecciona cartas solares para qualquer latitude e rosa-dos-ventos para as cidades que possuem arquivo climático horário. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, disponível em <http://www.labee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>, acesso em outubro/2012.
- BITTENCOURT, L.;** (2004). *Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos*. 4ª Edição, EDUFAL, Maceió, p35.
- DUTRA, L.** (1990). Estudos de proteções solares e sua adequação ao conforto ambiental e ao projeto arquitetônico. in: VI Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia RS/SC - CRICTE. UFSC, Florianópolis, 1990.
- ECOTECT - AUTODESK ECOTECT ANALYSIS 2011.** Programa de simulação térmica, de iluminação, acústica e de geometria solar. Autodesk. Disponível em: <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/>. Acesso em outubro/2012
- KORHONEN, K.** (2012). *The igrf-applet homepage*. Disponível em <http://www.ava.fmi.fi/MAGN/igrf/>. Acesso em outubro/2012.
- LUZ do Sol** (2012). Programa que confecciona relógios solares para qualquer latitude. Autoria de Maurício Roriz. Disponível em <http://www.labee.ufsc.br/downloads/softwares/luz-do-sol>, acesso em outubro/2012.

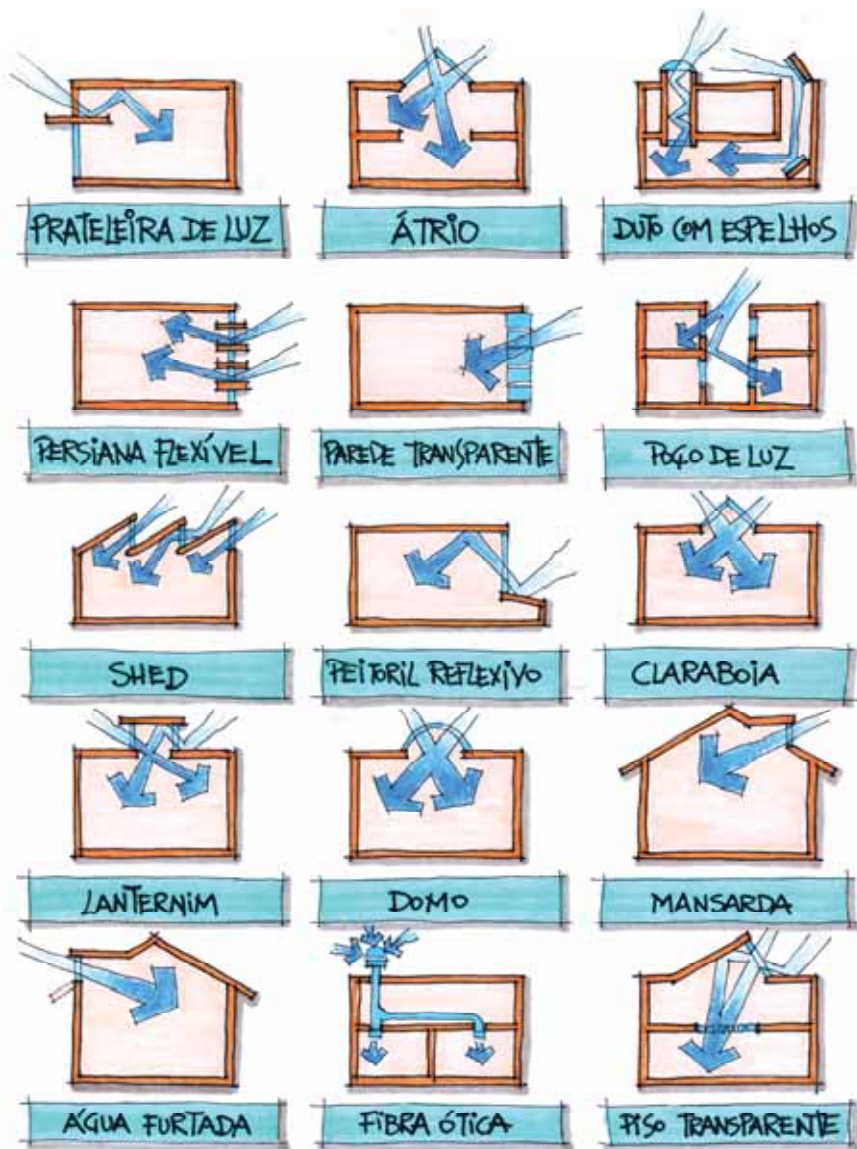
McCLUNEY, W. R.; (1993). *The benefits of using window shades*. in: ASHRAE Journal, November/93, pp. 20-27.

NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER - NGDC. *Estimated Value of Magnetic Declination*. Disponível em: <http://www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/struts/calcDeclination>. Acesso em outubro/2012.

OLGYAY, V.; (1973). *Design with climate - bioclimatic approach to architectural regionalism*. 4° ed. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.

SCARAZZATO, P. S.; (2007). Software DLN - ferramenta para a avaliação da disponibilidade de luz natural como recurso auxiliar no desenvolvimento de projetos de arquitetura. Labaut - Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>, acesso em 23 de julho de 2007.

SZOKOLAY, S.; (1996). *Solar geometry*. Passive and Low Energy Architecture International, Design Tools and Techniques, The University of Queensland, Brisbane, Austrália, p7.



ILUMINAÇÃO NATURAL

sumário

5	ILUMINAÇÃO NATURAL	151
5.1	Fontes de Luz Natural	151
5.2	Avaliação da Iluminação Natural.....	152
5.3	Céu Artificial.....	154
5.3.1	Céu artificial do tipo Caixa de Espelhos.....	154
5.3.2	Céu artificial do tipo Hemisférico	154
5.3.3	Céu artificial do tipo Hemisférico com/sem domo translúcido	154
5.3.4	Céu artificial do tipo Hemisférico com domo opaco reflexivo	154
5.3.5	Medindo a Contribuição de Iluminação Natural com o céu artificial	154
5.4	Estratégias de Iluminação Natural	155
5.4.1	Pátios e Átrios	155
5.4.2	Prateleiras de Luz	156
5.4.3	Cores.....	157
5.4.4	Distribuição e posicionamento de Janelas	157
5.4.5	Orientação	158
5.4.6	Iluminação Zenital.....	158
5.5	Iluminação Artificial como Suplemento da Iluminação Natural	160
5.5.1	Sensor Fotoelétrico	160
5.5.2	Distribuição das Luminárias	160
5.5.3	<i>Dimmer</i>	161
5.5.4	Sensor de Presença	161
5.5.5	Programador de Tempo ou Minuteria	161
5.5.6	Iluminação de Tarefa.....	162
5.6	Programas de Análise de Iluminação	163
5.6.1	Radiance e Desktop Radiance	163
5.6.2	Ecotect Analysis 2011	164
5.6.3	Apolux	166
5.6.4	TropLux	166
5.6.5	Lux	167
5.6.6	Relux.....	167
5.6.7	DIALux	167
	REFERÊNCIAS.....	168

CAPÍTULO 5:

5 ILUMINAÇÃO NATURAL

Este capítulo trata de outro aspecto muito importante a ser considerado no projeto de arquitetura, a iluminação natural. É relativamente fácil adaptar um edifício às necessidades de conforto visual em um ambiente com a iluminação artificial. Contudo, as soluções adotadas certamente incrementam os gastos com energia elétrica, manutenção e equipamentos, além de, na maioria das vezes, se tornarem mais um adendo ao projeto que propriamente uma solução integrada às outras características e conceitos bioclimáticos considerados. A iluminação artificial pode e deve ser pensada pelo arquiteto também, mas o grande diferencial deste profissional projetista está justamente no bom projeto de iluminação natural, que inclui conceitos e elementos como a forma do edifício, suas cores, orientação, distribuição espacial e outros que acompanham o projeto desde o início e que participam da expressividade final da arquitetura.

A luz natural está disponível na maior parte das horas do dia, mas infelizmente não é adequadamente explorada pela maioria dos projetos. Isso acontece, geralmente, por ignorância do profissional com respeito aos conceitos necessários ao bom projeto de iluminação e conforto visual.

Outro fator importante a ser considerado no projeto de iluminação é sua integração com as necessidades térmicas e acústicas do edifício. A luz natural penetra nos ambientes internos pelas aberturas, que também podem transmitir calor e som para o interior. Uma janela, por exemplo, além da luz natural, do calor solar (radiação), da ventilação natural e de ruídos indesejáveis externos, também faz o contato visual e olfativo do usuário com o exterior, tornando-se um elemento essencial no desempenho combinado de todos estes aspectos. Assim, a iluminação natural deve ser considerada diferentemente para cada função arquitetônica, pois as respostas desejadas variam de ambiente para ambiente.

A luz natural é considerada também mais desejável que a artificial em salas comerciais e escritórios, pois o contato com o exterior ajuda a aliviar a tensão normalmente associada a este tipo de atividade e serve como estímulo ambiental.

Por todos estes motivos, este capítulo tentará resumir os principais conceitos que envolvem a ciência da iluminação natural, na tentativa de ser um guia simplificado para arquitetos no assunto.

5.1 Fontes de Luz Natural

As fontes de luz natural são o sol, o céu e as superfícies edificadas ou não, que fornecem respectivamente luz direta, luz difusa e luz refletida ou indireta. Dados de iluminação natural estão disponíveis no Brasil em três estações de medição, localizadas em Belo Horizonte, Florianópolis e Natal. Entretanto é necessário o conhecimento de três tipos básicos de céu, que traduzem todas as possíveis variações da luz diurna para poder avaliar a iluminação natural em um ambiente. Estes três modelos são o céu **CLARO**, o céu **PARCIALMENTE ENCOBERTO** e o céu **ENCOBERTO** (Figura 5-1).

Na maioria dos casos, o céu encoberto ou nublado pode ser utilizado para cálculo de iluminação natural, pois representa a pior condição em termos de quantidade de luz. Vários programas de iluminação trabalham com esse modelo, que é também o mais simples.

A aplicação mais prática do céu encoberto é o que chamamos de Fator de Luz Diurna (símbolo **FLD**), conceito que deu origem à **CONTRIBUIÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL** (símbolo **CIN**), descrita na norma brasileira NBR 15.215-3 (ABNT 2005). Com o cálculo da

CIN, pode-se estimar a iluminação natural em um ambiente interior em um determinado ponto.

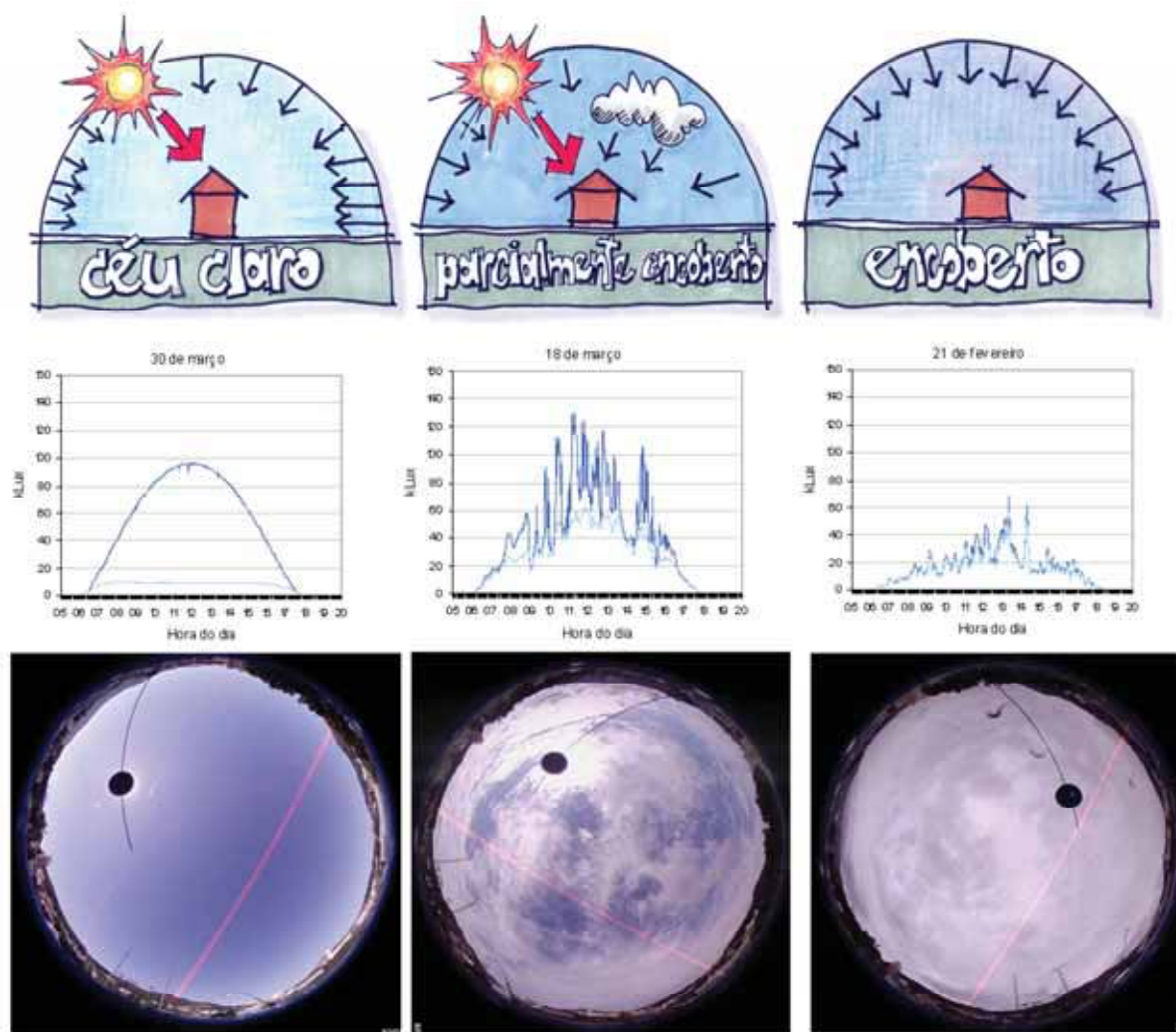


Figura 5-1: Os três principais tipos de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto

Na Figura 5-1, o céu claro apresenta a maior luminância na região mais próxima do sol e a menor luminância a noventa graus deste. O céu encoberto apresenta a maior luminância no zênite e a menor no horizonte. O céu parcialmente encoberto apresenta as luminâncias de forma mais imprevisível, pois considera porções de céu com nuvens, porções sem nuvens e incluem a presença do sol.

5.2 Avaliação da Iluminação Natural

O conceito de **CONTRIBUIÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL** (CIN) foi desenvolvido para facilitar o processo de previsão da luz em um ambiente interior. A CIN é a razão de iluminação entre o interior e o exterior, e é medida em porcentagem. Por exemplo, uma CIN de 5% indica, em um determinado ponto no ambiente, que quando a iluminância do céu é de 10.000 lux, o nível de iluminação no interior será de 500 lux ($10.000 \times 0,05 = 500$). A Figura 5-2 esquematiza o processo de medição da CIN através de um luxímetro. Coloca-se um sensor no ponto desejado dentro do ambiente sob análise e um sensor no exterior. Medem-se os dois valores e acha-se a CIN através da divisão do valor medido em

“A” pelo medido em “B”. No caso do exemplo em questão, se o valor medido em “A” for 500 lux e em “B” for 10.000 lux, tem-se uma CIN = 500/10.000 = 0,05 (5%).

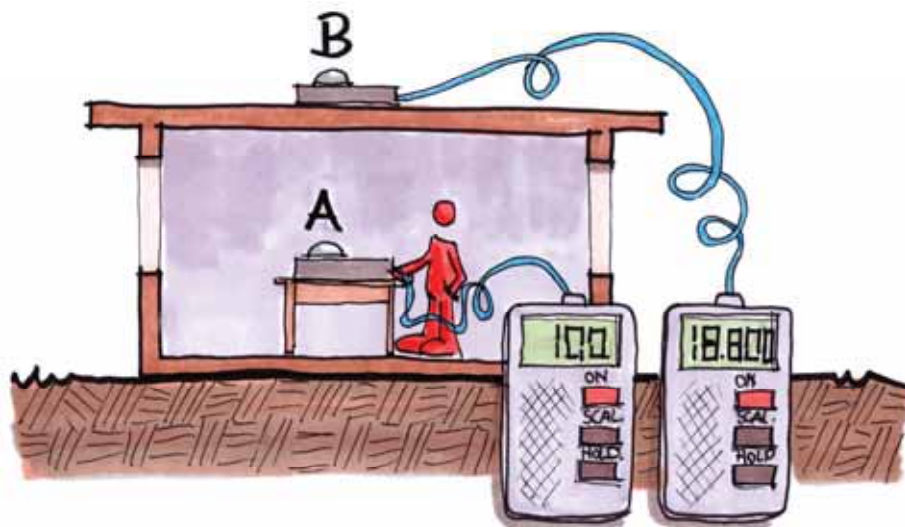


Figura 5-2: A CIN é determinada pela razão entre a iluminação exterior e interior

De forma genérica, a CIN pode ser calculada pela Equação 5-1:

Equação 5-1: Cálculo da Contribuição da Iluminação Natural

$$DF \approx CIN = \frac{E_p}{E_{ext}} \times 100 (\%)$$

onde:

- E_p = iluminância num plano horizontal num ponto P do ambiente interno, em lux;
- E_{ext} = iluminância produzida por toda a abóbada celeste num plano horizontal externo livre de obstruções, excluída a iluminação direta do sol, em lux.

A Tabela 5-1 apresenta valores de contribuição da iluminação natural típicos para tipos diferentes de espaços, segundo Lechner (2001). Se a CIN medida for maior que o valor da tabela, a luz natural presente ao longo de todo o ano será mais que suficiente.

Tabela 5-1: Contribuição da iluminação natural mínimas típicas (LECHNER 2001)

Ambiente	Contribuição da Iluminação Natural (%)
Galerias e estúdios de arte	4 - 6
Fábricas e laboratórios	3 - 5
Escritórios, salas de aula, ginásios, cozinhas	2
Igrejas, salas de estar, halls, foyers	1
Corredores, quartos de dormir	0,5

5.3 Céu Artificial

O céu artificial é um aparato destinado à simulação de luz natural em maquetes. Existem, basicamente, dois tipos básicos de céu artificial, o retangular, também conhecido como “caixa de espelhos” e o hemisférico.

5.3.1 Céu artificial do tipo Caixa de Espelhos

É o tipo mais simples e econômico, consistindo basicamente de uma caixa com espelhos na lateral e iluminação difusa vindo de cima. Este céu artificial simula a iluminação natural em maquetes considerando o modelo de céu encoberto (nublado) padrão do CIE (Commission Internationale d’Éclairage), e pode ser utilizado para análise da contribuição de iluminação natural (item 5.2) se trabalhar em conjunto com sensores colocados nos ambientes interiores da maquete. Os espelhos simulam um céu encoberto com horizonte infinito, resultante das múltiplas reflexões.

5.3.2 Céu artificial do tipo Hemisférico

O céu artificial do tipo hemisférico é bem mais complexo e flexível que o do tipo “caixa de espelhos”. Existem dois tipos de céu artificial do tipo hemisférico, um consistindo em um domo opaco de material reflexivo iluminado por baixo, e outro consistindo de iluminação através de uma série de lâmpadas montadas ou não por trás de um domo translúcido. O céu artificial hemisférico pode simular qualquer variação das luminâncias na abóbada celeste, além de poder incluir também o sol, que consiste em uma lâmpada mais intensa que tem trajetória definida segundo a latitude do local, dia e horário, como acontece no solarscópio (ver item 4.11.2 do quarto capítulo deste livro, intitulado “Geometria Solar”). Desta forma, o céu artificial hemisférico pode ser usado para simular a distribuição de luminâncias de um céu real (encoberto ou claro) para medições em maquetes.

5.3.3 Céu artificial do tipo Hemisférico com/sem domo translúcido

Neste tipo de céu artificial, o domo geodésico (translúcido ou não) deve possuir várias lâmpadas fluorescentes compactas energeticamente eficientes com intensidades individualmente controladas. Quanto mais lâmpadas forem utilizadas, maior a precisão do aparato. O céu artificial da Universidade Bartlett, por exemplo, possui um jogo de 270 lâmpadas (www.bartlett.ac.uk). Dentro do domo existe uma lâmpada especial que representa o Sol, de brilho intenso e que atravessa a abóbada através de um arco móvel, que representa a trajetória do sol para qualquer dia e hora do ano. A combinação do sol e do céu permite a reprodução precisa de várias condições de céu simultaneamente em qualquer posição geográfica.

5.3.4 Céu artificial do tipo Hemisférico com domo opaco reflexivo

O domo geodésico opaco deve ser branco fosco para refletir a luz proveniente de luminárias direcionadas a ele, instaladas no mesmo plano da maquete. O funcionamento deste tipo de céu artificial é similar ao de domo translúcido, incluindo uma lâmpada especial que simula a trajetória do sol para análise de céu real (parcialmente encoberto).

5.3.5 Medindo a Contribuição de Iluminação Natural com o céu artificial

Para medir a contribuição de iluminação natural, deve-se espalhar luxímetros nos ambientes desejados, além de um no exterior da maquete. A CIN pode ser facilmente calculada pela relação entre os valores lidos em um sensor interno e um externo à maquete. Para que a simulação seja precisa, é necessário que a maquete tenha as

refletâncias internas tão precisas quanto possível. O ideal seria obter amostras dos materiais reais a serem utilizados no edifício, como carpetes, pisos e pinturas, e instalá-las na maquete.

5.4 Estratégias de Iluminação Natural

5.4.1 Pátios e Átrios

A forma do edifício determina as possíveis combinações de janelas e aberturas zenitais e também o quanto da área de piso terá acesso efetivo à luz natural. Normalmente, em edifícios com vários pavimentos, uma distância de 5 metros pode ser totalmente iluminada com luz natural, enquanto que os 5 metros além desse limite podem apenas ser parcialmente iluminados. Na Figura 5-3, todas as plantas têm a mesma área construída, mas apresentam diferentes possibilidades de iluminação total, parcial e ausência de iluminação natural.

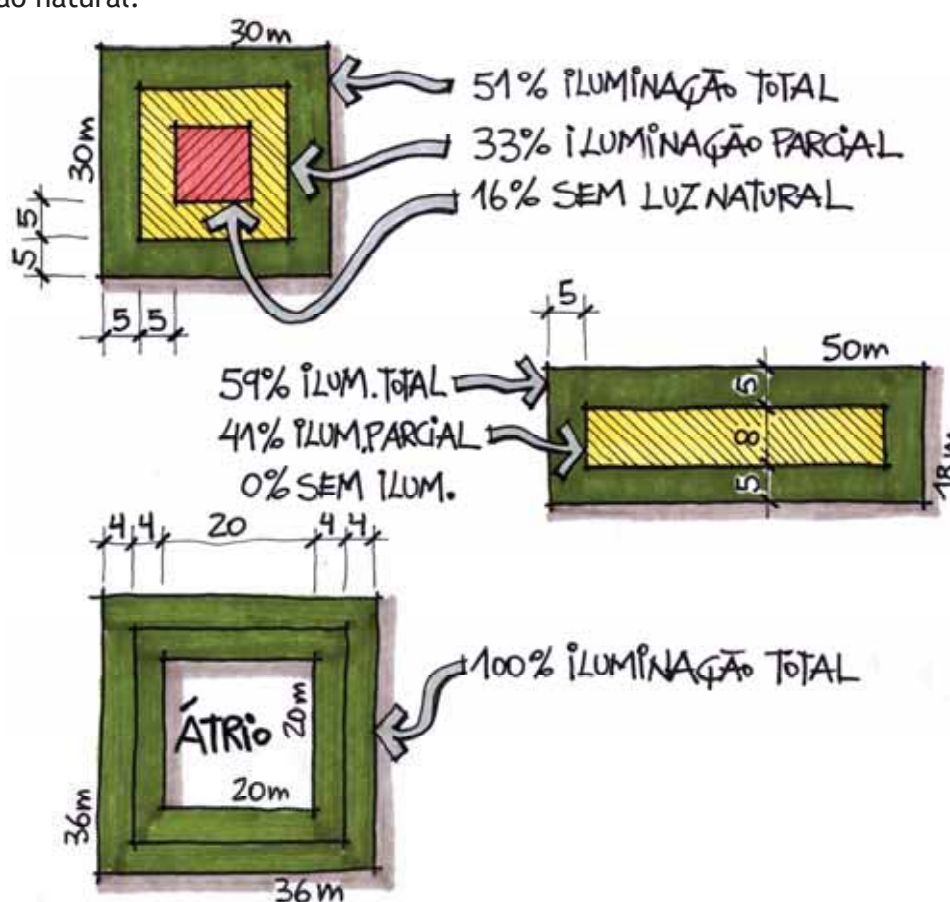


Figura 5-3: Iluminação natural em função da geometria em planta

A quantidade de luz disponível na base do átrio depende de uma série de fatores, como a área de transparência da cobertura, a refletância das paredes internas do átrio e a geometria do espaço (largura versus profundidade).

O átrio pode ser conceituado como o *espaço luminoso interno envolvido lateralmente pelas paredes da edificação e coberto com materiais transparentes ou translúcidos que admitem luz a ambientes internos da edificação ligados ao átrio por componentes de passagem*.

A melhor maneira de estudar a quantidade de luz natural que pode ser esperada na base do átrio é através de **MODELOS FÍSICOS** (maquetes) ou de **SIMULAÇÃO**.

Quando o átrio se torna muito pequeno para ser um espaço útil, passa a ser chamado de **POÇO DE LUZ**, conceituado como o *espaço luminoso interno que conduz a luz natural para porções internas da edificação*. As superfícies internas de um poço de luz geralmente apresentam acabamento com alta refletância (cores claras).

5.4.2 Prateleiras de Luz

PRATELEIRAS DE LUZ (ou *light shelves*) previnem o ofuscamento quando colocadas acima do nível dos olhos. A janela posicionada abaixo da prateleira de luz é mais usada para contato visual com o exterior. A prateleira de luz age como um *brise* horizontal para esta janela. O ofuscamento das janelas acima da prateleira de luz, por onde a luz penetra no ambiente, pode ser controlado com o uso de persianas ou por uma prateleira de luz adicional no interior (Figura 5-4). As prateleiras de luz melhoram a qualidade da luz natural e também facilitam sua penetração mais profunda no ambiente.

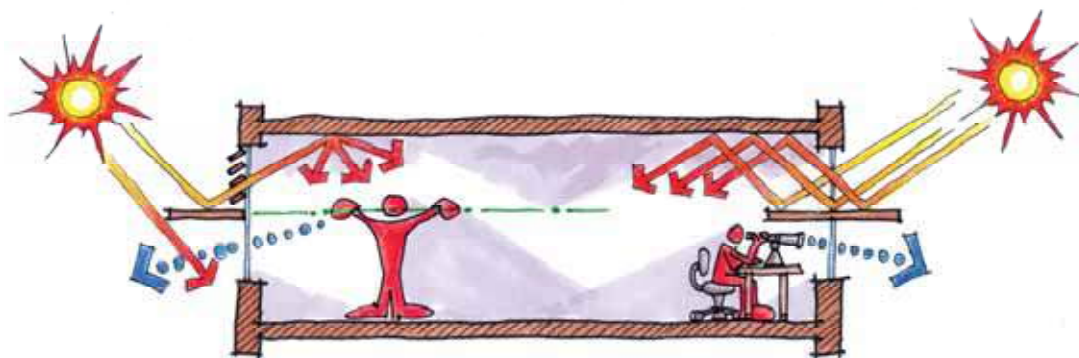


Figura 5-4: Prateleiras de luz

Um “macete” para fins de pré-dimensionamento da penetração da luz natural no interior é considerar que ela será de **1,5** vezes a altura de uma janela padrão e de **2** vezes a altura de uma janela com uma prateleira de luz (Figura 5-5).

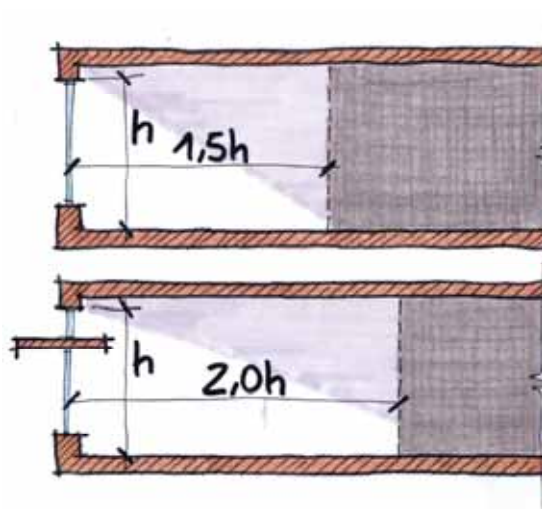


Figura 5-5: Aumentando a penetração de luz no interior com prateleiras de luz

5.4.3 Cores

Cores claras refletem melhor a luz para dentro do edifício. Telhados claros podem aumentar a luz que as clarabóias transmitem. Paredes exteriores e fachadas claras irão refletir melhor a luz para o interior. A melhor sequência de refletâncias nas superfícies internas (da mais clara para a mais escura) é como na Figura 5-6.



Figura 5-6: Refletâncias ideais para superfícies interiores em função de seu posicionamento em relação à janela

5.4.4 Distribuição e posicionamento de Janelas

A penetração da luz natural aumenta com a altura da janela e com a presença de prateleiras de luz. A penetração útil da luz natural pela janela é limitada a uma distância de aproximadamente 1,5 vezes a altura da parte superior da janela. Assim, sempre que possível, o teto deve ser posicionado mais alto de forma a permitir o posicionamento das janelas também mais alto.

Janelas horizontais distribuem a luz mais uniformemente que janelas verticais, enquanto que janelas espalhadas distribuem melhor a luz que janelas concentradas em pequena área da parede.

A área percentual de janela em relação à área de piso raramente deve exceder 20%, devido à incidência de calor no verão e às perdas de calor no inverno (Figura 5-7).



Figura 5-7: Área de janela em função da área de piso

Sempre que possível, posicione as janelas de um ambiente em mais de uma parede, favorecendo assim a iluminação bilateral, muito melhor que a unilateral. A iluminação bilateral tem melhor distribuição de luz e ofuscamento reduzido. As janelas posicionadas em paredes adjacentes reduzem o ofuscamento porque iluminam a parede em que a outra janela está, reduzindo o contraste entre esta janela e sua respectiva parede.

5.4.5 Orientação

A melhor orientação para a iluminação natural é a **NORTE**, devido à incidência mais frequente da luz solar direta. Apesar do calor que acompanha a luz solar estar sempre presente, é muito fácil sombrear as aberturas nesta orientação.

A segunda melhor orientação para a iluminação natural é a **SUL**, devido à constância da luz. Embora a quantidade de luz possa ser baixa, a qualidade é alta quando se precisa de uma luz branca fria. Esta orientação também é a que menos recebe a luz solar direta, tendo menos problemas de ofuscamento. Também é muito fácil projetar proteções solares para o Sul.

As piores orientações são então a **LESTE** e a **OESTE**. Isso porque elas recebem a luz solar direta com maior intensidade no verão e com menor intensidade no inverno, dificultando o projeto de proteções solares, que devem considerar ângulos muito baixos de altura solar.

A Figura 5-8 sumariza estas indicações, ilustrando uma planta ideal em termos de orientação e luz natural.

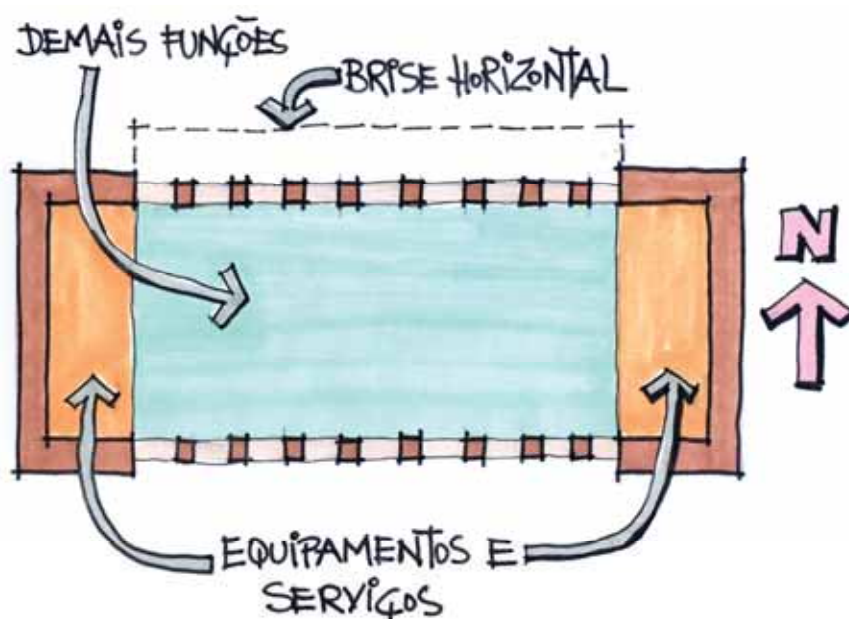


Figura 5-8: Planta com uma "orientação ideal" em termos de iluminação natural

5.4.6 Iluminação Zenital

Conceituada segundo a norma NBR 15215-1 (ABNT 2005b) como a *porção de luz natural produzida pela luz que entra através dos fechamentos superiores dos espaços internos*. A iluminação zenital tem duas principais vantagens sobre a iluminação lateral através de janelas: permite uma iluminação muito mais uniforme que a obtida com janelas e recebe muito mais luz natural ao longo do dia. A principal desvantagem é a dificuldade de proteger essas aberturas da radiação solar indesejável. Por esse motivo, é recomendado o

uso da iluminação zenital através de vidros posicionados verticalmente, conforme o esquema seguinte (Figura 5-9).



Figura 5-9: Tipos de iluminação zenital

Os **DOMOS** são fontes de iluminação zenital construídas através de aberturas envidraçadas no telhado. Um problema comum a todos os domos é a maior incidência de luz e calor no verão, e menor incidência no inverno, devido à geometria solar. Desta forma, **CLARABOIAS** devem ser utilizadas no lugar de domos sempre que possível. Elas cumprem a mesma função dos domos, porém são mais facilmente sombreadas quando necessário e permitem melhor distribuição da luz ao longo do ano, pois podem ser orientadas de forma a aproveitar melhor a luz no inverno e evitá-la no verão. Em relação às orientações para clarabóias, Valem as mesmas regras para janelas, ou seja, devem ser evitadas as orientações leste e oeste, e as duas melhores orientações são a norte e a sul, nessa ordem.

Outra vantagem desse tipo de iluminação é seu potencial para levar luz difusa para o ambiente, visto que a luz celeste ou solar pode ser refletida em uma superfície interna antes de entrar.

Sua principal **desvantagem** é enxergar menos céu que os domos e, conseqüentemente, coletar menos luz.

Os **POÇOS DE LUZ** são recursos bastante eficientes para captar e levar a luz natural em ambientes sem contato direto com o exterior. Sua eficiência diminui conforme aumenta a razão entre a sua profundidade e sua largura. As paredes internas de um poço de luz devem ter cores claras ou mesmo ser espelhadas, se possível.

Outra técnica avançada de iluminação natural que consiste na **ILUMINAÇÃO NATURAL DIRECIONADA COM ESPELHOS**, um sistema de espelhos que manualmente ou mesmo automaticamente se posiciona para melhor capturar a luz solar e dirigi-la para o interior do edifício, onde ela pode ser espalhada.

Ao contrário dos sistemas anteriores, que usam superfícies refletoras para conduzir a luz para o interior, as **FIBRAS ÓTICAS** usam uma técnica de reflexão total interna que é muito mais eficiente. Uma das principais vantagens é sua flexibilidade, que facilita a transmissão de luz através de cantos e dobras estruturais. As fibras óticas podem ser utilizadas também com sistemas de iluminação artificial.

Os **PISOS TRANSPARENTES** são usados desde o século XIX, com o intuito de transmitir a luz natural para ambientes localizados no subsolo. Atualmente também são utilizados em edifícios de vários pavimentos para trazer a luz de um piso para o outro.

5.5 Iluminação Artificial como Suplemento da Iluminação Natural

Um edifício iluminado com luz natural pode economizar uma quantidade significativa de energia elétrica se a sua iluminação artificial permanecer desligada quando há luz natural suficiente.

Pode-se confiar na maioria das pessoas para acionar a iluminação artificial quando necessário, mas dificilmente para desligar o sistema quando não é mais necessário. Isso acontece porque os olhos se adaptam facilmente ao dobro do necessário de iluminação, e o usuário da iluminação artificial acredita que esta esteja adequada às suas necessidades, mesmo quando a luz é muito mais do que o suficiente. Consequentemente, **SISTEMAS DE CONTROLE** automáticos são necessários quando se quer usar a luz natural para economia de energia. Existem vários tipos de sistemas de controle da luz artificial, como os sensores fotoelétricos, os sensores de presença, os programadores de tempo e os *dimmers*.

5.5.1 Sensor Fotoelétrico

Os sistemas de controle podem ser do tipo conhecido como **SENSOR FOTOELÉTRICO**, localizado no teto da área de trabalho e associado a um painel de controle do tipo LIGA/DESLIGA ou do tipo “**DIMMER**”. O tipo liga/desliga é mais barato, porém os “*dimmers*” economizam mais energia e causam menos distúrbios visuais aos usuários, pois o nível de iluminação não sofre alterações bruscas. A Figura 5-10 esquematiza um sensor fotoelétrico associado ao controle da iluminação artificial num ambiente.

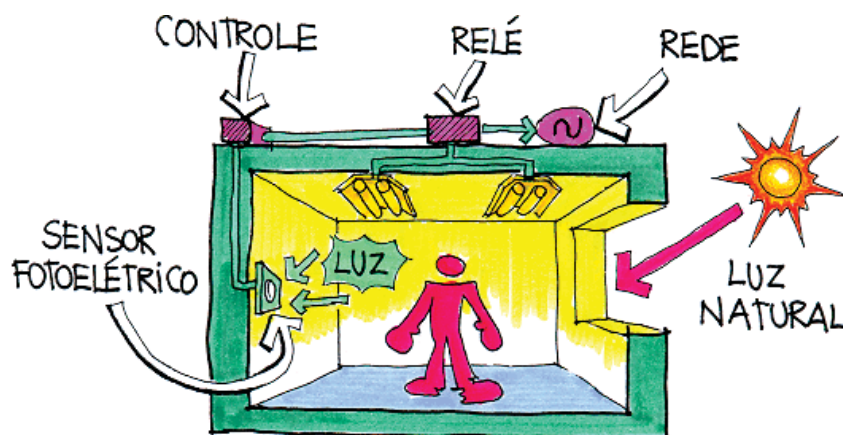


Figura 5-10: Sensor fotoelétrico

5.5.2 Distribuição das Luminárias

A **DISTRIBUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS** deve ser feita de forma a complementar a luz natural disponível. O mais comum é ter um único interruptor que acende todas as luminárias ao mesmo tempo. Em uma sala de aula, por exemplo, isto seria inadequado, pois dependendo da técnica de ensino utilizada, muitas vezes com recursos audiovisuais, é interessante acender as luminárias mais afastadas do quadro enquanto as mais próximas são mantidas apagadas. Da mesma forma, pode ser interessante acender separadamente as luminárias mais próximas à janela e as mais próximas à parede oposta, com o intuito de integrar a iluminação natural com a artificial de forma harmônica durante o entardecer. Assim, as luminárias mais afastadas das janelas poderiam ser acesas antes das mais próximas, economizando energia e auxiliando na distribuição homogênea da luz no interior.

Embora o acionamento ou desligamento das lâmpadas possa ser diretamente efetuado pelo usuário, um *dimmer* auxiliaria essa tarefa e tornaria as transições entre diferentes níveis de iluminação mais suaves e visualmente confortáveis.

5.5.3 *Dimmer*

Os dimmers são pequenos aparelhos utilizados para criar um efeito mais suave na transição entre níveis de iluminação diferentes, como quando se acende ou apaga uma luminária. As **LÂMPADAS INCANDESCENTES** podem usar *dimmers* bastante simples, constituídos de resistores que limitam a corrente elétrica que circula pela lâmpada. Devido à baixa qualidade da cor da luz dessas lâmpadas, esse sistema não é indicado para ambientes de escritórios e salas de aula, onde a integração entre luz natural e artificial se faz mais necessária.

As **LÂMPADAS FLUORESCENTES** exigem *dimmers* mais sofisticados, os *dimmers* eletrônicos. Estes reduzem o fluxo luminoso da lâmpada para até 15% do valor nominal.

5.5.4 Sensor de Presença

Os **SENSORES DE PRESENÇA** (ou de **OCUPAÇÃO**) usam tanto radiação infravermelha quanto vibrações ultra-sônicas (como nos alarmes de automóveis) para “sentir” a presença de pessoas (Figura 5-11). Com isso, evitam que ambientes vazios permaneçam com as lâmpadas acesas e ainda facilitam que as mesmas sejam acionadas quando necessário automaticamente. São extremamente úteis em edifícios residenciais nas áreas de circulação, pois acionam a iluminação artificial automaticamente quando alguém passa pelas escadas ou corredores. Se associados a um temporizador e a um *dimmer*, fazem as lâmpadas apagarem suavemente após um tempo pré-determinado.

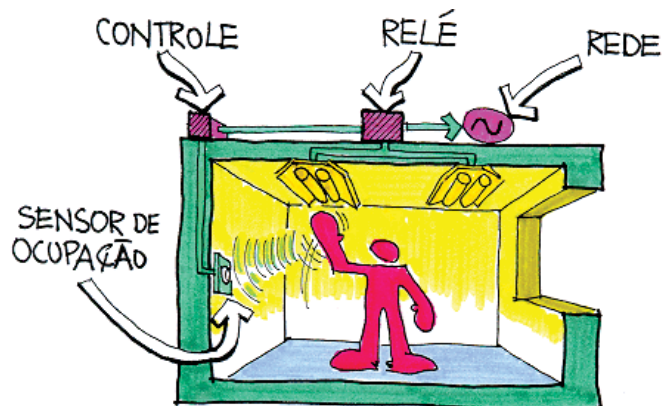


Figura 5-11: Sensores de presença ou ocupação

5.5.5 Programador de Tempo ou Minuteria

Os programadores de tempo ou **MINUTERIAS** desativam a iluminação artificial após um tempo pré-determinado nos circuitos (Figura 5-12). Isso evita que ambientes vazios permaneçam com as lâmpadas acesas por muito tempo. Podem ser acionados diretamente pelo usuário através de interruptores ou por um sistema de controle automático, como um sensor de presença ou fotoelétrico.

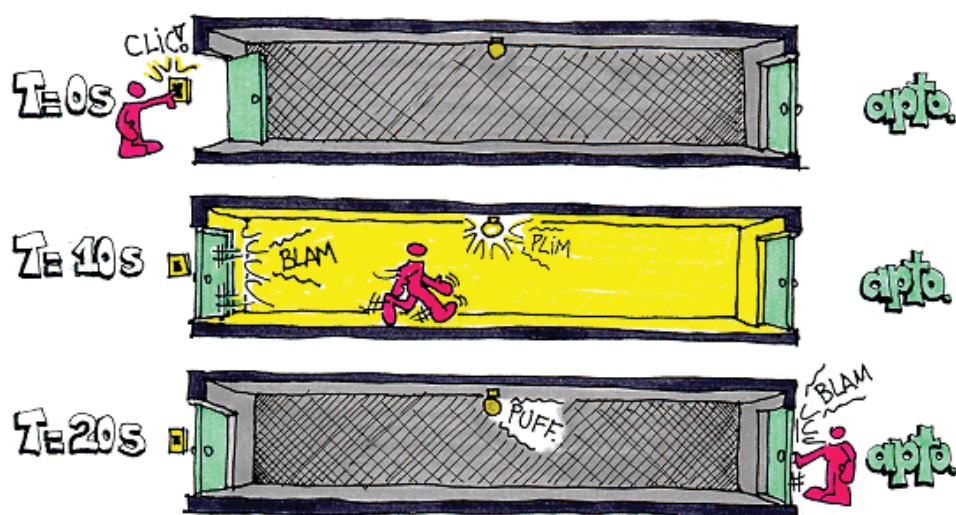


Figura 5-12: Programador de tempo ou minuteria

5.5.6 Iluminação de Tarefa

A **ILUMINAÇÃO DE TAREFA** é uma técnica valiosa a ser usada como complemento da luz natural, pois permite o controle local das condições de iluminação de cada tarefa visual (Figura 5-13). Pode-se explorar a luz natural da melhor maneira possível e, quando esta for insuficiente para certas tarefas desenvolvidas no ambiente, pode-se acionar a iluminação de tarefa, economizando energia com a iluminação de fundo, que pode ser acionada somente quando a luz natural já não estiver mais presente.

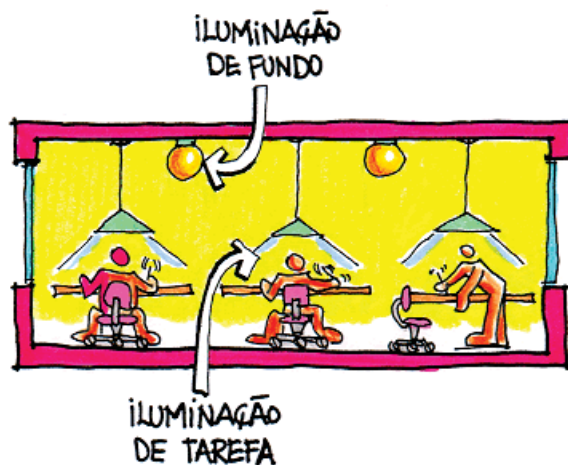


Figura 5-13: Iluminação de tarefa

A boa integração da iluminação artificial com a natural pode melhorar a condição geral de luz em um ambiente e manter os níveis de conforto independentemente das condições externas de iluminação, conforme a Figura 5-14.

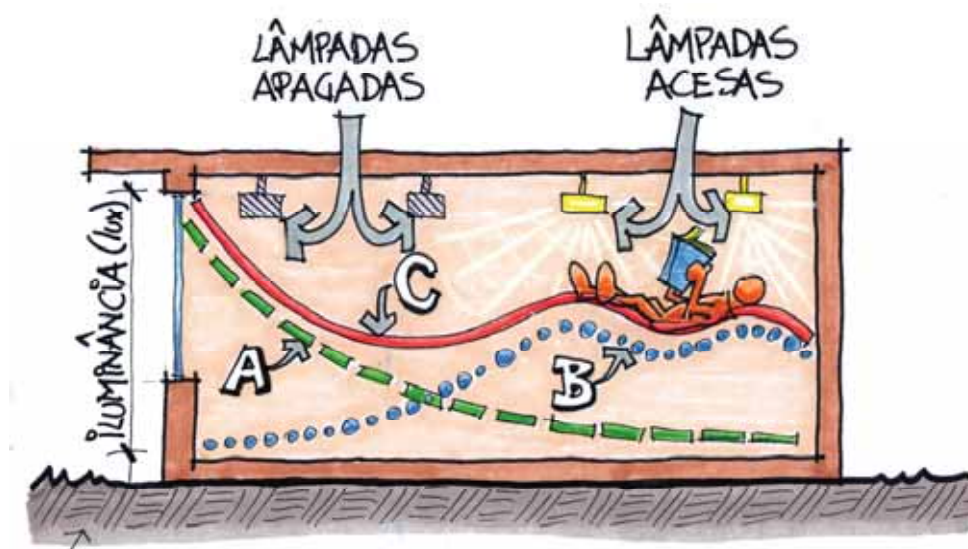


Figura 5-14: Integração entre luz natural e artificial

A = iluminação natural

B = iluminação artificial

C = combinação dos dois sistemas (distribuição dos níveis de iluminação muito mais uniforme)

5.6 Programas de Análise de Iluminação

Alguns programas computacionais facilitam o trabalho do projetista de iluminação, pois simulam as condições de iluminação natural e artificial em um ambiente durante o projeto arquitetônico. A seguir alguns dos principais programas de simulação de iluminação disponíveis atualmente.

5.6.1 Radiance e Desktop Radiance

O Radiance (2012) simula a iluminação em ambientes usando o método conhecido como *ray-tracing*. Este método traça todos os raios de luz e constrói a luminosidade nas superfícies até certo limite de reflexões pré-estabelecido. No final, pode-se visualizar uma imagem do ambiente como se fosse uma fotografia em três dimensões e ainda sobrepor a esta imagem as **ISOLINHAS** de contribuição de iluminação natural, de iluminância ou mesmo de luminâncias das paredes (Figura 5-15).

Analizando esta imagem, o arquiteto pode alterar seu projeto de forma a resolver problemas de iluminação, como ofuscamento, contrastes em demasia ou níveis de iluminação insuficientes para a tarefa visual a ser desempenhada. Além disso, podem-se utilizar estes estudos para criar certos efeitos de iluminação desejados, como salientar certas partes do ambiente ou criar iluminação cênica.

Observa-se na Figura 5-15 a escala de iluminância na parte esquerda da tela (1). As cores dessa escala indicam as **ISOLINHAS DE ILUMINÂNCIA** (2). A figura também mostra que existe penetração solar no ambiente e que isso pode gerar ofuscamento se não adequadamente tratado (3). Percebe-se a influência das prateleiras de luz instaladas nas janelas na iluminação natural do ambiente, refletindo a luz solar para o interior no teto da edificação, aumentando a iluminância nessa área para valores de até 500 lux (4).

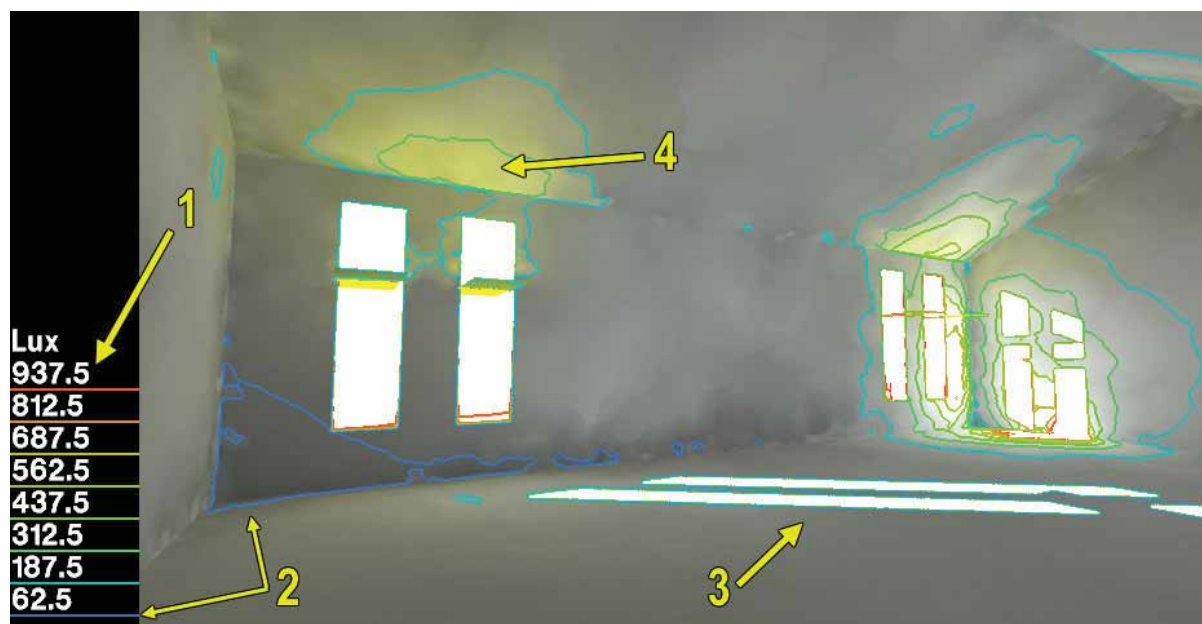


Figura 5-15: Imagem gerada com o radiance

Observa-se na Figura 5-15 a escala de iluminância na parte esquerda da tela (1). As cores dessa escala indicam as **ISOLINHAS DE ILUMINÂNCIA** (2). A figura também mostra que existe penetração solar no ambiente e que isso pode gerar ofuscamento se não adequadamente tratado (3). Percebe-se a influência das prateleiras de luz instaladas nas janelas na iluminação natural do ambiente, refletindo a luz solar para o interior no teto da edificação, aumentando a iluminância nessa área para valores de até 500 lux (4).

O Radiance é um programa gratuito, mas tem uma interface não muito amigável baseada no sistema operacional MS-DOS. Atualmente existem versões para Windows de interfaces para o Radiance, como o Desktop Radiance (2012).

5.6.2 Ecotect Analysis 2011

O programa Ecotect Analysis 2011 (2012) simula a iluminação natural em ambientes através do cálculo do *Daylight Factor* (Fator de Luz Diurna - FLD, um conceito semelhante ao da contribuição de iluminação natural, ver item 5.2). Esta análise, embora não considere conceitos como o ofuscamento e a luminância das superfícies, é útil ao arquiteto no início do projeto, pois identifica possíveis problemas como iluminâncias exageradas ou mesmo insuficientes em um ambiente específico, bem como a má distribuição de iluminâncias. Alterando-se o modelo (novo posicionamento, geometria e orientação de janelas, cores internas diferentes, instalação de sistemas de iluminação zenital), é possível identificar rapidamente soluções de iluminação mais adequadas e eficientes.

O Ecotect Analysis cria uma grelha de análise no ambiente desejado e mostra os valores de iluminância ou de FLD em todos os pontos a uma determinada altura do piso. Também é possível considerar as análises num plano a um determinado afastamento de uma das paredes, caso se deseje analisar ambientes com a função de leitura de cartazes, expositores em museus e galerias de arte ou mesmo quadro negro em salas de aula (Figura 5-16).

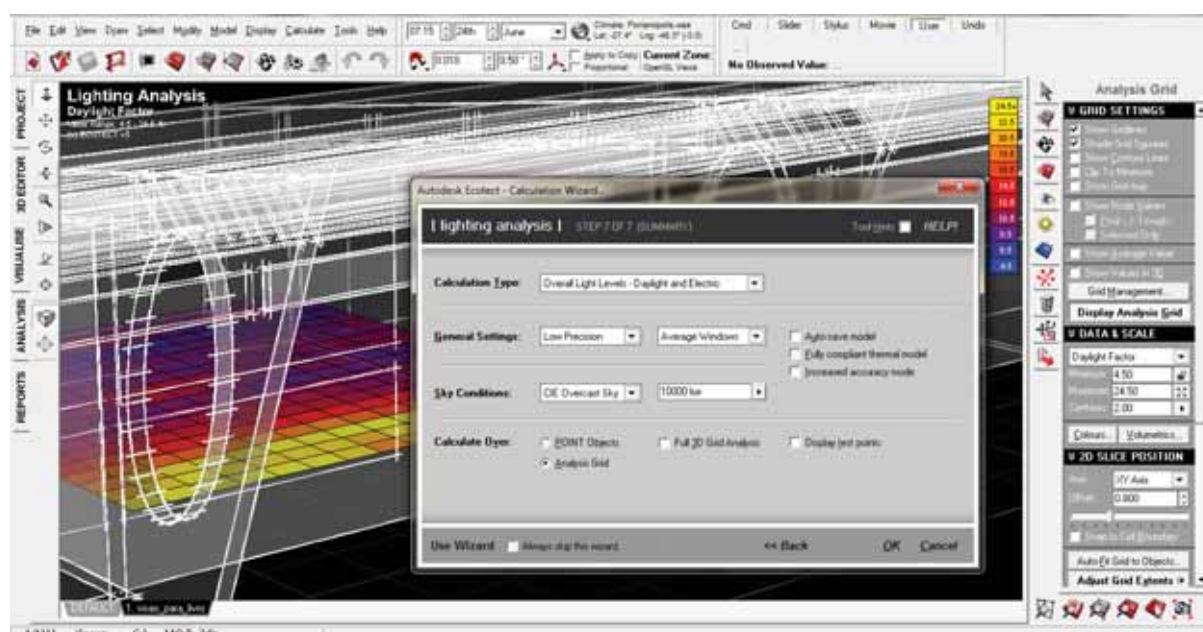


Figura 5-16: Simulação de iluminação natural com o programa Ecotect Analysis 2011

Uma grande vantagem do Ecotect Analysis é sua habilidade em exportar modelos desenvolvidos no programa para o Radiance através do Radiance Control Panel (Figura 5-17). Assim, quando o projeto estiver mais desenvolvido, pode ser simulado com maior precisão.

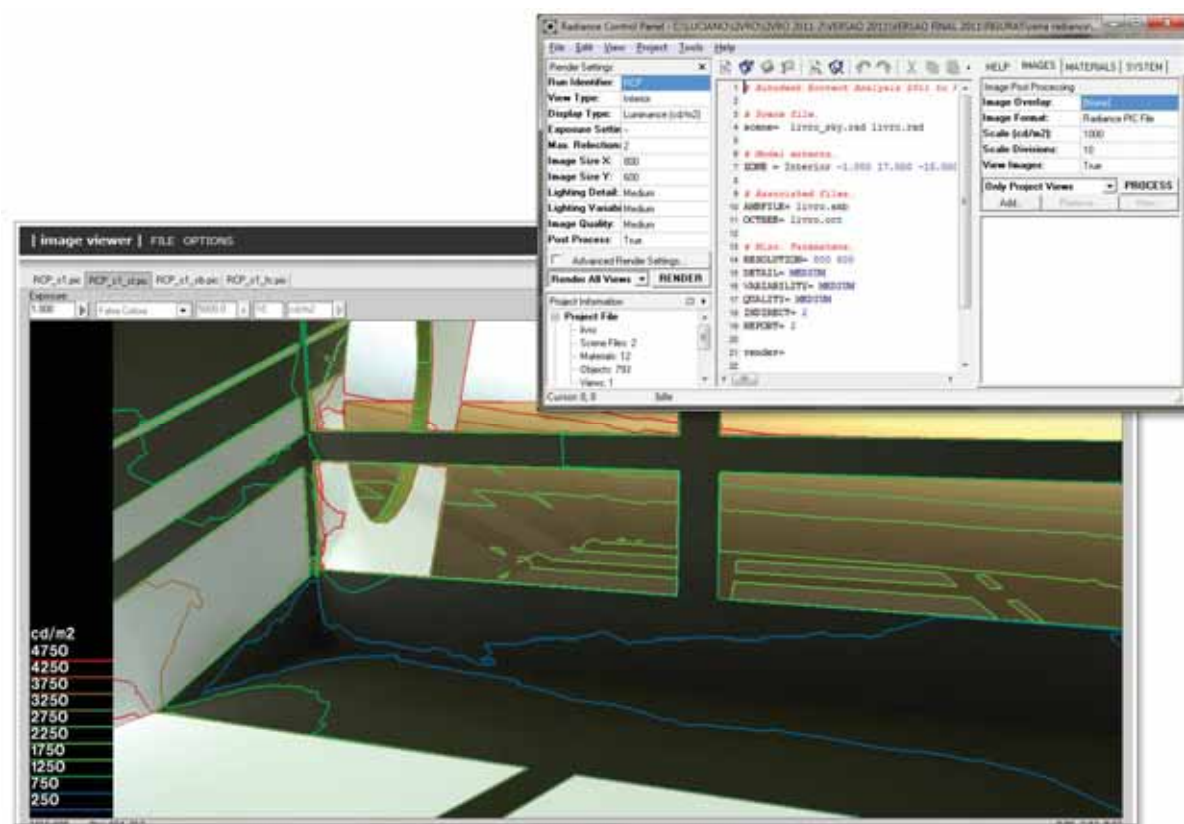


Figura 5-17: Radiance Control Panel e simulação no Radiance através do Ecotect Analysis 2011

5.6.3 Apolux

O Apolux (Figura 5-18) é um programa de análise de iluminação natural em arquitetura desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina pelo professor Anderson Claro (APOLUX 2012).

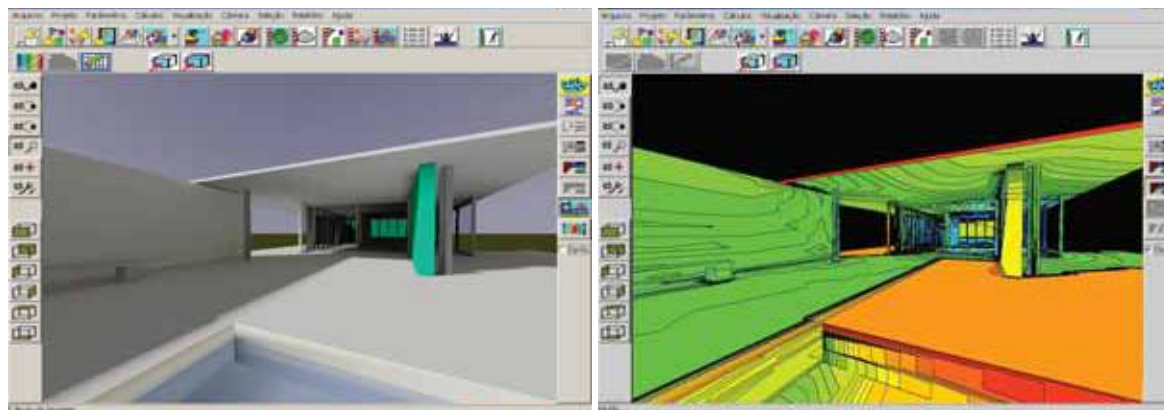


Figura 5-18: Imagens do programa Apolux

O Apolux permite a visualização semi-realista de ambientes e inclui ferramentas analíticas como gráficos de cores que representam iluminâncias ou luminâncias (conforme desejado) nas superfícies do ambiente (CLARO e outros 2005).

5.6.4 TropLux

O TropLux (2012, Figura 5-19) foi desenvolvido pelo professor Ricardo Cabús, da Universidade Federal de Alagoas, e sua principal vantagem em relação aos outros programas similares é a adequação à realidade dos trópicos. Pode simular qualquer tipo de céu com distribuição de luminâncias baseada em padrões da CIE ou em medições de estações IDMP (*International daylight measurement program*). A metodologia do TropLux também se baseia em raio traçado (*ray tracing*), Método Monte Carlo e coeficientes de luz natural (*daylight coefficients*). A validação do programa concedeu-lhe o 'carimbo' do BRE.

Algumas fontes de pesquisa sugeridas são Cabús 2005a e 2005b.

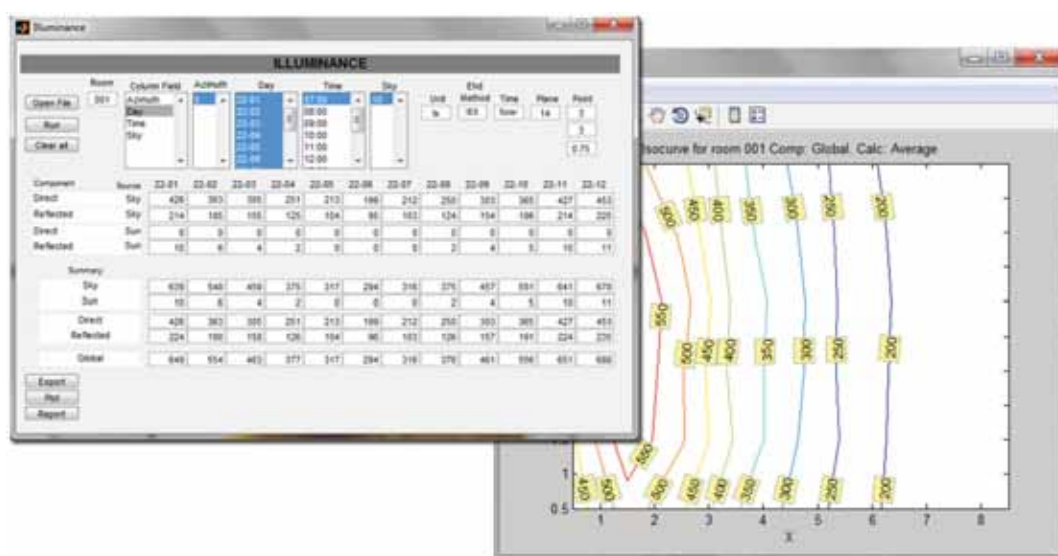


Figura 5-19: Imagens do programa TropLux

O manual do programa pode ser obtido em www.grilu.ufal.br/troplux.

5.6.5 Lux

O Lux (Figura 5-20) é um programa brasileiro bastante simples e fácil de usar desenvolvido pela professora Dra. Márcia Peinado Alucci do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da FAU-USP (LABAUT). Numa planilha do Excel, o Lux calcula a distribuição do Fator de Luz Diurna (FLD) num ambiente interno e estima o consumo de energia elétrica para complemento da luz natural. O programa é gratuito e pode ser obtido em http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html e (Lux 2012).

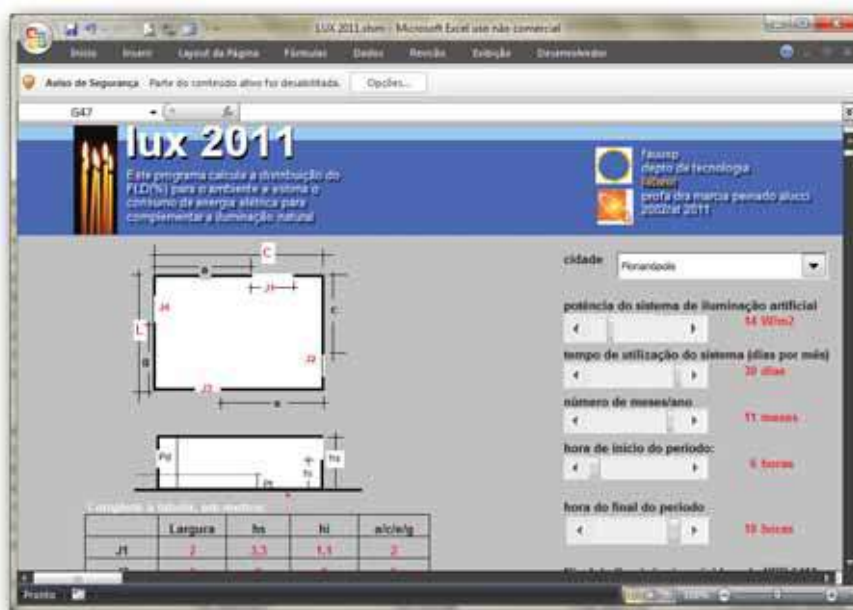


Figura 5-20: Tela do programa LUX, do Labaut/FAU-USP

5.6.6 Relux

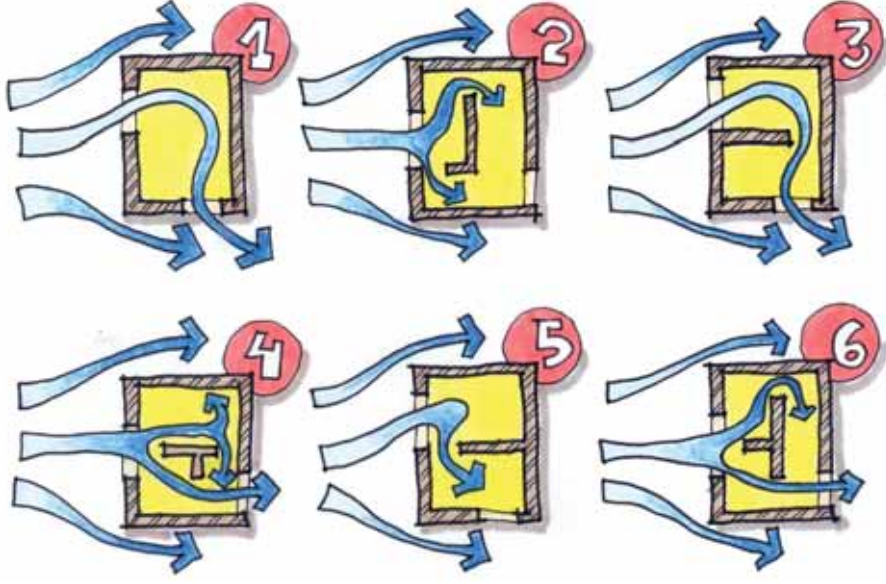
O Relux é um programa gratuito e disponível em português disponível em <http://www.relux.biz/>. O programa simula iluminação natural e artificial tanto para ambientes internos quanto externos e possui um banco de dados de luminárias de mais de setenta fabricantes, além de um grande número de itens de mobiliário, materiais e texturas. O Relux pode importar modelos em duas ou três dimensões nos formatos DXF, VRML, 3DS e WMF (Relux 2012).

5.6.7 DIALux

O DIALux pode modelar o ambiente luminoso a ser analisado ou importar e exportar arquivos para qualquer programa CAD em formatos como DWG e DXF, além de oferecer visualização fotorrealística das simulações. O programa é disponível em 25 línguas e pode calcular iluminação interior e exterior, tanto artificial quanto natural, incluindo cálculo de iluminação pública e de emergência. Inclui a possibilidade de criar animações, é considerado bastante fácil para aprender, oferecendo tutoriais que perguntam pelos parâmetros necessários e guiam o usuário pelo processo de projeto luminotécnico. O programa DIALux é gratuito pode ser obtido em <http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download.html> (DIALux 2012).

REFERÊNCIAS

- ABNT (2005). *NBR15215-3 - iluminação Natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos*.
- ABNT (2005b). *NBR15215-1 - iluminação Natural - Parte 1: Conceitos básicos e definições*.
- APOLUX V 23_JAN_2010 (2012). Programa para cálculo de iluminação natural a partir da utilização de dois módulos, Fractal e FOTON, apresentando imagens semi-realistas, gráficos de iluminância e de luminância, além de planilhas numéricas com vários dados para pós-processamento. Disponível em: <http://www.labcon.ufsc.br/foton/>, acesso em Janeiro de 2012.
- BROWN, G. Z.; DeKay, M.; (2004). *Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura*. 2a Edição, Bookman, Porto Alegre.
- CABÚS, R. (2005a). *Troplux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações*. in: **ENCAC-ELALAC 2005**, Maceió, pp240-249.
- CABÚS, R. (2005b). *Validação do programa Troplux*. in: **ENCAC-ELALAC 2005**, Maceió, pp250-259.
- CLARO, A. ; PEREIRA, F.O.R. ; LEDO, Rafael Z.; (2005). *APOLUX - An Innovative Computer Code for Daylight Design and Analysis in Architecture and Urbanism*. In: 9th International IBPSA Conference, 2005, Montreal. Proceedings of Building Simulation 2005. Montreal : IBPSA, 2005. v. único. p. 199-206.
- DIALUX (2012). Programa de simulação de iluminação natural e artificial, com renderização fotorrealista. DIAL GMBH, Germany. Disponível em: <http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download.html>, acesso em outubro/2012.
- ECOTECH - AUTODESK ECOTECH ANALYSIS 2011. Programa de simulação térmica, de iluminação, acústica e de geometria solar. Autodesk. Disponível em: <http://usa.autodesk.com/ecotech-analysis/>. Acesso em outubro/2012.
- LECHNER, N.; (2001). *Heating, cooling, lighting: design methods for architects*. 2nd ed., John Wiley & Sons, USA.
- LUX (2012). Programa de cálculo da distribuição do Fator de Luz Diurna num ambiente interno do consumo de energia elétrica para complemento da luz natural. Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da FAU-USP (LABAUT). Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/conforto/index.html>, acesso em Janeiro de 2012.
- RADIANCE (2012). Programa de simulação de iluminação natural e artificial, com renderização fotorrealista. Disponível em: <http://radsite.lbl.gov/radiance/HOME.html>, acesso em outubro/2012.
- DESKTOP RADIANCE (2012). Interface para o programa Radiance para usuários do sistema operacional Windows. Disponível em: <http://radsite.lbl.gov/deskRAD/drADHOME.html>, acesso em Janeiro de 2012.
- RELUX (2012). Programa de simulação de iluminação natural e artificial, com renderização fotorrealista. Relux Light simulation Tools, Switzerland. Disponível em: <http://www.relux.biz/>, acesso em outubro/2012.
- TROPLUX (2012). Programa para avaliação da iluminação natural em ambiente construído, adequado à realidade dos trópicos. Disponível em: http://www.ctec.ufal.br/grupopesquisa/grilu/index_arquivos/Page377.htm, acesso em Janeiro de 2012.



VENTILACAO NATURAL

sumário

6	VENTILAÇÃO NATURAL	173
6.1	A rosa-dos-ventos	174
6.2	Correção da velocidade do vento	175
6.3	Coeficiente de pressão do vento (ΔC_{PL})	176
6.4	Área útil de ventilação	176
6.5	Fluxo de ar	177
6.6	Redução do fluxo de ar	178
6.7	Número de Trocas de Ar (N)	179
6.8	Influência da implantação e da orientação na ventilação natural	181
6.9	Barreiras de Vento	183
6.10	Ventilação Cruzada	185
6.11	Captadores de vento, peitoris ventilados, mansardas, lanternins e torres de ventilação	186
6.12	Elementos direcionadores e filtrantes da ventilação natural	187
6.13	Ventilação noturna	190
6.14	Ventilação em fachada dupla e periférica	190
6.15	Túneis de Vento e Mesa d'Água	191
6.16	Túnel de Vento com Serragem	191
6.17	Túnel de Vento com Fumaça	191
6.18	Mesa d'Água	191
	REFERÊNCIAS	191

CAPÍTULO 6:

6 VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural é, após o sombreamento, a estratégia bioclimática mais importante para o Brasil. Conforme se pode ver na Tabela 6-1, a grande maioria das capitais brasileiras exige a ventilação natural como principal estratégia no verão e mesmo ao longo do ano todo. Na tabela foram salientadas as cidades cujo percentual de desejabilidade desta estratégia ultrapassa os 50%. As cidades com fundo azul têm necessidade de ventilação natural em mais de 50% das horas do ano todo (em mais de 4.380 horas) e as cidades com fundo amarelo têm grande necessidade de ventilação apenas no verão, porém em mais de 50% das horas do período (em mais de 1095 horas). Os dados foram gerados a partir do programa Analysis-BIO para as cidades brasileiras que possuem dados climáticos horários no formato TRY.

Tabela 6-1: Percentual de necessidade de ventilação natural em algumas cidades brasileiras

cidade	necessidade de ventilação natural (% das horas do ANO)	necessidade de ventilação natural (% das horas de VERÃO)
Belém	88,8	93,1
Brasília	17,3	36,3
Curitiba	6,84	19,9
Florianópolis	36,4	77,1
Fortaleza	85,8	92,3
São Luís	86,7	86,5
Maceió	76,4	84,9
Natal	84,2	88,7
Porto Alegre	23,3	59,0
Recife	67,8	76,2
Rio de Janeiro	60,9	78,0
Salvador	57,9	80,6
São Paulo	14,3	45,2
Vitória	60,9	87,4

-  = cidades com grande necessidade de ventilação no ANO TODO
-  = cidades com grande necessidade de ventilação no VERÃO

Lembrando o que se viu no item 3.5.2, do terceiro capítulo deste livro, a ventilação natural é eficaz entre temperaturas de 20°C a 32°C, pois a partir daí os ganhos térmicos

por convecção funcionariam mais como aquecimento do ambiente que como resfriamento. É importante ressaltar que em temperaturas entre 27°C e 32°C a ventilação só é eficiente se a umidade relativa do ar tiver valores entre 15% e 75%.

O vento, tal como o sol, também pode ser desejável no verão e indesejável no inverno. Nesses dois períodos o vento pode ser diferente dependendo de cada local. Fatores como topografia, vegetação e as edificações alteram a direção e intensidade do vento.

O vento local pode ser medido com instrumentos e também pode ter dados obtidos através de arquivos climáticos e de diagramas como as rosas-dos-ventos.

6.1 A rosa-dos-ventos

A rosa-dos-ventos pode ser bastante útil ao arquiteto, pois representa o tratamento estatístico dos dados de vento de uma determinada região. Apesar de poder ser desenhada de várias formas, geralmente indica a direção, velocidades e frequência de ocorrência dos ventos predominantes numa região ao longo de todo o ano. Assim, pode-se saber qual vento predomina no verão e qual no inverno e tomar decisões de projeto para aproveitar o primeiro e evitar o segundo.

A Figura 6-1 mostra a rosa-dos-ventos para a cidade de Florianópolis e a Tabela 6-2 mostra a frequência de ocorrência de calmarias por estação, ambas geradas a partir do programa *Analysis SOL-AR*. O diagrama da esquerda mostra a rosa-dos-ventos com as velocidades predominantes por direção. Percebe-se que os ventos mais intensos vêm da orientação nordeste, com médias que chegam a 6 m/s durante todo o ano. O diagrama da direita apresenta a frequência de ocorrência dos ventos em Florianópolis. A figura mostra que o vento mais frequente é o norte durante o inverno, atingindo 33,5% dos horários em que há vento. O vento norte acontece também em 18,6% das horas da primavera, em 17,2% das horas do outono e em 13,7% das horas do verão. O segundo vento mais frequente é o nordeste, que ocorre em 21,4% das horas do verão, em 16,8% das horas da primavera, em 13,4% das horas do outono e em 13% das horas do inverno. Nota-se, também, no mesmo diagrama, que as duas fachadas com mais ventos no verão são a nordeste e a norte e as duas fachadas menos expostas a ventos no inverno são a oeste e a leste. A Tabela 6-2 mostra que os períodos do dia mais ventosos são as tardes e que as calmarias acontecem normalmente nas madrugadas, em todas as estações do ano.

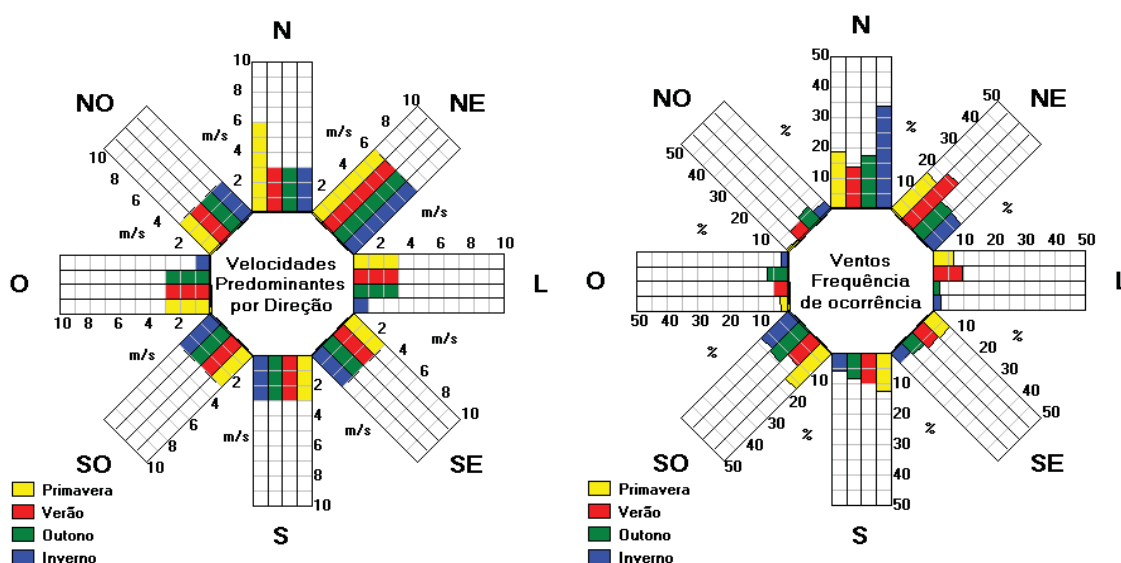


Figura 6-1: Rosa-dos-ventos e valores de calmarias segundo programa *Analysis SOL-AR*

Tabela 6-2: Ventos ausentes por estação [%]

	PRIMAVERA	VERÃO	OUTONO	INVERNO
Madrugada	28,7	28,8	38,7	33,3
Manhã	18,9	19,3	31,2	24,6
Tarde	5,7	4,7	6,3	8,6
Noite	18,0	21,2	30,1	26,0

É importante ressaltar que os dados de vento são normalmente coletados em estações meteorológicas em locais mais abertos, como aeroportos e áreas suburbanas, longe da rugosidade da cidade. Deve-se, portanto, corrigir os valores indicados nas rosas-dos-ventos através de um método bastante simples.

6.2 Correção da velocidade do vento

A medição nas estações meteorológicas acontece numa altura de 10 metros do solo, e esse valor deve ser corrigido conforme a altura das aberturas da edificação.

Segundo Bittencourt e Cândido (2005), a equação que corrige a velocidade do vento nas aberturas é a seguinte (Equação 6-1):

Equação 6-1: Correção da velocidade do vento

$$\frac{V}{V_m} = k \times z^a$$

onde:

- V = velocidade média do vento na altura da abertura de entrada do ar (m/s);
- V_m = velocidade média do vento na estação meteorológica medida a uma altura padrão de 10m (m/s);
- k, a = coeficientes de acordo com a rugosidade do terreno (Tabela 6-3);
- z = altura da abertura em edifícios ou da cumeeira em casas até dois andares (m).

O valor de V/V_m é o fator de multiplicação que deve ser utilizado para se achar a velocidade do vento em uma abertura a partir da velocidade medida na estação meteorológica.

Os coeficientes k e a podem ser obtidos diretamente da Tabela 6-3.

Tabela 6-3: Coeficientes k e a para cálculo de ventilação natural

Localização da Edificação	k	a
campo aberto plano	0,68	0,17
campo com algumas barreiras	0,52	0,20
ambiente urbano	0,35	0,25
centro da cidade	0,21	0,33

6.3 Coeficiente de pressão do vento (ΔC_{PL})

Após a velocidade do vento ter sido corrigida em função do tipo de terreno onde se está e da altura da janela sob análise, deve-se também quantificar as reduções provocadas pelo afastamento entre edificações e pelo ângulo de incidência do vento nas aberturas. Para isso se utiliza o coeficiente de pressão do vento (ΔC_{PL}), conforme a Figura 6-2.

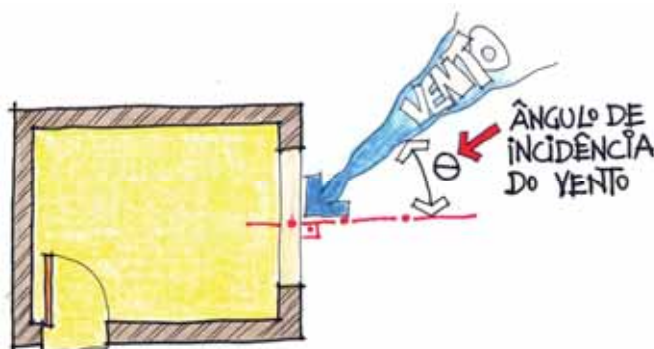


Figura 6-2: ângulo de incidência do vento na abertura

A Tabela 6-4 apresenta a diferença entre os ΔC_{PL} em casas localizadas em campo aberto.

Tabela 6-4: Diferença entre os coeficientes de pressão do vento em casas em campo aberto.

Ângulo de Incidência (θ)	Diferença entre os coeficientes de pressão do vento (ΔC_{PL})
$0 \leq \theta \leq 30^\circ$	1,2
$30^\circ < \theta \leq 90^\circ$	$0,1 + 0,0183 \cdot (90 - \theta)$

A Tabela 6-5 mostra a correção que deve ser feita no ΔC_{PL} para casas de loteamentos em função do afastamento entre elas.

Tabela 6-5: Coeficiente de pressão do vento para loteamentos.

Distância entre casas	Coeficientes de pressão do vento (ΔC_p)
uma casa	$0,3 \cdot \Delta C_{PL}$
duas casas	$0,6 \cdot \Delta C_{PL}$

6.4 Área útil de ventilação

Uma variável que também deve ser considerada é a área útil de ventilação, que representa a área efetiva de ventilação quando a janela está totalmente aberta. Essa área é diferente para cada tipo de abertura. Uma janela do tipo guilhotina tem 50% de área útil de ventilação, pois quando está totalmente aberta, somente metade de sua área é livre para ventilar o ambiente. A Figura 6-3 mostra os valores de área útil de ventilação para diversos tipos de janelas. As janelas do tipo guilhotina, correr e abrir têm indicadas suas respectivas áreas úteis de ventilação máximas, considerando abertura total. As janelas do tipo basculante e maxim-ar têm indicadas as áreas úteis de ventilação em função de alguns ângulos comuns de abertura (30° , 45° , 60° e 90°).

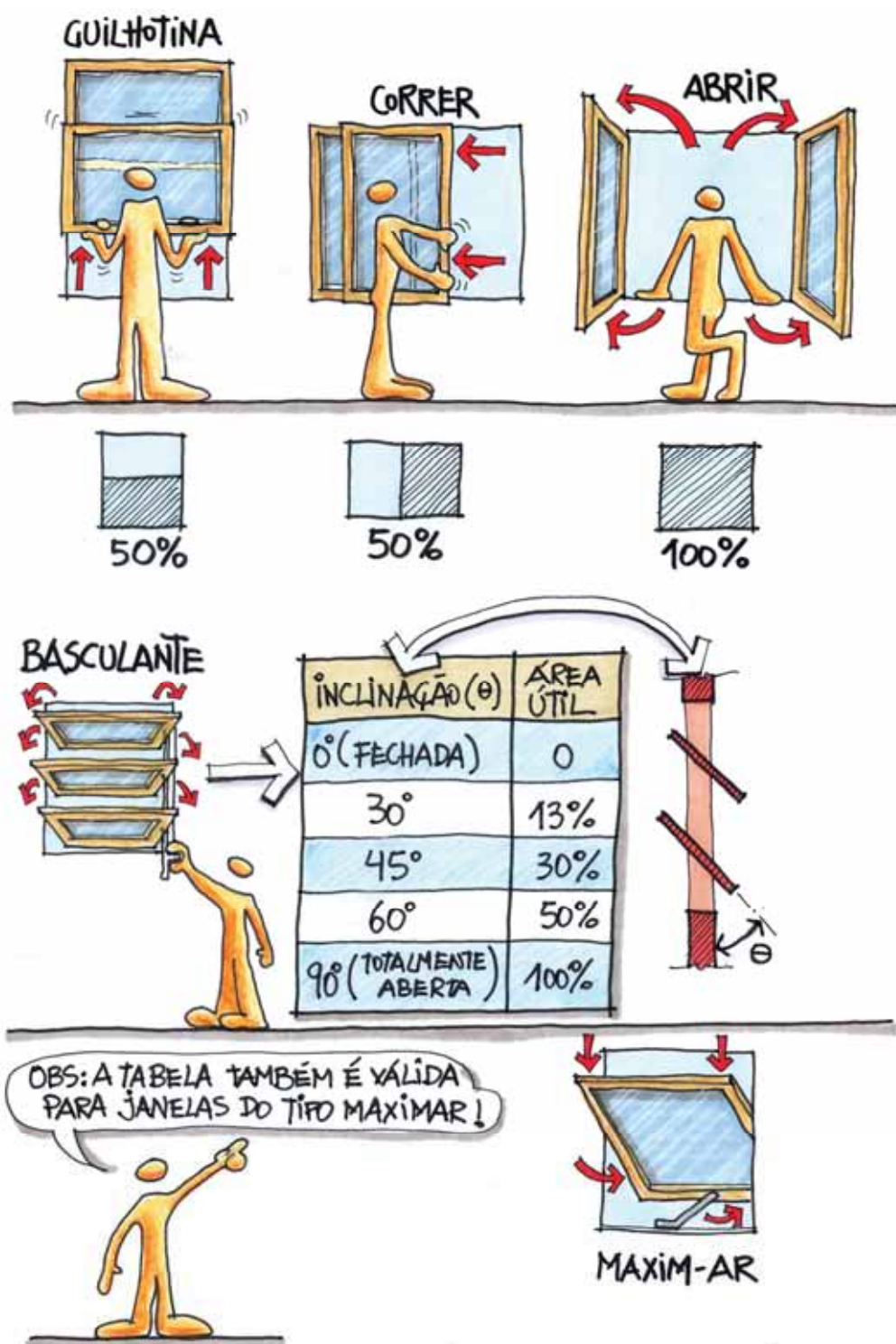


Figura 6-3: Área útil de ventilação para diversos tipos de janelas

6.5 Fluxo de ar

O fluxo de ar que atravessa um ambiente é determinado de forma diferente quando a ventilação é cruzada ou unilateral. Com ventilação cruzada, o fluxo de ar é dado pela Equação 6-2:

Equação 6-2: Fluxo de ar que atravessa um ambiente

$$Q = 0,6 \cdot A_J \cdot V \cdot \sqrt{\Delta C_P}$$

onde:

- Q = fluxo de ar com ventilação cruzada em m^3/s ;
- A_J = área equivalente da abertura (m^2);
- V = velocidade média do vento na altura da abertura de entrada do ar (m/s);
- ΔC_{PL} = coeficiente de pressão do vento.

A área equivalente da abertura pode ser calculada pela Equação 6-3:

Equação 6-3: Área equivalente da abertura

$$\frac{1}{A_J^2} = \frac{1}{(\sum A_{\text{ENTRADA}})^2} + \frac{1}{(\sum A_{\text{SAÍDA}})^2}$$

onde:

- A_{ENTRADA} = área de entrada do fluxo de ar (m^2);
- $A_{\text{SAÍDA}}$ = área de saída do fluxo de ar (m^2)

Caso haja portas intermediárias entre a saída e entrada de ar (em série), deve-se acrescentar a parcela abaixo na equação:

$$\dots + \frac{1}{(\sum A_{\text{PORTA}})^2}$$

Se a ventilação do ambiente for unilateral, o fluxo de ar pode ser calculado pela Equação 6-4:

Equação 6-4: Fluxo de ar que atravessa um ambiente para ventilação unilateral

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

onde:

- Q = fluxo de ar com ventilação unilateral em m^3/s ;
- A = área efetiva da janela (m^2), reduzir se for veneziana ou tela;
- V = velocidade média do vento na altura da abertura de entrada do ar (m/s).

6.6 Redução do fluxo de ar

O fluxo de ar que atravessa uma abertura pode sofrer reduções se alguma barreira for interposta a ele como, por exemplo, telas contra mosquitos. A Tabela 6-6 indica o valor do fluxo de ar reduzido (Q_M) se for utilizada tela contra mosquito na abertura.

Tabela 6-6: redução do fluxo de ar para telas contra mosquitos

Tipo de Tela	ventilação cruzada	ventilação unilateral
algodão	$Q_M = 0,30 Q$	$Q_M = 0,30 Q$
nylon	$Q_M = 0,65 Q$	$Q_M = 0,65 Q$

6.7 Número de Trocas de Ar (N)

Para garantir a qualidade do ar de um ambiente, define-se um número mínimo de trocas de ar por hora, calculado segundo a Equação 6-5:

Equação 6-5: Número mínimo de trocas de ar por hora

$$n = \frac{Q \cdot 3600}{v}$$

onde:

- n = número de trocas de ar em trocas por hora;
- v = é o volume do ambiente ventilado (m^3);
- Q = é o fluxo de ar (m^3/s).

Rivero (1985) sugeriu a ventilação mínima necessária em ambientes conforme o número de pessoas (Tabela 6-7). Para comparar os valores dados pela equação (em metros cúbicos por segundo) com os da tabela de Rivero (em metros cúbicos por hora), deve-se:

- multiplicar o valor achado pela equação por 3.600;
- dividir o valor achado pelo nº de pessoas que ocupa o ambiente.

Tabela 6-7: Ventilação mínima necessária em ambientes (RIVERO 1985)

espaço disponível por pessoa (m^3)	ar fresco requerido por pessoa (m^3/h)		
	mínimo	valores recomendáveis	
		sem fumar	fumando
3	40,7	61,2	81,4
6	25,6	38,5	51,1
9	18,7	28,1	37,4
12	14,4	21,6	28,8

Como exemplo de aplicação, pode-se determinar o número de trocas de ar em um ambiente com as seguintes características:

- dimensões de 4,00 x 5,00 m;
- pé-direito de 2,50 m;
- uma janelas de correr (50% de aproveitamento para ventilação) na fachada norte com dimensões de 1,20 x 2,00 m;
- uma janela de correr na fachada sul com dimensões de 1,00 x 1,00 m;
- telas de nylon contra mosquitos instaladas em ambas as janelas;
- velocidade do vento incidente normal à fachada norte de 3,0 m/s a 10 m de altura;
- altura até a cumeeira é de 3,5 m;
- ambiente localizado em um loteamento (ambiente urbano) cuja distância entre as casas é igual à largura de uma casa.

Primeiramente deve-se determinar o coeficiente de pressão do vento com auxílio da Tabela 6-4. Como o vento incide normal à fachada, o coeficiente ΔC_{PL} tem valor de 1,2. Segundo a Tabela 6-5, este valor deve ser corrigido para $0,3 \cdot \Delta C_{PL}$ em loteamentos quando a distância entre casas é de uma casa. Então:

$$\Delta C_P = 0,3 \cdot \Delta C_{PL} = 0,3 \cdot 1,2 \quad \therefore \quad \Delta C_P = 0,36$$

A velocidade do vento deve ser corrigida pela Equação 6-1, então:

$$\frac{V}{V_m} = k \times z^a \quad \therefore \quad V = V_m \times k \times z^a$$

Para ambiente urbano, os coeficientes “k” e “a” têm, respectivamente, valores de 0,40 e 0,25 (Tabela 6-3). A velocidade do vento na altura da cumeeira será então:

$$V_{\text{cumeeira}} = V_m \times k \times z^a = 3,0 \times 0,4 \times 3,5^{0,25} = 1,64 \text{ m/s}$$

A área útil de ventilação deve ser calculada considerando a orientação do vento incidente. No exemplo, a janela de entrada da ventilação é a norte e a janela de saída é a sul. Como ambas as janelas são de correr e têm área útil de ventilação de 50% segundo a Figura 6-3, portanto:

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

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

Para calcular o fluxo de ar que atravessa o ambiente, é necessário antes calcular a área equivalente da abertura pela Equação 6-3:

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

Quando as duas janelas estão abertas, o fluxo de ar que atravessa o ambiente, calculado pela Equação 6-2, é:

$$Q = 0,6 \cdot 0,46 \cdot 1,64 \cdot \sqrt{0,36} = 0,272 \text{ m}^3/\text{s}$$

E quando a janela para a orientação sul está fechada, o fluxo de ar para ventilação unilateral é dado pela Equação 6-4, considerando que a área útil da janela norte é de 1,20 m²:

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

Pela Tabela 6-6, calcula-se a redução do fluxo de ar devido ao uso de tela contra mosquitos para ventilação cruzada (duas janelas abertas):

$$Q_M = 0,65 \cdot Q = 0,65 \cdot 0,272 = 0,177 \text{ m}^3/\text{s}$$

E para ventilação unilateral calcula-se:

$$Q_M = 0,65 \cdot Q = 0,65 \cdot 0,049 = 0,032 \text{ m}^3/\text{s}$$

Finalmente, calcula-se o número de trocas de ar para ventilação cruzada pela Equação 6-5, considerando que o ambiente tem volume de 50 m³:

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

E para ventilação unilateral tem-se:

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

Se o ambiente analisado fosse um escritório com oito pessoas (espaço disponível por pessoa de 6 m³), a ventilação mínima necessária, segundo a Tabela 6-7, seria de 40,7 m³/h de ar fresco por pessoa, ou seja, 325,6 m³/h de ar fresco para o ambiente. Pela mesma tabela, o valor recomendado para ambientes sem fumantes seria de 61,2 m³/h de ar fresco por pessoa.

O fluxo “Q” achado no ambiente para ventilação cruzada (ambas as janelas abertas), comparado ao valor da Tabela 6-7, já considerando a redução proporcionada pelas telas contra mosquitos, seria:

$$Q = \frac{0,177 \times 3600}{8} = 79,65 \text{ m}^3/\text{h por pessoa}$$

E o fluxo para ventilação unilateral seria:

$$Q = \frac{0,032 \times 3600}{8} = 14,4 \text{ m}^3/\text{h por pessoa}$$

Como somente o fluxo para ventilação cruzada atende aos valores recomendados pela Tabela 6-7, conclui-se que o ambiente tem ventilação natural adequada desde que esta seja cruzada, ou seja, que se mantenham suas duas janelas abertas.

6.8 Influência da implantação e da orientação na ventilação natural

A ventilação natural em ambientes é indissociável da orientação e da implantação do edifício no terreno. O vento predominante do verão deve ser explorado para resfriar os ambientes quando necessário. Já o vento predominante do inverno deve ser evitado, pois neste período do ano se quer evitar as perdas de calor da edificação para o exterior. Elementos como a vegetação e superfícies edificadas influenciam no ângulo de incidência e na intensidade com a qual o vento atinge a edificação.

A Figura 6-4 ilustra o efeito da vegetação como barreira do vento indesejável, reduzindo as perdas de calor do ambiente por infiltração.

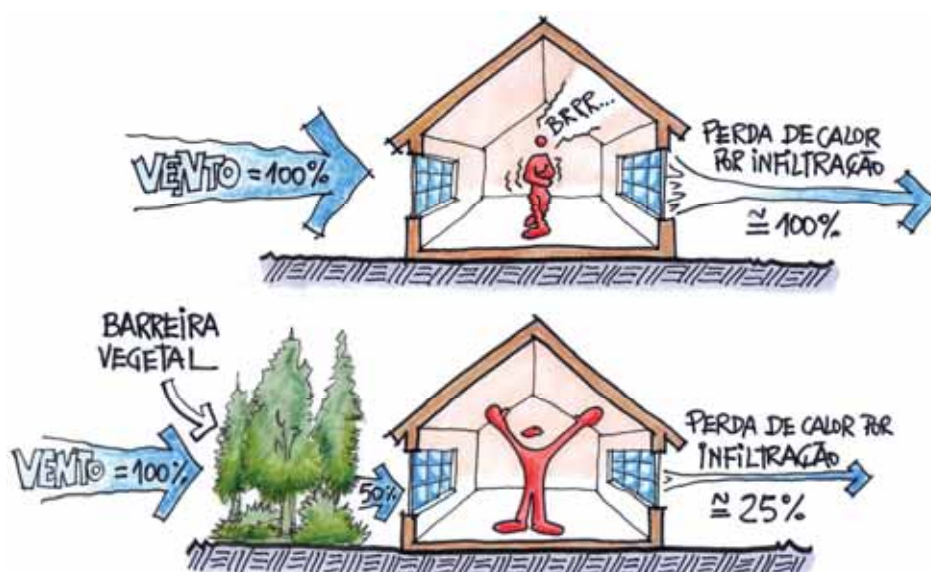


Figura 6-4: Redução das perdas de calor por infiltração com bloqueio do vento com vegetação

Nota-se que, com a redução da intensidade do vento incidente para 50%, reduzem-se as perdas de calor por infiltração de ar de 100% para apenas 25%. Isso indica que as perdas por infiltração são reduzidas numa proporção que equivale ao quadrado da redução da intensidade do vento incidente.

A Figura 6-5 mostra que árvores com copas altas são melhores para sombrear o sol indesejável no verão e para facilitar o acesso do vento à edificação.



Figura 6-5: Circulação do vento sob copas de árvores altas

A Figura 6-6 mostra o uso da vegetação como forma de direcionamento do vento para melhor ventilação natural de uma edificação.

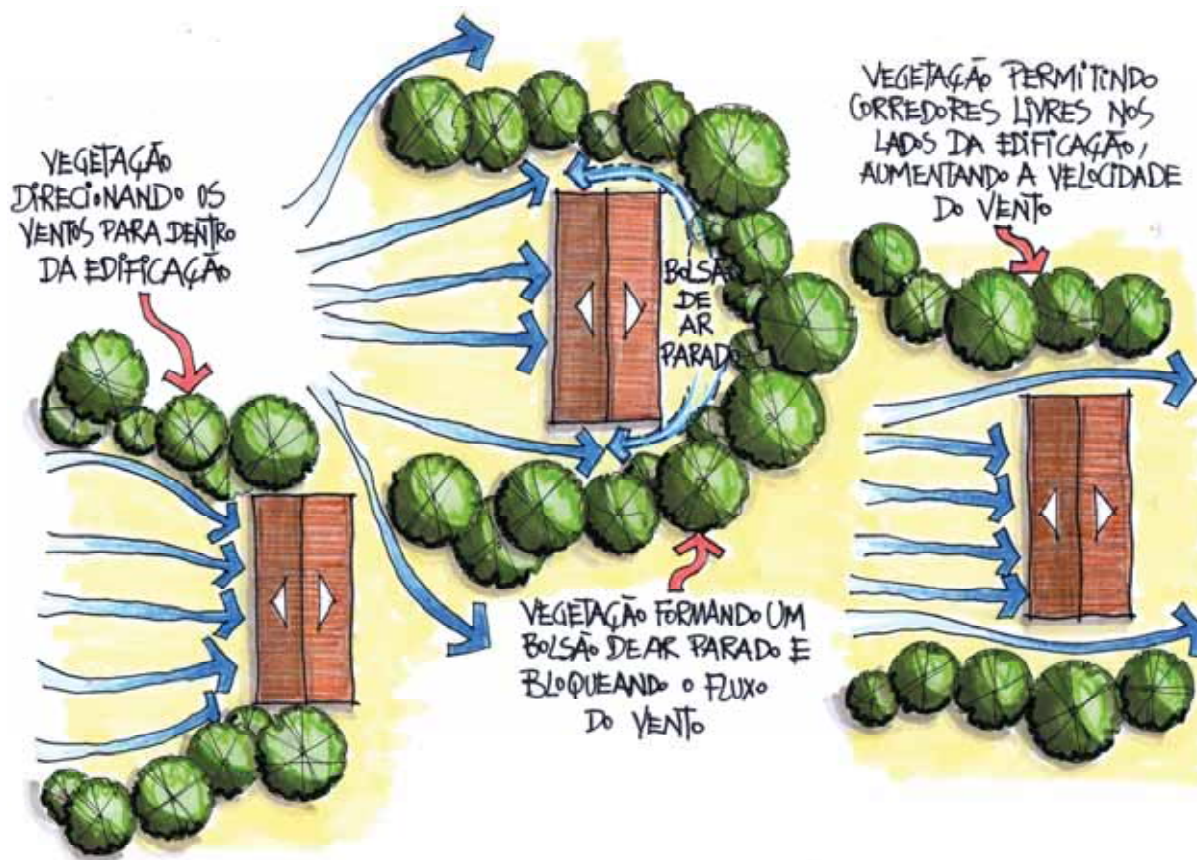


Figura 6-6: Influência da vegetação na ventilação natural

6.9 Barreiras de Vento

Vegetação ou superfícies edificadas podem servir de barreiras de vento. Quanto mais alta a barreira, maior a sombra de vento que ela produz, conforme ilustrado na Figura 6-7.

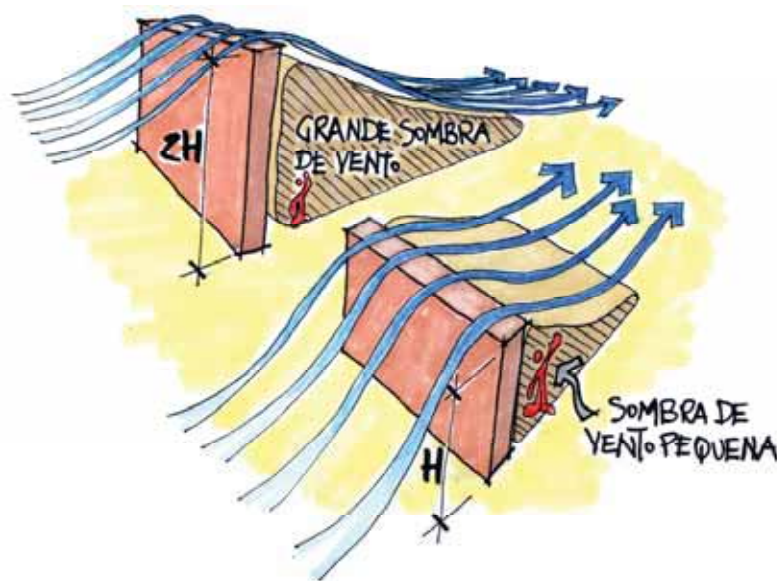


Figura 6-7: Sombra de vento em função da altura da barreira

De forma semelhante, quanto mais larga a barreira, mais extensa a sombra de vento produzida por ela (Figura 6-8).

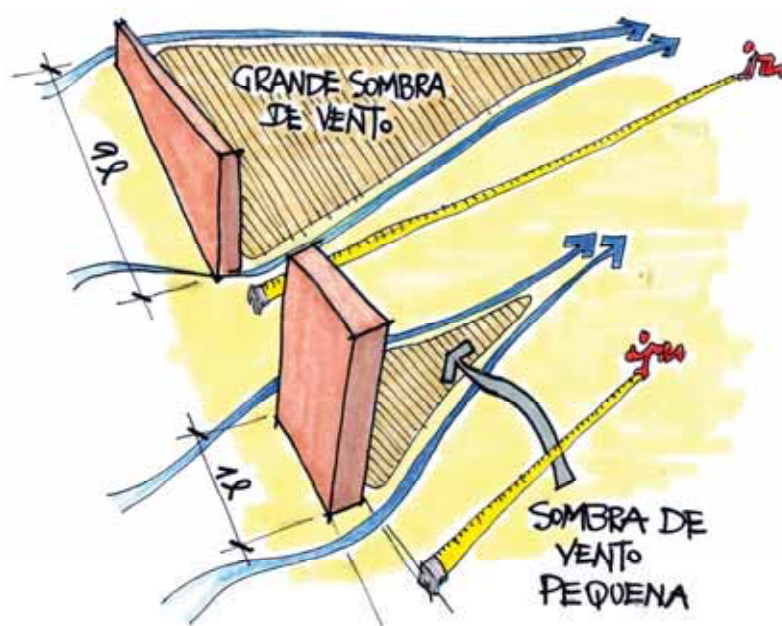


Figura 6-8: Sombra de vento em função da largura da barreira

O gráfico da Figura 6-9, adaptado de Lechner (2001, p302) representa a redução obtida na velocidade do vento incidente e também o aumento da sombra de vento proporcionado por barreiras mais densas, como edifícios, e mais porosas, como vegetação.

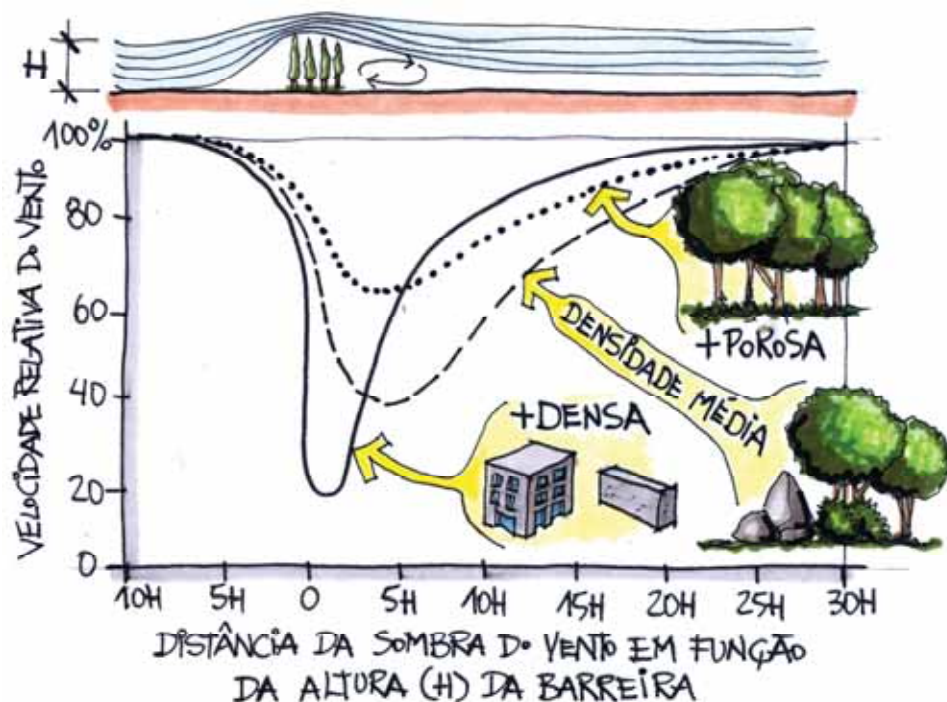


Figura 6-9: Sombra de vento em função do tipo de barreira e sua altura, adaptado de Lechner 2001

A Figura 6-10 mostra o fluxo de vento ao redor de edificações de diversas configurações volumétricas, segundo simulações feitas em túnel de vento (EVANS e SCHILLER 1988).

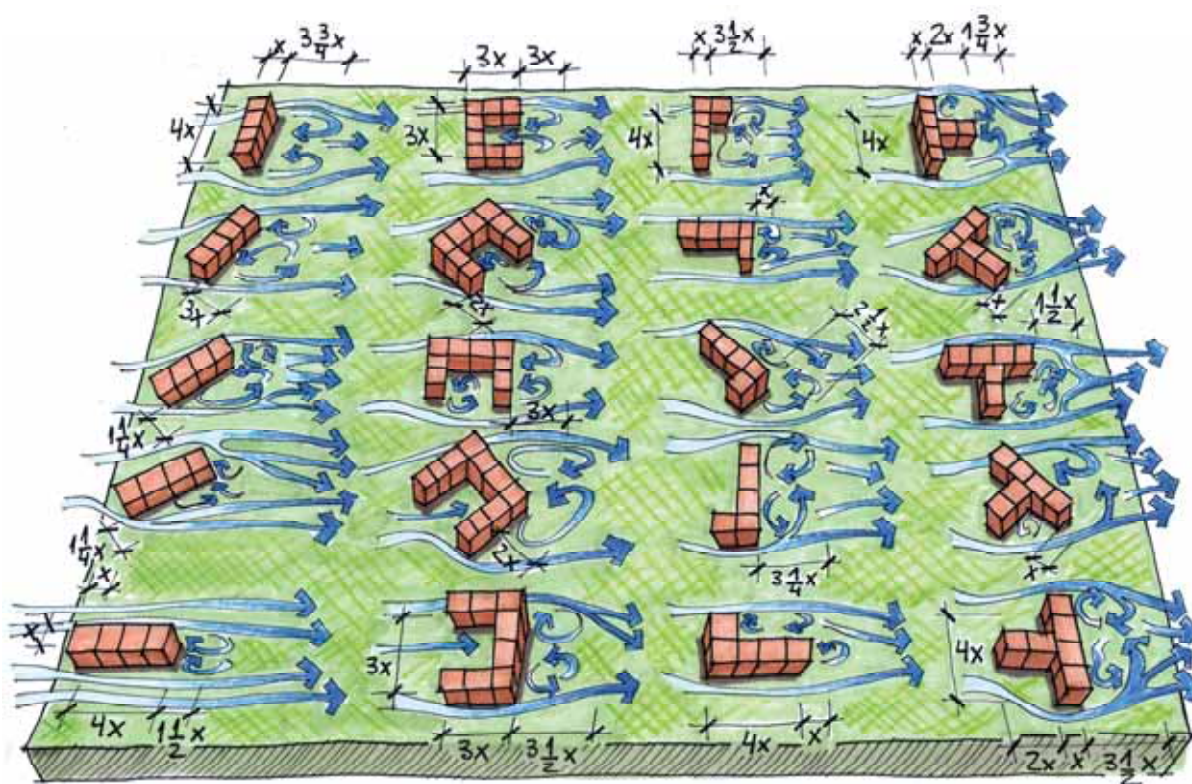


Figura 6-10: Fluxo de ventos ao redor das edificações

6.10 Ventilação Cruzada

A ventilação cruzada é uma das técnicas mais eficazes de ventilação num ambiente, pois exige, basicamente, duas aberturas em paredes diferentes e certo conhecimento da orientação dos ventos desejáveis nos períodos quentes. A Figura 6-11 ilustra diversas possibilidades de posicionamento de aberturas em diferentes paredes. O estudo foi feito através de simulação em túnel de vento (Evans e Schiller 1988). Na figura, os esquemas 1 e 2 são os que permitem maiores velocidades do vento através do ambiente, porém o esquema 2 provoca uma curvatura no curso da ventilação. Os esquemas 3 e 4 mostram aberturas em paredes adjacentes, provocando uma ventilação mais efetiva. O esquema 6 mostra que janelas muito próximas podem provocar um curto-circuito na ventilação. Afastando um pouco as janelas (esquema 5), tem-se melhor distribuição do ar no ambiente.

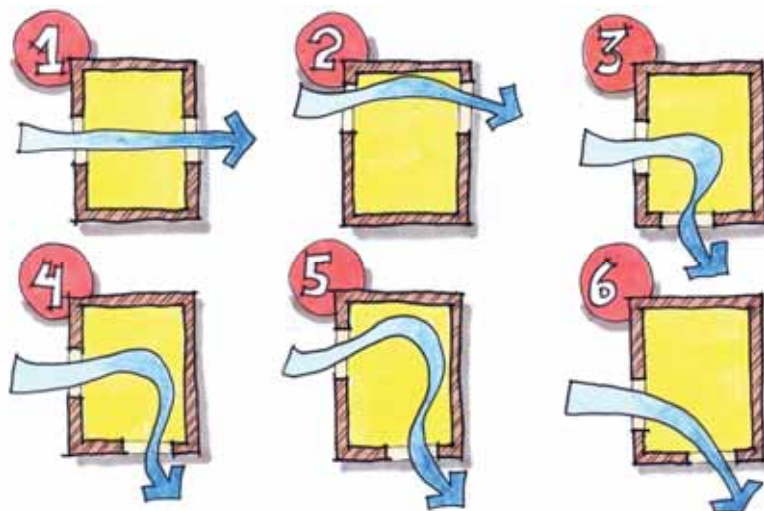


Figura 6-11: Padrão da ventilação determinado pelo posicionamento das esquadrias, adaptado de Evans e Schiller 1988

A Figura 6-12 apresenta os caminhos tomados pelos fluxos de ar através de um ambiente em função da presença de divisórias e repartições internas.

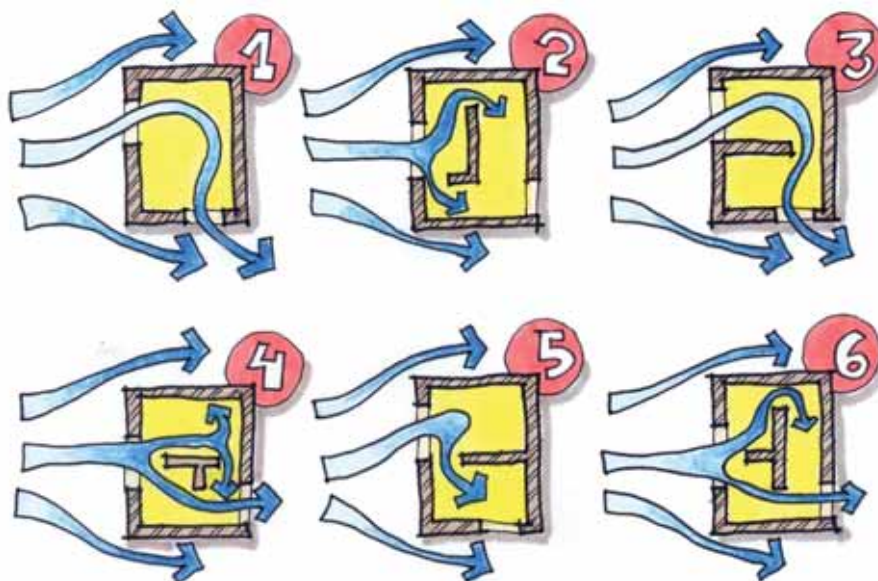


Figura 6-12: Estudo do fluxo de ar em ambientes em função da presença de divisórias e repartições internas, adaptado de Watson e Labs 1983

Na figura, nos esquemas 1 e 3, o fluxo de ar é semelhante, porém no esquema 3 existe um ambiente com ar estagnado. O esquema 2 mostra que o fluxo de ar dividido reduz a ventilação e o consequente resfriamento advindo desta. O desenho 4 mostra que, embora com a redução do fluxo de ar, a ventilação dividida pode ser adequada dependendo do ambiente e de suas necessidades de resfriamento. O esquema 5 ilustra uma divisão interceptando a zona do fluxo de ar incidente, prejudicando a ventilação. O esquema 6 mostra outra divisão possível diminuindo o fluxo de ar num ambiente importante.

6.11 Captadores de vento, peitoris ventilados, mansardas, lanternins e torres de ventilação

A ventilação vertical é muito eficaz quando é necessário retirar o ar quente que tende a se acumular nas regiões mais altas da edificação, normalmente em coberturas e áticos. O **LANTERNIM** é uma técnica bastante utilizada para este fim.

O calor acumulado na cobertura é retirado pela ventilação natural do elemento, que possui aberturas em ambas as extremidades, favorecendo a ventilação cruzada. Estas aberturas devem ser protegidas com telas contra insetos e, se o clima local tiver estações mais frias, devem incluir controle. Um exemplo é o lanternim utilizado no Retiro Tagaste, do arquiteto João Castro Filho, projeto descrito no primeiro capítulo deste livro, intitulado “Um Breve Histórico”.

O **PEITORIL VENTILADO** permite a entrada de ventilação abaixo da abertura. Telas contra mosquitos e outros animais devem ser instaladas, bem como elementos que possam bloquear o ingresso de ar no inverno. O ar que entra através do peitoril ventilado pode circular no ambiente saindo pela cobertura, através de lanternins, mansardas ou torres de ventilação.

As **MANSARDAS**, também conhecidas como água-furtada, são uma boa alternativa para ventilação de áticos ocupados (Figura 6-13).



Figura 6-13: Mansarda ou água-furtada

Os **CAPTADORES DE VENTO** são utilizados para levar a ventilação natural para ambientes. A Figura 6-14 mostra os captadores de vento construídos em casas no Paquistão, que levam as brisas mais frescas da tarde para os ambientes interiores (Rudofsky 1977).

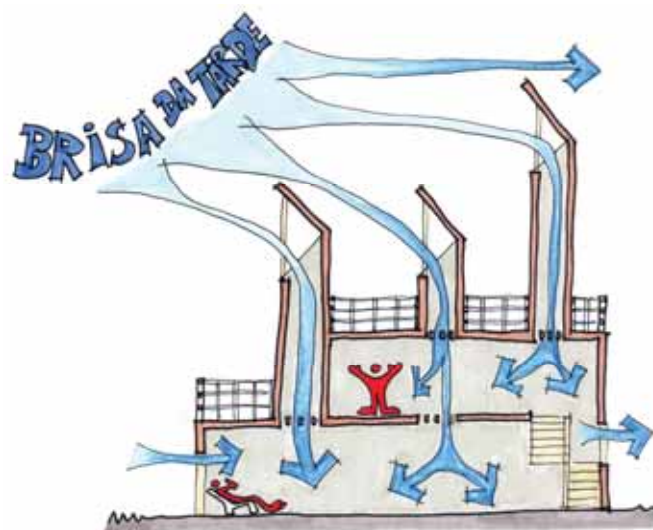


Figura 6-14: Captadores de vento no Paquistão, adaptado de Rudofsky 1977

As **TORRES DE VENTILAÇÃO**, bastante utilizadas na arquitetura vernacular do leste europeu, vem sendo resgatadas na arquitetura europeia bioclimática mais recente. Estas torres se utilizam do fenômeno conhecido como ventilação por termo-sifão ou por “efeito chaminé”, onde existe uma tomada de ar no ambiente que praticamente aspira o ar externo para compensar a diferença de pressão provocada pela saída do ar quente pela torre. É importante que exista uma diferença de altura entre a tomada de ar e sua saída de pelo menos seis metros e que a entrada de ar no ambiente seja cautelosamente direcionada, evitando receber o ar mais quente do oeste ou o ar mais poluído de uma avenida ou estacionamento adjacente, por exemplo.

6.12 Elementos direcionadores e filtrantes da ventilação natural

A ventilação natural pode ser controlada também por elementos externos à edificação, como muros, placas e outras superfícies que direcionam, desviam ou mesmo filtram a ventilação antes da mesma atingir as aberturas.

Os beirais, por exemplo, podem direcionar o fluxo de ar para o interior, além de servirem como uma proteção solar horizontal. A Figura 6-15 mostra como um beiral mais generoso pode aumentar a zona de pressão do lado externo à abertura, aumentando o fluxo de ar para o interior. Proteções solares horizontais podem provocar o mesmo efeito.

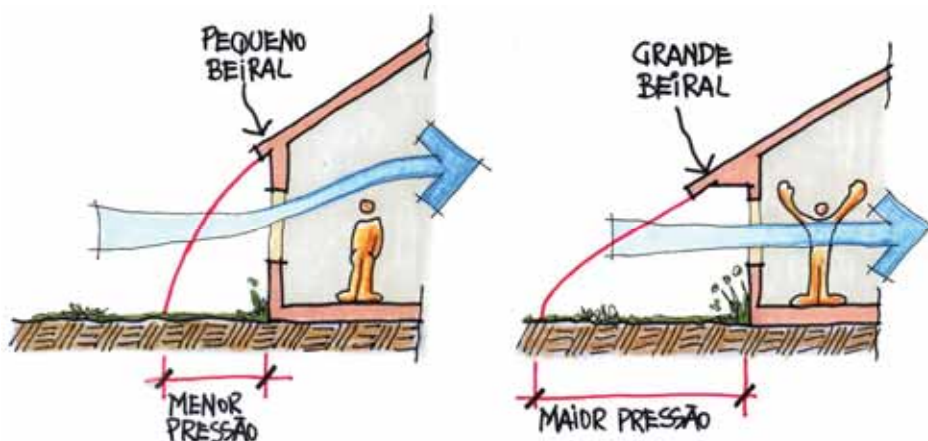


Figura 6-15: Influência do beiral no direcionamento do fluxo de ventilação para o interior

De forma semelhante, a platibanda também aumenta a zona de pressão anterior à janela, aumentando o fluxo de ventilação para o interior (Figura 6-16).

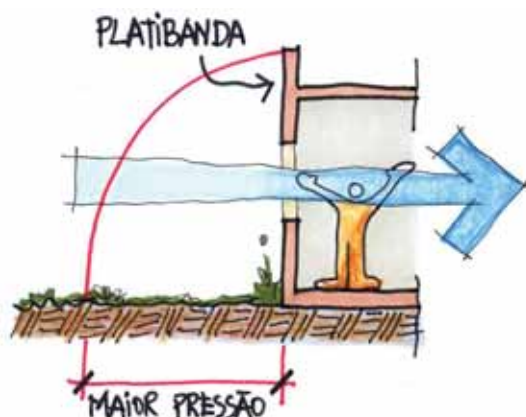


Figura 6-16: Influência da platibanda no direcionamento do fluxo de ventilação para o interior

Elementos como venezianas, proteções solares verticais ou outras saliências verticais na abertura podem auxiliar no direcionamento do fluxo de ar para o interior. Na Figura 6-17 a veneziana também serve como proteção solar vertical. Nota-se, nas máscaras de sombreamento à direita da imagem, a eficácia das venezianas como elementos de sombreamento, além de sua função como direcionadoras do fluxo de ar para o interior.



Figura 6-17: Venezianas como direcionadores do ar para o interior e proteção solar vertical

Muros e paredes externas também podem desempenhar o papel de direcionadores do ar para no interior, da mesma forma que elementos como árvores, arbustos e outros tipos de vegetação.

A vegetação também pode servir de barreira de vento, como na Figura 6-18, que ilustra barreiras em forma de L para proteção do vento e de tempestades de neve, em Shimane no Japão (Rudofsky 1977).

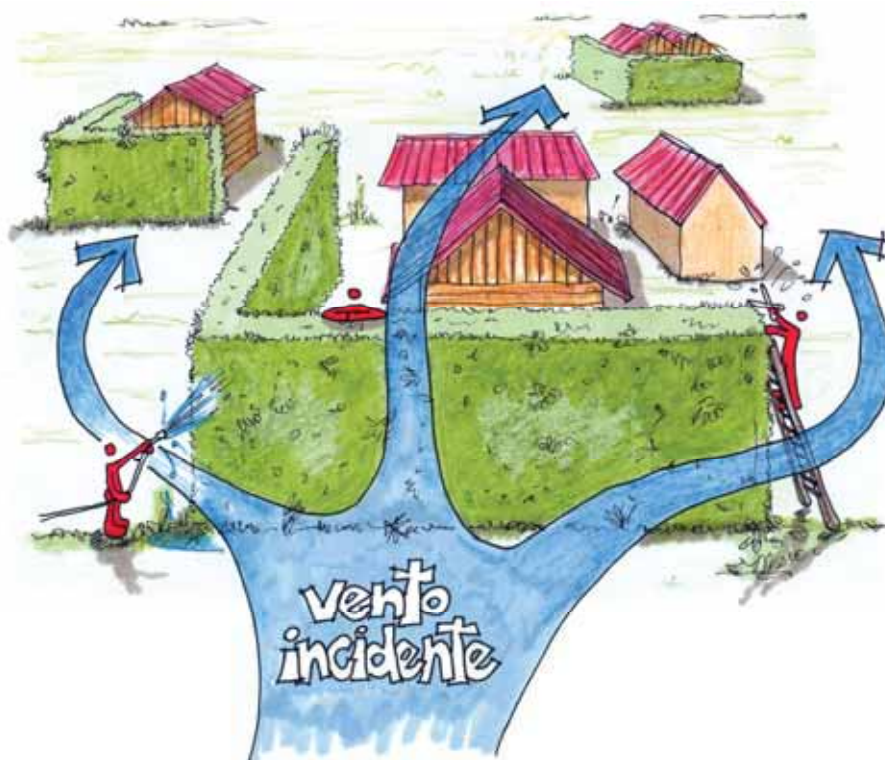


Figura 6-18: Barreiras de vento no município de Shimane, no Japão, adaptado de Rudofsky 1977

Outro recurso para filtrar e controlar o fluxo de ar para o interior são os elementos vazados, como os utilizados na Casa Eficiente da Eletrosul, descrita no primeiro capítulo deste livro, intitulado “Um Breve Histórico”. Estes redutores de vento bloqueiam parte do vento indesejável do inverno. É importante direcionar estes elementos em função do vento que se quer bloquear (Figura 6-19).



Figura 6-19: Redutor de velocidade do vento com elementos vazados

6.13 Ventilação noturna

A ventilação noturna, também chamada de ventilação estrutural, pode ser empregada para reduzir a temperatura do edifício à noite, quando a temperatura do ar externo é mais baixa que a do ar interno. Em residências, essa estratégia pode melhorar as condições internas de conforto à noite, enquanto que em edifícios comerciais e públicos, não muito ocupados à noite, a ventilação noturna é uma grande aliada para resfriar a estrutura do edifício. Edifícios com maior inércia térmica usufruem mais desta técnica, pois mantêm a temperatura de elementos estruturais como lajes, paredes e vigas mais baixas, diminuindo os picos de temperatura no dia seguinte.

A ventilação natural pode ser combinada com sistemas mecânicos para garantir que a estratégia funcione em períodos de calmarias, entretanto a ventilação natural é, em geral, suficiente. Se sistemas mecânicos forem utilizados, é importante atentar para possíveis ruídos, uma vez que à noite isso pode representar problemas no entorno imediato ao edifício e aos seus próprios ocupantes.

É importante prever tomadas de ar externo em diversos níveis no projeto, preferivelmente interligadas na prumada do edifício e com saídas de ar na cobertura. Deve-se também evitar tomadas de ar externo em locais onde há maiores níveis de poluição, como em saídas de garagens, estacionamentos, paradas de ônibus e vias de grande tráfego.

A Figura 6-20 ilustra a atuação da ventilação noturna num edifício.

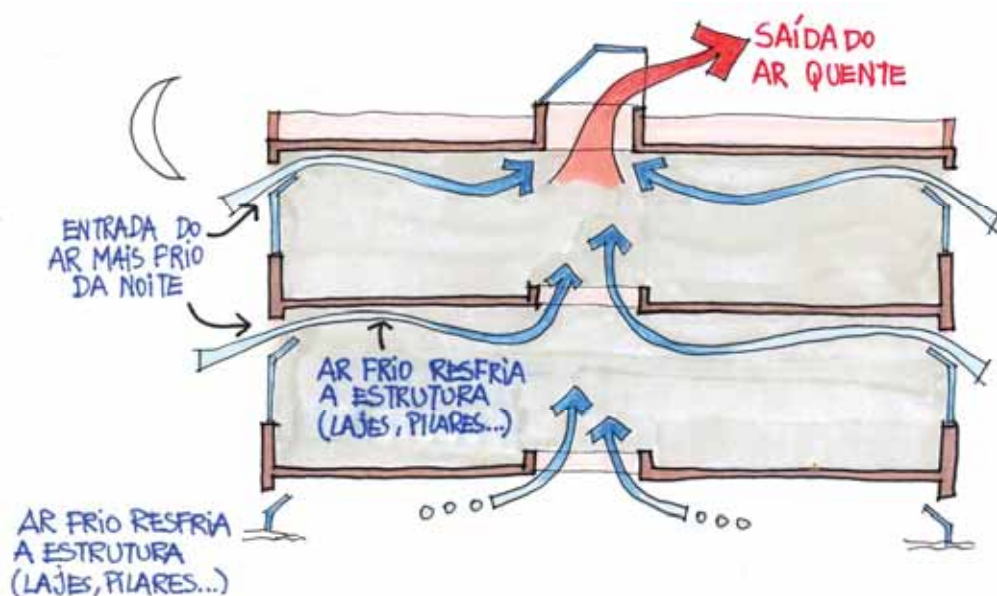


Figura 6-20: Ventilação noturna

6.14 Ventilação em fachada dupla e periférica

Esta técnica de ventilação natural tem sido utilizada recentemente em edifícios de maior porte, principalmente de muitos pavimentos. O Menara Mesiniaga de Ken Yeang, por exemplo, (ver capítulo “Um Breve Histórico”), tem nas suas fachadas placas horizontais curvas de metal que forçam a passagem dos ventos rente à superfície externa do edifício, criando condições para que a convecção retire calor da estrutura e das paredes, além de ventilar sacadas e direcionar os fluxos de ar para as aberturas.

6.15 Túneis de Vento e Mesa d'Água

O túnel de vento é um aparato valioso para o arquiteto, pois permite a análise de maquetes frente à ventilação natural. Existem basicamente dois tipos de túnel de vento, o com serragem e o com fumaça. Alternativamente, pode-se simular o vento em maquetes com uma mesa d'água.

6.16 Túnel de Vento com Serragem

Tipo mais simples de túnel de vento, o túnel de vento com serragem consiste num túnel parcialmente transparente onde se instala a maquete sob análise e, em seguida, pulveriza-se pó de serragem sobre a mesma. Um ventilador especial é acionado com várias velocidades de vento em escala (medidas com auxílio de um anemômetro). Após alguns instantes, desliga-se o ventilador e fotografa-se a maquete com a serragem restante para aquela velocidade de vento específica, indicativa de zonas sem circulação de ar ou com turbulência. Repete-se o procedimento para outras velocidades de vento de forma a identificar o comportamento das construções em relação ao vento.

6.17 Túnel de Vento com Fumaça

Este tipo de túnel de vento é mais complexo, porém também mais interpretativo do comportamento das construções frente ao vento. Semelhante ao túnel de vento com serragem, este consiste num túnel por onde circula fumaça de diversas cores e onde se coloca a maquete do edifício ou conjunto de edifícios a ser analisados. Com a observação do comportamento da fumaça em diversas velocidades de vento, pode-se concluir sobre a necessidade de instalação de bloqueios ou também elementos canalizadores de vento para a edificação.

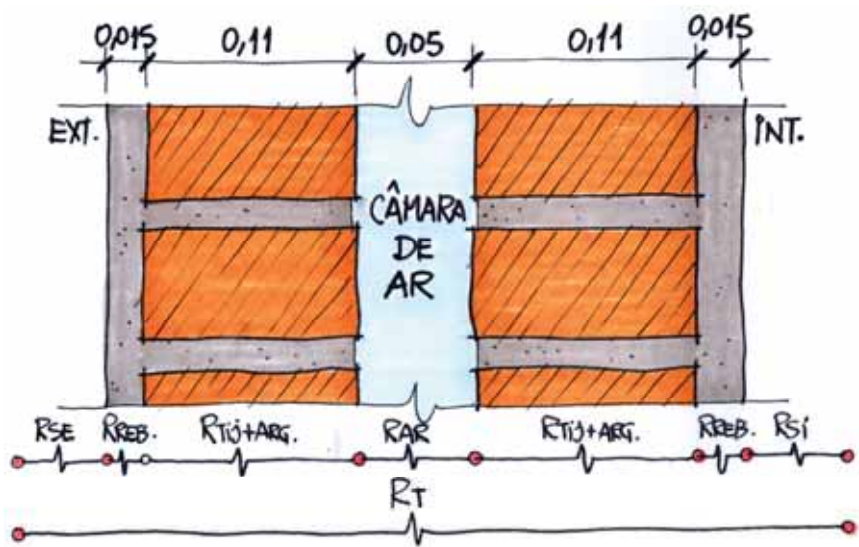
6.18 Mesa d'Água

Embora diferente em mecanismos, a mesa d'água é bastante semelhante ao túnel de vento com fumaça. Consiste num aparato por onde circula espuma através de uma maquete em baixa velocidade, permitindo a análise da ventilação natural em edificações. O Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (Labcon/UFSC) desenvolveu uma mesa d'água (http://www.labcon.ufsc.br/equip_desenv_dagua.php).

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, B.; (2004). *Por uma nova atitude*. in: **Arquitetura e Urbanismo**, ano 19, número 123, junho de 2003, Editora PINI, São Paulo, p53.
- BITTENCOURT, L.; Cândido, C. (2005). *Introdução à ventilação natural*. EDUFAL, Maceió, 147p.
- BROWN, G. Z.; DeKay, M.; (2004). *Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura*. 2a Edição, Bookman, Porto Alegre.
- EVANS, M.; Schiller, S. (1988). *Diseno Bioambiental y Arquitectura Solar*, Universidad de Buenos Aires, Serie Ediciones Previas, nº 9.
- HAWKES, D.; Forster, W.; (2002). *Architecture, engineering and environment*. Lawrence King Publishing, London.

- LECHNER, N.; (2001). *Heating, cooling, lighting: design methods for architects*. 2nd ed., John Wiley & Sons, USA.
- RIVERO, R. (1985). *Arquitetura e clima*. D. C. Luzzatto Editores Ltda., Porto Alegre.
- RUDOFISKY, B.; (1977). *Architecture without architects: a short introduction to non-pedigreed architecture*. 4th impresión, Academy Editions, London.
- WATSON, D., Labs, K.; (1983). *Climatic design: energy-efficient building principles and practices*. McGraw-Hill, New York.
- YANNAS, S. (1994). *Design of educational buildings: elements*. Environment & Energy Studies Programme, Architectural Association Graduate School, London.



PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

sumário

7	PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	197
7.1	Fechamentos Opacos e Transparentes	197
7.1.1	Fechamentos Opacos	197
7.1.2	Fechamentos Transparentes	198
7.2	Absortividade, refletividade, transmissividade e emissividade	208
7.3	Condutividade térmica	210
7.4	Resistência térmica	210
7.4.1	Resistência Térmica Superficial	212
7.4.2	Resistência térmica de câmaras de ar	213
7.5	Transmitância térmica	215
7.6	Densidade de Fluxo de Calor	216
7.7	Temperatura SOL-AR	217
7.8	Fluxo de Calor	218
7.9	Capacidade térmica	220
7.10	Fator Solar.....	221
	REFERÊNCIAS	225

CAPÍTULO 7:

7 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Os materiais e elementos construtivos se comportam termicamente em função de suas propriedades térmicas. Neste capítulo serão descritas as principais destas propriedades através de exemplos práticos. As equações e tabelas aqui expostos foram baseadas nos dados disponíveis na norma NBR 15.220-2 (ABNT 2005). Esta norma exemplifica os cálculos de resistência térmica de materiais homogêneos e heterogêneos, capacidade térmica, transmitância térmica, fator solar e atraso térmico.

7.1 Fechamentos Opacos e Transparentes

Sabendo que a parcela da radiação transmitida para o interior é a principal fração dos ganhos térmicos em ambientes e atua diretamente nas condições internas de conforto e entendendo os conceitos de transmissão de calor e o comportamento térmico dos fechamentos, o arquiteto pode dimensionar e especificar corretamente as aberturas e os materiais a serem empregados na obra.

Após os princípios estudados até aqui, pode-se esquematizar o fundamental em termos de propriedades térmicas dos elementos construtivos, sejam eles fechamentos opacos ou transparentes.

7.1.1 Fechamentos Opacos

Em um fechamento opaco a transmissão de calor acontece quando há uma diferença de temperatura entre suas superfícies interior e exterior. O sentido do fluxo de calor será sempre da superfície mais quente para a mais fria.

Supondo que a temperatura do ar externo está mais elevada que a do ar interno, ocorrência bastante frequente no verão, a elevação da temperatura da superfície externa do fechamento induz a um diferencial entre esta e a temperatura da superfície interna, que se traduzirá na troca de calor entre as duas.

Materiais como a cortiça, o isopor, a lã de vidro e o concreto celular, entre outros, são isolantes térmicos. Estes materiais possuem baixas densidades, ou seja, são bastante porosos. A capacidade de reduzir a transferência de calor se dá ao fato de o ar parado contido nesses poros ter baixa condutividade térmica (λ). Da mesma forma, uma câmara de ar no interior do fechamento pode reduzir o fluxo de calor através deste.

Outra característica importante dos fechamentos é sua **INÉRCIA TÉRMICA**. Em princípio, os fechamentos absorvem calor tanto do exterior quanto do interior, dependendo de onde o ar tem a maior temperatura. A cor do material também pode incrementar sua temperatura na sua superfície externa quando este está exposto ao sol.

Particular atenção deve ser tomada em coberturas e em paredes orientadas a oeste, pois a presença do sol direto incidente nestas superfícies nos períodos do dia com temperaturas do ar mais altas incrementa o fluxo de calor para o interior.

Ao conduzir o calor para o outro extremo, o material retém uma parte no seu interior, consequência de sua inércia térmica. Quanto maior a inércia térmica, maior o calor retido, e este pode ser devolvido ao interior quando for necessário. Supondo uma localidade onde as temperaturas oscilam entre valores altos durante o dia e baixos a noite, pode-se utilizar a inércia térmica dos fechamentos para acumular calor durante o dia (do ar e do sol), retê-lo, e mais tarde (à noite) devolvê-lo ao interior. Haverá uma diminuição da amplitude da

temperatura interna, que oscilará de forma amortecida. O pico da temperatura acontecerá algumas horas após o fechamento estar submetido ao pico da temperatura externa, que constitui no tempo de retardo térmico. A Figura 7-1 é ilustrativa desta situação, onde se percebe o amortecimento e o retardo térmico na temperatura interior em comparação à temperatura exterior. Com isto, o microclima interno é bem mais ameno que o clima do exterior.

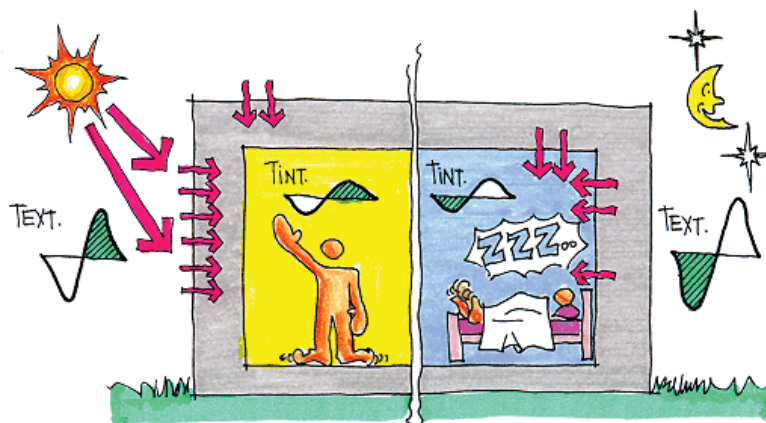


Figura 7-1: Inércia térmica (amortecimento e retardo)

7.1.2 Fechamentos Transparentes

As principais trocas térmicas em uma edificação acontecem geralmente nestes fechamentos, que compreendem janelas, clarabóias e qualquer outro elemento transparente na arquitetura.

Nos fechamentos transparentes podem ocorrer os três tipos básicos de trocas térmicas: condução, convecção e radiação. Com relação às duas primeiras, o comportamento é semelhante ao dos fechamentos opacos, acrescentando aos transparentes a possibilidade do controle das trocas de ar entre interior e exterior, basicamente ao abri-los ou fechá-los. A radiação é que se torna o principal fator neste processo devido à sua parcela diretamente transmitida para o interior (inexistente nos fechamentos opacos), que depende da transmissividade do vidro (τ).

O principal problema em um fechamento transparente é controlar as parcelas transmitida diretamente e absorvida e reemitida para o interior (Figura 7-2).



Figura 7-2: Radiação transmitida, absorvida e refletida pelo vidro

No projeto arquitetônico as principais variáveis que podem alterar o aporte de calor pela abertura são (Koenigsberger e outros, 1977):

- Orientação e tamanho da abertura;
- Tipo de vidro;
- Uso de proteções solares internas e externas.

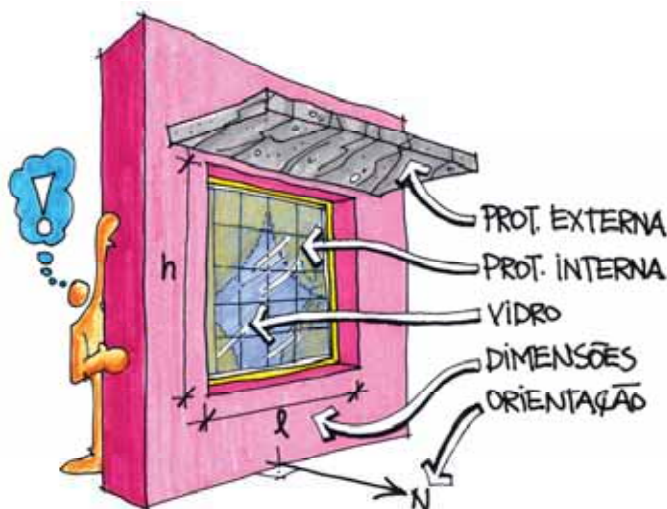


Figura 7-3: Variáveis da abertura

7.1.2.1 Orientação e Tamanho

A orientação e o tamanho da abertura irão determinar sua exposição ao sol. Quanto maior uma abertura, maior a quantidade de calor que pode entrar ou sair do ambiente. Outro fator importante no dimensionamento é a luz natural. Deve-se pensar o calor e a luz de forma integrada. A orientação da fachada, por exemplo, pode expor aberturas de dimensões idênticas a quantidades distintas de calor solar e iluminação. A trajetória do sol na abóbada celeste é diferente para cada orientação e para cada latitude. O que normalmente se faz é obter os valores de radiação solar para a abertura em questão diretamente de tabelas com valores para céu claro, representativos dos valores máximos de radiação solar para o local (Frota e Schiffer, 1988). De forma mais completa e precisa pode-se utilizar valores de radiação horários, como os existentes no Ano Climático de Referência (TRY) para a localidade (Goulart e outros, 1997).

Pode-se ter uma idéia visual sobre a insolação de uma fachada a partir da carta solar. Analisando a altura e o azimute solar pode-se saber quando o sol está incidindo ou não diretamente em uma fachada. Também se pode saber qual o ângulo de incidência da radiação solar, que interfere na quantidade de calor e de luz solar direta que entram pela abertura. Na Figura 7-4 tem-se um exemplo para a carta solar de Florianópolis, feita por projeção estereográfica (latitude = 27,66° Sul).

O quarto capítulo deste livro, intitulado “Geometria Solar” expõe de maneira objetiva e simples os principais conceitos envolvidos nesse assunto.

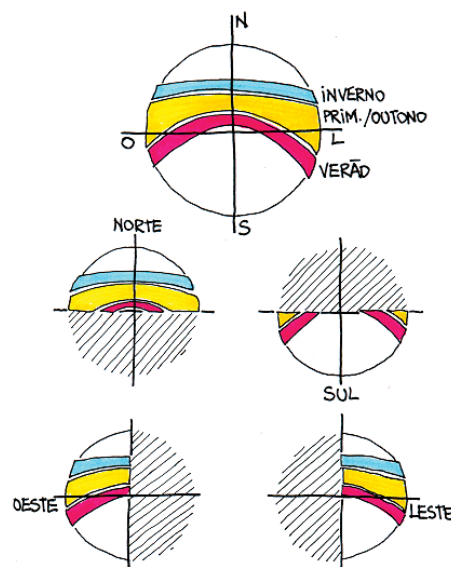


Figura 7-4: Carta Solar para Florianópolis: ângulo de incidência e horas de sol

- LESTE – Sol todas as manhãs em todas as estações;
- OESTE – Sol todas as tardes em todas as estações;
- NORTE – Sol mais baixo durante todo o dia no inverno e em boa parte da primavera e outono. Sol mais alto no verão, que incide poucas horas do dia;
- SUL – Sol inexistente no inverno. Sol pouco presente no outono e na primavera, no início e final do dia. Sol mais presente no verão, no início e final do dia, desaparecendo por volta do meio dia para a fachada.

7.1.2.2 Tipo de Vidro

Vários propósitos podem servir de argumento na escolha do tipo de vidro a ser utilizado em uma abertura. Entre eles está o controle da radiação solar, que pode ser resumido em:

- admitir ou bloquear a luz natural;
- admitir ou bloquear o calor solar;
- permitir ou bloquear as perdas de calor do interior;
- permitir o contato visual entre interior e exterior.

Os vidros têm geralmente alta transmitância térmica (U), ou seja, são bons condutores de calor. Entretanto são os únicos materiais de construção com capacidade para controlar de forma racional a radiação solar (luz e calor).

A radiação solar incidente em um fechamento transparente pode ser absorvida, refletida ou transmitida para o interior, dependendo da absorvidade (α , Figura 7-5), refletividade (ρ , Figura 7-6) e transmissividade (τ , Figura 7-7) do vidro, respectivamente.

A parcela absorvida se converte em calor no interior do vidro e pode ser reemitida tanto para o exterior quanto para o interior na forma de radiação de onda longa.

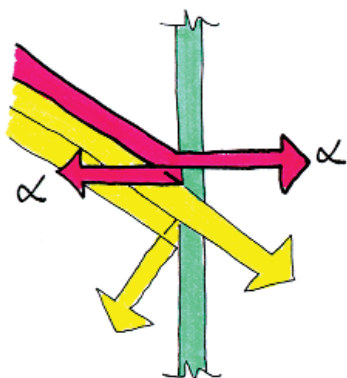


Figura 7-5: Vidro X parcela absorvida da radiação solar

Quanto maior for o ângulo de incidência da radiação solar, maior tenderá a ser a parcela refletida pelo vidro.

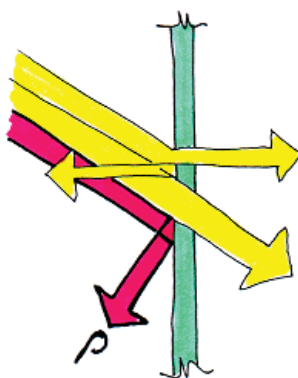


Figura 7-6: Vidro X parcela refletida da radiação solar

Uma parte da radiação solar é transmitida diretamente para o interior pela transparência do vidro.

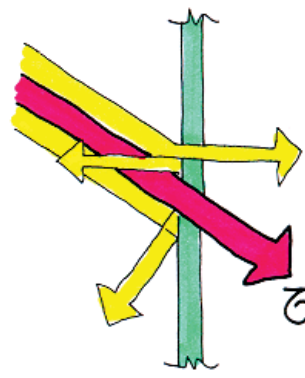


Figura 7-7: Vidro X parcela transmitida da radiação solar

Existem vidros dos mais diferentes tipos, que possuem capacidades distintas em absorver, refletir ou transmitir a radiação solar. Isto depende das características óticas do material (α , ρ e τ), que variam com o comprimento de onda da radiação e com o ângulo de incidência. Alguns resultados de medições para vidros nacionais são apresentados por Labaki e Caram (1995).

No espectro solar (Figura 7-8) há duas regiões de particular importância para o estudo do comportamento dos fechamentos transparentes: a região de onda curta (OC) e a de onda longa (OL). As ondas curtas se subdividem em visíveis (380 a 770 nm) e infravermelhas (760 a 3000 nm) e as ondas longas são radiações infravermelhas emitidas por corpos aquecidos (>3000 nm) (Baker e outros 1993).

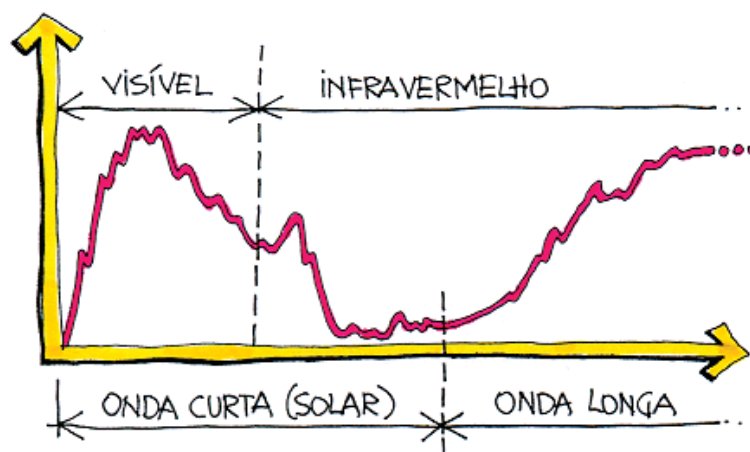


Figura 7-8: Espectro solar

Os elementos transparentes estão sendo cada vez mais empregados em fachadas e em coberturas, pois o contato visual com o exterior, a luz natural e o calor do sol são bem vindos em boa parte do tempo em que as pessoas exercem suas atividades diárias no espaço interior. Em alguns momentos, entretanto, a transparência é desnecessária ou até indesejável, pois pode provocar o superaquecimento do ambiente interno em períodos de maior calor e sol presente ou mesmo o resfriamento demasiado em períodos mais frios.

As trocas de calor entre o ambiente interno e o externo acontecem de forma mais intensa e rápida através dos fechamentos transparentes. Quando o vidro utilizado é o simples, a maior parcela do calor que penetra no ambiente quando o sol incide na abertura é a direta, que depende da alta transmissividade (τ) deste tipo de vidro. Para contornar esse problema, um vidro de transmissividade mais baixa deveria ser utilizado, porém, vidros assim, geralmente trazem o inconveniente de bloquearem boa parte da luz natural, deixando o ambiente interior escuro e induzindo o projetista a superdimensionar a área de abertura.

Os vidros disponíveis hoje no mercado podem ser classificados, segundo seu tipo, em:

- vidro simples (transparente);
- vidro verde;
- películas e vidros absorventes (fumê);
- películas e vidros reflexivos;
- vidros serigrafados;
- policarbonatos;
- vidros espectralmente seletivos (de baixa emissividade tipo *low-e* e espectralmente seletivos com controle solar);
- vidros especiais (de cristal líquido, policrômicos, eletrocromicos e de partículas suspensas);
- vidros insulados;
- aberturas com múltiplas camadas de vidro (“vidros duplos” e “triplos”).

A seguir uma descrição de cada um destes tipos.

■ Vidro Simples (transparente)

Os vidros simples são os de emprego mais comum nas edificações no Brasil, em virtude de seu baixo custo e disponibilidade no mercado. Entretanto são altamente transparentes a ondas curtas e absorventes a ondas longas. Isto se traduz em boa visibilidade, porém alta transmissividade do calor solar para o interior. Também são pouco reflexivos em ambas as regiões do espectro (ondas curtas e longas). A alta absortividade à onda longa causa o fenômeno conhecido por efeito estufa. Em outras palavras: uma vez transmitido para dentro, o calor encontra dificuldades em sair pelo vidro, sendo então acumulado no ambiente interior. A Figura 7-9 sintetiza o comportamento do vidro simples frente à luz, às ondas curtas e às ondas longas. Este tipo de gráfico comparativo ilustrará cada tipo de vidro a seguir, podendo servir de base para a escolha entre uma ou outra opção.

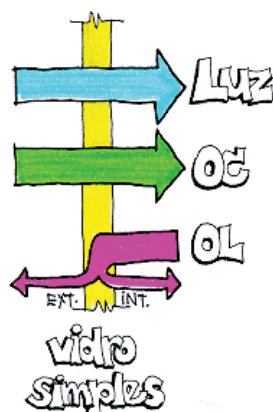


Figura 7-9: Comportamento do vidro simples à OC, OL e luz visível

■ Vidro Verde

Este vidro é também conhecido como absorvente. É levemente pigmentado para diminuir a transmissão da onda curta com somente um pequeno aumento na absorção da parte visível (Figura 7-10).

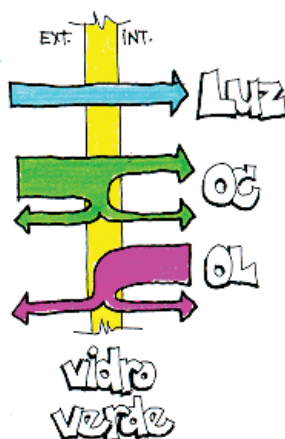


Figura 7-10: Comportamento do vidro verde à OC, OL e luz visível

■ Películas e Vidros Absorventes (Fumê)

O objetivo do vidro ou da película absorvente é diminuir a transmissão da onda curta. Contudo, isto é feito com o aumento da absorção nesse comprimento de onda, que diminui

bastante a transmissividade visível (visibilidade). Esta solução pode implicar em gastos desnecessários de energia para iluminação artificial. Como o vidro simples, este tipo de material (película ou vidro) é também altamente absorvente à radiação de onda longa e pouco reflexivo tanto à onda longa quanto à onda curta (Figura 7-11).

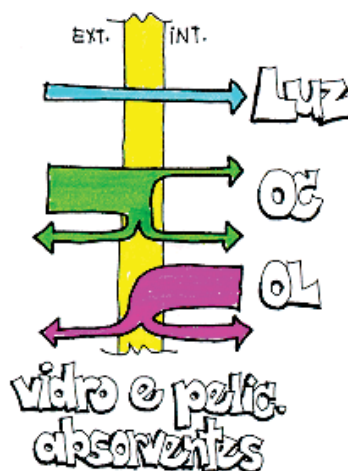


Figura 7-11: Comportamento das películas e vidros absorventes à OC, OL e luz visível

■ Películas e Vidros Reflexivos

As películas reflexivas são compostas por uma camada metálica em um substrato transparente, produzindo aparência de espelho. Os vidros reflexivos já vêm com uma espécie de película reflexiva incorporada na sua constituição. Existem películas mais reflexivas à onda longa, outras mais reflexivas à onda curta, e também películas reflexivas em ambos os espectros. Pode-se dizer que as películas reflexivas à onda curta reduzem o ingresso de calor ao interior e que as reflexivas à onda longa reduzem as perdas de calor para o exterior. Este tipo de película ou vidro também tem reduções na sua capacidade de transmitir a radiação visível.

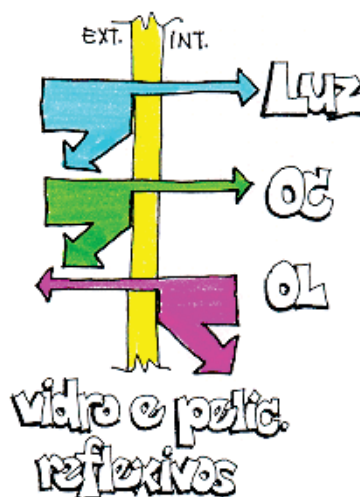


Figura 7-12: Comportamento das películas e vidros reflexivos à OC, OL e luz visível

■ Vidros Serigrafados

Os vidros serigrafados constituem outra opção de sombreamento em aberturas, pois têm sua transparência alterada pelos desenhos ou cores transferidos à sua superfície, que passa

depois pela têmpera para incorporá-los à sua superfície. Também é possível associar um vidro serigrafado a um reflexivo para maximizar o bloqueio da radiação solar incidente.

▪ Policarbonatos

Atualmente, alguns materiais plásticos como o policarbonato e o acrílico começam a entrar no mercado dos fechamentos transparentes. Segundo Caram (1998), o policarbonato é tão opaco à radiação de onda longa, causadora do efeito estufa em ambientes, quanto o vidro. Algumas vantagens deste material em relação ao vidro são sua maleabilidade, sua resistência a choques, menor peso e maior resistência térmica, que se traduz num maior isolamento térmico do ambiente em períodos frios, quando as perdas de calor são indesejáveis. As principais desvantagens do policarbonato são a cor amarelada que esse material adquire após alguns anos de exposição ao sol, o que torna o policarbonato translúcido, e sua alta transmissividade à radiação solar infravermelha, que incrementa os ganhos térmicos solares e o efeito estufa.

▪ Vidros Espectralmente Seletivos

Os vidros espectralmente seletivos podem permitir que a luz natural penetre normalmente no ambiente interno bloqueando simultaneamente a maior parte dos ganhos de calor solar no verão ou prevenindo as perdas de calor no inverno. Com isso, esse tipo de vidro permite ao usuário reduzir seu consumo de energia para iluminação artificial e para resfriamento ou mesmo aquecimento, tornando-se uma alternativa importante para a eficiência energética da edificação. Com vidros espectralmente seletivos, podem-se ter nas fachadas mais áreas envidraçadas para contato visual com o exterior, que trazem mais luz natural para o interior, sem os inconvenientes dos ganhos de calor solar nos períodos quentes do ano. Estes vidros podem ser de baixa emissividade, também conhecidos como vidros *low-e*, vidros espectralmente seletivos com controle solar,

▪ Vidros de Baixa Emissividade (*low-e*)

Os vidros de baixa emissividade, também conhecidos como *low-e* (*low emissivity*), são mais eficientes que os reflexivos comuns, pois permitem que a radiação solar visível entre no ambiente, mas bloqueiam a radiação de onda longa advindas de objetos no exterior, como outros edifícios e muros. Os vidros *low-e* também bloqueiam a passagem da radiação de onda longa proveniente dos móveis e superfícies aquecidas no ambiente interior, evitando perdas de calor nos períodos mais frios. Esse tipo de vidro é feito com uma fina camada de óxido metálico que pode constituir sua massa pelo processo de pirólise (processo conhecido como *on-line*) ou ser magneticamente adicionada a uma das superfícies do vidro como uma fina película (processo conhecido como *off-line*). O vidro *low-e* é, geralmente, utilizado em panos de vidro duplo. Se a camada metálica de baixa emissividade for presente no pano de vidro externo, reduz a onda longa que representa perdas de calor para o exterior. Se essa camada for presente no pano de vidro interno, emite a onda longa de volta para o exterior. As camadas *low-e* podem reduzir a transferência de calor por radiação de onda longa de 5 a 10 vezes.

▪ Vidros Espectralmente Seletivos com Controle Solar

Os vidros espectralmente seletivos com controle solar são similares ao vidro *low-e*, porém têm propriedades óticas que variam ao longo de todo o espectro solar, conforme se queira controlar a transmissão do calor solar e da luz visível. Esses vidros transmitem uma grande parcela da luz solar visível, mas sombreiam até 80% da radiação infravermelha. Isso reduz os ganhos de calor solar, reduzindo consequentemente a necessidade de resfriamento nos ambientes interiores. Os vidros espectralmente seletivos devem ser instalados normalmente no pano de vidro externo em janelas com vidros duplos, de forma a emitir para fora qualquer radiação solar absorvida. Podem ser empregados juntamente com películas *low-e* para melhorar o desempenho térmico do sistema de abertura no inverno.

Uma maneira de comparar os benefícios deste tipo de vidro em relação aos outros é a razão entre ganho de luz e ganho solar do vidro (*light to solar ratio* - LSR). O LSR é simplesmente a divisão entre a transmissão visível do vidro pelo seu coeficiente de ganho de calor solar. Valores até 2,0 são possíveis. Um vidro simples possui um LSR de aproximadamente 1,0 e um espectralmente seletivo pode chegar a 2,0.

Janelas orientadas para o norte devem ter um alto coeficiente de ganho de calor solar se o aquecimento solar passivo é desejado no inverno, mas devem incluir proteções solares eficientes para o sol do verão. Se os ganhos de calor solar forem problema no verão, o que acontece na maior parte do Brasil, um baixo coeficiente de ganho de calor solar deve ser especificado para os vidros em combinação a baixas transmitâncias térmicas para prevenir perdas de calor no inverno.

Em janelas orientadas para leste e oeste e em edifícios com altos ganhos de calor internos (advindos de equipamentos, iluminação artificial e do calor metabólico dos usuários), os vidros devem ter baixos coeficientes de ganho de calor solar.

Na Figura 7-13, adaptada de Lechner (2001), a CURVA 1 representa um vidro claro normal.

A CURVA 2 representa um vidro *low-e* com alta transmissão de luz, útil para quando se quer calor no inverno.

A CURVA 3 representa um vidro espectralmente seletivo de alta transmissão de luz, ideal para quando se quer a luz natural sem ganhos de calor.

A CURVA 4 representa um vidro espectralmente seletivo de baixa transmissão de luz, para as fachadas leste e oeste quando sem proteção solar adequada.

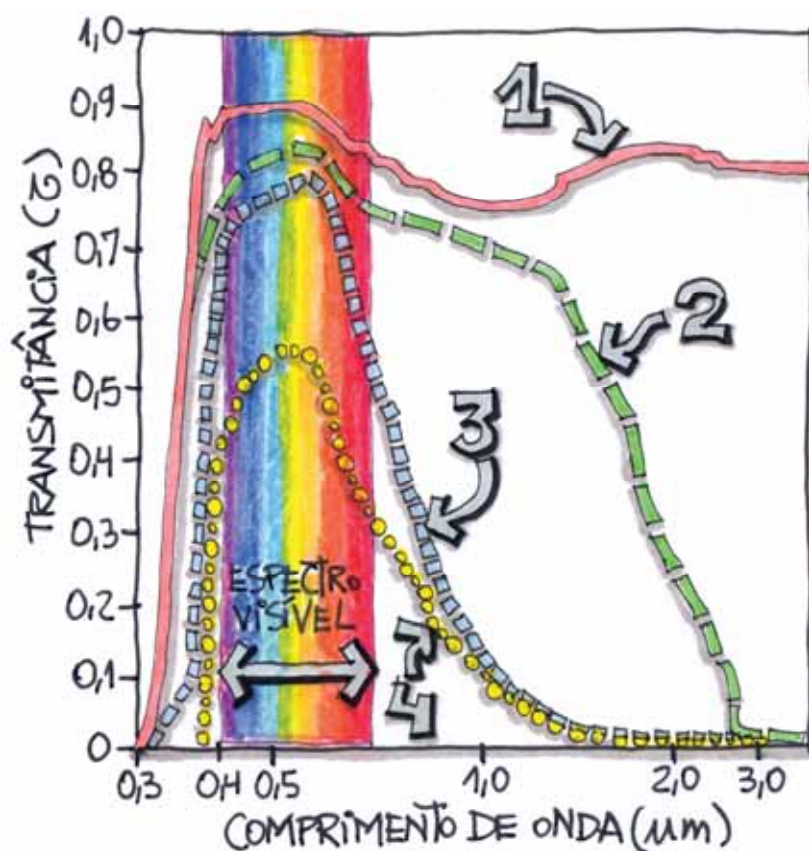


Figura 7-13: Transmissão de luz, ondas curtas e ondas longas em vidros espectralmente seletivos

▪ Vidros Especiais

Atualmente existem alguns vidros especiais que permitem o controle flexível da luz e do calor. Embora não sejam “inteligentes”, estes vidros podem ser utilizados com inteligência no projeto, pois fazem parte do elenco de equipamentos relacionados à automação nas edificações, conceito geralmente confundido com “inteligência”. Esses vidros são de quatro tipos: vidro de cristal líquido, vidro policrômico, vidro eletrocromico e vidro de partículas suspensas.

▪ Vidros de Cristal Líquido

Os vidros de cristal líquido consistem em duas camadas de vidro que têm como recheio uma película de cristal líquido que pode ter suas propriedades óticas alteradas com a passagem de corrente elétrica. Em repouso, este vidro apresenta aparência leitosa, mas quando “ligado”, torna-se completamente transparente. Como exige certo consumo de energia para manter sua transparência, os vidros de cristal líquido somente são usados como divisórias internas.

▪ Vidros Policrômicos ou Fotocrômicos

Os vidros policrômicos ou fotocrômicos escurecem conforme a luz incidente. Esta tecnologia já é disponível em lentes óticas desde a década de 1960, porém chegou mais recentemente em vidros para janelas. A grande vantagem deste tipo de vidro é o controle automático da radiação solar, diminuindo a necessidade de sombreamento nos horários mais críticos. Uma desvantagem deste sistema é que no verão o escurecimento automático dos vidros pode ser um benefício, porém no inverno, pode ser um problema quando o calor incidente é necessário. Outra desvantagem é que o escurecimento do vidro pode significar bloqueio parcial do contato visual com o exterior.

▪ Vidro Eletrocromico

Os vidros eletrocromicos, também chamados de ECD (*electrochromic device*) podem ter sua cor alterada com a passagem de corrente elétrica de baixa tensão por uma ultrafina película na sua superfície. Esta corrente pode ser alterada manualmente, como uma analogia ao *dimmer* usado para controle da luz artificial, ou por sensores de luz, tornando o ECD mais um elemento importante no conceito de automação em arquitetura. A vantagem desse tipo de vidro é que quando a corrente elétrica cessa, ele permanece no mesmo estado de transparência em que estava.

▪ Vidros de Partículas Suspensas

Estes vidros, também conhecidos como SPD (*suspended-particle devices*), têm funcionamento bastante similar ao ECD, podendo ser utilizado para controlar gradativamente a luz natural, de forma semelhante a um *dimmer*, reduzindo inclusive gastos com instalações de cortinas, persianas e outros elementos do gênero. Seu preço é relativamente baixo no mercado internacional, custando em torno de um a quatro dólares por metro quadrado de área envidraçada. Tecnicamente, o vidro SPD é diferente do ECD, consistindo de partículas microscópicas absorventes de luz suspensas em um fluido que pode ser instalado em um filme preso entre duas camadas de material plástico transparente. Quando uma corrente elétrica atravessa essa suspensão, as partículas se alinham com o campo magnético gerado, deixando a luz atravessar o vidro. Em repouso, as partículas ficam desalinhadas, absorvendo a maior parte da luz incidente no vidro. Os vidros SPD podem controlar a luz em diversos estados de transparência e opacidade, dependendo da corrente elétrica aplicada no sistema. Apesar de precisar constantemente da corrente elétrica para se tornar totalmente transparente, o SPD é vantajoso em termos de qualidade de transparência e em vida útil.

■ Vidros “Insulados”

Os vidros ditos “insulados” consistem em dois ou mais panos de vidro que encerram uma câmara hermeticamente fechada de ar ou de outro gás. O ar interno deve ser desumidificado para evitar condensação de água nas superfícies internas dos vidros quando as temperaturas do pano de vidro externo e interno forem muito diferentes. Sua função mais importante é o isolamento térmico, que pode ser bastante útil quando se quer evitar perdas de calor nos períodos frios.

A resposta espectral de múltiplas camadas de um mesmo material difere pouco da utilização de uma só camada. Entretanto, combinando dois ou mais tipos, como em um sanduíche, pode-se produzir uma resposta totalmente diferente como, por exemplo, uma camada de vidro com película reflexiva. Colocando-se a camada reflexiva na superfície externa, a onda longa vinda do interior é absorvida e o calor é dissipado para cada lado por convecção e para o interior por reirradiação (Figura 7-14a). Ao contrário, colocando-se a camada reflexiva no lado de dentro, a onda longa é refletida, evitando-se perdas de calor em climas frios (Figura 7-14b).

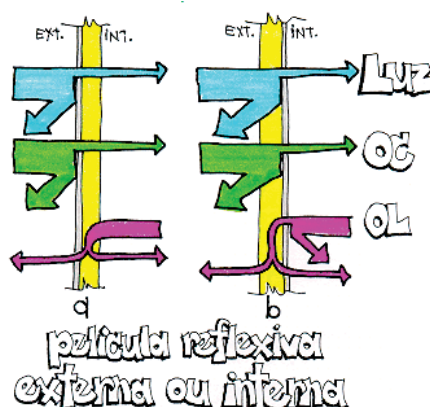


Figura 7-14: Vidro com película reflexiva interna e externa

7.1.2.3 Uso de Proteções Solares Internas e Externas

O uso de proteções solares em uma abertura é um recurso importante para reduzir os ganhos térmicos. Entretanto, deve-se tomar devido cuidado com a iluminação natural, que não deve ser prejudicada. As proteções solares internas são basicamente as cortinas e as persianas. São bastante flexíveis sob o ponto de vista de operação, bastando abri-las ou fechá-las conforme a necessidade. Porém, as proteções internas não evitam o efeito estufa, pois o calor solar que as atinge se transforma em radiação de onda longa, permanecendo na sua maior parte no ambiente interior. A opção por uma proteção externa pode ser a mais adequada se houver um dimensionamento que garanta a redução da incidência da radiação solar, quando necessária, sem interferir na luz natural. A proteção tipo “prateleira de luz” (Figura 7-15) tem este objetivo. A prateleira de luz é um elemento que divide a abertura em duas porções horizontais, sendo a superior destinada à iluminação e a inferior à visão e ventilação. Intercepta a radiação direta do sol e redireciona a luz para o forro; dessa forma, reduz o ganho de calor solar e uniformiza a distribuição de luz natural nos interiores.

A proteção externa bloqueia a radiação direta antes de esta penetrar pelo vidro, evitando o efeito estufa. Podem-se especificar proteções solares externas fixas ou móveis e seu projeto pode ser feito segundo diversos métodos, destacando-se o de Olgyay e Olgyay (1976).

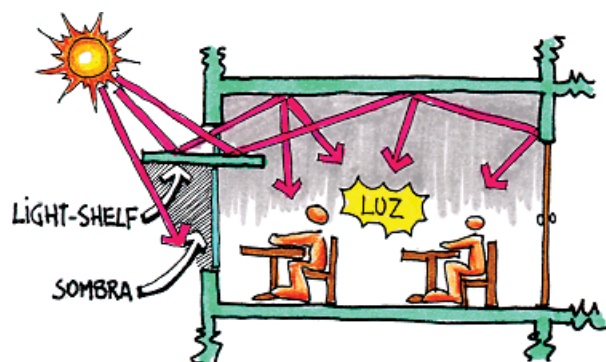


Figura 7-15: Brise prateleira de luz

É importante salientar que as proteções externas também interferem na definição da fachada arquitetônica. Podem ser pensadas como elemento compositivo e se tirar partido desta idéia para conceber, inclusive, a linguagem arquitetônica do edifício.

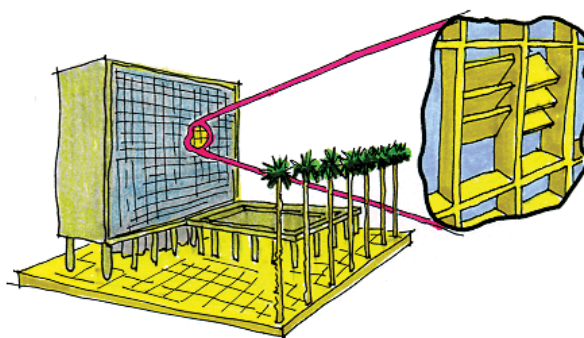


Figura 7-16: Edifício sede do Ministério da Saúde Pública no Rio de Janeiro - Le Corbusier

Uma proteção solar pode ser também realizada através de diversos elementos arquitetônicos, como marquises, varandas, grandes beirais e a própria volumetria do edifício, que pode ser saliente ou reentrante, criando sombras onde for necessário. O uso de vegetação também auxilia no controle solar nos períodos mais quentes. Árvores e outros tipos de vegetação caducifólia são bastante efetivas para controlar o sol do verão e permitir o acesso solar no inverno.

As proteções solares não se resumem a brises, mas incluem também:

- VARANDAS – funcionam como brises horizontais com a função adicional de espaço de transição entre interior e exterior;
- MARQUISES – funcionam como brise horizontal;
- VOLUMES SALIENTES – ambientes salientes ou reentrantes podem criar situações de sombreamento desejável, inclusive refletindo luz indiretamente para o ambiente interno;
- BEIRAIS DE TELHADO – funcionam como brises horizontais;
- VEGETAÇÃO – pode ser bastante versátil, uma vez que plantas com folhas caducas podem sombrear o sol de verão, permitindo a incidência do sol de inverno no ambiente interior. Árvores são elementos de proteção solar muito úteis para sombrear aberturas orientadas para OESTE, difíceis de serem resolvidas satisfatoriamente com brises.

O quarto capítulo deste livro, intitulado “Geometria Solar”, tratou de proteções solares com mais detalhes, inclusive apresentando um método de análise e projeto.

7.2 Absortividade, refletividade, transmissividade e emissividade

Os elementos construtivos podem ter desempenhos diferentes em relação à radiação térmica incidente, transmitindo, refletindo ou mesmo absorvendo e re-emitindo esta

radiação para o interior. A radiação incidente num material construtivo terá uma parcela refletida, uma absorvida e, se for um material translúcido, também uma parcela transmitida diretamente para o ambiente interior, cujos valores dependerão respectivamente da refletividade (ρ), da absortividade (α) e da transmissividade (τ) do material. A soma destas três parcelas da radiação incidente corresponde a 100% do total, ou seja:

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

Analisando a absortividade, pode-se dizer que os materiais de construção são seletivos à radiação de onda curta (radiação solar) e a principal determinante desta característica é sua cor superficial. Um material escuro absorverá a maior parte da radiação incidente enquanto que um material claro absorverá bem pouco. A parcela da radiação solar absorvida por certo material aquecerá o mesmo e será parcialmente re-emitada para fora e parcialmente emitida para o ambiente interno. A propriedade térmica que rege a emissão da radiação para o ambiente interno é a emissividade (ϵ). A Tabela 7-1, extraída da norma NBR 15220-2 (ABNT 2005) mostra os valores de absortividade e de emissividade de alguns materiais construtivos e de algumas cores.

Tabela 7-1: Absortividade (α) e emissividade (ϵ) de alguns materiais e cores, Fonte: NBR 15220-2

TIPO DE SUPERFÍCIE		α	ϵ
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
Caiação 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 comum de janela		transparente	0,90 / 0,95
Pintura:	branca	0,20	0,90
	amarela	0,30	0,90
	verde claro	0,40	0,90
	“alumínio”	0,40	0,50
	verde escuro	0,70	0,90
	vermelha	0,74	0,90
	preta	0,97	0,90

A emissividade é uma propriedade física dos materiais que diz qual a quantidade de energia térmica é emitida por unidade de tempo. É importante destacar que esta propriedade pertence à camada superficial do material emissor. Os materiais de construção podem ser organizados em dois grupos bem definidos: os metálicos, com baixas emissividades, compreendidas entre 0,05 e 0,30 e os não metálicos, com altas emissividades, que variam de 0,85 a 0,90 (Tabela 7-1). Se uma chapa metálica, cuja

emissividade é 0,20, for pintada com tinta não metálica de qualquer tipo, sua emissividade passará a ser 0,90, correspondente aos materiais não metálicos. Além disso, uma superfície não metálica pintada de cor “alumínio” tem sua emissividade reduzida de 0,90 para 0,50.

Interpretando-se a tabela também se pode afirmar que o tijolo aparente, por exemplo, absorve 80% ($\alpha = 0,80$) da energia sobre ele incidente, refletindo os 20% restantes ($\rho = 1 - \alpha = 1,00 - 0,80 = 0,20$). Outro exemplo é o ferro elétrico, na verdade feito de alumínio polido, cuja emissividade é da ordem de 0,05. O ferro elétrico emite por radiação apenas 5% do calor gerado. Assim, o ferro quente somente é percebido com o toque, pois a condução representa 95% das trocas de calor do aparelho. Princípio semelhante é utilizado nas barreiras radiantes feitas em mantas para coberturas, com películas de alumínio polido que envolvem uma camada de material isolante térmico.

7.3 Condutividade térmica

A condutividade térmica (λ) depende da densidade do material e representa sua capacidade em conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo. A Tabela 7-2 mostra valores de condutividade térmica de alguns materiais construtivos.

Tabela 7-2: Condutividade térmica de alguns materiais

MATERIAL	λ (W/m K)
Concreto normal, densidade de 2.200 a 2.400 kg/m ³	1,750
Tijolo de barro, densidade de 1.000 a 1.300 kg/m ³	0,700
Madeira, densidade de 450 a 600 kg/m ³	0,150
Isopor, densidade de 25 a 40 kg/m ³	0,035

Percebe-se na tabela que, conforme a densidade do material diminui, reduz também sua condutividade térmica.

O apêndice 4 fornece valores de condutividade térmica para diversos materiais de construção.

7.4 Resistência térmica

A resistência térmica (R) de um material é sua propriedade em resistir à passagem do calor. Quanto maior a espessura de um material, maior será a resistência que esse material oferece à passagem do calor. Analogamente, quanto maior for a condutividade térmica (λ) de um material, maior será a quantidade de calor transferida entre as suas superfícies e, conseqüentemente, menor será a sua resistência térmica. Desta forma, a equação que determina a resistência térmica é:

Equação 7-1: Resistência térmica

$$R = \frac{L}{\lambda} \quad [\text{m}^2\text{K} / \text{W}]$$

onde:

R = resistência térmica do material (m² K/W);

L = espessura do material (m);

λ = condutividade térmica do material (W/m K).

A resistência térmica de um material homogêneo é calculada simplesmente pela equação acima. O valor da espessura do material é um dado de projeto e sua condutividade térmica pode ser obtida pela tabela do Apêndice 4 após sua especificação.

Como exemplo, uma telha de barro (material homogêneo, Figura 7-17) tem a seguinte resistência térmica:

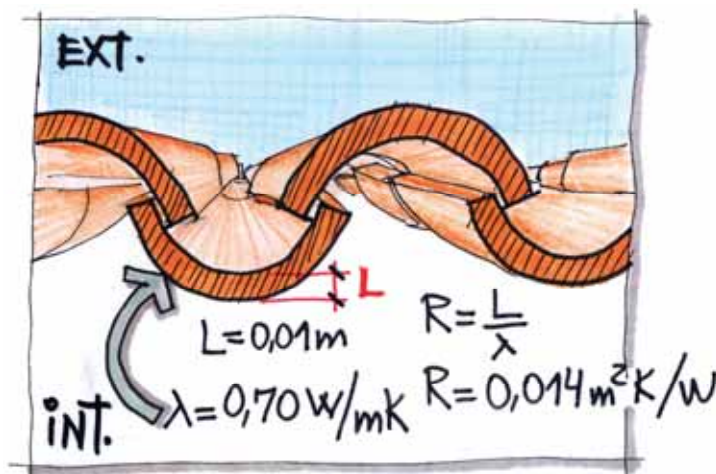


Figura 7-17: Resistência térmica de uma telha de barro

$L = 0,01$ m (espessura da telha em metros);

$\lambda = 0,70$ W/m K (obtido da Tabela 10-1, Apêndice 4);

$$R = L/\lambda = 0,01 \div 0,70 = 0,014 \text{ m}^2\text{K/W}$$

A resistência térmica de um material heterogêneo é calculada pela soma das resistências térmicas de cada elemento componente desse material. Esta soma pode ser feita em série ou em paralelo, conforme for a estruturação das camadas do material.

Como exemplo de resistências térmicas associadas em série tem-se uma laje de concreto maciço encimada por contrapiso de argamassa e carpete. Sua resistência térmica total será a simples soma das resistências térmicas de cada elemento constituinte deste piso, conforme abaixo:

$L_{\text{LAJE DE CONCRETO}} = 0,10$ m (espessura da laje em metros);

$\lambda_{\text{LAJE DE CONCRETO}} = 1,75$ W/m K (concreto normal, obtido da Tabela 10-1, Apêndice 4);

$L_{\text{CONTRAPISO}} = 0,02$ m (espessura do contrapiso de argamassa em metros);

$\lambda_{\text{CONTRAPISO}} = 1,15$ W/m K (argamassa comum com densidade de 1.800 kg/m^3);

$L_{\text{CARPETE}} = 0,01$ m (espessura do carpete em metros);

$\lambda_{\text{CARPETE}} = 0,40$ W/m K (poliamidas e poliésteres);

$$R_{\text{LAJE DE CONCRETO}} = L/\lambda = 0,10 \div 1,75 = 0,057 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{CONTRAPISO}} = L/\lambda = 0,02 \div 1,15 = 0,017 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{CARPETE}} = L/\lambda = 0,01 \div 0,40 = 0,025 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{FINAL}} = 0,057 + 0,017 + 0,025 = 0,099 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Como exemplo de associação em paralelo, pode-se calcular a resistência térmica de uma parede de tijolo maciço com reboco interno e externo (material heterogêneo, Figura 7-18).

No caso da camada interna da parede, constituída de tijolo maciço e argamassa de assentamento, a resistência térmica foi calculada segundo a fórmula abaixo:

Equação 7-2: Resistência térmica de camadas heterogêneas (associação em paralelo)

$$RT = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}}$$

onde:

$A_a, A_b, \dots, A_n$ = área do elemento, transversal ao sentido do fluxo de calor (m^2);

$R_a, R_b, \dots, R_n$ = resistência térmica do elemento (m^2K/W).

7.4.1 Resistência Térmica Superficial

A resistência térmica superficial traduz os efeitos das trocas de calor por radiação e convecção entre a superfície do material sob análise e o meio que o circunda. Quando a superfície considerada está limitando o material e o meio exterior, a resistência superficial considerada é a EXTERNA. Analogamente, quando a superfície limita o material e o meio interior, a resistência superficial é INTERNA.

Supondo a temperatura do meio exterior maior que a do meio interior, a superfície externa do fechamento irá receber calor do meio por convecção e radiação, caracterizando a primeira fase da transmissão de calor. Haverá o incremento da temperatura desta superfície, em uma proporção que dependerá da sua resistência superficial externa (R_{SE}). O valor de R_{SE} é uma função da velocidade do vento e, de forma simplificada, é adotado 0,04 [m^2K/W] (ABNT 2005).

Na fase final do processo de transmissão de calor, quando este já atravessou o material e está prestes a penetrar no ambiente interno, as trocas térmicas entre a superfície do material limítrofe entre ele e o ar interno acontecem por convecção e por radiação. Com a chegada do calor, a temperatura da superfície interna do fechamento irá aumentar em relação à temperatura do ar. As perdas de calor por convecção dependerão da resistência superficial interna do fechamento (R_{SI}) e as perdas por radiação, da emissividade superficial do material (ϵ). O valor de R_{SI} pode ser obtido da Tabela 7-3 (ABNT 2005).

Tabela 7-3: Resistência térmica superficial

R_{SI} [$m^2 K/W$]			R_{SE} [$m^2 K/W$]		
DIREÇÃO DO FLUXO DE CALOR			DIREÇÃO DO FLUXO DE CALOR		
					
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Na tabela, considera-se fluxo de calor na direção horizontal em paredes e na direção vertical em coberturas, sendo ascendente quando o exterior está mais frio que o interior (situação típica do inverno) e descendente quando o exterior está mais quente (típico do verão). Nota-se também que o valor de R_{SE} é constante e independente da direção do fluxo de calor.

Para se achar a resistência térmica total de uma parede de tijolos maciços rebocada se devem acrescentar os valores da R_{SE} e da R_{SI} no total obtido, então:

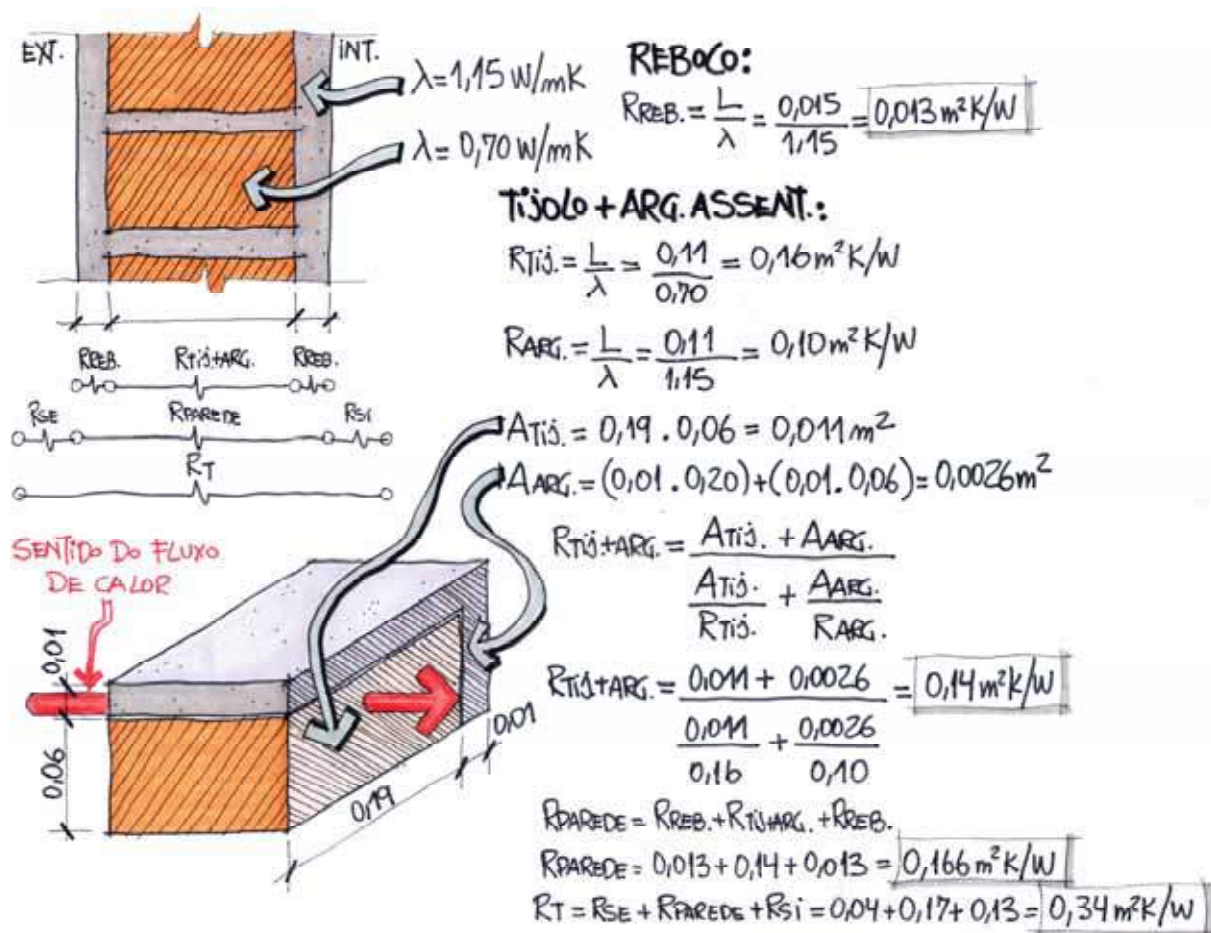


Figura 7-18: Resistência térmica de uma parede de tijolo maciço rebocada

7.4.2 Resistência térmica de câmaras de ar

Podem-se reduzir consideravelmente as trocas de calor em um fechamento opaco (parede, piso ou cobertura, por exemplo) empregando materiais com condutividades mais baixas ou até construindo fechamentos com múltiplas camadas, podendo uma das quais ser uma câmara de ar. Dentro da câmara as trocas térmicas são por convecção e radiação, ao invés de por condução. A convecção depende da inclinação do fechamento e da direção do fluxo.

A troca térmica por radiação depende da emissividade da superfície do material em contato com a camada de ar (ϵ , conforme Tabela 7-1).

A resistência de uma câmara de ar pode ser obtida na Tabela 7-4:

Se no exemplo dado anteriormente acrescentássemos uma câmara de ar com cinco centímetros de espessura no centro da parede, fazendo duas camadas de tijolos maciços com mesma espessura da camada da parede anterior (Figura 7-19), a resistência térmica resultante seria:

Tabela 7-4: Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura da câmara de ar (mm)	Resistência térmica do ar R_{AR} (m ² K/W)		
		DIREÇÃO DO FLUXO DE CALOR		
				
Superfície não refletora (caso geral) $\epsilon > 0,8$	10 – 20	0,14	0,13	0,15
	20 – 50	0,16	0,14	0,18
	> 50	0,17	0,14	0,21
Uma superfície refletora $\epsilon > 0,2$	10 – 20	0,29	0,23	0,29
	20 – 50	0,37	0,25	0,43
	> 50	0,34	0,27	0,61

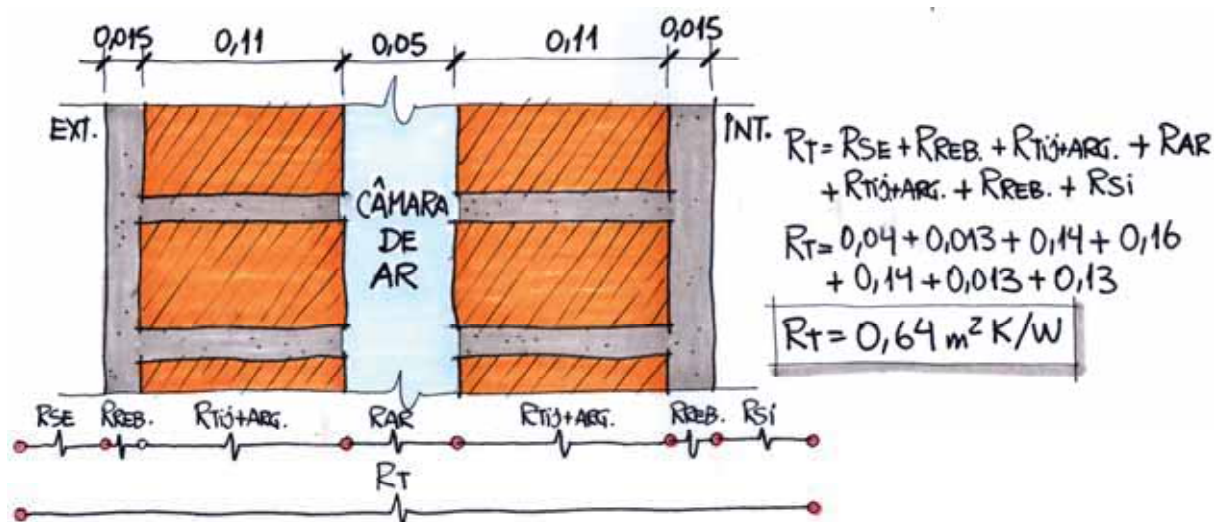


Figura 7-19: Resistência térmica de uma parede dupla com câmara de ar

Se na câmara de ar for acrescentada uma manta de alumínio polido na face da camada de tijolos exterior, a resistência térmica total passará a ser como na Figura 7-20.

E se, ao invés da manta de alumínio polido, fosse adicionada camada de isolante térmico de cinco centímetros de espessura (lã de rocha, por exemplo), a resistência térmica total seria conforme a Figura 7-21.

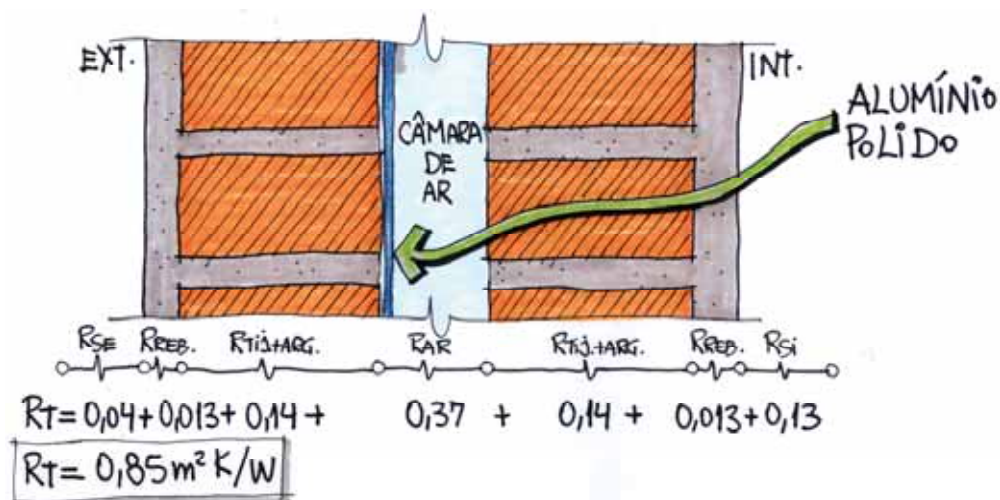


Figura 7-20: Resistência térmica de uma parede com câmara de ar e lâmina de alumínio polido

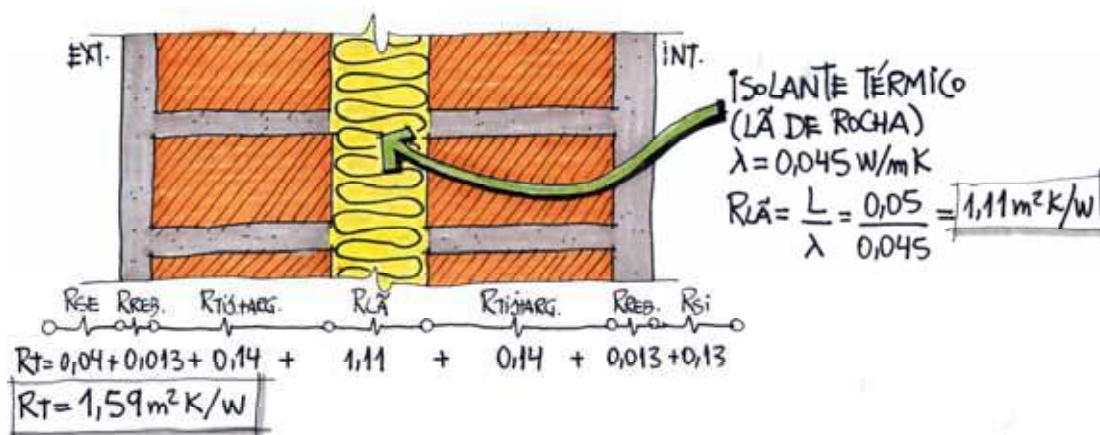


Figura 7-21: Resistência térmica de uma parede com isolamento térmico de lã de rocha

7.5 Transmitância térmica

Em uma edificação, as trocas de energia (luz ou calor) entre os meios exterior e interior têm como cerne o envelope construtivo, que envolve o ser humano. No estudo desse “envelope” devem ser considerados, simultaneamente, todos os fatores que intervêm no problema. Um deles é a radiação solar, diante da qual os materiais de construção se comportam de modo distinto. É, portanto, conveniente distinguir o envelope construtivo em duas partes: os fechamentos **OPACOS** e os **TRANSPARENTES**. A principal diferença entre os dois é justamente sua capacidade (transparentes) ou incapacidade (opacos) de transmitir a radiação solar para o ambiente interno.

Cada uma das camadas de um fechamento tem uma resistência térmica distinta, como já foi visto anteriormente. O inverso da resistência total do fechamento (que inclui a resistência das duas superfícies: R_{se} e R_{si}) é a sua transmitância térmica (U), conforme a Equação 7-3. A transmitância térmica é a variável mais importante para avaliação do desempenho de fechamentos opacos. Através desta variável se pode avaliar o comportamento de um fechamento opaco frente à transmissão de calor, tendo subsídios inclusive para comparar diversas opções de fechamentos.

Equação 7-3: Transmitância térmica

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [W/m^2K]$$

No exemplo estudado mais acima, a transmitância térmica da parede rebocada original de tijolo maciço (ainda sem câmara de ar ou isolamento térmico) será de:

$$U = \frac{1}{R_T} \rightarrow U_T = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,34} = 2,94 \text{ W/m}^2K$$

Fazendo o cálculo das transmitâncias térmicas para todas as alternativas estudadas acima, tem-se:

Tabela 7-5: Resistências e transmitâncias térmicas das soluções construtivas exemplificadas

	PAREDE	COM CÂMARA DE AR	COM ALUMÍNIO	COM LÃ DE ROCHA
R [m ² K/W]	0,34	0,64	0,85	1,59
U [W/m ² K]	2,94	1,56	1,17	0,63

A Tabela 7-6 apresenta a transmitância térmica para alguns dos principais fechamentos utilizados na construção civil no Brasil.

A Tabela 10-2 do apêndice 4 apresenta de forma mais completa os valores de transmitância térmica para os principais fechamentos utilizados no Brasil (Ghisi 1994 e ABNT 2005b).

7.6 Densidade de Fluxo de Calor

O objetivo principal de um arquiteto na especificação de um tipo de fechamento é evitar as perdas de calor excessivas no inverno e também os ganhos elevados no verão. No inverno, considerando a temperatura interior maior que a exterior, pode-se dizer que o fluxo de calor total por um fechamento é equacionado por:

Equação 7-4: Densidade de fluxo de calor

$$q = U \cdot \Delta t$$

onde: q = densidade de fluxo de calor (W/m²);

U = transmitância térmica (W/m² K);

Δt = diferença entre as temperaturas interior e exterior (K).

Tabela 7-6: Transmitância térmica para alguns fechamentos utilizados na construção civil

Elemento	Tipo	U (W/m ² K)
Paredes	Tijolo. 6 furos esp. 12,5cm	2,39
	Tijolo. 6 furos esp. 17cm (deitado)	2,08
	Tijolo. 8 furos rebocado 12,5cm	2,49
	Tijolo. 4 furos rebocado 12,5cm	2,59
	Tijolo. maciço aparente 9cm	4,04
	Tijolo maciço rebocado 12cm	3,57
	Tijolo maciço rebocado 26cm	2,45
Janelas	Vidro comum 3mm	5,79
Coberturas	Laje concreto 10cm + fibrocimento	
	verão - não ventilado	2,04
	verão - bem ventilado	2,04
	inverno - não ventilado	2,86
	inverno - bem ventilado	3,89
	Laje concreto 10cm + cerâmica	
	verão - não ventilado	2,04
	verão - bem ventilado	2,04
	inverno - não ventilado	2,87
	inverno - bem ventilado	3,89
	Forro pinus 1cm + fibrocimento	
	verão - não ventilado	2,00
	verão - bem ventilado	2,00
	inverno - não ventilado	2,79
	inverno - bem ventilado	3,75
	Forro pinus 1cm + cerâmica	
	verão - não ventilado	2,01
	verão - bem ventilado	2,01
	inverno - não ventilado	2,79
	inverno - bem ventilado	3,75
	Forro pinus 1cm + fibrocimento + alumínio polido	
	Verão - não ventilado	1,11
	Verão - bem ventilado	1,11
	Inverno - não ventilado	2,04
	Inverno - bem ventilado	3,75

7.7 Temperatura SOL-AR

Caso haja incidência de sol direto no fechamento, a temperatura da superfície externa do mesmo pode crescer a valores muito acima dos da temperatura do ar. Para compensar isso, acrescenta-se na equação da densidade de fluxo de calor a Temperatura Sol-Ar ($t_{\text{SOL-AR}}$), que é uma função da quantidade de radiação solar incidente na superfície e da cor da superfície, visto que superfícies mais claras absorverão menor quantidade de radiação solar que superfícies mais escuras. O equacionamento da densidade de fluxo de calor passa a ser (Szokolay 1987):

Equação 7-5: Temperatura SOL-AR

$$q = U \cdot (t_{\text{SOL-AR}} + t_{\text{EXT}} - t_{\text{INT}}) \quad \text{e} \quad t_{\text{SOL-AR}} = \alpha \cdot I \cdot R_{\text{SE}}$$

onde: α = absortividade da superfície externa do fechamento (Tabela 7-1);

I = radiação solar (W/m^2);

R_{SE} = resistência superficial externa ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$, Tabela 7-3);

A radiação solar é uma função da orientação do fechamento, da latitude do local do projeto, do dia do ano e da hora do dia, e pode ser obtida em tabelas com valores para céu claro (Frota e Schiffer 1988). Também pode ser obtida a partir do Ano Climático de Referência (TRY) (Goulart e outros 1997), desde que este contenha valores de radiação ou uma estimativa da radiação solar horária na superfície horizontal feita a partir da nebulosidade. Neste caso a conversão dos valores de radiação para a superfície horizontal em valores corrigidos para a vertical pode ser feita através de algoritmos como os descritos por Duffie e Beckman (1991).

7.8 Fluxo de Calor

Uma vez obtida a densidade de fluxo de calor (q) de um determinado material, pode-se calcular o fluxo de calor que atravessa certa área desse mesmo material. O fluxo de calor representa a quantidade de energia térmica em watts que atravessa um fechamento de um ambiente e é dado por:

Equação 7-6: Fluxo de calor

$$Q = q \cdot A$$

onde: q = densidade de fluxo de calor (W/m^2);

A = área do fechamento em questão (m^2).

Para cada um dos materiais dos exemplos acima, foram calculados, como exemplo, a densidade de fluxo de calor (q) e o fluxo de calor (Q) para a seguinte situação:

- área de parede externa = 15 m^2 ;
- orientação = NORTE;
- insolação na parede = parede sombreada, ou seja, não é necessária a compensação da temperatura externa com a temperatura SOL-AR;
- Horário = 12h de um dia de verão;
- Temperatura externa = 32°C ;
- Temperatura interna = 23°C ;
- local = Florianópolis/SC, radiação solar incidente $179\text{W}/\text{m}^2$.

Os resultados encontram-se na Tabela 7-7.

Tabela 7-7: Densidade de fluxo de calor e fluxo de calor de uma parede norte

	PAREDE	COM CÂMARA DE AR	COM ALUMÍNIO	COM LÃ DE ROCHA
q [W/m ²]	26,46	14,04	10,53	5,67
Q [W]	396,9	210,6	157,9	85,0

Percebe-se na Tabela 7-7 que o fluxo de calor é decrescente conforme se acrescenta a câmara de ar, a superfície de alumínio polido dentro da câmara e, depois, altera-se a configuração colocando isolamento térmico (lã de rocha) no interior da parede. O fluxo de calor desta última alternativa (parede com isolamento térmico) é quatro vezes menor que o da parede simples.

Exercício semelhante pode ser feito para a mesma parede orientada para oeste, com duas alternativas de pintura (escura e clara) e recebendo sol direto. A situação então é a seguinte (Figura 7-22):

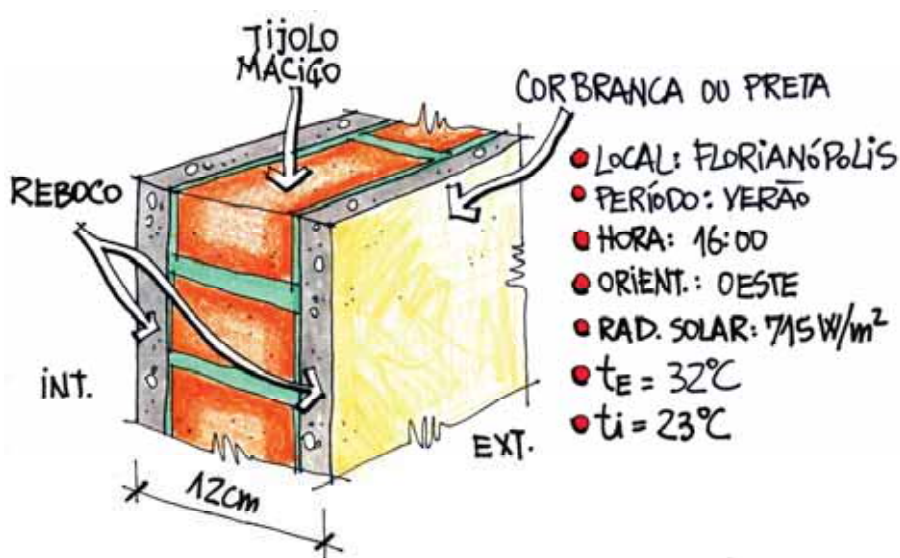


Figura 7-22: Parede do exercício, orientada a oeste, Florianópolis

- área de parede externa = 15 m²;
- orientação = OESTE;
- insolação na parede = parede ensolarada, é necessária a compensação da temperatura externa com a temperatura SOL-AR;
- Horário = 16h de um dia de verão;
- Temperatura externa = 32 °C;
- Temperatura interna = 23 °C;
- local = Florianópolis/SC, radiação solar incidente 715 W/m²;
- cor preta ($\alpha = 0,97$) e cor branca ($\alpha = 0,20$).

Os resultados obtidos para todos os tipos de paredes encontram-se na Tabela 7-8.

Tabela 7-8: Densidade de fluxo de calor e fluxo de calor de uma parede oeste com duas alternativas de cor externa: preta ou branca

PAREDE BRANCA ($\alpha = 0,20$) ($T_{\text{SOL-AR}} = 5,72^{\circ}\text{C}$)		COM CÂMARA DE AR	COM ALUMÍNIO	COM LÃ DE ROCHA
q [W/m^2]	43,28	22,96	17,22	9,27
Q [W]	649,2	344,4	258,3	139,0
PAREDE PRETA ($\alpha = 0,97$) ($T_{\text{SOL-AR}} = 27,74^{\circ}\text{C}$)		COM CÂMARA DE AR	COM ALUMÍNIO	COM LÃ DE ROCHA
q [W/m^2]	108,01	57,31	42,98	23,15
Q [W]	1620,15	859,6	644,7	347,25

7.9 Capacidade térmica

A capacidade térmica é outra propriedade dos materiais construtivos e indica sua maior ou menor capacidade em reter calor. Um material de grande capacidade térmica necessita de uma grande quantidade de calor para variar de um grau de temperatura seus componentes por unidade de área. Através da obtenção do valor de capacidade térmica se pode avaliar o quanto um determinado material pode contribuir em termos de inércia térmica para um ambiente.

O cálculo da capacidade térmica é através da equação abaixo:

Equação 7-7: Capacidade térmica

$$C_{\text{Ta}} = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_1 + (e \cdot c \cdot \rho)_2 + \dots + (e \cdot c \cdot \rho)_n \quad [\text{kJ}/\text{m}^2 \text{K}]$$

onde: e = espessura do elemento (no sentido transversal ao fluxo de calor) [m];

c = calor específico do elemento [$\text{kJ}/\text{kg K}$];

ρ = densidade do elemento [kg/m^3];

n = número de camadas de elementos.

Os valores do calor específico e da densidade do elemento construtivo podem ser obtidos diretamente da Tabela 10-1 do Apêndice 4.

Como exemplo, pode-se comparar a capacidade térmica das soluções construtivas empregadas nos exercícios anteriores. A parede de tijolo maciço rebocado teria, então, uma capacidade térmica conforme a Figura 7-23.

O acréscimo da câmara de ar quase não influi neste valor, adicionando meros $0,1 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$ no valor total da capacidade térmica do fechamento, que passa a ser $155,3 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$.

De forma similar, o acréscimo do alumínio ou da lã de rocha também não influi na capacidade térmica do material, resultando em valores pouco maiores: 157,6 e 155,9 kJ/m²K respectivamente.

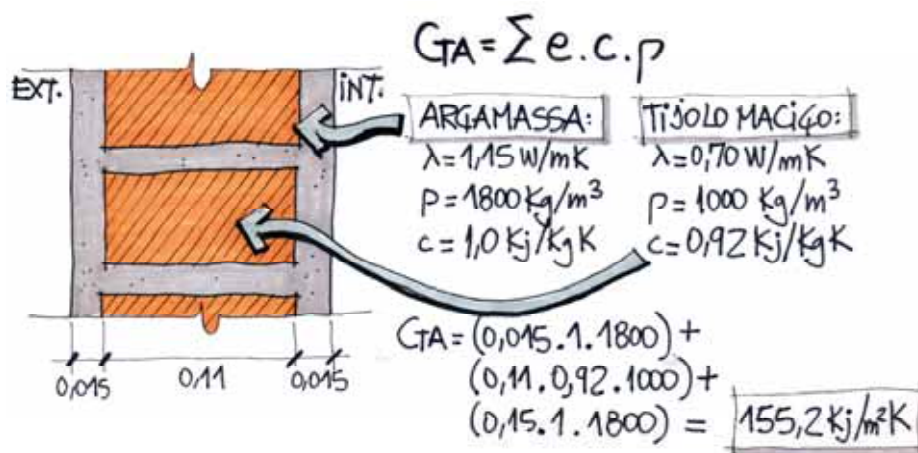


Figura 7-23: Capacidade térmica da parede de tijolo maciço rebocado

7.10 Fator Solar

Para se conhecer a quantidade de calor que penetra em um ambiente através de uma janela ou sistema de abertura (janela com brise ou cortina, por exemplo) é importante conhecer o conceito de fator solar (F_s).

O fator solar de uma abertura pode ser entendido como a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela pelo que nela incide. Este valor é característico para cada tipo de abertura e varia com o ângulo de incidência da radiação solar. Para o vidro simples, com a incidência direta da radiação solar normal à superfície, o fator solar é aproximadamente 0,87 (ASHRAE 1993). Isto significa que 87% da radiação solar incidente sobre a janela com vidro simples e sem proteção penetra no interior. A maior parte da radiação incidente no vidro é transmitida diretamente ao interior, somando-se a 25% da parcela da radiação absorvida pelo vidro, que é emitida para o interior, conforme a Figura 7-24 (Dutra 1994).

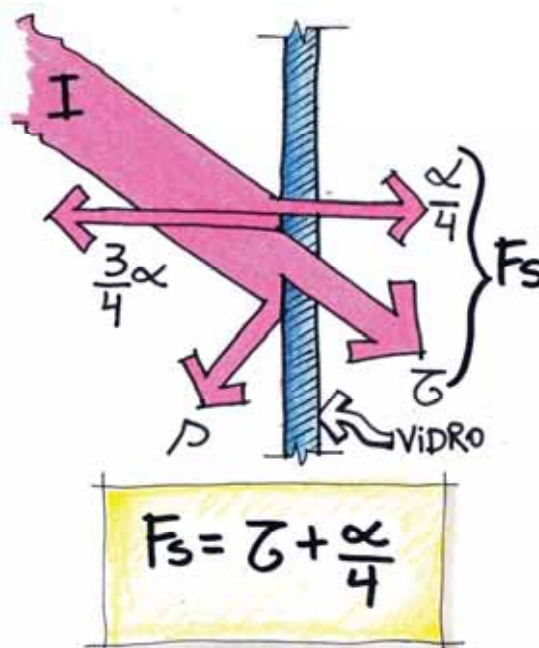


Figura 7-24: Fator solar

O fator solar de uma abertura é utilizado para se calcular a densidade de fluxo de calor através dela (q) e, basicamente, adiciona ao cálculo anteriormente visto a parcela referente à parte da radiação solar transmitida diretamente ao interior, função da transmissividade do elemento transparente (τ). A equação da densidade de fluxo de calor para materiais transparentes é, então:

Equação 7-8: densidade de fluxo de calor para materiais transparentes

$$q = \{U \cdot [t_{EXT} + (\alpha \cdot I \cdot R_{SE}) - t_{INT}]\} + (\tau \cdot I)$$

onde: U = transmitância térmica do vidro (W/m^2K);

t_{EXT} = temperatura do ambiente exterior ($^{\circ}C$);

α = absorptividade da superfície externa do fechamento;

I = radiação solar incidente no fechamento (W);

R_{SE} = resistência superficial externa ($0,04 m^2K/W$, Tabela 7-3);

t_{INT} = temperatura do ambiente interior ($^{\circ}C$);

τ = transmissividade do vidro.

O fator solar é a relação entre a quantidade de radiação solar que atravessa a janela e a que incide sobre a mesma, ou seja:

Equação 7-9: Fator solar

$$F_S = \tau + (U \cdot \alpha \cdot R_{SE})$$

Simplificando a equação da densidade de fluxo de calor, tem-se então que:

Equação 7-10: densidade de fluxo de calor para materiais transparentes

$$q = U \cdot (t_{EXT} - t_{INT}) + F_S \cdot I \quad \text{ou} \quad q = U \cdot \Delta t + F_S \cdot I$$

Utilizando sistemas de aberturas com fatores solares baixos se está controlando a entrada de calor para o interior. Deve-se ponderar a iluminação natural nestes casos, que não pode ser reduzida na mesma proporção da entrada de calor. Outras formas de aproveitamento da luz natural podem ser utilizadas (zenitais ou indiretas) ou mesmo empregar algum tipo de proteção que bloqueie o calor, mas permita o ingresso da luz (vidro especial, brise tipo prateleira de luz, entre outros). Na Tabela 7-9 e na Tabela 7-10 são apresentados os fatores solares para alguns tipos de vidro e proteções solares externas e internas mais comuns, respectivamente.

Em relação à tabela:

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

★★ Com vidro duplo, branca e a razão largura/espacamento = 1,0.

★★★ Toda a abertura está sombreada

Os valores das tabelas são apenas para referência. Devido à grande evolução na tecnologia de vidros e à diversidade de tratamentos óticos possíveis (fator solar; transmissividade visível), deve-se consultar os catálogos específicos de cada fabricante.

Tabela 7-9: Valores de Fator Solar (F_s) para aberturas com diferentes superfícies separadoras

Superfícies Separadoras			F_s	Referência
Vidros	Transparente (simples)	3 mm	0,87	ASHRAE (1993)
		6 mm	0,83	ASHRAE (1993)
	Transparente (duplo)	3 mm	0,75	Pereira e Sharples (1991)
	Cinza (fumê)	3 mm	0,72	ASHRAE (1993)
		6 mm	0,60	ASHRAE (1993)
	Verde	3 mm	0,72	Windows and Daylighting Group (1992)
		6 mm	0,60	Windows and Daylighting Group (1992)
	Reflexivo	3 mm	0,26 – 0,37	Windows and Daylighting Group (1992) e Aroztegui (1983)
Películas	Reflexiva		0,25 – 0,50	ASHRAE (1993)
	Absorvente		0,40 – 0,50	Aroztegui (1983)
Acrílico	Claro		0,85	ASHRAE (1993)
	Cinza ou Bronze		0,64	ASHRAE (1993)
	Refletido		0,18	ASHRAE (1993)
Policarbonato	Claro		0,85	ASHRAE (1993)
	Cinza ou Bronze		0,64	ASHRAE (1993)
Domos	Claro		0,70	ASHRAE (1993)
	Translúcido		0,40	ASHRAE (1993)
Tijolo de Vidro			0,56	ASHRAE (1993)

Tabela 7-10: Valores de Fator Solar (F_s) para aberturas com diferentes proteções solares

Proteções Solares			F_s	Referência
Internas	Cortina translúcida		0,50 – 0,75	ASHRAE (1993), Shukuya e Kimura (1987) e Aroztegui (1983)
	Cortina semitranslúcida		0,40 – 0,60	Shukuya e Kimura (1987) e Aroztegui (1983)
	Cortina opaca		0,35 – 0,60	Shukuya e Kimura (1987) e Aroztegui (1983)
	Persiana inclinada 45°		0,64	ASHRAE (1993)
	Persiana fechada		0,54	ASHRAE (1993)
Externas	Toldo 45° translúcido ***		0,36	Aroztegui (1983)
	Toldo 45° opaco ***		0,20	Aroztegui (1983)
	Venezianas (mad/plast)		0,09	Aroztegui (1983)
	Esteira de madeira		0,09	Aroztegui (1983)
	Venezianas horiz. **		0,19	Pereira e Sharples (1991)
	Brise horizontal ***		0,25	Aroztegui (1983)
	Prateleira de luz espelhada *		0,58	Pereira e Sharples (1991)
	“Tampão” de madeira		0,07	Aroztegui (1983)

Como exemplo de aplicação, pode-se calcular a densidade de fluxo de calor em uma abertura composta de um vidro simples com 3 mm de espessura exposta à seguinte situação:

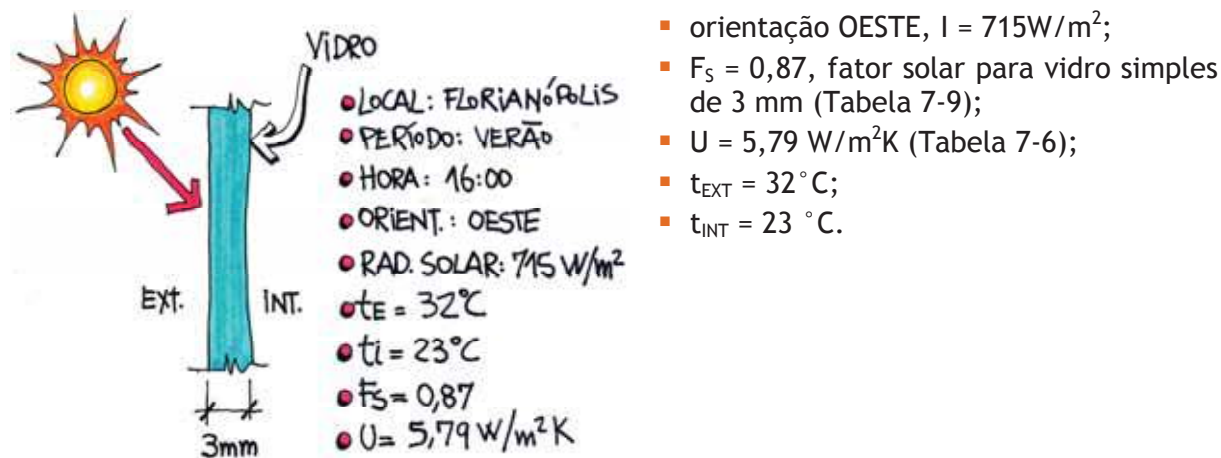


Figura 7-25: Fator solar

O valor da densidade de fluxo de calor que atravessa a abertura por condução é:

$$q_c = U \cdot (t_{\text{EXT}} - t_{\text{INT}}) = 5,79 \times (32 - 23) = 52,11 \text{ W/m}^2$$

E o ganho solar pelo vidro será:

$$q_s = F_s \cdot I = 0,87 \times 715 = 622,05 \text{ W/m}^2$$

E a densidade de fluxo de calor total pela abertura é:

$$q = 52,11 + 622,05 = 674,16 \text{ W/m}^2$$

O valor da densidade de fluxo de calor por condução na abertura é maior que o valor da densidade de fluxo de calor que atravessa a parede simples do exercício anterior, segundo a Tabela 7-7 do item 7.8. Se acrescentarmos nesta comparação os efeitos da radiação solar direta tanto na parede simples quanto na janela, obteremos para a janela um valor de densidade de fluxo de calor mais que seis vezes superior ao da parede simples exposta ao sol e pintada de preto (segundo Tabela 7-8 do item 7.8), que representa a pior situação para a parede (Tabela 7-11).

Tabela 7-11: Comparação entre a densidade do fluxo de calor (“q” em W/m^2) em para uma parede simples e em uma abertura, sem e com a presença de radiação solar direta

	sem sol	com sol
Parede simples pintada de preto	26,46	108,01
Abertura	52,11	674,16

Se na parede simples exposta ao sol ($q = 108,01 \text{ W/m}^2$) com 15 m^2 de área, fosse instalada uma abertura nas condições acima com 2 m^2 de área, o fluxo de calor total do fechamento seria:

$$Q_{\text{PAREDE}} = (q_{\text{PAREDE}} \cdot A_{\text{PAREDE}}) = (108,01 \cdot 13) = 1.404,13\text{W}$$

$$Q_{\text{ABERTURA}} = (q_{\text{ABERTURA}} \cdot A_{\text{ABERTURA}}) = (674,16 \cdot 2) = 1.348,32\text{W}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = Q_{\text{PAREDE}} + Q_{\text{ABERTURA}} = 1404,13 + 1348,32 = 2.752,45\text{W}$$

Percebe-se que, embora a abertura signifique apenas 13% da área total do fechamento, representa praticamente 50% do total de fluxo de calor que entra no ambiente. Desta observação se pode concluir que os fechamentos transparentes são os principais elementos de ganhos ou perdas térmicas em edificações.

REFERÊNCIAS

- ABNT (2005). *NBR 15220-2*, 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.
- ABNT (2005b). *NBR 15220-3*, Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.
- ARÓZTEGUI, J.M. (1983). *Desempenho Térmico de Janelas*. Caderno Técnico, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, Porto Alegre, RS.
- ASHRAE; (1993). *Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, USA.
- BAKER, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K.; (1993). James & James Ltda, London, UK.
- DUFFIE, J. A.; Beckman, W. A.; (1991). *Solar engineering of thermal processes*. 2° ed. John Wiley and Sons, New York, USA.
- DUTRA, L. (1994). *Uma metodologia para a determinação do fator solar desejável em aberturas*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- FROTA, A. B.; Schiffer, S. R.; (1988). *Manual de conforto térmico*. Editora Nobel. São Paulo, SP.
- GHISI, E.; (1994). *Melhoria no conforto térmico de edificações*. Relatório de Bolsa de Iniciação Científica - CNPq, Florianópolis, SC.
- GOULART, S.V.G., Lamberts, R., Firmino, S. (1997). *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*. Núcleo em Pesquisa em Construção/UFSC, Florianópolis.
- KOENIGSBERGER, O. H.; Ingersoll, T. G.; Mayhew, A.; Szokolay, S. V.; (1977). *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Paraninfo S. A., Madrid, Espanha.
- LABAKI, L. C.; Caram, R. M.; (1995). *Os vidros e o conforto ambiental*. in: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado, RS, pp. 215-220.

- OLGYAY, V.; Olgyay, A.; (1976). *Solar control & shading devices*. Princeton University Press, Princeton, USA.
- PEREIRA, F.O.R. & Sharples, S. (1991). *The development of a device for measuring solar heat gain and shading coefficients of windows in scale models*. in: Energy and Buildings, Vol. 17, pp. 271-281.
- SHUKUYA, M. & Kimura, K. (1987). *Passive method to determine shading coefficient using two naturally ventilated and transparent boxes*. in: ASHRAE Transactions, Vol. 93(2), pp. 23-40.
- SZOKOLAY, S. V.; (1987). *Thermal design of buildings*. RAI A Education Division, Red Hill, Austrália.



É importante frisar que
a pesquisa e o desenvolvimento
de novos produtos têm levado
a equipamentos com menor
consumo de energia!

EFICIENTES
EQUIPAMENTOS

sumário

8	EQUIPAMENTOS E SISTEMAS EFICIENTES	231
8.1	Sistemas de Aquecimento de Água	231
8.1.1	Elétrico	231
8.1.2	A Gás	232
8.1.3	Solar	232
8.1.4	A Biomassa (lenha)	232
8.2	Sistemas de Iluminação Artificial	232
8.3	Lâmpadas.....	233
8.3.1	Incandescentes.....	234
8.3.2	Descarga Gasosa	235
8.3.3	Novos Tipos de Lâmpadas	238
8.4	LUMINÁRIAS	241
8.5	REATORES	242
8.6	Controle da Iluminação.....	243
8.7	Climatização Artificial.....	243
8.7.1	Ventilação Mecânica	243
8.7.2	Aquecimento	245
8.7.3	Aquecimento a Biomassa	248
8.7.4	Aquecimento a Gás	249
8.8	Resfriamento.....	249
8.8.1	Ar Condicionado de Janela	249
8.8.2	Mini Centrais de Pequeno Porte ou Split	250
8.8.3	Multisplit	251
8.8.4	Self Contained.....	252
8.8.5	Chiller & Fan-Coil.....	253
	Referências.....	253

CAPÍTULO 8:

8 EQUIPAMENTOS E SISTEMAS EFICIENTES

Um edifício deve ser concebido tendo-se em mente seus principais requisitos relativos à eficiência energética e ao desempenho térmico e visual desejável nos ambientes interiores. Alguns equipamentos e elementos arquitetônicos especificados no projeto podem ter seu desempenho melhor do que o de modelos similares. Com a crescente evolução tecnológica dos sistemas e equipamentos relacionados à construção civil, é importante ao arquiteto ter uma idéia bastante abrangente do que está disponível no mercado e de quais princípios deve seguir para obter o melhor de seu projeto, tanto ambientalmente, quanto economicamente.

Neste capítulo serão estudados equipamentos e sistemas que podem tornar um edifício mais eficiente em termos de consumo de energia e conforto, como aquecimento solar de água, lâmpadas especiais, ar condicionado eficiente e sistemas de controle.

8.1 Sistemas de Aquecimento de Água

O aquecimento de água pode representar uma grande fatia do consumo de eletricidade em edificações. Os sistemas mais comuns são: o chuveiro elétrico; o aquecedor elétrico de passagem; o aquecedor elétrico de acumulação; o aquecedor a gás de passagem; o aquecedor a gás de acumulação, o aquecedor solar de acumulação com backup elétrico ou a gás e o aquecedor a biomassa (lenha) de acumulação.

8.1.1 Elétrico

A grande maioria das residências brasileiras utiliza **CHUVEIRO ELÉTRICO** e o seu consumo representa cerca de um quinto do consumo total da residência (Almeida e outros, 2001). O nível de conforto proporcionado é pequeno, mas é inquestionável o baixo preço desse equipamento e sua facilidade de instalação e manutenção. Entretanto a ausência de instalação de água quente na maioria das casas dificulta a incorporação de outras formas de aquecimento de água. Isto faz com que, à medida que o usuário busque maior conforto, maiores potências sejam instaladas, gerando sérios problemas para a concessionária de energia.

O **SISTEMA DE AQUECIMENTO ELÉTRICO DE PASSAGEM** tem também dimensões compactas, porém exige investimento em tubulações diferenciadas, apresentando também pouca vazão de água e um alto consumo de energia.

Os sistemas de aquecimento elétrico instantâneos (chuveiro elétrico e aquecedor elétrico de passagem) exigem investimentos elevados com infra-estrutura elétrica tanto por parte do usuário quanto por parte da concessionária de energia, respectivamente pela sobrecarga na instalação elétrica e pela concentração do consumo em horários de ponta (normalmente às 19h), que representa um acréscimo considerável na demanda de energia.

Um pouco mais eficientes, os **SISTEMAS DE AQUECIMENTO ELÉTRICO DE ACUMULAÇÃO** apresentam a vantagem de poder disponibilizar a água para uso imediato com boa pressão. Entretanto, da mesma forma que os outros sistemas elétricos, apresentam um alto consumo de energia.

O arquiteto deveria prever a instalação de canalizações para água quente nos projetos, permitindo com isso o emprego de sistemas de aquecimento a gás ou solar. Estas instalações devem ser bem isoladas termicamente, necessidade também presente no depósito de água em sistemas de acumulação.

8.1.2 A Gás

Os **SISTEMAS DE AQUECIMENTO A GÁS DE PASSAGEM** e **DE ACUMULAÇÃO** oferecem melhor pressão que os elétricos. Cuidados devem ser tomados na execução da tubulação para evitar vazamentos de gás.

8.1.3 Solar

O aquecimento solar de água, embora oneroso na instalação, apresenta a grande vantagem de custo zero para aquecimento. Atualmente, o valor investido na instalação deste sistema dá retorno em economia de energia em aproximadamente dois anos e meio de uso para uma família normal e em até menos tempo para grandes edifícios, como edifícios residenciais e hotéis, por exemplo.

O sistema constitui-se basicamente de dois itens, o reservatório térmico (*boiler*) e o coletor solar (placas de aquecimento solar).

Embora o Brasil tenha bastante sol durante todo o ano, o sistema de aquecimento solar possui backup elétrico ou a gás, que pode ser exageradamente acionado caso sua instalação seja feita incorretamente (orientação e inclinação), tornando-o menos eficiente. Dessa forma, as placas coletoras devem ser orientadas para o norte geográfico do local, com inclinação dez graus a mais que ao valor da latitude da cidade, o que maximiza a exposição ao sol do inverno.

A água circula em serpentinas por estas placas, num plano com a cor preta para maximizar a absorção da radiação solar. Um pano de vidro protege o sistema das intempéries e também provoca o “efeito estufa” dentro do coletor, bloqueando a passagem do calor das placas aquecidas (radiação de onda longa) de volta ao exterior.

A circulação de água nesse sistema pode ser por termossifão ou forçada. Como a água quente é mais leve e tende a subir, o ideal é instalar o boiler em altura superior à da instalação das placas coletoras. Caso isso não seja possível por questões de projeto, deve-se utilizar bombeamento elétrico.

No projeto arquitetônico, deve-se considerar a instalação deste sistema, uma vez que as placas devem ser orientadas para o norte com inclinação específica para cada latitude. Em edificações com cobertura plana as placas podem ser estruturadas com elementos adicionais, porém o ideal é integrá-las ao desenho através de superfícies, que façam parte da volumetria do edifício, orientadas para a mesma direção e com mesma inclinação das placas.

O uso do aquecedor solar de água pode ser considerado atributo de uma arquitetura que almeje ser mais sustentável.

8.1.4 A Biomassa (lenha)

O **AQUECEDOR A BIOMASSA DE ACUMULAÇÃO**, baseado na queima de lenha ou de lascas de madeira, oferece baixo custo de geração de calor e também agrega valores de sustentabilidade ao projeto se a lenha for oriunda de manejos renováveis com baixa emissão de CO₂. No projeto deve-se pensar na disponibilidade da lenha no local e na sua armazenagem protegida das intempéries e próxima ao sistema.

8.2 Sistemas de Iluminação Artificial

A luz natural sempre foi a principal fonte de iluminação na arquitetura. Entretanto, após a descoberta da eletricidade e a invenção da lâmpada por Edison, a iluminação artificial se

tornou cada vez mais inseparável da edificação. Sem ela não seriam possíveis os edifícios de grande área construída e muitos pavimentos, onde a luz natural não consegue vencer a profundidade em planta para iluminar alguns ambientes interiores (Figura 8-1).

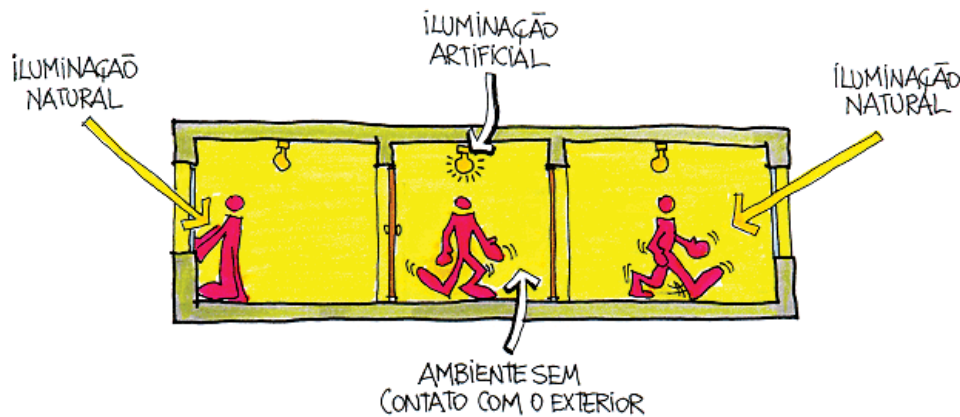


Figura 8-1: Iluminação artificial em espaços enclausurados

A luz artificial também permite ao homem utilizar as edificações à noite para dar continuidade a suas atividades ou se divertir, indo a bares, *shopping centers* ou mesmo lendo um livro. É importante, no entanto, salientar que não é tão simples empregar a luz artificial de forma eficiente. Um bom projeto de iluminação deve garantir às pessoas a possibilidade de executar atividades visuais com o máximo de precisão e segurança e com o menor esforço.

Para aumentar a eficiência energética e a qualidade dos ambientes em uma edificação, deve-se pensar na complementaridade que existe entre a luz artificial e a luz natural. O projetista precisa considerar a integração entre os dois tipos de fontes de luz e, para isso, é fundamental o conhecimento básico tanto da luz natural quanto dos tipos de equipamentos de iluminação a serem utilizados na arquitetura. Uma das principais decisões no projeto de iluminação é a definição dos sistemas artificial e natural. Cada componente desses sistemas (lâmpadas, luminárias, sistemas de controle, janelas, entre outros) tem desempenho e qualidades diferentes, que dependem do tipo de tecnologia empregada na sua fabricação. A eficiência do sistema de iluminação artificial adotado no projeto depende do desempenho particular de todos os elementos envolvidos, bem como da integração feita com o sistema de iluminação natural.

É importante frisar que o arquiteto tem o poder de decisão sobre o sistema de iluminação natural do edifício durante a fase do projeto arquitetônico. Quando especifica janelas, cores e a própria volumetria da edificação, altera o desempenho do sistema de iluminação natural, mesmo quando não está ciente disso. Após a construção do edifício, pouco se pode fazer para explorar a luz natural se o projeto não a considerou como prioritária, a não ser apelar para a instalação de sistemas artificiais. O quinto capítulo deste livro, intitulado "Iluminação Natural", trata com mais detalhes desse assunto.

8.3 Lâmpadas

Atualmente existem diferentes tipos de lâmpadas para as mais diversas aplicações. Para o uso em edificações residenciais e comerciais, no entanto, as lâmpadas elétricas podem ser classificadas em dois grupos básicos:

- irradiação por efeito térmico (incandescentes)
- descarga em gases e vapores (fluorescentes, vapor de mercúrio, de sódio, etc.)

8.3.1 Incandescentes

As lâmpadas incandescentes são as mais comuns. Embora de vida útil bastante curta, seu custo inicial é baixo. Seu princípio de funcionamento é produzir luz pela elevação da temperatura de um filamento, geralmente o tungstênio, ao ser submetido à corrente elétrica. O tamanho reduzido, o funcionamento imediato e a desnecessidade de aparelhagem auxiliar (exceto as lâmpadas halógenas), são algumas das principais vantagens deste tipo de lâmpada. Em contrapartida, a eficiência luminosa é bem baixa nestas lâmpadas. Existe uma elevada dissipação de calor, que se traduz no desperdício de energia. Além disso, deve-se tomar cuidado com a possibilidade de ofuscamento, resultante de sua alta luminância. Empregam-se, em edificações residenciais e comerciais, basicamente três tipos de lâmpadas incandescentes: incandescentes comuns, refletoras (espelhadas) e halógenas.

As Incandescentes comuns (Figura 8-2) são as mais conhecidas e de tecnologia mais antiga. Apresentam-se em bulbos claros ou leitosos. A alta temperatura do filamento causa evaporação do tungstênio, que se deposita no bulbo escurecendo-o e produzindo uma depreciação do fluxo luminoso e duração curta (1.000 horas). Apesar do custo inicial baixo, seu custo global (operação, manutenção e inicial) é alto.

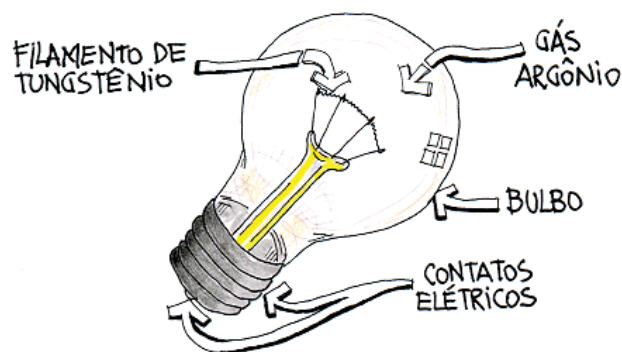


Figura 8-2: Lâmpada incandescente comum

As lâmpadas espelhadas (Figura 8-3) possuem refletor interno para melhorar o direcionamento da luz. A área espelhada funciona como uma luminária, com a vantagem de não necessitar limpeza ou sofrer deterioração. O refletor pode ter um perfil parabólico ou elíptico, sendo este último especialmente importante quando a lâmpada está embutida numa luminária de corpo profundo e aletas anti-ofuscantes. O redirecionamento da luz que, ao contrário seria emitida para os lados ou para cima, pode melhorar a eficiência da instalação.

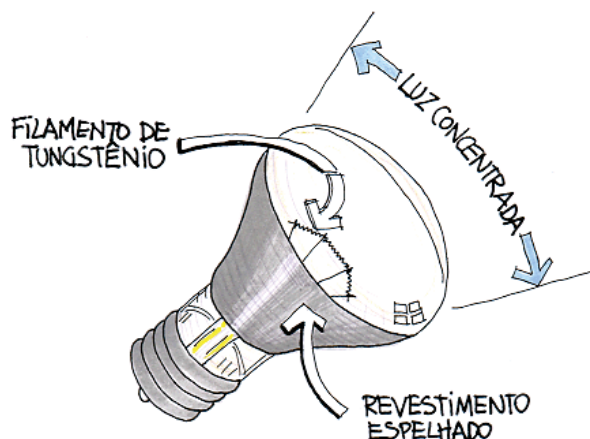


Figura 8-3: Lâmpada incandescente espelhada

As lâmpadas halógenas (Figura 8-4) possuem, além dos gases tradicionais, um halogênio (normalmente iodo) no interior do bulbo. Com a ajuda do bulbo de quartzo, que suporta elevadas temperaturas evitando assim a condensação, o tungstênio evaporado combina-se com o halogênio. Quando em contato com o filamento, o tungstênio da mistura é redepositado no filamento e o halogênio continua sua tarefa no ciclo regenerativo. Estas lâmpadas apresentam um decaimento do fluxo luminoso muito pequeno, uma maior eficiência, vida útil de 2000 horas e dimensões bem reduzidas. Algumas lâmpadas halógenas são equipadas com um refletor multifacetado coberto com uma película dicróica. Trata-se de um filtro químico que reflete grande parte da radiação visível e transmite para trás da lâmpada cerca de 65% da radiação infravermelha (térmica), proporcionando, desta forma, uma luz mais “fria” que aquela obtida com refletores comuns. As lâmpadas halógenas são de 12V e necessitam de transformadores para uso na rede elétrica.

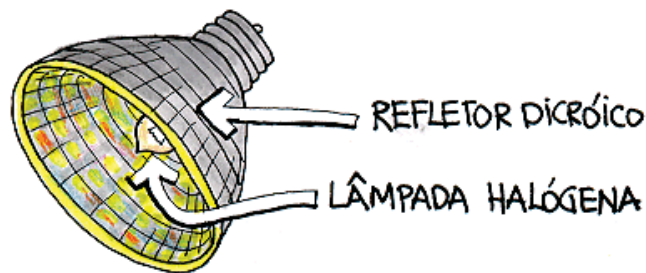


Figura 8-4: Lâmpada halógena e refletor dicróico

8.3.2 Descarga Gasosa

Esta classificação inclui, para as edificações comerciais e residenciais, basicamente as lâmpadas fluorescentes comuns, as compactas e as lâmpadas de vapor de mercúrio. O filamento não existe nas lâmpadas de descarga gasosa. A luz é produzida pela excitação de um gás (pela passagem de energia elétrica) contido entre dois eletrodos. Desta forma é produzida radiação ultravioleta (invisível) que, ao atingir as paredes internas do bulbo (revestida por substância fluorescente, como os cristais de fósforo) é transformada em luz. Devido ao seu princípio de funcionamento, as lâmpadas de descarga gasosa requerem alguns dispositivos auxiliares, como reatores e *starters*.

Uma das desvantagens das lâmpadas de descarga é o efeito estroboscópico que produzem. As lâmpadas piscam na mesma frequência da tensão de alimentação (60 Hz). Um motor cujo eixo gire em velocidade alta (3.600 RPM, por exemplo) pode parecer estar parado e causar algum acidente de trabalho. Por este motivo, em locais onde haja a possibilidade de ocorrer este problema, é recomendado o uso de pelo menos duas lâmpadas ligadas em circuitos diferentes ou com reator duplo, que terão suas piscadas defasadas, evitando o efeito estroboscópico.

Atualmente, a qualidade do gás e do revestimento no interior das lâmpadas tem sido aprimorada, proporcionando grande melhoria na reprodução das cores e na redução no tamanho das lâmpadas. Produtos relativamente novos como o *heater cutout* para reatores magnéticos, que desliga o circuito aquecido depois que a lâmpada liga, e os reatores eletrônicos de alta frequência, são disponíveis e aceitos no mercado, além de ser uma técnica eficiente de economia de energia.

As lâmpadas fluorescentes (Figura 8-5) são geralmente de forma tubular, com um eletrodo em cada ponta, contendo vapor de mercúrio em baixa pressão. O reator tem a finalidade de fornecer alta voltagem inicial para começar a descarga e, rapidamente limitar a corrente para manter a descarga com segurança. A função do *starter* é proporcionar a

tensão necessária para haver a descarga inicial do gás, através de pulsações de corrente, ionizando o caminho da descarga para que a lâmpada passe a operar.

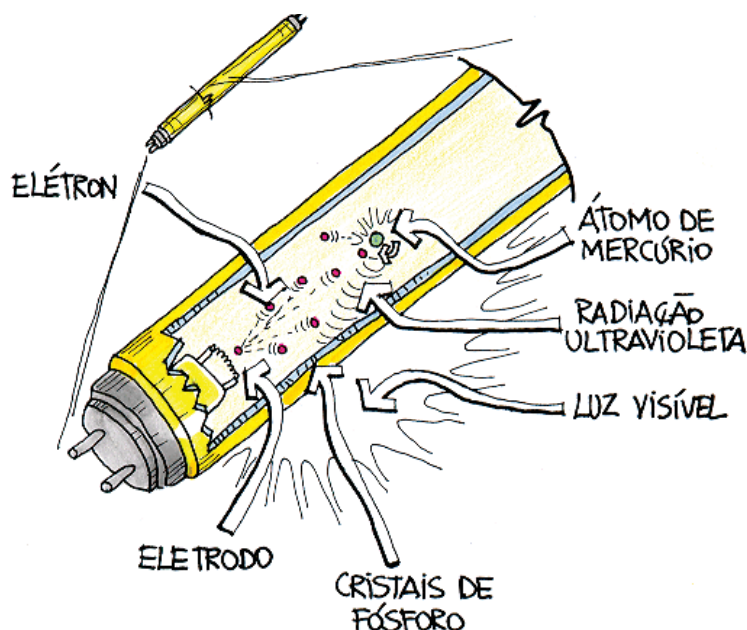


Figura 8-5: Esquema de funcionamento da lâmpada fluorescente

Em geral, as lâmpadas fluorescentes possuem boa eficiência luminosa (quatro a seis vezes maior que as incandescentes) e vida média alta (6.000 a 9.000 horas). O fato de apresentarem baixa luminância é vantajoso, pois reduz a possibilidade de ofuscamento. A fluorescente T8 é mais eficiente por ter menor diâmetro, menor potência (32W) e fluxo luminoso equivalente ao da fluorescente comum (tipo T12) de 40W, sendo boa alternativa para edificações comerciais. Ainda mais eficientes, as novas lâmpadas fluorescentes do tipo T5, cuja potência é da ordem de 28W, apresentam consumo energético da ordem de apenas 70% da T12 para a mesma luminosidade. A vida útil da T5 é o dobro das anteriores, podendo chegar a 16.000 horas. (Figura 8-6).

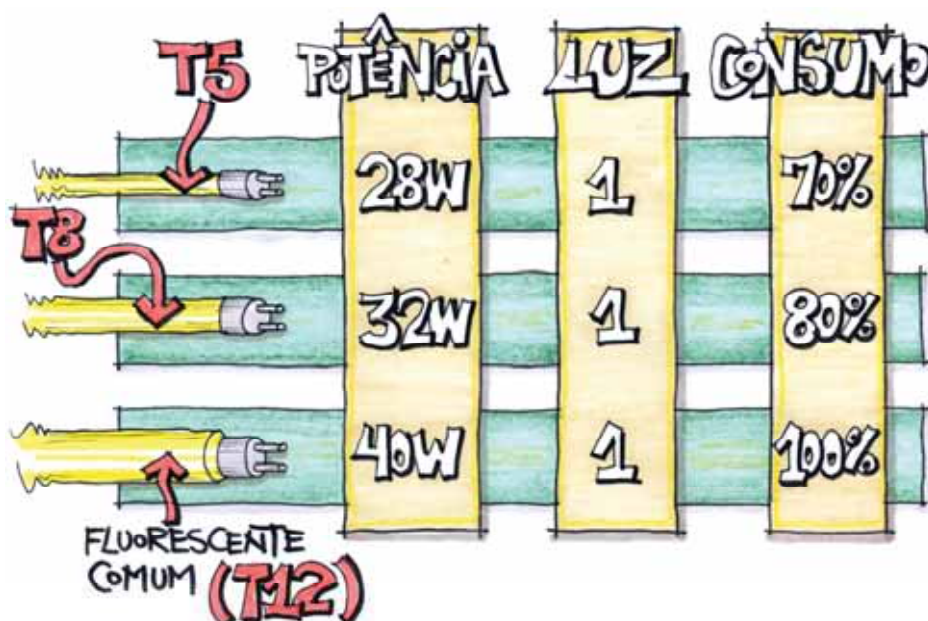


Figura 8-6: Comparação entre as lâmpadas fluorescentes tipos T12, T8 e T5

Outro tipo de lâmpada é a fluorescente compacta (Figura 8-7), que tem sido desenvolvida para uso em diversas situações onde tradicionalmente se utiliza lâmpadas incandescentes. São compostas basicamente de um pequeno bulbo fluorescente, possuindo em alguns modelos os dispositivos de partida (reatores e *starters*) incorporados ao seu invólucro compacto. Atualmente se encontram no mercado quatro tipos básicos de fluorescentes compactas:

- Forma circular com diâmetro padrão (26 mm) com *starter* e reator incorporados;
- Forma compacta com dois ou mais tubos paralelos interconectados, com *starter* e reator incorporados;
- Forma compacta com invólucro adicional com reator e *starter* incorporados;
- Forma compacta com dois ou mais tubos paralelos interconectados sem dispositivos de partida incorporados.

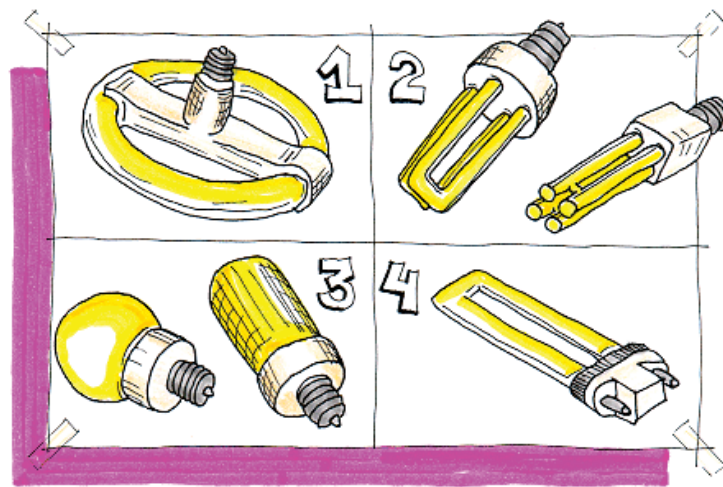


Figura 8-7: Tipos de lâmpadas fluorescentes compactas

Existem lâmpadas fluorescente compactas com reatores magnéticos e com reatores eletrônicos. As lâmpadas com reatores eletrônicos são mais eficientes e apresentam um fator de potência mais elevado.

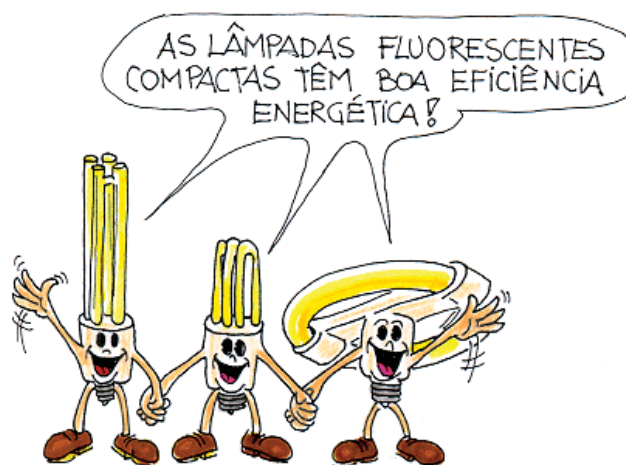


Figura 8-8: eficiência energética das lâmpadas fluorescentes compactas

As lâmpadas a vapor de mercúrio são indicadas para a iluminação de grandes áreas internas (armazéns, depósitos, etc.) ou externas. Têm boa eficiência luminosa (45 a 65 lm/W) e sua luz tem aparência branca-azulada. Nestas lâmpadas, o vapor de mercúrio está submetido à alta pressão no interior de um pequeno tubo (tubo de descarga). Este tubo está contido num bulbo, que ajuda a manter constante a temperatura da lâmpada. Também se pode revestir o bulbo com pó fluorescente para melhorar a qualidade cromática da luz emitida. Como a lâmpada fluorescente, as lâmpadas de vapor de mercúrio (exceto a do tipo mista) exigem aparelhagem auxiliar para funcionamento. Um tipo especial destas lâmpadas é conhecido como luz mista e consiste da lâmpada de bulbo fluorescente com o tubo de descarga ligado em série com um filamento de tungstênio. A radiação das duas fontes mistura-se harmoniosamente, produzindo uma luz branca difusa de cor agradável. O filamento age como reator, dispensando o emprego deste e permitindo que a lâmpada seja ligada diretamente na rede. Isto facilita a modernização de instalações de lâmpadas incandescentes por lâmpadas de luz mista, que têm o dobro de eficiência e são cinco a seis vezes mais duráveis.

As principais vantagens das lâmpadas a vapor de mercúrio são sua duração (entre 6.000 e 9.000 horas), a luminância média (que evita o ofuscamento), o volume pequeno, a boa eficiência luminosa e o fato de serem oferecidas em potências elevadas. Uma lâmpada de mercúrio de 400W tem luminosidade equivalente à de dez lâmpadas fluorescentes de 40W e ocupa espaço bem mais reduzido.

Suas principais desvantagens são a pouca qualidade na reprodução de cores, o custo inicial elevado (que pode ser, no entanto, amortizado pela eficiência e vida útil) e o tempo longo de acendimento (pode levar de quatro a cinco minutos para atingir o fluxo luminoso máximo).

A lâmpada a vapor de sódio pode ser de baixa ou de alta pressão. Na de baixa pressão o tubo de descarga interno contém sódio e uma mistura de gases inertes (neônio e argônio) com os eletrodos nas extremidades. Esta lâmpada caracteriza-se por emitir uma radiação monocromática, centrada no amarelo, elevada eficiência luminosa (160 a 180 lúmens por Watt) e longa vida média. Desta forma, este tipo de lâmpada encontra sua aplicação em grandes espaços externos, onde a reprodução da cor não é necessária e onde o reconhecimento por contrastes é predominante (auto-estradas, vias de tráfego, estacionamentos, pátios de manobras, ...). Na lâmpada a vapor de sódio de alta pressão o tubo de descarga contém um excesso de sódio. Ao contrário das lâmpadas de baixa pressão, a de alta pressão proporciona uma reprodução de cor razoável e apresenta uma eficiência luminosa que pode chegar até 130 lúmens por Watt. Com tonalidade alaranjada agradável, estas lâmpadas têm tido um emprego crescente para todos os tipos de iluminação externa e iluminação industrial de grande altura.

As lâmpadas a vapor de sódio necessitam de aparelhagem auxiliar para operação, o que representa um custo inicial elevado. Leva de cinco a oito minutos para atingir 80% do seu fluxo luminoso máximo e têm duração média notável (6.000 a 9.000 horas).

8.3.3 NOVOS TIPOS DE LÂMPADAS

8.3.3.1 Lâmpada a Microondas

Atualmente as evoluções tecnológicas têm levado ao desenvolvimento de lâmpadas sem eletrodos. Em outubro de 1994 foi apresentada uma nova lâmpada nos Estados Unidos: a lâmpada de microondas (*sulfur microwave lamp*, Figura 8-9), representando uma revolução nas pesquisas de tecnologia de iluminação (Borg 1994).

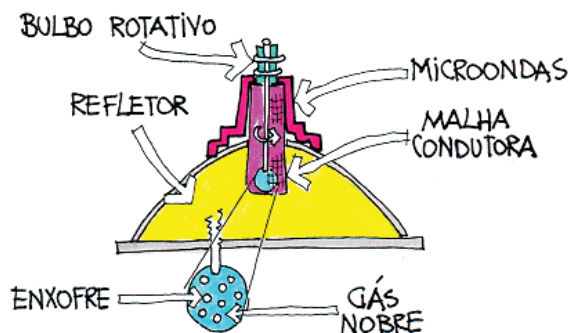


Figura 8-9: Lâmpada a microondas

Esta lâmpada contém uma mistura de gás argônio com enxofre, que é convertida numa espécie de plasma ao ser submetida a microondas (2,45 Ghz), emitindo luz. Sua eficiência luminosa atinge a faixa de 110 lumens/watt (equivalente à eficiência da lâmpada a vapor de sódio de alta pressão) e sua durabilidade atinge 10.000 horas. A luz emitida é de excelente qualidade e tem espectro semelhante ao da luz do sol. Quanto à aplicação, pela sua grande eficiência e pela semelhança à luz do dia, será indicada em iluminação de rua, de armazéns, fábricas, *shoppings centers*, mercados e em teatros.

8.3.3.2 Endura

A lâmpada conhecida como Endura é uma fluorescente de indução, que não utiliza filamentos elétricos. Os filamentos desta lâmpada são substituídos por bobinas eletromagnéticas que excitam as moléculas de mercúrio, vaporizando-o, gerando os raios ultravioletas que fazem a lâmpada acender quando atravessam a camada fluorescente no bulbo tubular. Isso prolonga a vida útil da lâmpada para até 60.000 horas.

8.3.3.3 Leds

Os leds são diodos emissores de luz, muito usados até hoje como mini lâmpadas sinalizadoras em equipamentos de som, computadores, etc. Recentemente, com a descoberta da técnica para emitir luz com maior abundância e com a emissão de luz branca, tornou-se possível a utilização de leds como substitutos das lâmpadas normais, com a vantagem de altíssima vida útil e eficiência energética. Outras vantagens são seu tamanho reduzido, a variedade de cores, a alta resistência a choques e vibrações, a luz dirigida e a pequena dissipação de calor. Sua durabilidade pode atingir até 100.000 horas. Para substituir uma lâmpada tradicional incandescente de 60W, um elemento de led pode consumir muito pouca energia, da ordem de apenas 1W.

Os leds podem substituir com muita eficiência energética as lâmpadas nos próximos anos e alguns pesquisadores afirmam que seu fluxo luminoso deve dobrar a cada ano com as novas técnicas que vêm sendo aplicadas. No Brasil, já existem modelos para iluminação geral, sinalização de emergência, retro-iluminação para letreiros, fecho concentrado, iluminação de destaque, sinalização de degraus, escadas e assentos de cinemas, e substituição de neons.

Existem *dimmers* especiais para controle da luminosidade de leds (de 0 a 100%) e também de sua cor, misturando vermelho, verde e azul, obtendo qualquer cor possível do sistema RGB, somando até 27 milhões de tonalidades diferentes.

A Figura 8-10 mostra a eficiência luminosa de diversos tipos de lâmpadas, podendo servir como orientação para escolha da lâmpada mais adequada para cada situação.

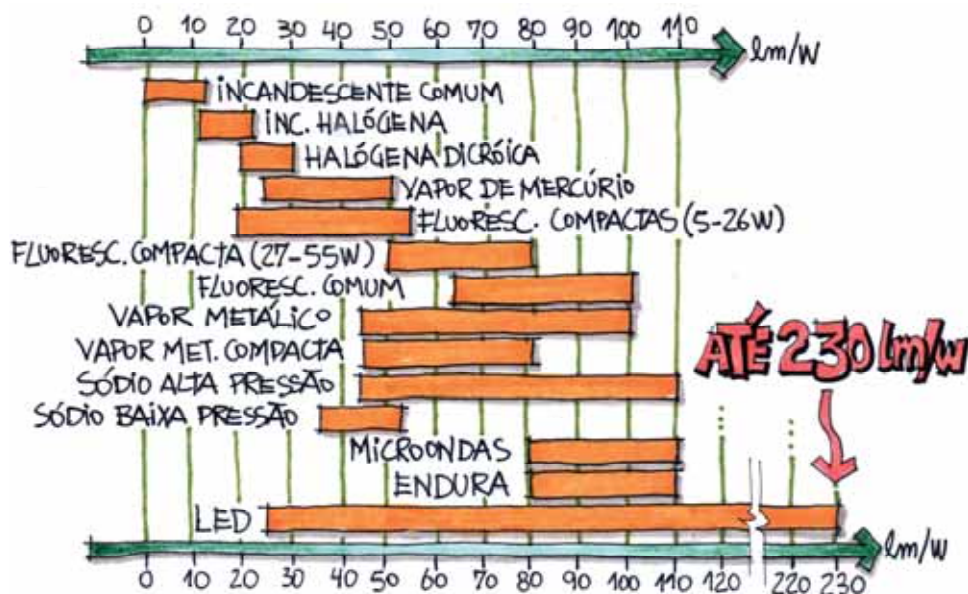


Figura 8-10: Eficiência Luminosa de Lâmpadas

A Figura 8-11 e a Tabela 8-1 apresentam diversos aspectos a serem também considerados na escolha de lâmpadas.

LÂMPADA	RENDIMENTO CROMÁTICO	EFICIÊNCIA LUMINOSA	VIDA MÉDIA	ENERGIA CONSUMIDA	CUSTO INICIAL	CUSTO TOTAL
INCANDESCENTE	😊	😡	😡	😡	😊	😡
INC. HALÓGENA	😊	😡	😡	😡	😊	😡
FLUORESC. T12	😊	😊	😊	😊	😊	😊
FLUOR. T8/T5	😊	😊	😊	😊	😊	😊
LUZ MISTA	😊	😡	😊	😡	😊	😡
VAPOR SÓDIO	😡	😊	😊	😊	😡	😊
MERCÚRIO	😊	😊	😊	😊	😊	😊
MICROONDAS	😊	😊	😊	😊	😡	😊
ENDURA	😊	😊	😊	😊	😡	😊
LED	😊	😊	😊	😊	😡	😊

Figura 8-11: Orientação para comparação e escolha de lâmpadas

Tabela 8-1: Orientação para comparação e escolha de lâmpadas

CARACTERÍSTICA			
Rendim. cromático	BOM	REGULAR	RUIM
Eficiência luminosa	mais de 80 lm/W	50 a 80 lm/W	menos de 50 lm/W
Vida média	mais de 10.000h	de 2.000 a 10.000h	menos de 2.000h
Energia consumida	POUCA	REGULAR	MUITA
Custo inicial	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Custo total	BAIXO	MÉDIO	ALTO

8.4 LUMINÁRIAS

Uma luminária eficiente otimiza o desempenho do sistema de iluminação artificial. Ao avaliar uma luminária, sua eficiência e suas características de emissão são de considerável importância. A eficiência de uma luminária pode ser obtida pela sua fração de emissão de luz (FEL) ou rendimento, dada por (Szokolay 1980).

$$FEL = \frac{\text{luz emitida pela luminária (\%)}}{\text{luz emitida pela lâmpada}}$$

Isto se explica pelo fato de uma parte da luz emitida pela lâmpada ser absorvida pela luminária, enquanto o restante é emitido ao espaço. O valor da fração de emissão da luz da luminária depende dos materiais empregados na sua construção, da refletância das suas superfícies, de sua forma, dos dispositivos usados para proteger as lâmpadas e do seu estado de conservação. Quando se avalia a distribuição da luz a partir da luminária, deve-se considerar como ela controla o brilho, assim como a proporção dos lúmens da lâmpada que chegam ao plano de trabalho. A luminária pode modificar (controlar, distribuir e filtrar) o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas (Figura 8-12): desviá-lo para certas direções (defletores) ou reduzir a quantidade de luz em certas direções para diminuir o ofuscamento (difusores).

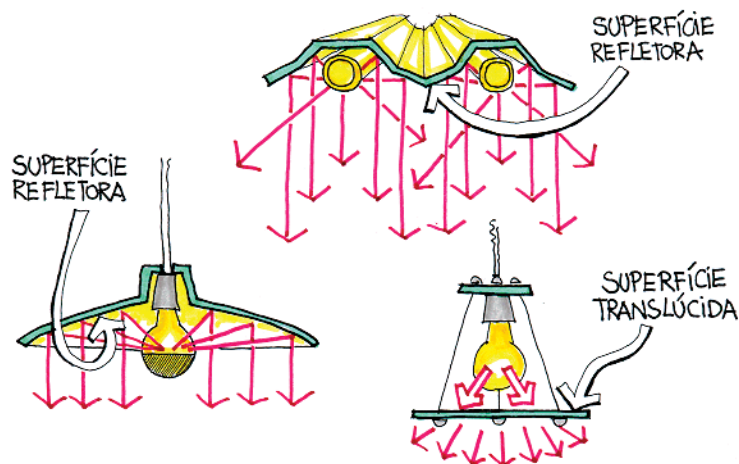


Figura 8-12: Tipos de luminárias

A Figura 8-13 apresenta a classificação proposta pela CIE (*Commission Internationale d'Eclairage*) de luminárias para iluminação geral, de acordo com o direcionamento do fluxo luminoso (Baker e outros 1993).

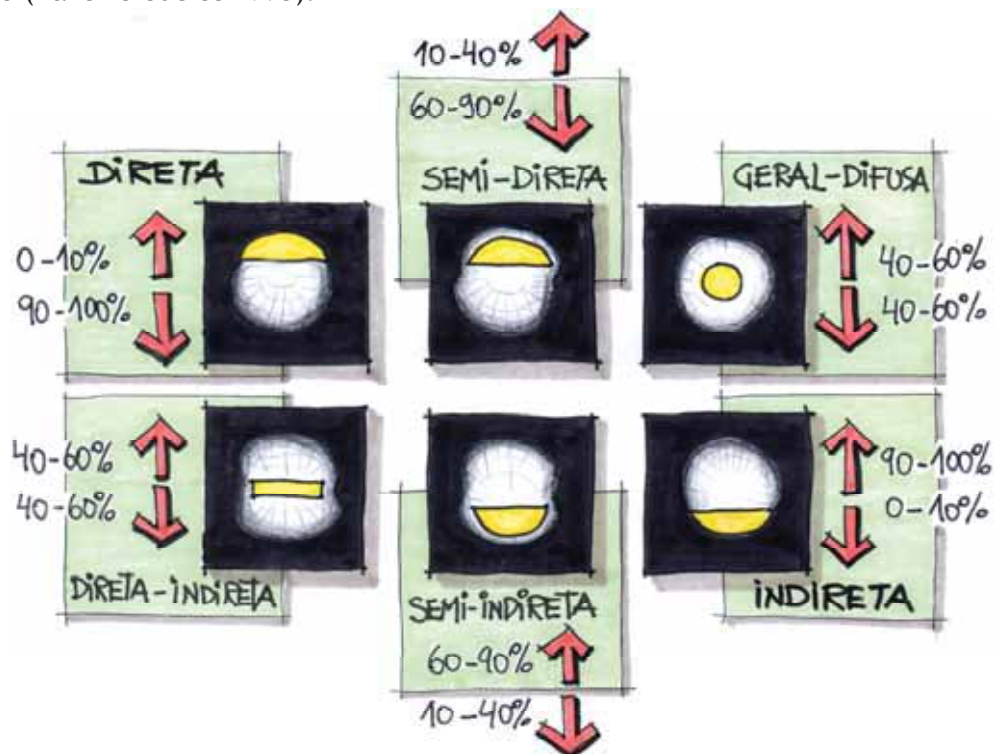


Figura 8-13: Classificação das luminárias conforme a CIE

8.5 REATORES

Outro elemento importante no desempenho de uma lâmpada fluorescente é o reator. Este componente consome uma parcela significativa de energia por aquecimento. Basicamente três modelos existem no mercado: o reator convencional, o reator de partida rápida, e o reator eletrônico. O modelo convencional é utilizado para apenas uma lâmpada e exige algum dispositivo auxiliar para o acendimento da lâmpada (interruptor auxiliar ou starter). A lâmpada atendida por esse reator geralmente pisca por algum tempo antes de acender. O reator de partida rápida (um pouco mais econômico que o convencional) pode acender até duas lâmpadas e não necessita de dispositivo auxiliar para partida. A Tabela 8-2 mostra o consumo de energia para os dois tipos de reator.

Tabela 8-2: Perdas de energia em reatores (W)

LÂMPADA	REATOR	
	CONVENCIONAL	PARTIDA RÁPIDA
1 X 20W	7 – 10	–
2 X 20W	–	16 – 18
1 X 40W	10 – 15	15 – 19
2 X 40W	24	23
2 X 65W	32	–
2 X 110W	–	35

Atualmente também existem no mercado reatores eletrônicos, que são bem mais econômicos que os outros dois modelos. Estes aparelhos possuem perdas reduzidas e até negativas, por funcionarem em altas frequências. Outra vantagem é a possibilidade de utilização de um único reator para até quatro lâmpadas fluorescentes. Hoje em dia, se percebe que a solução mais comum em edifícios ainda é o uso de uma luminária com duas lâmpadas de 40W, que pode ser substituída por uma opção bem mais econômica, uma luminária com duas lâmpadas de 28W (tipo T5) e reator eletrônico. Os consumos comparativos de energia serão:

- 2 x 40W (T12) - reator convencional → consumo de 104W/h (40W + 40W + 24W);
- 2 x 40W (T12) - reator partida rápida → consumo de 103W/h (40W + 40W + 23W);
- 2 x 28W (T5) - reator eletrônico → consumo de 56W/h (28W + 28W).

8.6 Controle da Iluminação

A função de um sistema de controle de luz é fornecer a quantidade adequada de luz onde e quando ela é necessária, enquanto minimiza o consumo de energia elétrica. O controle da luz elétrica pode ser feito através de vários dispositivos. A distribuição racional dos circuitos permitirá acionamentos independentes das luminárias, proporcionando a redução do consumo de energia. O controle pode ser ainda automático, através de sensores de ocupação, sistemas com controle fotoelétrico e sistemas de programação de tempo, como já visto no capítulo 5, nos itens 5.5.1, 5.5.4 e 5.5.5 (Baker e outros 1993).

8.7 Climatização Artificial

Os sistemas artificiais para resfriamento ou aquecimento são estratégias de projeto que, tal como os sistemas naturais, devem ser levadas em consideração desde a decisão sobre o partido arquitetônico a ser adotado. Nem sempre é possível tirar partido apenas dos recursos naturais para promover o conforto térmico dos usuários. Em função do clima local e da própria função a que se destina a arquitetura, é muitas vezes inevitável o uso de sistemas artificiais de climatização como ventiladores, aquecedores e ar condicionado. Em edifícios comerciais e públicos, por exemplo, o uso de climatização ativa é praticamente obrigatório, pois o desconforto pode significar perda de clientes ou baixa produtividade. Por estes motivos é tão importante o arquiteto saber empregar os sistemas artificiais nos seus projetos. Uma vantagem de se ter esta visão é poder usar racionalmente os equipamentos, evitando desperdício de energia. Outro ponto importante é que, conhecendo os diversos tipos de sistemas de climatização existentes no mercado e as características básicas de cada um, o arquiteto pode “falar” uma linguagem comum com os projetistas de cada sistema. Deve-se também entender a diferença conceitual entre ventilação e infiltração. A primeira representa uma exigência nos ambientes interiores, configurando-se como a renovação de ar necessária para os usuários. Ao contrário, a infiltração (ar que penetra por frestas) aparece como um problema para o aquecimento artificial e a refrigeração. O ar infiltrado geralmente está em condições indesejáveis de temperatura e umidade relativa, podendo causar a diminuição da eficiência do equipamento de climatização. Os sistemas de climatização artificial de uso mais comum na arquitetura são os de ventilação mecânica, os de aquecimento e os de refrigeração (Snyder e Catanese 1984).

8.7.1 Ventilação Mecânica

Os sistemas de ventilação mecânica são basicamente de dois tipos: os exaustores e os ventiladores.

8.7.1.1 Exaustores

A exaustão é normalmente utilizada em ambientes onde há alguma fonte de contaminação do ar (cozinhas, banheiros, laboratórios, etc.). Os exaustores (Figura 8-14) criam uma pressão negativa que suga o ar quente ou impuro, arremessando-o para fora do ambiente.

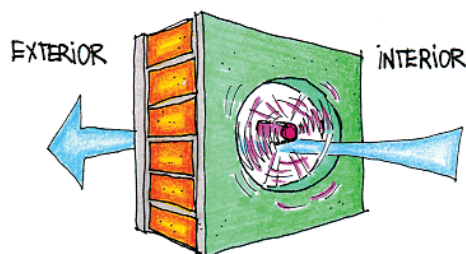


Figura 8-14: Exaustor

8.7.1.2 Depuradores

Também existem aparelhos para filtrar o ar, conhecidos como depuradores (Figura 8-15). A desvantagem destes sistemas é que apenas filtram o ar, deixando o calor no ambiente.

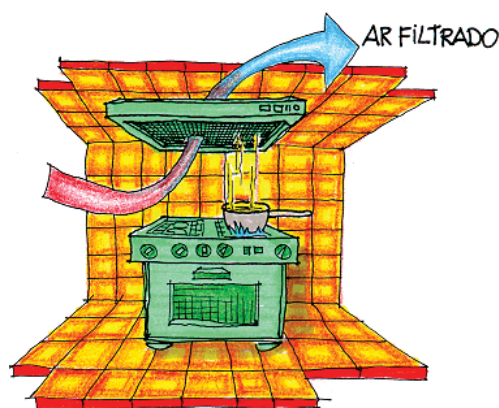


Figura 8-15: Coifa de cozinha (depurador)

8.7.1.3 Ventiladores

A ventilação mecânica de um ambiente pode ser feita com ventiladores móveis ou fixos no teto, sendo que estes últimos podem ser especificados pelos arquitetos. Os ventiladores de teto (Figura 8-16) além de circular e refrescar o ar, podem funcionar como exaustores, afastando insetos e fumaça.

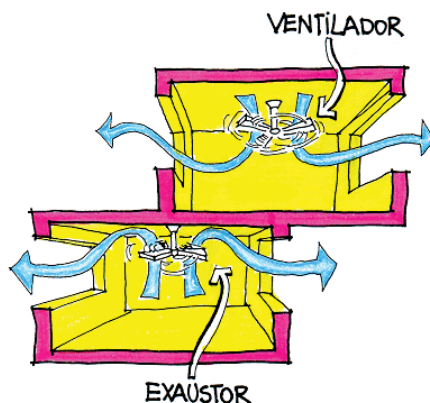


Figura 8-16: Ventilador de teto

As vantagens desse sistema são a economia de energia, o baixo custo e facilidade de instalação e o fato de refrescar o usuário sem alterar a temperatura do ar. Isto acontece porque a convecção criada pelo ventilador ajuda na evaporação do suor e na remoção do calor da pele, aumentando a sensação de conforto do usuário.

8.7.2 Aquecimento

Para aquecer um ambiente de forma passiva se utiliza basicamente dois princípios: evitar as perdas de calor e incrementar os ganhos térmicos do exterior. Porém estes princípios nem sempre são suficientes, levando o usuário ao aquecimento artificial do interior. A gama de aquecedores artificiais é enorme, indo desde lareiras até aparelhos de ar condicionado (ciclo reverso).

Os sistemas mais simples são de aquecimento local ou direto. A fonte de energia para estes sistemas pode ser a eletricidade, o gás, o óleo ou combustíveis sólidos (lenha, carvão, etc.), sendo estes últimos mais usados em sistemas de aquecimento central. No caso de lareiras ou fogões a lenha, o calor continua sendo emitido por radiação mesmo após o fogo ser apagado, devido à inércia térmica dos materiais normalmente empregados na sua construção (pedra ou tijolo).

Apesar dos vários tipos disponíveis, o aquecimento elétrico é hoje o mais difundido pela facilidade de instalação, baixo custo do transporte de energia, simples operabilidade e ausência de combustão. O sistema se baseia no aquecimento provocado pela corrente elétrica que passa através de uma resistência. Praticamente todos os aquecedores elétricos emitem calor por convecção e por radiação, sendo que os principais tipos disponíveis no mercado são:

8.7.2.1 Radiador Incandescente

A corrente elétrica aquece um elemento cerâmico que irradia calor através de um refletor parabólico (Figura 8-17). A maior parte do calor (80%) é emitida por radiação (Szokolay 1980).

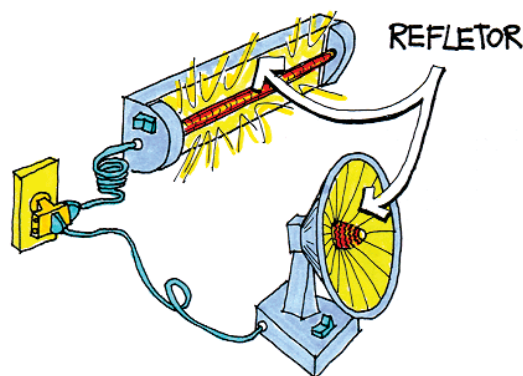


Figura 8-17: Radiador incandescente

8.7.2.2 Painel Radiador de Baixa Temperatura

Neste caso a resistência elétrica se situa no interior de um tubo fino imerso em água ou em óleo que, aquecidos, circulam pelo radiador (Figura 8-18). A principal vantagem desse aquecedor é sua baixa temperatura superficial (por volta de 50°C) que evita acidentes por queimaduras.

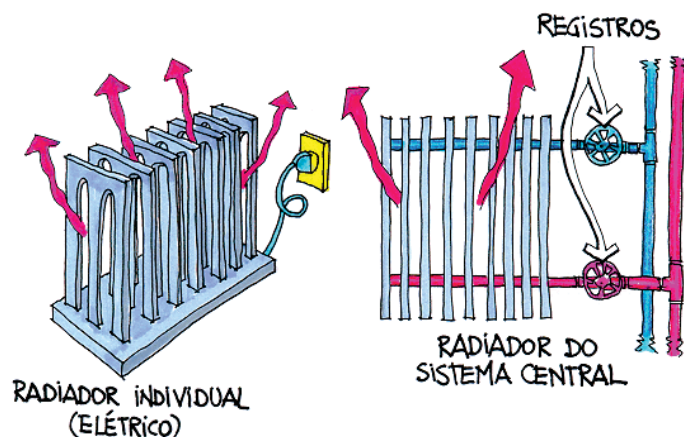


Figura 8-18: Pannel radiador de baixa temperatura

8.7.2.3 Convector Elétrico

Existem basicamente dois tipos de convectores elétricos: com ventilação forçada ou natural. O convector elétrico com ventilação forçada funciona de maneira semelhante a um secador de cabelos. O ar é forçado a passar por uma resistência aquecida, se aquece e é direcionado para o ambiente. O modelo com ventilação natural consiste basicamente de uma resistência elétrica aquecida situada no interior de um invólucro. O ar ambiente é induzido (por convecção natural) a passar pela resistência, onde é aquecido e devolvido ao ambiente (Figura 8-19).

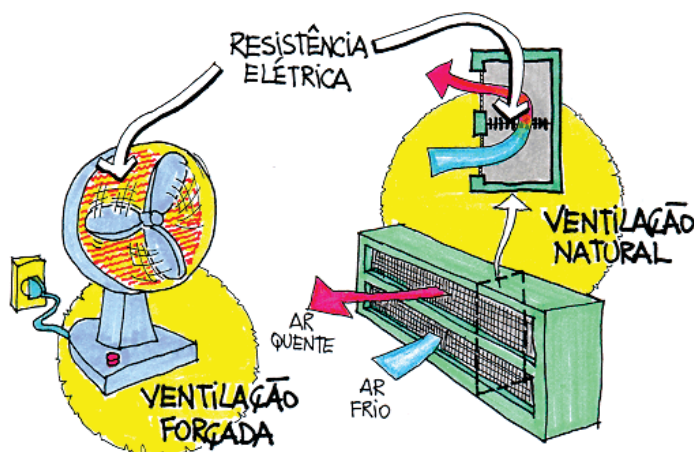


Figura 8-19: Convector elétrico com ventilação forçada e ventilação natural

8.7.2.4 Bomba de Calor (Ar Condicionado de Janela)

A bomba de calor (Figura 8-20) é um sistema do mesmo tipo usado para refrigeração, porém em ciclo reverso. Seu princípio de funcionamento se baseia na passagem de um gás refrigerante (normalmente o freon) por uma tubulação que o submete a uma alta pressão no lado quente do sistema (condensador) e a baixa pressão no lado frio do sistema (evaporador). Se o ar for forçado a passar pelo evaporador se resfriará, e se for forçado a passar pelo condensador (ciclo reverso), se aquecerá. A partir daí resta fazer o ar aquecido (ou resfriado) circular pelo ambiente interno. As principais vantagens deste sistema são o baixo consumo de energia em comparação com os aquecedores a resistência e a possibilidade de, se revertido o fluxo do ar, poder ser utilizado também para refrigeração. A principal limitação da bomba de calor é a impossibilidade de funcionamento em situações onde a temperatura do ar externo é inferior a 4°C.

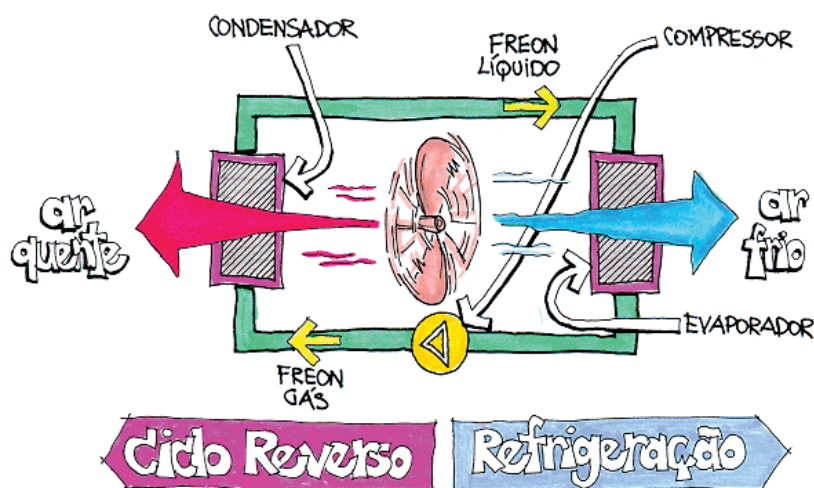


Figura 8-20: Esquema da bomba de calor

8.7.2.5 Aquecedor Central

Em algumas situações pode-se preferir o aquecimento central (Figura 8-21) ao invés do uso de aparelhos individuais. O que se tem a fazer nestes casos é basicamente aquecer água ou ar em local separado dos ambientes a serem aquecidos e distribuir o fluido para os ambientes através de tubulações. O fluido circula por radiadores instalados no interior dos ambientes, que emite calor para o ar por convecção e por radiação. A escala do aquecedor central pode variar desde pequenas casas até grandes edificações (hotéis, edifícios públicos ou comerciais, entre outros). A produção de calor é geralmente feita em boilers (para água quente) ou fornalhas (para ar quente). Raramente a eletricidade é utilizada em sistemas centrais, se preferindo a utilização de combustíveis (óleo, gás, carvão, lenha, etc.) ou até mesmo de fontes renováveis de energia (solar, eólica, biogás, biomassa, etc.).

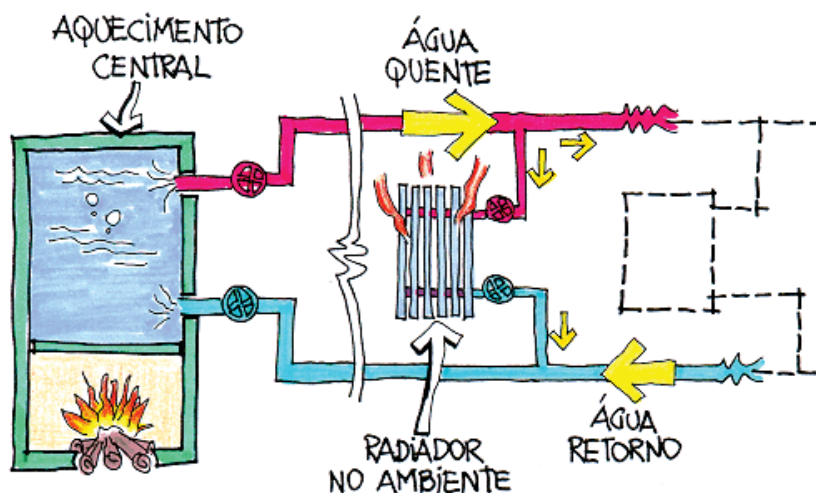


Figura 8-21: Esquema de aquecimento central

8.7.2.6 Pisos Aquecidos

Os pisos aquecidos são outra forma de aquecer ambientes com eficiência. Atualmente existem no mercado diferentes formas de alimentação para piso aquecido, podendo este ser elétrico ou por água quente. No piso aquecido por água quente, pode-se optar por aquecimento solar, elétrico ou por sistema a gás. O piso aquecido irradia calor de baixo

para cima, propagando-o para o ar através da convecção. O sistema elétrico é composto por resistências elétricas de 100 a 150 W/m².

O sistema de água quente é semelhante ao sistema elétrico, porém o calor é transmitido por meio da circulação de água numa serpentina. O tipo de revestimento não influencia no sistema de aquecimento, uma vez que o mesmo possui temperaturas que oscilam entre 25 a 30°C. Esse sistema é instalado entre o contrapiso e o piso acabado, seja ele cerâmico ou de madeira, pois o tubo calefator de cobre fica inserido em uma camada isolante que varia de 2,5 a 3,5 cm de espessura, que necessita ser prevista com antecedência no projeto do ambiente.

O piso aquecido possui consumo por ambiente similar ao de um equipamento de ar condicionado com potência adequada ao ambiente, apresentando ainda um possível controle individual de ambientes por termostato.

8.7.2.7 Aquecimento de Rodapé

O sistema de aquecimento de rodapé também é bastante eficiente e pode ser empregado em *retrofits*, uma vez que a tubulação de cobre do sistema corre aparente na parede no nível do piso. O aquecimento de rodapé não apresenta risco de queimaduras aos usuários, uma vez que sua temperatura superficial é baixa, variando entre 30 a 40°C. Entretanto, esta solução influencia na estética do ambiente, devendo ser planejada com antecedência sempre que possível. Esse sistema apresenta controle por termostato e sua alimentação pode ser elétrica, a gás ou solar. O consumo de energia elétrica ou a gás deve ser considerado, e se o sistema funcionar por aquecimento solar, deve-se pensar nas perdas de calor das tubulações e na necessidade de instalação de *backup* elétrico ou a gás.

8.7.3 Aquecimento a Biomassa

A biomassa compreende os derivados das plantas e dos animais. Madeira, produtos e resíduos agrícolas, resíduos florestais, excrementos animais, carvão vegetal, álcool, óleos animais, óleos vegetais, gás pobre e biogás são formas de biomassa utilizadas como combustível. A biomassa começou a ser utilizada pelo homem nos primórdios de sua história, com a utilização do fogo para cozimento, iluminação e aquecimento. A madeira foi por muito tempo a principal fonte energética para a cocção, siderurgia e cerâmica. Atualmente a utilização da madeira em nível residencial é focada nas tradições vernaculares do uso do fogão à lenha e da lareira.

8.7.3.1 - Fogão a Lenha

O fogão a lenha pode ser utilizado tanto para cocção quanto para aquecimento de ambientes, pois irradia calor a partir de suas chapas de metal aquecido e da sua própria estrutura, normalmente de tijolos maciços. Apesar da existência de fogões a lenha industrializados, usualmente de ferro, é importante a previsão deste equipamento no projeto arquitetônico, pois o mesmo exige alguns critérios em relação à exaustão e à proteção contra incêndio e queimaduras.

8.7.3.2 Lareira

As lareiras são importantes sistemas de aquecimento de ambientes a biomassa que incorporam vantagens adicionais em relação ao projeto de interiores. Cuidados especiais devem ser tomados em relação à chaminé e aos cuidados com incêndio.

8.7.4 Aquecimento a Gás

Os aquecedores a gás podem ser utilizados tanto internamente quanto em ambientes externos. Geralmente utiliza botijões de treze quilogramas de gás, que aquece placas que funcionam como irradiadores de calor. Suas potências variam de 5 a 13 kW e estes aquecedores podem ser utilizados para ambientes de até trinta metros quadrados de área. A autonomia do aquecedor chega a trinta horas por botijão.

Os principais tipos de aquecedores a gás são o chapéu de calor, o bico de calor e o aquecedor compacto.

8.8 Resfriamento

Em edificações públicas e comerciais o ar condicionado é hoje em dia o sistema mais empregado para climatização. Consiste em controlar simultaneamente a temperatura, umidade, pureza e distribuição do ar para atender as necessidades em um ambiente. Isto significa que o ar ficará compatível com as necessidades térmicas e ambientais de um recinto independente das condições externas.

Embora consuma energia, o ar condicionado é indispensável em algumas edificações. Observam-se aplicações importantes em hospitais, salas de recuperação e outros ambientes que exigem condições especiais, não encontradas no ar externo. Em salas de computadores, por exemplo, o ar condicionado é fundamental pelo fato de alguns componentes eletrônicos apresentarem falhas quando aquecidos. Em edifícios comerciais o uso de ar condicionado decorre, muitas vezes, da necessidade de aumentar as condições interiores de conforto e, conseqüentemente, de produtividade. Nestes edifícios, o isolamento do ar exterior pode evitar a poluição sonora e ambiental, principalmente nos grandes centros urbanos.

O possível uso do ar condicionado deve inserir-se no contexto do projeto arquitetônico desde o início, com o intuito de evitar desagradáveis modificações no desenho original em virtude da instalação posterior do sistema.

Fatores como a racionalização dos espaços internos e de energia e a economia nos custos da construção fazem necessário o entrosamento entre o arquiteto e os profissionais do ar condicionado. Para que esse intercâmbio de idéias seja palpável é importante ao arquiteto ter noções sobre os diversos tipos de ar condicionado existentes no mercado. Atualmente, os sistemas normalmente utilizados em edificações são:

- ar condicionado de janela;
- minicentraís *split*;
- minicentraís do tipo *multisplit*;
- *self contained*;
- *chiller* e *fan-coil*.

Dependendo do tipo, os sistemas de ar condicionado podem ser utilizados apenas para refrigerar ou para refrigerar e aquecer (ciclo reverso).

8.8.1 Ar Condicionado de Janela

Este é o aparelho mais simples e compacto, pois possui o condensador e o evaporador sob o mesmo invólucro (Figura 8-22). O ar externo é puxado através da unidade, onde é condicionado e imediatamente entregue ao ambiente interior. O ar a ser tratado pode constituir-se de uma mistura com o ar interno ou ser totalmente proveniente do exterior.



Figura 8-22: Ar condicionado de janela

Sua instalação compreende uma abertura na parede voltada para o ambiente externo, preferencialmente no centro da parede de menor largura. Esta orientação busca uniformizar a temperatura interna do ambiente. Aconselha-se uma altura média de 1,70 metros. Sempre que possível deve ser colocado um ponto de dreno para a água condensada.

Em virtude do rendimento do aparelho estar associado a trocas térmicas, sua exposição à radiação solar, seu encapsulamento ou outra forma de estagnação do fluxo de ar comprometem muito (até 30%) sua capacidade de refrigeração, gerando desgaste e consumo excessivos. Os últimos lançamentos apresentam compressores rotativos, ao invés dos alternativos. A vantagem está na redução do consumo de energia e do peso.

Estes aparelhos apresentam o menor custo para aquisição e instalação e possuem manutenção simples. Também são bastante flexíveis para mudanças de posição e remanejamento, além da vantagem de aquecimento por ciclo reverso em alguns modelos. Entretanto, algumas desvantagens também são presentes no ar condicionado de janela, como o alto nível de ruído, a exigência de paredes externas para o ambiente ao qual se destina e a consequente alteração da fachada arquitetônica. São fornecidos modelos com capacidade de refrigeração conforme a Tabela 8-3.

Tabela 8-3: Capacidade de refrigeração de aparelhos de ar condicionado de janela

Watt	BTU/h	TR
2.200 a 8.800	7.500 a 30.000	0,625 a 2,5

Uma opção mais sofisticada em relação ao tipo de janela são as ...

8.8.2 Mini Centrais de Pequeno Porte ou Split

Este tipo de ar condicionado pode atender espaços sem paredes voltadas para o exterior, pois possuem as unidades evaporadora e condensadora separadas, podendo estar distanciadas até trinta metros entre si (Figura 8-23). A condensadora deve ser alocada em um lugar bem ventilado e sem exposição à radiação solar. Como é a principal fonte de ruído, sua posição deve ser bem estudada. O evaporador, instalado no interior do ambiente que se quer condicionar, se interliga ao condensador por uma tubulação de gás refrigerante que implica na abertura de um orifício na parede de apenas oito centímetros de diâmetro. Faz-se necessário também um ponto elétrico monofásico e um ponto de dreno para o evaporador.

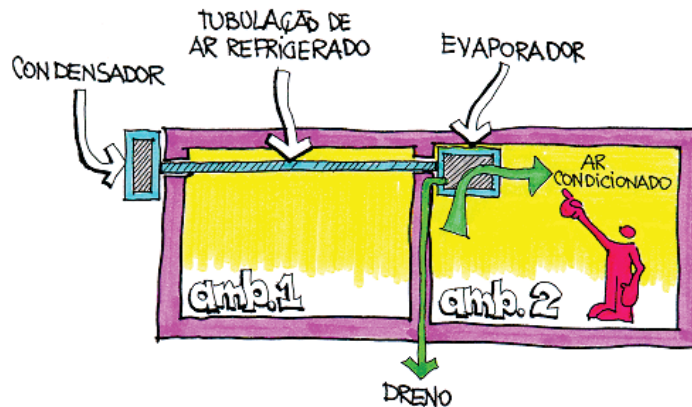


Figura 8-23: Mini central de pequeno porte (split)

As principais vantagens deste tipo em relação ao de janela é o baixo nível de ruído e a possibilidade de condicionar espaços interiores sem paredes externas. Quanto às desvantagens, são basicamente o custo bem mais elevado e a manutenção mais complexa, que requer profissionais especializados.

As mini centrais são fornecidas com capacidades de refrigeração conforme a Tabela 8-4.

Tabela 8-4: Capacidade de refrigeração de mini centrais

Watt	BTU/h	TR
3.515 a 8.800	12.000 a 30.000	1 a 2,5

Se o ambiente a ser condicionado é composto por vários compartimentos, como lojas com subdivisões internas ou escritórios, galerias, lanchonetes, pequenas agências bancárias, etc., recomenda-se o uso de mini centrais do tipo...

8.8.3 Multisplit

Com capacidade de refrigeração bem superior a das mini centrais de pequeno porte, o Multisplit (Figura 8-24) é o equipamento de menor porte projetado para trabalhar de forma ambiente ou dutado. Para espaços maiores se podem combinar várias unidades dispostas estrategicamente, reduzindo o custo de instalação de redes de dutos (pertinente a uma única unidade de maior porte). A instalação destes aparelhos segue as premissas apresentadas para mini centrais, porém requer um ponto elétrico trifásico.

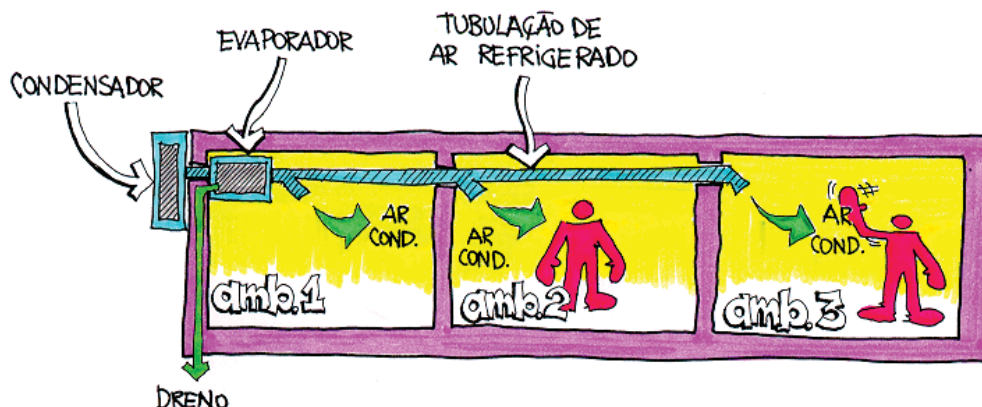


Figura 8-24: Multisplit

A vantagem deste sistema é a climatização de vários ambientes simultaneamente. Sua principal desvantagem é possuir um único termostato, implicando na variação das temperaturas dos ambientes segundo a variação da carga térmica em um único ponto.

A capacidade de refrigeração de um multisplit é, geralmente, conforme a Tabela 8-5.

Tabela 8-5: Capacidade de refrigeração de aparelhos tipo multisplit

Watt	BTU/h	TR
11.720	40.000	3,33

Se o ambiente a ser condicionado é mais externo, possuindo carga térmica maior como em bancos, edifícios de escritórios, restaurantes, etc., pode-se utilizar uma rede de dutos através de um equipamento conhecido como...

8.8.4 Self Contained

O *Self Contained* (Figura 8-25) é um equipamento orientado para rede de dutos, ainda que também possa ser usado com grelha difusora direto no ambiente. É essencialmente trifásico. A principal desvantagem desse sistema é não possuir ciclo reverso. Entretanto, pode produzir aquecimento no ambiente mediante adaptação de resistência elétrica que, no entanto, apresenta eficiência energética baixa.

No mercado, encontram-se basicamente três modelos distintos:

- *self* com condensadora de ar incorporada (análogo a um grande aparelho de janela);
- *self* com condensadora de ar remota: disposição semelhante às mini centrais e
- *self* com condensação a água: requer uma linha alimentadora de água.

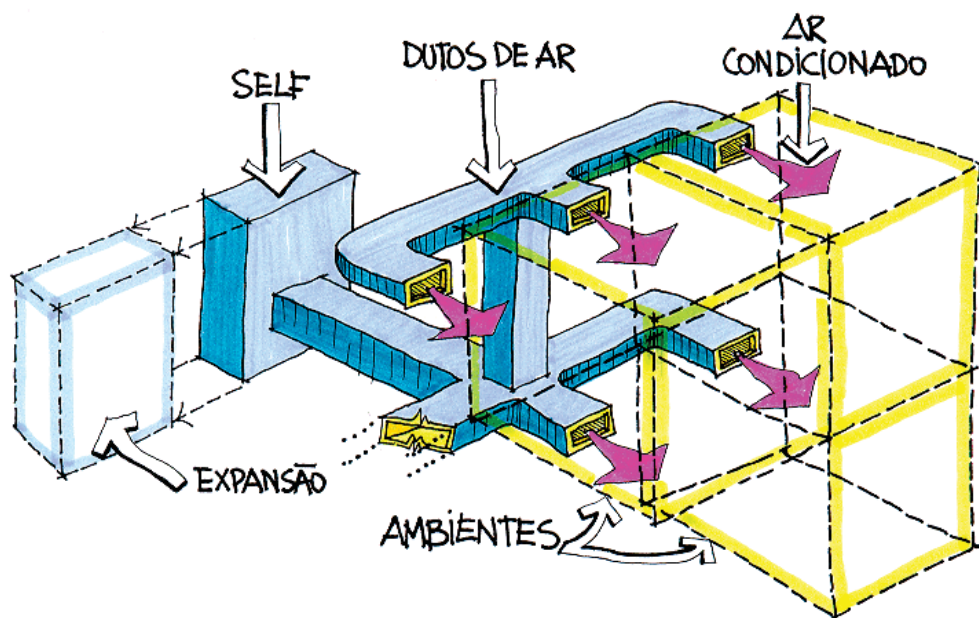


Figura 8-25: *Self Contained*

O *self contained* possui capacidade de refrigeração conforme a Tabela 8-6.

Tabela 8-6: Capacidade de refrigeração de aparelhos *self contained*

Watt	BTU/h	TR
17.900 a 64.300	62.500 a 225.000	5 a 18

8.8.5 Chiller & Fan-Coil

Os sistemas compostos por *Chillers* estão associados a uma rede de distribuição de água gelada para unidades conhecidas por *Fan-Coil* (Figura 8-26). O *Fan-Coil* é análogo a unidade evaporadora, tendo a função de forçar a passagem de ar pelos tubos de água gelada, jogando ar frio para o ambiente interior. Estes sistemas normalmente apenas refrigeram. O aquecimento implica no emprego de caldeiras associadas aos *Fan-Coils*. O dimensionamento e a instalação desse tipo de ar condicionado são bastante complexos, exigindo projetos detalhados e profissionais gabaritados. Em regiões onde a tarifa de energia é diferenciada para cada período do dia, o *Chiller* pode ser usado para acumular água gelada ou gelo nos horários onde a energia é mais barata (à noite) para posterior uso durante o dia e, principalmente, nos horários de pico, reduzindo assim a demanda a ser contratada.

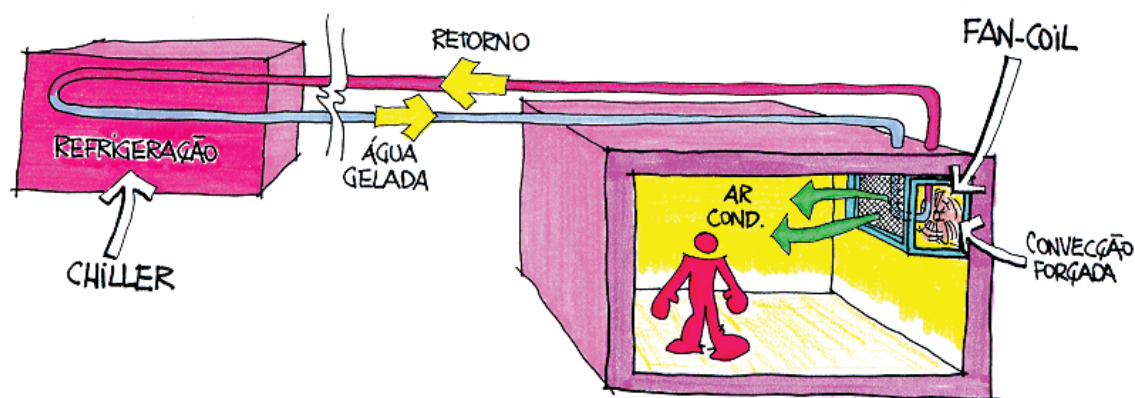


Figura 8-26: Chiller & Fan-Coil

Chillers & *Fan-Coil* são muito utilizados em *Shopping Centers*, devido a sua capacidade para condicionar espaços interiores bastante amplos e complexos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. A.; Schaeffer, R.; La Rovere, E. L. (2001). *The potential for electricity conservation and peak load reduction in the residential sector of Brazil*. In: *Energy* 26, Elsevier Science Ltd., 413-429.
- BAKER, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K.; (1993). James & James Ltda, London, UK.
- BORG, N.; (1994). *Promising artificial sunlight in a highly efficient way*. In: *International Association for Energy-Efficient Lighting* (IAEEL), Newsletter 3/94, no. 8, vol. 3.
- CARAM, R. M.; (1998). *Caracterização ótica de materiais transparentes e sua relação com o conforto ambiental em edificações*. Tese de Doutorado, Unicamp, Campinas, SP.
- LECHNER, N.; (2001). *Heating, Cooling, Lighting - Design Methods for Architects* (second edition). John Wiley & Sons, USA.
- OLGYAY, V.; Olgyay, A.; (1976). *Solar control & shading devices*. Princeton University Press, Princeton, USA.

SNYDER, J. C.; Catanese, A.; (1984). *Introdução à arquitetura*. Editora Campus Ltda., Rio de Janeiro, RJ.

SZOKOLAY, S. V.; (1980). *Environment science handbook for architects and builders*. The Construction Press Ltda, Lancaster, UK.



PROJETO DE ARQUITETURA BIOLIMÁTICA

sumário

9	PROJETO DE ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	259
9.1	O Partido Bioclimático	261
9.2	Análise do Terreno	261
9.3	Análise do Clima Local	262
9.4	Análise dos Usuários e dos Horários de Uso	262
9.5	Programa de Necessidades	262
9.6	A Função	262
9.7	A Forma	263
9.8	Os Materiais Construtivos	267
9.9	O uso das Estratégias Bioclimáticas de Forma Integrada.....	268
9.10	A Expressividade Arquitetônica	268
9.11	Definição dos Elementos Bioclimáticos a serem Empregados	269
9.11.1	Ventilação.....	269
9.11.2	Resfriamento Evaporativo e Umidificação	271
9.11.3	Usar Inércia Térmica	274
9.11.4	Aquecimento Solar Passivo	275
9.11.5	Ar Condicionado.....	277
9.11.6	Aquecimento Artificial	278
9.11.7	Outras Técnicas para Diminuir o Consumo de Energia.....	279
9.11.8	Iluminação Natural e Artificial.....	284
9.12	Análise e Síntese da Primeira Alternativa de projeto	288
9.13	Simulação e Propostas Alternativas	289
9.14	Uso de Energia Alternativa	290
9.15	Captação da Água da Chuva	290
9.16	Reutilização de Água	291
9.17	Projeto de Arquitetura Bioclimática	291
	REFERÊNCIAS:	296

CAPÍTULO 9:

9 PROJETO DE ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

Após se ter uma visão panorâmica sobre as principais variáveis envolvidas nas questões de conforto e desempenho energético em edificações se pôde concluir, através dos conceitos pertinentes à bioclimatologia, quais os princípios bioclimáticos a se adotar em diversas situações. Mas resta uma pergunta! De maneira prática, como proceder em um projeto arquitetônico?

O primeiro passo para a resposta é identificar nas edificações onde a maior parte da energia está sendo gasta e verificar, dentro desse universo, como o arquiteto pode atuar. O campo de atuação do arquiteto em termos de eficiência energética na edificação abrange principalmente os setores residencial, comercial e público. Pode-se dizer que as edificações são responsáveis por 42% do consumo de energia no país, incluídos aí o consumo pelo uso de eletrodomésticos e equipamentos de escritório.

De um modo geral, o arquiteto pode racionalizar o uso de energia em um edifício se conseguir reduzir o consumo para iluminação, por condicionamento do ar e por aquecimento de água. Neste cenário, o que se destaca são basicamente três idéias a serem perseguidas no processo de concepção arquitetônica:

- Usar sistemas naturais de condicionamento e iluminação sempre que possível;
- Usar sistemas artificiais mais eficientes e
- Buscar a integração entre os dois (artificial e natural).

Existem diferenças muito significativas em relação ao consumo de energia entre o setor residencial e os setores comercial e público. Primeiramente a densidade de ocupação é distinta. Em residências normalmente as pessoas compartilham vários ambientes, sendo que muitos são pouco ocupados na maior parte do dia. Mesmo em edifícios residenciais, excetuando-se no hall de entrada e na circulação, a densidade de ocupação para cada ambiente é muito baixa se comparada a dos edifícios comerciais e públicos. Nestes, um grande número de pessoas pode ocupar um único espaço (salas de aula, teatro, escritórios, etc.) e o fluxo de usuários que entram ou saem dos ambientes pode ser contínuo (lojas, supermercados, consultórios, etc.). Isto se traduz na afirmação de que nos setores comercial e público, mais pessoas estarão consumindo mais energia para aclimação e iluminação.

Outra importante característica que influencia no consumo de energia é a função arquitetônica. A função “morar”, por exemplo, afigura-se muito mais cômoda e articulável com as necessidades de seu usuário que as funções “assistir aulas”, “vender”, “datilografar” ou “consertar”. É fácil carregar o ventilador ou o abajur para o canto que se quer em casa, porém no escritório, é necessário adaptar-se às condições ambientais disponíveis.

Todos esses argumentos fazem da arquitetura residencial o cliente ideal para o uso de sistemas naturais de condicionamento e iluminação, embora os mesmos também possam ser utilizados com êxito na arquitetura comercial e pública. Nesta última, é provável a necessidade de se empregar sistemas artificiais, e se assim for feito,

deve-se optar por equipamentos mais eficientes. Vale ressaltar que a busca de integração entre os sistemas naturais e artificiais é sempre bem vinda em todos os setores, pois além da economia de energia, propicia espaços arquitetônicos mais agradáveis.

A arquitetura residencial tem certamente o maior potencial de utilização de recursos naturais de condicionamento e iluminação. Antes de partir para o lançamento da proposta arquitetônica, o arquiteto deverá fazer um estudo do clima de sua região, tentando identificar quais estratégias bioclimáticas se mostram mais adequadas. Este estudo pode ser feito através da carta bioclimática discutida no terceiro capítulo deste livro. Ao plotar na carta os dados climáticos para a cidade que se quer analisar, se pode deparar com uma ou mais indicações bioclimáticas. A cada uma destas indicações, lidas diretamente na carta ou nas tabelas de percentuais de necessidades das estratégias (capítulo 3), correspondem diversos recursos de desenho, que podem ser adotados no projeto para responder às necessidades de conforto para o local.

Nos setores comercial e público o consumo de energia é fortemente influenciado pela grande quantidade de calor gerado no interior do edifício. Diferente da arquitetura residencial, edifícios comerciais e públicos contam com maior densidade de usuários, equipamentos e lâmpadas, que levam a tendência ao sobreaquecimento dos ambientes, mesmo em situações onde o clima exterior indica conforto térmico.

Observa-se que a iluminação artificial e o ar condicionado são os grandes usos finais da energia neste setor, representando aproximadamente 64% do consumo (44% para iluminação artificial e 20% para ar condicionado, respectivamente)(Geller 1994).

Deve ficar claro que há uma grande diversidade de uso dos espaços, principalmente no setor comercial. Quanto ao horário de utilização, as edificações comerciais podem funcionar durante o dia, durante a noite ou até nos dois períodos, dependendo da função a que se destinam. Em alguns casos a necessidade de iluminação de boa qualidade e em quantidade é imprescindível, como em escritórios de desenho ou de consertos delicados. Também existem locais onde a iluminação deve ser reduzida ou até evitada em boa parte do tempo, como em boates ou em cinemas. Com relação ao condicionamento térmico, em alguns ambientes sua necessidade é secundária (alguns tipos de depósitos, por exemplo) e em outros é o principal fator do ambiente (*shopping centers*, galerias comerciais, etc.). Todas essas diversidades vêm salientar a importância de estudos sobre a apropriação espacial dos edifícios com o intuito de orientar as intervenções referentes à eficiência energética.

Embora as estratégias bioclimáticas indicadas pela carta bioclimática sejam válidas para a arquitetura comercial e pública, é mais urgente a necessidade de integração entre sistemas naturais e artificiais (tanto de condicionamento quanto de iluminação) visto que o uso dos sistemas artificiais pode ser imprescindível para a boa produtividade no espaço interior.

Os conceitos de arquitetura bioclimática deveriam ser intrínsecos a qualquer projeto arquitetônico. Incluem as condicionantes locais do clima, explorando suas vantagens e evitando seus extremos, tendo como objetivo o conforto ambiental dos

usuários, porém com baixo consumo de energia. Estes conceitos visam, em primeira instância, o desenvolvimento sustentável, e tornam a arquitetura bioclimática uma resposta adequada ao triângulo conceitual vitruviano, ilustrado no início deste livro.

Mas além de conhecer estes conceitos, deve-se considerá-los desde as etapas iniciais do projeto. Se, ao contrário, as análises pertinentes aos conceitos bioclimáticos forem proteladas, acontecendo somente nos estágios finais do projeto, ou induzirão a grandes alterações no desenho, que demandarão mais tempo, ou serão simplesmente desconsideradas.

Tendo isso como foco, os conceitos descritos até o momento neste livro serão expostos neste capítulo de maneira diferente. Cada elemento da arquitetura bioclimática será enquadrado no respectivo estágio de projeto quando é mais relevante e onde seu estudo e análise poderá melhor informar ao arquiteto e auxiliá-lo na tomada de decisões de projeto que visem responder aos problemas identificados.

A estrutura deste capítulo não pretende ser modelo, pois se considera que cada profissional tem seu próprio método de trabalho e precisa usar de flexibilidade e mesmo de criatividade para poder criar soluções inovadoras e com expressividade arquitetônica, pressupostos de uma arquitetura de qualidade. Mesmo assim, a sequência das etapas de projeto intituladas aqui é coerente com a prática da arquitetura e pode facilmente espelhar este ou aquele processo de projeto.

Acredita-se que o arquiteto, como profissional criativo e inovador na solução de problemas, pode adaptar-se rapidamente ao uso dos conceitos bioclimáticos em estudo neste livro.

9.1 **O Partido Bioclimático**

O partido arquitetônico é o esquema inicial que norteia o desenvolvimento do projeto. Geralmente, o partido surge nas primeiras etapas do processo de projeto. Os conceitos bioclimáticos deveriam aparecer já neste momento e ser incorporados ao partido. Para isso, certas informações devem ser obtidas, como dados da análise climática do local, análise do terreno, orientação e mesmo dados relativos ao programa que o cliente quer ter respondido pelo projeto.

9.2 **Análise do Terreno**

A análise do terreno inclui aspectos importantes como a legislação, as dimensões, a orientação, a topografia e a presença de vegetação, água e outros edifícios ou barreiras que possam obstruir o vento e o sol.

A legislação dita os afastamentos, o número máximo de pavimentos e os recuos do edifício, entre outros aspectos que podem influir no desempenho ambiental do mesmo. Mesmo sendo respeitados, os afastamentos e recuos laterais podem representar sombras indesejáveis no entorno do edifício e falta de iluminação e ventilação natural nos ambientes internos dependendo dos elementos presentes neste entorno.

O número máximo de pavimentos não garante necessariamente a insolação adequada dos ambientes nem o acesso solar nos edifícios vizinhos.

A orientação permite identificar as melhores fachadas para distribuição dos ambientes, tendo como referência o acesso solar e a ventilação natural necessária ao longo do ano. As proteções solares também devem ter seu uso identificado nesta etapa em função da orientação de cada ambiente.

O estudo da topografia, da presença de vegetação, de barreiras edificadas e de água nas proximidades permite identificar os elementos que podem ser explorados e os que devem ser evitados como possíveis estratégias bioclimáticas a serem consideradas no projeto.

9.3 **Análise do Clima Local**

O clima também fornece diversas dicas de como o projeto deve ser conduzido. A análise climática informa quais estratégias bioclimáticas são mais adequadas em função do clima local e para cada período do ano. Saber quais estratégias utilizar é um poderoso recurso na elaboração de qualquer projeto que vise o conforto e a eficiência energética do edifício.

9.4 **Análise dos Usuários e dos Horários de Uso**

Esta análise é importante porque define parâmetros como a vestimenta mais provável que os usuários utilizarão nos ambientes, sua atividade (metabolismo), a geometria do ambiente (que pode identificar problemas de desconforto visual e de assimetria térmica), e os horários críticos de uso, entre outros aspectos.

9.5 **Programa de Necessidades**

Após a obtenção das informações básicas definidas nos itens anteriores, o arquiteto pode montar o programa de necessidades do seu projeto. Este deve incluir qualquer informação que possa ser útil ao projeto bioclimático, como necessidade de ventilação natural, de iluminação natural, de sol ou sombra, necessidade de isolamento térmico, de condicionamento artificial, etc. Estas informações adicionais ao programa de necessidades são um poderoso instrumento de auxílio à tomada de decisões que acompanha o arquiteto por todas as etapas do processo de projeto.

9.6 **A Função**

Alguns arquitetos consideram que a função é consequência da forma, outros que a forma segue a função. No entanto, a alternativa mais correta seria considerar ambas com a mesma prioridade desde o início do projeto. Embora a função a que se destina um edifício possa estar atrelada a uma forma preconcebida, é capaz de sofrer modificações após a ocupação e a consequente apropriação espacial. É possível que uma arquitetura funcional acabe por se tornar desconfortável e ineficiente durante o desempenho de tarefas no seu interior. Para evitar isto, o arquiteto deve entender além das relações térmicas, acústicas e visuais, as relações antropométricas e proxêmicas entre o homem e o espaço (Hall 1981).

A função arquitetônica, um dos vértices do triângulo clássico vitruviano, interage com a forma e com a eficiência energética de um edifício. O mesmo projeto arquitetônico, se destinado a fins distintos como comércio ou habitação, por exemplo, pode resultar em comportamentos energéticos diferentes. Isto vem

provar que o estudo da função arquitetônica é primordial na escolha de determinado critério ou estratégia bioclimática a ser adotada. As funções residencial, comercial e pública são distintas do ponto de vista da dependência do clima e, conseqüentemente, do consumo de energia. O horário de funcionamento de um edifício comercial ou público, em geral durante o dia, expõe constantemente os usuários aos efeitos do calor do sol. Isto aliado a ganhos internos elevados (iluminação e equipamentos) vem refletir no uso quase constante de aparelhos de ar condicionado. O fato usual da não previsão da incidência da luz natural leva as funções comercial e pública a dependerem excessivamente da iluminação artificial, mesmo durante o dia, aumentando a conta de energia elétrica que, no entanto, não é paga diretamente pelo seu usuário. Em *shoppings centers*, a exclusão da luz natural pode se justificar nas vitrines, em função da possível deterioração dos produtos expostos. Mas nas circulações, a luz natural deveria ser explorada, reduzindo o consumo de energia com sistemas de iluminação artificial. Em alguns ambientes, como salas de aula, bibliotecas e escritórios, a qualidade da luz natural é importante para a boa definição de cores. Já em uma residência, a luz natural é tratada com maior importância, pois além do seu valor poético na definição dos espaços, é fundamental para a economia de energia e é paga diretamente pelo morador.

Também se torna mais viável a instalação de sistemas passivos de resfriamento em residências, visto que sua relação com o espaço exterior é quase sempre mais efetiva que em edificações comerciais e públicas. Resta então a pergunta: de que forma o arquiteto deve atuar em cada um destes setores com relação à eficiência energética?

Numa arquitetura residencial cabe ao arquiteto ser o conselheiro do seu cliente, alertando sobre o necessário uso de algumas estratégias de esfriamento ou aquecimento passivo ou ativo e explorando sabiamente a iluminação natural, sempre bem vinda pelo usuário.

Nos setores comercial e público, embora a utilização de sistemas naturais de condicionamento e iluminação não seja explorada, estes aparecem como opção para economizar energia. O uso de sistemas naturais de condicionamento sempre que possível, evitará a dependência exclusiva dos sistemas artificiais. E a iluminação natural pode ser utilizada em praticamente toda a jornada de trabalho, visto que o horário de serviço é normalmente diurno. Quanto aos sistemas artificiais de iluminação e condicionamento, sua utilização pode ser exigida em virtude de algumas configurações e apropriações espaciais do ambiente interior. O arquiteto deve ter em mente os conceitos destes sistemas, conhecendo sua eficiência e adequação para cada caso. Na arquitetura, a eficiência energética não significa desprover os espaços interiores de luz artificial ou de ar condicionado (consumidores em potencial de energia), mas sim saber quando e o quanto são necessários.

9.7 A Forma

A forma arquitetônica pode ter grande influência no Conforto Ambiental em uma edificação e no seu consumo de energia, visto que interfere diretamente sobre os fluxos de ar no interior e no exterior e, também, na quantidade de luz e calor solar recebidos pelo edifício. A luz natural, além de ser uma variável ambiental, pode

ser enfocada como elemento de projeto. Seu caráter simbólico, por exemplo, foi explorado com maestria nas catedrais do Período Gótico, onde a luz representava a própria divindade.

Com relação ao conforto térmico, a influência da forma arquitetônica já foi evidenciada em vários locais do mundo, como na cidade de Marrakesh em Marrocos, onde as edificações foram construídas de forma a canalizarem para o interior da cidade a brisa que vem do mar (úmida e refrescante). Da mesma maneira, o vento quente continental é desviado pela forma das edificações, possibilitando conforto na escala urbana (Romero 2001) (Figura 9-1).

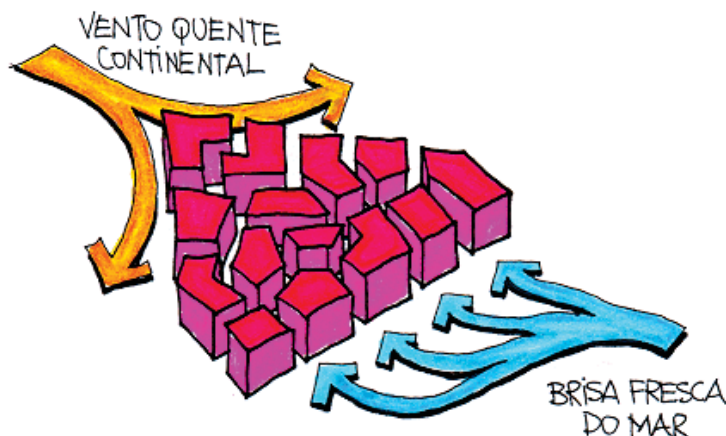


Figura 9-1: Marrakesh, adaptado de Romero 2001

A quantidade de radiação solar que incide em cada superfície externa de uma arquitetura é variável segundo a orientação e a época do ano. Isto significa que o mesmo volume de espaço interior pode ter formas diversas, apresentando comportamentos térmicos e visuais distintos (Figura 9-2).



Figura 9-2: Diversas formas para um mesmo volume

Assim, a forma arquitetônica é uma importante variável para as condições interiores de conforto e, em consequência, para o desempenho energético da edificação. Apenas a diferente distribuição das janelas em um volume dado, por exemplo, colocando-as em outra superfície ou modificando a área de envidraçamento, já implica em variações térmicas e visuais do microclima interno (Rivero 1985).

A influência da forma arquitetônica no conforto térmico também pode ser observada no iglu, cuja forma hemisférica diminui a superfície de contato com o ar exterior minimizando perdas de calor (Figura 9-3). No chalé das montanhas (cuja cobertura altamente inclinada evita o acúmulo de neve, promovendo maior exposição aos raios solares).



Figura 9-3: Iglu e chalé das montanhas

No início do século, Frank Lloyd Wright criou o termo Arquitetura Orgânica. Seus projetos buscavam se adequar completamente ao entorno, respeitando os elementos naturais do local. Wright elaborou também as *prairie houses* (casas de campo) onde os telhados generosos permitiam grandes áreas de sombra ao longo do dia, além de ser o principal elemento orquestrador da volumetria arquitetônica (Figura 9-4). Nos projetos de Wright se percebe o uso amplo da iluminação natural no sentido de criar espaços aconchegantes e de destacar elementos da própria arquitetura de interiores.

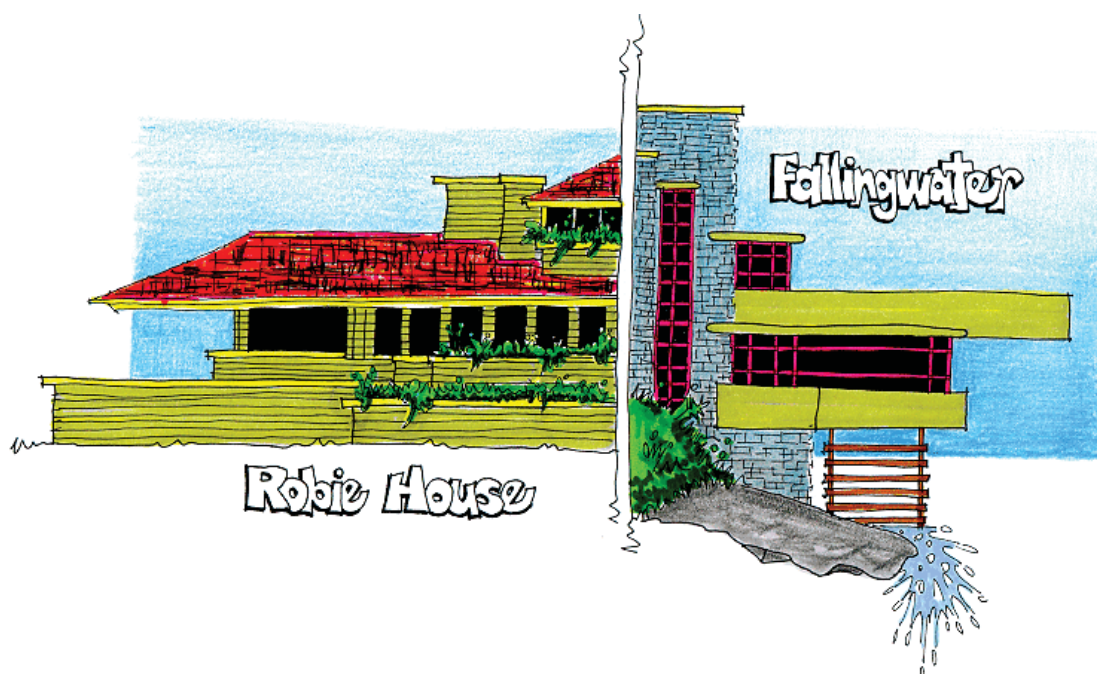


Figura 9-4: Projetos de Frank Lloyd Wright

Le Corbusier, com a utilização de pilotis, permitia à arquitetura descolar-se do solo, incrementando a permeabilidade à circulação de pedestres e à ventilação no

térreo. Além do efeito dos pilotis, a arquitetura também pode interferir no movimento do ar de outras formas (Figura 9-5).

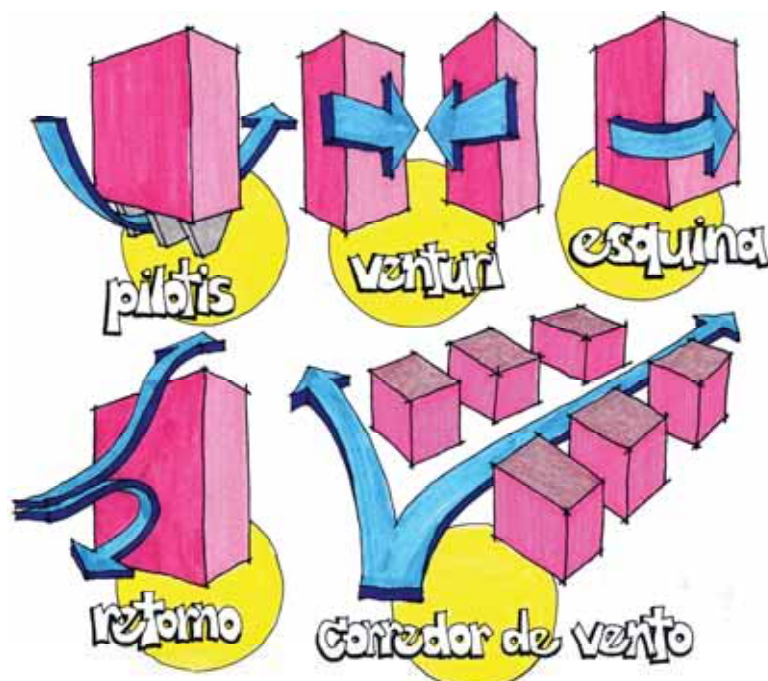


Figura 9-5: Influência da forma no movimento de ar

Um dos efeitos de iluminação mais interessantes na história da arquitetura foi defendido pelo movimento *de Stijl*, mais conhecido como Neoplasticismo (Zevi 1984). Na Casa Schröder do arquiteto Rietveld não há janelas, mas sim aberturas com um papel ativo em oposição ao fechamento das superfícies das paredes. Estes fechamentos são planos que ora se aproximam, ora se afastam, realçando frestas para passagem da luz natural, que valoriza os espaços interiores (Figura 9-6).

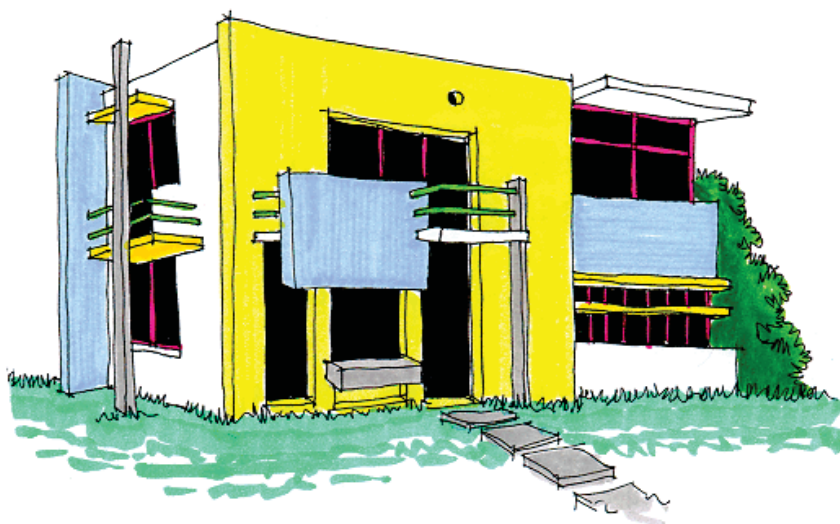


Figura 9-6: Casa Schröder de Gerrit Thomas Rietveld

Além da orientação e da forma do volume, os materiais dos fechamentos externos também são importantes para definir a estrutura térmica e a qualidade da iluminação natural na habitação.

Ao se projetar um conjunto de habitações, podem ser distinguidas várias soluções volumétricas. Por exemplo: é possível compor todos os volumes separadamente como casas isoladas, ou construir um único edifício residencial (Figura 9-7).

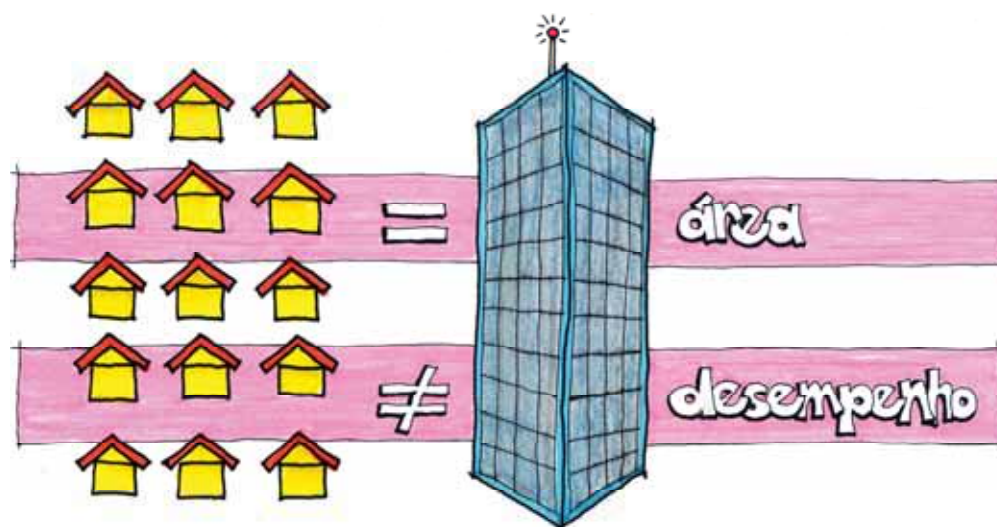


Figura 9-7: Casas isoladas X edifício residencial

Existem desigualdades formais nas duas soluções da Figura 9-7 e, consequentemente, desigualdades térmicas e visuais. Na primeira solução, todas as superfícies externas estão expostas à radiação solar e à ventilação. Neste caso é possível receber luz e calor solar também pela cobertura. Na segunda solução existem unidades mais expostas e outras menos expostas, de forma a criar comportamentos térmicos e visuais diferentes. Também é evidente que a mudança de orientação das construções alterará mais o desempenho térmico do edifício do que da casa isolada. Isto acontece porque em uma casa isolada, a cobertura é responsável pela maior parte dos ganhos de calor. Esses ganhos não são influenciados pela mudança de orientação.

Esta complexidade de soluções arquitetônicas aliada à diversidade climática do Brasil torna inevitável a necessidade de simulação das edificações. Apenas assim se pode ter uma idéia precisa do real comportamento térmico e eficiência energética de uma futura arquitetura.

9.8 Os Materiais Construtivos

A especificação dos materiais construtivos é uma das decisões que cabem ao arquiteto. Para isso, este profissional deve observar a transmitância térmica do fechamento desejado, pois isto representa seu desempenho em termos de trocas térmicas entre os ambientes internos e externos. Além disso, deve ser observada também a transmitância visível do material, propriedade que diz respeito à quantidade de luz que irá atravessar o elemento transparente em direção ao ambiente interno e proporcionar iluminação natural e a consequente economia no uso da energia. Existem ainda outras variáveis pertinentes e que foram discutidas nos capítulos anteriores do livro. Uma delas é a resistência térmica dos materiais, variável relacionada ao isolamento térmico que cada material proporciona. O fator solar é outra variável e é relacionado à quantidade de radiação solar que efetivamente penetra no ambiente pelo fechamento. A inércia térmica do material pode ser estimada através de sua capacidade térmica. Da mesma forma, o atraso

térmico diz quanto tempo o calor levará para atravessar o material. A absorptividade é uma função da cor do material e indica o quanto do calor solar será absorvido e poderá ser emitido para o ambiente interior na forma de onda longa. Já a refletividade, que também depende da cor do material, diz o quanto do calor e da luz incidente serão refletidos para fora ou para o interior da edificação. Estas duas últimas variáveis são meios de evitar o aquecimento solar e favorecer a iluminação natural respectivamente.

Outro aspecto importante é relacionado à sustentabilidade e ao fato dos materiais locais serem mais adequados por exigirem menos gastos com transporte, o que significa menor energia embutida.

Tudo isso também deve ser considerado levando-se em conta os aspectos formais e plásticos de cada material, qualidades inerentes à boa arquitetura e intrínsecas ao bom projeto.

9.9 O uso das Estratégias Bioclimáticas de Forma Integrada

As estratégias bioclimáticas são, muitas vezes, contraditórias. A ventilação natural, por exemplo, pode significar um problema no inverno, enquanto é uma solução no verão. O mesmo ocorre com estratégias como o aquecimento solar e o sombreamento, que têm suas necessidades invertidas conforme estes períodos do ano se alternam. A iluminação natural também pode significar incrementos indesejáveis no ingresso de calor solar no ambiente interno e, embora possa reduzir os gastos de energia com iluminação artificial, pode exigir mais gastos com refrigeração ou ventilação forçada. Todas estas variáveis também devem ponderar aspectos acústicos dependendo das características do projeto. Por exemplo, um ambiente com boa acústica pode depender da estanqueidade de seus fechamentos e isso pode ser contraditório à boa ventilação e iluminação naturais. De forma semelhante, quando se ventila um ambiente adequadamente, pode-se estar criando um problema acústico, principalmente se este ambiente for uma sala de aula ou um escritório em frente a uma rua movimentada.

Para sintetizar uma boa solução arquitetônica que responda simultaneamente a todas as necessidades dos ambientes, o arquiteto deve usar as estratégias bioclimáticas de forma integrada, e isso somente é possível se este profissional tiver conhecimento teórico e empírico suficiente para isso.

9.10 A Expressividade Arquitetônica

Toda e qualquer decisão de projeto influi na expressividade arquitetônica. Os elementos que respondem aos quesitos bioclimáticos podem ser também explorados pela sua expressividade formal, de textura e cor. Um brise, por exemplo, pode participar dos ritmos de composição de fachadas, enquanto que uma parede de tijolos maciços pode, além da boa inércia térmica, dar à edificação um aspecto mais aconchegante, familiar e mais natural.

A boa expressividade arquitetônica pode ser alcançada através de estudos de cada alternativa de projeto, considerando ao mesmo tempo o desempenho dos materiais construtivos e sua participação nas sensações visuais e sinestésicas que se quer passar aos usuários. Tendo isso em mente, é fácil entender porque estes estudos de alternativas e de composições somente são mais eficazes se realizados desde o

início do projeto. É no início que a maior parte das decisões ainda está sendo tomada e é mais viável fazer alterações substanciais de aspectos como tipo de telhado, cores, sistema construtivo e a própria implantação do projeto para alcançar um resultado mais expressivo arquitetonicamente e adequado às condicionantes locais.

9.11 Definição dos Elementos Bioclimáticos a serem Empregados

Os elementos e estratégias bioclimáticas a serem empregados no projeto dependerão da análise bioclimática e do terreno, feitas no início do processo de projeto. Algumas destas estratégias podem ser empregadas como nos exemplos ilustrativos a seguir.

9.11.1 Ventilação

Quando esta estratégia for necessária (Figura 9-8), pode ser explorada com os seguintes recursos de desenho:

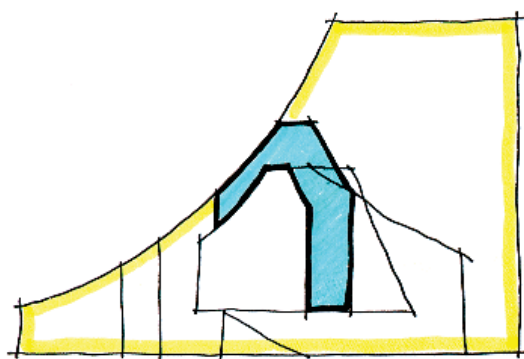


Figura 9-8: Zona de ventilação

9.11.1.1 Usar a Forma e a Orientação

Maximizar a exposição da edificação às brisas do verão orientando corretamente o projeto e empregando alguns recursos aplicáveis à forma do edifício. O estudo da forma e da orientação da arquitetura também pode explorar a iluminação natural e favorecer os ganhos de calor solar (Figura 9-9).



Figura 9-9: A forma e a orientação do edifício

9.11.1.2 Projetar Espaços Fluidos

Além de serem atrativos plasticamente, os espaços interiores fluidos permitem a circulação do ar entre os ambientes internos e entre os ambientes e o exterior

(Figura 9-10). Muitos dispositivos podem ser usados para permitir esse tipo de recurso mantendo, contudo, a privacidade visual do interior (venezianas e elementos vazados, entre outros). Em locais com invernos mais frios, estes dispositivos devem poder ser fechados para evitar infiltrações indesejáveis.

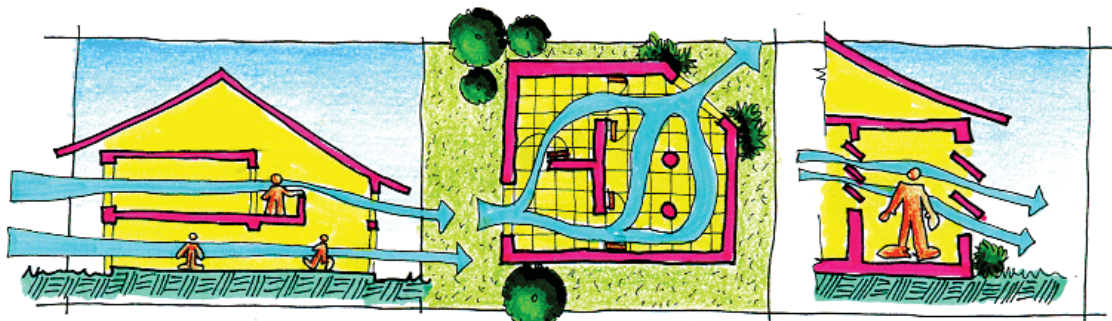


Figura 9-10: Espaços fluidos

9.11.1.3 Promover Ventilação Vertical

O ar quente tende a se acumular nas partes mais elevadas do interior da edificação; a retirada deste ar quente pode criar um fluxo de ar ascendente gerado por aberturas em diferentes níveis. Isto pode ser feito através de diversos dispositivos como os lanternins, aberturas no telhado, exaustores eólicos ou aberturas zenitais (Figura 9-11).

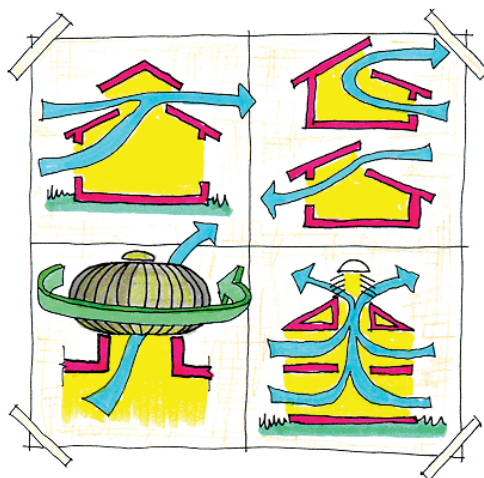


Figura 9-11: Ventilação vertical

Também se pode combinar o fator iluminação natural ao se utilizar aberturas zenitais, que podem ser colocadas em locais estratégicos para cumprir as duas funções simultaneamente (ventilar e iluminar).

9.11.1.4 Elementos que Direcionam o Fluxo de Ar para o Interior

Diversos elementos que se salientem da volumetria ou no entorno do edifício podem ser utilizados para incrementar o volume e a velocidade do fluxo de ar para o espaço interno. Alguns elementos podem inclusive ser úteis para o sombreamento de aberturas (Figura 9-12).

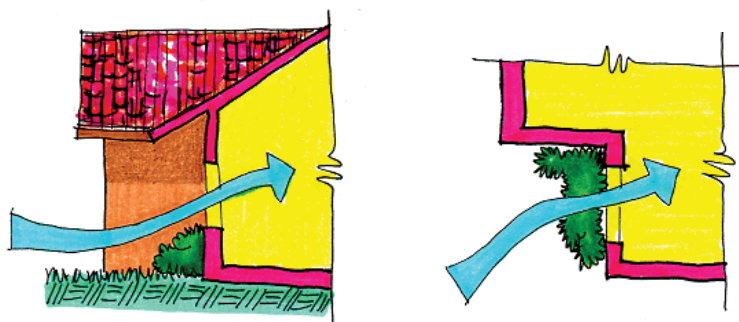


Figura 9-12: Direcionamento do ar para o interior

9.11.2 Resfriamento Evaporativo e Umidificação

Esta estratégia (Figura 9-13) consiste na retirada de calor do ar pela evaporação de água ou pela evapotranspiração das plantas. Diversas técnicas de resfriamento evaporativo podem ser utilizadas para diminuir a temperatura do ar:

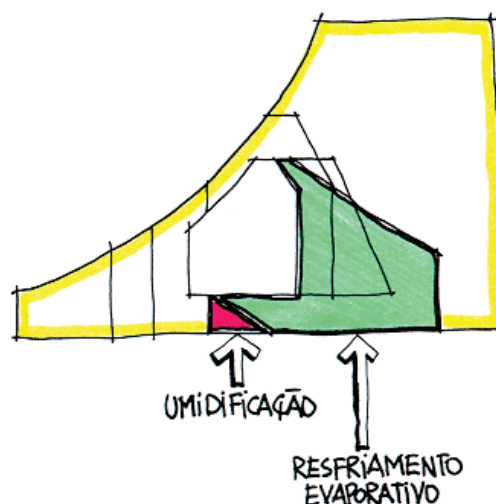


Figura 9-13: Zona de Resfriamento Evaporativo e Zona de Umidificação

9.11.2.1 Construir Áreas Gramadas ou Arborizadas

Uma superfície gramada ou arborizada exposta ao sol consome uma parte do calor recebido para realizar a fotossíntese (Figura 9-14). Outra parte do calor é absorvida para evaporar água (evapotranspiração). Cria-se então um microclima mais ameno que refresca os espaços interiores da edificação.

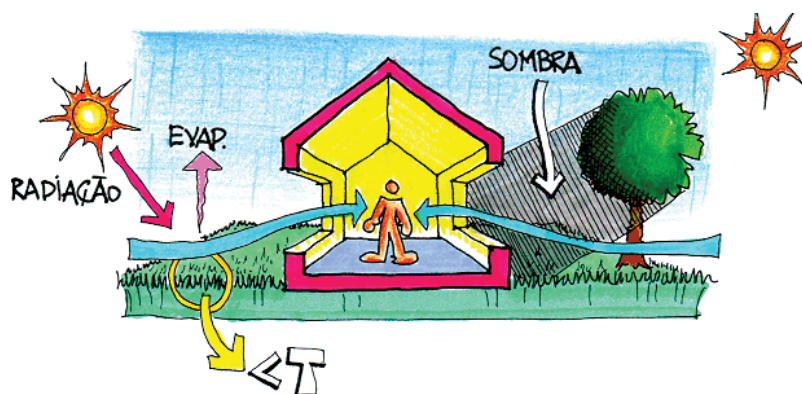


Figura 9-14: Resfriamento Evaporativo com áreas gramadas ou arborizadas

9.11.2.2 Resfriamento Evaporativo das Superfícies Edificadas

Esta opção pode ser empregada para diminuir a temperatura das superfícies da edificação. O uso de telhas cerâmicas não vitrificadas é recomendado. Sua porosidade absorve a água da chuva e do sereno noturno, que é posteriormente evaporada com a incidência do sol. Assim a telha perde calor, reduzindo os ganhos térmicos por condução e a temperatura radiante. O incremento desse efeito pode ser obtido com o umedecimento periódico do telhado nos dias mais quentes, através de tubulações perfuradas instaladas próximas à cumeeira (Figura 9-15).

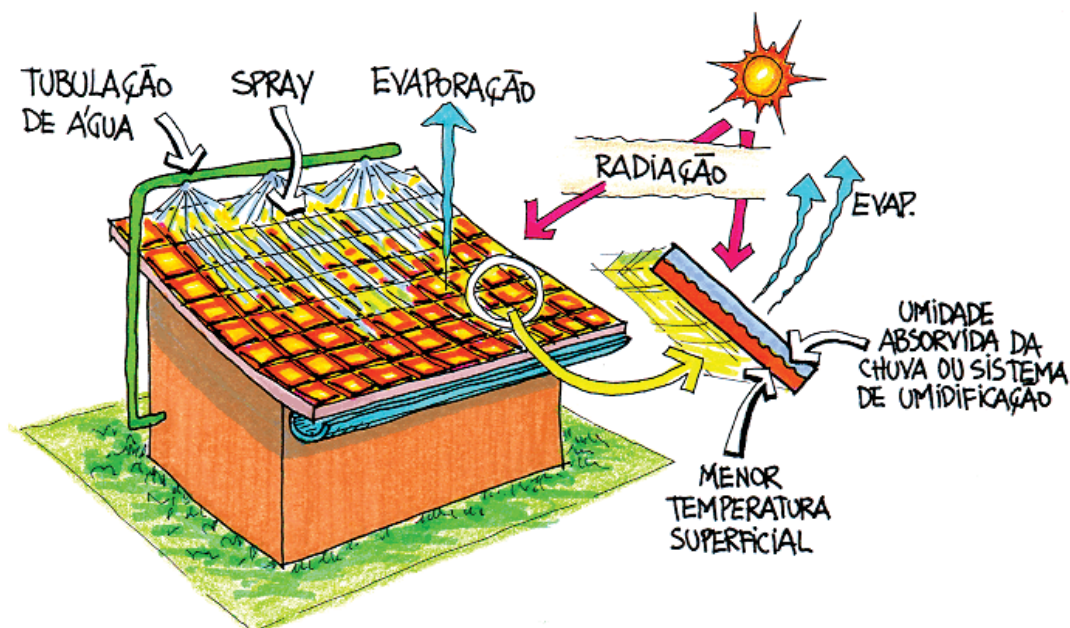


Figura 9-15: Evaporação na telha cerâmica e molhagem do telhado

Também se podem molhar as áreas pavimentadas próximas à edificação através deste tipo de tubulação (Figura 9-16).

Da mesma forma como nas superfícies gramadas, se pode forrar as paredes externas da edificação com vegetais (normalmente trepadeiras). A temperatura da parede é reduzida pela evapotranspiração do vegetal e pelo sombreamento da radiação solar (Figura 9-17).

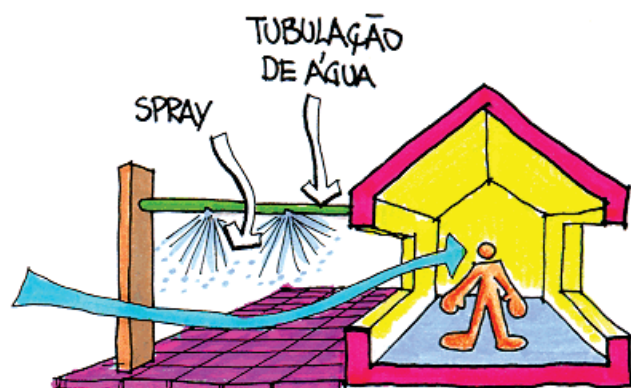


Figura 9-16: Molhagem de superfícies pavimentadas

Se as folhas forem caducas se pode aproveitar o calor solar no inverno, efeito desejável em climas com estações bem diferenciadas.

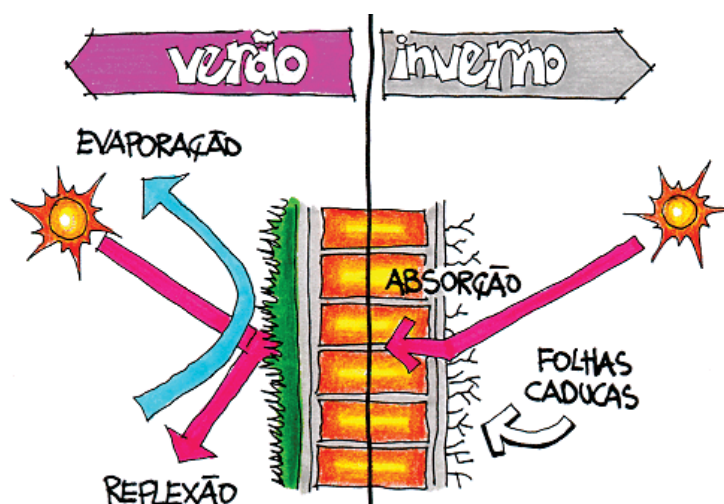


Figura 9-17: Parede com trepadeiras

9.11.2.3 Resfriamento Evaporativo Indireto

Esta técnica consiste de soluções arquitetônicas como a instalação de um tanque de água sobre o telhado ou mesmo de um jardim (Figura 9-18). Com a incidência do sol, a evaporação da água ou a evapotranspiração do vegetal retira calor da cobertura, resfriando a superfície do teto. Assim, haverá a diminuição da temperatura radiante média do ambiente interior.

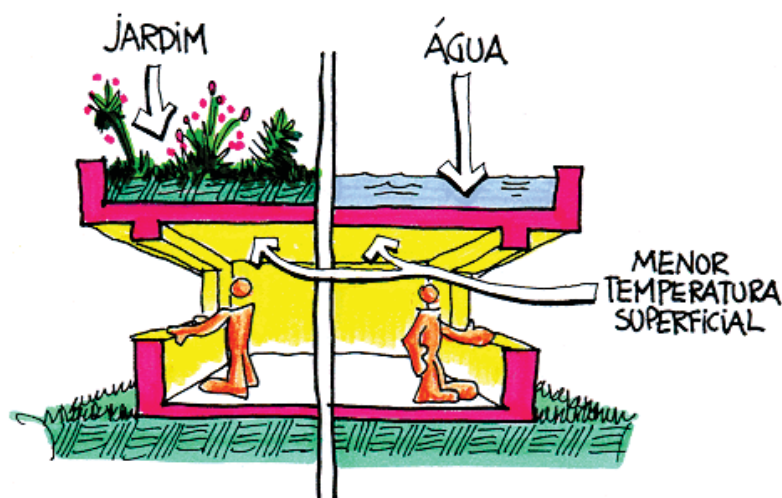


Figura 9-18: Tanque de água e jardim sobre o telhado

9.11.2.4 Umidificação

Em regiões climáticas onde a umidade relativa do ar é muito baixa (inferior a 20%), a secura extrema do ar pode causar desconforto (mucosas ressecadas e princípios de desidratação, entre outros problemas). O que se pode fazer nestes casos é umidificar o ar através da evaporação da água de fontes ou espelhos d'água próximos à edificação de forma a tirar partido do microclima que se criará em suas imediações (Figura 9-19).

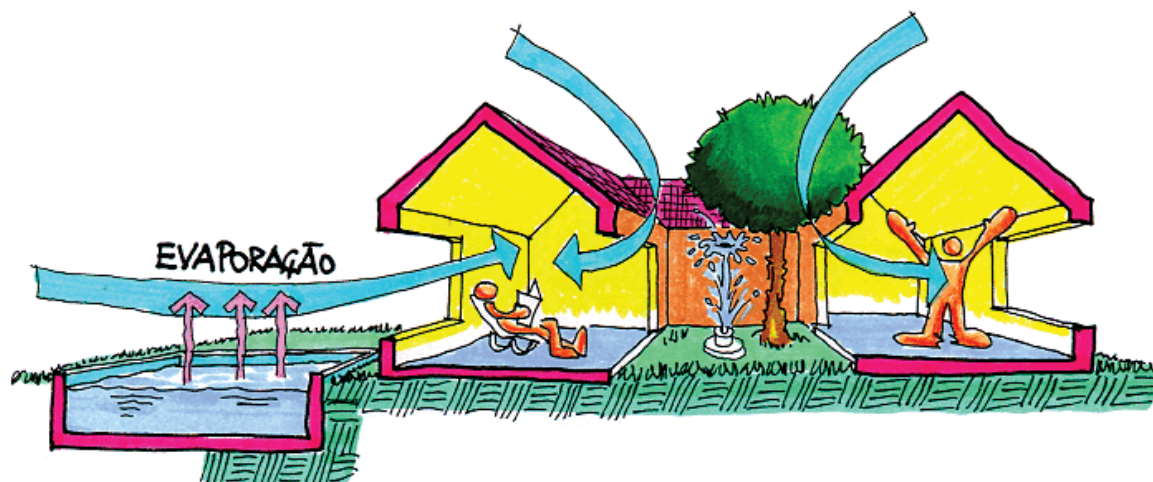


Figura 9-19: Fonte e espelho d'água

9.11.3 Usar Inércia Térmica

Segundo a carta bioclimática percebe-se que a inércia térmica pode ser usada para aquecer ou resfriar a arquitetura, conforme os dados do clima do local se situem nas zonas referidas na Figura 9-20.

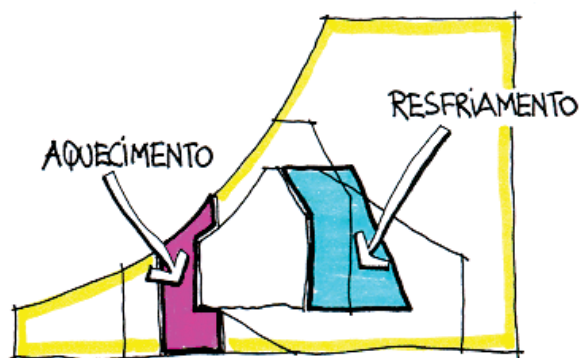


Figura 9-20: Zona de Inércia Térmica para Aquecimento e para Resfriamento

O uso da inércia térmica pode ser útil tanto no frio quanto no calor, dependendo das características climáticas da região (como umidade relativa, amplitude térmica e insolação). A maneira mais simples para usar a inércia térmica para aquecimento em uma edificação é construir fechamentos opacos mais espessos e diminuir a área de aberturas, orientando-as para o sol (Figura 9-21). Como já explicado no terceiro capítulo deste livro, a inércia térmica pode acumular o calor recebido pela parede durante o dia e devolvê-lo ao interior somente à noite, quando as temperaturas tendem a ser mais amenas (inércia térmica). Em locais muito frios isto pode ser fundamental. Embora o ar externo esteja a uma temperatura muito baixa, a insolação direta pode aquecer substancialmente as paredes e a cobertura da edificação. Em locais quentes a inércia térmica pode ser utilizada para resfriar o ambiente interior. Neste caso as aberturas devem ser sombreadas e deve-se evitar a ventilação diurna, que pode aumentar a temperatura interna ao trazer o ar quente do exterior. À noite, deve-se permitir a ventilação seletiva, para retirar o calor acumulado durante o dia e garantir temperaturas internas mais baixas no dia seguinte.

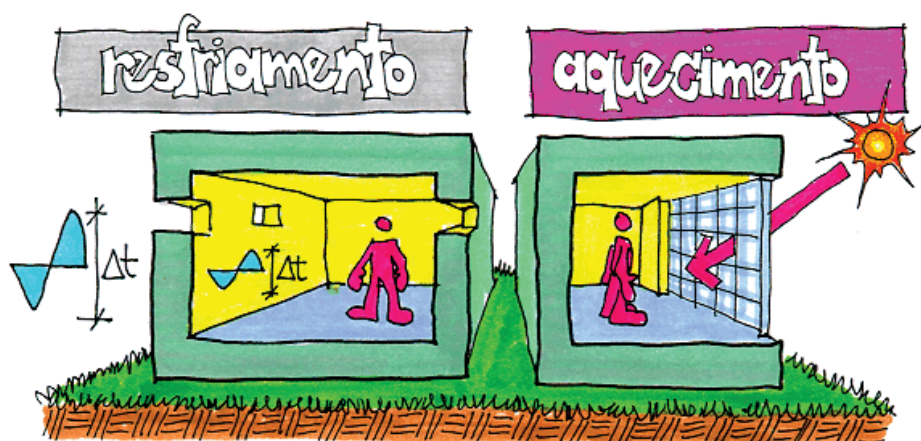


Figura 9-21: Inércia Térmica para aquecimento ou para resfriamento

9.11.4 Aquecimento Solar Passivo

O aquecimento solar passivo (Figura 9-22) pode ser obtido de diversas formas distintas:

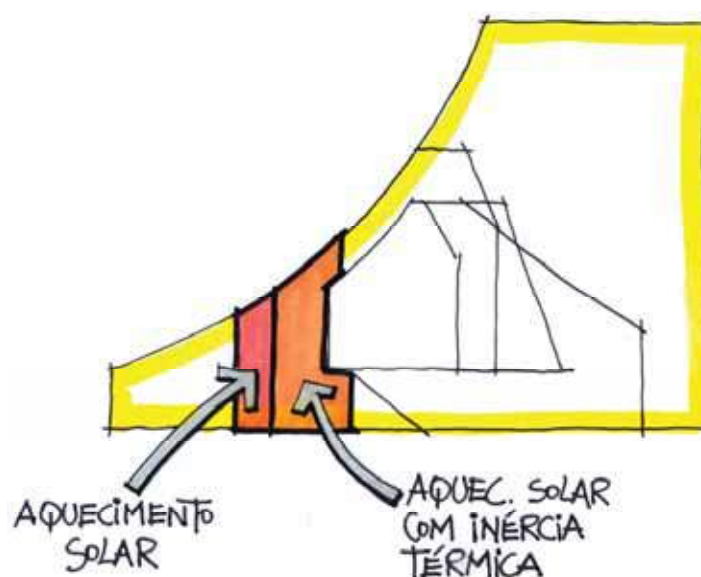


Figura 9-22: Zona de Aquecimento Solar Passivo

9.11.4.1 Ganho Direto

Consiste em permitir o acesso da radiação solar diretamente ao interior, através de aberturas laterais (janelas e paredes transparentes) ou zenitais (clarabóias e domos). Através de elementos transparentes se pode gerar o “efeito estufa” quando necessário, para aquecer os ambientes interiores. Uma aplicação comum desta técnica são os solários (Figura 9-23).

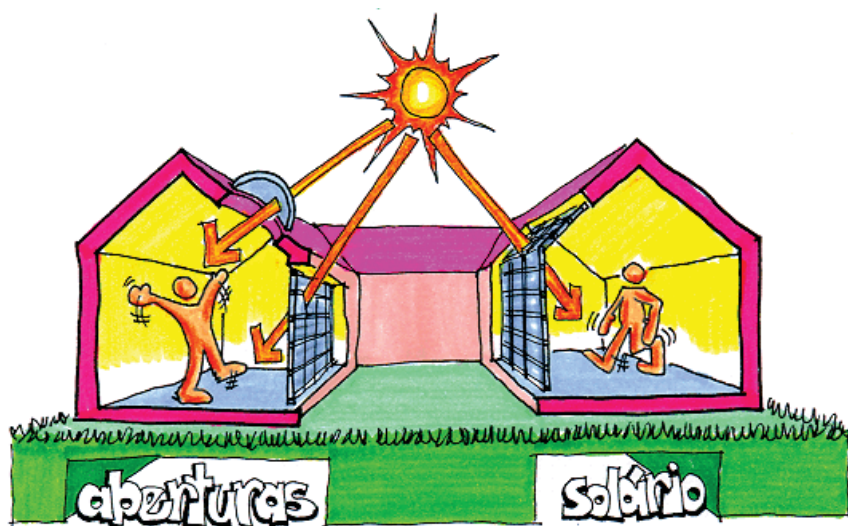


Figura 9-23: Ganho solar direto

9.11.4.2 Ganho Indireto

Uma forma de ganho indireto é a adoção de jardins de inverno, que captam a radiação solar distribuindo-a indiretamente aos ambientes interiores.

Também se podem construir paredes de acumulação, que consistem no uso de paredes com elevada inércia térmica nas orientações mais expostas à insolação (Figura 9-24). Estes elementos acumulam o calor do sol devolvendo-o depois ao ambiente por radiação de onda longa e convecção. A colocação do vidro evita que a parede perca calor por convecção e por radiação para o exterior. Também conhecida como parede trombe, esta técnica consiste em criar uma convecção induzida pelo aquecimento do ar no espaço entre vidro e parede. O ar quente tende a subir, sugando ar mais fresco pela abertura inferior do sistema.



Figura 9-24: Ganho solar indireto

9.11.5 Ar Condicionado

Em certas condições climáticas (Figura 9-25) o ar condicionado é a intervenção mais adequada a ser feita para garantir o conforto térmico dos usuários.



Figura 9-25: Zona de Ar Condicionado

Neste caso deve-se garantir a estanqueidade dos ambientes, evitando a infiltração do ar exterior, e optar por aparelhos mais eficientes. Além disso, o arquiteto deve observar os cuidados requeridos na instalação do equipamento, não o expondo ao sol e prevendo o isolamento térmico dos fechamentos da edificação.

Em edifícios comerciais e públicos geralmente o uso do ar condicionado é necessário, pois o desconforto pode significar perda de clientes e baixa produtividade. Entretanto, muito pode ser feito pelo arquiteto para reduzir a demanda de condicionamento artificial e o consequente consumo de eletricidade. As estratégias bioclimáticas já analisadas podem não responder completamente à necessidade de conforto em virtude principalmente das grandes cargas internas provenientes de iluminação artificial, número de usuários e de equipamentos. É, no entanto, aconselhável adotar os critérios a serem seguidos no projeto ou reforma de edifícios, objetivando sua menor dependência da climatização artificial:

- Redução da transmitância térmica das paredes, janelas e coberturas;
- Uso de proteções solares em aberturas;
- Uso de cores claras no exterior (reduz ganhos por radiação);
- Emprego da ventilação cruzada sempre que possível;
- Evitar ambientes sem contato com o exterior, pois não podem explorar a luz e a ventilação natural.

O ícone de edifício comercial moderno é a fachada do vidro. Quando não protegido, o vidro gera ganhos solares altos (efeito estufa) e contribui para um consumo exagerado de energia para climatização artificial. Nestes casos é necessário o uso de proteções solares para reduzir o aporte de calor pela janela. Contudo elas devem ser dimensionadas para não bloquear em demasia a luz natural, o que ocasionaria o gasto de eletricidade para iluminação e, consequentemente, reduziria a eficiência do sistema de abertura. Também se deve evitar o uso de vidros absorventes (fumê), pois reduzem consideravelmente a visibilidade para o exterior e a entrada de luz natural.

Outra questão a ser considerada para edifícios comerciais e públicos é a eficiência dos sistemas de ar condicionado. Os problemas de consumo alto diretamente ligados ao equipamento de ar condicionado são:

- Falta de manutenção;
- Falta de isolamento dos dutos de ar ou das tubulações de água;
- Superdimensionamento;
- Equipamento de baixa eficiência.

O superdimensionamento (Figura 9-26) pode ser evitado se o arquiteto estimar a carga térmica dos ambientes, e dessa forma tiver argumentos para discutir com o projetista de ar condicionado sobre o equipamento ideal a ser instalado.



Figura 9-26: Superdimensionamento de ar condicionado

Se a instalação de ar condicionado for especificada com um sistema central, o ideal é introduzir termostatos em cada ambiente a ser climatizado, tornando possível o controle local da temperatura.

Em edificações muito grandes aconselha-se o uso de sistemas *chiller* e *fan-coil* associados a bancos de gelo. O gelo pode ser armazenado à noite, quando a energia é menos utilizada, defasando o horário de pico no funcionamento do sistema de ar condicionado em relação ao horário de pico da demanda de energia para outros fins.

9.11.6 Aquecimento Artificial

Quando a temperatura do exterior não ultrapassa os 10,5°C, o aquecimento artificial é aconselhável. É importante o bom isolamento térmico dos fechamentos, evitando a ventilação da cobertura, adotando aberturas com vidro duplo e também construindo paredes com materiais de baixa condutividade térmica. Também nesse caso é necessário evitar a infiltração do ar externo.

O projetista deve conhecer os sistemas de aquecimento para especificá-los de forma adequada às necessidades do local, empregando equipamentos mais eficientes. No caso de edificações com vários ambientes a serem condicionados, sugere-se a adoção de sistemas de aquecimento central.

9.11.7 Outras Técnicas para Diminuir o Consumo de Energia

Além das estratégias bioclimáticas indicadas pela carta de Givoni, a racionalização do consumo de energia em edificações pode também estar relacionada com a aplicação de outras técnicas para aquecimento, refrigeração e iluminação.

9.11.7.1 O Uso da Cor

Embora de grande importância plástica na arquitetura, a utilidade das cores não se restringe à aparência, mas adentra os conceitos físicos de conforto térmico e visual. Cores escuras aplicadas nas superfícies exteriores podem incrementar os ganhos de calor solar, absorvendo maior quantidade de radiação. Isto pode ser útil em locais onde há necessidade de aquecimento. De forma complementar, a pintura de cores claras nas superfícies externas de uma edificação aumenta sua reflexão à radiação solar, reduzindo os ganhos de calor pelos fechamentos opacos. No interior, cores claras refletem mais luz, podendo ser empregadas em conjunto com sistemas de iluminação natural ou artificial.

9.11.7.2 O Sistema de Aberturas

O sistema de aberturas pode representar um verdadeiro elenco de funções na arquitetura. Sua utilidade para o conforto é inquestionável e inclui fatores como a ventilação, o ganho de calor solar, a iluminação natural e o contato visual com o exterior. Aberturas bem posicionadas podem garantir a circulação de ar nos ambientes internos (Figura 9-27), aconselhando-se sua localização de forma cruzada sempre que a ventilação for necessária.

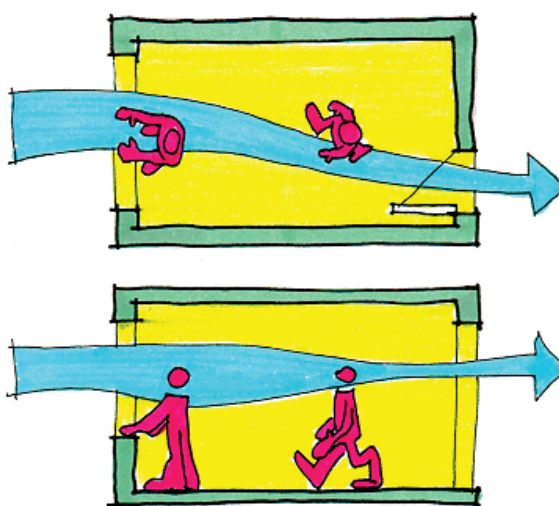


Figura 9-27: Ventilação cruzada

As janelas com bandeiras basculantes são bastante úteis em períodos frios, por permitirem a ventilação seletiva necessária para higiene do ar interno (Figura 9-28).

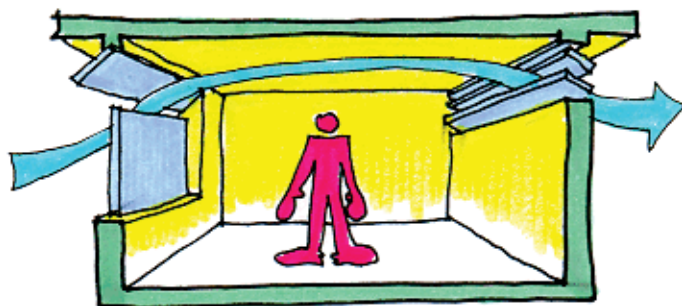


Figura 9-28: Renovação de ar em períodos frios

Com relação ao ganho de calor solar, pode ser desejável ou não, dependendo do período do ano. O controle da radiação solar pode ser feito através das proteções solares e também por vidros especiais, já tratados no quarto capítulo deste livro. Ao projetar proteções solares deve-se pensar também na sua influência sobre a luz natural e a visibilidade para o exterior. A adoção de brises do tipo *light-shelf* (prateleiras de luz, conforme já descrito no quarto capítulo) é aconselhável principalmente para a orientação norte, pois permite sombrear completamente a abertura enquanto favorece a entrada de luz para o interior. Dependendo da latitude do local e do período do ano, também se pode conceber brises constituídos de uma parte fixa e outra móvel (Figura 9-29). A versatilidade desse sistema permite sombrear o sol indesejável através da parte fixa, reservando à parte móvel a função de controlar a entrada do sol cuja desejabilidade pode variar ao longo do ano.

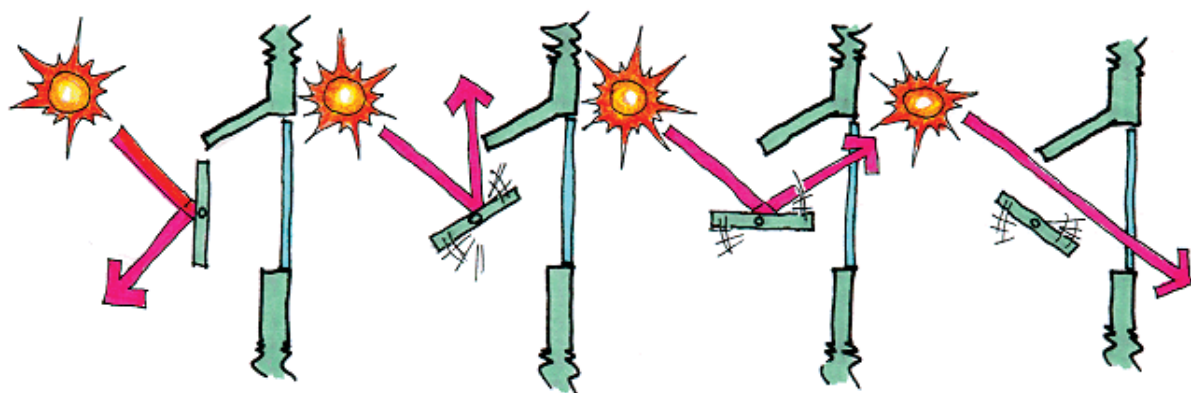


Figura 9-29: Brise móvel

Ao especificar brises com partes móveis se deve considerar a necessidade de manutenção regular e a possibilidade de operação errônea por parte do usuário. O ideal é promover esclarecimentos sobre as vantagens e o funcionamento do sistema.

Mas quando utilizar proteções solares? A resposta é simples: sempre que a análise bioclimática do local indicar períodos de calor, as proteções solares podem ser utilizadas conjuntamente à estratégia de resfriamento indicada pela carta bioclimática (ventilação, inércia para resfriamento ou resfriamento evaporativo).

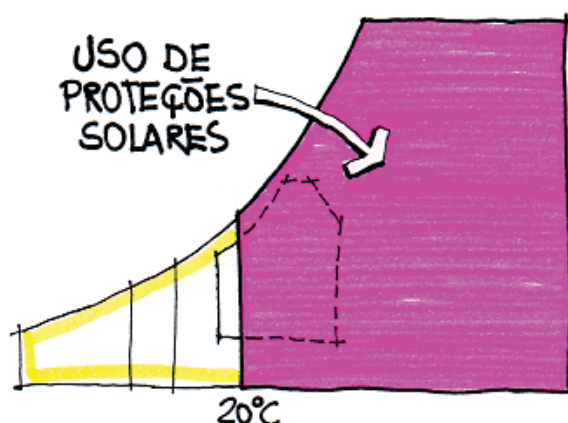


Figura 9-30: Proteções Solares na carta bioclimática

Quanto ao tipo de vidro a ser empregado, dependerá das necessidades de luz natural e de desempenho térmico do sistema de abertura. Na arquitetura residencial, normalmente se quer permitir o ingresso de luz pelas janelas, evitando ou explorando o calor solar, conforme o período do ano for respectivamente mais quente ou mais frio. Conforme já observado no quarto capítulo, hoje existem vários tipos de vidro disponíveis para controlar as perdas ou os ganhos de calor. Existem vidros e películas absorventes e reflexivos, vidros duplos ou triplos com tratamento de baixa emissividade, vidros espectralmente seletivos e combinações destes tipos entre si, segundo visto no sétimo capítulo deste livro.

Em climas quentes se deve evitar o uso de vidros e películas absorventes, pois são escuros, absorvendo mais luz do que calor. De forma semelhante, os vidros e películas reflexivas permitem a redução da carga térmica que, entretanto, pode ser suplantada pela necessidade adicional de luz artificial.

Em climas frios o ideal seria permitir a entrada do calor solar (onda curta) evitando as perdas de calor do interior. Vidros de múltiplas camadas (Figura 9-31) são indicados, pois permitem isolamento entre as placas (normalmente o ar ou algum tipo de gás).

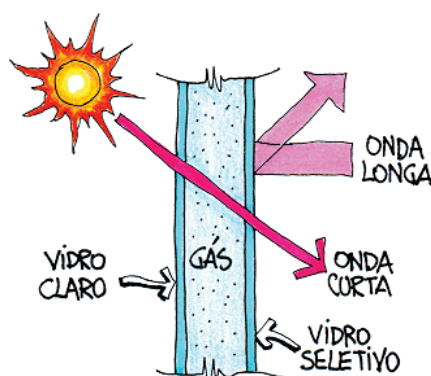


Figura 9-31: Vidro duplo

Não existe ainda um tipo de vidro ideal para todas as condições climáticas. O consumidor pode descobrir que necessita de dois ou mais tipos de sistemas de aberturas para sua casa devido à orientação. Na arquitetura, tanto o projetista quanto o cliente devem considerar o desempenho térmico e visual de uma abertura como um sistema (brise, vidro e cortina, por exemplo, conforme a Figura 9-32). A

especificação inteligente do tipo de vidro, proteção solar e dimensionamento da abertura deve examinar as necessidades de refrigeração e aquecimento ao longo do ano, priorizar a luz natural e considerar fatores como o aquecimento solar, o sombreamento, a ventilação e valores estéticos da composição arquitetônica.

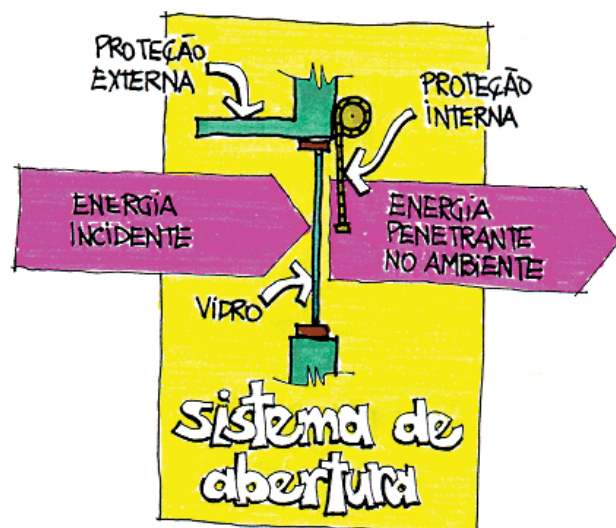


Figura 9-32: Abertura como um sistema

9.11.7.3 O Uso da Vegetação como Sombreamento

É possível que uma proteção solar não seja suficiente para sombrear adequadamente uma abertura. Na fachada oeste, por exemplo, um brise adequado às necessidades de sombreamento no verão deveria, em alguns casos, bloquear completamente a radiação solar. Em algumas horas da tarde o sol estará quase perpendicular à fachada, o que induziria a uma proteção que praticamente obstruísse a abertura. Do ponto de vista da iluminação isto significa um sério problema para o ambiente interno, que necessitará de luz artificial mesmo durante o dia. O uso de árvores com folhas caducas (Figura 9-33) pode ser uma solução para o problema. Além de sombrear a janela sem bloquear a luz natural, permite a incidência do sol desejável no inverno, quando então as folhas tendem a cair.

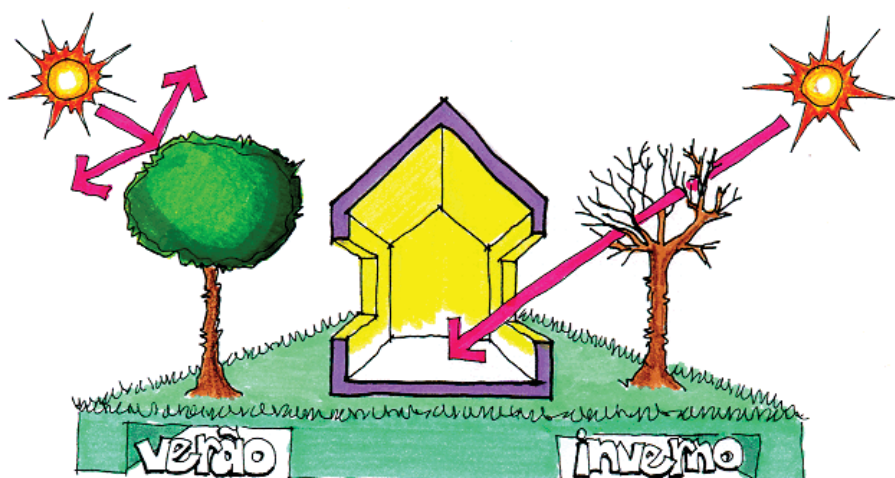


Figura 9-33: Proteção solar de árvores com folhas caducas

9.11.7.4 **Uso Racional da Iluminação**

O uso da luz natural pode representar uma grande economia de energia na arquitetura residencial. Além dos sistemas de aberturas verticais, a iluminação zenital é bastante útil, podendo iluminar locais sem paredes externas além de valorizarem ambientes arquitetônicos mais nobres (Figura 9-34).

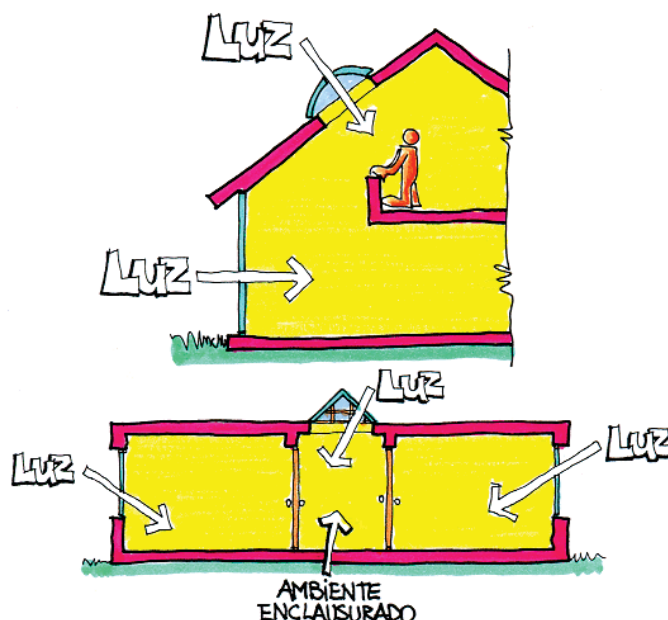


Figura 9-34: Iluminação zenital

Uma parte da energia gasta no setor residencial provém da iluminação artificial (12%). Pode-se reduzir consideravelmente este valor substituindo lâmpadas incandescentes por fluorescentes comuns ou compactas. A utilização de luminárias mais eficientes e de reatores eletrônicos também é aconselhável. Em edifícios residenciais, a energia consumida a noite pelas lâmpadas que permanecem acesas nas escadas e circulações pode ser reduzida com a adoção de minuterias. Assim, o tempo que as lâmpadas permanecem acesas é apenas o necessário para que os usuários alcancem a saída ou o seu apartamento, desligando-se automaticamente o circuito em alguns minutos.

9.11.7.5 **Aquecimento de Água**

Uma parcela significativa de energia elétrica é consumida para aquecimento de água no setor residencial. O arquiteto deve prever tubulação de água quente isolada termicamente em seus projetos, propiciando a instalação de sistemas de aquecimento a gás ou solar, bem mais econômicos. Além de evitarem o consumo de energia elétrica, outra vantagem destes sistemas é o maior grau de conforto e sua capacidade para atender diversos pontos de água quente além do chuveiro (torneiras em banheiros, cozinhas e lavanderias, por exemplo).

Quanto aos outros usos finais em edifícios residenciais, como equipamentos diversos (geladeiras, máquinas de lavar, etc.), cabe ao Governo promover programas de etiquetagens como o que vem sendo feito com geladeiras e motores e divulgação do seu significado através de mídia, para que o consumidor consciente possa optar na hora da escolha. Estas etiquetas também são úteis para programas de gerenciamento da demanda (*Demand Side Management* - DSM) de

concessionárias onde podem ser oferecidos incentivos para a compra de equipamentos eficientes.

9.11.8 Iluminação Natural e Artificial

A demanda de energia por iluminação é elevada no setor, variando de 40% (edifícios com ar condicionado) a 90% do uso final (edifícios sem ar condicionado). Duas estratégias sistemáticas podem ser adotadas para reduzir o consumo por iluminação: o uso de luz natural e o emprego de sistemas mais eficientes de iluminação artificial. O ideal é que ambos os critérios sejam considerados em conjunto, trabalhando-se a iluminação como um sistema.

Aumentar a taxa de iluminação natural não significa necessariamente aumentar a área de aberturas, pois isto poderia incorrer em maiores ganhos de calor solar indesejáveis. Além das aberturas tradicionais, pode-se explorar a luz natural através de diversos recursos arquitetônicos, como prateleiras de luz, átrios, dutos de iluminação espelhados, persianas reflexivas, paredes transparentes (tijolo de vidro), poços de luz, telhados com *shed*, refletores externos, clarabóias e outros, dependendo do repertório e da criatividade do arquiteto (Figura 9-35). Atualmente, o uso da fibra ótica como condutor de luz também começa a ser explorado na construção civil.

Desta forma pode-se resolver o problema da distribuição da luz natural até ambientes interiores com menor possibilidade de abertura de janelas.

A eficiência energética em iluminação inclui um bom projeto e equipamentos de qualidade empregados de uma maneira efetiva, proporcionando melhorias visuais no conforto e qualidade do ambiente. Um projeto de iluminação de qualidade e eficiente deve incluir:

- Integração com luz natural;
- Iluminação de tarefa;
- Uso de sistemas de controle eficazes;
- Uso de tecnologias mais eficientes de iluminação.

9.11.8.1 INTEGRAÇÃO COM LUZ NATURAL

A luz natural pode ser utilizada para reduzir o consumo de energia com iluminação. Para que isso seja possível, deve-se buscar explorá-la de forma integrada com os sistemas de iluminação artificial. Isto pode ser feito de diversas maneiras, devendo o arquiteto conhecer o comportamento dos dispositivos utilizados para iluminação natural (Figura 9-35) e dos componentes do sistema de iluminação artificial, integrando-os em um único sistema (Pereira 1995). Dentro dessa idéia, sempre que a luz natural for adequada às necessidades de iluminação do ambiente, a iluminação artificial deve ser desativada ou reduzida. Alguns sistemas de controle (como os sensores fotoelétricos), discutidos mais adiante, podem ser empregados com essa finalidade. Não se deve esquecer de balancear os ganhos de calor que podem estar embutidos no ingresso de luz natural, pois isto poderia incrementar o consumo de energia para condicionamento térmico.

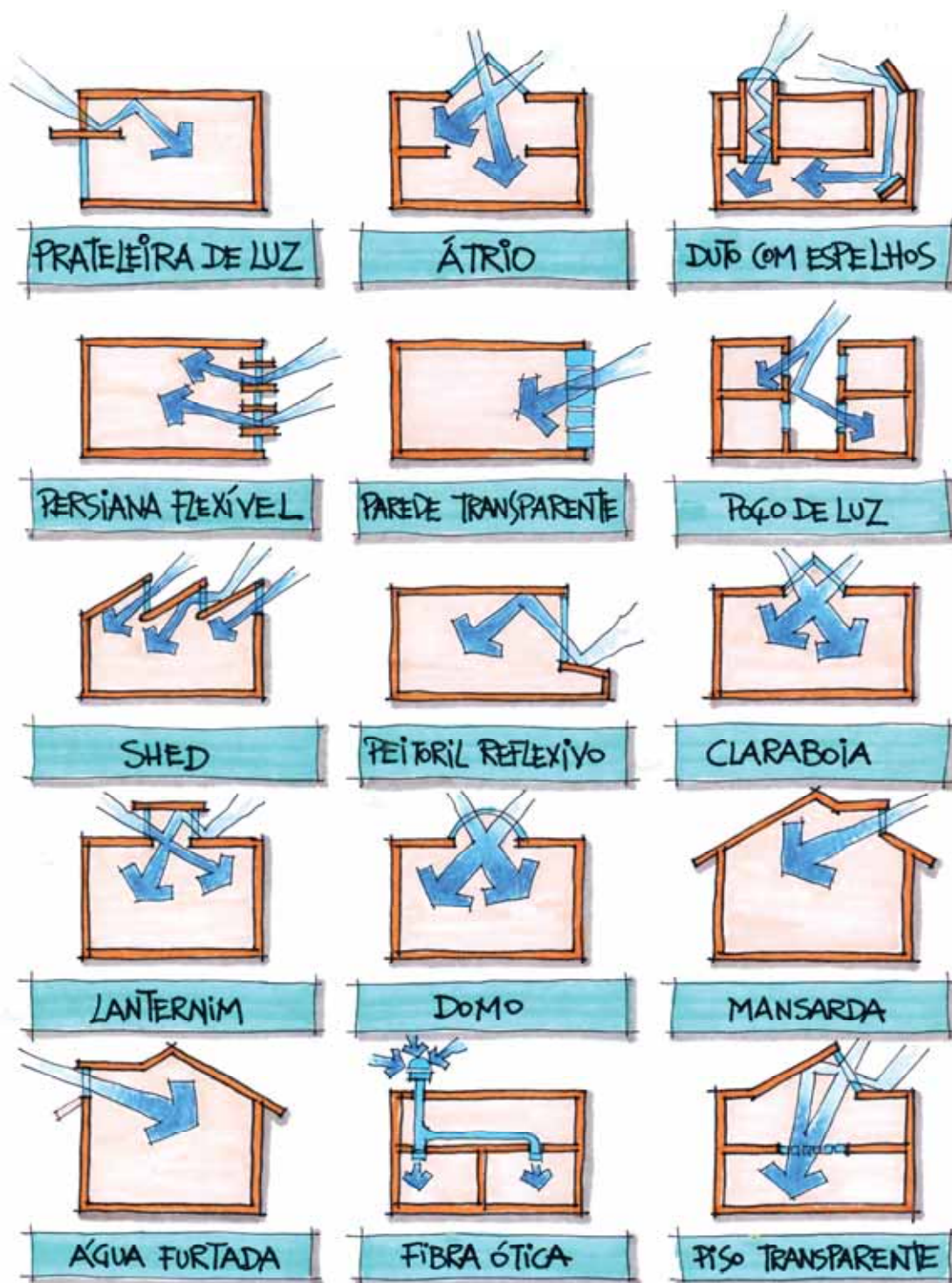


Figura 9-35: Sistemas de iluminação natural

9.11.8.2 Iluminação de Tarefa

Esta técnica permite a previsão de níveis de iluminação mais altos para as tarefas visuais, enquanto se mantém o restante da iluminação a níveis mais baixos. As áreas circundantes da tarefa visual necessitam de menos iluminação que o local da tarefa propriamente dita. Recomenda-se que a iluminação ambiental seja pelo menos 33% da iluminação da tarefa, para conforto e adaptação ao transiente. Por

exemplo, se uma tarefa requer 750 lux, a iluminação geral do ambiente deve ser mantida em pelo menos 250 lux. Isto significa que boa parte da área interna de um edifício pode ter seu nível de iluminação diminuído, reduzindo também o consumo de energia.

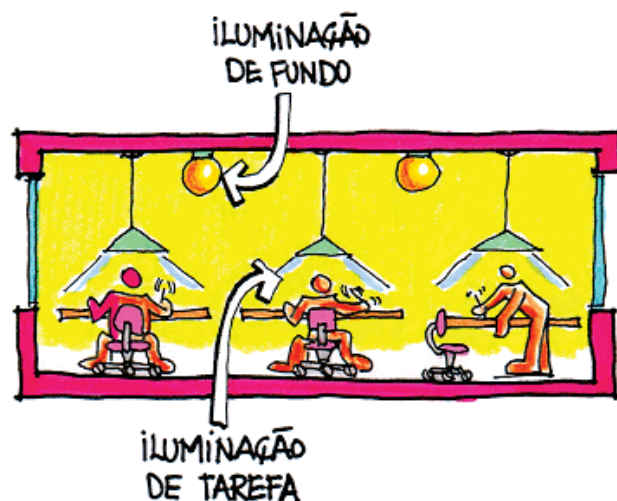


Figura 9-36: Iluminação de tarefa

9.11.8.3 Manutenção dos Lúmens

A iluminação artificial é geralmente projetada para produzir mais luz do que o necessário. A quantidade de luminárias e lâmpadas é usualmente superdimensionada para garantir que, no final de sua vida útil, quando a luz liberada pelas luminárias decresce por diversos fatores, a iluminância seja sempre excedida ou pelo menos igual ao nível requerido.

A manutenção dos lúmens consiste em usar uma fotocélula para detectar a iluminância atual no espaço e ajustar o nível de luz adequadamente. A iluminância de projeto é mantida todo o tempo, não somente no fim de sua vida útil (Figura 9-37) (Lawrence and Berkeley Laboratory 1993).

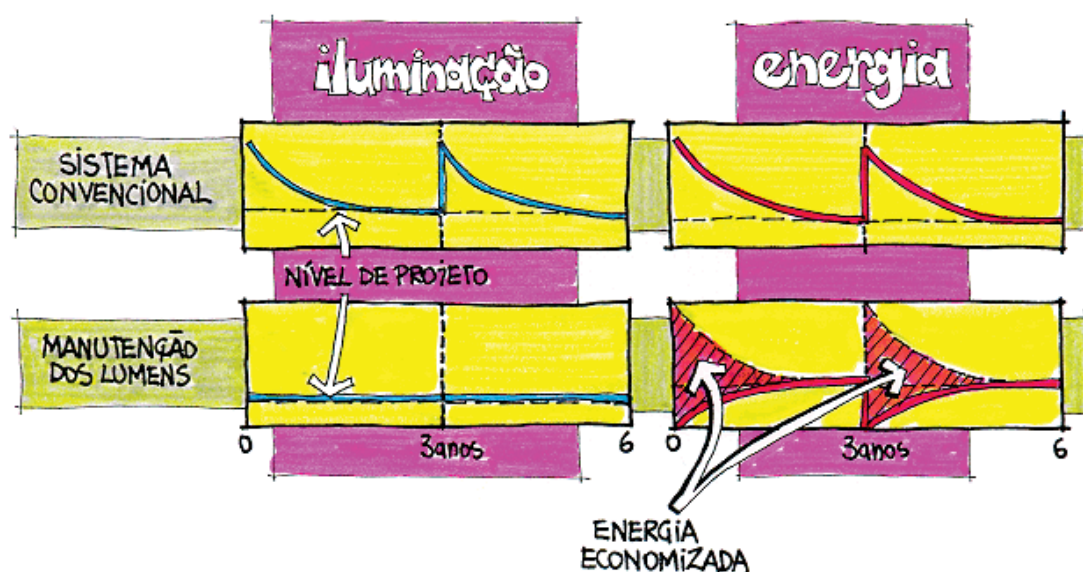


Figura 9-37: Manutenção dos lúmens

Observa-se que no sistema de iluminação convencional, a potência de iluminação é superdimensionada no início do ciclo, induzindo ao consumo desnecessário de energia. No sistema de iluminação com manutenção dos lúmens, o nível de iluminação constante garante a economia por toda a vida útil do equipamento de iluminação.

Além de ser aplicável em ambientes exclusivamente iluminados artificialmente, a manutenção dos lúmens permite também a integração com a luz natural em ambientes com aberturas para o exterior. A luz natural não será otimizada, mas pode ser percebida pelo sensor fotoelétrico, que fará a devida correção na intensidade de energia fornecida para a iluminação artificial.

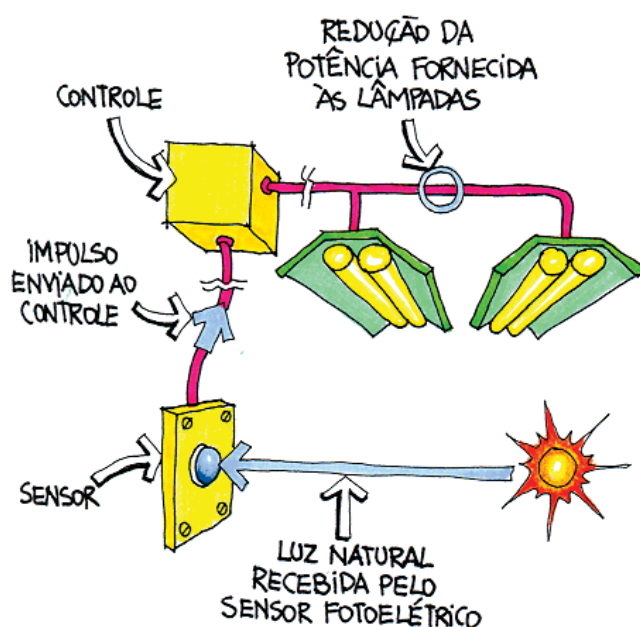


Figura 9-38: Manutenção dos lúmens integrada à iluminação natural

9.11.8.4 Sistemas de Controle

Da mesma forma que na manutenção dos lúmens, a função de um sistema de controle de luz é fornecer a quantidade necessária de iluminação onde e quando ela é necessária, enquanto minimiza o consumo de energia elétrica. Os sistemas de controle são basicamente de três tipos:

- Sistemas com controle fotoelétrico;
- Sensores de ocupação e
- Sistemas de programação do tempo.

9.11.8.5 Tecnologias Eficientes de Iluminação

No projeto arquitetônico de edifícios comerciais e públicos, o arquiteto deve se preocupar também com o projeto de iluminação. Desenvolvido pelo arquiteto ou por projetistas especializados, o projeto de iluminação deve focar a alta qualidade e a alta eficiência energética de sistemas de iluminação. Além de considerar sistemas de controle, iluminação orientada à tarefa, manutenção dos lúmens e integração com luz natural, deve-se procurar a utilização de equipamentos mais eficientes (luminárias, lâmpadas e reatores).

O arquiteto também deve ter em mente o conceito de reforma, ou seja, a melhoria no sistema de iluminação de um edifício existente. Isto pode traduzir-se em economias notáveis de energia. Reprojetar o sistema de iluminação e controle, empregando inclusive lâmpadas e reatores mais eficientes, junto a luminárias refletoras pode representar uma economia de até 40% no consumo de eletricidade (Lawrence and Berkeley Laboratory 1993). As melhorias no sistema de iluminação, se bem realizadas, são sempre muito apreciadas pelas pessoas por elas afetadas. A instalação de sistemas e dispositivos de controle de luz em um edifício existente pode ser feita com pouca ou até nenhuma troca de fios. Os controles de luz são ligados ao painel de serviço elétrico e circuito de controle. A minimização do custo operacional é importante na instalação destes sistemas.

Um exemplo de reforma no sistema de iluminação pode ser dado considerando a troca das lâmpadas fluorescentes comuns de 40W por lâmpadas fluorescentes eficientes de 32W. Substituindo as luminárias comuns pelas reflexivas, pode-se obter, com uma lâmpada de 32W a iluminação equivalente a duas lâmpadas de 40W por luminária. Além disso, com a troca dos reatores convencionais por modelos eletrônicos, pode-se conectar até quatro lâmpadas em um único reator, reduzindo consideravelmente as perdas do equipamento. Obtém-se, então, a seguinte configuração para uma sala comercial antes e depois da “reforma” (Figura 9-39):



Figura 9-39: Reforma energética

No caso do exemplo se observa a redução de até 60% no consumo de energia para iluminação da sala comercial após trocar o sistema velho por outro mais eficiente. A eficiência combinada de cada componente representou uma considerável redução no consumo de energia do sistema de iluminação como um todo.

9.12 Análise e Síntese da Primeira Alternativa de projeto

Após compreender as necessidades ambientais e de conforto, o arquiteto procede à primeira alternativa de projeto, ou seja, a primeira síntese. O processo de análise-síntese, bastante conhecido quando se trata de arquitetura, é fundamental no projeto bioclimático. Somente a partir de uma análise das condições de conforto e do desempenho energético da ideia projetual, pode-se saber se a atual concepção ou mesmo desenvolvimento do edifício resultará num ambiente confortável e energeticamente eficiente.

Para que o processo de análise seja realizado, existem disponíveis atualmente no mercado muitas ferramentas de auxílio ao projeto. A maioria delas se apresenta na forma de programas computacionais que fazem simulações de desempenho térmico, luminoso, acústico e de eficiência energética, entre outros, do projeto em desenvolvimento. O ideal é que o arquiteto compreenda e interprete corretamente a maneira como tais programas indicam o desempenho do edifício, podendo então tomar decisões de projeto coerentes com os objetivos estabelecidos no princípio, relacionados aos temas discutidos neste livro.

9.13 Simulação e Propostas Alternativas

Após a análise e interpretação de cada alternativa de projeto e da alteração de qualquer elemento ou estratégia de desenho bioclimático, o arquiteto deve simular o desempenho de seu edifício novamente, checando se obteve melhores índices que anteriormente.

Esse processo de análise-síntese deve prosseguir até que um desempenho razoável seja atingido. Quanto antes o arquiteto iniciar este processo, melhor e mais facilmente alcançará bons resultados.

Pelo exposto até agora, observa-se que o cenário é complexo devido ao grande número de variáveis envolvidas. Para lidar com este problema foram desenvolvidos programas de simulação energética de edificações, como o DOE 2.1E, o BLAST o ESP e o EnergyPLUS, entre outros. O DOE 2.1E, por exemplo, compõe-se de quatro subprogramas e bancos de dados climáticos, propriedades térmicas de materiais e componentes, conforme esquema da Figura 9-40:

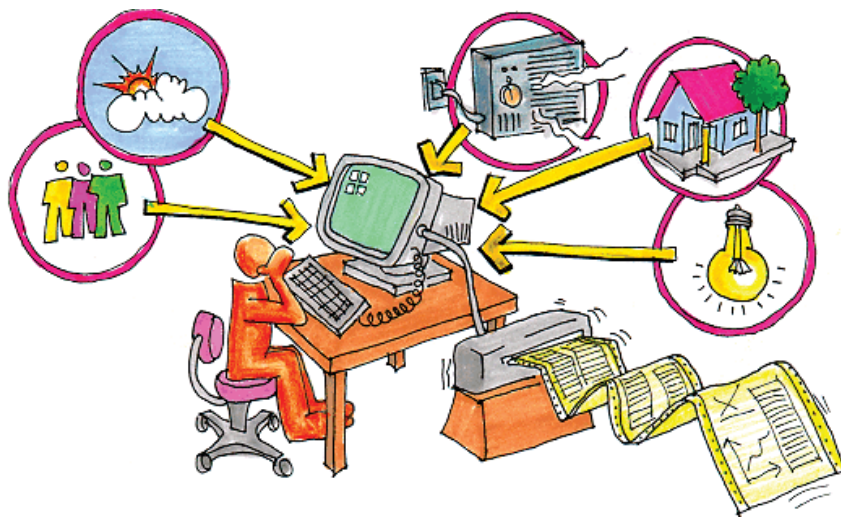


Figura 9-40: Esquema da simulação energética de edificações

Este programa faz simulações com dados climáticos para um ano, hora a hora, permitindo uma avaliação econômica através do consumo de energia das diversas opções simuladas. A simulação da iluminação natural é feita simultaneamente com a simulação térmica e energética, permitindo sua otimização. Embora o uso de programas como o DOE 2.1E requeira uma pessoa treinada para sua operação, o arquiteto deve saber avaliar a importância de contar com simulação na otimização do seu projeto, seja para orientar as decisões de projeto ou para comprovar a eficiência e a análise custo/benefício dessas decisões.

Utilizando a simulação, o arquiteto pode prever o desempenho energético de sua proposta arquitetônica, conhecendo inclusive o comportamento de cada elemento construtivo. Isto aliado à aplicação dos recursos bioclimáticos permite ao projetista conceber edificações mais eficientes. Além disso, é possível abordar de forma integrada os sistemas naturais e artificiais de condicionamento e de iluminação, respondendo mais adequadamente às condicionantes do clima e da função a que se destina o edifício.

9.14 **Uso de Energia Alternativa**

Um projeto arquitetônico que vise menor consumo de energia e maior sustentabilidade também deve buscar o uso de energias alternativas, que podem ser na forma eólica, fotovoltaica, a biomassa e solar, entre outras.

A energia solar pode ser útil de várias formas. Como fonte de calor direto, por exemplo, o calor do sol passa para o ambiente através das janelas e demais aberturas do edifício. O sol também pode aquecer os ambientes indiretamente pela inércia térmica dos elementos construtivos expostos a ele. Painéis de aquecimento solar são outra forma indireta de uso da energia solar, aquecendo água para uso em chuveiros, torneiras, piscinas e também aquecimento de ambientes, quando a água circula por serpentinas no piso ou tubulações nos rodapés ou mesmo em radiadores sob as janelas.

A energia solar pode também ser convertida em energia elétrica através de painéis fotovoltaicos e esta pode ser utilizada como alternativa à energia fornecida pela concessionária. Embora os painéis sejam caros, seu preço tem caído nos últimos anos e estão se tornando cada vez mais viáveis para uso doméstico e comercial. A energia captada durante o dia pode ser armazenada em baterias para utilização em lâmpadas eficientes (fluorescentes compactas ou leds, por exemplo) à noite, além de outros usos.

De forma semelhante, a energia eólica também representa uma alternativa promissora à energia elétrica fornecida pela concessionária, pois é gratuita e disponível inclusive à noite. Um gerador eólico pode ser construído de forma a alimentar os gastos energéticos de uma casa ou mesmo de uma comunidade inteira e a eficiência de sistemas eólicos é crescente.

É importante conhecer a disponibilidade destes tipos de energias alternativas no Brasil, dados que podem ser obtidos facilmente através do Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL 2002).

9.15 **Captação da Água da Chuva**

A água da chuva representa um potencial de economia do uso dos recursos naturais viável em quase todo o território nacional. Quando chove, a água da chuva é normalmente captada nas edificações, porém é logo direcionada por calhas ao sistema pluvial, que dispensa a água nas redes públicas de esgoto. Se em algum ponto nesse processo houver a instalação de filtros e reservatórios, esta água pode ser reutilizada para finalidades como descargas sanitárias, lavação de carros e jardins e até mesmo potáveis dependendo do sistema de filtragem e purificação disponível.

9.16 Reutilização de Água

A água que já foi utilizada normalmente também pode ser reutilizada se devidamente filtrada e purificada. Existem diversos sistemas de purificação da água, sendo um dos mais sustentáveis o sistema conhecido por zonas de raízes.

9.17 Projeto de Arquitetura Bioclimática

Todos os conceitos vistos neste capítulo devem ser aplicados pelo menos de forma qualitativa no projeto, visto que é assim que o arquiteto normalmente concebe boa parte de suas decisões na arquitetura. Isto será mais fácil em edificações de pequeno porte ou de função residencial, onde é menor o número de variáveis envolvidas e é maior a possibilidade de se explorar a iluminação e o condicionamento naturais. No setor comercial e público, como já foi dito, cresce muito a complexidade, pelo fato de que os sistemas artificiais são quase sempre a fonte principal de iluminação e de conforto e porque o uso do espaço por maior número de pessoas demanda maior quantidade de energia. Neste caso é mais urgente a integração entre sistemas naturais e artificiais e a utilização de equipamentos mais eficientes, fazendo mais sentido utilizar-se a simulação como ferramenta de projeto. É importante ressaltar que o arquiteto pode fazer a simulação do desempenho energético do edifício ou simplesmente contratar um profissional para fazê-lo, visto que a segunda alternativa é a atitude em geral tomada pelo arquiteto frente a algumas outras questões tecnológicas pertinentes à arquitetura.

Mas de que forma utilizar os conceitos bioclimáticos e de eficiência energética desde o início do projeto?

A sistematização de todas as variáveis parece em demasiado complexa, além do que deve ser respeitado o método próprio de cada arquiteto em projetar. Mesmo assim se pode sugerir uma sequência de procedimentos onde as questões discutidas no livro integram-se com outros fatores levados em consideração no projeto arquitetônico (Figura 9-41).

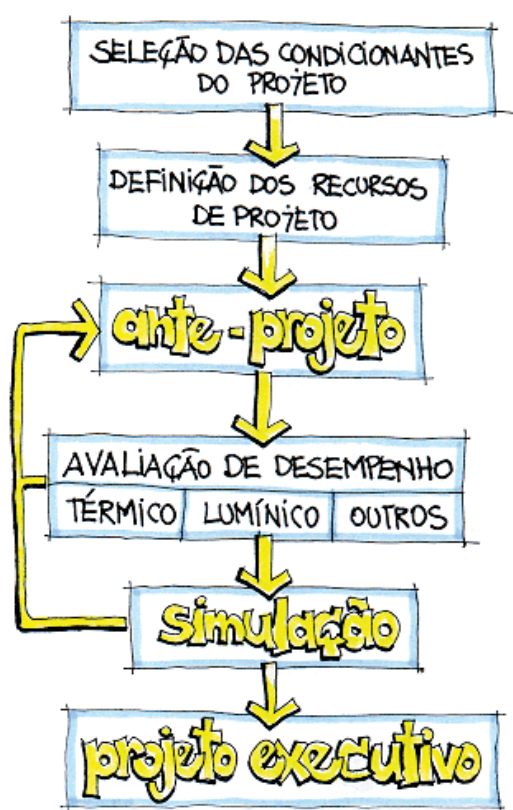


Figura 9-41: sequência de procedimentos no projeto bioclimático

O esquema ilustra uma maneira lógica de projetar, integrando os conceitos do livro a outros de conhecimento comum a arquitetos.



Muitos foram os conceitos vistos no livro até aqui, e ficou clara a complexidade que envolve a arquitetura em todo o percurso de sua elaboração. Antigamente, quando as tecnologias disponíveis eram mais simples, o arquiteto dominava a construção, sendo sua relação com a obra mais íntima. Mais tarde, no Renascimento, fez-se a ruptura entre o “conceber” e o “construir” (discutida no início do livro). O arquiteto passou a dominar cada vez mais o projeto e menos a construção, acomodando-se frente às novas descobertas tecnológicas e esquecendo inclusive a adequação da arquitetura ao clima. Antes da Revolução Industrial o arquiteto se via, de certo modo, obrigado a considerar as condições climáticas para o projeto do envoltório das edificações; era preciso reconhecer com certo detalhe os efeitos positivos e negativos do clima, para o desenvolvimento de estratégias adequadas ao seu aproveitamento ou rejeição. À envoltória, portanto, cabiam as funções de servir como elemento regulador das condições ambientais como, admissão de luz e sol, ganho e perda de calor, renovação de ar, etc. A Revolução Industrial mudou quase tudo. O arquiteto foi literalmente liberado para buscar outros paradigmas que não os resultantes da consideração dos elementos naturais. Neste período encontramos exemplos arquitetônicos notáveis, nos quais se identifica a manutenção de princípios bioclimáticos históricos. Entretanto, alguns avanços desenvolvidos na área de sistemas estruturais, na produção do vidro e, posteriormente, no advento da luz elétrica, contribuíram para retirar a função térmica da envoltória e passá-la aos sistemas mecânicos de aquecimento e refrigeração. Este quadro agravou-se no século passado com a larga utilização dos sistemas artificiais de iluminação e de condicionamento que, em princípio, resolveriam os problemas decorrentes da inadequação do projeto às necessidades de conforto dos usuários.

Recentemente, após a crise de energia e a partir das discussões sobre o impacto ambiental provocado pelo homem ao planeta, surge a necessidade de se buscar novas respostas arquitetônicas mais concordantes com as tecnologias disponíveis e com a idéia de preservação ambiental. Aquela ruptura conceitual Renascentista não faz mais sentido. Não se quer dizer com isso que o arquiteto deva conhecer tudo sobre todas as variáveis que influem e dão corpo à arquitetura, mesmo porque isto seria impossível. A complexidade desta arte aplicada é enorme, avançando por áreas de conhecimentos humanos como as engenharias, a psicologia, a sociologia, a ecologia, a economia, a arte, a tecnologia, a história, e outras mais. No entanto, o arquiteto deveria se preocupar em entender pelo menos um pouco sobre cada uma destas linhas de pensamento, não adotando uma como prioritária, mas trocando informações e conceitos entre todas elas. A necessidade de especialistas nestas áreas é inquestionável tanto quanto maior for a complexidade da obra arquitetônica a ser planejada. O que se quer reafirmar, porém, é a necessidade do arquiteto em ser apto para filtrar e traduzir as soluções discutidas e sugeridas pelos profissionais de cada área em propostas arquitetônicas objetivas e de qualidade.

Dentro desta visão mais holística, a Eficiência Energética é apenas uma das variáveis, mas é tão importante quanto os conceitos estéticos, formais, funcionais, estruturais, econômicos, sociais e tantos outros participantes do universo da arquitetura. Este livro sobre Eficiência Energética discute esse enfoque, reunindo conceitos que preenchem as lacunas existentes sobre o assunto no Brasil. Seu objetivo não é apenas ensinar ao arquiteto como conceber edificações mais eficientes, mas também esclarecer que as idéias aqui discutidas são premissas básicas para qualquer projeto arquitetônico, e devem ser levadas em consideração desde o princípio do estudo. Não se devem considerar essas idéias como um empecilho à elaboração do projeto, mas como condicionantes que vêm dar à arquitetura mais sentido e maior qualidade, garantindo-se o bem estar do usuário e reduzindo o impacto ambiental.

Após o enquadramento histórico feito no início do livro e da apresentação das variáveis envolvidas no estudo, passou-se à descrição de tecnologias pertinentes ao conforto e à eficiência energética. Duas idéias básicas passaram a nortear o desenvolvimento do tema:

- Integração entre condicionamento térmico e iluminação;
- Integração entre sistemas naturais e artificiais.

Para poder trocar informações com outros profissionais, o arquiteto deve evitar preconceitos contra o uso de sistemas artificiais de condicionamento térmico e de iluminação, sabendo explorá-los de forma integrada aos sistemas naturais. Com esse intuito, podem-se organizar as idéias as quais o arquiteto deve ter conhecimento.

A arquitetura pode transformar o microclima externo; pode explorar suas características favoráveis ao mesmo tempo em que evita as desfavoráveis, tentando otimizar o conforto de seus usuários. Nesse sentido é importante fazer a integração entre as variáveis climáticas (como a radiação solar, o vento e a umidade do ar) e as variáveis humanas (conforto térmico e visual), discutidas no segundo e terceiro capítulo do livro.

A partir destes estudos se pode conceber o envelope construtivo, que se compõe basicamente de fechamentos opacos e transparentes. Os capítulos 4, 5, 6 e 7 do livro tratam dos aspectos mais importantes relacionados ao envelope construtivo frente às condicionantes climáticas e às necessidades de conforto do usuário.

Nos fechamentos opacos a preocupação reside basicamente em minimizar a transmitância térmica (U) e em especificar cores adequadas ao clima local, escuras para o frio e claras para o calor.

Nos fechamentos transparentes a complexidade aumenta, pois além de influenciarem nos ganhos e perdas de calor, também influenciam na iluminação natural e na ventilação dos ambientes internos. A minimização da transmitância pode evitar perdas e ganhos de calor. A adequação do fator solar (Fs) ajuda a evitar-se ganhos de calor nos períodos quentes e incrementá-los no frio. A exploração da luz natural auxilia na diminuição do desperdício de energia para iluminação. O controle da ventilação natural deve ser feito de forma a permitir a renovação do ar no frio e aumentar as perdas de calor nos períodos quentes até certos limites. No entanto, nem sempre é possível manter o interior em condições

desejáveis de conforto térmico ou visual. Em vários casos é necessário o uso de sistemas artificiais de iluminação e de condicionamento térmico.

Se o arquiteto deseja que a luz natural contribua para a redução do consumo de energia, deve conhecer como os dispositivos arquitetônicos (janela, clarabóias, domos,...) admitem luz. Somente assim será possível a integração entre os sistemas natural e artificial de iluminação.

Muitos profissionais talvez considerem que o sistema de iluminação artificial é uma opção a ser decidida pelo cliente. Essa alternativa perde a validade quando se trata de eficiência energética, onde a integração e a eficiência desse sistema frente à luz natural dependem da correta especificação por parte do arquiteto. O enfoque da iluminação como um sistema eficiente exige desse profissional o conhecimento de lâmpadas eficientes (fluorescentes compactas, T5 e *leds*, por exemplo), de reatores eletrônicos, a adoção de luminárias reflexivas com controle de ofuscamento além do uso de sistemas de controle (de ocupação, fotoelétrico ou temporizadores). Além disso, pode-se aumentar o conforto visual e reduzir consideravelmente o consumo com a técnica da iluminação orientada à tarefa, que permite reduzir a iluminação de fundo para patamares suficientes apenas para a circulação.

Da mesma forma, os sistemas de condicionamento térmico também incluem decisões a serem tomadas pelo arquiteto. Através da análise bioclimática do local (discutida no terceiro capítulo), o profissional identifica as principais estratégias a serem adotadas no projeto arquitetônico com o intuito de estabelecer conforto térmico. A ventilação natural (discutida com detalhes no sexto capítulo) é a estratégia que se mostra mais adequada em todo o Brasil juntamente ao sombreamento (discutido com detalhes no capítulo 4), seguida pela estratégia de inércia térmica com aquecimento solar (para cidades com clima mais frio). Mesmo assim é importante que se mantenham disponíveis os sistemas de condicionamento artificial. Em condições climáticas extremas a necessidade de aquecimento artificial ou de refrigeração também será indicada na análise bioclimática. Nestes casos deve-se garantir a estanqueidade da arquitetura (evitando infiltração de ar) e utilizar equipamentos eficientes (discutidos no capítulo 7). Ao usar sistemas de refrigeração, o arquiteto deve se preocupar em reduzir o máximo possível a carga térmica, através do sombreamento, do projeto adequado do envelope construtivo (fechamentos opacos e transparentes) e do uso de cores claras no exterior.

Com o aumento da complexidade dos projetos e a necessidade de integração entre todas as variáveis, haverá a tendência ao uso da simulação, principalmente no setor comercial e público, onde a densidade de ocupação é maior e o conforto é muitas vezes obtido pelos sistemas artificiais. Neste caso o programa de simulação escolhido deve integrar os conceitos de conforto térmico e visual e o uso de sistemas naturais e artificiais.

De qualquer forma, o propósito deste livro é passar os conceitos de forma objetiva para que o arquiteto possa aplicá-los nos seus projetos ao menos intuitivamente. O livro também permite que se busque maior aprofundamento no assunto através da grande lista de referências indicadas no decorrer dos capítulos e da troca de idéias com outros profissionais quando necessário.

O arquiteto, sendo o centralizador do processo de projeto, é figura fundamental, pois é fonte da maior parte da tomada de decisões que influenciam no desempenho final do edifício. É também ele que equaciona como a miríade de variáveis se interrelaciona de forma a fazer da arquitetura um conjunto de respostas adequadas a todas as necessidades do usuário frente às condicionantes locais, ao programa arquitetônico e às necessidades futuras de sustentabilidade e de eficiência energética.

O processo de projeto, percurso através do qual a arquitetura vem a ser primeiro como desenho e depois como obra, é único a cada profissional. É justamente desta unicidade que vem a pluralidade de estilos e de soluções que podem ser igualmente adequadas ou não a cada caso. São no início e no decorrer do processo de projeto do arquiteto que todas as variáveis estudadas neste livro devem participar como elenco em um grupo maior, porém entrosado de respostas aos desafios que fazem da arquitetura uma arte aplicada.

O conhecimento destas variáveis e de como manipulá-las e considerá-las é fundamental ao arquiteto para que ele trilhe o processo de cada projeto direcionando os resultados na busca de maior conforto ambiental, eficiência energética e sustentabilidade.

Na Figura 9-42 se pode vislumbrar um edifício comercial cuja concepção caminha no sentido da eficiência energética. Ressalta-se que o nível de detalhes variará de acordo com cada projeto.

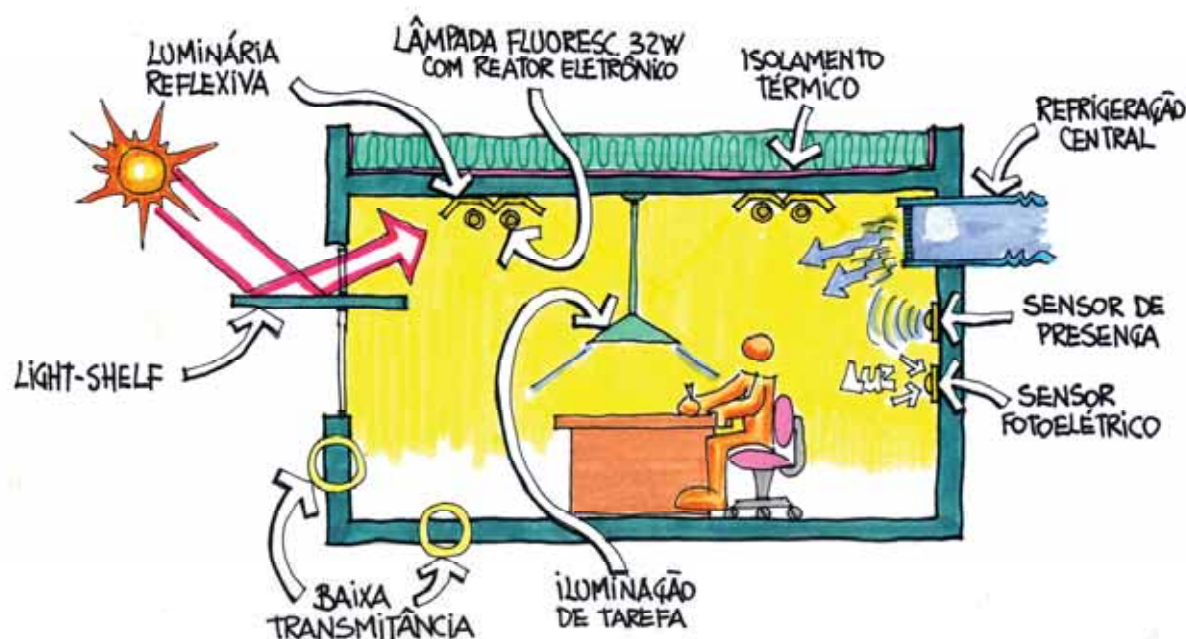


Figura 9-42: Ambiente com eficiência energética

Se a arquitetura atual buscar estes conceitos, se poderia imaginar o crescimento de cidades com menor impacto ambiental no planeta.



Figura 9-43: Arquitetura ambientalmente correta

REFERÊNCIAS:

- ANEEL (2002). Atlas de energia elétrica do Brasil. Brasília.
- GELLER, H.; (1994). *O uso eficiente da eletricidade - uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil*. INEE, ACEEE, Rio de Janeiro, RJ.
- HALL, E. T.; (1981). *A dimensão oculta*. Livraria Francisco Alves Editora S.A., Rio de Janeiro, RJ.
- LAWRENCE and Berkeley Laboratory; (1993). *Advanced Lighting Guidelines: 1993*. U. S. - DOE, CEC, EPRI, Berkeley, USA.
- PEREIRA, F. O. R.; (1995). *Iluminação natural no ambiente construído*. Curso ministrado no III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado.
- RIVERO, R.; (1985). *Arquitetura e clima*. Editora da Universidade, UFRGS, Porto Alegre.
- ROMERO, M. A. B.; (2001). *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. 2a Edição, ProEditores, São Paulo.
- ZEVI, B.; (1984). *A linguagem moderna da arquitetura*. Publicações Dom Quixote, Lisboa, Portugal.



REFERÊNCIAS

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

As seguintes referências foram citadas no livro e são sugeridas como fontes de pesquisa para aprofundamento nos conceitos aqui discutidos.

- ABNT (2004). *NBR 9050, Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. Segunda edição, Rio de Janeiro.
- ABNT (2005). *NBR 15220-1, Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades*.
- ABNT (2005). *NBR 15220-2, 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*.
- ABNT (2005). *NBR 15220-3, Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*.
- ABNT (2005). *NBR 15220-4, Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida*.
- ABNT (2005). *NBR 15220-5, Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico*.
- ABNT (2005). *NBR15215-1, Iluminação Natural - Parte 1: Conceitos básicos e definições*.
- ABNT (2005). *NBR15215-2, Iluminação Natural - Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural*.
- ABNT (2005). *NBR15215-3, Iluminação Natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos*.
- ABNT (2005). *NBR15215-4, Iluminação Natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição*.
- ABNT; (1992). *NBR 5413 - Iluminância de interiores*.
- ALMEIDA, M. A.; Schaeffer, R.; La Rovere, E. L. (2001). *The potential for electricity conservation and peak load reduction in the residential sector of Brazil*. In: *Energy* 26, Elsevier Science Ltd., 413-429.
- AMSONEIT, W; TASCHEN, B; (1994). *Contemporary european architects*. Vol.1. Benedikt Taschen, Germany.
- ANALYSIS-BIO (versão 2.1, 2006). *Programa Analysis-BIO: módulo bioclimatologia*. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível para download em: <http://www.labeee.ufsc.br>, Acesso em: 13 fev. 2006.
- ANALYSIS-SOL-AR; (2012). Programa que confecciona cartas solares para qualquer latitude e rosa-dos-ventos para as cidades que possuem arquivo climático horário. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>, acesso em outubro/2012.

- ANDERSON, B.; Wells, M.; (1981). *Passive solar energy*. Brick House Publishing Co., Massachusetts, USA.
- ANEEL (2002). Atlas de energia elétrica do brasil. Brasília.
- ANTUNES, B. (2004). *Por uma nova atitude*. in: **Arquitetura & Urbanismo**, Edição 123, junho de 2004. PINI, São Paulo, pp.50-59. e:
- APOLUX V 23_JAN_2010 (2012). Programa para cálculo de iluminação natural a partir da utilização de dois módulos, Fractal e FOTON, apresentando imagens semi-realistas, gráficos de iluminância e de luminância, além de planilhas numéricas com vários dados para pós-processamento. Disponível em: <http://www.labcon.ufsc.br/foton/>, acesso em Janeiro de 2012.
- AROTZTEGUI, J.M. (1983). *Desempenho Térmico de Janelas*. Caderno Técnico, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, Porto Alegre, RS.
- ARPLUS (2000). *Cooling towers*. in: **The Architectural Review**, no 1235, January 2000 Emap Construct, London, pp.63-65.
- ARPLUS (2001). *Revolting Suburbs*. in: **The Architectural Review**, no 1252, June 2001 Emap Construct, London, pp.75-77.
- ASHRAE (2010). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2010: Thermal environmental conditions for human occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, EUA.
- ASHRAE STANDARD 90.1-2004 (2004). *Energy standard for buildings except low-rise residential buildings*. SI Edition (ANSI Approved; IESNA Co-sponsored). Disponível em: <http://www.ashrae.org>
- ASHRAE; (1993). *Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, USA.
- ASHRAE; (2005). *Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, USA.
- AULICIEMS, A.; Szokolay, S. V.; (1997). *Thermal comfort*. PLEA NOTES, Passive and Low Energy Architecture International, The University of Queensland, Brisbane.
- BAKER, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K.; (1993). James & James Ltda, London, UK.
- BICCA, P.; (1984). *Arquiteto a máscara e a face*. Projeto Editores Associados, São Paulo, SP.
- BITTENCOURT, L.; (2004). *Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos*. 4ª Edição, EDUFAL, Maceió, p35.
- BITTENCOURT, L.; Cândido, C. (2005). *Introdução à ventilação natural*. EDUFAL, Maceió, 147p.
- BOESIGER, W.; GIRSBERGER, H.; (1971). *Le corbusier 1910-65*. Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona.
- BOGO, A.; Pietrobon, C. E.; Barbosa, M. J.; Goulart, S. V. G.; Pitta, T.; Lamberts, R.; (1994). *Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico*. Relatório Interno no 02/94, Núcleo de Pesquisa em Construção, UFSC, Florianópolis, SC.
- BORG, N.; (1994). *Promising artificial sunlight in a highly efficient way*. In: **International Association for Energy-Efficient Lighting** (IAEEL), Newsletter 3/94, no. 8, vol. 3.

- BRASIL (2006). *Balanço energético nacional 2006: ano base 2005*. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro. 188p.
- BRASÍLIA - Distrito Federal; (2001a). *Decreto Lei 10.295*. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>
- BRASÍLIA - Distrito Federal; (2001b). *Decreto Lei 4059*. 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.
- BROWN, G. Z.; DeKay, M.; (2004). *Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura*. 2a Edição, Bookman, Porto Alegre.
- CABÚS, R. (2005a). *Troplux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações*. in: **ENCAC-ELALAC 2005**, Maceió, pp240-249.
- CABÚS, R. (2005b). *Validação do programa Troplux*. in: **ENCAC-ELALAC 2005**, Maceió, pp250-259.
- CARAM, R. M.; (1998). *Caracterização ótica de materiais transparentes e sua relação com o conforto ambiental em edificações*. Tese de Doutorado, Unicamp, Campinas, SP.
- CASTRO FILHO, J. (1989). *Retiro tagaste, uma arquitetura para a amazônia*. in: **Projeto**, Edição 120, abril de 1989. Projeto Editores Associados Ltda., São Paulo, pp.106-111.
- CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES - CB3E. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem>. Acesso em: outubro/2012
- CIBSE (1986). *Summertime temperatures in buildings*. *CIBSE GUIDE (Section A8)*, The Chartered Institution of Building Services, London.
- CLARO, A. ; PEREIRA, F.O.R. ; LEDO, Rafael Z.; (2005). *APOLUX - An Innovative Computer Code for Daylight Design and Analysis in Architecture and Urbanism*. In: 9th International IBPSA Conference, 2005, Montreal. Proceedings of Building Simulation 2005. Montreal : IBPSA, 2005. v. único. p. 199-206.
- CLIMATE Consultant (versão de agosto de 1991). Programa Climate Consultant. UCLA Department of Architecture and Urban Design, Los Angeles, EUA. Disponível para download em: <http://www2.aud.ucla.edu/energy-design-tools/>, Acesso em: 13 fev. 2006.
- COLLE, S.; Pereira, E. B.; (1998). *Atlas de irradiação solar do brasil (1ª versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície)*. INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, LABSOLAR - Laboratório de Energia Solar - EMC/UFSC, Brasília, DF.
- COMMISSION of the European Communities; (1992). *Energy conscious design: a primer for architects*. B. T. Batsford Ltd., London, UK.
- CORBELLA, O.; Yannas, S. (2003). *Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos - conforto ambiental*. Revan, Rio de Janeiro.
- CUNHA, G. R.; Pires, J. L. F.; Pasinato, A.; (2004). *Uma discussão sobre o conceito de hazards e o caso do furacão/ciclone catarina*. Documentos Online, Embrapa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do36.pdf; acesso em: 01 de outubro de 2006.

- DE ANDRADE, L. M. S. (2005). *Agenda Verde x Agenda Marrom: Inexistência de Princípios Ecológicos para o Desenho de Assentamentos Urbanos*. Dissertação, Brasília. 207p.
- DE ASSIS, E. S.; (2005). *A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória*. in: **VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-Americano Sobre Conforto no Ambiente Construído**. Maceió, AL, pp. 92-101.
- DEAR, R. de; (2007). *Human heat balance*. Atmospheric Science, Macquarie University, Sydney. Disponível em <<http://atmos.es.mq.edu.au/~rddedear/pmv/>>, acesso em 23 de julho de 2007.
- DEPARTAMENTO Nacional de Meteorologia, (1992). *Normais Climatológicas, (1961-1990)*. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, DF.
- DESKTOP RADIANCE (2012). Interface para o programa Radiance para usuários do sistema operacional Windows. Disponível em: <http://radsite.lbl.gov/deskrad/dradHOME.html>, acesso em Janeiro de 2012.
- DIALUX (2012). Programa de simulação de iluminação natural e artificial, com renderização fotorrealista. DIAL GMBH, Germany. Disponível em: <http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download.html>, acesso em outubro/2012.
- DUFFIE, J. A.; Beckman, W. A.; (1991). *Solar engineering of thermal processes*. 2° ed. John Wiley and Sons, New York, USA.
- DUTRA, L. (1990). Estudos de proteções solares e sua adequação ao conforto ambiental e ao projeto arquitetônico. in: VI Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia RS/SC - CRICTE. UFSC, Florianópolis, 1990.
- DUTRA, L. (1994). *Uma metodologia para a determinação do fator solar desejável em aberturas*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- ECOTECH - AUTODESK ECOTECH ANALYSIS 2011. Programa de simulação térmica, de iluminação, acústica e de geometria solar. Autodesk. Disponível em: <http://usa.autodesk.com/ecotech-analysis/>. Acesso em outubro/2012.
- ELETROBRÁS (2007). *Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - ano base 2005 - classe residencial*. Eletrobras, 2007. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B05070313-120A-45FD-964D-5641D6083F80%7D>. Acesso em: outubro/2012.
- ELETROSUL Centrais Elétricas S.A. (2006). *Projeto casa eficiente*. Disponível em: <http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/index.php>, acesso em: 31 de outubro de 2006.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço energético nacional 2012: ano base 2011. Rio de Janeiro: EPE, 2012. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2012.pdf. Acesso em outubro/2012.
- ESPI, Mariano Vásquez; (1999). *Una brevísima historia de la arquitectura solar*. in: **Ciudades para um Futuro Más Sostenible**, Boletim CF+S. Número 9, Instituto Juan de Herrera, Madrid, España. Disponível em: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>. Acesso em: 14 fev. 2006.

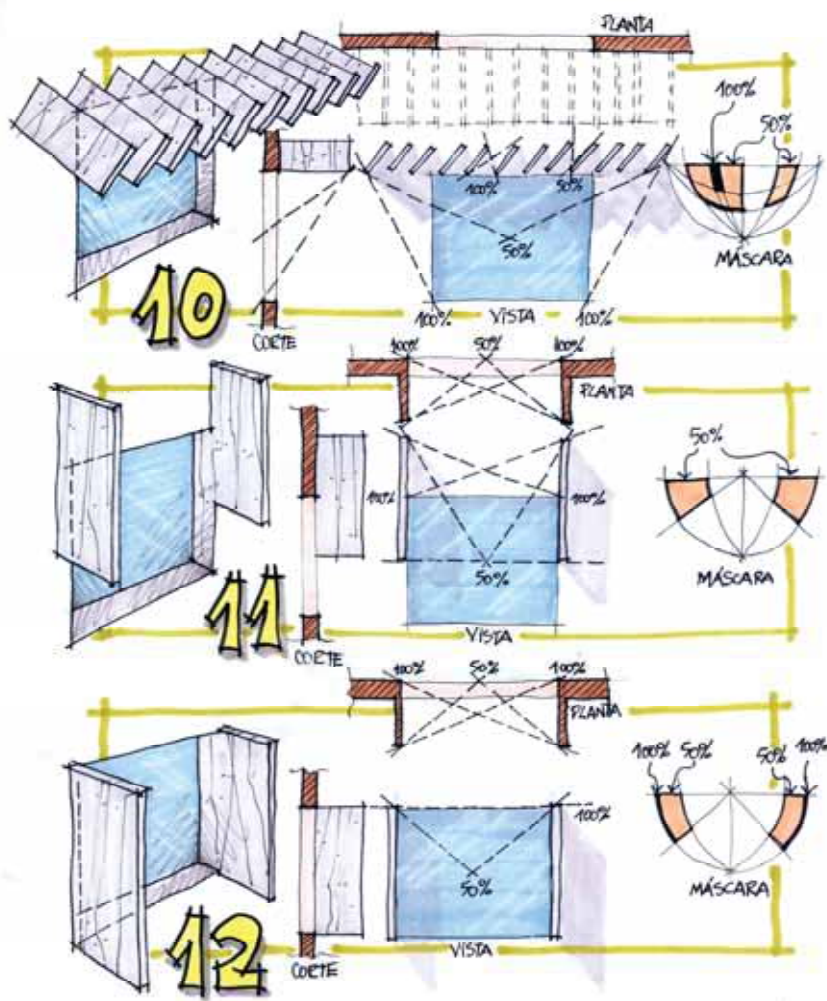
- EUROPEAN Commission Directorate - General For Energy; (1994). *Daylighting in buildings*. Energy Research Group, School of Architecture, University College Dublin Richview Clonskeagh, Dublin, Ireland.
- EVANS, J. M.; Schiller, S. (1994). *Diseño bioambiental y arquitectura solar*. 3º ed. Série de Ediciones Prévias. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Buenos Aires, Argentina.
- EVANS, M.; Schiller, S. (1988). *Diseno Bioambiental y Arquitectura Solar*, Universidad de Buenos Aires, Serie Ediciones Previas, nº 9.
- FACULTAD de Ciências Físicas y Matemáticas, (2006). *Clasificación del clima según Köppen*. Santiago, Chile. Disponível em: <http://www.atmosfera.cl/HTML/climatologia/koppen.htm>. Acesso em: 13 fev. 2006.
- FANGER, P. O.; (1972). *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill, New York, USA.
- FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda; (1999). *Dicionário aurélio eletrônico - século XXI*. Nova Fronteira.
- FONSECA, M. R.; (1983). *Desenho solar*. Ed. Projeto, IAB, Bahia.
- FROTA, A. B.; Schiffer, S. R.; (1988). *Manual de conforto térmico*. Editora Nobel. São Paulo, SP.
- GELLER, H.; (1994). *O uso eficiente da eletricidade - uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil*. INEE, ACEEE, Rio de Janeiro, RJ.
- GHISI, E.; (1994). *Melhoria no conforto térmico de edificações*. Relatório de Bolsa de Iniciação Científica - CNPq, Florianópolis, SC.
- GIVONI, B.; (1992). *Comfort, climate analysis and building design guidelines*. in: **Energy and Building**, vol. 18, july/92, pp. 11-23.
- GONZALEZ, E.; Hinz, E.; Oteiza, P.; Quiros, C.; (1986). *Proyecto clima y arquitectura*. Ediciones Gustavo Gili, S. A., México.
- GOULART, S. V. G.; Barbosa, M. J.; Pietrobon, C. E.; Bogo, A.; Pitta, T.; (1994). *Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico*. Relatório Interno no 02/94, Núcleo de Pesquisa em Construção, UFSC, Florianópolis, SC.
- GOULART, S. V. G.; Lamberts, R. (2005). *AET nº 03/04 - Levantamento da experiência internacional - experiência européia*. Relatório Interno do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE-200520, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- GOULART, S.V.G., Lamberts, R., Firmino, S. (1997). *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*. Núcleo em Pesquisa em Construção/UFSC, Florianópolis.
- HALL, E. T.; (1981). *A dimensão oculta*. Livraria Francisco Alves Editora S.A., Rio de Janeiro, RJ.
- HAWKES, D.; Forster, W.; (2002). *Architecture, engineering and environment*. Lawrence King Publishing, London.
- HHP (2006). *Hockerton housing project*. Hockerton, England. Disponível em: <http://www.hockertonhousingproject.org.uk>, acesso em 31 de outubro de 2006.
- HOUSE of Representatives Senate (2005). *Energy policy act of 2005 - federal programs*. 1724p. Disponível em: <http://www.fsec.ucf.edu/epact-05.htm>

- HUMPHREYS, M. A.; (1975). *Field studies of thermal comfort compared and applied*. in: Building Research Establishment Current Paper, 75/76, Watfort - UK.
- IBGE 2006. Mapa dos climas do Brasil. <http://mapas.ibge.gov.br>
- INMETRO; (2006). *Programa brasileiro de etiquetagem*. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe.asp>. Acesso em: 14 fev. 2006.
- INSTITUTO Lina Bo e P. M. Bardi, (2000). *João filgueiras lima - lelê*. Editorial Blau Lda., Lisboa, pp.191-202.
- INSTITUTO Nacional de Meteorologia, (1979). *Normais Climatológicas, (1931-1960)*. Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, RJ.
- INTERNATIONAL Organization for Standardization - ISO 7726; (1998). *Ergonomics of the thermal environment - instruments for measuring physical quantities*. Geneva, Switzerland. Disponível em <<http://www.iso.ch>>, acesso em outubro/2012.
- INTERNATIONAL Organization for Standardization - ISO 7730; (2005). *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Geneva, Switzerland. Disponível em <<http://www.iso.ch>>, acesso em outubro/2012.
- JONES, D. L., (1998). *Architecture and the environment - bioclimatic building design*. The Overlook Press, New York, USA.
- KOENIGSBERGER, O. H.; Ingersoll, T.G.; Mayhew, A.; Szokolay, S.V. (1977). *Viviendas y edificios en zonas calidas y tropicales*. ed. Paraninfo. Spain, 1977.
- KORHONEN, K. (2012). *The igrf-applet homepage*. Disponível em <http://www.ava.fmi.fi/MAGN/igrf/>. Acesso em outubro/2012.
- LABAKI, L. C.; Caram, R. M.; (1995). *Os vidros e o conforto ambiental*. in: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado, RS, pp. 215-220.
- LABEEE (2011). *Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais*. Elaborado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/etiquetagem/residencial/downloads>.
- LABEEE (2011). *Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos*. Elaborado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/etiquetagem/comercial/downloads>.
- LabSOLAR/NCTS, (2006). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.labsolar.ufsc.br>>, Acesso em: 13 fev. 2006.
- LAMBERTS, R.; Triana, M. A.; (2006). *Tecnologias para construção habitacional mais sustentável*. Relatório número 1: Estado da Arte, capítulo 3, Energia. Projeto FINEP 2386/04, São Paulo.
- LAWRENCE and Berkeley Laboratory; (1993). *Advanced Lighting Guidelines: 1993*. U. S. - DOE, CEC, EPRI, Berkeley, USA.
- LECHNER, N.; (2001). *Heating, cooling, lighting: design methods for architects*. 2nd ed., John Wiley & Sons, USA.

- LOMBARDO, M. A.; Quevedo Neto, P. S.; (2001). *Transformação da paisagem na área de transição urbano-rural: repercussões sobre o clima urbano*. in: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, São Pedro, SP, pp. 1-6 ????
- LUX (2012). Programa de cálculo da distribuição do Fator de Luz Diurna num ambiente interno do consumo de energia elétrica para complemento da luz natural. Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da FAU-USP (LABAUT). Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/conforto/index.html>, acesso em Janeiro de 2012.
- LUZ do Sol (2012). Programa que confecciona relógios solares para qualquer latitude. Autoria de Maurício Roriz. Disponível em <http://www.labee.ufsc.br/downloads/softwares/luz-do-sol>, acesso em outubro/2012.
- McCLUNEY, W. R.; (1993). *The benefits of using window shades*. in: ASHRAE Journal, November/93, pp. 20-27.
- MEYHÖFER, D.; (1994). *Contemporary european architects*. Vol.2. Benedikt Taschen, Germany.
- MONTEIRO, C. A. F.; Mendonça, F.; (2003). *Clima urbano*. Contexto, São Paulo.
- NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER - NGDC. *Estimated Value of Magnetic Declination*. Disponível em: <http://www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/struts/calcDeclination>. Acesso em outubro/2012.
- OLGYAY, V.; (1968). *Clima y arquitectura en Colombia*. Universidad del Valle. Facultad de Arquitectura. Cali, Colombia.
- OLGYAY, V.; (1973). *Design with climate - bioclimatic approach to architectural regionalism*. 4° ed. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- OLGYAY, V.; Olgyay, A.; (1976). *Solar control & shading devices*. Princeton University Press, Princeton, USA.
- PEREIRA, F. O. R.; (1993). *Luz solar direta: Tecnologia para melhoria do ambiente lumínico e economia da energia na edificação*. in: II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Florianópolis, SC, pp 257-267.
- PEREIRA, F. O. R.; (1995). *Iluminação natural no ambiente construído*. Curso ministrado no III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado.
- PEREIRA, F.O.R. & Sharples, S. (1991). *The development of a device for measuring solar heat gain and shading coefficients of windows in scale models*. in: Energy and Buildings, Vol. 17, pp. 271-281.
- PORTO, S. M.; Ribeiro, M. E.; (1989). *Um centro que aproveita o potencial da madeira*. in: Projeto, Edição 125, setembro de 1989. Projeto Editores Associados Ltda., São paulo, pp.69-75.
- RADIANCE (2012). Programa de simulação de iluminação natural e artificial, com renderização fotorrealista. Disponível em: <http://radsite.lbl.gov/radiance/HOME.html>, acesso em outubro/2012.
- RAMON, F.; (1980). *Ropa sudor y arquitecturas*. H. Blume Ediciones. Madrid, Espanha.

- RELUX (2012). Programa de simulação de iluminação natural e artificial, com renderização fotorrealista. Relux Light simulation Tools, Switzerland. Disponível em: <http://www.relux.biz/>, acesso em outubro/2012.
- RIVERO, R. (1985). *Arquitetura e clima*. D. C. Luzzatto Editores Ltda., Porto Alegre.
- ROAF, S.; Fuentes, M; Thomas, S. (2004). *Ecohouse 2: a design guide*. Architectural Press, Oxford, UK.
- ROMERO, M. A. B.; (2001). *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. 2a Edição, ProEditores, São Paulo.
- ROMERO, M. A. B.; (2001). *A arquitetura bioclimática do espaço público*. Editora Universidade de Brasília, Brasília. (ISBN 85-230-0652-4)
- RUDOFISKY, B.; (1977). *Architecture without architects: a short introduction to non-pedigreed architecture*. 4th impresión, Academy Editions, London.
- SCARAZZATO, P. S.; (2007). Software DLN - ferramenta para a avaliação da disponibilidade de luz natural como recurso auxiliar no desenvolvimento de projetos de arquitetura. Labaut - Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa_sn/laboratorios/labaut/conforto/conforto.html>, acesso em 23 de julho de 2007.
- SHELTER Publications; (1973). *Shelter*. California, EUA.
- SHUKUYA, M. & Kimura, K. (1987). *Passive method to determine shading coefficient using two naturally ventilated and transparent boxes*. in: **ASHRAE Transactions**, Vol. 93(2), pp. 23-40.
- SINPHA (1999). *Sistema de informações de posses de eletrodomésticos e hábitos de consumo*. Versão 2.0, Núcleo de Estatística Profissional, PUC, Rio de Janeiro.
- SNYDER, J. C.; Catanese, A.; (1984). *Introdução à arquitetura*. Editora Campus Ltda., Rio de Janeiro, RJ.
- SQUARE One Research (2007). *Comfort calculator (ISO 7730-1993)*. Square One Research, Cardiff, UK. Disponível em <www.squ1.com>, acesso em 23 de julho de 2007.
- SQUARE One Research (2007). *PMVTool*. Square One Research, Cardiff, UK. Disponível em <www.squ1.com>, acesso em 23 de julho de 2007.
- SZOKOLAY, S. V.; (1980). *Environment science handbook for architects and builders*. The Construction Press Ltda, Lancaster, UK.
- SZOKOLAY, S. V.; (1987). *Thermal design of buildings*. RAI Education Division, Red Hill, Austrália.
- SZOKOLAY, S.; (1996). *Solar geometry*. Passive and Low Energy Architecture International, Design Tools and Techniques, The University of Queensland, Brisbane, Austrália, p7.
- THE WEATHER Tool (versão 1.10). Programa The Weather Tool. Square One Research PTY LTD., Cardif University, Cardiff, Wales. Disponível para download em: <<http://www.squ1.com>>, Acesso em: 13 fev. 2006.
- TROPLUX (2012). Programa para avaliação da iluminação natural em ambiente construído, adequado à realidade dos trópicos. Disponível em: http://www.ctec.ufal.br/grupopesquisa/grilu/index_arquivos/Page377.htm, acesso em Janeiro de 2012.
- VITRUVIO, M. L.; (1982). *Los diez libros de arquitectura*. Editora Iberia S. A., Barcelona.

- WATSON, D.; Labs, K.; (1983). *Climatic design: energy-efficient building principles and practices*. McGraw-Hill, New York, USA.
- YANNAS, S. (1994). *Design of educational buildings: elements*. Environment & Energy Studies Programme, Architectural Association Graduate School, London.
- ZEVI, B.; (1984). *A linguagem moderna da arquitetura*. Publicações Dom Quixote, Lisboa, Portugal.



APRENDICES

sumário

11	APÊNDICES	313
11.1	APÊNDICE 1: PAINÉIS BIOCLIMÁTICOS	313
11.2	APÊNDICE 2: CONFEÇÃO DE UM RELÓGIO SOLAR PARA UMA LATITUDE ESPECÍFICA	328
11.3	APÊNDICE 3: TABELA DE BRISES	331
11.4	APÊNDICE 4: TABELAS DE PROPRIEDADES TÉRMICAS	342
11.5	APÊNDICE 5: UNIDADES E CONCEITOS FÍSICOS	349
11.5.1	Quantidades Térmicas.....	349
11.5.2	Princípios Termodinâmicos	350
11.5.3	Psicrometria	353
11.5.4	Processos Psicrométricos	355
11.6	APÊNDICE 6: CARGA TÉRMICA	357
11.6.1	Conceitos.....	357
11.6.2	Exemplo Numérico	359
	REFERÊNCIAS:	365

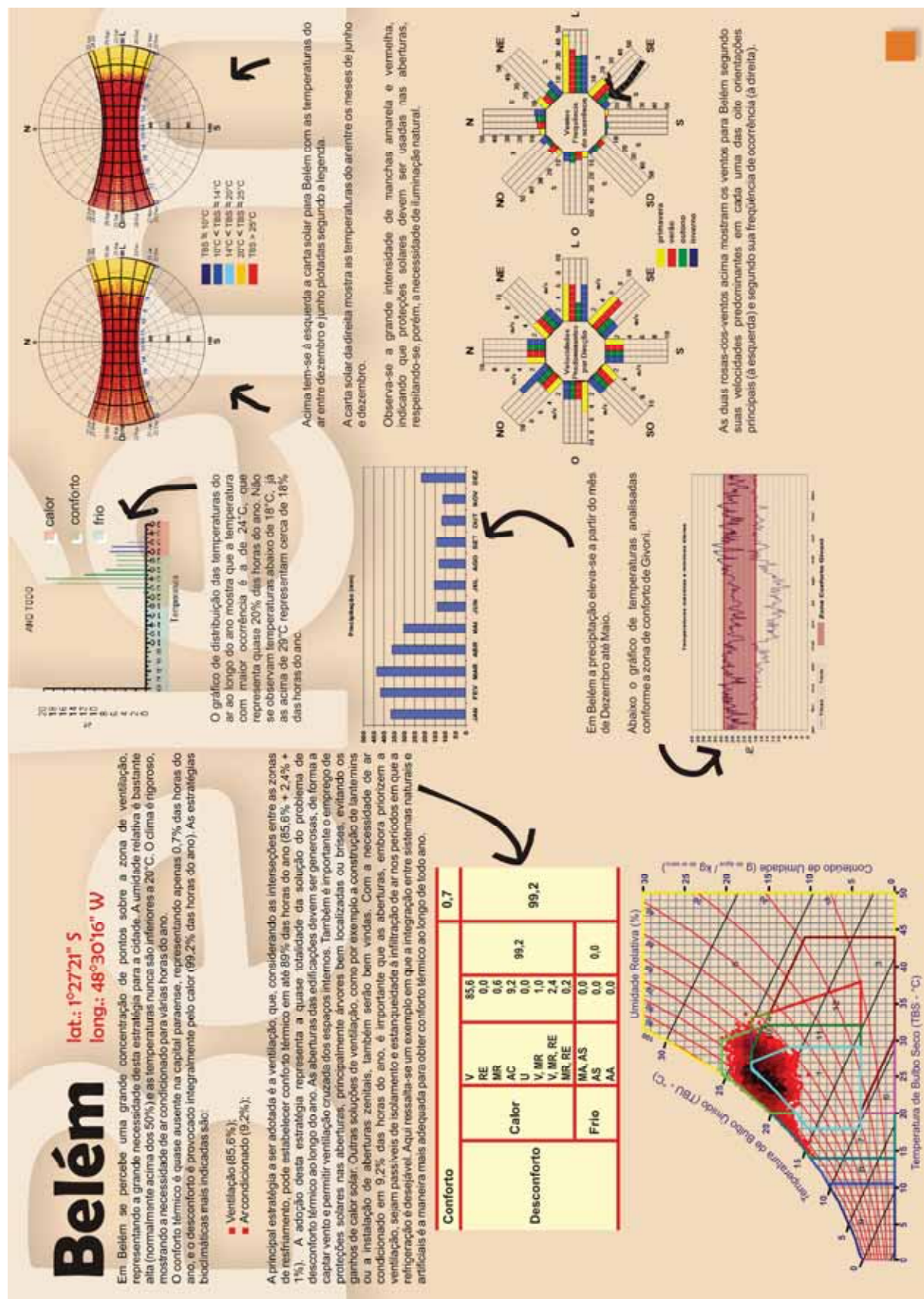
11 APÊNDICES

11.1 APÊNDICE 1: PAINEIS BIOCLIMÁTICOS

Os Paineis Bioclimáticos das próximas páginas foram concebidos para auxiliar na visualização das informações bioclimáticas de forma organizada e esclarecedora, facilitando a análise bioclimática e a tomada de decisões relativas ao projeto arquitetônico que irá responder às necessidades do usuário e ao clima local. São, ao todo, catorze painéis, para as catorze cidades brasileiras que possuem dados climáticos horários (Belém, Brasília, Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Maceió, Natal, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Luís, São Paulo e Vitória). Estes painéis complementam o conteúdo visto no capítulo 3 (Arquitetura e Clima).

Cada painel mostra as seguintes informações a respeito de cada cidade:

- avaliação bioclimática da cidade feita através do Ano Climático de Referência, com auxílio do programa Analysis-BIO;
- avaliação das cartas solares com os dados de temperatura entre dezembro e junho e entre junho e dezembro traçados, com auxílio do programa Analysis-SOL-AR;
- avaliação das rosas-dos-ventos (Analysis-SOL-AR) com os dados de frequência de ocorrência e velocidades dos ventos predominantes para a cidade;
- fluxograma com a frequência de ocorrência das temperaturas;
- gráfico com as umidades relativas anuais da cidade;
- gráfico com a precipitação mensal na cidade;
- gráfico com as temperaturas anuais da cidade;
- tabela com os percentuais de utilidade de cada estratégia bioclimática para um projeto arquitetônico a ser feito no local.



lat.: 15°46'47" S
long.: 47°55'47" W

Percebe-se, na carta bioclimática para Brasília, uma grande concentração de pontos na zona de conforto térmico, que se traduz em um percentual da ordem de 43,6% das horas do ano. É a condição mais confortável das estudadas, segundo a análise feita a partir do TRY. Nas horas desconfortáveis, o frio é mais problemático (41,1%). As principais estratégias bioclimáticas indicadas para Brasília são:

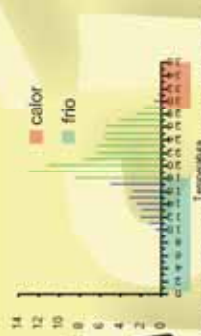
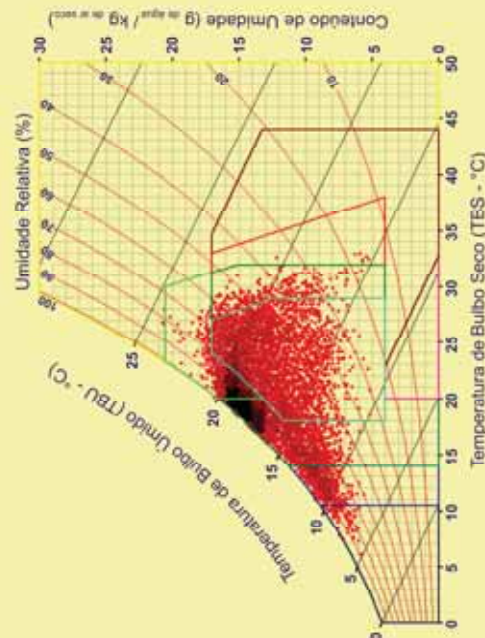
Massa térmica para aquecimento e aquecimento solar (33,9%);

Ventilação (12,6%);
Aquecimento solar (6,1%).

Aquecimento solar (5,1%)

Brasília sugere a aplicação de soluções de projeto de forma semelhante à indicada para São Paulo, pois a mesma sequência de estratégias principais é sugerida. Deve-se priorizar o uso de massa térmica para aquecimento, associado ao ganho de calor solar. Nos períodos quentes, a ventilação é a estratégia bioclimática mais indicada, resolvendo 15,1% (12,6% + 2,5%) das horas do ano.

Conforto		43,6	
Desconforto	Calor	V RE MR AC U	12,6 0,0 0,0 0,0 15,2
		V, MR V, MR, RE MR, RE	0,0 2,5 0,0
	Frio	MA, AS AS AA	33,9 6,1 0,0
			41,1



O gráfico de distribuição das temperaturas do ar ao longo do ano mostra que a temperatura com maior ocorrência é a de 19°C, que representa 13% das horas do ano. As temperaturas abaixo de 18°C e acima de 29°C representam respectivamente 18% e 2% das horas do ano. No restante do ano, Brasília apresenta condições térmicas



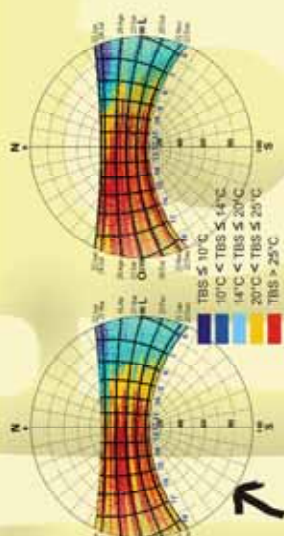
Em Brasília a precipitação é alta no verão, mas muito baixa no inverno, chegando a pouco mais que 10 mm.



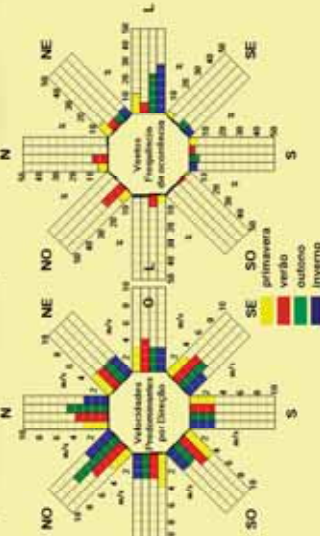
O inverno é bastante seco e a umidade relativa mínima pode chegar a um valor tão baixo quanto 15%.



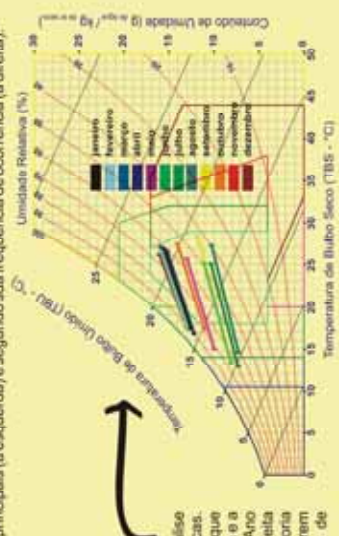
Abaixo o gráfico da temperatura.

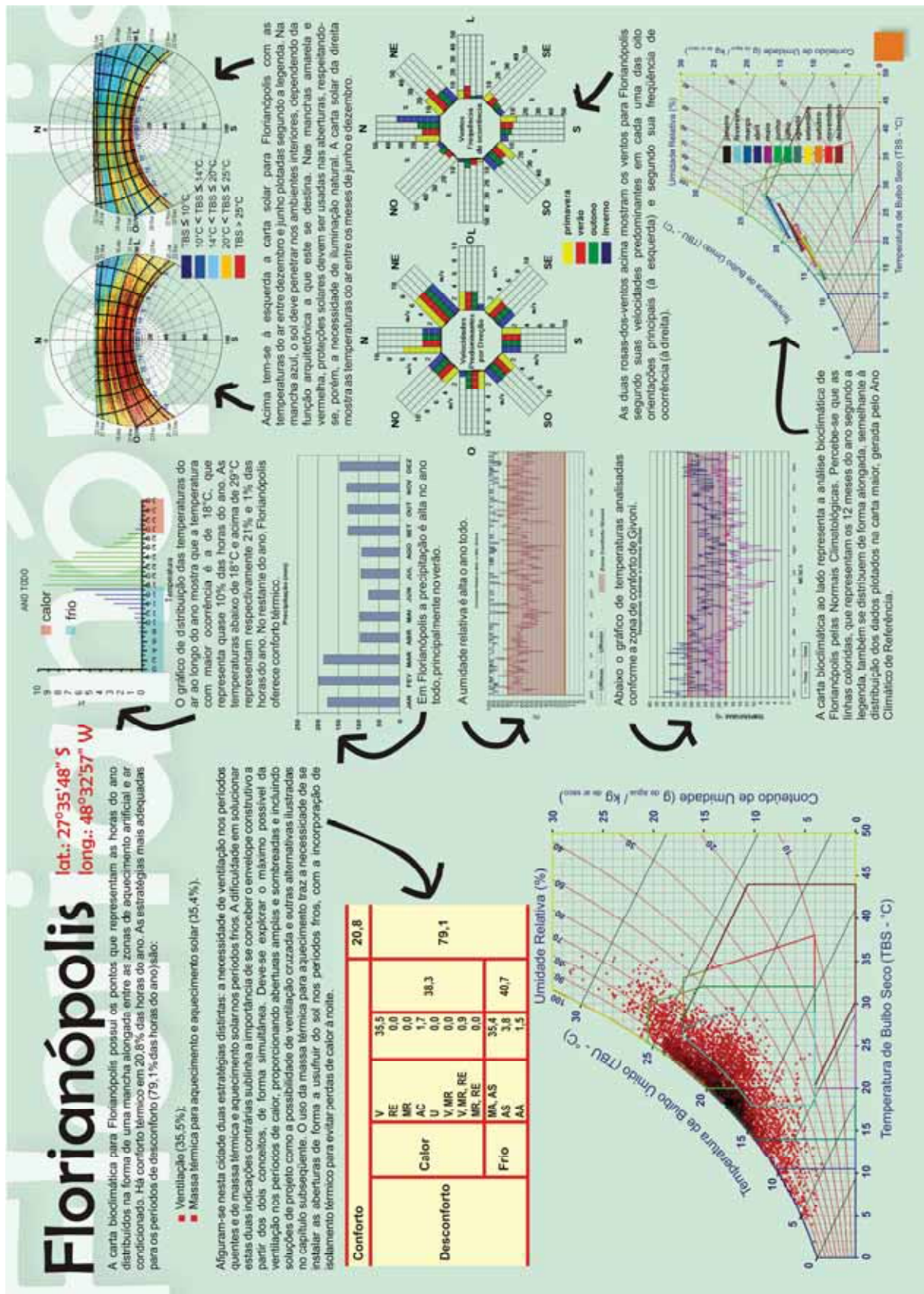


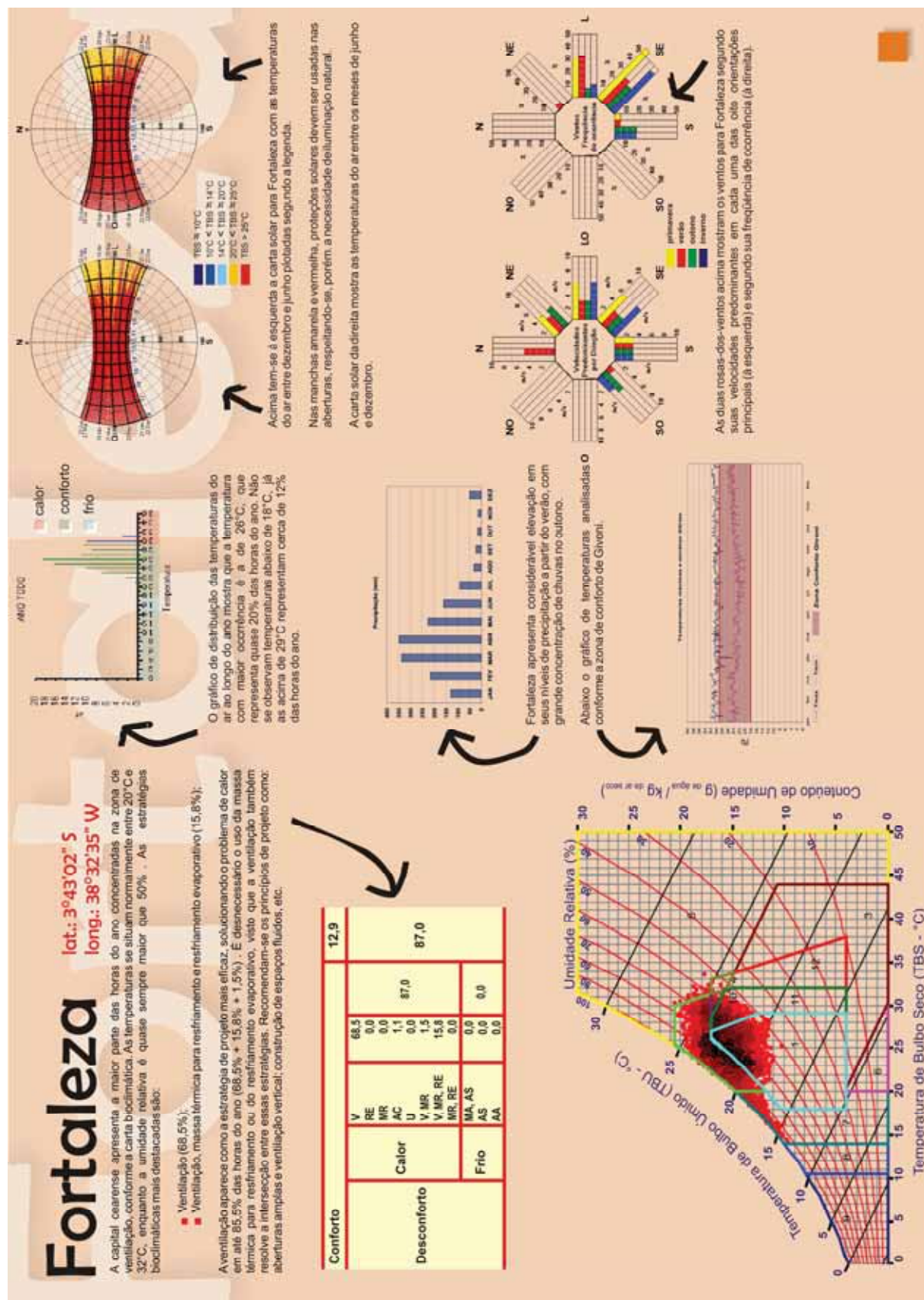
Acima limi-se à esquerda a carta solar para Brasília com as temperaturas do ar entre dezembro e junho rotuladas segundo a legenda. Na mancha azul, o limite do que deve penetrar nos ambientes interiores, dependendo da função que estes se destinam. Nas manchas amarela e vermelha, as temperaturas que as condições solares devem ser usadas nas aberturas, respaldando-se, porém, a necessidade de iluminação natural. A carta solar da direita mostra as temperaturas do ar entre os meses de junho e dezembro.

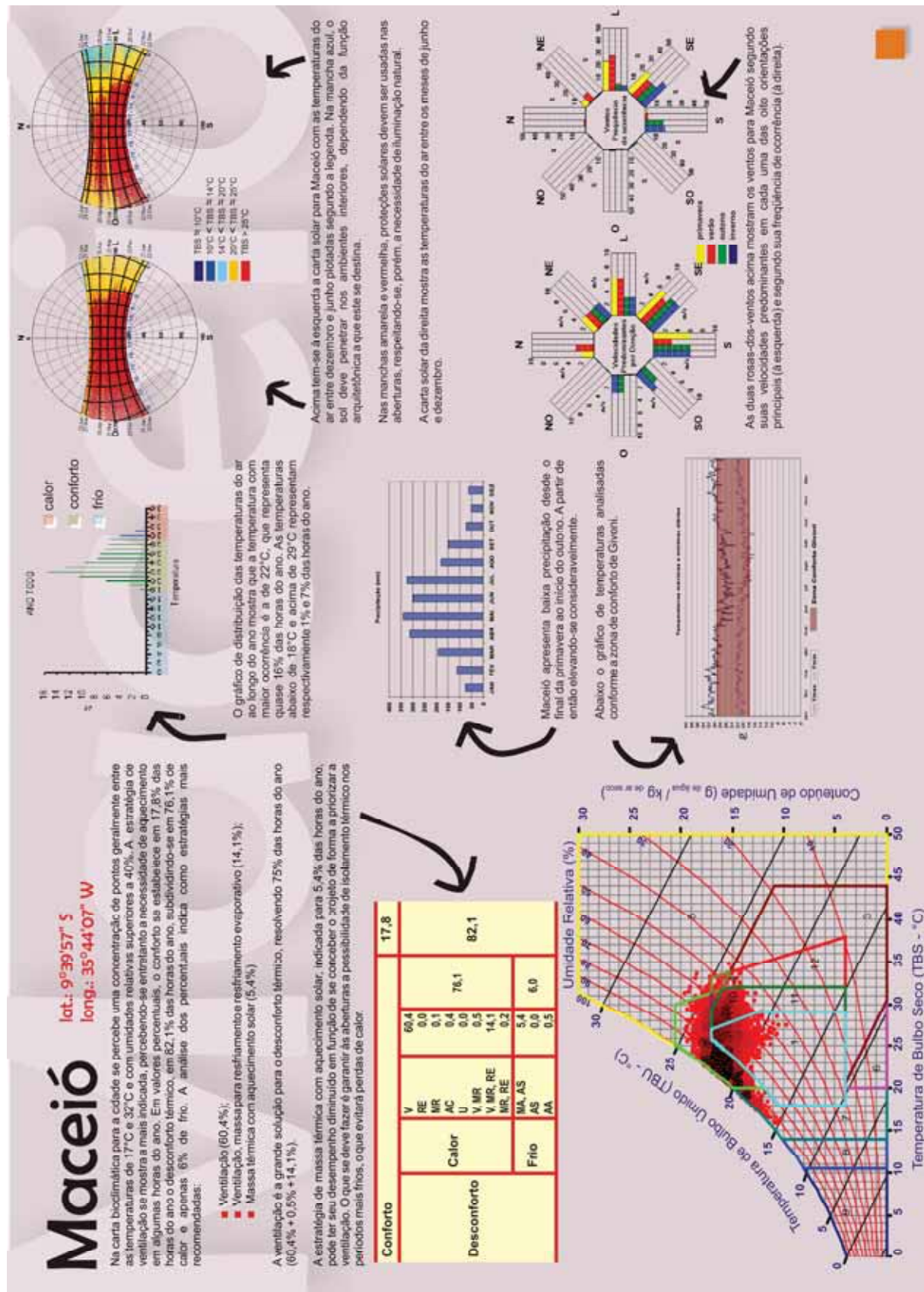


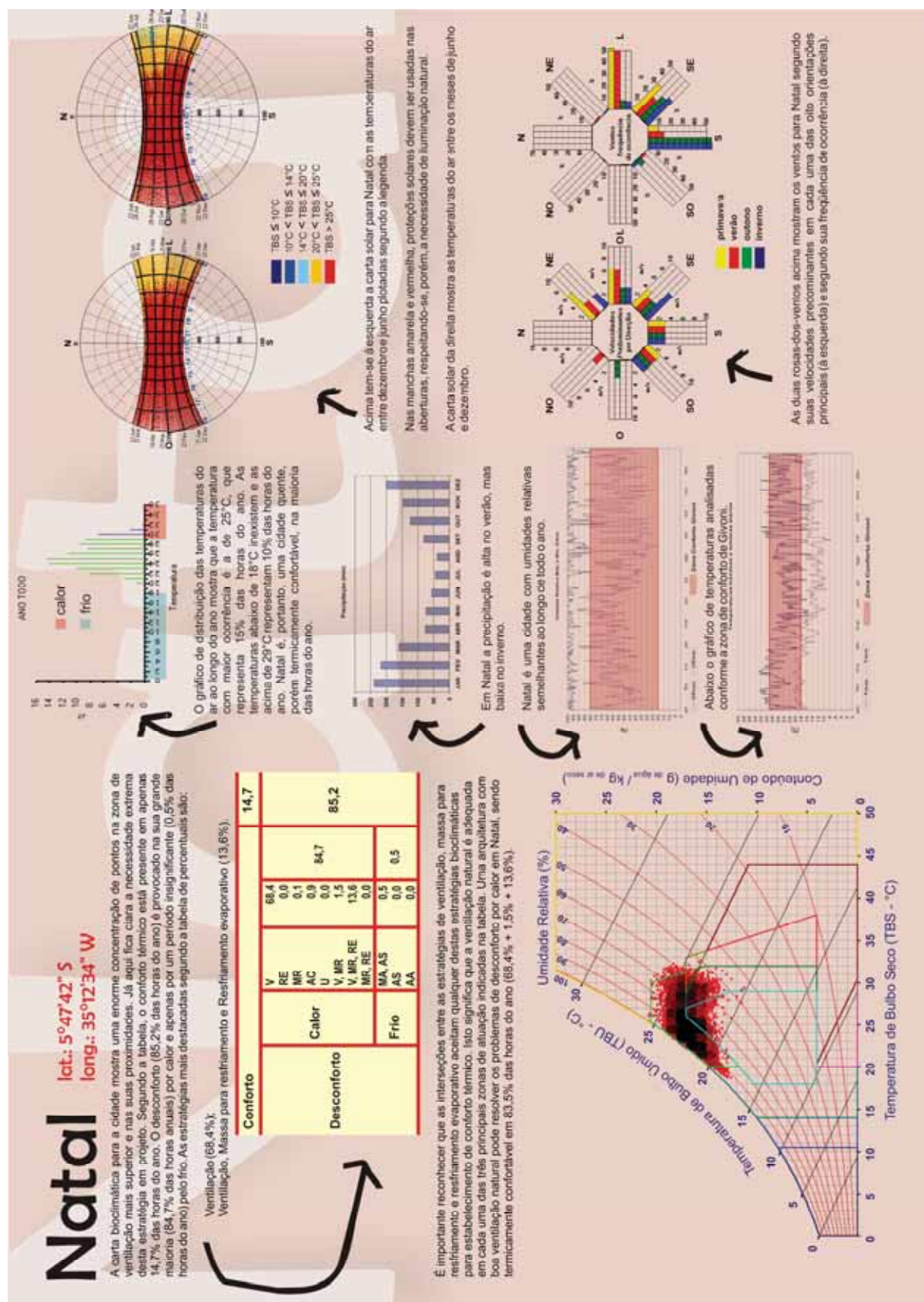
As duas rosas-dos-ventos acima mostram os ventos para Brasília segundo suas velocidades predominantes em cada uma das oito orientações principais (A esquerda) e segundo sua frequência de ocorrência (direita).











Porto Alegre

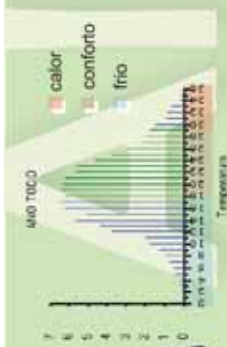
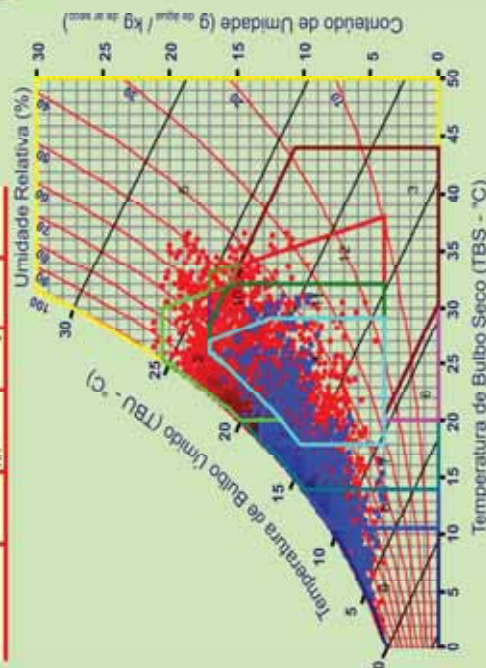
lat.: 30°01'59" S
long.: 51°13'48" W

Observando-se a carta bioclimática para Porto Alegre, se percebe a grande variação climática ao longo do ano. A mancha alongada, constituída por pontos vermelhos que representam cada hora do ano, percorre desde a região onde é indicado o aquecimento artificial até o início da zona de ar condicionado. Extraindo da carta os percentuais respectivos a cada zona, tem-se que em 22,4% das horas do ano haverá conforto térmico, enquanto que no restante (77,5%) o desconforto se divide em 25,9% provocado pelo calor e 51,6% pelo frio. As quatro principais estratégias a serem adotadas são:

- Massa térmica para aquecimento com aquecimento solar passivo (33,7%);
- Ventilação (19,5%);
- Aquecimento solar passivo (11,7%);
- Aquecimento artificial (6%).

A arquitetura a ser projetada em Porto Alegre tem como premissas básicas de conforto térmico duas estratégias antagônicas: massa térmica e ventilação. Deve-se considerar que as soluções que permitem o uso largo da ventilação no verão não podem prejudicar o armazenamento de calor por massa térmica no inverno, e vice-versa. Recomenda-se o estudo de sistemas de aberturas que possam cumprir duas finalidades: ventilar a edificação no verão e ser passíveis de isolamento no inverno, evitando perdas de calor.

Conforto		22,4	
Desconforto	Calor	25,9	77,5
	V	19,5	
	RE	0,3	
	AC	1,4	
Frio	U	0,0	
	V, MR	0,2	
	V, MR, RE	3,7	
	MR, RE	0,5	
	MA, AS	33,7	
	AS	11,7	
	AA	6	
		51,6	

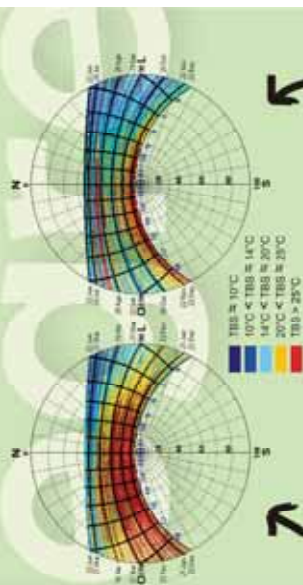


O gráfico de distribuição das temperaturas do ar ao longo do ano mostra que as temperaturas com maior ocorrência situam-se entre 17°C e 20°C, que representam juntas quase 25% das horas do ano. As temperaturas abaixo de 18°C e acima de 29°C representam respectivamente 40% e 5% das horas do ano.



Porto Alegre apresenta praticamente os mesmos níveis de precipitação ao longo do ano.

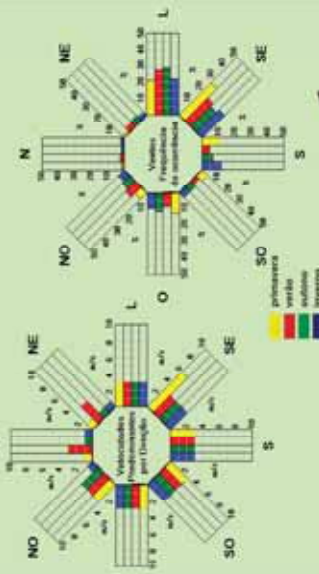
Abaixo o gráfico de temperaturas analisadas conforme a zona de conforto de Givoni.



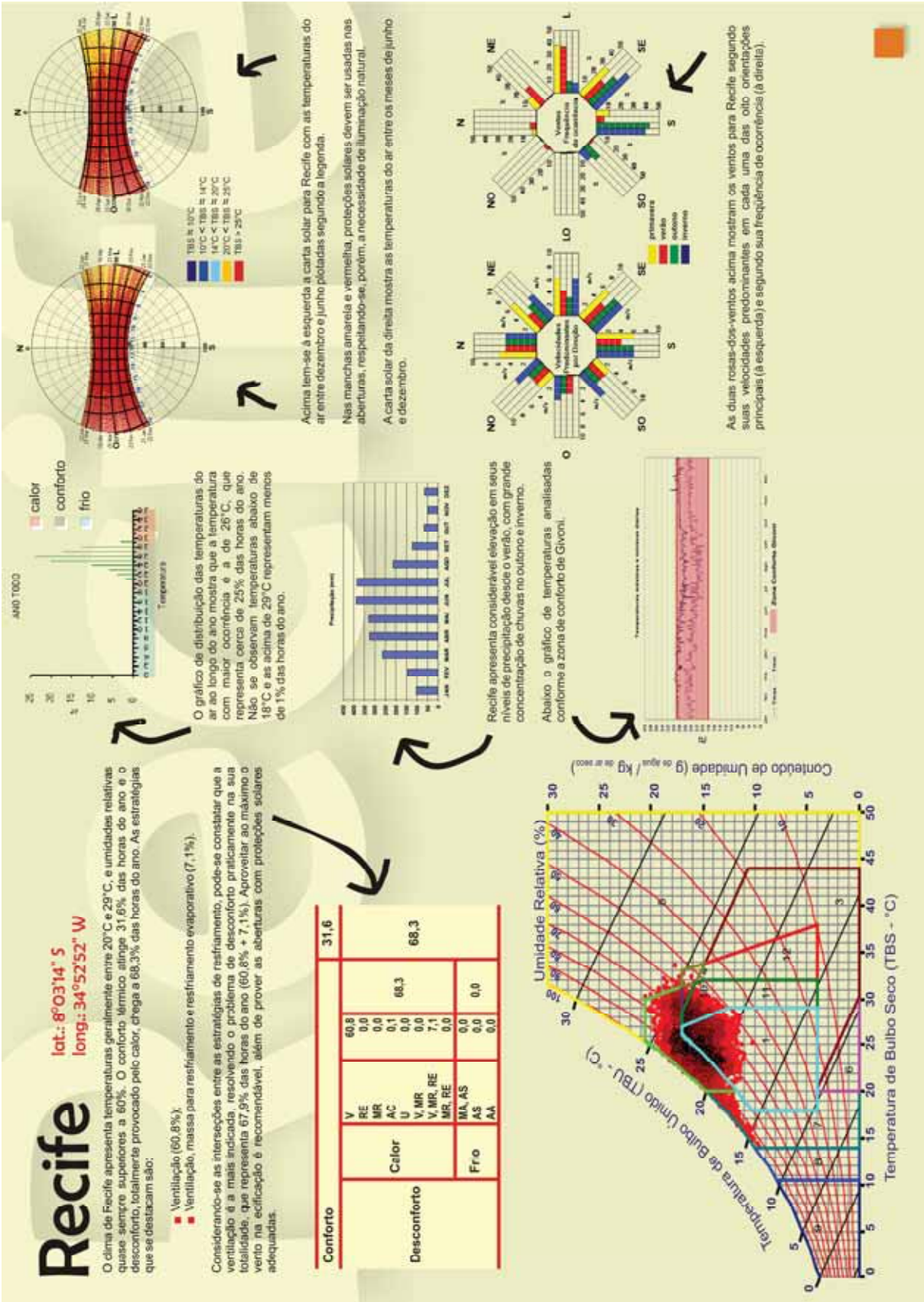
Acima tem-se à esquerda a carta solar para Porto Alegre com as temperaturas do ar entre dezembro e junho plotadas segundo a legenda. Na mancha azul, o sol deve penetrar nos ambientes interiores, dependendo da função arquitetônica a que este se destina.

Nas manchas amarela e vermelha, proteções solares devem ser usadas nas aberturas, respaldando-se, porém, a necessidade de iluminação natural.

A carta solar da direita mostra as temperaturas do ar entre os meses de junho e dezembro.



As duas rosas-dos-ventos acima mostram os ventos para Porto Alegre segundo suas velocidades predominantes em cada uma das oito orientações principais (à esquerda), e segundo sua frequência de ocorrência (à direita).



Conteúdo de Unidade (g de água / kg de ar seco)

Unidade Relativa (%)

Temperatura de Bulbo Úmido (TBU - °C)

Temperatura de Bulbo Seco (TBS - °C)

Rio de Janeiro

lat.: 22°54'10" S
long.: 43°12'27" W

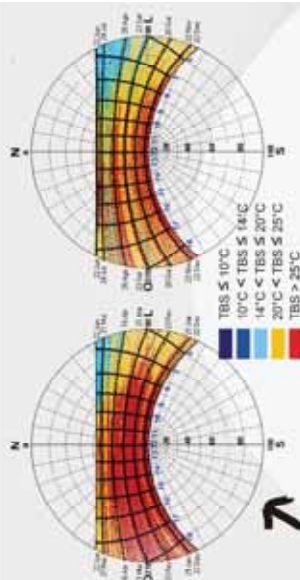
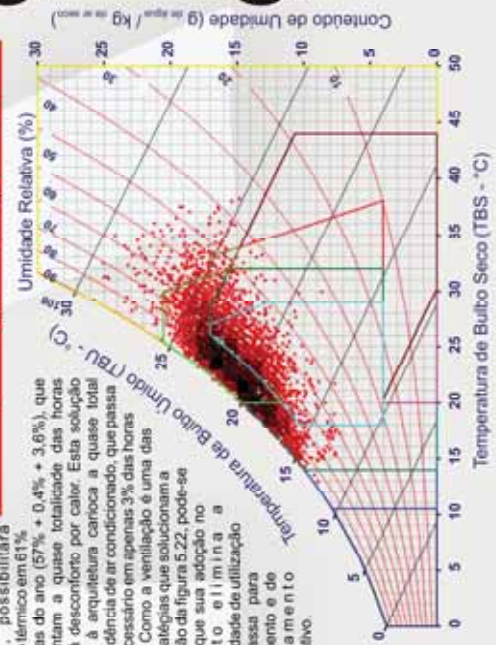
Na carta bioclimática para o Rio de Janeiro se percebe a concentração de pontos principalmente nas regiões de massa térmica para aquecimento, ventilação e conforto térmico, com alguns pontos localizados na região de ar condicionado. Nesta cidade, um projeto arquitetônico deve considerar, basicamente duas principais estratégias:

Ventilação (57%);
Massa térmica para aquecimento e aquecimento solar (14,8%);

Como as duas principais estratégias indicadas são construtivamente opostas, podem anular-se se o projeto não considerar uma certa flexibilidade nos sistemas de controle das mesmas. A ventilação deve ser bloqueável, quando desejado, para favorecer o aquecimento em parte do ano. Da mesma forma, o uso de massa para aquecimento, junto ao aquecimento solar (aconselhável em 14,8% das horas do ano) deve incluir o isolamento térmico operável nas aberturas e na cobertura, ou também a adoção de brises móveis ou vegetação com folhas caducas, permitindo a insolação das janelas no período frio. O aquecimento com massa térmica deve ser sombreado em parte do ano, quando é necessário o resfriamento através da ventilação.

Conforto		20,3
Desconforto	V	57,0
	RE	0,0
	MR	0,1
	AC	3,0
Calor	U	0,0
	V, MR	0,4
	V, MR, RE	3,6
	MR, RE	0,1
Frio	MA, AS	14,8
	AS	0,0
	AA	0,2
		79,6

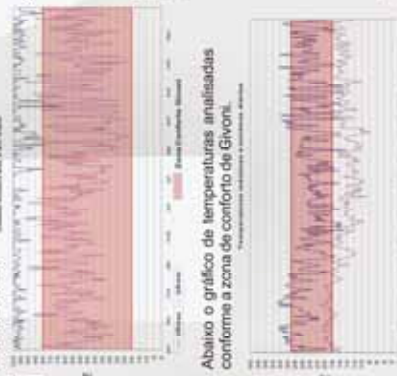
O conceito de "ilha de calor" também é válido aqui. Tal como em São Paulo, o calor pode estar sendo subestimado em função de medições feitas em condições diferentes da realidade do ambiente urbano. Porém, segundo a tabela de percentuais, uma arquitetura concebida para ter muita ventilação natural, possibilitará conforto térmico em 61% das horas do ano (57% + 0,4% + 3,6%), que representam a quase totalidade das horas onde há desconforto por calor. Esta solução garante à arquitetura carioca a quase total independência de ar condicionado, que passa a ser necessário em apenas 3% das horas do ano. Como a ventilação é uma das três estratégias que solucionam a interseção da figura 5.22, pode-se afirmar que sua adoção no projeto elimina a necessidade de utilização de massa para resfriamento e de resfriamento evaporativo.



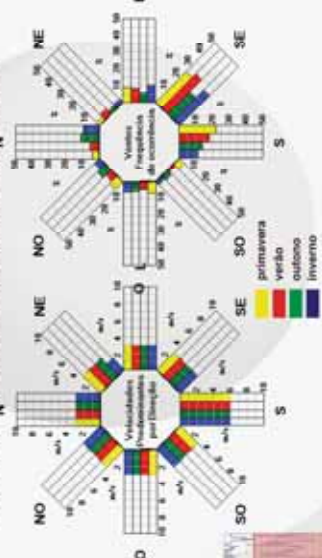
O gráfico de distribuição das temperaturas do ar ao longo do ano mostra que a temperatura com maior ocorrência é a de 24°C, que representa 12% das horas do ano. As temperaturas abaixo de 18°C e acima de 29°C representam um total de 10% das horas do ano. O Rio de Janeiro é, segundo este histograma, uma cidade termicamente confortável.

No Rio, a precipitação é alta no verão, mas baixa no inverno.

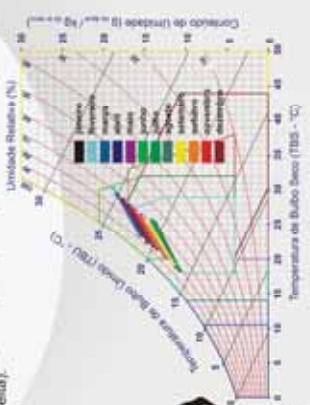
O Rio é uma cidade com uma certa constância na umidade relativas ao longo de todo o ano, não apresentando grandes variações entre inverno e verão.

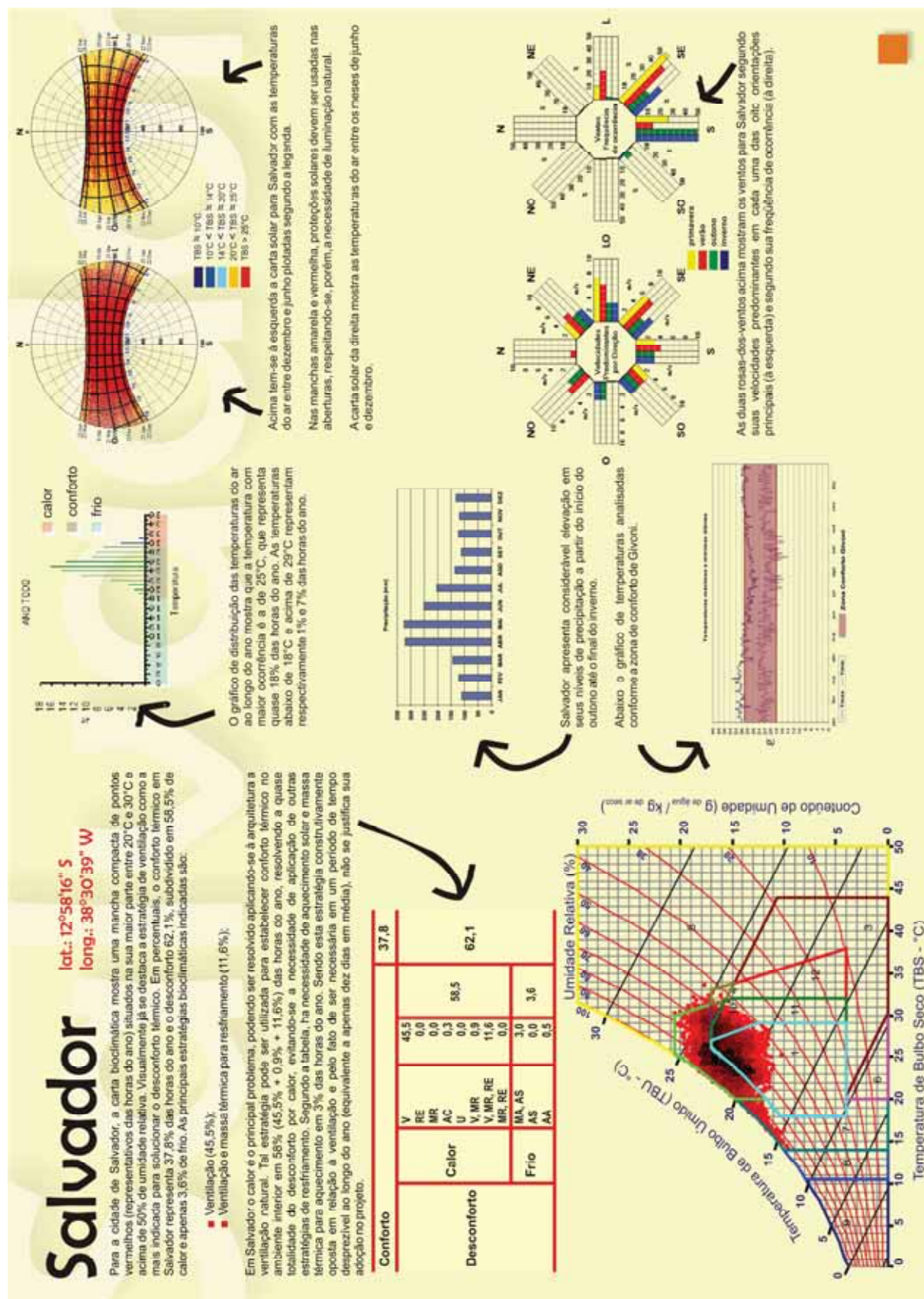


As duas rosas-dos-ventos acima mostram os ventos para o Rio de Janeiro segundo suas velocidades predominantes em cada uma das oito orientações principais (à esquerda) e segundo sua frequência de ocorrência (à direita).



A carta bioclimática ac lado representa a análise bioclimática do Rio de Janeiro pelas Normais Climatológicas. Percebe-se que, tanto esta carta quanto a maior, que representa a análise feita pelo Ano Climático de Referência, os dados se concentram na sua maior parte entre a zona de conforto e a zona de ventilação natural.





São Luís

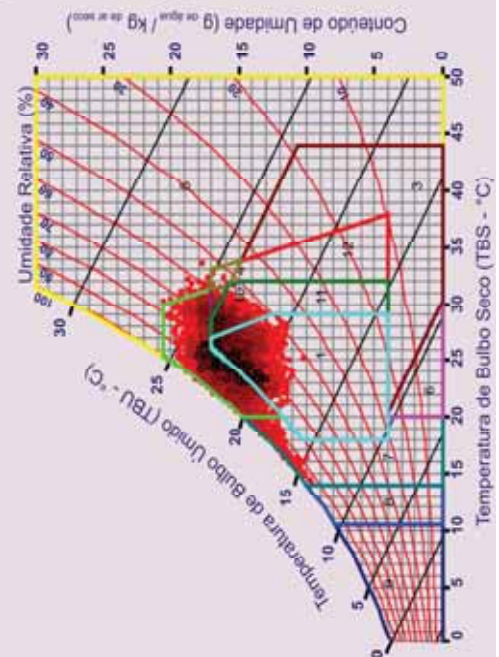
lat.: 2°31'47" S
long.: 44°18'10" W

A carta bioclimática para a cidade mostra uma enorme concentração de pontos na zona de ventilação mais superior e nas suas proximidades. Desta forma, nota-se claramente a necessidade extrema desta estratégia em projeto. Segundo a tabela, o conforto térmico está presente em apenas 1,4% das horas do ano, sendo o restante das horas (98,5) desconfortáveis por calor. O frio é praticamente ausente na cidade e as principais estratégias para resfriamento indicadas são:

- Ventilação (82%);
- Ar condicionado (10%).

Considerando-se as interseções, a ventilação resolve 87,2% das horas do ano (82% + 1,7% + 3,4% + 0,1%), sendo indispensável para conseguir conforto térmico nos interiores das edificações. São aconselháveis as estratégias de grande aberturas, sombreadas, uso de lanternins, construção de espaços fluidos e ventilação sob o piso. Em segundo lugar, surge a necessidade de ar condicionado em 10% das horas do ano. Neste caso deve-se isolar termicamente as aberturas e evitar a infiltração de ar. É interessante observar esta duplicidade de operação necessária às aberturas em São Luís: devem permitir ampla ventilação em boa parte do ano e também ser estanques em alguns períodos (quando o ar condicionado é necessário).

Conforto		1,4	
Desconforto	Calor	V	RE
		MR	AC
		U	U
		V, MR	RE
		MR, RE	U
Frio		MA, AS	0,0
		AS	0,0
		AA	0,0

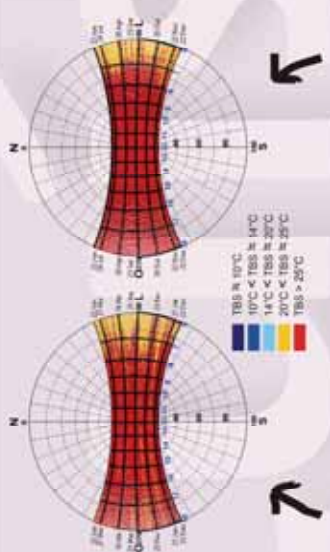


O gráfico de distribuição das temperaturas do ar ao longo do ano mostra que a temperatura com maior ocorrência é a de 24°C, que representa quase 20% das horas do ano. Não se observam temperaturas abaixo de 18°C, já as acima de 29°C representam cerca de 15% das horas do ano.



Fortaleza apresenta considerável elevação em seus níveis de precipitação a partir do verão, com grande concentração de chuvas no outono.

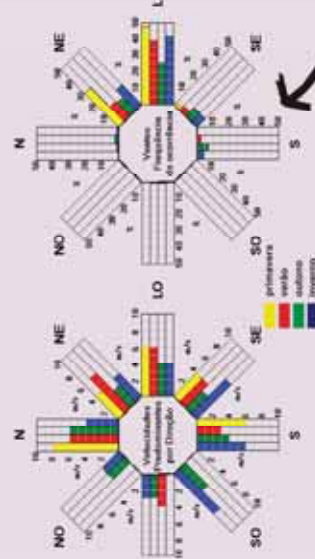
Abaixo o gráfico de temperaturas analisadas conforme a zona de conforto de Givoni.



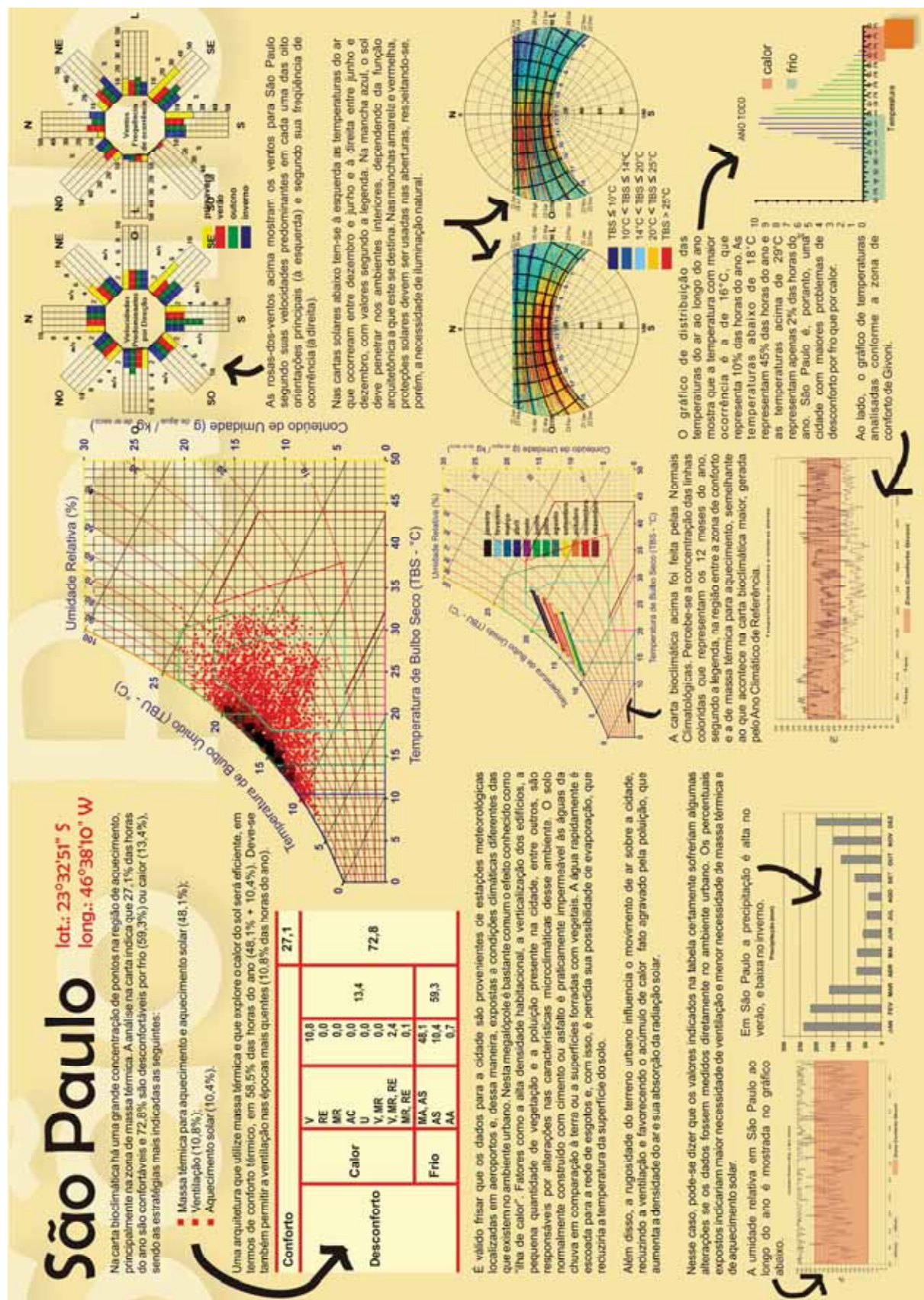
Acima tem-se à esquerda a carta solar para São Luís com as temperaturas do ar entre dezembro e junho plotadas segundo a legenda.

Nas manchas amarela e vermelha, proteções solares devem ser usadas nas aberturas, respeitando-se, porém, a necessidade de iluminação natural.

A carta solar da direita mostra as temperaturas do ar entre os meses de junho e dezembro.



As duas rosas-ventos acima mostram os ventos para São Luís segundo suas velocidades predominantes em cada uma das oito orientações principais (à esquerda) e segundo sua frequência de ocorrência (à direita).



Vitória

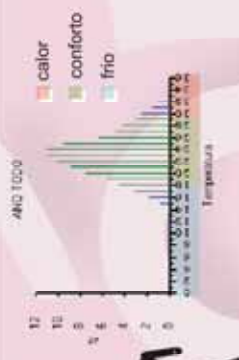
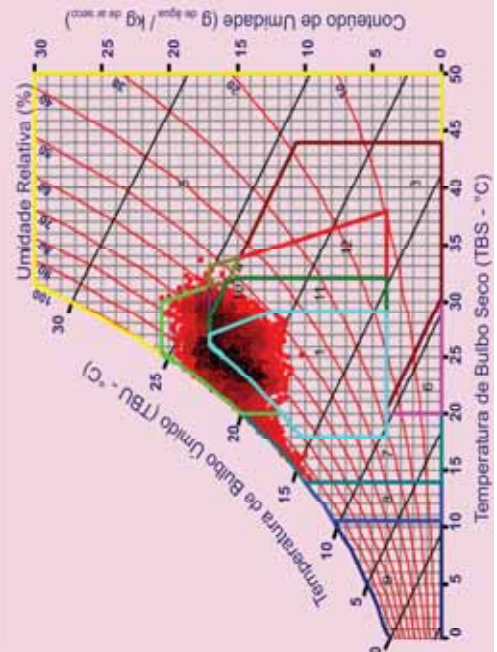
lat.: 20°19'10" S
long.: 40°20'16" W

O comportamento bioclimático de Vitória é bastante semelhante ao do Rio de Janeiro, fato explicável pela proximidade geográfica entre as duas cidades e de ambas com o mar. A mancha de pontos plotados na carta bioclimática é alongada, distribuindo-se normalmente entre as temperaturas de 14°C e 33°C e em umidades relativas superiores a 50%. O conforto é presente em 17,8% das horas do ano e o desconforto em 82,1%, sendo 64% de calor e 18% de frio. As principais estratégias do projeto a serem adotadas na cidade são:

- Ventilação (56,9%);
- Massa térmica com aquecimento solar (17,8%);

Considerando-se as interseções, a ventilação resolve 87,2% das horas do ano (82% + 1,7% + 3,4% + 0,1%), sendo indispensável para conseguir conforto térmico nos interiores das edificações. São aconselháveis as estratégias de grande aberturas, sombrias, uso de lanternins, construção de espaços fluidos e ventilação sob o piso. Em segundo lugar, surge a necessidade de ar condicionado em 10% das horas do ano. Neste caso deve-se isolar termicamente as aberturas e evitar a infiltração de ar. É interessante observar esta duplicidade de operação necessária às aberturas em São Luís: devem permitir ampla ventilação em boa parte do ano e também ser estanques em alguns períodos (quando o ar condicionado é necessário).

Conforto		17,8	
Calor	V	56,9	82,1
	RE	0,0	
	MR	0,1	
	AC	2,7	
	U	0,0	
Desconforto	V, MR	0,4	
	V, MR, RE	3,7	
	MR, RE	0,1	
	MA, AS	17,8	
	AS	0,1	
Frio	AA	0,0	
	AA	18,0	

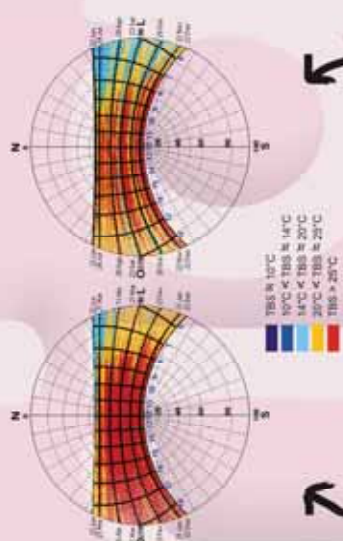


O gráfico de distribuição das temperaturas do ar ao longo do ano mostra que as temperaturas com maior ocorrência são as de 23°C e 24°C, que representam quase 20% das horas do ano. As temperaturas abaixo de 18°C e acima de 29°C representam respectivamente 6% e 5%.



Vitória apresenta certo padrão em seus níveis de precipitação, com elevação desde entre os meses de outubro e janeiro.

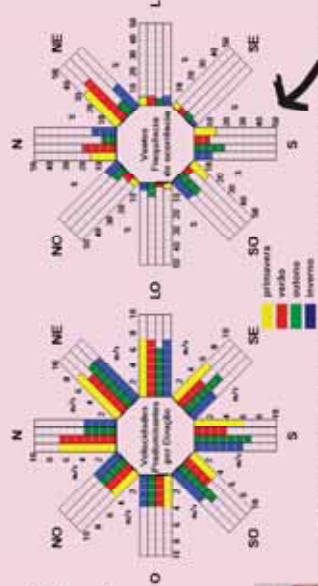
Abaixo o gráfico de temperaturas analisadas conforme a zona de conforto de Givoni.



Acima tem-se à esquerda a carta solar para Vitória com as temperaturas do ar entre dezembro e junho plotadas segundo a legenda. Na mancha azul, o sol deve penetrar nos ambientes interiores, dependendo da função arquitetônica a que este se destina.

Nas manchas amarela e vermelha, proteções solares devem ser usadas nas aberturas, respeitando-se, porém, a necessidade de iluminação natural.

A carta solar da direita mostra as temperaturas do ar entre os meses de junho e dezembro.



As duas rosas-dos-ventos acima mostram os ventos para Vitória segundo suas velocidades predominantes em cada uma das oito orientações principais (à esquerda) e segundo sua frequência de ocorrência (à direita).

11.2 APÊNDICE 2: CONFEÇÃO DE UM RELÓGIO SOLAR PARA UMA LATITUDE ESPECÍFICA

Roteiro explicativo sobre o programa Luz do Sol (2012) para confecção de um relógio solar (citado no capítulo 4).

O Programa Luz do Sol versão 1.1, desenvolvido pelo professor Maurício Roriz da Universidade Federal de São Carlos, pode gerar relógios solares para qualquer latitude desejada, sendo uma ferramenta bastante útil para a análise de sombreamento, penetração solar e acesso solar em maquetes. Para obter o programa, pode-se acessar a página do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (<http://www.labeee.ufsc.br>), indo no menu “Downloads”, depois em “Softwares” e selecionando a opção “Luz do Sol”. O programa é gratuito e sua utilização é bem simples.

Na primeira tela do programa Luz do Sol (Figura 11-1), escolhe-se a opção “Relógio” para acessar o módulo que constrói relógios solares.



Figura 11-1: Tela inicial do programa Luz do Sol

Na próxima tela do programa, seleciona-se o Estado e Cidade desejada. No exemplo, construiremos um relógio solar para Florianópolis, capital de Santa Catarina (Figura 11-2).

Pressiona-se o botão “Ver Relógio Solar” para visualizar na tela o painel do relógio solar para a cidade escolhida, com a dimensão do gnomon a ser instalado nele (Figura 11-3).

Para construir o relógio solar, imprime-se esse painel. O painel deve ser colado numa superfície curva com cinco centímetros de raio (a seção de um tubo de PVC

de cem milímetros, por exemplo). Instala-se o gnomon (normalmente um pedaço de arame ou outro material rígido) na posição indicada no painel com um pequeno círculo. Nota-se, na Figura 11-3, que a posição do gnomon coincide com a marcação das 12 horas.

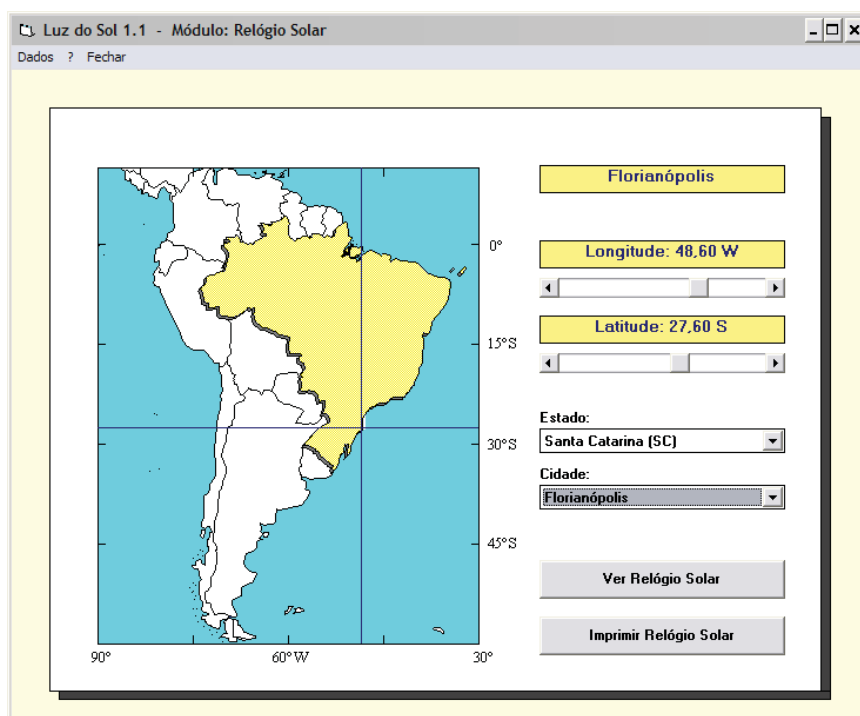


Figura 11-2: Seleção do Estado e Cidade para construção do relógio solar

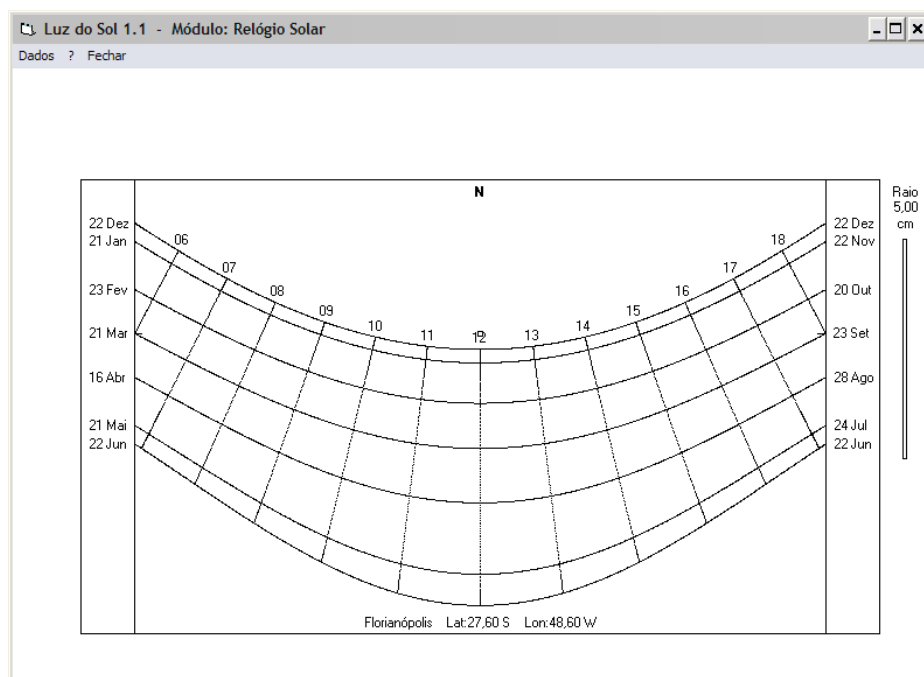


Figura 11-3: Painel do relógio solar a ser impresso e dimensão do gnomon

Após construir o relógio solar (Figura 11-4), pode-se analisar sombreamento do entorno e penetração solar em maquetes simplesmente instalando o relógio no mesmo plano e orientando-o segundo o mesmo norte da maquete. Pode-se avaliar

os raios solares girando o conjunto exposto sob o sol de forma a obter o dia e horário desejado pela sombra que o gnomon faz no cruzamento destas informações no painel do relógio. Quando o gnomon estiver indicando certo dia e horário neste painel, a sombra e penetração solar correspondentes na maquete serão exatamente como seriam no horário e dia em questão.

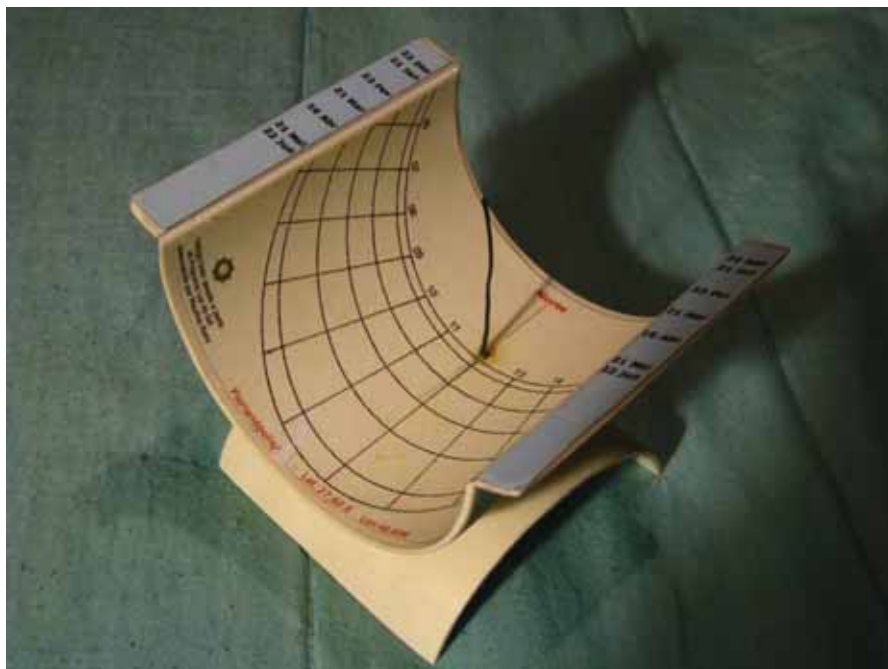


Figura 11-4: Relógio Solar construído para Florianópolis

As vantagens deste aparato são seu tamanho compacto, a facilidade de leitura e a possibilidade de simular sombras para qualquer momento do ano.

11.3 APÊNDICE 3: TABELA DE BRISES

Para auxílio de arquitetos e projetistas no projeto de proteções solares, as ilustrações das próximas páginas complementam o que foi discutido no capítulo 4 (item 4.14) e compõem uma série de brises e suas respectivas máscaras de sombreamento. Observa-se que os brises são adimensionais e suas máscaras servem apenas como referência básica.

Esta Tabela de Brises pode ser utilizada como auxílio na especificação preliminar de proteções solares para diversas orientações.

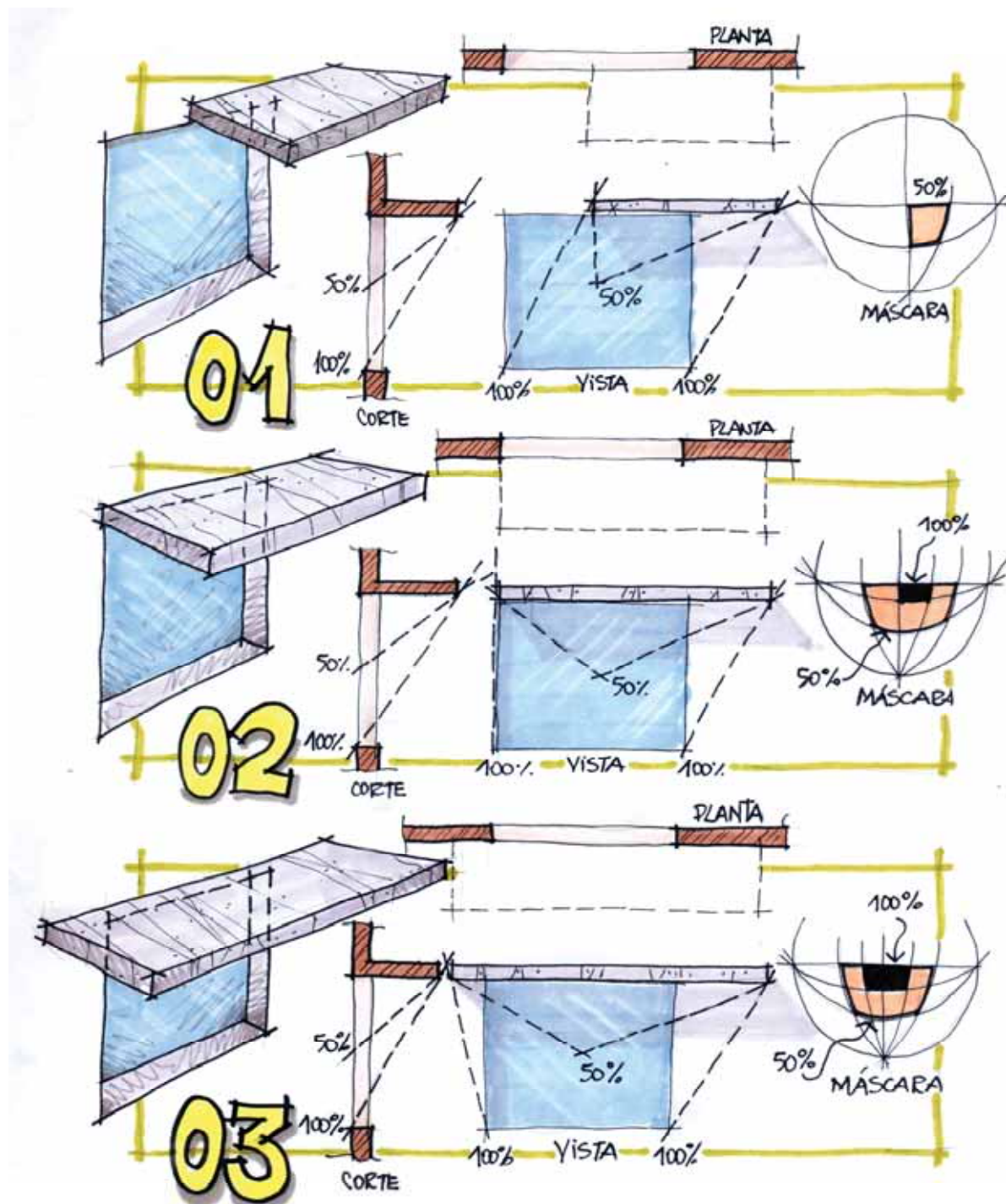
Na Tabela, à esquerda tem-se uma perspectiva do brise. Na parte central, as três vistas (planta, corte e vista frontal) todas com os ângulos pertinentes para construção das máscaras de 100% e de 50% de sombreamento marcados. Ressalta-se que a máscara de 100% de sombreamento (mancha preta no desenho da máscara, na parte direita dos desenhos) representa os momentos em que o brise sombreará 100% da área envidraçada da janela. A máscara de 50% de sombreamento representa quando o brise estará sombreando pelo menos 50% da área de vidro da janela.

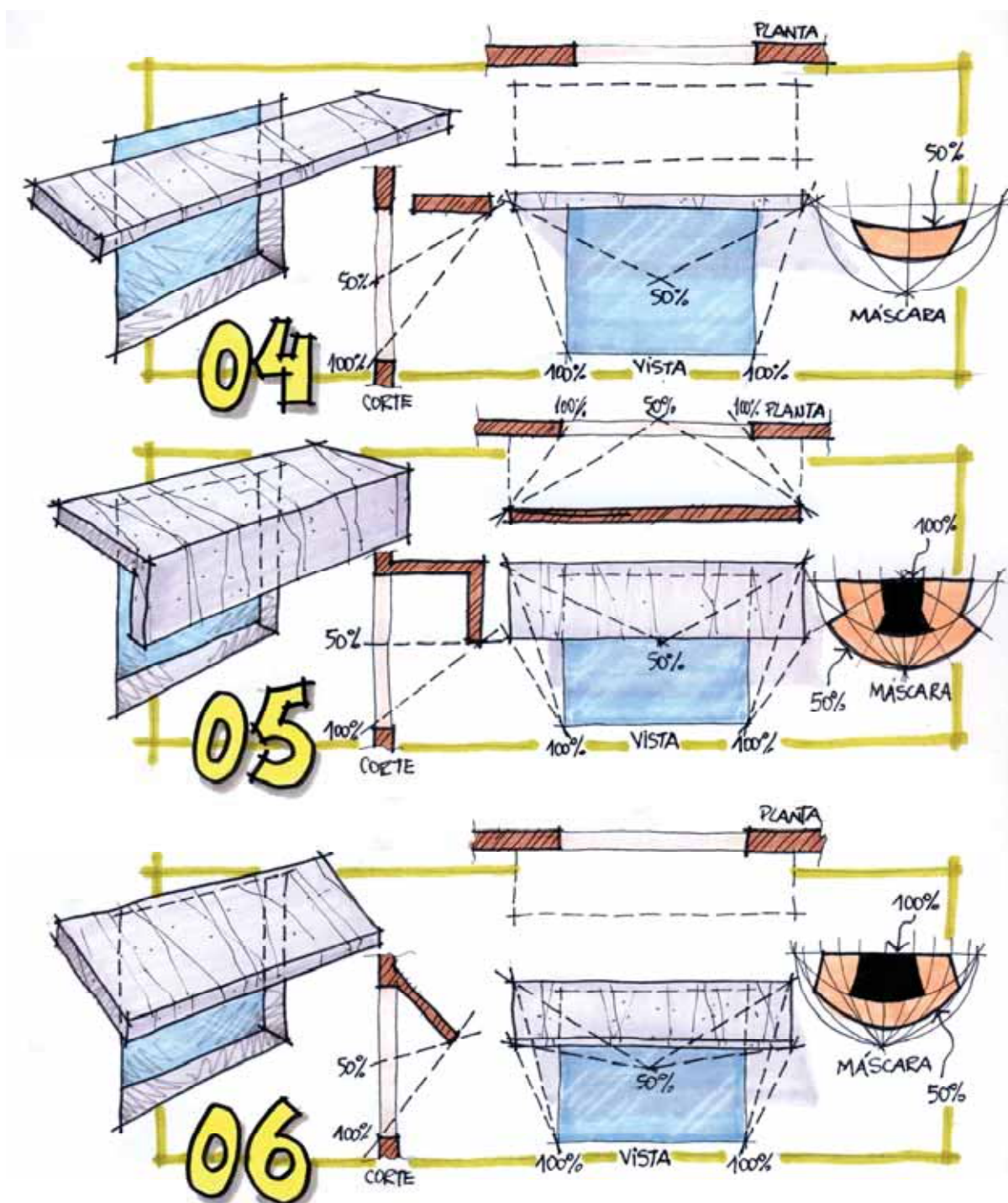
Para utilizar a tabela, deve-se primeiro obter a carta solar da cidade onde se encontra o projeto e construir sobre ela as manchas de sol indesejável e de sol desejável (respectivamente para o verão e para o inverno). Após escolher um brise (esta etapa se dá em função do efeito arquitetônico desejado na fachada ou volumetria, pois o brise deve ser compatível com a linguagem arquitetônica do projeto), deve-se observar sua máscara esquemática e avaliar se o mesmo produz o máximo de obstrução do sol indesejável, porém preservando o acesso solar do sol desejável.

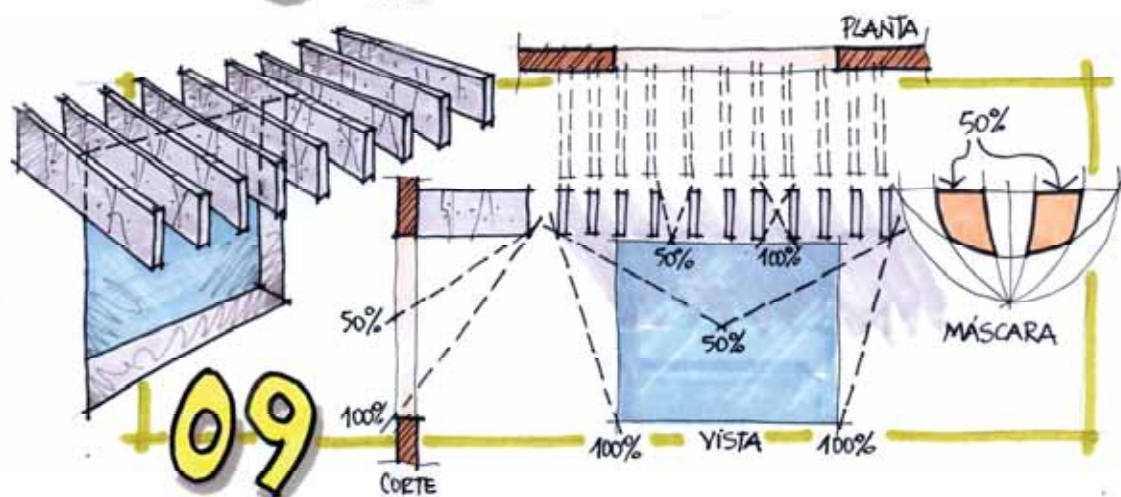
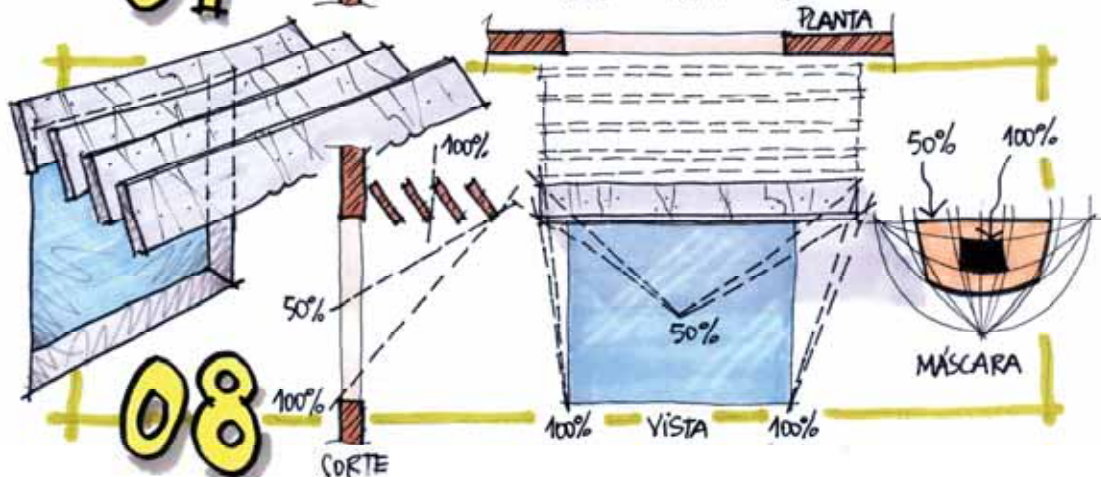
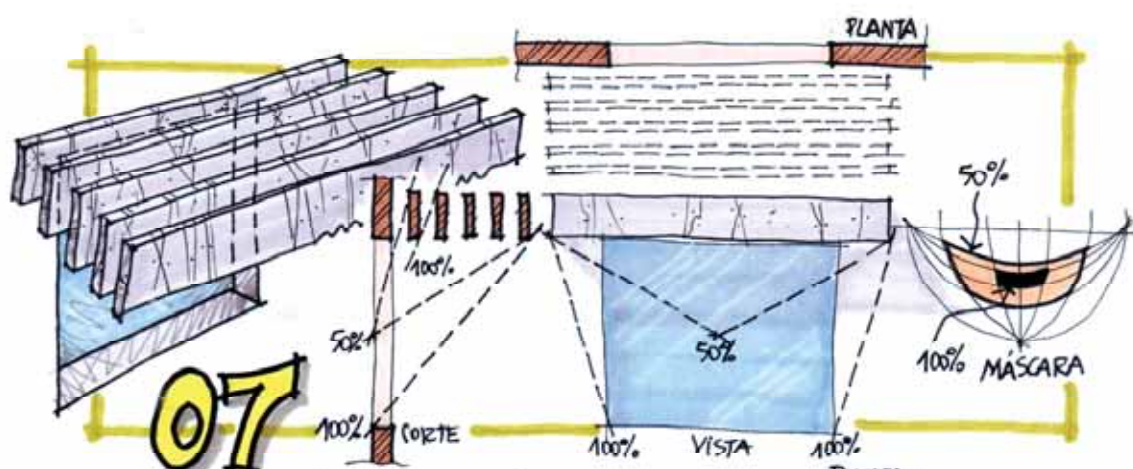
São, ao todo, trinta brises que abrangem diversas possibilidades de projeto, orientações e proteção solar pretendida.

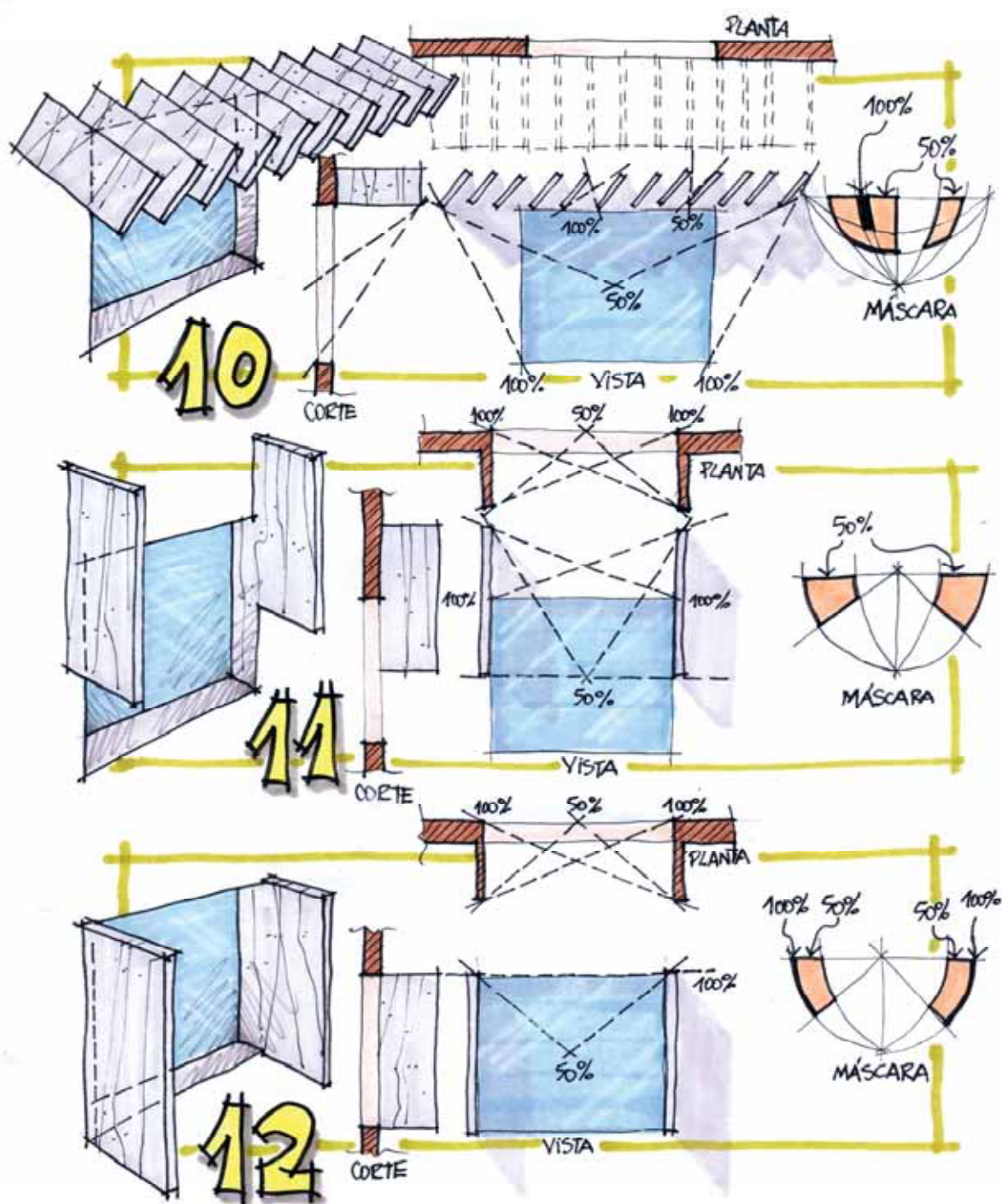
Nota-se que existem diversos tipos de brises nas tabelas, os primeiros são horizontais, outros verticais, outros mistos. Os brises de números 28, 29 e 30 representam, respectivamente, um cobogó, uma prateleira de luz e um brise piramidal, elementos bastante úteis no projeto bioclimático.

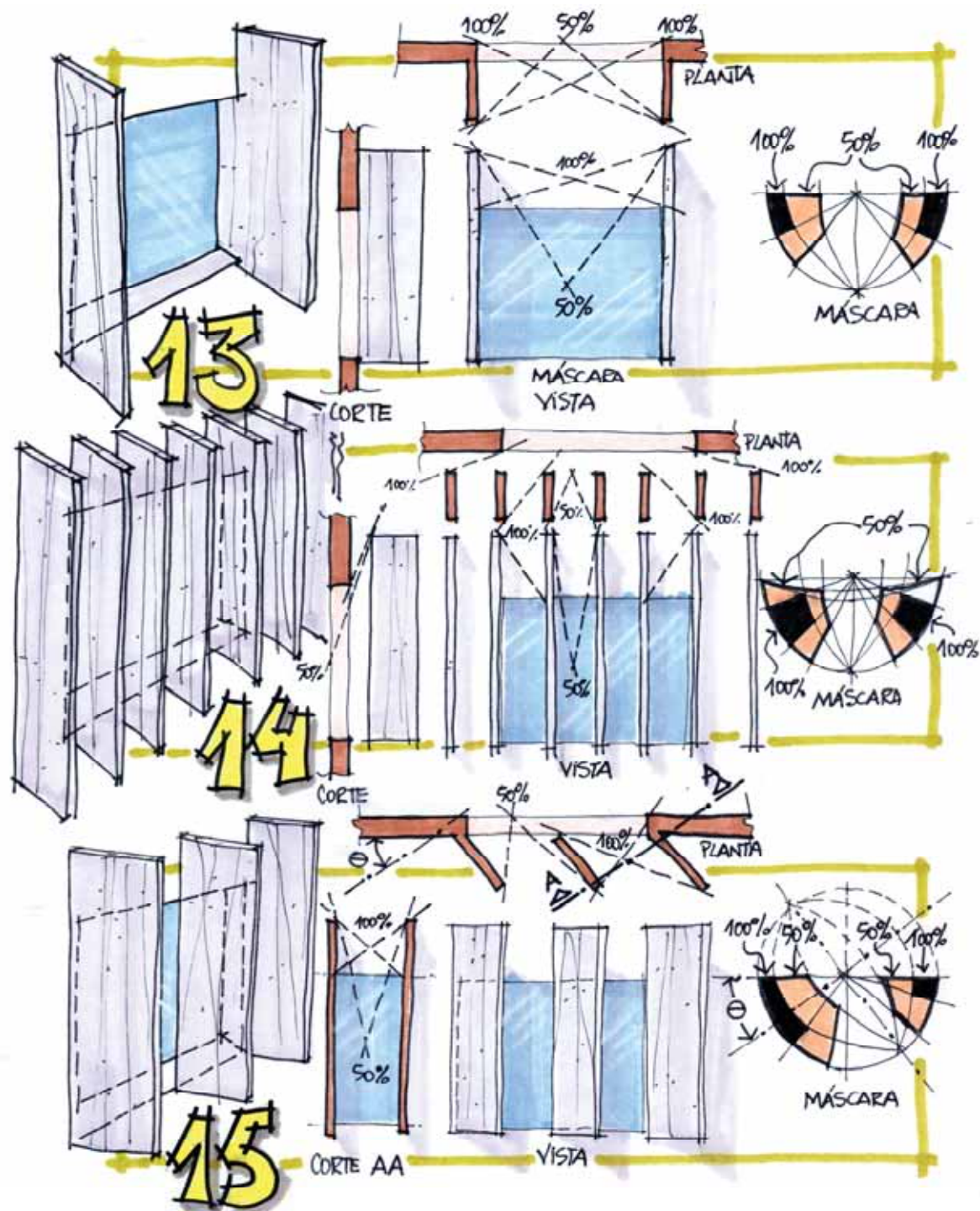
Esta Tabela de Brises é uma evolução da Tabela de Brises originalmente criada por Dutra (1990).

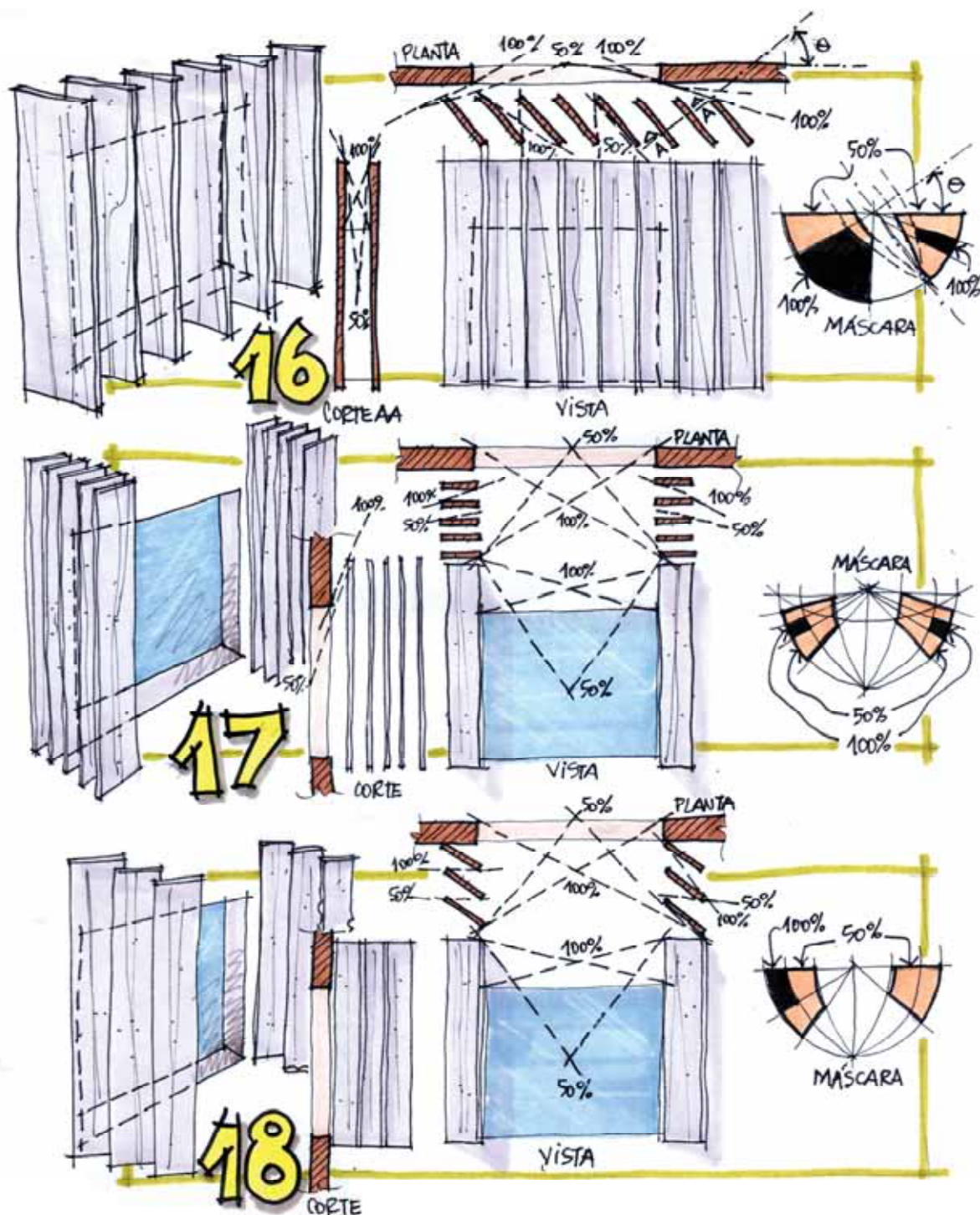


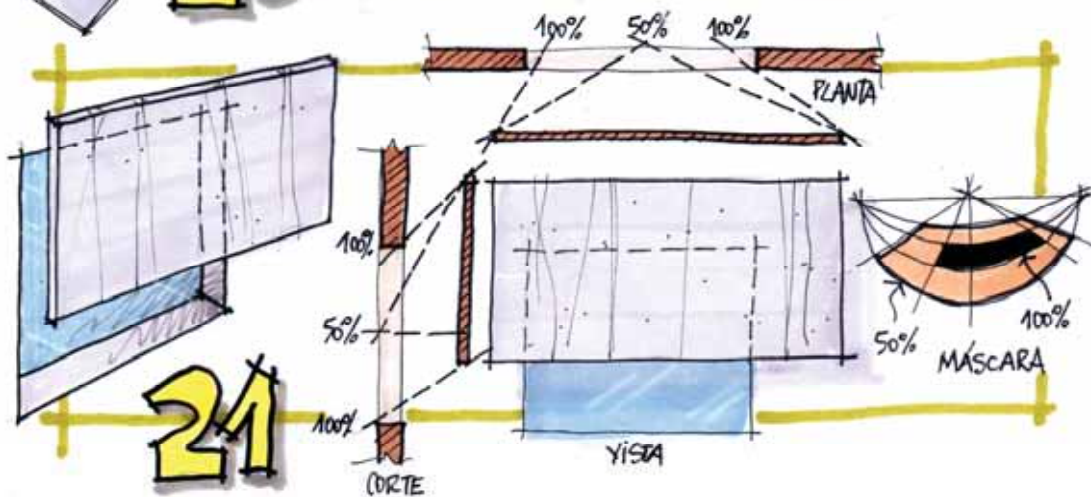
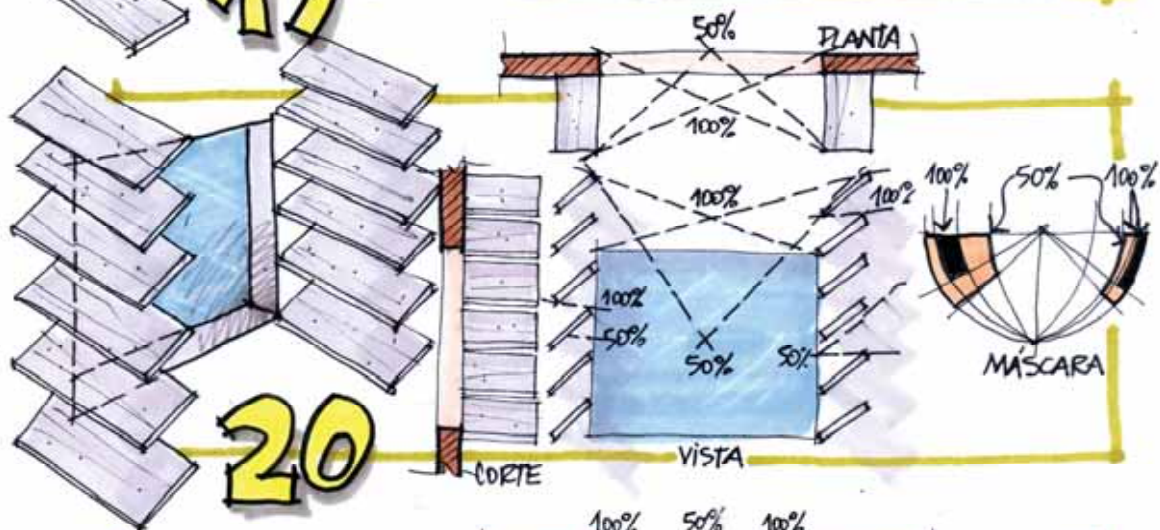
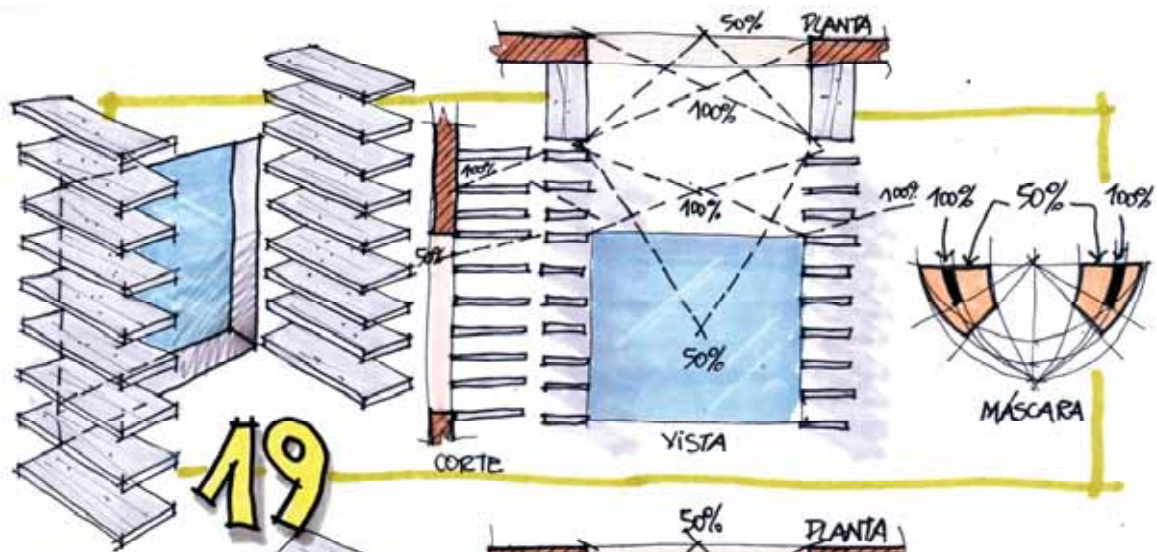


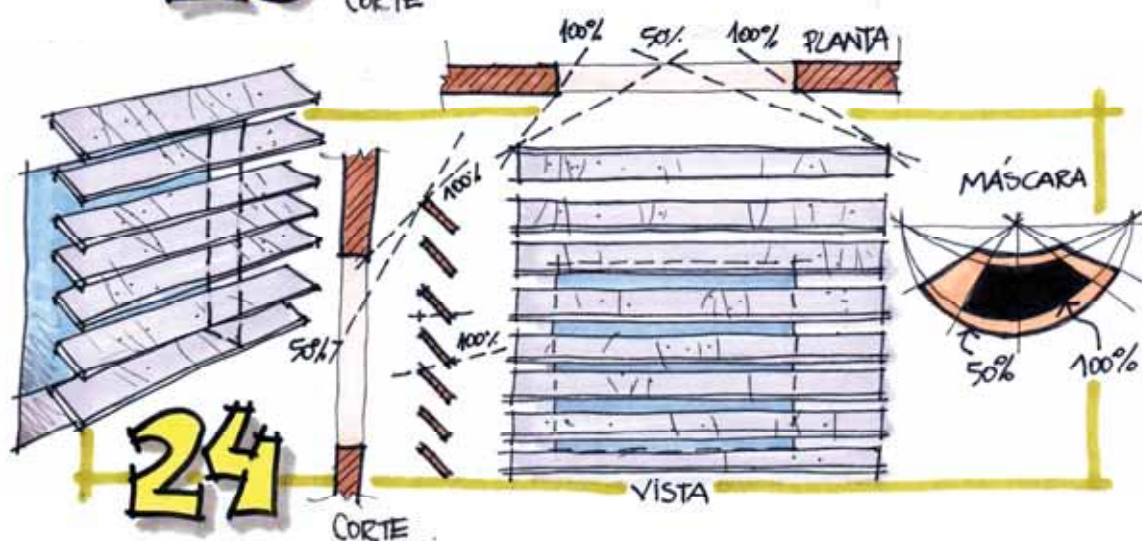
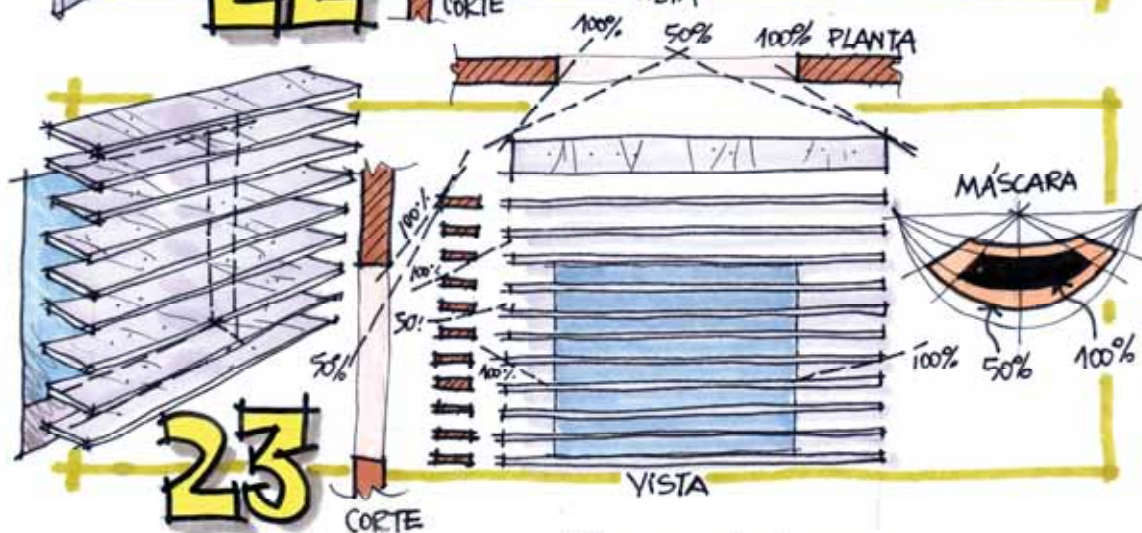
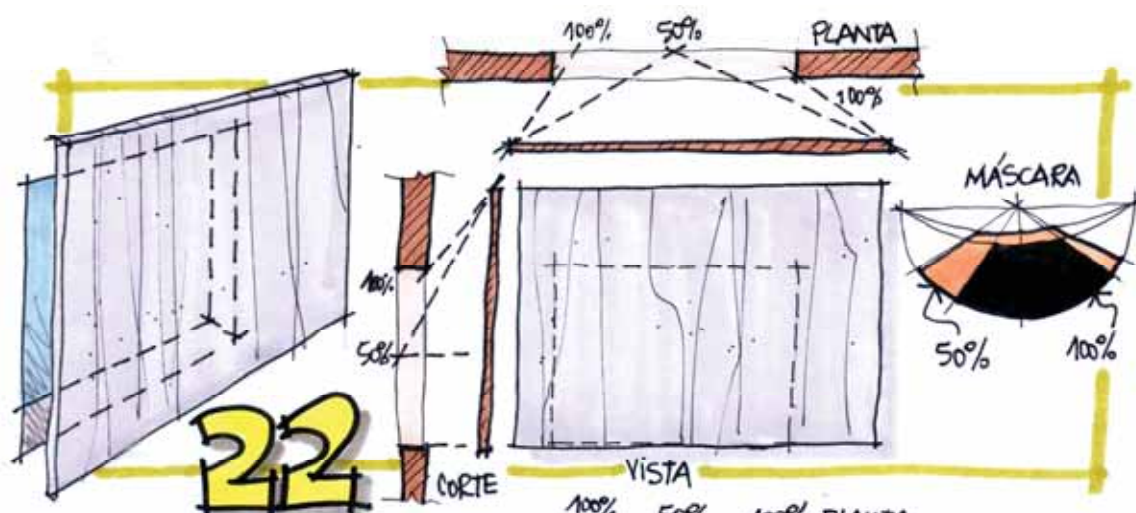


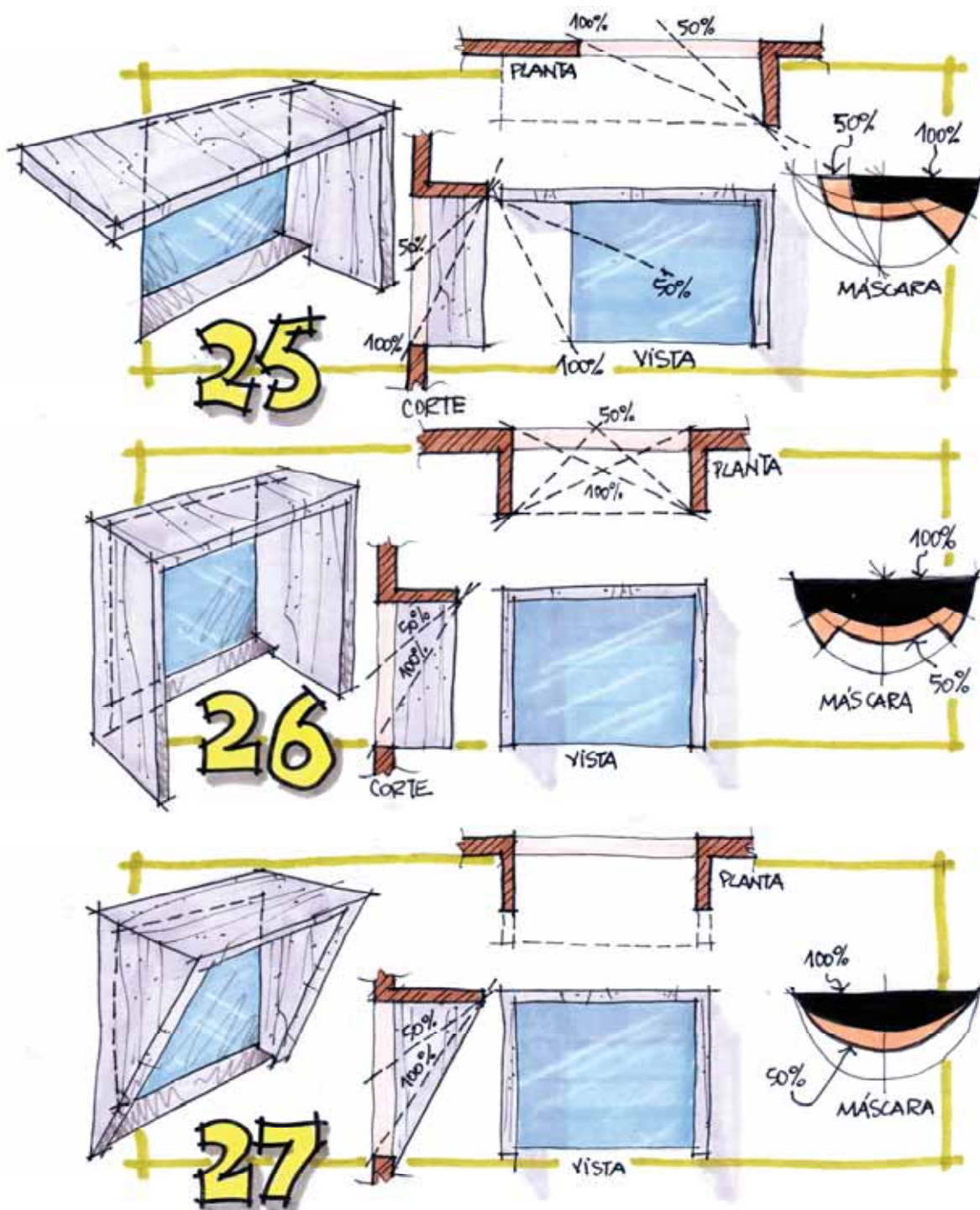


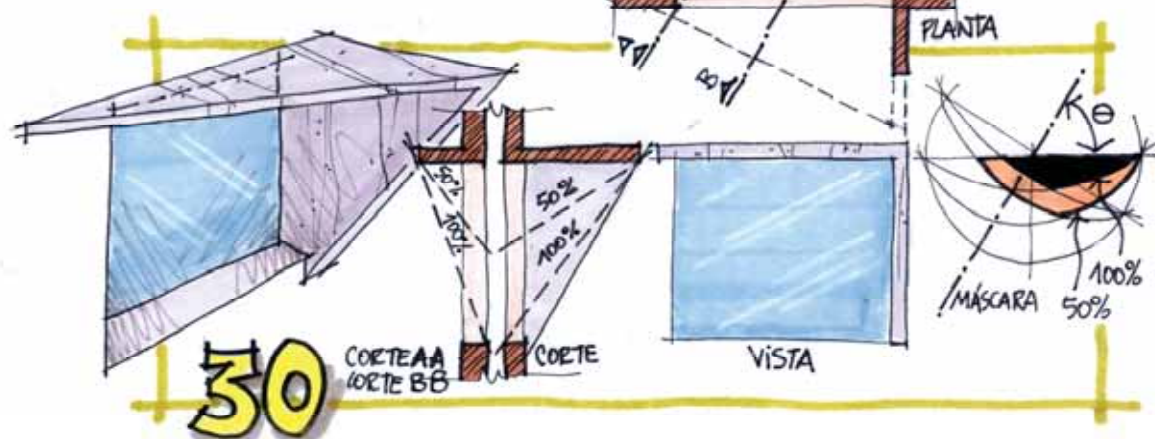
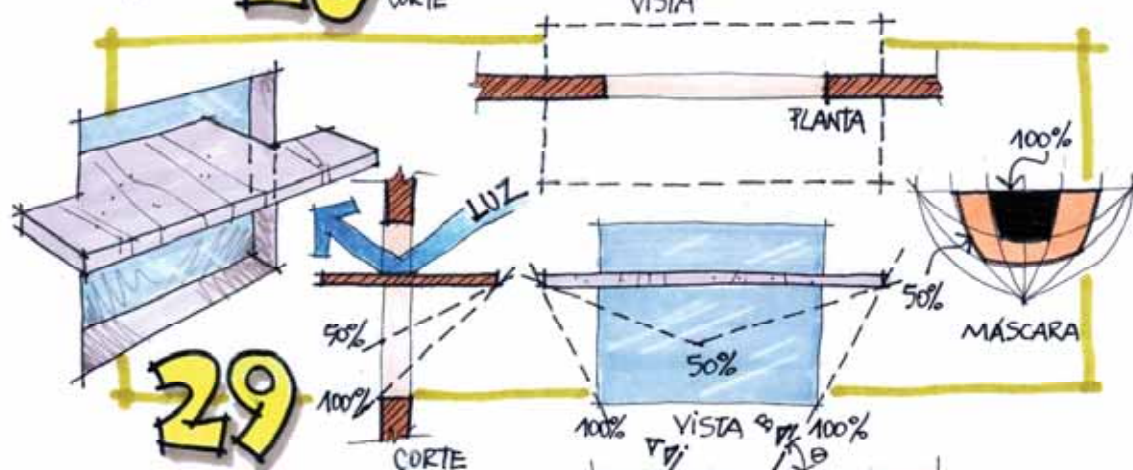
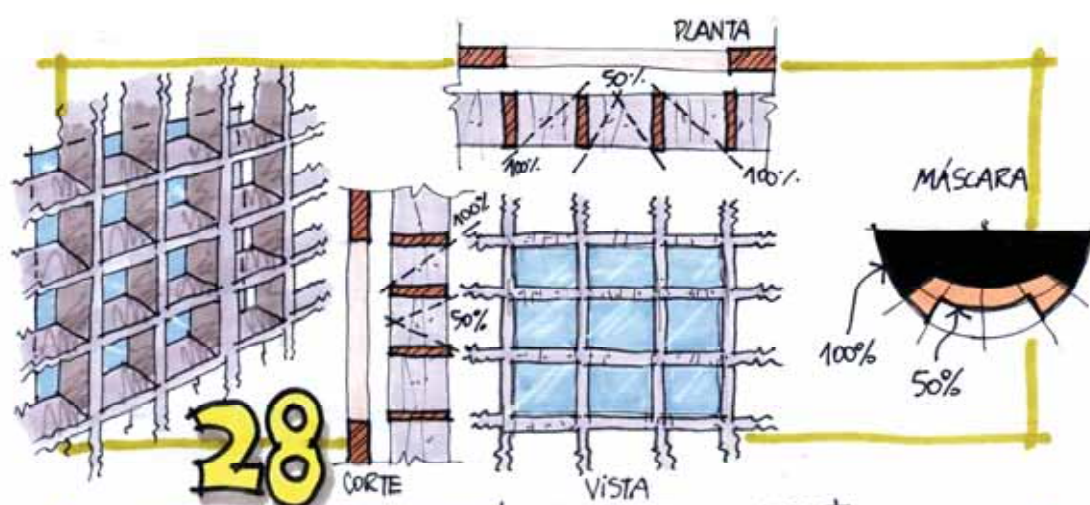












11.4 APÊNDICE 4: TABELAS DE PROPRIEDADES TÉRMICAS

Valores de propriedades térmicas para diversos materiais de construção, citados no capítulo 7.

Tabela 11-1: Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais de uso corrente no Brasil

Concretos		ρ (kg/m ³)	λ (W/m K)	c (kJ/kg K)
com agregados de pedra	▪ normal	2.200 – 2.400	1,75	1,00
	▪ cavernoso	1.700 – 2.100	1,40	1,00
com pozolana ou escória expandida	▪ com finos	1.400 – 1.600	0,52	1,00
		1.200 – 1.400	0,44	1,00
	▪ sem finos	1.000 – 1.200	0,35	1,00
com argila expandida		1.600 – 1.800	1,05	1,00
dosagem cimento > 300 kg/m ³		1.400 – 1.600	0,85	1,00
e massa inertes > 350 kg/m ³		1.200 – 1.400	0,70	1,00
		1.000 – 1.200	0,46	1,00
com argila expandida		800 – 1.000	0,33	1,00
dosagem cimento < 250 kg/m ³		600 – 800	0,25	1,00
e massa inertes < 350 kg/m ³		< 600	0,20	1,00
com argila expandida		600 – 800	0,31	1,00
de vermiculite ou perlite expandida		400 – 600	0,24	1,00
dosagem cimento / areia	▪ 1/3	700 – 800	0,29	1,00
	▪ 1/6	600 – 700	0,24	1,00
		500 – 600	0,20	1,00
concreto celular autoclave		400 – 500	0,17	1,00

Gesso		ρ (kg/m ³)	λ (W/m K)	c (kJ/kg K)
projetado ou de massa volumétrica elevada		1.100 – 1.300	0,50	0,84
gesso tradicional; gesso cartonado		750 – 1.000	0,35	0,84
com agregado leve		700 – 900	0,30	0,84
		500 – 700	0,25	0,84

Isolantes Térmicos		ρ (kg/m ³)	λ (W/m K)	c (kJ/kg K)
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 expandido		25 – 40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano extrudado		30 – 40	0,030	1,67
materiais granulares leves ou fibras soltas		20 – 100	0,050	

Madeiras e derivados	ρ (kg/m ³)	λ (W/m K)	c (kJ/kg K)
com massa volumétrica elevada	800 – 1.000	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 – 1.000	0,20
	▪ leve	200 – 250	0,058
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

Materiais soltos	ρ (kg/m ³)	λ (W/m K)	c (kJ/kg K)
brita ou seixo	1.000 – 1.500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1.500	0,30	2,09
areia saturada	2.500	1,88	
palha (telhado Santa Fé)	200	0,12	

Material Cerâmico	ρ (kg/m ³)	λ (W/m K)	c (kJ/kg K)
tijolos e telhas de barro	1.000 – 1.300	0,70	0,92
	1.300 – 1.600	0,90	0,92
	1.600 – 1.800	1,00	0,92
	1.800 – 2.000	1,05	0,92

Metais	ρ (kg/m ³)	λ (W/m K)	c (kJ/kg K)
aço, ferro fundido	7.800	55	0,46
alumínio	2.700	230	0,88
cobre	8.900	380	0,38
zinco	7.100	112	0,38

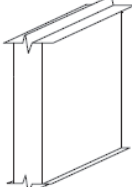
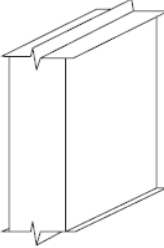
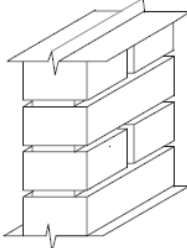
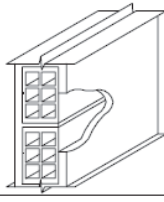
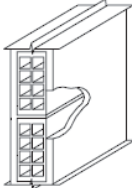
Plásticos	ρ (kg/m ³)	λ (W/m K)	c (kJ/kg K)
borracha/poliamida/poliéster/polietileno	900 – 1.700	0,40	
acrílicos/PVC	1.200 – 1.400	0,20	

Pedras (incluindo juntas de assentamento)	ρ (kg/m ³)	λ (W/m K)	c (kJ/kg K)
granito, gnaiss	2.300 – 2.900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2.000 – 2.800	2,20	0,84
basalto	2.700 – 3.000	1,60	0,84
calcários/mármore	> 2.600	2,90	0,84
outros	2.300 – 2.600	2,40	0,84
	1.900 – 2.300	1,40	0,84
	1.500 – 1.900	1,00	0,84
	< 1.500	0,85	0,84

Outros		ρ (kg/m ³)	λ (W/m K)	c (kJ/kg K)
chapa de vidro		2.700	1,10	0,84
imperme. com membranas betuminosas		1.000 – 1.100	0,23	1,46
asfalto		1.600	0,43	0,92
asfalto		2.300	1,15	0,92
betume asfáltico		1.000	0,17	1,46
argamassa/reboco e assentamento de tijolos e blocos	▪ comum	1.800 – 2.100	1,15	1,00
	▪ placas de fibrocim.	1.800 – 2.200	0,95	0,84
		1.400 – 1.800	0,65	0,84

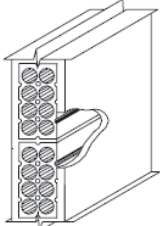
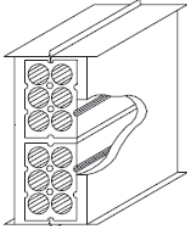
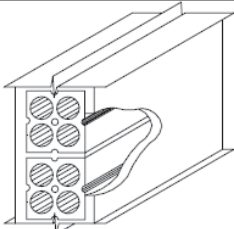
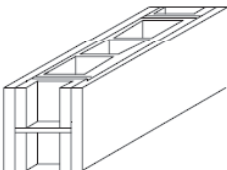
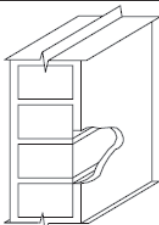
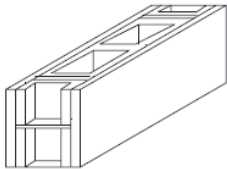
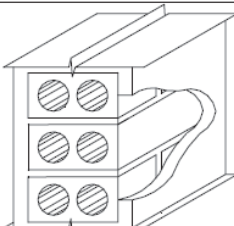
Tabela 11-2: Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico das principais soluções construtivas de uso corrente no Brasil, conforme a Tabela D.3 da norma NBR 15.220/3. Fonte: [ABNT 2005c](#)

Tabela D.3 - Transmitância, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [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 Dimens. tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura arg. de assent.: 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 Dimens. tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. 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 Dimens. tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,49	158	3,3

continua

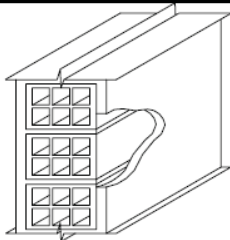
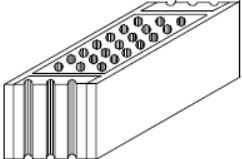
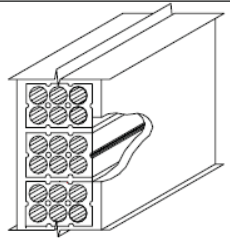
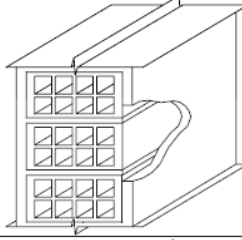
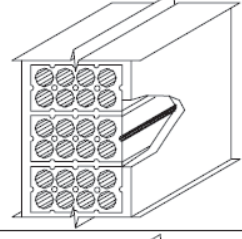
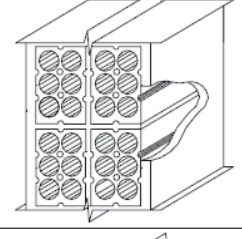
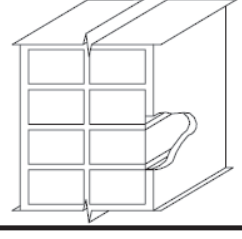
Continuação
Tabela D.3 - Transmissância, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimens. tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. 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 Dimens. tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. 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 arg. de assentamento: 1,0 cm Espessura arg. 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 arg. assentam.: 1,0 cm Espessura arg. 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 arg. de assentamento: 1,0 cm Espessura arg. 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 arg. de assentamento: 1,0 cm Espessura arg. 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 arg. de assentamento: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,5 cm	2,43	220	4,2

continua

Continuação

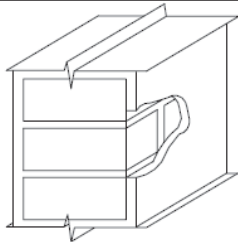
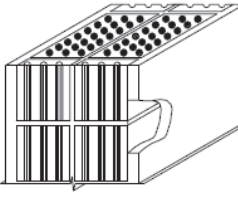
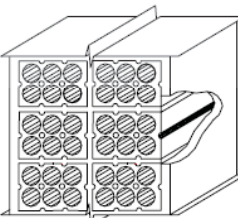
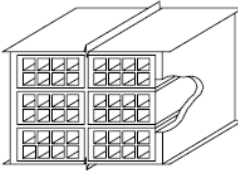
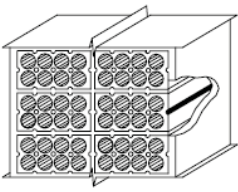
Tabela D.3 - Transmitância, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimens. tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura arg. assentam.: 1,0 cm Espessura arg. 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 Dimens. tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. 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 Dimens. tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. 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 Dimens. tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. 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 Dimens. tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. 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 Dimens. tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. 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 Dimens. tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	2,30	430	6,6

continua

Continuação

Tabela D.3 - Transmitância, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos maciços, assentados na maior dimensão Dimens. tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. 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 Dimens. tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. 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 Dimens. tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. 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 Dimens. tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. 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 Dimens. tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 46,0 cm	0,98	368	10,8

11.5 APÊNDICE 5: UNIDADES E CONCEITOS FÍSICOS

11.5.1 Quantidades Térmicas

CALOR é uma forma de energia que aparece com o movimento molecular em substâncias ou como a radiação no espaço. A unidade no SI é Joule (J).

TEMPERATURA (T) pode ser considerada como um sintoma da presença de calor em uma substância. É a medida do estado térmico da substância. A escala *Celsius* usa o congelamento da água (à pressão atmosférica normal) como ponto de partida, 0°C, e a ebulição da água como 100°C. A ausência total de calor é o ponto de partida da escala de temperatura absoluta ou escala *Kelvin*. O intervalo desta escala é o mesmo que a escala *Celsius*, mas 0°C = 273,15 K. Em unidades se faz normalmente a seguinte distinção:

- Certa temperatura (T) → °C
- Uma diferença de temperatura (ΔT) → K

CALOR ESPECÍFICO (c) de uma substância nos dá a relação entre calor e temperatura: É a quantidade de calor (energia) que causa um incremento de temperatura unitário de uma unidade de massa da substância.

É medido em J/kg K. Valores típicos são:

- Tijolos, concreto 800 ↔ 1.000 J/kg K
- Ar seco 1.000 J/kg K
- Água 4.176 J/kg K

A **DENSIDADE** de uma substância (ρ) é a massa por unidade de volume (kg/m³)

CAPACIDADE TÉRMICA (C) de um corpo é o produto da massa pelo calor específico
kg J/kg K = J/K

CALOR LATENTE de uma substância é a quantidade de calor absorvida (ou liberada) em uma troca de estado (líquido para gasoso ou sólido para líquido) por unidade de massa de uma substância sem mudança na temperatura. É medido em J/kg.

Para água:

- Calor latente de fusão (gelo para água) a 0°C = 335 kJ/kg
- Calor latente de evaporação a 100°C = 2261 kJ/kg a 18°C = 2400 kJ/kg

Em trocas de estado na direção oposta, a mesma quantidade de calor é liberada.

PODER CALORÍFICO é a quantidade de calor liberada por um combustível (ou comida) pela combustão completa do mesmo e pode ser dada por unidade de massa (J/kg) ou de volume (J/m³).

11.5.2 Princípios Termodinâmicos

A Termodinâmica estuda o fluxo de calor e as relações com o trabalho mecânico.

A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA é o princípio da conservação de energia. A energia não pode ser criada ou destruída (a não ser em processos sub-atômicos) mas só convertida de uma forma para outra. Calor e trabalho são intercambiáveis. Em qualquer sistema a saída de energia tem que ser igual a entrada, a não ser que exista um componente armazenado.

A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA diz que transmissão de calor (energia) pode ocorrer espontaneamente em um sentido apenas: de uma fonte mais quente para uma mais fria. Só com uma entrada de energia externa uma máquina pode entregar calor em um sentido oposto. Qualquer máquina para produzir trabalho deve ter uma fonte de calor e um sumidouro. A energia deve fluir através da máquina e apenas uma parte pode ser convertida em trabalho.

FLUXO DE CALOR (Q) de uma zona de alta temperatura para uma zona de baixa temperatura pode ser feito de 3 formas: Condução, Convecção e Radiação. A magnitude deste fluxo pode ser medida de duas formas:

- Como fluxo de calor (**Q**) — Fluxo total na unidade de tempo através de uma área de um corpo ou espaço, ou dentro de um sistema em unidades $\text{J/s} = \text{W}$ (Watt)
- Como densidade de fluxo de calor (**q**) — Taxa de fluxo de calor por unidade de área de um corpo ou espaço em W/m^2 .

Uma unidade de energia não padrão, mas aceita, é derivada da unidade de fluxo de calor: o watt-hora (Wh). É a quantidade de energia entregue se um fluxo de 1W é mantido por 1 hora. Como 1 hora = 3.600 segundos e $1\text{W} = 1 \text{ J/s}$, $1\text{Wh} = 3.600 \text{ J}$

$1\text{J/s} = 3.600 \text{ J}$ ou 3,6 kJ. O múltiplo kWh (kilowatt-hora) é geralmente usado como uma unidade prática de energia, onde $1\text{kWh} = 3.600.000 \text{ J}$ ou 3.600 kJ ou 3,6 MJ. Os multiplicadores usados no SI são MEGA (10^6), GIGA (10^9) e TERA (10^{12})

CONDUÇÃO é a forma de propagação de calor dentro de um corpo, isto é, difusão do movimento molecular através de um objeto ou objetos em contato. A magnitude do fluxo de calor para condução depende de quatro fatores:

- A área transversal (**A**) através da qual o calor flui, tomada perpendicular a direção do fluxo e dada em m^2 .
- A espessura (**l**), ou seja, o comprimento da propagação de calor dado em metros.
- A diferença de temperatura entre os dois pontos considerados, $\Delta T = T_2 - T_1$ (K).
- A propriedade do material conhecida como condutividade (λ) medida como o fluxo de calor através de uma unidade de área com uma diferença de temperatura unitária entre dois pontos afastados de uma distância unitária. $\text{Wm/m}^2\text{K} = \text{W/mK}$. O valor da condutividade varia entre 0,03W/mK para um bom isolante e 400W/mK para um metal condutivo.

RESISTÊNCIA TÉRMICA de um material é o produto da espessura (na direção do fluxo) pelo inverso da condutividade. $R = l / \lambda$ ($\text{m}^2\text{K/W}$). Para um elemento com várias camadas perpendiculares à direção do fluxo, as resistências são aditivas.

CONVECÇÃO de uma forma simplificada pode ser considerada como a forma de transferência de calor de uma superfície de um sólido para um fluido (gás ou líquido) e vice-versa. A magnitude depende de três formas:

- Área de contato (A) entre o fluido e uma superfície (m^2);
- Diferença de temperatura (ΔT), em Kelvin, entre o fluido e uma superfície (m^2);
- O coeficiente de troca por convecção (h_C) medido em $\text{W/m}^2\text{K}$ que depende da viscosidade e da velocidade do fluido assim como do tipo de deslocamento do fluido (laminar ou turbulento). O valor do coeficiente médio de convecção entre o ar e as superfícies de uma edificação é:

$h_C = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ para superfícies verticais;

$h_C = 4,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ para fluxo de baixo para cima: ar para o forro;

$h_C = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ para fluxo de cima para baixo: ar para o piso.

Para superfícies expostas ao vento:

$h_C = 5.8 + 4.1 v$ (v = velocidade do vento em m/s)

O fluxo do calor por convecção é: $Q_C = h_C \times A \Delta T$

De uma forma mais ampla, a convecção pode incluir o transporte de calor por um fluido de uma superfície sólida para outra a certa distância.

RADIAÇÃO TÉRMICA se refere a parte infravermelha do espectro de radiação dentro das seguintes bandas:

- Onda curta $\rightarrow 700 \leftrightarrow 2.300 \text{ nm}$ (nano-metros = 10^{-9} m);
- Onda longa $\rightarrow 2.300 \leftrightarrow 10.000 \text{ nm}$;

Apesar de outros comprimentos de onda também terem efeitos térmicos. Na Figura 11-5 se podem observar todas as faixas do espectro eletromagnético.

O comprimento de onda do espectro de radiação depende da temperatura. Corpos a temperaturas terrestres normais emitem infravermelho longo, enquanto que o sol emite infravermelho curto, luz e um pouco de ultravioleta.

A radiação incidente em uma superfície opaca pode ser parcialmente absorvida, parcialmente refletida; dependendo das propriedades: absortividade (α) e refletividade (ρ). A soma das duas é sempre 1 $\rightarrow \alpha + \rho = 1$.

Para uma superfície transparente (ou translúcida) uma fração pode ser transmitida, dependendo da transmissividade (τ) do corpo. Neste caso $\alpha + \rho + \tau = 1$. Na transferência de calor por radiação o fluxo depende da diferença de temperatura entre a superfície emitente e a absorvente, assim como das propriedades superficiais: emissividade (ϵ) e da absortividade (α). Para uma mesma superfície a

emissividade e a absorptividade são iguais para um mesmo comprimento de onda (temperatura), mas ambos variam com o comprimento de onda.

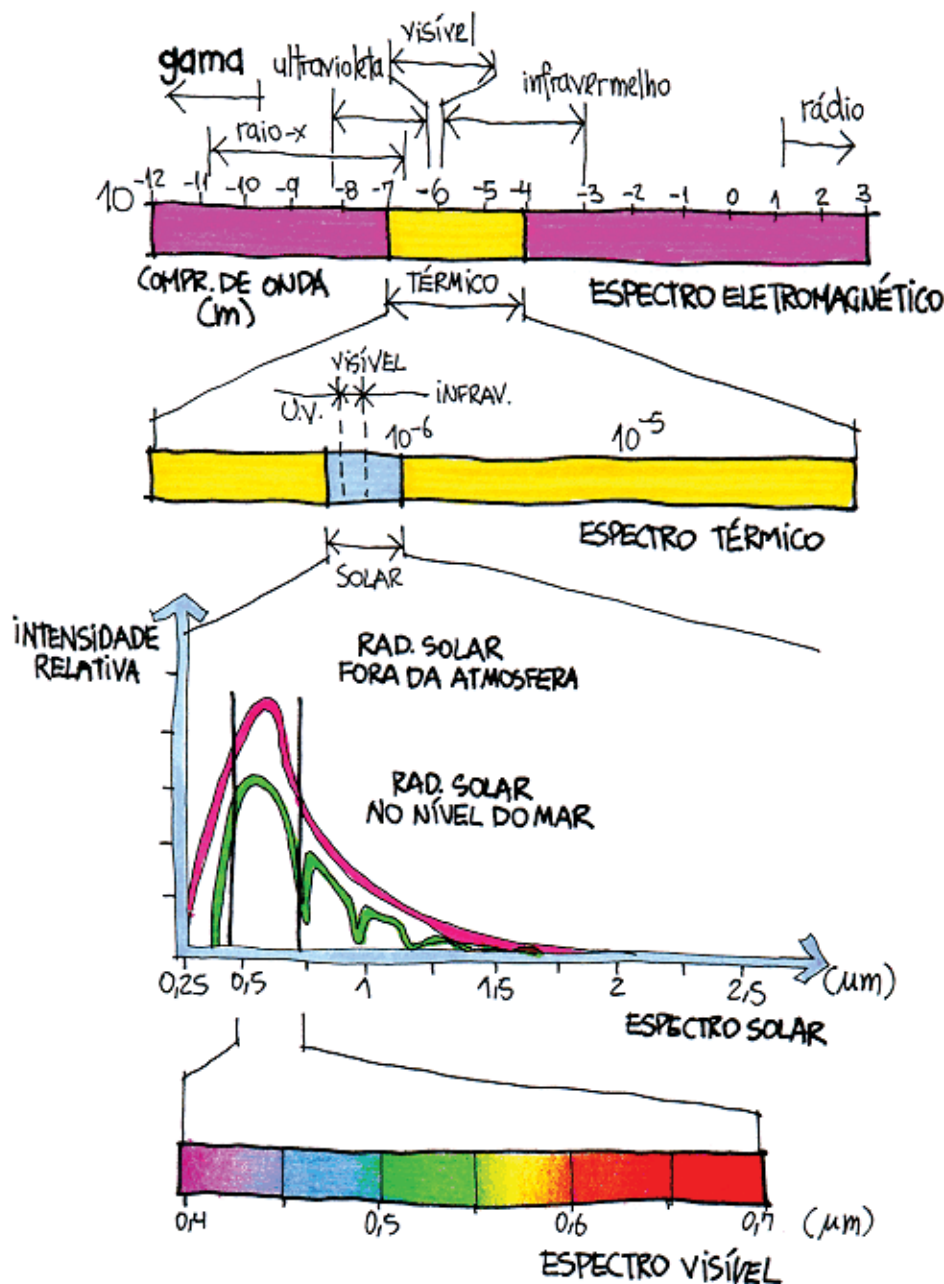


Figura 11-5: Espectro eletromagnético

Para facilitar, usaremos emissividade quando a radiação for de onda longa.

- $\epsilon = 0,9$ Para materiais de construção normais;
- $\epsilon = 0,05$ Para alumínio polido;

E absorptividade quando a radiação for de onda curta

- $\alpha = 0,9$ Para superfícies escuras/pretas;
- $\alpha = 0,2$ Para superfícies brancas ou metal polido;

Para cálculos práticos o coeficiente de troca por radiação (h_r) usado é:

$$h_r = 5.7 \times \varepsilon_e \quad (\text{para superfície a } 20^\circ\text{C});$$

$$h_r = 4.6 \times \varepsilon_e \quad (\text{para superfície a } 10^\circ\text{C});$$

$\varepsilon_e \rightarrow$ Emissividade efetiva

$$\varepsilon_e = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2}}$$

O fluxo de calor por radiação é:

$$Q_r = h_r \times A \times \Delta T$$

11.5.3 Psicrometria

A atmosfera é uma mistura de ar/oxigênio/nitrogênio e vapor de água. Psicrometria é o estudo do ar úmido e das mudanças em suas condições (Szokolay 1987).

RAZÃO DE UMIDADE (ω) é o conteúdo de vapor no ar dado em gramas de vapor de água por kg do ar seco (g/kg). O ar a certa temperatura pode suportar só certa quantidade de umidade. O limite máximo possível é conhecido como **UMIDADE DE SATURAÇÃO (ω_s)**. Se plotarmos a umidade de saturação x temperatura de bulbo seco, temos a base da carta psicrométrica (Figura 11-6).

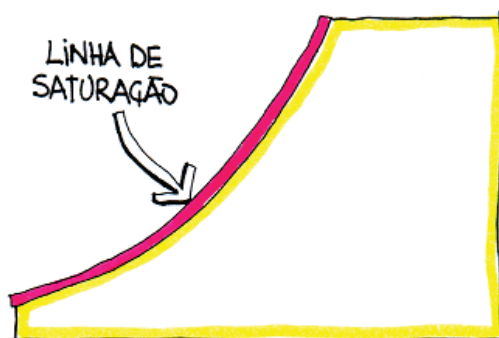


Figura 11-6: Linha de saturação na carta psicrométrica

PRESSÃO PARCIAL DE VAPOR (p_v) é linearmente relacionada à razão de umidade. Assim a carta psicrométrica pode ter duas escalas paralelas: Razão de umidade e pressão parcial de vapor (kPa). Igualmente, a umidade de saturação pode ser expressa em termos de pressão parcial de saturação (p_{vs}).

UMIDADE RELATIVA (UR) é uma expressão do conteúdo de umidade de uma dada atmosfera como porcentagem da umidade de saturação à mesma temperatura (Figura 11-7).

$$UR = 100 \times \omega / \omega_s (\%) \quad \text{ou} \quad UR = 100 p_v / p_{vs}$$

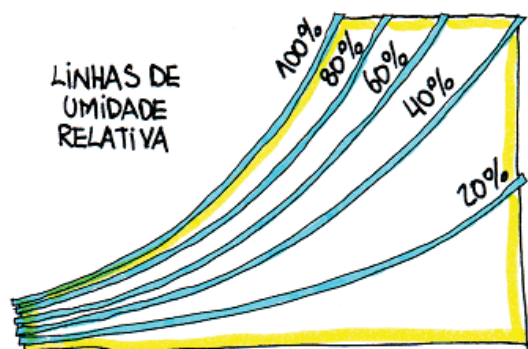


Figura 11-7: Linhas de umidade relativa na carta psicrométrica

TEMPERATURA DE BULBO ÚMIDO (TBU). Temperatura de evaporação da água medida por um termômetro com o bulbo envolto por uma mecha mantida úmida com água destilada e ventilado por um ventilador ou pelo movimento giratório quando parte de um psicrômetro (Figura 11-8).

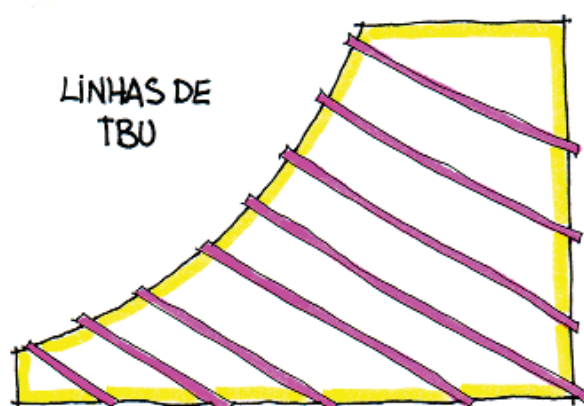


Figura 11-8: Linhas de TBU na carta psicrométrica

ENTALPIA (H) é o conteúdo de calor de uma unidade de massa da atmosfera em kJ/kg relativa ao conteúdo do calor do ar a 0°C (Figura 11-9).

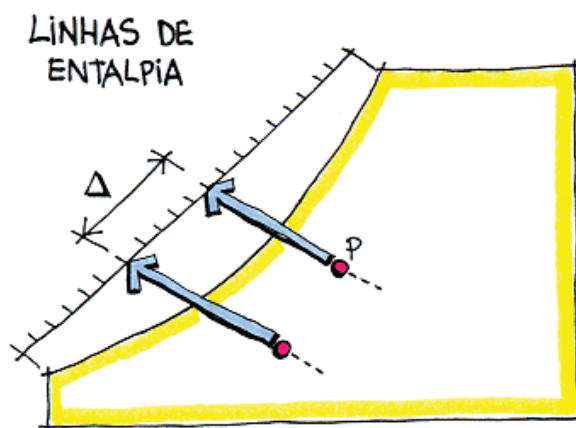


Figura 11-9: Linhas de entalpia

CALOR SENSÍVEL (H_s) é o conteúdo do calor que causa um aumento na TBS. A qualquer temperatura o calor sensível do ar seco é:

$$H_s = 1.00J \times T$$

onde 1.005 kJ/kgK é o calor específico do ar seco.

CALOR LATENTE (H_l) é o conteúdo do calor devido à presença de vapor na atmosfera. É o calor requerido para evaporar o dado conteúdo de umidade (Calor latente de evaporação). A entalpia é também indicada na carta psicrométrica. Para se achar a entalpia, seria necessário um terceiro conjunto de linhas semelhantes às de TBU, mas de inclinação diferente. Para evitar confusão, elas não são mostradas, sendo apenas escalas externas nos dois lados da carta. A Entalpia para um estado qualquer pode ser lida com uma régua colocada sobre o ponto e correndo-se leituras iguais nos dois lados da escala externa.

Para um ponto P

$$H = 70 \text{ kJ/kg};$$

$$H_s = 30 \text{ kJ/kg};$$

$$H_l = 70 - 30 = 40 \text{ kJ/kg}.$$

11.5.4 Processos Psicrométricos

AQUECIMENTO OU RESFRIAMENTO - Adição ou remoção de calor sem mudança na razão de umidade. O ponto de estado se moverá na horizontal (Figura 11-10).

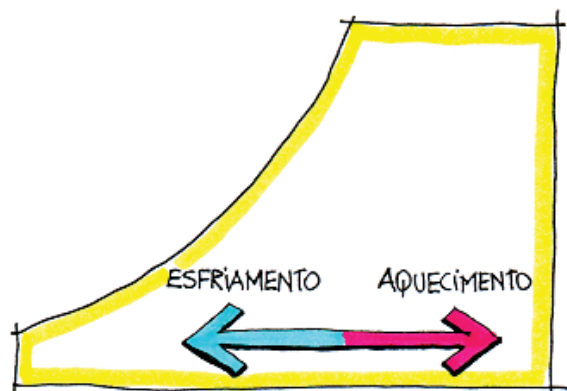


Figura 11-10: Aquecimento ou resfriamento

DESUMIDIFICAÇÃO POR RESFRIAMENTO. No resfriamento, como o ponto de estado ao se mover para a esquerda atinge a linha de saturação, ocorre condensação. A TBU neste ponto se chama temperatura de orvalho. Se o resfriamento continuar, o ponto de estado se move sobre a linha de saturação e a redução no eixo vertical representará a quantidade de umidade condensada. Este processo reduzirá a razão de umidade, mas sempre terminará com 100% de UR (Figura 11-11).

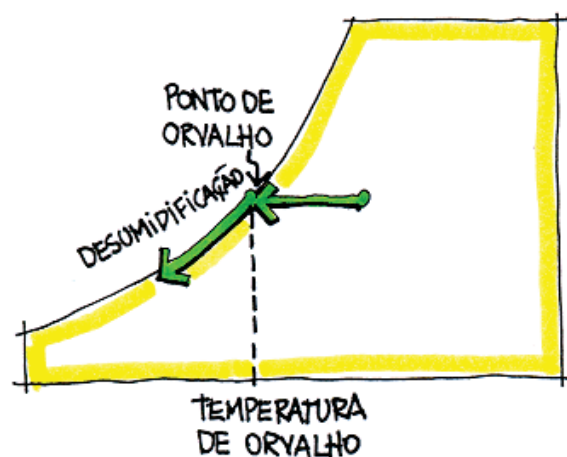


Figura 11-11: Desumidificação

FLUXO DE AR pode ser caracterizado pelas seguintes quantidades:

- Velocidade (v) em m/s;
- Fluxo de massa (FM) em kg/s;
- Fluxo de ar em volume (FV) em m^3/s ou (L/s).

Estas quantidades têm a seguinte relação:

- $FM = FV \rho$ ($kg/s = m^3/s \times kg/m^3$);
- $FM = FV / VE$ ($kg/s = m^3/s / m^3/kg$);
- $FV = v \times A$ ($m^3/s = m/s \times m^2$), onde A é a área transversal ao fluxo.

11.6 APÊNDICE 6: CARGA TÉRMICA

11.6.1 Conceitos

Após o conhecimento de todas as variáveis (climáticas, humanas e arquitetônicas) pode-se determinar a quantidade de energia que deverá ser extraída ou fornecida ao ar do ambiente para mantê-lo em condições desejáveis de temperatura e umidade. Existem alguns conceitos úteis para melhor entender os fenômenos envolvidos, como:

CALOR SENSÍVEL é a quantidade de calor necessária para aumentar (ou reduzir) a temperatura de uma substância, sem mudança de estado. No caso do ar ambiente significa que ocorre variação da temperatura do ar, mas não há alteração da umidade absoluta.

CALOR LATENTE é a quantidade de calor que uma substância absorve (ou rejeita) para mudar de estado, mantendo sua temperatura constante. No caso do ar ambiente é a quantidade de calor necessária para evaporar uma quantidade de água, ou a quantidade de calor gerado na condensação do vapor d'água do ar. Lembrando que durante o processo não ocorre alteração da temperatura do ar.

O **CALOR TOTAL** ou **CARGA TÉRMICA** é a soma do calor sensível e do calor latente fornecido ou retirado do ar durante um processo.

O equipamento de ar condicionado terá que retirar do ambiente exatamente a quantidade de calor sensível e a de calor latente que o ambiente recebeu para que ele seja mantido sem alteração ao longo do tempo. O dimensionamento da potência do ar condicionado, e de sua característica construtiva (design do evaporador, vazão de ar, etc) dependem dos valores de carga térmica sensível e latente do ambiente. Daí a importância em calcular a energia que entra (ou sai) da edificação.

Os principais fatores ou fontes higro-térmicas a considerar no levantamento da carga térmica são:

CLIMÁTICAS

- **Insolação** - depende da orientação e do tipo de janela e respectivas proteções solares utilizadas;
- **Temperatura do ar externo;**
- **Umidade do ar externo.**

HUMANAS

- **Ocupantes** - o calor e a umidade gerada pelos ocupantes depende de sua atividade física (metabolismo) e do número de pessoas usuárias do ambiente.

ARQUITETÔNICAS

- **Fechamentos opacos** - todos os fechamentos opacos (paredes, pisos, tetos) podem ser fontes de ganhos ou perdas térmicas do ambiente por condução entre os meios exterior e interior;

- **Fechamentos transparentes** - atuam através dos ganhos de calor por insolação e das trocas entre os meios externo e interno por condução;
- **Iluminação artificial** - a iluminação artificial também gera calor, que deve ser considerado como integrante da carga térmica;
- **Outras fontes de calor** - como computadores, máquinas e outros equipamentos que podem gerar calor e umidade no ambiente;
- **Infiltração e renovação** - as condições de temperatura e umidade do ar externo podem significar um acréscimo razoável na carga térmica do ambiente por infiltração (por frestas) ou renovação, principalmente se forem muito diferentes das condições do ar interno.

A Carga Térmica Sensível é simples de calcular. É a quantidade de calor que passa pelas paredes, que entra pelas janelas, que é gerada por um computador, etc., ou seja, onde não há umidade envolvida.

Já quando existe infiltração de ar os dois modos estão envolvidos. Existe uma parcela sensível (relacionado com a temperatura do ar que está entrando) e outra latente (relacionada com a umidade do ar que está entrando). Quando existe uma vazão de ar exterior que entra em uma edificação, vai haver uma vazão idêntica saindo. Considera-se que esse ar que sai está na temperatura e umidade do ambiente interno.

Dessa forma, a quantidade de calor sensível devido ao ar externo é determinada por:

$$Q_s = \dot{m} \times c_p \times \Delta t$$

Onde:

- Q_s = calor sensível (W);
- $\dot{m}$ = vazão mássica de ar;
- c_p = calor específico à pressão constante do ar seco (kJ/kg°C);
- Δt = diferença entre a temperatura interior e exterior (°C).

$$Q_L = \dot{m} \times c_{lv} \times \Delta w$$

Onde:

- Q_L = calor latente (W);
- $\dot{m}$ = vazão mássica de ar;
- c_{lv} = calor latente de vaporização da água (kJ/kg vapor);
- Δw = diferença entre a umidade absoluta externa e interna (kg água/kg ar seco).

Outra maneira de calcular a carga térmica é através da variação de Entalpia (h), que é uma propriedade termodinâmica muito utilizada na área de climatização.

$$Q_T = \dot{m} \times \Delta h$$

Onde:

- Δh = variação de entalpia (kJ/kg ar seco).

A propriedade entalpia pode ser encontrada em tabelas, mas também na Carta Psicrométrica (Figura 11-12). O eixo horizontal apresenta a temperatura de bulbo seco (TBS), o eixo vertical a umidade absoluta e o eixo inclinado o valor da Entalpia. As temperaturas internas e externas estão representadas pelos dois pontos, sendo que o deslocamento vertical representa a desumidificação (equivalente ao calor latente) e o deslocamento horizontal o resfriamento (equivalente ao calor sensível). A variação de entalpia entre os dois pontos é o calor total, ou seja, a carga térmica referente à infiltração de ar.

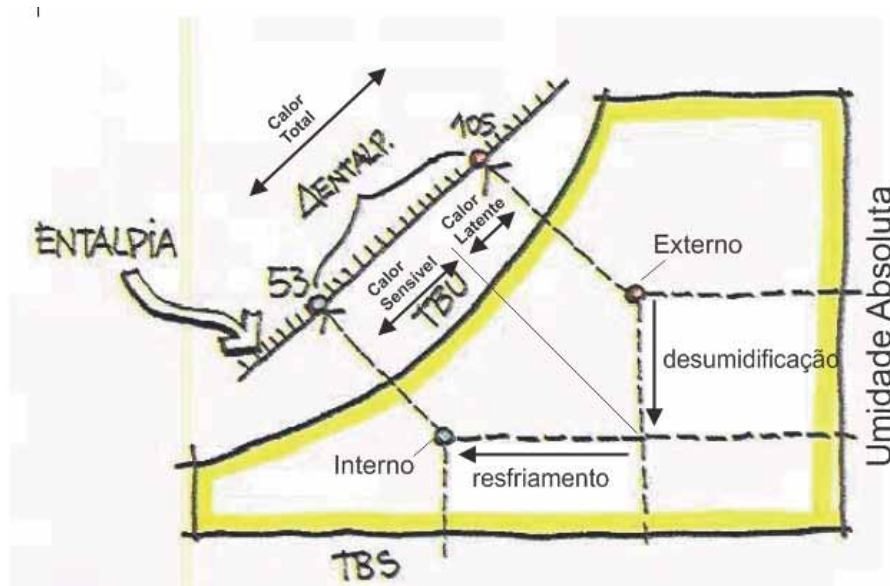


Figura 11-12: Entalpia na Carta Psicrométrica

As pessoas contribuem com uma parcela de calor sensível (aquecendo o ar) e com uma parcela de calor latente (umedecendo o ar pela respiração e evaporação), dependendo da atividade, sexo, idade, etc. A Norma Técnica NBR 6401 apresenta uma tabela com os respectivos valores de carga térmica sensível e latente em função da atividade.

11.6.2 Exemplo Numérico

Um exemplo numérico pode esclarecer melhor como a estimativa da carga térmica é feita. Na Figura 11-13 tem-se o ambiente sob análise para o cálculo da carga térmica. É uma sala comercial localizada na cidade de Florianópolis e voltada para oeste. A sala procura representar um ambiente típico de trabalho, com dimensões de 5,00 por 8,00 metros (40m²) e pé-direito de 2,70 metros. A parede exterior está na menor dimensão (5m) e é vazada por uma janela com largura de 5 metros e altura de 1,10 metros. O material das paredes é o tijolo maciço rebocado com 12 centímetros de espessura total (ver exemplo numérico no capítulo 7, item 7.8, pág. 219) e o vidro utilizado na abertura é simples com 3 milímetros de espessura.

Prevê-se no interior a ocupação por três pessoas, o uso de um computador e o total de doze lâmpadas fluorescentes comuns para iluminação artificial. A data de cálculo é o dia 22 de dezembro (solstício de verão) às 16h, quando a radiação solar assume o valor mais crítico durante o dia para a cidade. A sequência de cálculos a seguir pode ser utilizada para a estimativa da carga térmica do ambiente.

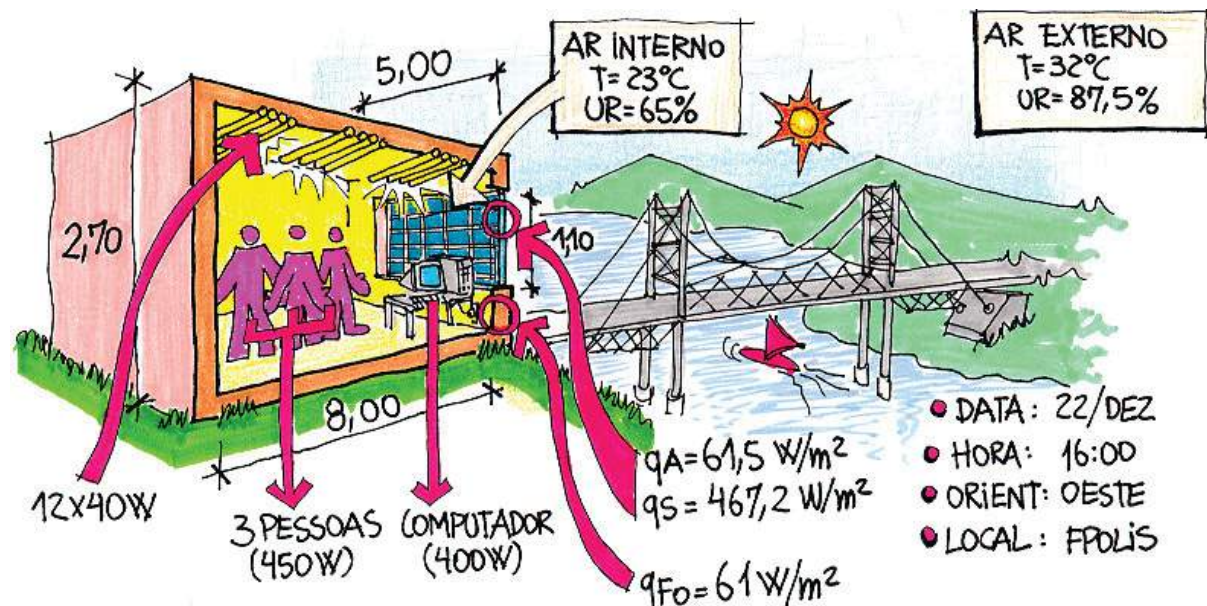


Figura 11-13: Exemplo numérico de carga térmica

CONDUÇÃO PELO FECHAMENTO OPACO (Q_{FO}):

Como visto na tabela 7-8 (capítulo 7, pág. 220), tem-se que a densidade de fluxo de calor da parede de 12 cm na cor branca voltada a oeste é:

- $q_{FO} = 43,28 \text{ W/m}^2$

A área total de fechamento opaco da parede externa será, descontando a área de abertura:

- $A_{FO} = (5,00 \times 2,70) - (5,00 \times 1,10) = 8 \text{ m}^2$

Então, o ganho de calor pelo fechamento opaco será:

- $Q_{FO} = q_{FO} \times A_{FO} = 43,28 \times 8 = 346,24 \text{ W}$

Este é o valor do ganho térmico pela parte opaca da parede externa para a situação analisada.

CONDUÇÃO PELA ABERTURA (Q_A):

Como já visto no cálculo da densidade de fluxo de calor por condução que atravessa uma abertura (capítulo 7, pág. 224), tem-se que:

- $q_A = 52,11 \text{ W/m}^2$

A área de abertura é:

- $A_A = 5,00 \times 1,10 = 5,50 \text{ m}^2$

Então, o fluxo total de calor que atravessa a abertura por condução será:

- $Q_A = q_A \times A_A = 52,11 \times 5,50 = 286,60 \text{ W}$

GANHO SOLAR PELO VIDRO (Q_S):

E o ganho térmico solar pela janela, conforme já visto no capítulo 7 (pág. 224), será:

- $q_S = F_S \times I = 0,87 \times 715 = 622,05 \text{ W/m}^2$

Fazendo o cálculo para toda a área envidraçada da parede exterior tem-se:

- $Q_S = q_S \times A_A = 622,05 \times 5,50 = 3.421,28 \text{ W}$

A abertura contribui então com 286,60 W de calor ganhos por condução e com 3.421,28 W de calor ganhos diretamente do sol, totalizando 3.707,88 W.

GANHO DE CALOR DOS OCUPANTES (Q_O):

Adotou-se para a sala três ocupantes. Segundo a Norma ISO 7730 (2005), uma pessoa em atividade leve (normalmente exercida em ambientes desse tipo) produz aproximadamente 150 W de calor. O calor total produzido pelos ocupantes da sala será então:

- $Q_O = 150 \times 3 = 450 \text{ W}$

GANHO DE CALOR POR ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL (Q_i):

Esta sala é iluminada por doze lâmpadas fluorescentes de 40 W. Deve-se considerar, além do calor dissipado pelas lâmpadas (Q_L), o calor perdido pelos reatores (Q_r). Supondo reatores de partida rápida para cada duas lâmpadas, tem-se pela tabela 8-2 (capítulo 8, pág. 242) que as perdas de calor serão da ordem de 23 W por reator. Então:

- $Q_r = 23 \times 6 = 138 \text{ W}$

E o calor dissipado pelas lâmpadas será:

- $Q_L = 12 \times 40 = 480 \text{ W}$

O ganho de calor total por iluminação artificial será:

- $Q_i = Q_r + Q_L = 138 + 480 = 618 \text{ W}$

GANHO DE CALOR POR EQUIPAMENTOS (Q_E):

Também haverá uma certa quantidade de calor sendo ganha diretamente dos equipamentos instalados no ambiente. No caso do exemplo, tem-se um computador cuja parcela de calor cedido ao ambiente será:

- $Q_E \cong 400 \text{ W}$

GANHO DE CALOR POR INFILTRAÇÃO DE AR (Q_{ia}):

Adota-se regularmente certo número de trocas de ar para o ambiente, que depende da estanqueidade das aberturas ao ar. Neste caso se adotou uma infiltração de 10% do volume total de ar do ambiente a cada hora (0,1). É importante compreender que esta infiltração acontecerá pelas frestas e se traduzirá em dois tipos distintos de ganhos de calor para efeito de cálculo de carga térmica: *calor sensível* e *calor latente*. Conforme explicado no item 11.6.1, o calor sensível está relacionado basicamente à diferença de temperatura entre interior e exterior e o calor latente incorpora o conceito de troca de estado da água contida no ar.

Calor Sensível (Q_{SE}):

O calor sensível (Q_{SE}) pode ser calculado por:

- $Q_{SE} = \rho \times c \times V \times \Delta t \text{ [W]}$

Onde: $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ (densidade do ar);

$c = 1000 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ (calor específico do ar);

V = volume de ar trocado no ambiente a cada segundo;

Δt = diferença de temperatura entre interior e exterior.

O valor de V será:

- $V = (\text{infiltração} \times \text{volume da sala}) \div 3600$
- $V = (0,1 \times 5,00 \times 8,00 \times 2,70) \div 3600 = 0,003 \text{ m}^3/\text{s}$

O calor sensível será então:

- $Q_{SE} = \rho \times c \times V \times \Delta t = 1,2 \times 1000 \times 0,003 \times (32 - 23) = 32,4 \text{ W}$

Calor Latente (Q_{LA}):

O calor latente indica a quantidade de energia necessária para desumidificar o ar de infiltração, mantendo sua temperatura constante. Pela carta psicrométrica obtém-se a variação de entalpia entre as condições externas e o ponto 3.

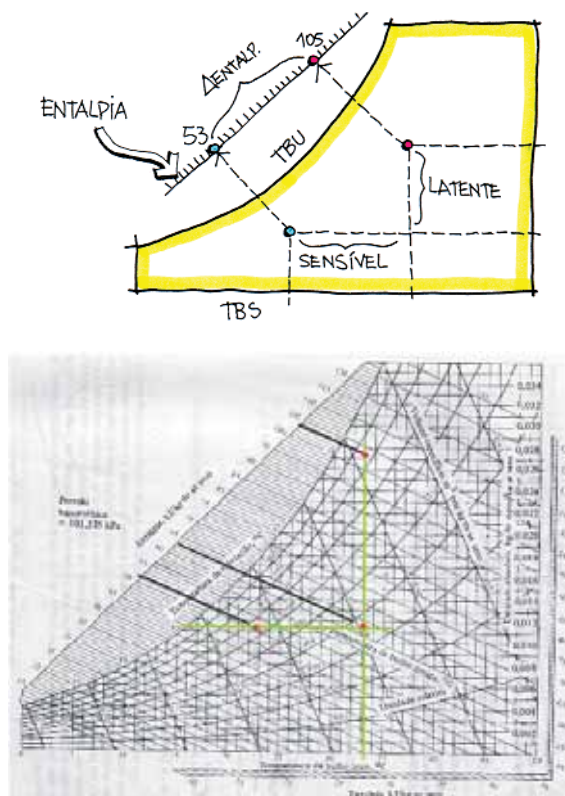


Figura 11-14: Carta psicrométrica com entalpias das duas condições (externa e interior)

Na Figura 11-14 nota-se que o valor de entalpia para o ponto externo é de 103 kJ/kg e para o ponto 3 é de 63 kJ/kg. Então:

- Ar externo: $T_e = 32^\circ\text{C}$; $UR_e = 85\% \rightarrow$ Entalpia = 103 kJ/kg de ar seco;
- Ponto 3: $T_3 = 32^\circ\text{C}$; $UR_3 = 35\% \rightarrow$ Entalpia = 63 kJ/kg de ar seco;
- Ar interno: $T_i = 23^\circ\text{C}$; $UR_i = 65,0\% \rightarrow$ Entalpia = 53 kJ/kg de ar seco.

A diferença entálpica (ΔH) será, então:

- $103 - 63 = 40 \text{ kJ/kg} = 40.000 \text{ J/kg de ar seco}$

E o calor latente será:

- $Q_{LA} = \rho \times c \times V \times \Delta H = 1,2 \times 1000 \times 0,003 \times (103 - 63) = 144 \text{ W}$

O calor total que entra no ambiente por infiltração será, para este caso:

- $Q_{ia} = Q_{SE} + Q_{LA} = 32,4 + 144 = 176,4 \text{ W}$

CARGA TÉRMICA (CT):

A carga térmica (CT) para o ambiente será, então:

- $CT = Q_{FO} + Q_A + Q_S + Q_O + Q_i + Q_E + Q_{ia}$
- $CT = 346,24 + 286,60 + 3.421,28 + 450 + 618 + 400 + 176,4 = 5.698,52 \text{ W}$

Deve-se dizer que, embora este seja o valor de pico, é o que se utiliza para o dimensionamento de aparelhos de climatização. A partir dos valores explanados pode-se identificar a contribuição de cada elemento analisado (Tabela 11-3):

Tabela 11-3: Contribuição de cada elemento do projeto na carga térmica

ELEMENTO	CONTRIBUIÇÃO DE CALOR (%)
Parede externa	6,07
Abertura	65,07
Ocupantes	7,90
Iluminação artificial	10,84
Equipamentos	7,02
Infiltração	3,10

É importante ressaltar que o procedimento aqui descrito é extremamente simplificado. Para avaliações mais precisas de carga térmica deve-se consultar bibliografias específicas (ASHRAE 2005, McQUISTON 1992) ou utilizar um programa de simulação sofisticado como por exemplo, o DOE 2.1E, BLAST ou ESP. No caso do ambiente acima, se poderia empregar um aparelho de ar condicionado de janela. Considerando que 1 W equivale a 3,412142 BTU/h, este aparelho de ar condicionado deveria ter uma potência igual ou maior a:

- $5.698,52 \text{ [W]} \times 3,412142 \text{ [BTU/h]} = 19.444,16 \text{ BTU/h}$

Provavelmente seria especificado um aparelho com 24.000 BTU/h ou 1,7 TR.

A especificação de um sistema de ar condicionado deve também ponderar a relação custo/benefício. Um sistema central, por exemplo, consome menos energia para climatizar uma edificação do que uma solução equivalente com aparelhos de janela. Suas vantagens são, entre outras, o menor consumo de energia, o não comprometimento da fachada arquitetônica, a maior durabilidade e confiabilidade, bem como o menor nível de ruído no interior dos espaços condicionados. Entretanto, os aparelhos de janela tornam-se atrativos pela sua simplicidade. Qualquer pessoa pode comprar um aparelho de janela e instalá-lo sem necessitar de um projeto específico. No setor residencial, principalmente, o uso de aparelhos de janela possibilita climatizar apenas alguns ambientes, considerados mais nobres (quarto e estar, por exemplo), justificando esta alternativa. Outro fator a ser considerado é a versatilidade do uso do aparelho de janela em relação às preferências pessoais dos usuários. Em outras palavras: em um edifício comercial, por exemplo, algumas pessoas podem preferir não usar o ar condicionado, deixando abertas as janelas, enquanto outras podem usar o aparelho de sua sala de forma a

aquecer ou resfriar o ambiente de acordo com suas necessidades de conforto. É importante ressaltar que, hoje em dia, os aparelhos do tipo *split* estão ficando com, preços competitivos em relação aos aparelhos de janela, e tornam-se alternativa mais atraente em termos de conforto, pela menor ruído que produz internamente no ambiente e pela plástica da unidade evaporadora. Deve-se considerar em projeto arquitetônico o efeito das instalações das unidades condensadoras nas fachadas, pois são plasticamente mais agressivas que os modelos convencionais de janela. Pode-se considerar na volumetria do edifício elementos que disfarcem as condensadoras ou mesmo a colocação das mesmas na cobertura.

Ao nível do consumo de energia, se pode comparar de forma prática os aparelhos de ar condicionado através do seu EER (*energy efficient ratio*), que é um conceito de índice de eficiência. O EER relaciona a quantidade de energia elétrica consumida para gerar energia térmica de aquecimento ou refrigeração e sua unidade é Btu/h/W. Na década de oitenta, o EER para os aparelhos de ar condicionado de janela no Brasil era da ordem de 6,5 a 7,5 Btu/h/W (McQUISTON 1992). Atualmente, este valor subiu para a faixa de 8 a 9 Btu/h/W. As melhorias tecnológicas recentes (como, por exemplo, a introdução dos compressores rotativos) mostram que a indústria busca melhorar ainda mais estes índices. O crescimento do EER significa menor quantidade de energia consumida para refrigeração, o que denota a utilidade deste índice para a escolha de máquinas mais eficientes entre as disponíveis no mercado.

O PROCEL lançou no Brasil o selo de eficiência dos condicionadores de ar, o que torna bem mais fácil ao usuário optar por aparelhos mais eficientes.

REFERÊNCIAS:

- ABNT (2005). *NBR15215-3 - iluminação Natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos.*
- ABNT (2005b). *NBR 15220-2, 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.*
- ABNT (2005c). *NBR 15220-3, Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.*
- ASHRAE; (2005). *Handbook of Fundamentals.* American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, USA.
- AULICIEMS, A.; Szokolay, S. V.; (1997). *Thermal comfort.* PLEA NOTES, Passive and Low Energy Architecture International, The University of Queensland, Brisbane.
- DUTRA, L. (1990). *Estudos de proteções solares e sua adequação ao conforto ambiental e ao projeto arquitetônico.* in: VI Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia RS/SC - CRICTE. UFSC, Florianópolis, 1990.
- INTERNATIONAL Organization for Standardization - ISO 7730; (2005). *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.* Geneva, Switzerland. Disponível em <<http://www.iso.ch>>, acesso em outubro/2012.

LUZ do Sol (2012). Programa que confecciona relógios solares para qualquer latitude. Autoria de Maurício Roriz. Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/luz-do-sol>, acesso em outubro/2012.

MCQUISTON, F.; (1992). Cooling and heating load calculation manual. 2ª ed. ASHRAE. Atlanta, USA.

SZOKOLAY, S. V.; (1987). *Thermal design of buildings*. RAI Education Division, Red Hill, Austrália.