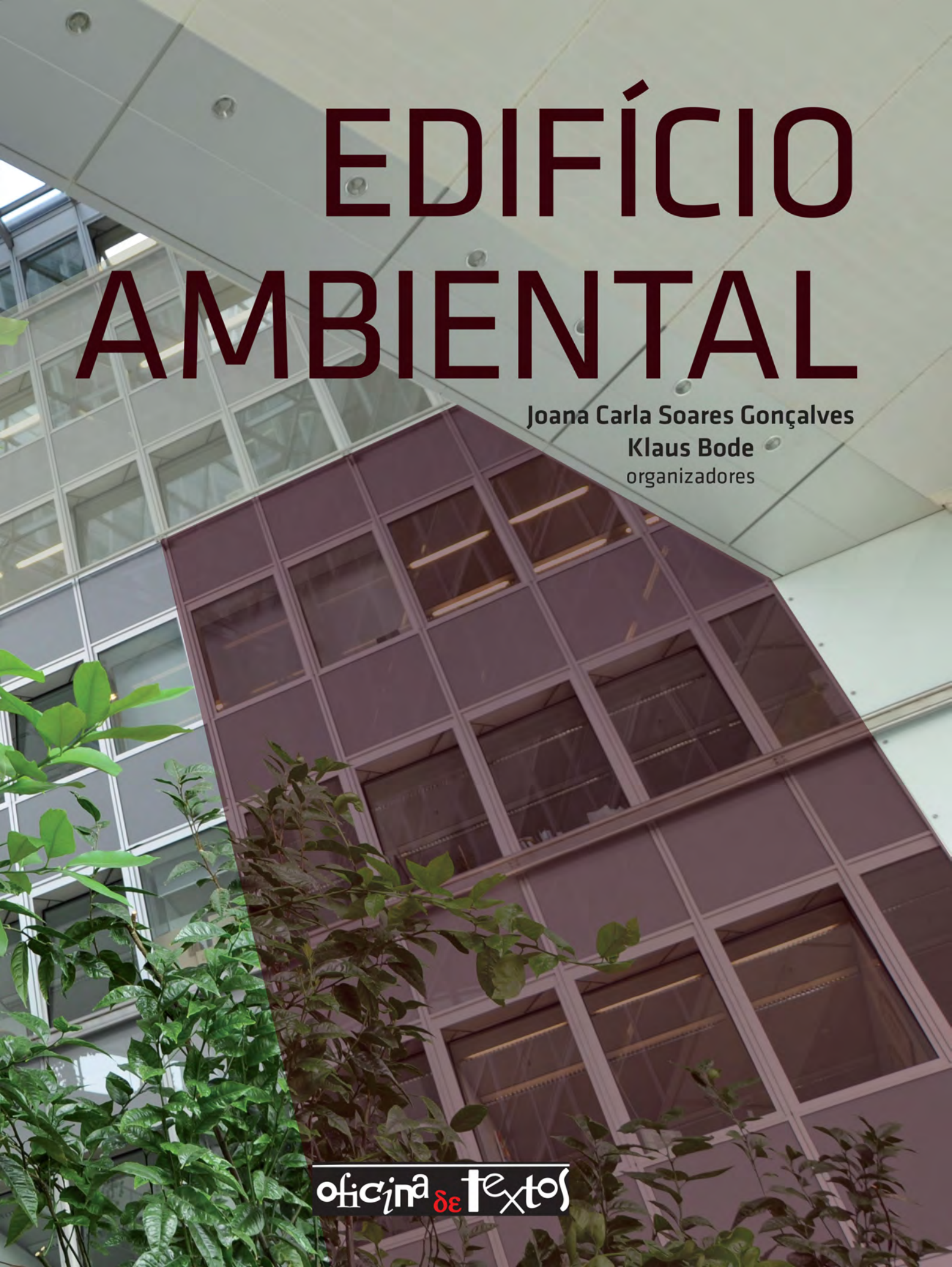
EDIFÍCIO AMBIENTAL

Joana Carla Soares Gonçalves
Klaus Bode
organizadores



oficina de textos

EDIFÍCIO AMBIENTAL

Joana Carla Soares Gonçalves
Klaus Bode
organizadores

oficina de textos

Copyright © 2015 Oficina de Textos

Grafia atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009.

Conselho editorial Cylon Gonçalves da Silva; Doris C. C. K. Kowaltowski; José Galizia Tundisi; Luis Enrique Sánchez; Paulo Helene; Rozely Ferreira dos Santos; Teresa Gallotti Florenzano

Capa e projeto gráfico Malu Vallim

Diagramação Casa Editorial Maluhy Co.

Preparação de figuras Maria Lúcia Rigon

Preparação de textos Carolina Messias

Revisão de textos Maria Rosa Carnicelli Kushnir

Impressão e acabamento Vida & Consciência

Dados internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Edifício ambiental / Joana Carla Soares Gonçalves, Klaus Bode , organizadores. --
São Paulo : Oficina de Textos, 2015.
Vários autores.

Bibliografia.
ISBN 978-85-7975-130-1

1. Arquitetura - Aspectos ambientais 2. Arquitetura sustentável 3. Meio ambiente 4. Planejamento 5. Sustentabilidade I. Gonçalves, Joana Carla Soares. II. Bode, Klaus.

15-00732 CDD-720.47

Índices para catálogo sistemático:
1. Arquitetura e meio ambiente 720.47
2. Arquitetura sustentável 720.47

Todos os direitos reservados à **Editora Oficina de Textos**

Rua Cubatão, 959
CEP 04013-043 São Paulo SP
tel. (11) 3085 7933 fax (11) 3083 0849
www.ofitexto.com.br atend@ofitexto.com.br

[Agradecimentos]

Os autores do livro agradecem às seguintes instituições e empresas o apoio, o financiamento, a participação nas pesquisas e a dedicação de seus funcionários e colaboradores que resultaram nesta obra: Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL); Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); Escritório de arquitetura Mario Cucinella Architetto (MCA); European Commission's 6th Framework Programme; Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP); Gerdau; MC Bauchemie; PhD Engenharia; Seção de Produção de Bases Digitais para Arquitetura e Urbanismo (Cesad/FAU-USP); e aos parceiros do consórcio do projeto Passive and Hybrid Downdraught Cooling (PHDC).

Os autores também agradecem às seguintes pessoas por sua contribuição: Ana Cláudia Magalhães, Anarrita Bueno Buoro, Ângela Madeira (Labaut/FAU-USP), Bárbara Ferronato (Labaut/FAU-USP), Carolina Abrahão Alves (Labaut/FAU-USP), Carolina dos Santos Gusson (Labaut/FAU-USP), Cauê César Carromeu, Dr. Chris Field (Global Ecology Centre), Prof. Dr. Demóstenes Ferreira da Silva Filho (Esalq-USP), Denise Moreira (Labaut/FAU-USP), Dimaghi Schwamback, Prof. Dr. Eleonora Sad de Assis (UFMG), Fernanda Barros (Labaut/FAUUSP), Hawllynsgton Franco, Hugo Fagundes, James Lutterman (Zion National Park Visitor Centre), Kevin Winschel (GSA, Phoenix Office), Larissa Miranda, Luca Bertacchi, Marcella Saade, Martin Yoklic (Environmental Research Laboratories, University of Arizona), Michela Grosso, Paul Torcellini (NREL), Paula Shinzato (Labaut/FAU-USP), Ron Terry (Zion National Park Visitor Centre) e William Deeths (Kenilworth Junior High School).

[Apresentação]

Foi uma longa trajetória desde as primeiras discussões sobre o impacto do setor dos edifícios no mundo até a proposta deste livro, trazendo à tona a necessidade de usar a denominação edifício ambiental. É importante resgatar como chegamos ao momento que vivemos hoje, como a consciência ambiental foi sendo criada e absorvida pelas nações e como o discurso ambiental passou a ser não somente uma bandeira pela natureza, mas também uma nova e promissora oportunidade de negócios em todo o mundo. Tudo começou quando o choque do petróleo nos atingiu enquanto conjunto de nações desenvolvidas e em desenvolvimento no início da década de 1970, sobretudo nos Estados Unidos e na Europa. Naquele momento, houve o embargo por parte dos países membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) e do Golfo Pérsico à distribuição de petróleo cru. Essa nova situação gerou impactos e consequências de abrangência internacional que, muito embora tenha afetado mais alguns países do que outros, atingiu de alguma forma todos os demais países importadores e dependentes de petróleo além dos EUA e da Europa Ocidental, como foi o caso do Brasil. A crise se iniciou de fato no dia 17 de outubro de 1973, quando a OPEP e aliados, durante a Guerra do Yom Kippur, anunciaram que deixariam de enviar petróleo aos países que estavam apoiando Israel no seu conflito com o Egito. Como consequência, em apenas cinco meses, entre 17 de outubro de 1973 e 18 de março de 1974, os preços do barril de petróleo sofreram aumentos de até 400%, provocando recessão, inicialmente, nos Estados Unidos e na Europa e, posteriormente, no restante dos países dependentes.

A clara dependência de todos em relação a um pequeno grupo de países não era desconhecida de ninguém, mas não havia um plano B internacionalmente traçado e acordado entre as nações dependentes. Quando analisamos isso hoje, nos causa espanto esse despreparo em relação à falta de uma ação de contingência internacional na eventual carência de um insumo básico como o petróleo. O fato é que o tumulto resultante da crise gerou reverberações em todas as áreas e em todas as direções, e o setor dos edifícios, personalizado na figura dos arquitetos e de suas criações, não se salvou da enxurrada de críticas que recebeu, sobretudo por ter andado para trás em relação a um casamento outrora bem-sucedido, que era a estreita parceria e

relação entre a arquitetura e o clima. Essa relação e esse elo haviam sido rompidos em todo o mundo, e parte desse rompimento se deve ao *total environmental control*, ocorrido principalmente nos edifícios de escritório em virtude do avanço das tecnologias ativas e com mais ênfase na iluminação artificial e no ar condicionado. Entre o final da década de 1950 e a crise do petróleo em 1973, os arquitetos se sentiam bastante livres para concretizar as suas criações, no exato significado da palavra, lançando mão de meios artificiais que compensavam a falta dos meios naturais, e não havia mecanismos legais que impedissem isso. O resultado foi a existência de edifícios de escritórios com consumo de 100 kWh/m^2 mês nos Estados Unidos, o que é absolutamente impensável hoje.

Sob esse aspecto, a crise do petróleo, que também é conhecida como o choque do petróleo, gerou da mesma forma um choque na arquitetura, nos seus padrões de projeto, na sua forma de projetar e no papel da sua responsabilidade frente ao cenário energético internacional. Vale ressaltar que tanto na década de 1970 como atualmente, ou seja, na segunda década do século XXI, o setor dos edifícios continua sendo responsável por parte significativa do consumo de energia dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, respondendo por algo entre 30% e 40% do consumo total. Destaca-se aqui o caso dos EUA, com 39% de participação (2011). O desdobramento da crise no ano de 1974 gerou duas ações altamente benéficas tanto para o setor dos edifícios como para o planeta, nomeadamente: a criação da International Energy Agency (IEA), sediada em Paris, na França, e o início da prática de implementação de regulamentos energéticos para o setor dos edifícios. Quando foi fundada, os principais objetivos da IEA eram: (i) manter e melhorar os sistemas para lidar com interrupções no fornecimento de petróleo; (ii) promover políticas racionais de energia num contexto global, por meio de relações de cooperação com os países membros e não membros, a indústria e as organizações internacionais; (iii) operar um sistema permanente de informação sobre o mercado internacional de petróleo; (iv) melhorar a oferta e a demanda de energia do mundo por meio do desenvolvimento de fontes alternativas de energia e o aumento da eficiência do uso da energia; (v) promover a colaboração internacional em tecnologias de energia e; (vi) auxiliar na integração das políticas ambientais e energéticas. Nota-se, nessa declaração de intenções da IEA, uma forte alusão a dois aspectos estreitamente ligados ao setor dos edifícios: o aumento da eficiência do uso da energia, que se refere também ao aumento da eficiência de equipamentos, e o auxílio a países membros e não membros na criação de suas próprias políticas ambientais e energéticas.

A resposta internacional pós-criação da IEA foi incrivelmente rápida, demonstrando que, muito embora não houvesse um plano B para uma crise energética, existiam alternativas que poderiam ser acionadas imediatamente. No tocante ao setor dos edifícios, essas respostas centraram esforços na criação de políticas públicas e políticas de governo visando à redução da participação do setor dos edifícios na matriz energética internacional. Na América do Norte, diversos Estados americanos iniciaram o desenvolvimento dessas políticas, mas boa parte deles, por meio de uma ação absolutamente inteligente, adotou as diretrizes das organizações técnicas nacionais já existentes, como a American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), e as adaptou para serem transformadas em códigos de edificações em forma de lei. Na Europa, a França adotou o mesmo princípio e adaptou as normas e as recomendações elaboradas pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), com ampla

participação de especialistas de todo o país, para transformá-las em um Código de Edificações Nacional, contemplando todas as regiões do país. A União Europeia, não na mesma velocidade, mas na esteira dos acontecimentos ocorridos, propôs ao parlamento o desenvolvimento do Eurocode, que seria um código único para todos os países membros. Esse código valeria principalmente para aqueles países que não tivessem elaborado os seus próprios códigos. No final, o Eurocode acabou não sendo muito usado, mas não por desinteresse, pois os países membros da IEA responderam positivamente à questão e desenvolveram, cada um no seu tempo, suas próprias políticas energéticas para o setor de edifícios, utilizando a sua cultura construtiva e, principalmente, os indicadores possíveis de serem alcançados em um primeiro momento. Bem, o primeiro passo havia sido dado. Menos de um ano após o embargo do petróleo, já existiam políticas públicas formuladas e implementadas para o setor dos edifícios, e esse movimento seguiu progressivamente país após país. Entretanto, um segundo movimento estava nascendo, seguindo de perto os fatos que sucederam o embargo, como uma consequência deste, embora com uma abrangência muito mais ampla: o movimento ambiental.

O movimento ambiental reconhecia as questões energéticas como fundamentais, mas admitia também que havia outras questões emergenciais no planeta e constatava, sobretudo, que os recursos naturais não poderiam continuar a ser extraídos naquela velocidade e que, ao contrário do que ocorreu no embargo, era necessário ter um plano B. Esse plano B se chamava *otimização dos recursos naturais*. A Organização das Nações Unidas (ONU) abraçou a causa e iniciou uma série de conferências internacionais para discutir a questão, mas essas discussões não estavam resultando na proposição de políticas ambientais claras, efetivas e restritivas. Nesse cenário, decorreu a década de 1970 e o início da década de 1980 até que, em duas importantes conferências da ONU, foram propostos documentos marcantes no contexto internacional, sendo o primeiro deles o Nosso Futuro Comum, da conferência de Copenhague, em 1987, e o outro a Agenda 21 Global, lançada na conferência do Rio de Janeiro, em 1992, que propôs uma política mundial para o ambiente. Naquele momento, havia uma consciência internacional bastante formada e clara a respeito do ambiente e do papel dos edifícios nesse cenário, podendo contribuir com a redução de insumos importantes como a água, a energia e os materiais de extração primária. Nos países desenvolvidos, essa consciência se transformou em ação e a sociedade civil iniciou um movimento de organização em torno dessas questões, criando associações cujos objetivos eram absolutamente claros: reduzir o impacto dos edifícios no cenário ambiental global. O primeiro país a se organizar nessa área foi o Reino Unido, que, por meio do Building Research Establishment (BRE), criou a ferramenta BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method). O segundo foi os Estados Unidos, que, por meio do U.S. Green Building Council (USGBC), criou a ferramenta Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). O terceiro foi a França, que criou o Haute Qualité Environnementale (HQE) ou High Quality Environmental Standard, e assim sucessivamente até o momento atual, com o lançamento da ferramenta alemã Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) ou German Society for Sustainable Construction, que está adotando uma política bastante agressiva de disseminação de suas ideais. Essas ferramentas e iniciativas, segundo elas mesmas, são uma resposta da sociedade civil organizada para suprir uma carência de políticas públicas, que os governos não se organizaram para criar. É interessante essa crítica,

pois, no início da década de 1970, os governos se organizaram em torno da questão energética, mas, no início da década de 1980, não adotaram a mesma conduta em relação à questão ambiental. Sem tentar explicar o porquê dessa atitude por parte dos governos, vamos tentar entender os desdobramentos dessas ações por parte das sociedades civis internacionais. Com o advento das ferramentas/certificações ambientais voluntárias, houve uma rápida adesão do setor da construção civil a elas. Do lado acadêmico, essa adesão foi impulsionada por um ideal de ver a marca registrada da sustentabilidade nos projetos de arquitetura e visualizar um futuro no qual os grandes exemplos da ineficiência ambiental não seriam mais construídos. Do lado dos empreendedores, as certificações agregariam valor aos projetos, e esses valores seriam compensados pela comercialização desses empreendimentos, sem causar evidentemente nenhum prejuízo. Do lado do mercado da construção civil, as certificações foram vistas como oportunidades de negócios, uma vez que, se não foi possível evitá-las, a saída era se unir a elas. Assim, foi formada a rede de apoio às certificações. No momento, não há como e nem acreditamos que se deva retroceder a isso. Cremos, sim, que a arquitetura pode e deve estar além das certificações, dos regulamentos e das normatizações. Ela precisa respeitá-las, mas deve continuar sendo criativa e inovadora como sempre foi. Deve também entender que a sua relação com o clima nunca poderá ser desfeita e que o erro do passado não poderá ser repetido novamente. Este livro foi escrito com esse intuito, ou seja, de resgatar essa ideia e faz isso brilhantemente, apresentando conceitos, casos e mais, mostrando que a tecnologia pode ser aliada da arquitetura, e não sua inimiga.

Marcelo de Andrade Romero
Diretor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade de São Paulo (FAU-USP)
Superintendente de Gestão Ambiental da
Universidade de São Paulo (USP)

[Sumário]

Introdução **15**

Parte 1 | Arquitetura, ambiente e tecnologia **25**

1 Arquitetura da adaptação **27**
1.1 Conforto ambiental e as possibilidades do modelo adaptativo 27
1.2 Considerações preliminares sobre o projeto do edifício ambiental 36
1.3 Pesquisa arquitetônica para o projeto ambientalmente sustentável 46
Referências bibliográficas 53

2 Ventilação natural em edifícios de escritórios: mito ou realidade? **57**
2.1 A influência do clima 60
2.2 Discussão arquitetônica 65
2.3 Ventilação natural em edifícios altos 69
2.4 Modo misto: interação entre ventilação natural e sistemas prediais 75
2.5 Considerações finais 77
Referências bibliográficas 78

3 O desempenho térmico de ambientes de trabalho nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro **81**
3.1 A ventilação natural e o projeto de janelas para ambientes de trabalho em São Paulo 81
3.2 Ventilação natural e massa térmica: aspectos quantitativos e qualitativos do desempenho de edifícios de escritórios no Rio de Janeiro 93
Referências bibliográficas 99

4 A tecnologia dos sistemas prediais **103**
4.1 Considerações preliminares: princípios para uma abordagem ambiental 103
4.2 Fundamentos para a eficiência energética da climatização 106
4.3 Considerações finais 124
Referências bibliográficas 125

5 Seleção de materiais e edifícios de alto desempenho ambiental **129**
5.1 Os números da construção civil e o papel das edificações 129
5.2 Importância e desafios para consideração dos materiais de construção para avaliação de impactos no ciclo de vida de edificações 131
5.3 O que define um edifício de alto desempenho ambiental do ponto de vista de materiais? 133
5.4 Estimativa de impactos de materiais no ciclo de vida da edificação 135
5.5 Indicadores de ecoeficiência material para edificações brasileiras 138
5.6 Conclusões 143
Referências bibliográficas 147

Parte 2 | O Ambiente urbano e os edifícios **153**

6 O clima urbano e o ambiente construído **155**
6.1 Clima urbano: abordagens, escalas e balanço de energia em áreas urbanizadas 157
6.2 Efeitos do desenho urbano sobre o microclima urbano e sobre as edificações 169
6.3 Efeitos dos edifícios sobre o microclima urbano 172
6.4 Considerações finais 174
Referências bibliográficas 174

7 Edifícios altos e forma urbana **181**
7.1 O impacto de *canyons* urbanos no desempenho ambiental de edifícios 182
7.2 *Transbordering*: editando térreos do edifício alto típico em São Paulo 199
Referências bibliográficas 219

8 A economia das cidades: a perspectiva de um economista sobre as vantagens do adensamento urbano além do desempenho ambiental **223**
8.1 Os benefícios das aglomerações (ganhos de escala) 227
8.2 Os custos das aglomerações urbanas 231
Referências bibliográficas 234

Parte 3 | Processo de projeto **235**

9 Projeto integrado e o papel da simulação computacional de desempenho ambiental (exemplos de projeto) **237**
9.1 Velódromo das Olimpíadas de Londres de 2012: síntese entre arquitetura e tecnologia dos sistemas prediais 238
9.2 One Airport Square, edifício de escritórios na República de Gana, África: o potencial ambiental da arquitetura em concreto 253
9.3 Escola de Economia de Toulouse (TSE): arquitetura de espaços de transição para a mediação climática 269
Referências bibliográficas 283

10 Fundamentos da simulação energética de edificações **285**
10.1 Edificação-modelo 288
10.2 Tendências futuras 293
10.3 Considerações finais 294
Referências bibliográficas 294

11 Avaliação de desempenho, simulação computacional e o projeto arquitetônico **297**
11.1 O desempenho ambiental de estratégias arquitetônicas 298
11.2 O impacto da tecnologia digital no processo de projeto: aspectos metodológicos 302
11.3 O potencial gerativo de critérios ambientais 305
11.4 Considerações finais 311
Referências bibliográficas 312

12 Arquitetura generativa *high-low*: princípios e aplicações 313
12.1 Projeto paramétrico 314
12.2 O paradigma *high-low* 315
12.3 Experiências de projetos 316
12.4 Considerações finais 326
Referências bibliográficas 328

13 Cálculos analíticos simplificados para a avaliação de conforto térmico relacionado ao uso da ventilação natural de galpões industriais 329
13.1 Segurança e medicina do trabalho 330
13.2 Recursos da ventilação 331
13.3 Galpões industriais com pequena dissipação de calor no interior 332
13.4 Galpões industriais com grande dissipação de calor no interior 337
13.5 Considerações finais 345
Referências bibliográficas 348

Parte 4 | Aprendendo com os edifícios existentes 349

14 Edifícios em uso: o desempenho ambiental de ícones de uma geração 351
14.1 A sede do Commerzbank em Frankfurt am Main, Alemanha: ícone de eficiência energética e qualidade ambiental em edifícios de escritório 351
14.2 Assembleia Nacional do País de Gales: o projeto e a ocupação do edifício inspirado em princípios de desempenho e qualidade ambiental 367
Referências bibliográficas 378

15 A tecnologia pioneira de resfriamento evaporativo: lições de edifícios norte-americanos, um estudo de avaliação pós-ocupação 379
15.1 Edifícios, clima e estratégias de resfriamento 382
15.2 A percepção dos usuários 391
15.3 Avaliação pós-ocupação: resumo dos resultados 396
Referências bibliográficas 397

16 A reabilitação de edifícios 399
16.1 O porquê da reabilitação de edifícios 399
16.2 Diretrizes gerais para a requalificação ambiental e energética de edifícios 400
Referências bibliográficas 415

17 O contexto europeu da reabilitação de edifícios 417
17.1 Mais conforto e menos energia na renovação de edifícios habitacionais em climas mediterrânicos 417
17.2 O caso espanhol: reabilitação ambiental de edifícios residenciais na Galícia, uma resposta à crise econômica 428
Referências bibliográficas 450

18 O desempenho ambiental e a requalificação de edifícios altos no centro de São Paulo, com foco na habitação de interesse social **453**
18.1 O centro de São Paulo e seus edifícios altos residenciais 453
18.2 Possibilidades arquitetônicas da requalificação e o seu desempenho ambiental 455
18.3 Ocupação e demanda energética 460
18.4 Flexibilidade e sustentabilidade 463
18.5 Considerações finais 472
Referências bibliográficas 474

19 A reocupação de edifícios multifamiliares no centro de São Paulo **477**
19.1 Uma reflexão sobre a questão ergonômica 477
19.2 Edifício União, no bairro do Bom Retiro: a recuperação da estrutura e a conquista para a habitação 491
Referências bibliográficas 500

Parte 5 | Os desafios ambientais e as forças de mercado **501**

20 Habitações mais sustentáveis para populações de baixa renda: fundamentos e propostas desenvolvidas pelo Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (Norie) **503**
20.1 Um breve retrospecto das pesquisas em habitação de interesse social 503
20.2 Comunidades resilientes no cenário pós-pique do petróleo: uma reflexão sobre os desafios para a sustentabilidade 508
20.3 O desafio de (re)planejar comunidades para a era *pós-combustíveis fósseis* 513
20.4 Desenvolvimento de estudos para um conjunto habitacional, para o município de Feliz, no Rio Grande do Sul 516
20.5 Considerações finais 519
Referências bibliográficas 521

21 A certificação ambiental de edifícios **523**
21.1 Uma revisão dos sistemas de certificação e o caso brasileiro 523
21.2 Uma avaliação crítica do sistema LEED 536
Referências bibliográficas 541

22 Brasil, Plano Nacional de Eficiência Energética, etiquetagem e o selo Casa Azul da Caixa **545**
22.1 Etiquetagem para avaliação do nível de eficiência energética em edificações 548
22.2 Selo Casa Azul da Caixa 561
22.3 Considerações finais 568
Referências bibliográficas 569

Considerações finais **573**
O valor do edifício de melhor desempenho e qualidade ambiental 573
Referências bibliográficas 582

Sobre os autores **585**

Introdução

Joana Carla Soares Gonçalves

Desde os anos 1990, a discussão sobre o impacto ambiental de edifícios vem ganhando peso na agenda de uma série de cidades e países ao redor do mundo, alcançando dimensões globais em *The Green Economy Report* (Unep, 2011a, 2011b), do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). O relatório foi elaborado para informar políticas públicas e iniciativas privadas sobre o potencial de transformação socioeconômica associado a investimentos em prol de um melhor desempenho ambiental do setor de edificações.

Aproximadamente 25% do consumo da energia primária produzida no mundo está atrelado ao uso e à ocupação de edifícios, sendo os países desenvolvidos (ou industrializados) os responsáveis pela maior parcela desse consumo (Levine et al., 2007). Como consequência, o setor de edificações foi identificado como líder mundial em emissões de CO_2, no quarto relatório produzido pelo Painel Internacional de Mudanças Climáticas (International Panel of Climate Change, IPCC). No entanto, o mesmo relatório também identifica o setor como aquele com o maior potencial de redução das suas emissões de CO_2, em função das oportunidades de projeto, avanços tecnológicos e comportamento do usuário.

Estudos realizados pelo IPCC (2007) em 36 países apontam para a possibilidade de 29% de redução das emissões do setor das edificações até 2020, a custo zero. As estimativas do IPCC são ainda mais animadoras quando sugerem que cerca de 90% de redução do consumo de energia em edifícios pode ser alcançado com um investimento inferior a U$ 20,00 por tonelada de CO_2 (Fig. I.1).

Segundo projeções apresentadas em *The Green Economy Report*, com o investimento de um décimo do percentual do PIB mundial estimado para acionar a transição da economia em direção a uma condição mais *verde*, as emissões mundiais de CO_2 causadas pelo setor de edificações caem para valores menores do que os calculados para 1990. Esse é o desempenho equivalente a 43% de redução das emissões estimadas para o cenário conhecido como *business as usual*, ou seja, de um crescimento futuro do setor sem investimentos para a melhoria da sua eficiência energética (Unep, 2011a) (Figs. I.2 e I.3). Vale ressaltar que, como todos esses números se referem ao contexto global, projeções e metas devem ser recalculadas para as diferentes realidades regionais e locais.

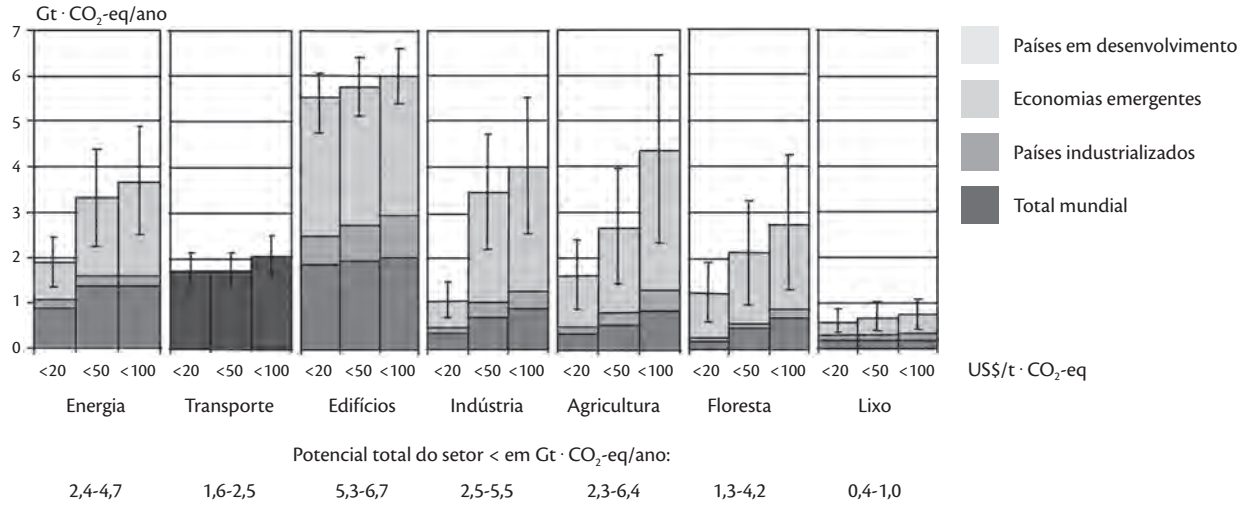


Fig. I.1 Comparação do potencial de redução de emissões de CO_2, como consequência de diferentes níveis de investimento financeiro (< US$ 20,00; < US$ 50,00; e < US$ 100,00), em uma série de setores da economia mundial, incluindo o setor de edificações
Fonte: Unep (2011a).

Simultaneamente à redução do impacto ambiental, acredita-se que os investimentos para as reduções das emissões dos edifícios conduzam a um crescimento mundial do setor e do PIB, incluindo um aumento da demanda energética, que é contrabalanceado pelo aumento da eficiência nos processos de consumo (Unep, 2011a).

Apesar de os países desenvolvidos (também chamados de industrializados) ainda ocuparem uma posição predominante nas emissões de CO_2 do contexto global, as projeções de um modesto crescimento econômico e populacional apontam para um aumento pouco expressivo do consumo de energia em edifícios nesses países nas próximas décadas. Olhando para o caso da Europa, em particular, aproximadamente 75% do estoque para o residencial necessário para 2050 já está construído (Ravetz, 2008). Diante dessa realidade, no que se refere ao desempenho ambiental do setor, a requalificação de edifícios ganha importância sobre a construção de novos empreendimentos.

Em contrapartida, o crescimento populacional, acompanhado pelo rápido processo de urbanização em determinadas partes do mundo em desenvolvimento, anuncia uma mudança de foco. O setor da construção de edifícios residenciais e comerciais tem um crescimento atual, em média, de 7% na China e de 5% na Índia e no sudeste da Ásia, contra 2% nos países desenvolvidos como um todo (Baumert; Herzog; Pershing, 2005). Paralelamente, a projeção de crescimento populacional no conjunto dos países em desenvolvimento é de 2,3 bilhões para as próximas quarto décadas (UN; Desa, 2009). Além da crescente demanda habitacional, estudos publicados pela organização World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2007), mostram que o processo acelerado de urbanização e crescimento de cidades do Brasil, China e Índia (para citar os casos de maior peso no cenário mundial) tem como consequência uma demanda expressiva por novos edifícios comerciais. Na China, prevê-se até 2020 um aumento de 70% do estoque da área comercial exis-

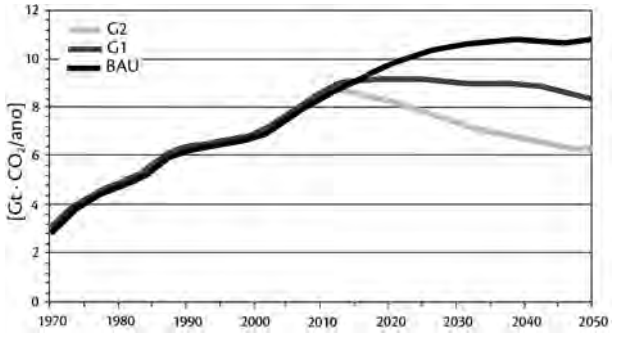


Fig. I.2 Comparação das emissões de CO_2 do setor de edifícios de 1970 até 2050 entre três cenários: *business as usual* (BAU) e aqueles referentes aos investimentos sugeridos em *The Green Economy Report*
Fonte: Unep (2011a).

[Parte 1]

Arquitetura, ambiente e tecnologia

Arquitetura da adaptação

1

Leonardo Marques Monteiro (seção 1.1)

Leonardo Bittencourt (seção 1.2)

Simos Yannas (seção 1.3)

1.1 Conforto ambiental e as possibilidades do modelo adaptativo

As pessoas passam a maior parte de suas vidas em suas casas, locais de trabalho e em outros edifícios. Essa atitude, profundamente enraizada em nossa sociedade, influencia o estabelecimento de padrões de conforto e a eficiência energética dos edifícios. A relação entre pessoas, clima e edifícios, complexa e interdependente, gera um grande impacto sobre o consumo de energia nestes últimos. A consideração mais importante sobre qualidade ambiental de um edifício é o conforto térmico (Cena; Clark, 1981), que é definido pela ASHRAE (2009), American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, como o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico.

O conforto térmico contribui para o bem-estar em razão de sua ligação com o equilíbrio termofisiológico do corpo humano. Especificamente, ele representa a interação de variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade e velocidade do ar) com variáveis pessoais do ocupante (taxa metabólica e vestuário). Além disso, fisiologia humana, aspectos climáticos e culturais também têm influência sobre o conforto térmico e, assim, condições confortáveis irão variar de pessoa para pessoa, conforme suas experiências e preferências ambientais, e de acordo com a hora do dia.

Avaliar o nível de conforto térmico é fundamental para o estabelecimento de padrões de desempenho ambiental e energético de edifícios. Essa avaliação não requer apenas compreender o que o corpo humano pode suportar, mas também até que ponto as pessoas estão dispostas a fazer mudanças comportamentais na forma de experienciar o conforto em seu ambiente. Isso afeta a maneira como o usuário interage com seu ambiente, por exemplo, a escolha de fechar persianas e limitar a penetração de raios solares em determinados momentos do dia, em vez de ligar o ar-condicionado; colocar um agasalho quando a temperatura externa diminui, em vez de ligar uma fonte de aquecimento; ou ainda preferir se deslocar, na busca de melhores condições de conforto no ambiente. Em suma, edifícios de menor impacto ambiental exigem um envolvimento mais proativo entre ocupante, edifício e ambiente, o que reflete o número de técnicas com soluções passivas e, se realmente necessárias, também ativas possíveis de serem empregadas.

Comparando os modelos de Dear, Brager e Cooper (1997) com o de Humphreys e Nicol (1998), o primeiro é mais adequado a situações ambientais em clima frio e temperado, como visto no exemplo de Santiago, enquanto o segundo é mais apropriado em situações ambientais em climas quente-seco e quente-úmido, como

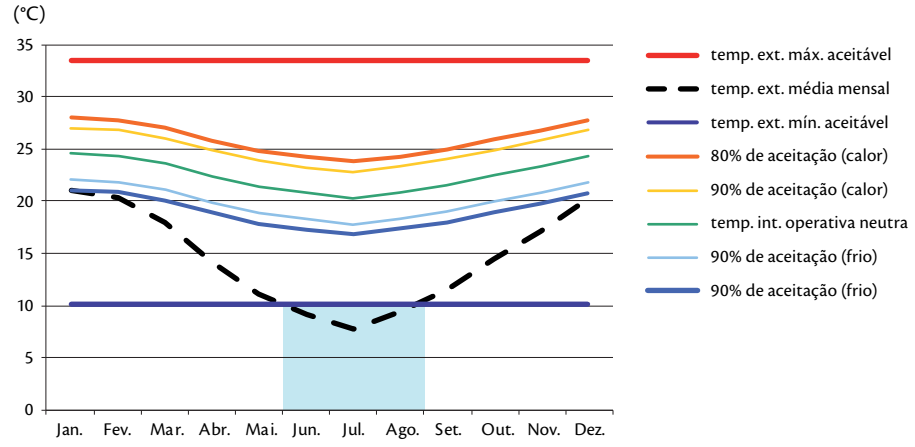


Fig. 1.3 Zona de conforto térmico para o clima temperado da cidade de Santiago do Chile, estabelecida com base no modelo de conforto de Dear, Brager e Cooper (1997)

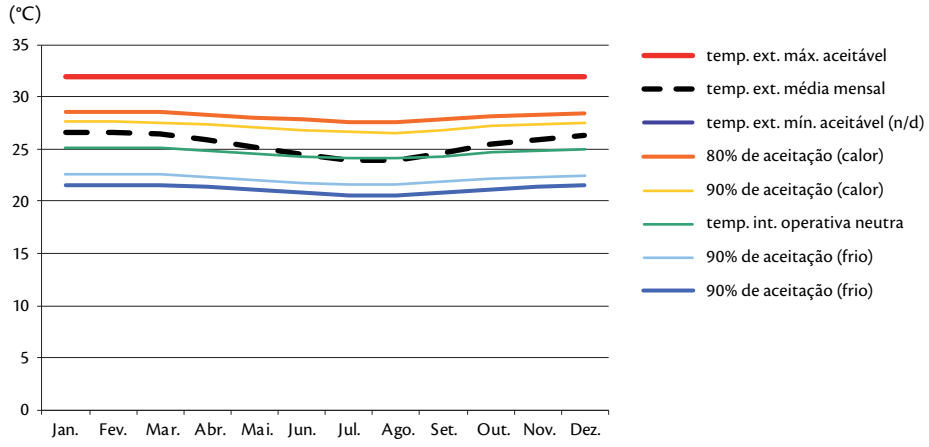


Fig. 1.4 Zona de conforto térmico para o clima quente e úmido da cidade de Recife, estabelecida com base no modelo de conforto de Humphreys e Nicol (1998)

Fig. 1.5 Ambientes de trabalho do escritório de arquitetura Richard Stirk Harbour and Partners, em Londres. Elementos externos de sombreamento e a abertura de janelas são acionados na busca de condições de conforto térmico
Fotos: João Cotta.

1.2.6 Por uma visão integrada no projeto arquitetônico

A elaboração do projeto arquitetônico pressupõe uma visão integrada das respostas às diversas demandas do conjunto de condicionantes. Deve-se evitar uma visão distorcida pelo olhar unilateral da obra ou pelo seu enquadramento em um estilo ou corrente arquitetônica. Um determinado condicionante não deve ser supervalorizado em detrimento dos demais, mesmo que se trate de um condicionante de cunho ambiental. Essa distorção pode ser observada em alguns exemplares da chamada *arquitetura bioclimática*. Uma boa arquitetura deve ser bioclimática e adequada aos demais aspectos ambientais, num plano de equilíbrio com os demais condicionantes socioeconômicos e também, quando for o caso, urbanos do contexto do projeto.

A ausência de conhecimentos sobre o impacto produzido pela construção civil no meio ambiente tem formado arquitetos com pouca consciência desse problema e da importância do setor para o meio ambiente global, de uma maneira geral.

O processo de projeto do edifício ambiental deve ser encarado de forma semelhante ao adotado no projeto de qualquer edifício, contemplando adequadamente as questões ambientais. No entanto, não se deve esquecer que as edificações têm como finalidade abrigar as diversas atividades desenvolvidas pelo homem. Abrigar tanto no que corresponde às necessidades físico-ambientais como no que se refere aos aspectos imaginários e simbólicos.

1.3 Pesquisa arquitetônica para o projeto ambientalmente sustentável

Embora muitas pesquisas internacionais desde os anos 1970 tenham focado em eficiência energética e na engenharia de projetos ambientais, pouco desses estudos lidaram diretamente com arquitetura ou responderam as questões ambientais normalmente encontradas por alunos e profissionais da arquitetura. Como resultado, dúvidas, ignorância e preconceito ainda prevalecem e necessitam ser abordados tanto na formação como na prática arquitetônica. Para fornecer alternativas à arquitetura universal e à engenharia convencional, que continuam sendo referência para o projeto de edificações em muitos países, é necessário uma nova compreensão do que consiste um bom ambiente para os ocupantes de edifícios, e como a arquitetura pode contribuir para isso, resgatando e reforçando seu papel histórico de instrumento de projeto ambiental.

1.3.1 O ambiente urbano

Inseridos em meio a fluxos de energia já existentes, os edifícios alteram o equilíbrio energético das suas imediações, modificando as condições de admissão da radiação solar e direcionando os ventos para outras edificações. Isso gera mudanças microclimáticas nas vizinhanças e, entre outros impactos, afetam as atividades do pedestre. Ademais, sendo aquecidos ou resfriados, naturalmente ventilados ou mecanicamente controlados, os edifícios irão liberar no ambiente urbano ao seu redor a energia utilizada em sua operação, sob a forma de calor. Desse modo, as edificações vão aquecendo o ar das cidades constante e incansavelmente, agindo como aquecedores de grandes proporções.

Ventilação natural em edifícios de escritórios: mito ou realidade?

2

Joana Carla Soares Gonçalves
Mônica Pereira Marcondes-Cavaleri

Em termos globais, a dependência dos edifícios de escritório em relação aos sistemas de condicionamento de ar vem acompanhada de alarmantes níveis de emissões de CO_2, dado o consequente consumo de energia elétrica, que tende a aumentar drasticamente. Vale destacar aqui que os edifícios residenciais e comerciais no início dos anos 2000 já eram responsáveis por 60% de toda eletricidade produzida no mundo (IEA, 2009; Laustsen, 2008; Levine et al., 2007; WBCSD, 2007).

A tendência é que esse cenário se agrave em razão do crescimento substancial da construção de edifícios do setor comercial, que vem acontecendo desde o final dos anos 1990 e se projeta para o futuro, principalmente em regiões da Ásia do Leste e Oriente Médio (Fig. 2.1), assim como nas grandes cidades da América do Sul (Fig. 2.2). O clima predominantemente quente dessas regiões (se não ao longo de todo o ano, certamente em uma parte dele), é um fator agravante da demanda de resfriamento e, atualmente, responsável pelo consequente consumo de energia elétrica nos edifícios.

Fig. 2.1 Concentração de edifícios altos do centro comercial de Abu Dhabi, nos Emirados Árabes Unidos, cidade de clima quente e úmido com períodos de extremo calor. Nesse local, a tipologia do edifício *caixa de vidro* hermeticamente selada só agrava a demanda energética dos sistemas de condicionamento de ar
Foto: Adrian James.

Por outro lado, o potencial de economia de energia do modelo convencional do edifício de escritórios é também significativo, uma vez que os espaços internos são normalmente climatizados e iluminados artificialmente durante praticamente todo o tempo de ocupação, ou seja, o modelo do edifício hermeticamente selado tem muito a ser explorado em busca de um melhor desempenho energético.

Diretrizes para um menor consumo de energia em edifícios de escritório no Reino Unido apontam para o potencial de 55% a 60% de economia de energia (o equivalente à faixa de 127-145 $kWh/m^2 \cdot$ ano) em decorrência da introdução da ventilação natural (CIBSE, 2004).

Tomando como referência um clima mais quente e úmido do que os das cidades do Reino Unido, Vieira (2011) identificou, por meio de estudos analíticos, a possibilidade de reduzir até 75% da demanda energética para a climatização artificial

Tab. 2.1 Resultado das avaliações de desempenho térmico e energético dos vários cenários simulados para a ventilação (vazão de ar) por efeito chaminé e por efeito de vento, necessárias para o alcance do conforto térmico, em função da carga máxima de radiação na fachada ($Q_{FMÁX}$)

Layout	Modo de ventilação	Cenário/Escritório		*Qfmáx* (W/m^2 fachada)	Vazão de ar (vol/h)	Conforto anual (%)
Livre	Efeito chaminé	Retangular	N	207,3	6,1	61,2
			S	134,6		
		Quadrado	NE	257,2	7,1	52,4
			SO	130,8		
			NO	195,2		
			SE	196,0		
	Ação dos ventos	Retangular	N	211,1	74,3	95,7
			S	148,0		
		Retangular	L	224,2	8,7	66,4
			O	147,8		
Celular	Efeito chaminé	Retangular	S	148,8	7,0	83,0
		Quadrada	NE	317,3	7,0	58,8
	Ação dos ventos	Retangular	S	148,8	11,1	89,8
		Retangular	L	284,7	1,5	13

e exposição ao vento, possibilitando até 95,7% de horas em conforto. Em oposição, os escritórios celulares orientados a leste e a oeste apresentaram os menores resultados, 13% e 24,7%, respectivamente, em virtude da posição desfavorável aos ventos predominantes.

2.3 Ventilação natural em edifícios altos

A ventilação natural em edifícios altos é favorecida pela maior exposição dos pavimentos superiores às correntes de vento. Em *canyons* urbanos de proporções compactas, os pavimentos mais superiores dos edifícios altos são favorecidos em relação aos pavimentos mais baixos, cuja ventilação natural é prejudicada pelo efeito de barreira causado pelas paredes do *canyon*.

Além do mais, nos centros urbanos de grandes concentrações de população, atividades e veículos automotores, altura significa distância da poluição atmosférica, que se concentra nos primeiros pavimentos do ambiente urbano. A maior exposição aos ventos é especialmente favorável (e desejável) em contextos de clima quente e úmido. Por outro lado, vale alertar para o fato de que a altura não significa, necessariamente, distância do ruído urbano, pelo contrário, ela pode aumentar sensivelmente a exposição às fontes de ruído e, consequentemente, comprometer a abertura de janelas para a ventilação natural.

A altura também implica na exposição a ventos de maior intensidade. Com a pressão dos ventos sobre as aberturas, a ventilação natural se depara com duas problemáticas: primeiramente, o ruído gerado pela passagem do fluxo de ar pelas aberturas e, na sequência, a ocorrência de velocidades do ar acima das aceitáveis no espaço interior. Como resposta à necessidade de controlar a velocidade do ar

Fig. 2.24 Vista de um dos jardins internos do edifício sede do Commerzbank, onde o sistema de espaços de transição possibilita a ventilação natural e o bom acesso da iluminação natural nos ambientes internos do edifício alto, voltados para o grande átrio central
Foto: Joana Carla Soares Gonçalves.

qualidade do ar externo não perrmitem que o conforto térmico seja alcançado por meios passivos, o uso dos sistemas ativos de climatização torna-se necessário, caracterizando a chamada estratégia de *modo misto*. Alternando o uso da ventilação natural com o de sistemas ativos de condicionamento do ar, o modo misto de climatização é uma estratégia bastante comum em edifícios de escritórios no cenário internacional, construídos desde a década de 1990 e aclamados por apresentarem os melhores níveis de desempenho ambiental.

A maioria dos exemplos dessa geração que alcançou repercussão internacional está situada na Alemanha. Desse conjunto de edifícios, pode-se citar a sede do Commerzbank, em Frankfurt (1998), o edifício Debis (1998) e a sede da empresa GSW (1999), ambos em Berlim, e o edifício Deutsche Post Office (2003), em Bonn, entre muitos outros.

A operação do modo misto é usualmente controlada por um sistema de automação predial, que controla a abertura de janelas de acordo com o monitoramento da temperatura e a umidade do ar interno, paralelamente ao das condições ambientais externas (temperatura do ar, umidade e velocidade dos ventos) (CIBSE, 2000). Apesar da popularidade dos sistemas de automação para decidir pela ventilação natural ou pelo sistema de climatização, o controle manual, mesmo que ainda praticado de maneira parcial ou em conjunto com o sistema de automação, favorece a satisfação dos usuários com as condições ambientais internas. Por essa razão, a sede do Commerzbank passou a enfatizar o controle manual do usuário sobre a abertura

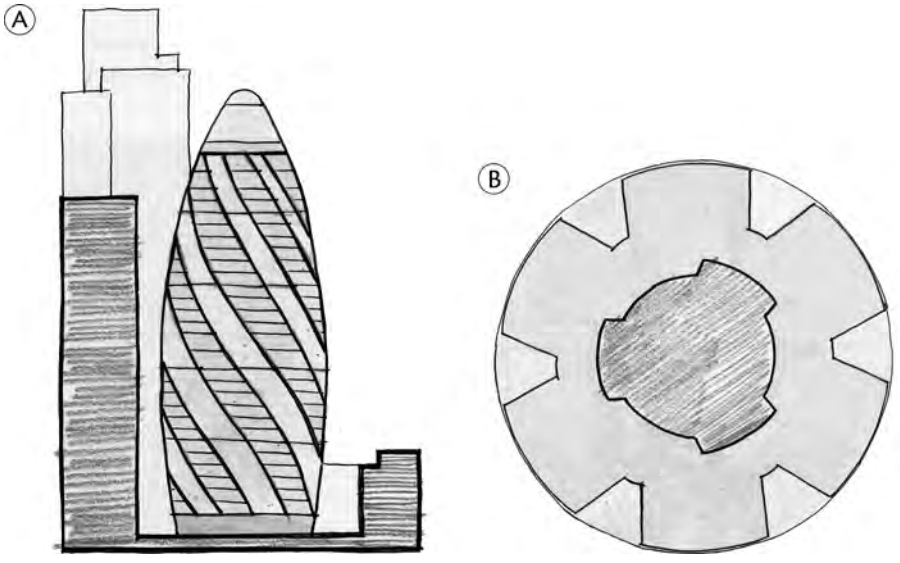


Fig. 2.25 Desenhos esquemáticos de corte e planta do edifício 30thSt. Mary Axe, ilustrando (A) a divisão vertical das vilas e (B) a forma de estrela do pavimento, derivada da inserção dos átrios laterais de seis andares e forma helicoidal
Fonte: Joana Carla Soares Gonçalves.

O desempenho térmico de ambientes de trabalho nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro

3

João Oliveira Cotta (seção 3.1)
João Leal Vieira (seções 3.2 e 3.3)

Pesquisas sobre o uso de energia indicam que na primeira década de 2000 os edifícios residenciais e comerciais já eram responsáveis pelo consumo de 60% de toda a eletricidade produzida no mundo (IEA, 2009; Laustsen, 2008; Levine et al. 2007; WBCSD, 2007), percentual que vem crescendo desde então. Quanto aos edifícios comerciais, em geral, os sistemas de iluminação artificial representam a maior parcela de consumo da energia elétrica.

No entanto, em regiões de clima quente, onde está grande parte dos países em desenvolvimento e economias emergentes, o sistema de condicionamento do ar acaba superando a demanda energética de iluminação artificial. No Brasil, por exemplo, o condicionamento de ar representa aproximadamente 47% do total da energia elétrica consumida em edifícios comerciais, seguido pela iluminação artificial, representando 22% (Procel, 2007).

No universo de soluções arquitetônicas e tecnológicas, muito pode ser feito em termos de forma, componentes construtivos, fachadas e tecnologia dos sistemas prediais, a fim de diminuir os impactos da carga térmica e, ao mesmo tempo, aumentar a eficiência dos sistemas de resfriamento ativo e iluminação artificial. Entretanto, indo um passo além do sombreamento, grandes economias de energia, as que fazem diferença, estão confirmadamente atreladas à introdução da iluminação natural e, sobretudo, da ventilação natural nos espaços internos. Este capítulo trata desse potencial, abordando questões de conforto ambiental e projeto arquitetônico com base nos resultados de estudos analíticos realizados para edifícios de escritórios nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro.

3.1 A ventilação natural e o projeto de janelas para ambientes de trabalho em São Paulo

3.1.1 O impacto das áreas envidraçadas

A janela sempre teve um grande papel no processo de composição arquitetônica, seja ela distribuída em uma série de aberturas, criando ritmo na fachada, ou em uma cortina de vidro cujas áreas envidraçadas se tornam a parede propriamente dita. As funções do elemento janela são diversas, já que ela proporciona contato visual com a área externa, luz natural para os ambientes, entrada de radiação solar (que influencia diretamente o desempenho térmico dos edifícios) e controle da ventilação natural. Desta forma, a janela

3.1.2 Simulações de desempenho térmico

Após quantificar os efeitos da taxa de área envidraçada de fachada e do sombreamento na redução dos ganhos de calor solar para as quatro orientações, o passo seguinte do trabalho analítico desenvolvido por Cotta (2012) foi verificar como esses ambientes de trabalho se desempenham termicamente em um cenário mais realista, considerando as cargas térmicas de ocupação e ventilação.

O modelo da Fig. 3.3 representa o pavimento de um edifício de escritórios com planta retangular, na qual é possível encontrar tanto ambientes com *layout landscape* como com escritórios celulares. A profundidade de 12 m e o pé-direito de 3 m foram as medidas adotadas seguindo a referência teórica da zona passiva de ventilação e iluminação (CIBSE, 2005). Em relação às fachadas, os resultados dos estudos sobre o impacto da radiação solar, resumidos na Fig. 3.2, levaram à adoção do WWR de 50%, com sombreamento total da radiação direta. As cargas térmicas de ocupação foram baseadas nas especificações do *Guide A* (CIBSE, 2006), conforme os dados apresentados na Tab. 3.1. É importante notar que, em todas as simulações, a luz natural foi considerada como a única fonte de iluminação até às 17h00, quando os níveis de iluminação externos são insuficientes para proporcionar a iluminação mínima de 300 Lux nos espaços internos.

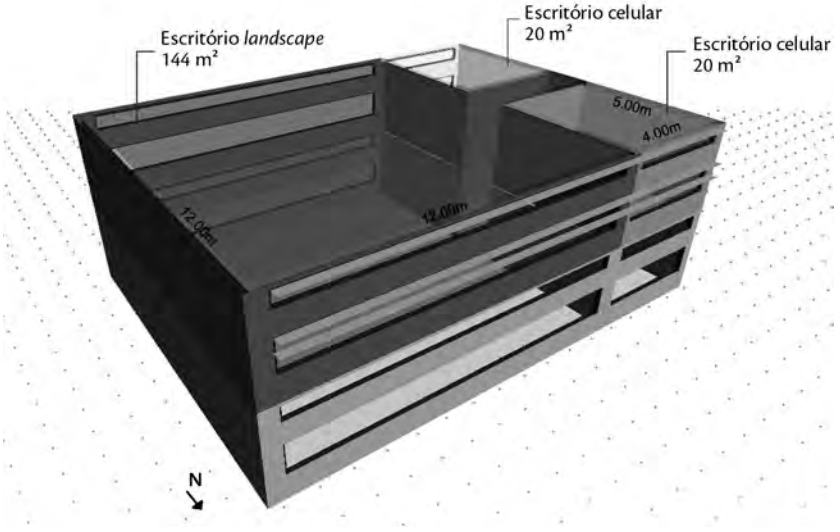


Fig. 3.3 Modelo eletrônico do caso-base construído para as simulações de desempenho térmico com o uso do *software* EDSL Tas
Fonte: Cotta (2012).

A zona de conforto térmico adotada para esses estudos foi gerada com o modelo proposto pela regulamentação europeia EN 15251 (CEN, 2007), que define neutralidade térmica (TN) como TN = 18,8 + 0,33 TRM (TRM = média das temperaturas diárias). A grande diferença entre o modelo da EN e outros com o mesmo propósito é que ele se baseia nas médias de temperaturas diárias, não somente na temperatura média mensal, considerando assim o efeito de condições climáticas recentes na aclimatação do usuário. Adicionalmente, foi considerada uma variação térmica de aproximadamente 3 °C aos valores de temperatura neutra, resultando em uma faixa de conforto de 6 °C para 10% de insatisfeitos.

A primeira etapa das simulações de desempenho térmico investigou o efeito da ventilação natural no escritório de planta livre (do tipo *landscape*), voltado para a orientação norte-sul, em uma semana típica de verão. No primeiro cenário, foi

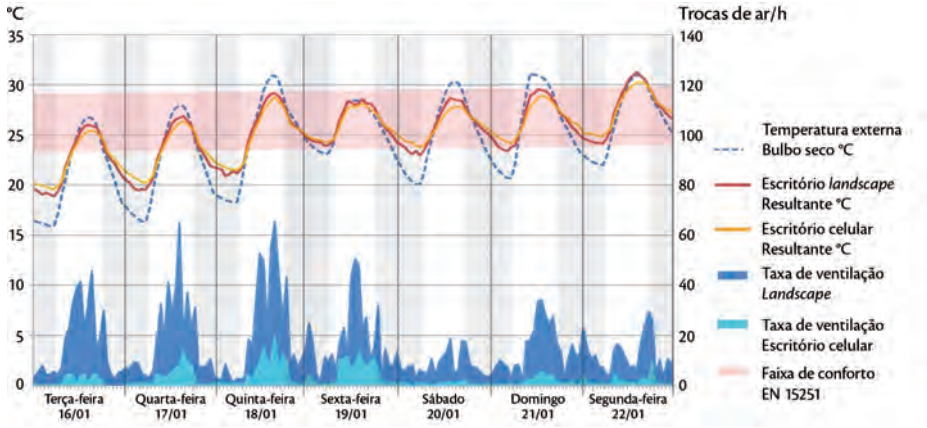


Fig. 3.6 Simulação de desempenho térmico do caso-base com o escritório de planta livre (*landscape*) orientado a norte e sul e o escritório celular a norte, em uma semana típica de verão, considerando as janelas abertas durante a ocupação e o período noturno, com um fator de abertura de 30%
Fonte: Cotta (2012).

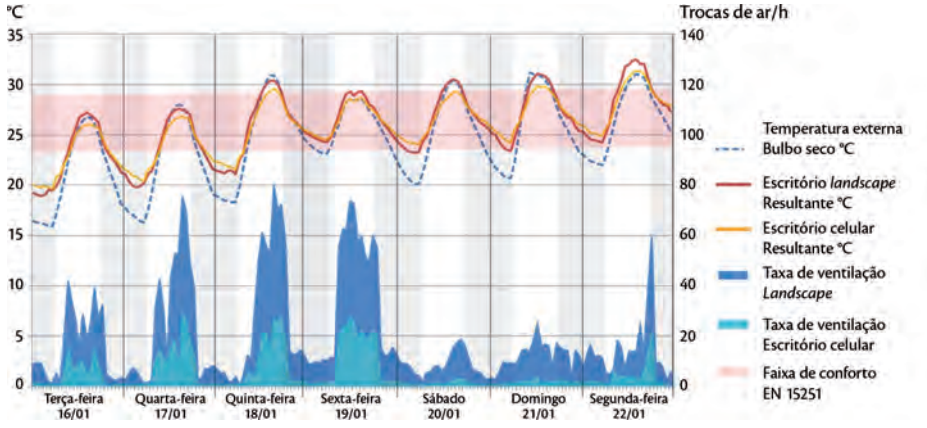


Fig. 3.7 Simulação de desempenho térmico do caso-base com o escritório de planta livre (*landscape*) orientado a leste e oeste e o escritório celular a oeste, em uma semana típica de verão, considerando as janelas abertas durante a ocupação e o período noturno, com um fator de abertura de 30%
Fonte: Cotta (2012).

entes de trabalho com velocidade do ar de 1,2 m/s. No caso dos modelos testados para São Paulo, esse acréscimo seria suficiente para compensar as horas de calor, originalmente fora da zona de conforto.

Até então, as estratégias focaram em resfriamento. O conjunto final de simulações térmicas de Cotta (2012) investiga o efeito do bloqueio da radiação direta e da redução do WWR no conforto térmico de inverno, tomando como referência uma semana típica de julho, quando apenas a taxa mínima de ventilação recomendada para a salubridade do ambiente foi considerada (36 m^3/h/pessoa), segundo CIBSE (2006). Na Fig. 3.8, nota-se que as temperaturas se mantêm dentro da faixa de conforto durante o período de ocupação, assumindo o mínimo de 19,5 °C, tendo em vista a contribuição das cargas térmicas da ocupação.

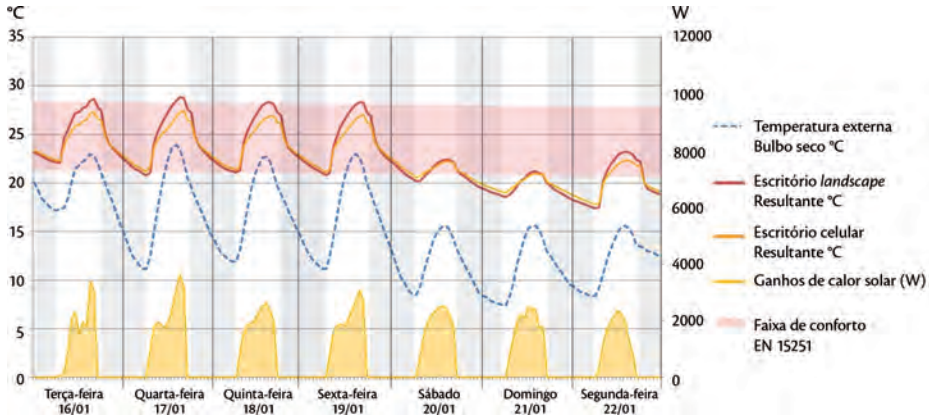


Fig. 3.8 Simulação de desempenho térmico do caso-base em uma semana típica de inverno, com o escritório de planta livre (*landscape*) orientado a norte e sul e o escritório celular a norte, considerando a taxa mínima de ventilação para a salubridade do ar
Fonte: Cotta (2012).

A tecnologia dos sistemas prediais

4

Klaus Bode (seção 4.1)
Alberto Hernandez (seção 4.2)

4.1 Considerações preliminares: princípios para uma abordagem ambiental

O ponto-chave para o alcance da eficiência energética e da redução do consumo de energia no controle das condições ambientais em edifícios é compreender que as soluções de arquitetura e de engenharia dos sistemas estão juntas na concepção de um projeto que possa ser chamado de integrado. Em edifícios inseridos no seu contexto climático, o propósito dos sistemas de climatização é a redução do consumo de energia associada ao condicionamento de ar e à iluminação de espaços internos, dentro dos limites do conforto ambiental.

É sabido que esse processo tem início com a minimização da dependência de sistemas de iluminação e condicionamento ambiental, com a exploração do potencial arquitetônico. Em seguida, vem o projeto e a especificação de sistemas da engenharia mecânica e elétrica, com a finalidade de suprir a demanda energética restante, contemplando a viabilidade de recursos tecnológicos baseados em energia renovável e/ou de baixa emissão de carbono, conforme o diagrama da Fig. 4.1.

A contemplação de aspectos contextuais, como o clima, as possibilidades tecnológicas e as condições socioeconômicas da cultura local, facilita a criação de soluções específicas para cada situação de projeto, com foco na minimização da demanda energética. Simultaneamente, minimizar a dependência dos meios artificiais de condicionamento ambiental exige uma análise criteriosa do desempenho da arquitetura durante as fases de projeto. O desempenho energético teórico do projeto é, então, aprimorado na situação real, pelo monitoramento das condições internas durante o uso e a operação do edifício.

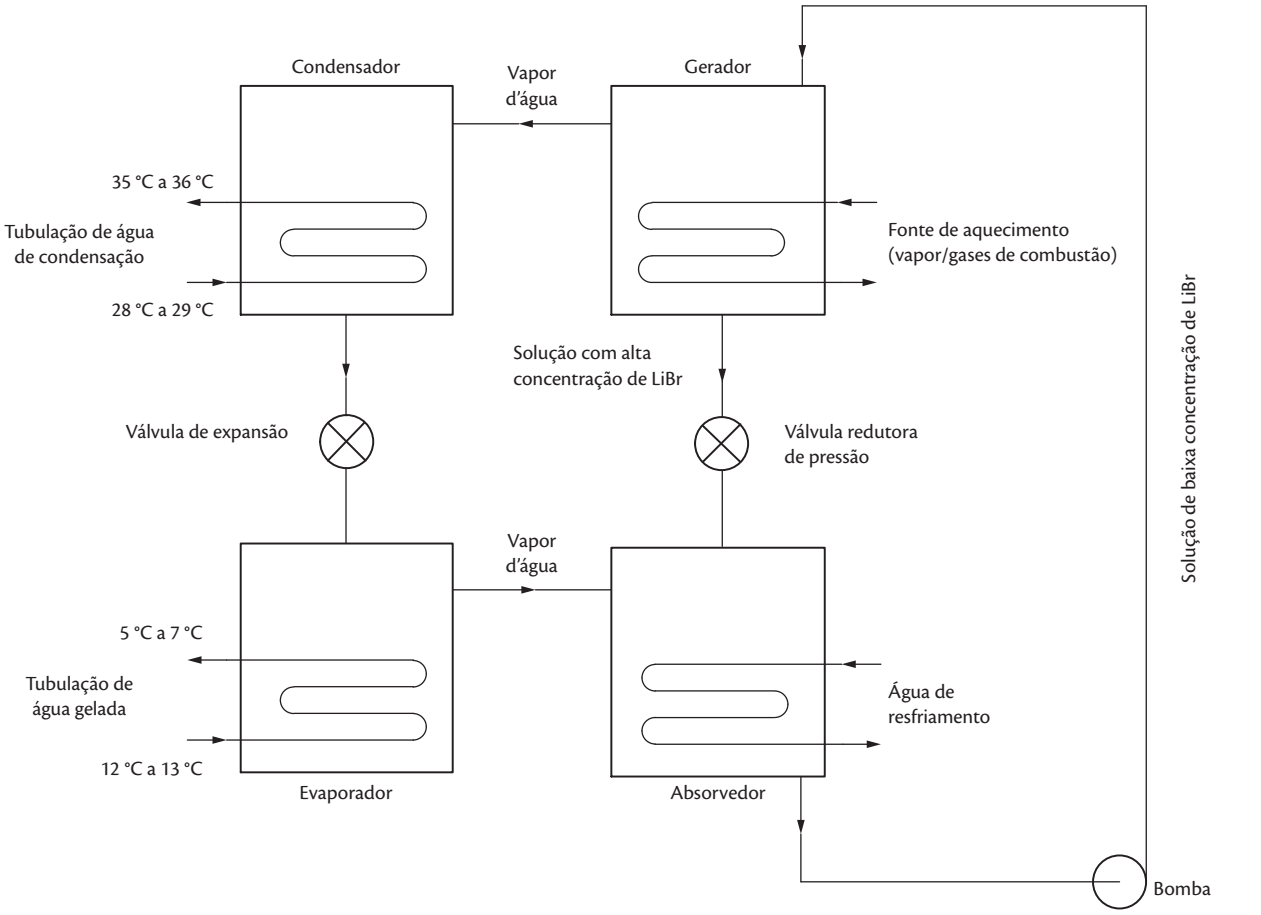
No que tange aos sistemas, a eficiência energética não está relacionada exclusivamente a sua tecnologia, mas também aos modos de operação e aos padrões de conforto ambiental, que definem as condições ambientais a serem alcançadas. Neste contexto, os critérios convencionais, incluindo a temperatura, a umidade e o movimento do ar e outras variáveis, devem ser questionados, quando definem zonas restritas de conforto ambiental. Como extensamente discutido em outros trabalhos, a conquista do melhor desempenho ambiental de edifícios está associada à noção de inserção climática e adaptação dos ocupantes.

chegando, em alguns casos, ao desligamento total dos sistemas de climatização. Essa solução pode ser obtida, mas exige uma integração profunda dos sistemas da edificação com sua arquitetura, sendo que se podem encontrar diversos exemplos desse tipo de aplicação no Brasil e no exterior (Gonçalves; Umakoshi, 2010).

4.2.3 Evolução dos sistemas

O uso de sistemas de climatização para conforto térmico começaram a ser utilizados no século XIX (Thevenot, 1979), com sistemas cujo conceito é muito próximo do que existe hoje (Fig. 4.14). A temperatura do ambiente climatizado (com suas fontes de calor e vapor d'água) é controlada por meio do fornecimento de ar na insuflação, que diminui a temperatura e a quantidade de vapor d'água, de forma a balancear as condições do ambiente climatizado. As condições de vazão, temperatura e quantidade de vapor d'água na insuflação são obtidas pela retirada de calor que ocorre durante a operação do sistema de climatização. Este, por sua vez, promove a retirada de calor e vapor d'água provenientes do ar que vem da caixa de mistura, consumindo energia durante esse processo. Nessa caixa, o ar que retorna do ambiente climatizado e o ar de renovação são misturados. Este último é necessário para que sejam mantidos os níveis adequados de qualidade de ar no ambiente climatizado. Deve-se ressaltar que para que a qualidade de ar interior seja atingida, sistemas de filtragem são posicionados normalmente na seção de ar de renovação e logo após a caixa de mistura.

Fig. 4.12 Componentes de um resfriador com ciclo por absorção
Fonte: Alberto Hernandez.



para que permita o fornecimento total dessa demanda por meio de fontes renováveis, constituindo os chamados *net zero energy buildings* (NZEBs).

4.2.8 Geração de energia renovável

Pode-se definir energia renovável como a energia gerada de forma natural e repetitiva no meio ambiente (Jones, 2004). Ela apresenta uma variedade de fontes, tais como:

- eólica;
- solar;
- hidrelétrica;
- biocombustível;
- mares;
- biomassa;
- geotermia.

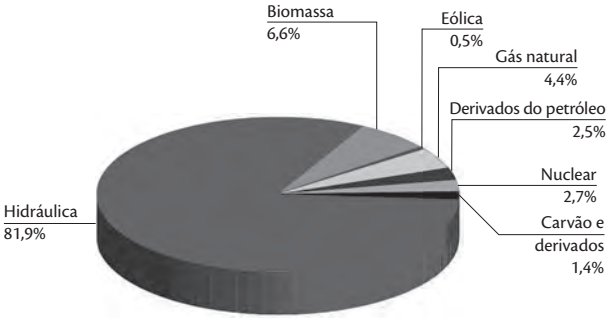


Fig. 4.16 Matriz energética brasileira
Fonte: adaptado de EPE (2012).

No Brasil, a matriz energética está concentrada na geração hidrelétrica (EPE, 2012), como se pode observar na Fig. 4.16, porém, verifica-se que há um aumento significativo do uso de fontes alternativas (denominadas *outras* na Fig. 4.17), como eólica e solar a partir de 1990, e crescimento semelhante pode ser observado no restante do mundo (Fig. 4.21). De forma geral, a matriz brasileira tem uma porcentagem bastante alta de energias renováveis, podendo ser considerada uma matriz mais limpa, quando comparada à de outros países.

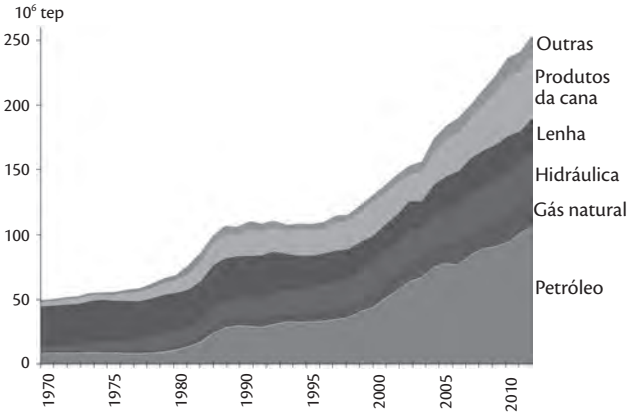


Fig. 4.17 Evolução da produção de energia primária no Brasil
Obs.: 1 tep = 1 tonelada equivalente de petróleo
Fonte: adaptado de EPE (2012).

A aplicação mais comum de energias renováveis ainda é para o aquecimento de água para uso residencial, seguido da geração de energia por turbinas eólicas que fornecem energia elétrica para a rede de distribuição. O uso de energia solar para geração de energia elétrica ainda tem custos muito altos, principalmente no Brasil, o que limita a sua aplicação. Por outro lado, a restrição de natureza econômica aponta para a importância de políticas públicas no apoio à geração e consumo da energia elétrica proveniente de fontes limpas. O uso de biocombustível está sendo incentivado, mas com aplicações restritas e ainda com baixa escala de produção e uso.

Nesta seção, o enfoque será dado às fontes solar e eólica em função do seu maior potencial de uso no Brasil.

Energia solar

O uso da energia solar pode ser direcionado para diversos equipamentos, a saber:

- células fotovoltaicas (geração de energia);
- coletores solares (aquecimento de água);
- sistema por absorção solar (climatização/refrigeração).

Seleção de materiais e edifícios de alto desempenho ambiental

5

Vanessa Gomes Silva e
Maristela Gomes da Silva

Preocupações éticas são a base do conceito de sustentabilidade. Seu objetivo primário é a distribuição justa de recursos, de maneira a satisfazer adequadamente as necessidades de toda a população, resguardando e restaurando os estoques para que as futuras gerações também possam fazê-lo. A transferência de tais implicações éticas para as atividades de construção relaciona-se ao fechamento de ciclos de utilização de recursos e claramente indica caminhos específicos quanto à minimização e inteligência no uso, origem, renovabilidade e extensão de vida útil.

A busca por edificações de alto desempenho ambiental do ponto de vista de seleção de materiais, componentes e sistemas construtivos passa pela implementação de pelo menos dois elementos principais: *estratégias para projeto* e *protocolos para estimativa do desempenho* na etapa de projeto e avaliação de edifícios construídos. Técnicas objetivas como a avaliação de ciclo de vida (ACV) e indicadores ambientais quantitativos assumem um papel fundamental nesse sentido.

Assim, com o objetivo amplo de contribuir nessas duas frentes e avançar no embasamento para seleção de materiais para sustentabilidade, as seguintes questões são discutidas neste capítulo:

- destacar o foco crescente dirigido a materiais de construção considerando o desempenho em sustentabilidade no ciclo de vida de empreendimentos;
- sintetizar as principais técnicas para avaliação de desempenho ambiental de materiais, componentes e sistemas construtivos;
- propor um conjunto de indicadores para, com base em ACV, descrever a ecoeficiência material no ciclo de vida de edificações e embasar o monitoramento de projetos e edificações no Brasil;
- explorar resultados de estudos de casos nacionais e posicioná-los em relação a dados internacionais para referência; e
- sugerir uma estratégia para incorporação dos conceitos apresentados na prática cotidiana de projeto.

5.1 Os números da construção civil e o papel das edificações

Com o ritmo exponencial de crescimento populacional, é consenso que em algum ponto a demanda por recursos não renováveis superará a sua disponibilidade (Suzuki; McConnell, 1997), ainda que a definição de quando isso

claras e resultados significativamente variados, derivados de informações de países e fontes diferentes e bases de dados frequentemente incomparáveis entre si.

Em países europeus, o uso crescente de sistemas de certificação de sustentabilidade de empreendimentos vem estimulando a avaliação da pegada de carbono de edificações. Como exemplo, um dos métodos alemães calcula a pegada de carbono de um edifício com base nas normas desenvolvidas pelo Comitê Técnico 350 do Comitê Europeu de Normalização (CEN/TC 350) para construção sustentável. Assim como esperado para o protocolo desenvolvido pela Unep-SBCI, métricas para cálculo da pegada de carbono de edificações podem ser compartilhadas pelos diferentes métodos, mas também falta consenso quanto a um procedimento comum para contabilização de emissões incorporadas.

5.3 O que define um edifício de alto desempenho ambiental do ponto de vista de materiais?

Com sua lei da conservação da matéria, Antoine Lavoisier constatou que matéria não pode ser criada nem destruída. O que o ser humano tem hoje é o que herdou e é também o que deixará de herança às próximas gerações. Em termos ecológicos, uma faceta dessa mesma lei é que a matéria passa de reservatórios físicos aos biológicos, depois volta aos físicos e assim por diante, em ciclos.

A interseção entre sustentabilidade e uso de materiais centra-se em duas questões: o que o ser humano está usando (toxicidade) e quão bem ele está usando (gestão de recursos). A resposta à primeira questão (toxicidade) reflete o impacto das escolhas dos humanos nos recursos naturais e na saúde relativa do ambiente. O modelo de gestão de recursos adotado caracterizará o impacto do ser humano na qualidade e no ciclo desse modelo e terá implicações no desempenho do material, componente ou sistema construtivo em termos de durabilidade, eficiência energética, quantidade de resíduo gerado, potencial para reúso e reciclagem, entre outros (Spiegel; Meadows, 2006). Ampliando essa visão, argumenta-se que a avaliação do desempenho ambiental seja sempre balizada pelo desempenho funcional, para que, juntos, toxicidade, gestão de recursos e desempenho funcional formem uma base valiosa para avaliar o uso de recursos materiais em termos de sustentabilidade.

Excelência na aplicação de conceitos de eficiência, fechamento de ciclos de materiais e consideração da toxicidade potencial – linha mestra do chamado *projeto para o ambiente* – caracterizam um edifício com alto desempenho ambiental, do ponto de vista material. A Ecologia da construção instigada por Kibert, Sendzimir e Guy (2000a; 2000b) calca-se na criação de analogias entre sistemas naturais e processo de produção de edificações. No caso de materiais, tais analogias visam alcançar um metabolismo muito lento*, ou seja, o máximo alongamento entre o momento de consumo inicial de recurso e a necessidade de nova utilização,* enquanto se promove a saúde dos ocupantes e uma relação simbiótica com o ambiente, na qual os dois sistemas – natural e construído – se beneficiem.

Dessas duas vertentes, entre outras, resultaram as *recomendações para projeto* para padrões cíclicos de uso e outras estratégias para facilitar o fechamento dos ciclos (Silva, 2007b), como a *desmaterialização*, que busca reduzir a intensidade material (consumo de recursos e massa) do ambiente construído (Kibert; Sendzimir; Guy, 2000b); e a *desconstrutibilidade*, visando à recuperação de materiais e energia (Yeang, 1995).

[Parte 2]

O ambiente urbano e os edifícios

O clima urbano e o ambiente construído

6

Denise Duarte

Este capítulo discute a interdependência entre o edifício e o ambiente urbano e como um afeta o outro, ou seja, mostra que não há como pensar o edifício ambiental fora do seu contexto urbano e climático. Além disso, nessa interação, não há como pensar o edifício sozinho inserido em um ambiente urbano, mas, sim, refletir sobre um grupo de edifícios, no mínimo em uma escala de nove quadras, para considerar o que acontece no entorno imediato de uma determinada quadra (de referência), entendida aqui como a unidade mínima de projeto (Fig. 6.1).

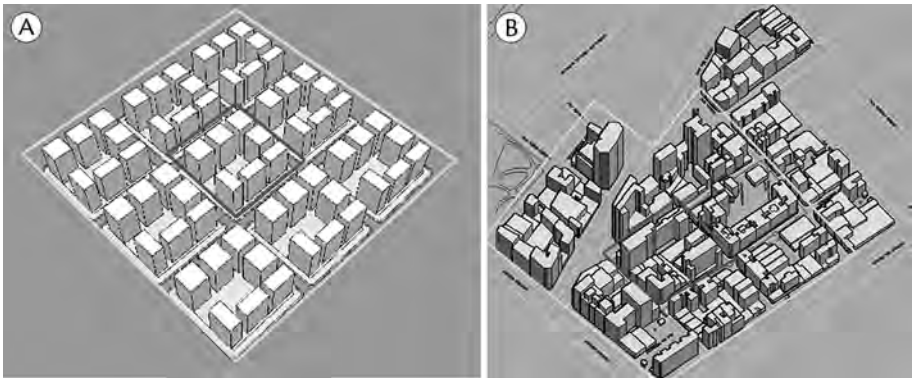


Fig. 6.1 Quadra de referência como unidade mínima de projeto e mais oito quadras no entorno imediato; (A) uma versão simplificada do contexto existente em um bairro no centro da cidade de São Paulo para estudos paramétricos; (B) exemplo de um caso real, no distrito da República, em São Paulo
Fonte: Labaut e LabHab (2014).

O principal motivo para se considerar o clima urbano é a criação de ambientes construídos que interajam com a atmosfera gerando microclimas nos quais as pessoas se sintam confortáveis (Brown; Gillespie, 1995). Se o espaço não oferece condições de conforto, não atrai as pessoas. Se tiver alternativa, o usuário vai buscar um espaço mais confortável do ponto de vista térmico, luminoso, acústico, tátil etc. Com o objetivo principal de melhorar a qualidade ambiental das cidades, é preciso aprimorar as condições que favoreçam o uso dos espaços públicos onde as pessoas circulam a pé, de transporte público ou por outros meios não motorizados de transporte. Para que as pessoas passem mais tempo nos espaços públicos, essa vivência precisa ser prazerosa (Robinson; Bruse, 2011). Um segundo objetivo é minimizar o consumo de energia em edifícios (Brown; Gillespie, 1995). Para atingir esses dois objetivos, é importante conhecer os elementos do microclima que mais afetam o conforto humano, o consumo de energia das cidades e dos edifícios, e reconhecer aqueles que podem ser alterados pelo planejamento e pelo desenho urbano.

Fig. 6.6 Parque Trianon, na Av. Paulista, local com dois pontos de medição: um na entrada principal do parque (ponto A) e outro parte central (ponto B). Fonte: Google DigitalGlobe (2014).

ranjos com vegetação, solo exposto e corpos d'água para equilibrar o balanço de energia. A presença de água no sistema resulta em maior taxa de evaporação e, consequentemente, na diminuição da temperatura do ar. Diversos estudos trazem contribuições nesse sentido, visando à incorporação do verde e seus efeitos nas áreas urbanas e nos edifícios. Aos poucos, esse conhecimento vem sendo incorporado nas legislações municipais, como o *green plot ratio*, adotado em Cingapura (ONG, 2002).

6.2 Efeitos do desenho urbano sobre o microclima urbano e sobre as edificações

O *canyon* urbano é largamente utilizado nos modelos microclimáticos como uma estrutura que se repete na *urban canopy layer*, UCL, e é afetado diretamente pelo balanço de radiação. O *canyon* é definido como o espaço tridimensional formado pela rua e pelos edifícios lindeiros à via. Na área urbana, ele restringe a visão da abóbada celeste, caracterizada pelo fator de visão de céu, causa múltiplas reflexões da radiação solar e geralmente restringe o movimento do ar. Por outro lado, em climas tropicais, edifícios em *canyons* urbanos podem se beneficiar do sombreamento mútuo.

Na estrutura do *canyon*, a radiação solar é absorvida e transformada em calor sensível, atingindo principalmente as coberturas e as superfícies verticais dos edifícios. Paredes, coberturas e solo emitem radiação de onda longa para o fundo de céu, e a intensidade depende do fator de visão de céu. O balanço líquido entre ganhos solares e perda de calor em consequência da emissão de radiação de ondas longas determina o balanço térmico de áreas urbanas. Como a perda de calor radiante é mais lenta em áreas urbanizadas, o balanço líquido é maior do que nos arredores

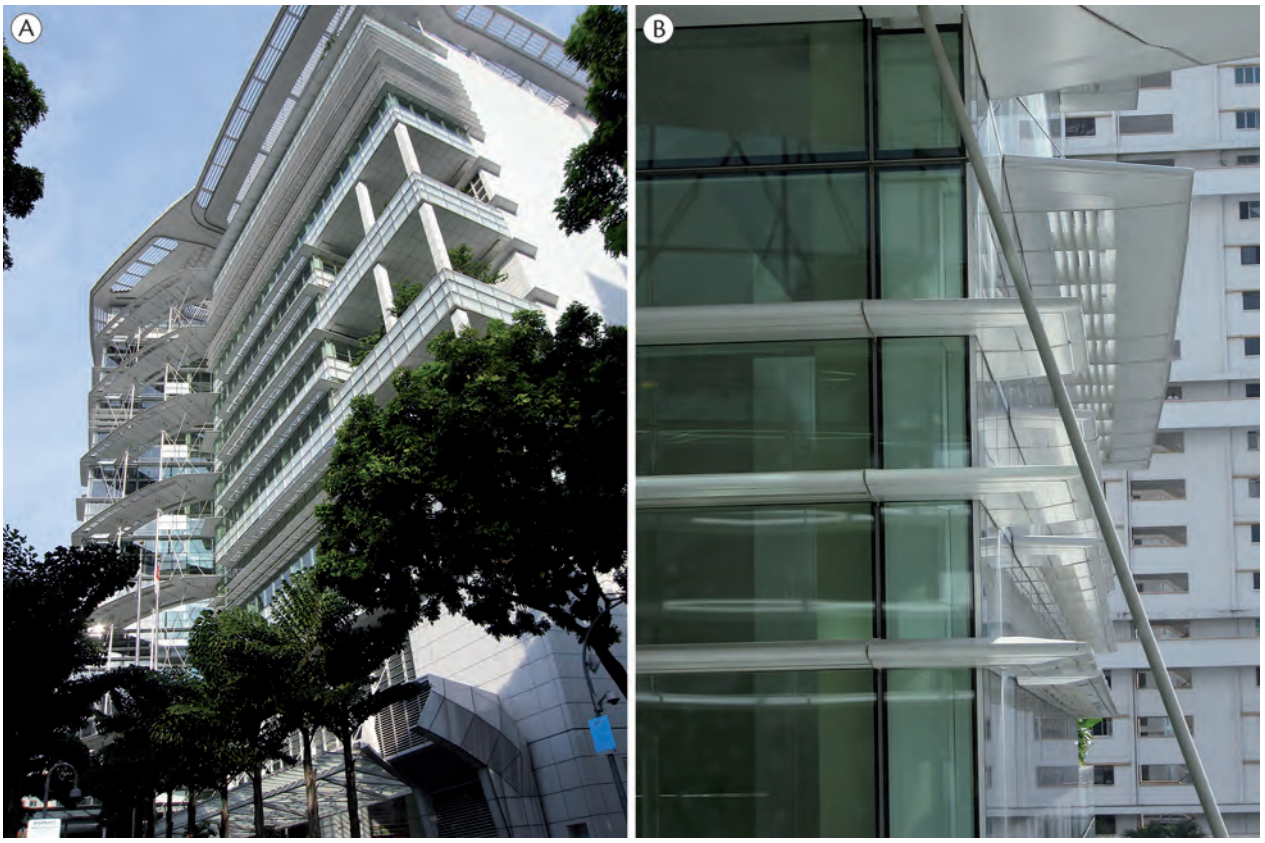


Fig. 6.9 Biblioteca Nacional de Cingapura. Recortes e detalhes das fachadas que contribuem para minimizar o ofuscamento provocado pelas cores claras, além de outros benefícios microclimáticos para o edifício e para o entorno
Fotos: Denise Duarte.

6.3 Efeitos dos edifícios sobre o microclima urbano

Edifícios influenciam o clima urbano (Emmanuel, 2005; Wong; Chen, 2009) substituindo solo exposto, solo gramado e árvores por asfalto, concreto e vidro; trocando volumes arredondados e resilientes ocupados pela vegetação por superfícies rígidas e angulosas características dos edifícios; emitindo calor gerado pelos sistemas de ar-condicionado e por processos industriais; e conduzindo a água da chuva para os sistemas de drenagem, diminuindo drasticamente a infiltração no solo.

Por outro lado, os edifícios também podem ser tratados de diversas maneiras como parte da estratégia de climatização urbana no tratamento da interface entre espaço público e privado no nível da rua, bem como no projeto do edifício como um todo, incluindo a volumetria, a orientação, o projeto de fachadas ou a criação de espaços de transição interior/exterior ao longo das mesmas (Yeang, 2002). Podem ainda ser exploradas a incidência da radiação solar na forma e no projeto de fachadas ou o aproveitamento dos ventos para resfriamento noturno da massa construída do edifício. Além das vantagens evidentes para a redução do consumo de energia do edifício propriamente dito, isso tudo resulta em menor carga térmica acumulada e em menos calor reirradiado para a cidade no período noturno, contribuindo para a mitigação da ilha de calor (Duarte, 2002).

As regulamentações municipais geralmente incentivam o estabelecimento de limites muito rígidos entre o espaço público e o privado, e com isso eliminam os tão desejáveis espaços de transição, mas existem alternativas ligadas tanto ao tratamento dos espaços abertos propriamente ditos como também ao desenho dos edifícios, que podem criar espaços de transição climática e de uso.

Edifícios altos e forma urbana

7

Joana Carla Soares Gonçalves,
Marcelo Mello e Anna Christina Miana (seção 7.1)
Marcos Lima Rosa (seção 7.2)

Com o crescimento mundial da população urbana, que ultrapassou a marca dos 50% na primeira década do século XXI (UNDESA, 2011), tanto o impacto ambiental quanto o sucesso das dinâmicas socioeconômicas de cidades ao redor do mundo estão diretamente relacionados aos desafios e às vantagens das altas densidades populacionais, como claramente colocado em uma série de referências bibliográficas de interesse e repercussão internacional (Unep, 2011; Glaeser, 2011; Urban Task Force, 1999). Nesse contexto de adensamento das cidades, o desempenho ambiental de edifícios e espaços abertos se depara com os impactos da forma urbana na qualidade do ambiente construído (Fig. 7.1).

Fig. 7.1 Vista da concentração de edifícios do centro da cidade de São Paulo, que formam uma grande fonte de aquecimento urbano pela forma urbana e concentração de material inerte
Foto: Joana Carla Soares Gonçalves.

7.1 O impacto de *canyons* urbanos no desempenho ambiental de edifícios

A discussão sobre o desempenho ambiental de edifícios ganha uma complexidade maior, e absolutamente necessária, quando inserida no contexto ambiental das cidades. Isso porque as condições microclimáticas do ambiente construído são determinantes para o desempenho ambiental e energético dos edifícios. Como exemplo, o processo de urbanização presenciado em muitas cidades ao redor do mundo a partir da segunda metade do século XX desencadeou um processo de desertificação climática, com o aumento das temperaturas do ar e a diminuição da umidade, como constatado em várias regiões da cidade de São Paulo (Nobre et al., 2010), em imagens de satélite tiradas sobre a cidade que registraram temperaturas superficiais chegando aos 32 °C nos bairros do centro, na primavera, enquanto áreas verdes marcavam de 27 °C a 28 °C.

A configuração da forma urbana, combinada com a concentração de materiais inertes do ambiente construído, retém uma parcela significativa da energia incidente da radiação solar, que é irradiada de volta para o ambiente urbano, elevando a temperatura do ar. Esse processo é acentuado com a escassez da vegetação nos espaços abertos. Os edifícios constituem outro agente contribuidor desse aquecimento, em decorrência do calor gerado pelas atividades internas e o consequente consumo de energia, que é então transmitido para o ambiente urbano (Oke, 1976). Em casos mais extremos, a elevação da temperatura do ar em áreas urbanas resulta nas chamadas ilhas de calor. De acordo com Oke (1976), quando o calor acumulado no *canyon* urbano não pode escapar para a atmosfera, aumentando a temperatura do ambiente urbano, o chamado efeito *ilha de calor* é criado. Apesar de a temperatura do ar aumentar durante o dia em função da forma e das atividades urbanas, o conceito de ilha de calor é fundamentalmente um fenômeno noturno, quando, ao contrário do esperado (temperaturas mais baixas do que as diurnas), as temperaturas acabam sendo mais altas do que as diurnas.

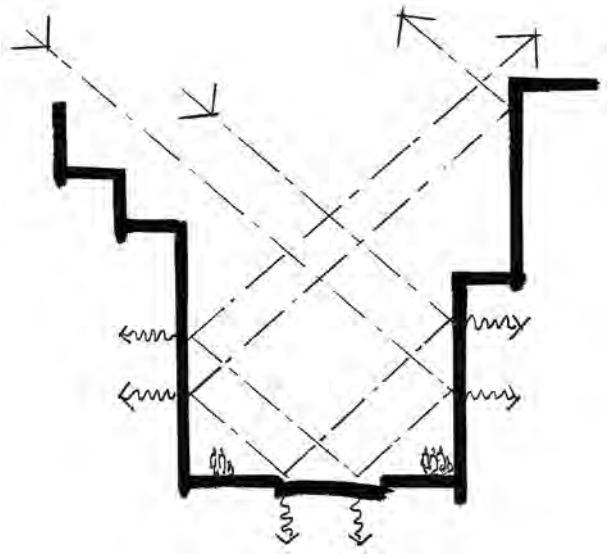


Fig. 7.2 Diagrama do *canyon* urbano ilustrando a reflexão e absorção da radiação global pelas paredes do *canyon*

O processo de aquecimento das cidades é agravado no cenário das mudanças climáticas decorrentes do aumento da concentração de CO_2, trazendo elevações ainda maiores de temperatura, juntamente com chuvas torrenciais e outros impactos climáticos.

Focando no impacto da forma urbana nas condições microclimáticas do ambiente construído, é importante ressaltar que as áreas de *canyon* (definido pelo paralelismo de edifícios) resultam em espaços abertos cujas condições ambientais são altamente influenciadas pelas proporções da forma urbana e das fachadas dos edifícios (Fig. 7.2), muitas vezes anulando o impacto da radiação solar consequente da orientação a partir de uma determinada altura, como demonstrado por Mello (2012). Esse autor investigou o desempenho de *canyons* típicos dos bairros centrais de São Paulo e identificou o *canyon* de razão 2 (H/W = 2, relação de altura (H) sobre largura (W) do *canyon*) como

Evolução da tipologia do edifício alto na cidade de São Paulo entre 1910 e 2014

1910

- Regulamentações legislam sobre alguns dos primeiros edifícios na cidade, com três ou quatro pavimentos, com o objetivo de promover o adensamento populacional (Anitelli, 2010, p. 61).
- O modelo de produção dos primeiros edifícios de apartamentos em São Paulo (1910) seguiram uma lógica de produção para o lucro pelo aluguel, dominante até a década de 1940 (Anitelli, 2010).

1920

- Lei nº 2.332
  Determina um padrão para a altura máxima do edifício: não mais do que três vezes a largura da rua. Os edifícios tendem a ser alinhados com a rua, sem quaisquer recuos ou afastamentos, ocupando todo o lote e construindo empenas cegas em seus limites laterais. Essa relação definiu a paisagem da cidade nas quatro décadas seguintes (Silva, 1997).
- Planos para unidades residenciais são estandardizados com referência à habitação burguesa europeia (Anitelli, 2010).

1924

- Ed. Sampaio Moreira
  Projetado pelo arquiteto Christiano das Neves. O edifício supera a altura máxima definida pela lei de 1920. É o primeiro arranha-céu da cidade e abre um precedente para uma futura modificação da legislação.

Foto: Beatrizatihe (2014). Disponível em: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AEdif%C3%ADcio_Sampaio_Moreira_1.jpg>. Acesso em: 12 nov. 2014.

1929

- Código de Obras Arthur Saboya
  Lei nº 3.427
  No fim da década, entra em vigor um Código de Obras na tentativa de normatizar a construção de edificações, seguindo as disposições da Lei nº 2.332. Este código agrupa as ruas em três categorias de acordo com a sua largura: até 9 m, 9 m-12 m, mais largas que 12 m; com limites de altura máxima de 2, 2,5 e 3 vezes a sua largura, respectivamente (Souza, 1994).
- Ed. Martinelli
  Construído por Giuseppe Martinelli, possui 130 m de altura e foi a mais alta estrutura da cidade até 1947, quando o Edifício Banespa foi concluído.

Foto: Alberto Urameshi Malta (2014). Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/albertomalta/14466934274/in/photostream/>. Acesso em: 03 nov. 2014.

A economia das cidades: a perspectiva de um economista sobre as vantagens do adensamento urbano além do desempenho ambiental

8

Carlos Eduardo Soares Gonçalves

> Cidades, as densas aglomerações que pontilham o mundo, têm sido os motores da inovação desde as discussões de Platão e Sócrates num mercado ateniense.
>
> (Glaeser, 2011, tradução do autor).

O historiador econômico Paul Bairoch estimou que cerca de 15% da população mundial vivia nas cidades em 1900. Em 2010, aproximadamente um século depois, dados publicados pelas Nações Unidas sugeriam que esse percentual subira para 50%, mas com grande variação entre países, com a taxa da população urbanizada chegando aos 85% nos países mais ricos. Em conjunto com um crescimento substancial da população global, esse aumento percentual significa que aproximadamente quatro bilhões de pessoas vivem nas cidades ao redor do mundo correntemente, quantidade que deve continuar subindo nos próximos anos, principalmente em decorrência do crescimento urbano nos países menos desenvolvidos, mas muito populosos, como a China.

Como os habitantes do campo, que viviam a grandes distâncias entre si, se direcionaram em grande massa para as cidades ao longo do século passado, na grande maioria dos países, eles passaram a viver mais próximos uns dos outros (Fig. 8.1). Essa intensificação das aglomerações obviamente trouxe benefícios extraordinários, mas também importantes desafios, que são temas deste capítulo.

Quão aglomeradas estão as pessoas? Muito. Por exemplo, apenas 2% de todo o território dos Estados Unidos da América encontra-se pavimentado e construído. No entanto, essa parcela reduzida de um vasto território abriga aproximadamente 250 milhões de pessoas.

A história de São Paulo, no Brasil, é similar: o Estado possui uma população de aproximadamente 12 milhões de pessoas e um território total de 250.000 km^2. Desse total, porém, apenas 5.000 km^2 são urbanizados, ou seja, todos esses 12 milhões de cidadãos vivem em meros 2% da área do Estado (Fig. 8.2). Isso é que é aglomeração!

E a transformação em curso no país mais populoso do mundo, a China, sugere que a força centrípeta das cidades não é fenômeno do Ocidente e de suas ex-colônias (Fig. 8.3). Lá, na maior economia em desenvolvimento do planeta, o percentual de residentes urbanos pulou de 13% para 40% do total nacional entre os anos de 1950 e 2005, com previsão de alcançar os 60% até 2030.

Fig. 8.2 Vista aérea da Praça da República, no centro da cidade de São Paulo (início da aglomeração e verticalização da cidade de São Paulo)
Foto: Fernanda Invernise (2013).

Fig. 8.3 Pequim, vista do distrito financeiro da capital chinesa, de dentro da Cidade Proibida. A paisagem urbana retrata o aumento da aglomeração urbana na construção de edifícios altos
Foto: Klaus Bode (2012).

urbanidade e padrão de vida andam juntos: a taxa de urbanização é um bom indicador de desenvolvimento econômico. A pobreza é basicamente rural, enquanto a urbanização é um dos pilares fundamentais do desenvolvimento econômico.

Além disso, a coluna "Crescimento da População Urbana" da Tab. 8.1 mostra que, como esperado, desde a última década as nações mais pobres estão se urbanizando mais rapidamente do que as mais ricas. O mundo não é *plano* nem

Tab. 8.1 Taxa de urbanização nos países mais desenvolvidos, em desenvolvimento e menos desenvolvidos

	População urbana	Crescimento da população urbana (2005-2010)
Países mais desenvolvidos	75%	0,7%
Países em desenvolvimento	45%	2,4%
Países menos desenvolvidos	29%	4,0%

Fonte: UN DESA (s.d.)

homogêneo, mas a sua população está se tornando mais urbanizada na medida em que se torna mais rica.

Infelizmente, porém, nem tudo são rosas. Em grandes cidades como o Rio de Janeiro e Mumbai, milhares de pessoas vivem em condições muito aquém das desejáveis, sem acesso à infraestrutura básica, como saneamento, energia e boas escolas. No entanto, culpar a estrutura social chamada cidade por essas vicissitudes é confundir a direção do efeito causal. Cidades não causam pobreza, o que ocorre é que as pessoas pobres migram para as cidades na busca de melhores oportunidades para si e para seus filhos. A cidade não gera pobres, ela os atrai. Dito de outro modo, a pobreza urbana é, num certo sentido, um sinal de vitalidade das cidades, é prova inegável de que as cidades são um polo de atração para aqueles que vivem isolados na extrema pobreza do campo.

É ingênuo, ou pior, enganoso, comparar o padrão de vida na favela da Rocinha, no Rio de Janeiro, com o de residentes de famosas cidades modernas como os da ilha de Manhattan, em Nova York, ou de Londres. A comparação certa é entre a pobreza e a possibilidade de mobilidade social de quem mora na favela da Rocinha e as de quem mora nas áreas rurais do estado do Rio de Janeiro.

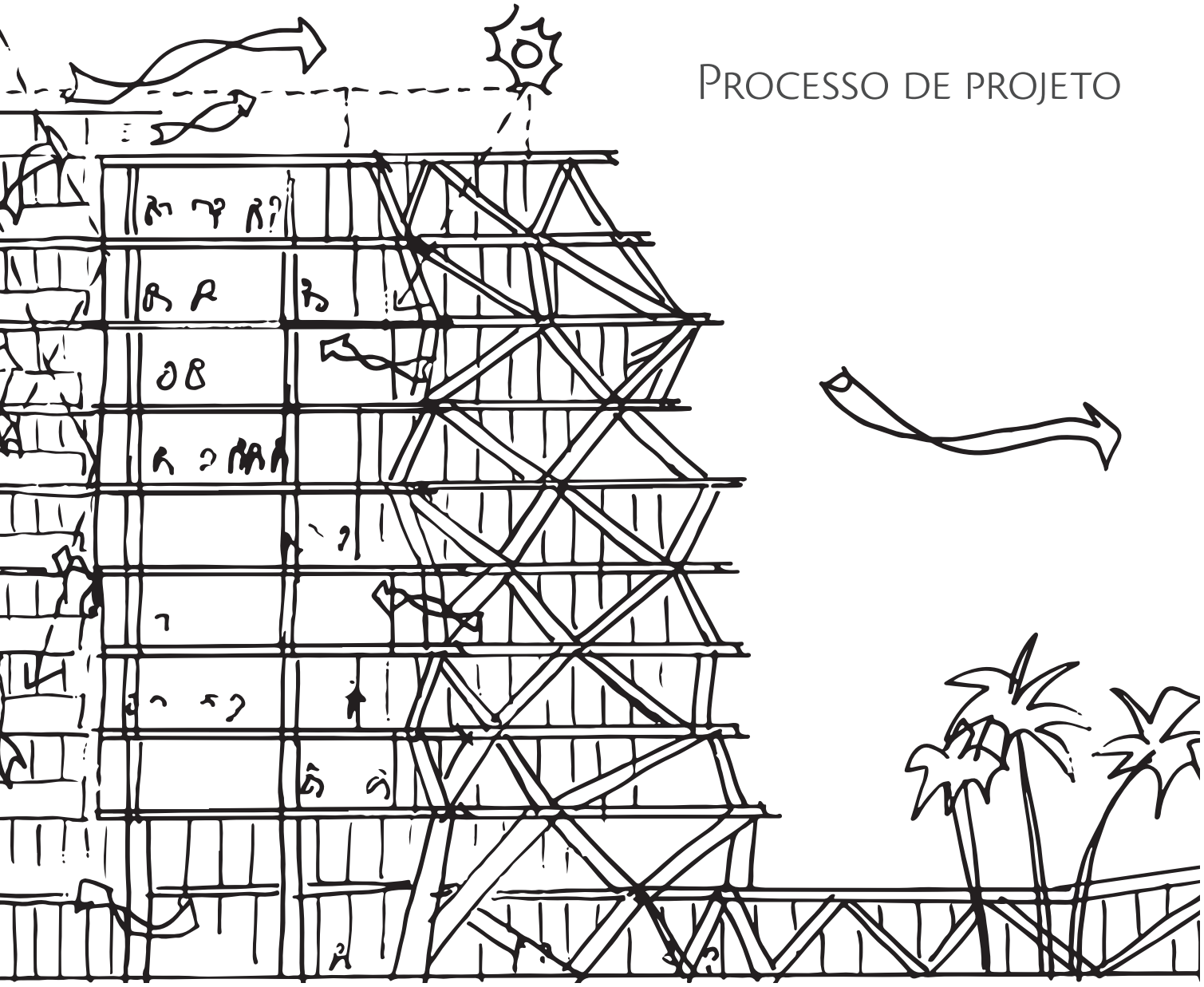
Por que as cidades geram desenvolvimento? Ao permitir a concentração de atividades em uma área relativamente pequena, criando relações de proximidade, as cidades:

- facilitam a exploração de economias de escala que, por sua vez, permite maior especialização e expansão na variedade de produtos e serviços colocados à disposição dos consumidores;
- economizam em custos de transporte e tempo;
- aumentam as interações humanas e, com isso, a produtividade no trabalho;
- são um solo fértil para o desenvolvimento de novas ideias, pois ideias são função direta da taxa de troca de conhecimento entre as pessoas;
- ajudam a preservar o ambiente natural na medida em que concentração restringe a área ocupada pelas atividades humanas.

Claro que há custos associados com a vida urbana que não devem ser deixados de lado nessa reflexão. Aglomerar pessoas e atividades socioeconômicas não é uma tarefa simples. Engarrafamentos e dificuldade de mobilidade, poluição, criminalidade, infraestrutura urbana saturada são alguns dos graves problemas atrelados às grandes aglomerações urbanas. Como os economistas gostam de dizer: benefícios sociais raramente são como um *almoço grátis*. Contudo, mesmo que nada venha sem custo na vida urbana, políticas públicas podem reduzir esses custos e, consequentemente, aumentar os benefícios líquidos da vida em aglomerações.

[Parte 3]

Processo de projeto



Projeto integrado e o papel da simulação computacional de desempenho ambiental (exemplos de projeto)

9

Joana Carla Soares Gonçalves

Gustavo Brunelli e Klaus Bode (seção 9.1)

Klaus Bode (seções 9.2 e 9.3)

A crescente influência de questões de desempenho ambiental no projeto arquitetônico de edifícios, incluindo conforto e energia, observada desde os anos 1990, tem sido acompanhada do uso de simulações computacionais, tanto como ferramenta central de avaliação do desempenho da arquitetura propriamente dita como de integração entre arquitetura e engenharia de sistemas prediais, em especial entre as equipes europeias de projeto. Entretanto, vale destacar que, como confirmado no caso de exemplos ícones de uma nova geração de edifícios, o bom desempenho ambiental do projeto não deixou de ser embasado no entendimento claro e aprofundado de princípios da Física aplicada à construção, somado ao conhecimento de precedentes testados e validados por estudos de casos existentes.

Com vistas ao melhor desempenho ambiental de edifícios, é importante também ressaltar que a experiência dos casos apresentados neste capítulo, como exemplos de projeto integrado, revela o impacto significativo da identificação de critérios apropriados de desempenho para o resultado arquitetônico final e o desempenho ambiental real do edifício. Essa identificação de critérios é mais importante até do que o aumento da complexidade do processo de projeto por meio de programas de simulação computacional. É válido lembrar que a escolha de critérios para um melhor desempenho ambiental e energético dos edifícios, em diferentes partes do mundo, implica a revisão crítica de critérios e procedimentos convencionais, não adequados a uma abordagem de projeto que busca uma interação maior com o clima externo e, consequentemente, maior qualidade ambiental e menor consumo de energia dos edifícios.

Contudo, a grande importância de conceitos e critérios não elimina o papel das simulações computacionais de testar, validar, aprimorar e mesmo ilustrar estratégias de projeto para um melhor desempenho ambiental dos edifícios. Além disso, o uso de ferramentas de simulação computacional de desempenho ambiental, nas várias fases do projeto, tem tido um papel crucial de acentuar as vantagens de soluções verdadeiramente integradas entre arquitetura, engenharia e sistemas prediais.

Conforme apontado, o processo de projeto de um número de edifícios localizados dentro e fora da Europa (que foi liderado por um conjunto de profissionais europeus, especialistas nas questões de desempenho ambiental), desenvolvido desde o final da década de 1990, promoveu a introdução de tecnologia no projeto,

por meio de simulações computacionais de desempenho ambiental, com a finalidade de reduzir a dependência do uso de sistemas prediais na rotina de ocupação dos edifícios.

Somado ao cumprimento de exigências de regulamentações energéticas, assim como o interesse em processos de certificação verde do tipo voluntária, ambos crescentes ao redor do mundo, a avaliação de projetos por meio de programas de simulação computacional se tornou uma etapa obrigatória no processo de projeto de edifícios associados com algum tipo de regulamentação energética ou ambiental. Entretanto, nesses casos, a simulação pode não passar de uma simples verificação de desempenho para efeitos de comparação com um *check list* de metas e critérios, sem necessariamente ter uma influência significativa no projeto arquitetônico.

Apesar de os estudos com simulação computacional adicionarem complexidade ao processo de projeto, em essência, a avaliação de desempenho ambiental com o auxílio desses programas oferece a possibilidade de simplificação e aprimoramento dos projetos de arquitetura e sistemas prediais, para um melhor desempenho ambiental. Esse é o enfoque dado ao papel da simulação computacional de desempenho ambiental nos três projetos discutidos neste capítulo, em prol da integração entre arquitetura e engenharia, com soluções originais e contextualizadas.

Os projetos são: o Velódromo das Olimpíadas de Londres de 2012, de autoria arquitetônica do escritório Hopkins Architects; o edifício da Escola de Economia de Toulouse (TSE, Toulouse School of Economics), projeto do escritório Grafton Architects; e o edifício de escritórios One Airport Square, em Acra, na República de Gana, projetado pelo escritório de arquitetura Mario Cucinella Architects (MCA). Paralelamente aos projetos de arquitetura, os estudos ambientais desses três projetos foram realizados pelo escritório de engenharia e consultoria BDSP Partnership.

9.1 Velódromo das Olimpíadas de Londres de 2012: síntese entre arquitetura e tecnologia dos sistemas prediais

Ficha técnica	
Edifício	Velódromo das Olimpíadas de Londres de 2012 (London 2012 Velodrome)
Cidade	Londres, latitude 42°N
Arquitetura	Hopkins Architects
Estrutura	Expedition
Engenharia de sistemas prediais e desempenho ambiental	BDSP Partnership
Área total construída	18.000 m^2
Construção	2011

9.1.1 O sucesso do projeto

Com projeto de arquitetura do escritório Michael Hopkins, engenharia de estruturas do Expedition e sistemas prediais e desempenho ambiental da empresa BDSP Partnership, o velódromo construído para as Olimpíadas de 2012, em Londres, é um dos edifícios ícones do Parque Olímpico, e é o principal

chaminé. A Fig. 9.4 mostra os resultados das simulações de dinâmica computacional de fluidos (CFD), com a indicação das pressões do ar nas superfícies externas e das velocidades do ar ao redor da forma.

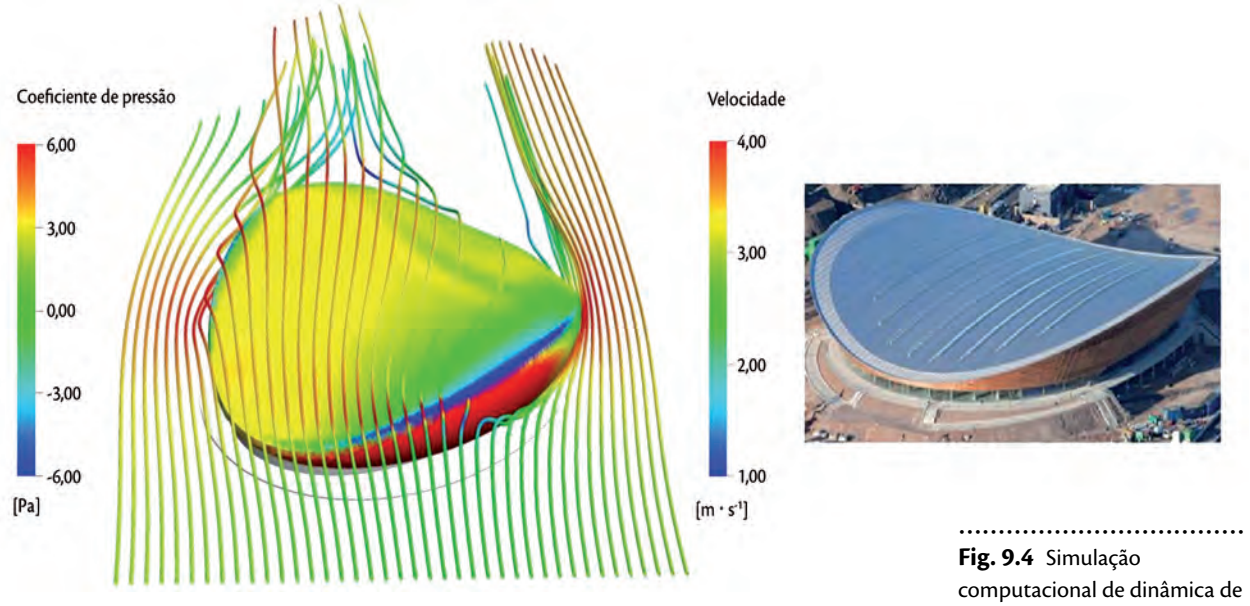


Fig. 9.4 Simulação computacional de dinâmica de fluidos (CFD) mostrando as pressões do fluxo de ar sobre a superfície externa da forma, com as maiores intensidades vistas nas partes mais altas da forma. As simulações de fluxo de ar foram realizadas com o *software* CFX (Ansys, 2004)
Fonte: BDSP Partnership.

A fim de maximizar a captação dos ventos locais para o desempenho térmico do edifício, a orientação original do diâmetro mais longo da forma sob o eixo leste-oeste foi alterada em direção aos ventos predominantes vindos do sudoeste. A nova orientação possibilitou a ocorrência de maiores pressões negativas junto às saídas de ar, aumento do fluxo de renovação do ar interno e, com isso, a eficiência da ventilação.

Como visto no Quadro 9.1, a meta para a temperatura do ar na pista é de, no mínimo, 24 °C, e a temperatura ideal é de 26 °C, independente da estação do ano, sendo esta uma exigência da função para garantir uma baixa resistência do ar para os ciclistas. Enquanto no verão não é difícil atingir esse objetivo com meios passivos, nas meias estações e no período mais frio do ano, o edifício precisa dos sistemas de aquecimento tanto na pista de corrida como nas áreas ocupadas pelos espectadores.

A fim de responder às diferentes exigências de conforto térmico no período de inverno, o sistema de aquecimento foi dividido em três partes (duas para a pista e uma para a arquibancada): aquecimento sob o piso e um insuflamento de ar quente direcionado de sob as arquibancadas para a pista, chamado em inglês de *jetted heated air supply*, e outro sistema de insuflamento de ar quente sob os assentos das arquibancadas, exclusivo para o conforto dos espectadores. A divisão do sistema de aquecimento em partes separadas não só favoreceu o alcance das condições térmicas distintas em diferentes partes do edifício, como garantiu uma maior eficiência energética do sistema.

A fim de minimizar a demanda energética para o aquecimento do grande ambiente interno do velódromo (incluindo pista e assentos), o sistema de aquecimento foi concebido para que o ar quente introduzido no ambiente seja misturado e permaneça junto à pista e aos espectadores, em vez de ser estratificado ao longo da

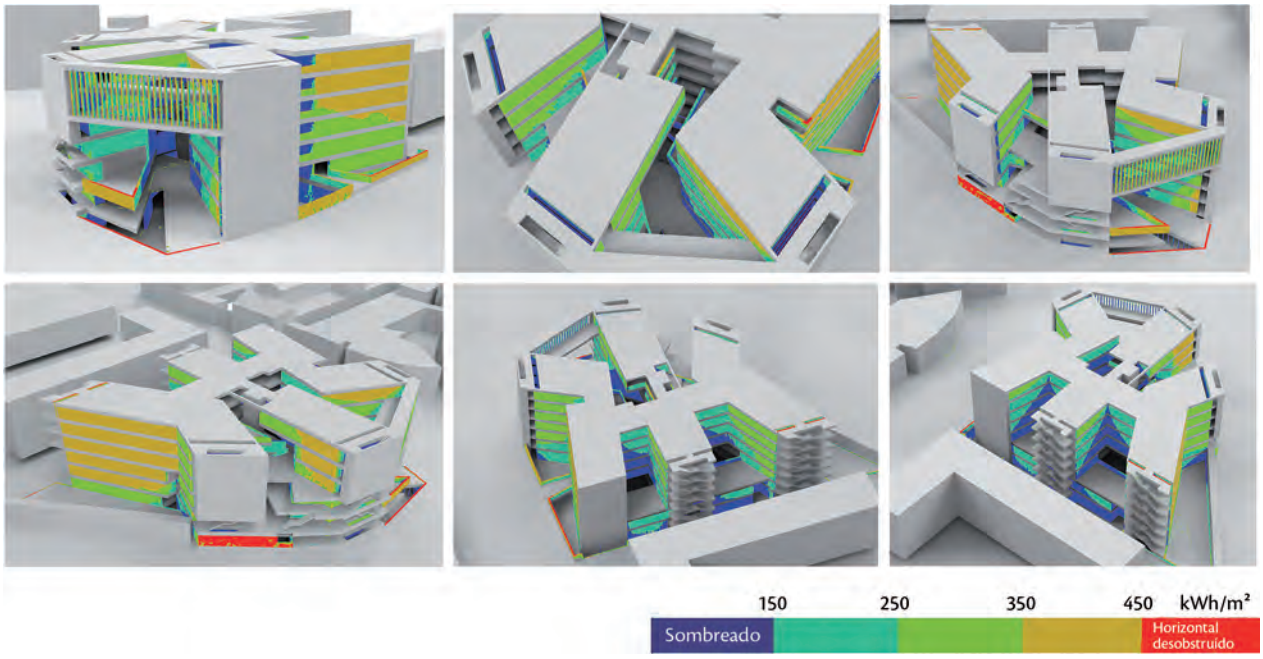


Fig. 9.57 Mapeamento da radiação incidente (*irradiation mapping*) nas dez fachadas distintas do complexo arquitetônico, acumulada durante os dias de verão, em função da orientação e do autossombreamento dos blocos e do entorno imediato
Fonte: BDSP Partnership.

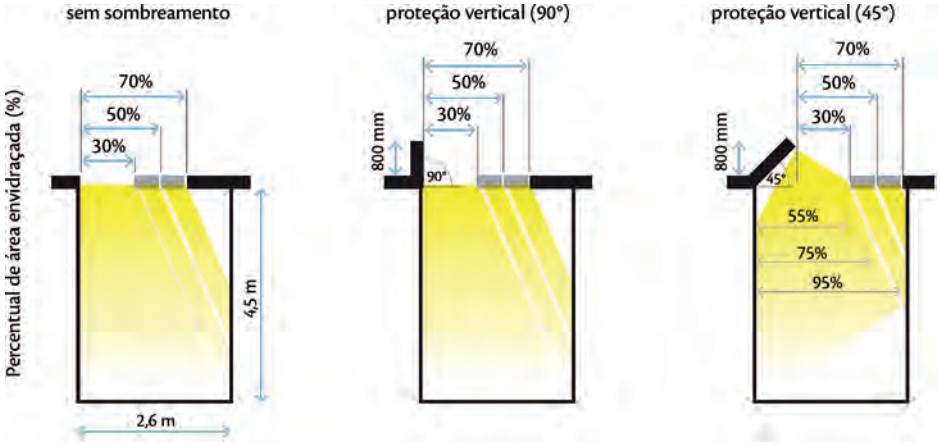


Fig. 9.58 Representação das três variações de área envidraçada e das três estratégias de sombreamento que, combinadas, deram origem às nove opções de janela a serem simuladas nos dois pavimentos de referência, das dez fachadas distintas do projeto
Fonte: BDSP Partnership.

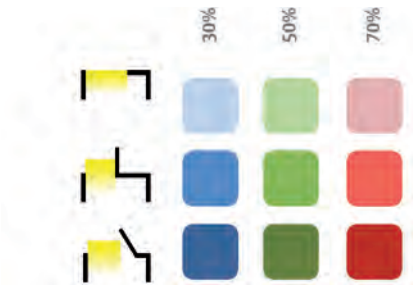


Fig. 9.59 Diagrama de representação das nove opções de janela
Fonte: BDSP Partnership.

Para o modelo com a proteção solar da aleta inclinada, foram calculados dois percentuais de área de vidro: um referente à porção desobstruída do vidro e outro à área envidraçada total em relação à área de fachada (WWR), resultando nas seguintes combinações: para 30% de área desobstruída, um WWR de 55%; para 50% de área desobstruída, um WWR de 75%; e para 70% de área desobstruída, um WWR de 95% (Fig. 9.58).

A Fig. 9.60 mostra os resultados das simulações de desempenho luminoso, realizadas com o *software* Radiance, apresentados na forma de fator de luz natural (FLN), sendo esse o percentual de luz natural da abóboda celeste de um céu nublado, medido ou calculado em um plano horizontal desobstruído, que chega em um ponto do espaço interno, em função do tamanho e localização da

Fundamentos da simulação energética de edificações

10

Alberto Hernandez

Malkawi e Augenbroe (2004) apontam que o espectro do termo simulação de edificações é bastante amplo e varia de avaliações de fluxo de massa e energia, passando por durabilidade estrutural e desempenho de sistemas, até simulação do comportamento da edificação no sítio da construção. Os primeiros desenvolvimentos de ferramentas de simulação foram iniciados nas décadas de 1960 e 1970, focando no campo do desempenho energético da envoltória da edificação, e expandiram-se para os sistemas de iluminação, climatização, aquecimento, ventilação e outros. Atualmente, este escopo se ampliou para análises que avaliam transferência de calor e massa combinados, acústica, sistemas de controle e várias combinações de simulações de climas urbanos e microclimas.

Os principais usos de ferramentas de simulação são apresentados por Hong, Chou e Bong (2000), a saber:

- Estudo de estratégias passivas

  Ferramentas de simulação permitem avaliar o impacto no desempenho energético da edificação pelo uso de estratégias passivas como sombreamento, iluminação natural, geotermia etc.
- Uso de ferramentas de Dinâmica de Fluidos Computacional (Computational Fluid Dynamics, CFD)

  Tipo de ferramenta que permite estudos de microclima urbano e no interior de edificações, ventilação de edificações, segurança em incêndios etc.
- Cálculo de cargas de resfriamento/aquecimento de edificações

  Os valores de pico e o perfil das cargas de aquecimento/resfriamento são a base para o dimensionamento e a seleção de sistemas de climatização, aquecimento, ventilação e refrigeração. Essas cargas são definidas como a quantidade de energia necessária para se manter um ambiente com suas condições de temperatura, umidade relativa e velocidade controladas.
- Análise de desempenho energético para projeto e *retrofit* (ou reabilitação espacial/tecnológica)

  A ferramenta de simulação pode oferecer os perfis de consumo de energia da edificação e o desempenho dos principais sistemas em carga nominal e parcial. Carga nominal é a quantidade de energia que pode ser transferida por resfriamento por um sistema de climatização em condições especificadas em norma de testes de capacidade. Carga parcial, por

10.1 Edificação-modelo

Como mencionado anteriormente (Hong, Chou, Bong, 2000), um dos usos frequentes de ferramentas de simulação energética está voltado para projetos de novas edificações. Neste caso, para se definir se a edificação é eficiente ou não, faz-se necessário o uso de edificações cujas características (envoltória, sistema de climatização, iluminação etc.) sejam tais, que o seu desempenho energético possa ser tomado como referência (*benchmarking* ou *baseline*).

Nesse contexto, têm sido utilizadas no Brasil algumas normas que fornecem diretrizes para a definição dessa edificação de referência. A norma ASHRAE 90.1 (ANSI; ASHRAE; IESNA, 2007) fornece dados para construir um modelo de uma edificação virtual para a simulação energética, o qual serve de limite máximo para o consumo de uma edificação para diferentes localidades. Nessa norma, está prevista a etapa de construção de uma edificação de referência virtual por meio de modelo para simulação. Os perfis de consumo de energia e de custos de operação desse modelo são avaliados e serão úteis como medida de comparação quando se avalia o desempenho de outras edificações. Dessa forma, verifica-se se o perfil de consumo e/ou de custos de operação dessas edificações está acima ou abaixo do perfil de consumo de energia e/ou custos da edificação de referência. Caso esteja acima, modificações podem ser realizadas nas características da edificação proposta para reduzir os seus níveis de consumo, de forma a ficar igual ou abaixo dos níveis da edificação de referência.

No sentido de aprimorar os projetos e buscar níveis mais altos de eficiência energética e maiores reduções no impacto ambiental, foi lançada a norma ASHRAE 189.1 (ANSI et al., 2009), que propõe diretrizes mais exigentes do ponto de vista energético que as apresentadas na já mencionada norma 90.1 (ANSI; ASHRAE; IESNA, 2007). Essas exigências vão desde valores de COP mais altos para os sistemas de climatização, passando por níveis menores de densidade de potência de iluminação artificial. O objetivo principal é fornecer bases para um projeto de edificações de alto desempenho energético que incorporem os conceitos de projeto integrado (*Building Information Modeling*, BIM) e análises de custo de ciclo de vida.

Especificamente no Brasil, a Eletrobras desenvolveu um selo energético para edificações dentro de um programa denominado Procel Edifica – Eficiência Energética em Edificações (Procel, 2011). Neste programa, devem ser atendidos os requisitos descritos nos seguintes documentos:

- RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos;
- RTQ-R: Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de eficiência energética em edificações residenciais;
- RAC-C: Regulamento de Avaliação da Conformidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos;
- RAC-R: Regulamento de Avaliação da Conformidade do nível de eficiência energética de edificações residenciais.

Além desses documentos, a Eletrobras também fornece Guias Procel Edifica abordando os seguintes tópicos:

- acústica arquitetônica;
- clima urbano;
- desempenho térmico;

Avaliação de desempenho, simulação computacional e o projeto arquitetônico

11

Joana Carla Soares Gonçalves

Norberto Corrêa da Silva Moura

Erica Mitie Umakoshi Kuniochi

A cobrança crescente pela quantificação do consumo de energia em edifícios ao redor do mundo fez das simulações computacionais de desempenho energético e ambiental uma parte essencial do processo de projeto. Os métodos de avaliação de desempenho apoiados em técnicas de simulação computacional vieram aprimorar o processo de projeto com a investigação criteriosa sobre o impacto dos vários aspectos arquitetônicos e do programa de atividades no desempenho ambiental dos edifícios. Desse modo, a eficiência de soluções projetuais derivadas da interpretação arquitetônica dos princípios da Física pode ser comprovada, quantificada e aprimorada.

Variáveis do desempenho térmico e luminoso de edifícios podem ser quantificadas e visualizadas por meio de simulações computacionais, incluindo temperatura, umidade, movimento do ar, insolação, sombreamento e níveis de iluminação (Fig. 11.1). Programas de avaliação do desempenho ambiental de projeto arquitetônico oferecem uma sofisticada e clara comunicação visual dos fenômenos da Física aplicada ao ambiente construído, facilitando sua compreensão e aproveitamento no processo de projeto. Esse processo, por sua vez, se beneficia da rápida verificação do desempenho comparativo de soluções alternativas possibilitadas pelas simulações.

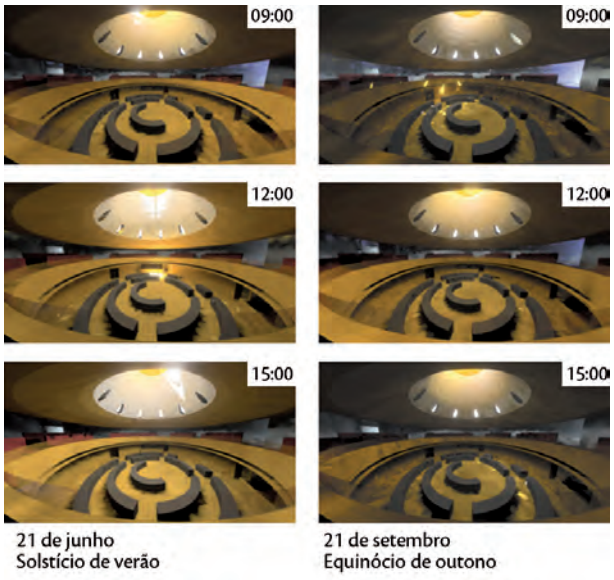


Fig. 11.1 Simulação do desempenho luminoso da sala da Assembleia do Edifício do Senado do País de Gales, no Reino Unido, no solstício de verão (21 de junho) e no equinócio de outono (21 de setembro). Vê-se a boa distribuição da luz natural (sem a influência da luz artificial) e a ausência de raios da luz direta, que ficam restritos às paredes do grande cone que conecta a sala ao ambiente externo
Fonte: BDSP Partnership.

No campo do desempenho térmico e energético, uma das maiores vantagens das técnicas computacionais, quando comparadas aos métodos analíticos mais simplificados, é a possibilidade da avaliação termodinâmica, que considera variações do clima externo, bem como do padrão de ocupação e, ainda, os efeitos da inércia térmica da construção ao longo do tempo. Com relação aos resultados, no caso de edifícios dependentes de sistemas de climatização artificial, as simulações de termodinâmica fornecem dados de carga térmica de resfriamento e/ou aquecimento, dependendo do clima em questão e dos requisitos de desempenho. Já para edifícios cujas condições ambientais são determinadas por estratégias passivas,

Fig. 11.5 Soluções de fachada do projeto da Escola de Economia de Toulouse (TSE), na França, com vistas ao desempenho térmico e luminoso dos espaços internos. A parte superior da figura mostra a resposta arquitetônica às opções de abertura e proteção solar sugeridas com base em resultados de estudos analíticos
Fonte: Grafton Architects.

envoltória. Este foi o desempenho demonstrado em simulações computacionais de dinâmica de fluidos (CFD, Computational Fluid Dynamics) (Figs. 11.6 e 11.7).

Entretanto, a justificativa da forma curvilínea do edifício exclusivamente pelo seu desempenho ambiental não parece lógico, uma vez que desempenho similar poderia ser alcançado com alternativas arquitetônicas mais simples e convencionais. Certamente, o projeto da antiga sede da empresa Swiss Re foi movido pela intenção de criação de um ícone arquitetônico, de forma inusitada, da geração de edifícios altos, influenciada por critérios de desempenho ambiental.

A princípio, o uso da simulação computacional de desempenho ambiental na busca de formas arquitetônicas constitui um procedimento metodologicamente válido desde que o processo seja guiado por princípios e critérios objetivos e também

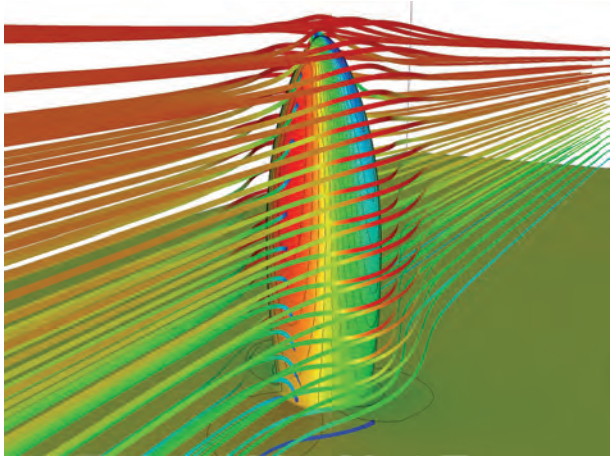


Fig. 11.6 Simulação do impacto da forma do edifício 30th St. Mary Axe na ventilação do entorno imediato feita com programa computacional de dinâmica de fluidos, mostrando a ausência de turbulências em decorrência da forma aerodinâmica
Fonte: BDSP Partnership.

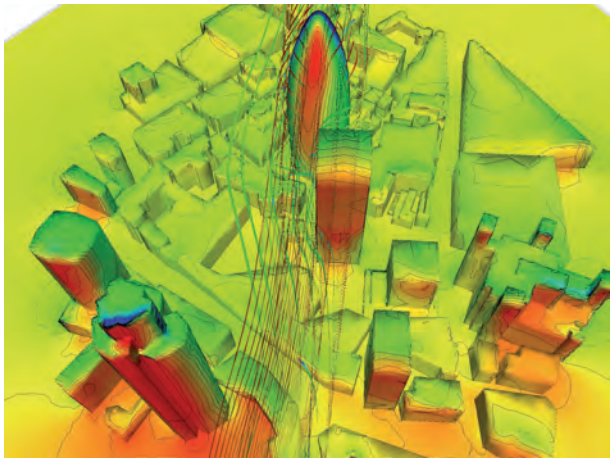


Fig. 11.7 Simulação do padrão de ventilação no ambiente urbano do edifício 30th St. Mary Axe, confirmando a ausência de turbulências criadas pelos edifícios altos
Fonte: BDSP Partnership.

Confrontando seus resultados a obras de arquitetos que extrapolaram seu tempo como Utzon e Gaudí, pode-se inferir a dimensão do recurso digital enquanto suporte do pensamento, criação e expressão. De fato, tanto Utzon quanto Gaudí utilizaram processos peculiares na concepção de suas obras, por vezes inacabadas, que traduzem procedimentos similares de investigação, utilizando modelos físicos que encontram correspondência nos modelos e processos digitais disponíveis atualmente.

11.3 O potencial gerativo de critérios ambientais

A criação de formas arquitetônicas inovadoras é tema central dos processos de projeto que caracterizam a chamada arquitetura generativa. Nessa abordagem, inovações relacionadas aos processos e critérios de concepção da forma arquitetônica aplicam-se tanto ao edifício como aos seus componentes, com o uso da simulação computacional envolvendo questões de insolação, iluminação e ventilação.

Dando continuidade à discussão sobre a influência da tecnologia digital na arquitetura, o exercício de projeto, que será apresentado a seguir, explorou o tema do edifício alto de melhor desempenho ambiental, utilizando estratégias e ferramentas de geração de formas da chamada arquitetura generativa, também conhecida como arquitetura paramétrica (diferente dos procedimentos de análises paramétricas do desempenho ambiental mencionados anteriormente), combinadas a princípios, critérios e métodos de avaliação do desempenho ambiental. O projeto foi desenvolvido no *workshop* promovido pela escola de arquitetura Architectural Association School of Architecture, de Londres, no ano de 2011, em São Paulo, e foi coordenado pelos professores Anne Save de Beaurecueil e Franklin Lee, também sócios-fundadores do escritório de arquitetura anglo-brasileiro SUBdV.

A proposta partiu do desenvolvimento de um padrão geométrico para formar módulos de fachada que pudessem se movimentar abrindo e fechando de acordo com a variação dos níveis de radiação incidente. Com isso, esses elementos de controle de radiação solar poderiam ser então estruturados de forma a serem aplicados ao longo da fachada de um edifício alto de escritórios, idealizado para a latitude de São Paulo.

Além do desenvolvimento dos componentes da fachada, também fez parte do exercício repensar na forma retangular padrão dos edifícios de escritórios da avenida Paulista. Assim, a forma do edifício foi concebida com o objetivo de provocar um autossombreamento parcial da área de fachada, no período dos equinócios, sendo essa proteção complementada pelos componentes de padrão geométrico e operação previamente definidos.

Para a modelagem paramétrica, foram usados o programa Rhinoceros e seus aplicativos Grasshopper e Geco. A produção de modelos físicos e protótipos foi realizada com tecnologia de corte a laser e máquinas de usinagem CNC.

O exercício de projeto teve início com a elaboração de modelos físicos, os quais serviram de base para a modelagem paramétrica computacional que, por sua vez, teve continuidade na fabricação digital de componentes para o projeto de fachada. Com o entendimento das possibilidades formais e estruturais pelo modelo físico, na sua etapa final, o processo de projeto volta para o aprimoramento dos modelos digitais, no que se refere às questões propostas de desempenho ambiental, que são, nesse caso, o controle da radiação e da luz natural.

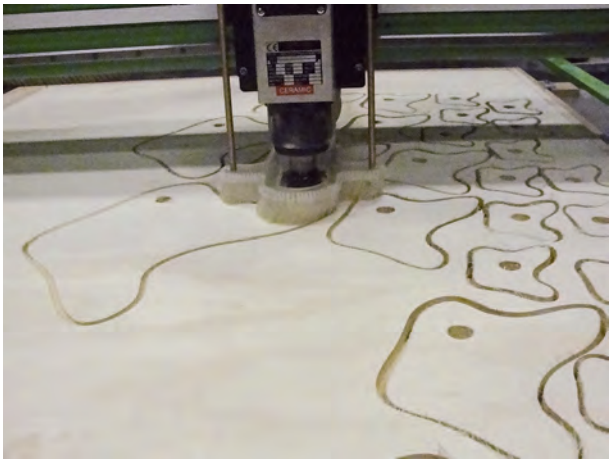


Fig. 11.15 Corte na CNC da maquete do edifício projetado
Foto: Erica Mitie Umakoshi Kuniochi.

Fig. 11.16 Modelo físico do novo edifício alto, resultado do processo paramétrico de geração de forma
Foto: Erica Mitie Umakoshi Kuniochi.

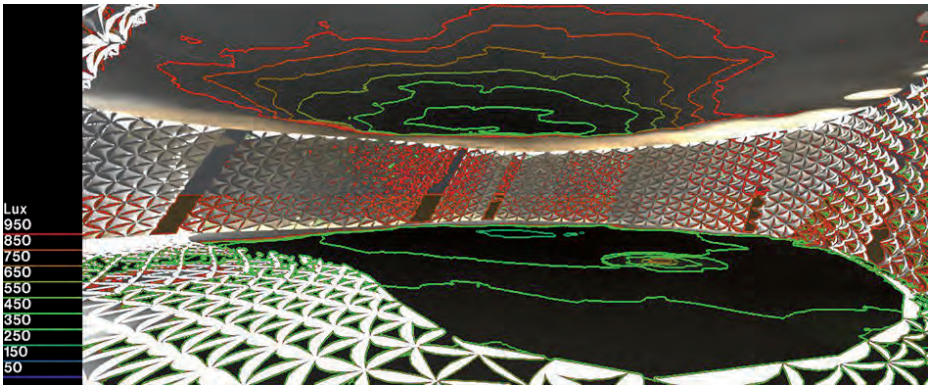


Fig. 11.17 Simulação do desempenho da iluminação natural no pavimento tipo

A ondulação do plano vertical da fachada, combinada à resposta dinâmica do componente de sombreamento à incidência da radiação, confere movimento e diversidade à solução arquitetônica final, na medida em que o grau de abertura do componente se altera de acordo com a sua posição e consequente orientação solar (Fig. 11.18).

O projeto do componente de proteção solar foi desenvolvido considerando as restrições e as exigências estruturais do modelo físico, descobertas ao longo do processo de evolução da forma e da inserção de critérios específicos de desempenho ambiental. Como demonstrado ao longo desse processo, a interface entre a elaboração do modelo físico e o digital-paramétrico traz complexidade e origi-

Arquitetura generativa *high-low*: princípios e aplicações

12

Anne Save de Beaurecueil
Franklin Lee

A arquitetura generativa é criada por meio de ferramentas computacionais com o objetivo de manipular a geometria da forma em resposta à influência de variáveis de diferentes naturezas, incluindo as ambientais. Sendo assim, com base no uso de determinadas ferramentas, propõe-se um método diferenciado para o processo de projeto do edifício de melhor desempenho ambiental.

Os princípios de uma arquitetura que condiz com o contexto ambiental estão nas bases da física e da geometria da insolação aplicadas ao projeto de edifícios e espaços abertos, como visto em um grande leque de precedentes da história da arquitetura. No Brasil, a arquitetura modernista deu grande ênfase à importância das proteções solares e da ventilação natural na busca pelo conforto ambiental. Nesse contexto, os *brise-soleil* e as paredes de cobogó (elemento vazado), entre outros componentes e aspectos da forma, tiveram um papel marcante na formação de uma expressão arquitetônica bioclimática, ou de inserção ambiental.

No entanto, o forte valor estético da arquitetura bioclimática dado aos componentes de proteção solar, como *brises* e tijolos vazados, levou à repetição de soluções comuns de projeto, por exemplo, o uso, em muitos casos, de um único tipo de componente de mesma forma e dimensões para prover proteção solar às diferentes orientações e partes do edifício. Esse exemplo levanta questionamentos sobre as consequências da generalização de determinadas soluções de projeto no que tange à eficiência do desempenho dessas proteções, pois, apesar de funcionarem apropriadamente em determinados períodos do ano e horas do dia, podem ser super ou subdimensionadas para outras condições de exposição.

Aliada ao forte valor formal conferido a tais componentes na arquitetura modernista brasileira, a falta da precisão analítica na busca pela proteção contra a radiação solar e o consequente superdimensionamento desses componentes, em muitos casos, podem ser associados ao comprometimento de vistas para o exterior e da boa iluminação natural.

Com o uso das ferramentas digitais, é possível calcular com precisão e rigor geométrico os ângulos de proteção solar e as consequentes áreas de visão do céu a serem *mascaradas*, para situações específicas do entorno do edifício, incluindo as variações necessárias ao longo do ano e do dia, o que agrega dinâmica ao processo de adaptação às mudanças temporais das condições de exposição. Comparativamente, os métodos mais simplificados de desenho geométrico estão associados a um repertório restrito de soluções projetuais, cuja geometria, também mais restrita,

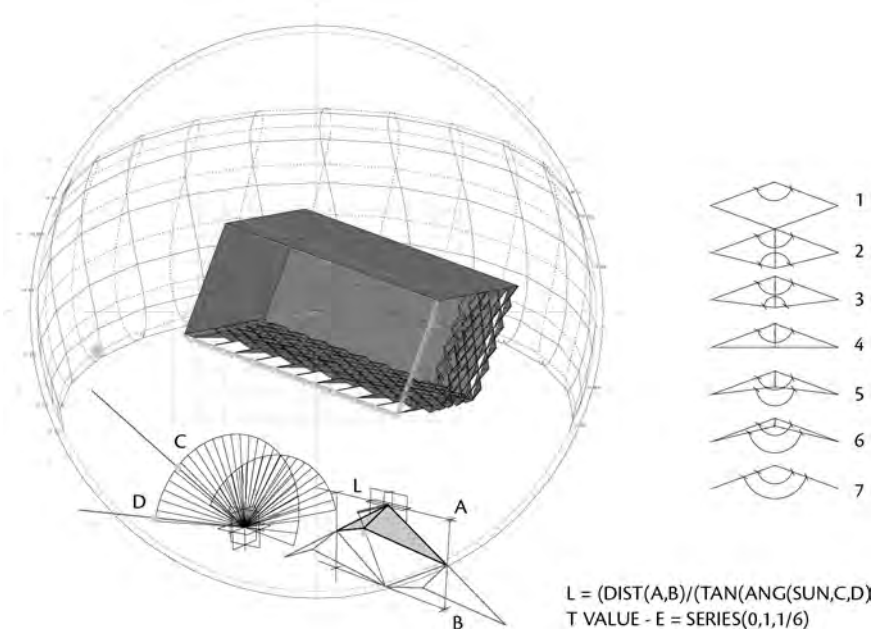


Fig. 12.1 Processo de projeto da nova envoltória do edifício das Lojas Clarindo, no bairro do Morumbi, em São Paulo. Projeto em construção. Os números representam as diferentes soluções de componentes de sombreamento das fachadas e os ângulos correspondem aos ângulos de sombreamento do sol
Fonte: Anne Save de Beaurecueil e Franklin Lee.

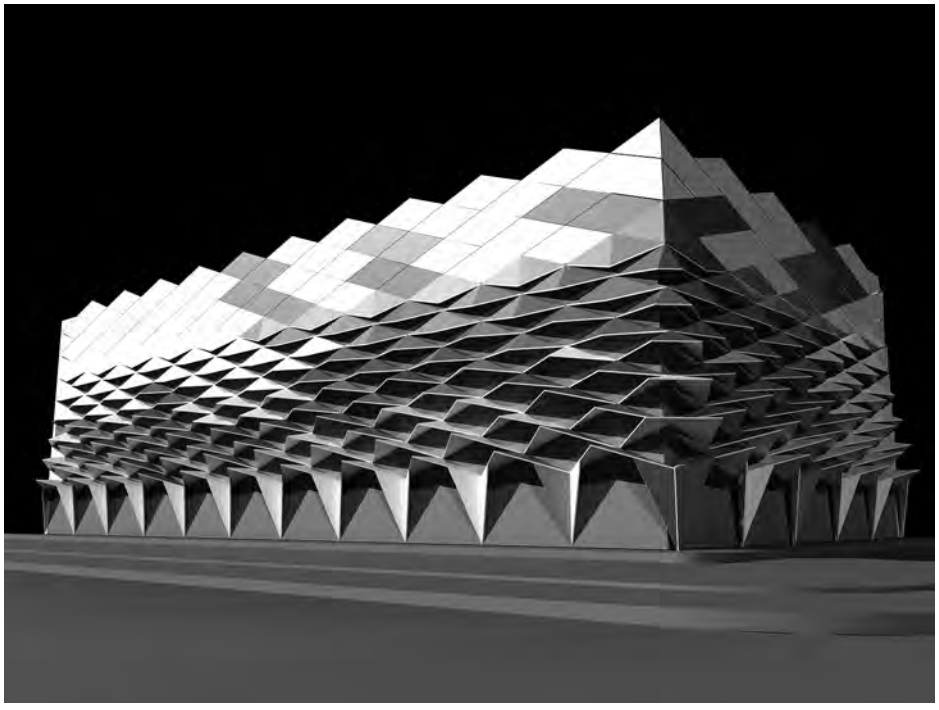


Fig. 12.2 Modelo do edifício das Lojas Clarindo, com as novas fachadas formadas por componentes de sombreamento, projetados por um processo paramétrico de geração de forma
Fonte: Anne Save de Beaurecueil e Franklin Lee.

sequência, essas combinações foram testadas pela mesma ferramenta, que escolhe a solução que apresenta a maior área de sombreamento.

Instituto Escola do Povo, Comunidade de Paraisópolis (UMCP), no bairro do Morumbi, São Paulo (projeto desenvolvido em 2012 e aguardando início da obra)

A reforma e construção de novos edifícios no centro da comunidade de Paraisópolis para a UMCP (União de Moradores e Comércio de Paraisópolis) totalizou uma intervenção de 500 m^2. Além de instalações bancárias e cinco

localizado junto ao parque Ibirapuera, em São Paulo, em uma extensão do programa de atividades do Museu de Arte Contemporânea de São Paulo (MAC), isto é, incluir a inserção de um programa de atividades culturais entre a nova sede do museu e o parque. Esse exercício de projeto contou com a colaboração da equipe de alunos e pesquisadores do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (Labaut) do Departamento de Tecnologia da Arquitetura da Faculdade de Arquitetura da Universidade de São Paulo, que deu apoio técnico na realização de medições de variáveis ambientais no sítio de projeto.

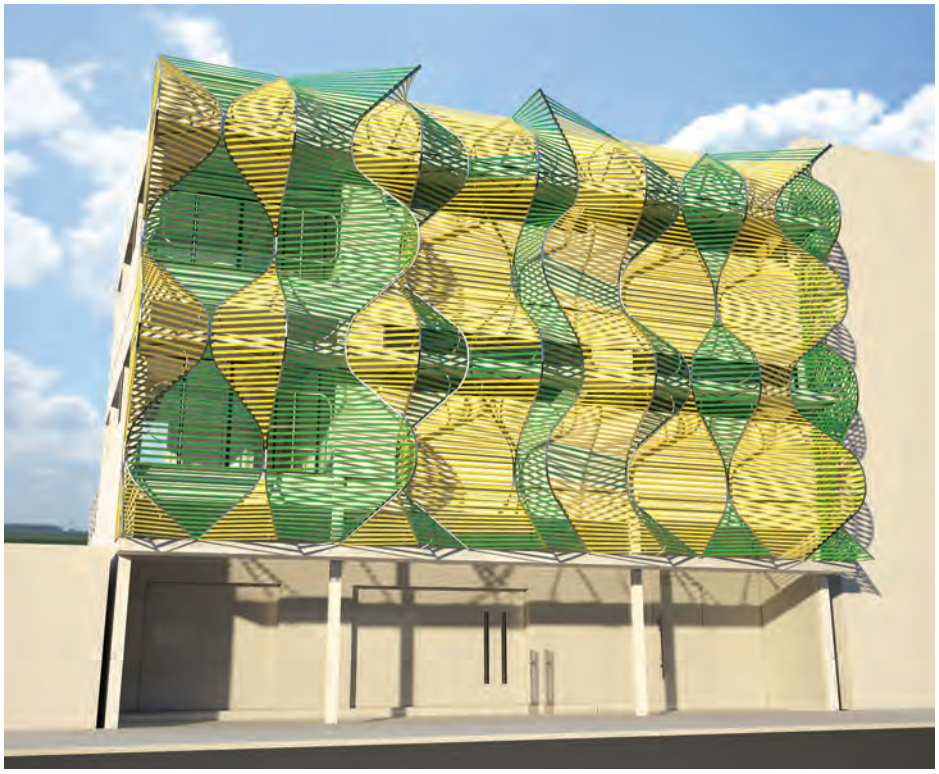


Fig. 12.4 Vista da fachada do edifício do Instituto Escola do Povo voltada para a rua. Fachada formada por componentes de proteção solar feitos de fios de *nylon* (modelo digital)
Fonte: Anne Save de Beaurecueil e Franklin Lee.

Intervenção De-tran: double interface

O objetivo deste projeto, do estudante Asako Hayasaki, foi a criação de uma conexão entre o edifício do Detran e o parque Ibirapuera, duplicando o nível do solo e os fechamentos, permitindo a articulação de espaços em níveis diferentes e com distintos graus de permeabilidade e acessibilidade (Save de Beaurecueil e Lee, 2009a). Estratégias de controle ambiental são integradas aos espaços de circulação a partir do nível duplo de piso, e o fechamento vertical permeável contribui para a extensão dos aspectos urbanos e públicos do edifício sobre os espaços de ligação com o parque.

No parque, o espaço sob a grande marquise, que conecta todos os pavilhões expositivos com os espaços abertos e semiabertos, é constantemente ocupado nos finais de semana, porém, permanece praticamente deserto durante a semana. Enfrentando essa questão, o projeto aposta na força de transformação da ligação física entre o espaço da marquise e o edifício, ocupada por um programa de atividades culturais e qualificada por condições ambientais diversas.

Cálculos analíticos simplificados para a avaliação de conforto térmico relacionado ao uso da ventilação natural de galpões industriais

13

Anésia Barros Frota

Alessandra Rodrigues Prata Shimomura

A renovação do ar é de grande importância para a higiene dos edifícios e também para o conforto térmico no verão nos edifícios localizados em regiões de clima temperado e de clima quente. A ventilação natural é fator de eficiência energético-econômica, com alterações na qualidade do ar interior e na saúde dos usuários, que, em ambientes muito quentes, ficam expostos a uma série de problemas, como cansaço, mal-estar, baixa capacidade de concentração, insatisfação, riscos de acidentes e de doenças.

Um sistema de ventilação natural consta de aberturas dimensionadas, localizadas e distribuídas de modo a proporcionar a requerida renovação do ar do ambiente. Projetar um sistema de ventilação natural significa dimensionar, em função de requisitos específicos, um sistema de aberturas, umas destinadas a funcionar como entradas de ar e outras, como saída. A renovação do ar tem diversas funções, além da remoção de calor, como: desconcentração de odores, resfriamento da estrutura do edifício e de seus componentes, incremento das trocas térmicas do corpo humano com o ambiente, remoção do excesso de vapor d'água proveniente da presença humana e de suas atividades, com redução dos riscos de condensação superficial ou intersticial.

Ao se pensar em projetos arquitetônicos e atividades exercidas em seu interior, vale destacar os edifícios industriais, nos quais pode ser utilizada a ventilação natural com o aproveitamento dos ventos e com os recursos do efeito chaminé (Frota, 1989). No âmbito dos galpões industriais, a ventilação natural tem amplo campo para aplicação, em alguns casos, em plantas muito grandes, associada à ventilação mecânica.

Resultados muito bons têm sido obtidos em fábricas de automóveis, galvanizações, metalúrgicas, siderúrgicas, minerações, indústrias químicas e mecânicas. É nesse contexto que será apresentada a estratégia do uso da ventilação natural em projetos arquitetônicos, com ênfase sobre soluções arquitetônicas específicas para edifícios de uso industriais.

A ventilação, com a renovação do ar, representa uma forma de retirada de calor do ambiente que abriga cargas térmicas significativas e pode resultar em consequente melhoria das condições térmicas ambientais. A ventilação também pode ser responsável pela retirada de umidade gerada no interior dos recintos. Em função das cargas térmicas a que o edifício está submetido – calor solar, pessoas,

13.3.1 Estudo de caso

Toma-se como exemplo um Centro de Distribuição, com planta genérica, a ser construído supostamente na cidade de Catalão, estado de Goiás, situada na latitude 18° 08'S. Na Tab. 13.1, são apresentados os dados de clima da região.

Tab. 13.1 Dados de clima: cidade de Catalão, GO, equinócio de setembro

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
22,9	**29,7**	**17,6**	**33,2**	**13,9**	**54**	41	3,2	196

Temperaturas em °C. (1) Média aritmética mensal; (2) média mensal das máximas diárias; (3) média mensal das mínimas diárias; (4) máxima do mês (média entre a média das máximas e a máxima absoluta); (5) mínima do mês (média entre a média das mínimas e a mínima absoluta); (6) média aritmética mensal da umidade relativa, em %; (7) total mensal de chuva caída (precipitação), em mm; (8) nebulosidade (0-10); (9) Insolação mensal, em horas.
Fonte: Inmet (1992).

Para aplicação do método de predição de condições térmicas ambientais, conforme *Manual de conforto térmico* (Frota; Schiffer, 2007), são determinados, a seguir, os dados de temperaturas para o projeto, em setembro (mês mais quente):

- Temperatura externa máxima:
  $T_{e,máx} = (29,7 + 33,2)/2$ ..... $T_{e,máx} = 31,5$ °C
- Temperatura externa mínima:
  $T_{e,mín} = (17,6 + 13,9)/2$ ..... $T_{e,mín} = 15,8$ °C
- Temperatura externa média:
  $T_{e,méd} = (31,5 + 15,8)/2$ ..... $T_{e,méd} = 23,7$ °C
- Elongação = Amplitude/2:
  $E = (31,5 - 23,7)$ ..... $E = 7,8$ °C

Para a radiação solar incidente, considera-se o horário do meio-dia, quando se tem 1.000 W/m^2 sobre superfície horizontal e 80 W/m^2 sobre superfícies verticais.

Apresenta-se, a seguir, o caso de um Centro de Distribuição, com 96 m x 72 m em planta e pé-direito médio de 8 m (Fig. 13.1), um galpão a ser construído em região de clima quente.

A envoltória do galpão deve ser de isolamento térmico, pois o calor dissipado no seu interior é desprezível e o ganho de calor solar deve ser controlado. No que se refere à iluminação natural zenital, respeitado o sistema de estocagem com resultantes corredores entre altas pilhas, chegou-se a uma área de material translúcido que corresponde a 7,5% da área do piso, com fator solar 0,43 (policarbonato alveolar *opal white*). O sistema de ventilação natural deve sempre ser composto de aberturas baixas, para entrada de ar e de exaustores naturais de gravidade, a serem instalados nas cumeeiras. O objetivo é dimensionar um sistema de aberturas para ventilação natural que seja compatível com a carga térmica a ser retirada do ambiente, de modo a ser obtido conforto térmico.

- Descrição de materiais da envoltória
  - Cobertura opaca do galpão, telha sanduíche, cor externa clara, coeficiente de absorção da radiação solar $\alpha = 0,4$, com 50 mm de manta de lã de rocha, coeficiente de transmissão térmica U = 0,82 W/m$^2 \cdot$ K para ganhos de calor solar e U = 0,88 W/m$^2 \cdot$ K para perdas de calor, e área de 6.394 m^2;

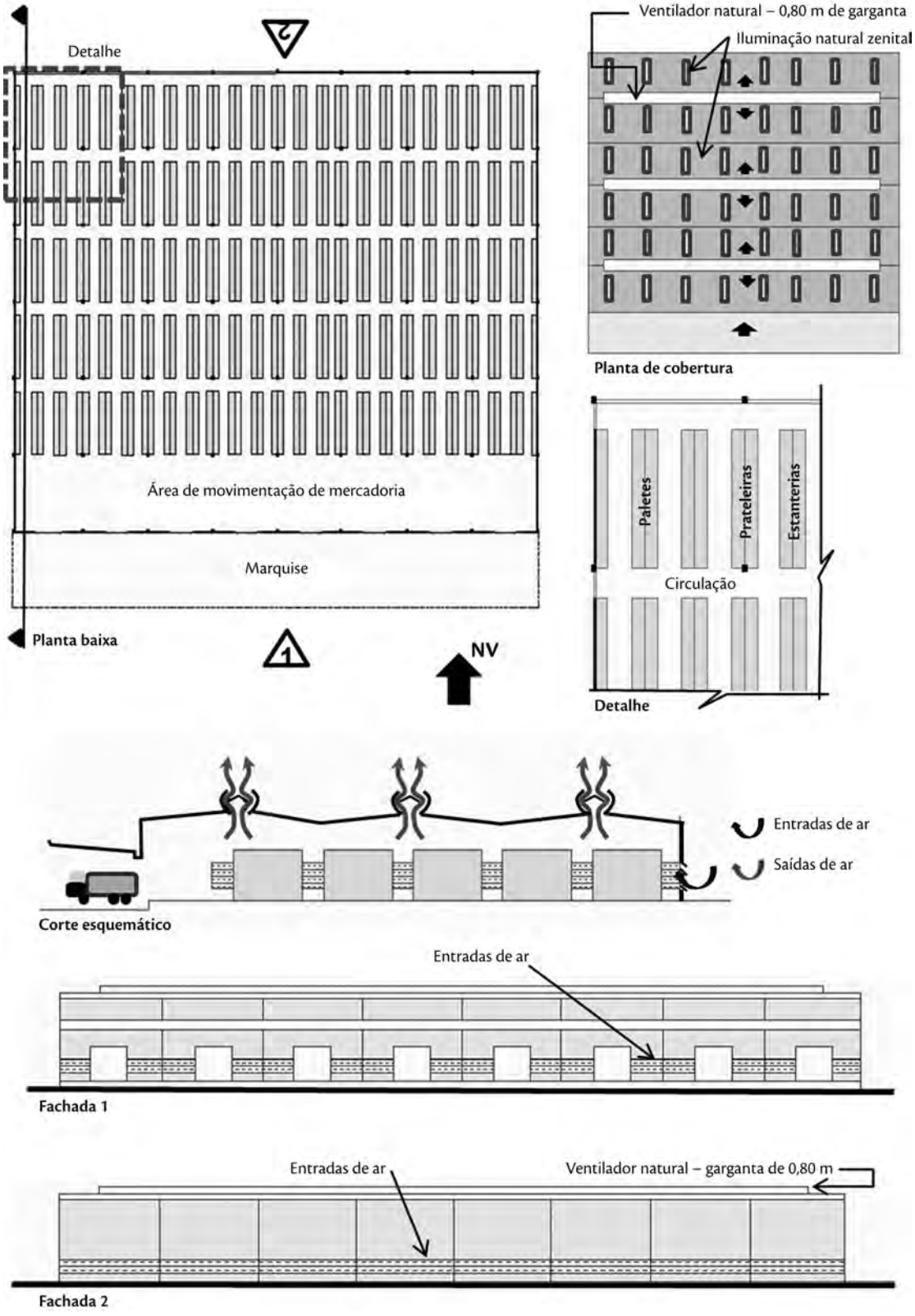
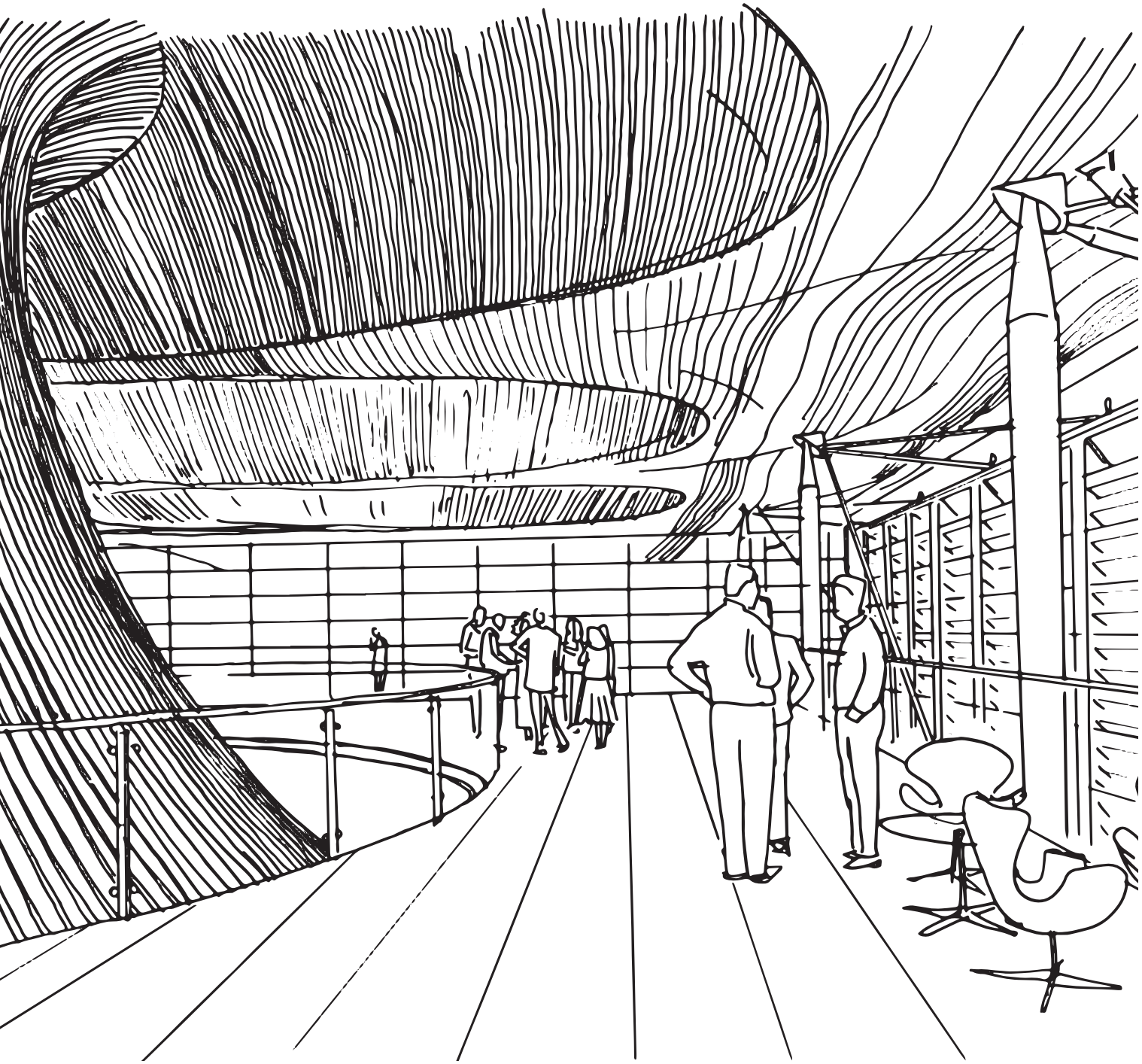


Fig. 13.1 Galpão Centro Distribuição, planta baixa, cobertura, corte, fachadas e detalhe
Fonte: Anésia Barros Frota e Alessandra Rodrigues Prata Shimomura.

[Parte 4

Aprendendo com os edifícios existentes



Edifícios em uso: o desempenho ambiental de ícones de uma geração

14

Joana Carla Soares Gonçalves
Klaus Bode

Em resposta às pressões globais por uma maior eficiência energética e melhor qualidade ambiental dos edifícios, combinadas às vantagens mercadológicas da imagem do edifício *verde*, principalmente daquele do setor comercial, a última década do século XX marcou o início de uma nova geração de edifícios, aclamados como de melhor desempenho ambiental.

Nesse momento, é prudente chamar atenção para o fato de que a busca pelo edifício de melhor desempenho ambiental, ou mais *verde*, nos principais distritos financeiros do mundo, tem resultado em uma série de projetos de questionável desempenho ambiental e energético, como colocado por Gonçalves e Umakoshi (2010). Por outro lado, deve-se reconhecer que soluções arquitetônicas diferenciadas e criativas, combinadas a novas possibilidades tecnológicas, podem ser identificadas em casos particulares.

Como já mencionado na introdução desta obra, a revisão crítica do desempenho ambiental de edifícios em uso guardam uma posição central no processo de aprendizado sobre o real potencial de determinadas soluções de projeto, englobando o comportamento do usuário e suas preferências de espaço e ambiente, bem como o aprimoramento de questões técnicas. De forma geral, a realidade de uma geração recente de edifícios de diferentes tamanhos, formas, contextos climáticos e funções revela a eficácia de projetos simples do ponto de vista tecnológico, porém resilientes às variações do clima externo e convidativos à intervenção do usuário na busca pelo seu conforto ambiental.

14.1 A sede do Commerzbank em Frankfurt am Main, Alemanha: ícone de eficiência energética e qualidade ambiental em edifícios de escritório

Desde os anos 1990 até os dias atuais, as cidades alemãs e a cidade de Londres, em particular, concentram um importante foco de inovação, diferenciando-se dos padrões da arquitetura comercial norte-americana que, por sua vez, segue influenciando a produção de edifícios classificados como *verdes* na América do Sul e ao redor da Ásia.

informações, a central de controle dos sistemas prediais (*building management system*) opta pela ventilação natural ou mecânica em cada zona do pavimento, caracterizando o chamado modo misto de climatização.

Além da setorização horizontal dos sistemas, a compartimentação vertical permite que uma vila inteira esteja aberta para a ventilação natural, enquanto aquela imediatamente superior ou inferior esteja operando com a ventilação mecânica, dependendo principalmente das condições de vento, como já mencionado. Apesar da automatização, o controle de aberturas permite interação dos ocupantes, que tem a opção de acionar a abertura das janelas mediante condições externas favoráveis à ventilação natural, assim como decidem sobre a abertura e o fechamento das persianas de bloqueio da radiação solar direta.

No que tange aos sistemas prediais de climatização, a busca pela máxima eficiência energética levou à separação das funções, ou seja, a ventilação mecânica foi separada do aquecimento e do resfriamento ativo. Assim, nos períodos mais quentes do ano, um sistema de forros gelados atua na remoção de carga térmica dos ambientes de escritórios, podendo ser combinado à ventilação natural ou mecânica, dependendo das temperaturas externas e da velocidade dos ventos. No caso de ventos fortes, mesmo com temperaturas aceitáveis, as janelas se fecham automaticamente, requisitando a ventilação mecânica.

14.1.2 Desempenho ambiental do edifício em operação

As informações sobre o desempenho ambiental do Commerzbank foram obtidas em uma série de visitas técnicas ao edifício, realizadas em 1998, 2002 e 2009, as quais foram assistidas pelo engenheiro Peter Muschelknautz, encarregado pelo controle dos sistemas prediais desse edifício até 2010.

Como apresentado em Gonçalves e Umakoshi (2010), avaliações do desempenho ambiental realizadas durante a fase de projeto confirmaram a hipótese de que as zonas internas de escritórios voltadas para os átrios apresentam a menor demanda anual por aquecimento e arrefecimento e as melhores condições para a ventilação natural, como consequência das condições microclimáticas resultantes no interior das vilas protegidas pelo fechamento dos terraços.

Maiores restrições à ventilação natural são identificadas com mais frequência nos pavimentos da última vila (aberta totalmente ao ambiente externo), em virtude da frequência de ventos de alta velocidade. Da mesma forma, voltando-se para as fachadas externas, por conta do efeito dos painéis de proteção, as janelas só precisam ser fechadas quando expostas a ventos acima de 9 m/s. Como resultado, o edifício como um todo usufrui da ventilação natural por aproximadamente 80% do ano, com uma variação de mais ou menos 5%.

A combinação do átrio central com os terraços laterais cria uma zona de mediação climática, um ambiente de transição entre o clima externo e o interior do edifício. No verão, a temperatura máxima registrada nos terraços pelo sistema de automação predial mostrou não ultrapassar os 27 °C. No inverno, um sistema de aquecimento sob o piso, alimentado pela rede urbana de distribuição de calor (*district heating*) faz com que a temperatura mínima não caia abaixo dos 5 °C.

Em 2002, quatro anos após a conclusão do edifício, as nove estações meteorológicas dos terraços foram removidas, permanecendo apenas a da cobertura. O objetivo dessa medida foi a simplificação dos controles de automação predial no

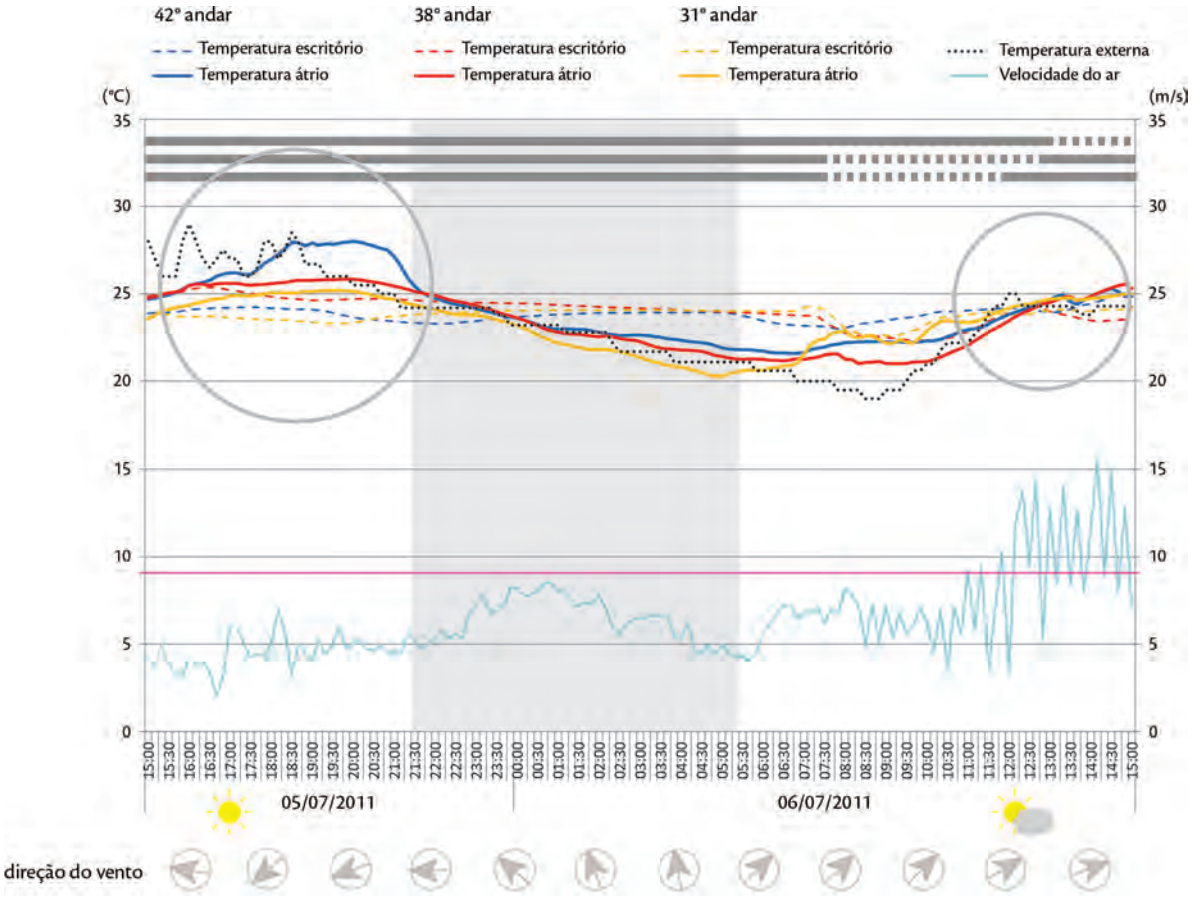


Fig. 14.15 Gráfico de temperaturas do ar registradas nos dois dias de medição, no terraço, no átrio e nos escritórios
Fonte: Lee (2011).

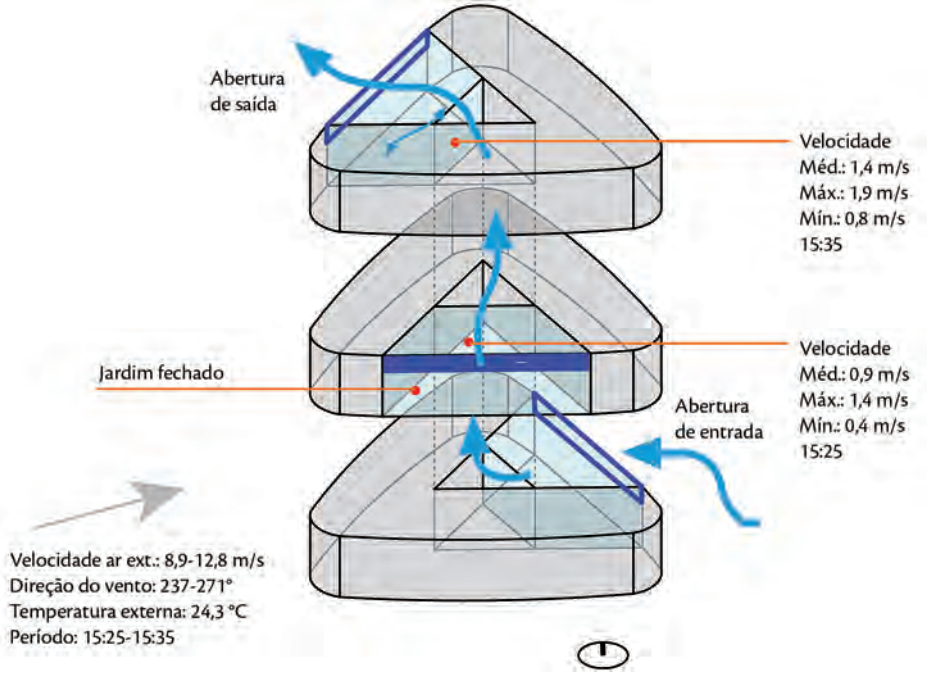


Fig. 14.16 Desenho esquemático da terceira vila de escritórios, com a indicação de medições da velocidade do vento em diferentes pontos. O esquema mostra o fechamento da abertura do terraço voltado para os ventos predominantes.
Fonte: Lee (2011).

ventilação por efeito chaminé ao longo do átrio central é mantida com a abertura dos dois outros terraços, e a velocidade do vento no terraço mais elevado da vila chegou próximo aos 2,0 m/s.

A tecnologia pioneira de resfriamento evaporativo: lições de edifícios norte-americanos, um estudo de avaliação pós-ocupação

15

Rosa Schiano-Phan

O provado impacto ambiental da dependência exagerada dos sistemas ativos de resfriamento de edifícios, o conhecido condicionamento de ar, tem motivado nas últimas décadas o desenvolvimento de pesquisas na busca de soluções passivas alternativas. É sabido que, arquitetonicamente, a dependência do resfriamento ativo desconecta os ocupantes do seu contexto climático, criando espaços selados, nos quais o edifício não responde mais ao clima externo. Entre várias linhas de pesquisa sobre resfriamento passivo nos últimos 20 anos, o resfriamento evaporativo passivo por efeito de vento (inverso ao efeito chaminé), em inglês conhecido como Passive Downdraught Evaporative Cooling (PDEC) tem provado ser uma alternativa viável aos meios ativos convencionais de resfriamento de edifícios em climas quentes e secos.

Dando sequência ao trabalho teórico e experimental de Givoni (1994) em Israel, e de Cunningham e Thompson (1986) no Arizona, há mais de duas décadas, o número de edifícios pioneiros que adotaram essa técnica inovadora tem crescido ao redor do mundo. Essa primeira geração de edifícios demonstra a aplicação do PDEC como parte de uma estratégia maior, em prol do melhor desempenho ambiental da edificação. Entretanto, dada a sua originalidade, são vários os questionamentos sobre a incorporação dos sistemas de PDEC, incluindo dúvidas sobre a integração arquitetônica, a eventual interação com os sistemas prediais e a percepção e controle dos usuários.

Quatro estudos de casos com a técnica de PDEC foram identificados nos Estados de Arizona, Utah e Califórnia, nos Estados Unidos, para os quais um estudo de pós-ocupação foi realizado em 2010, como parte de um projeto de disseminação dessa tecnologia, com o apoio da Comissão Europeia. Esses edifícios utilizaram diferentes tipos de sistema PDEC, acompanhados de diferentes estratégias de integração com o projeto arquitetônico e de sistemas prediais. Como no caso de outras estratégias passivas, o estudo mostrou que a percepção de satisfação dos usuários com a estratégia é influenciada pela possibilidade de controle sobre as condições do seu ambiente.

A demanda pelo resfriamento de edifícios é crescente em diferentes partes do mundo, uma vez que a maior parte da população global vive em regiões de clima quente espalhadas pelo globo. Somado a isso, a internacionalização da cultura do ambiente climatizado vem alimentando nos últimos anos o mercado mundial do condicionamento, que ainda cresce rapidamente (IEA, 2011).

Nos Estados Unidos, o condicionamento de ar para o resfriamento de ambientes internos é responsável por aproximadamente um quarto da energia consumida

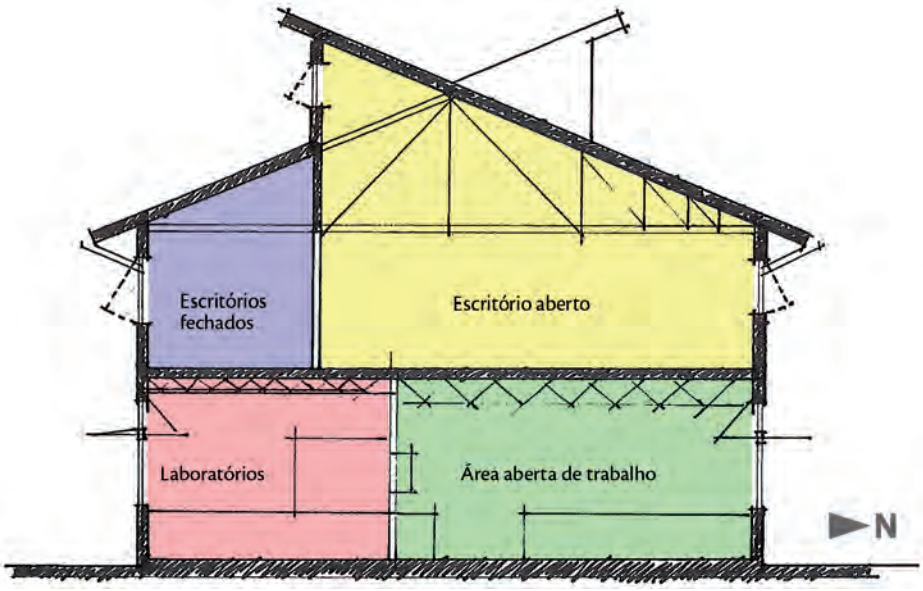


Fig. 15.15 Corte norte-sul do edifício do Global Ecology Research Centre
Fonte: adaptado do EHDD Architecture.

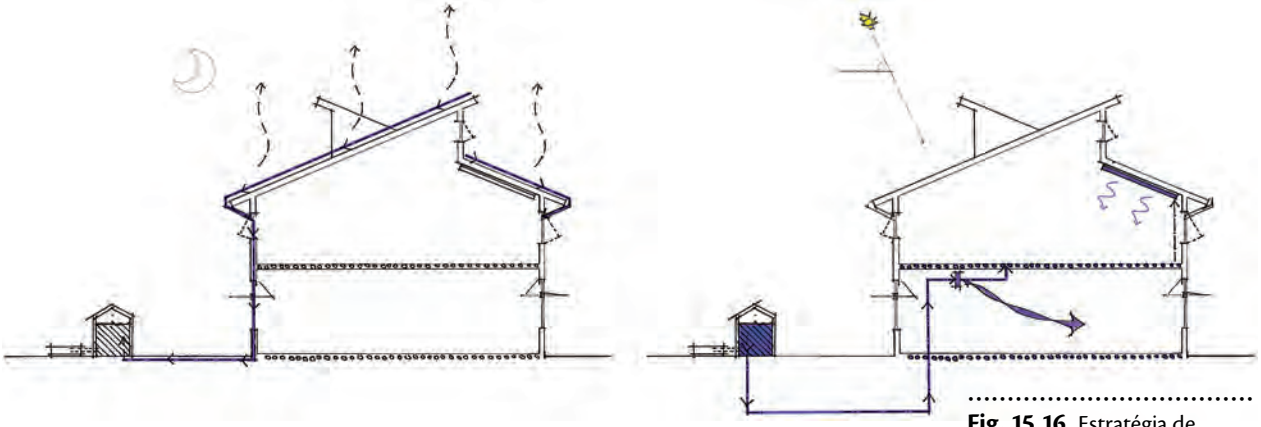


Fig. 15.16 Estratégia de resfriamento radiante – modo noturno e modo diurno
Fonte: adaptado do EHDD Architecture.

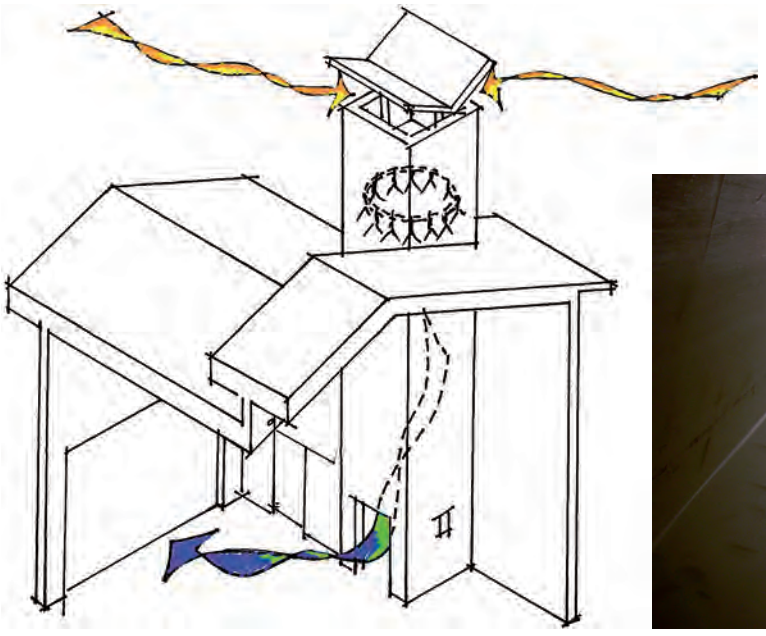


Fig. 15.17 Projeto do PDEC para o átrio de entrada
Fonte: adaptado de EHDD Architecture.

Fig. 15.18 Vista do interior da torre de resfriamento
Foto: Rosa Schiano-Phan.

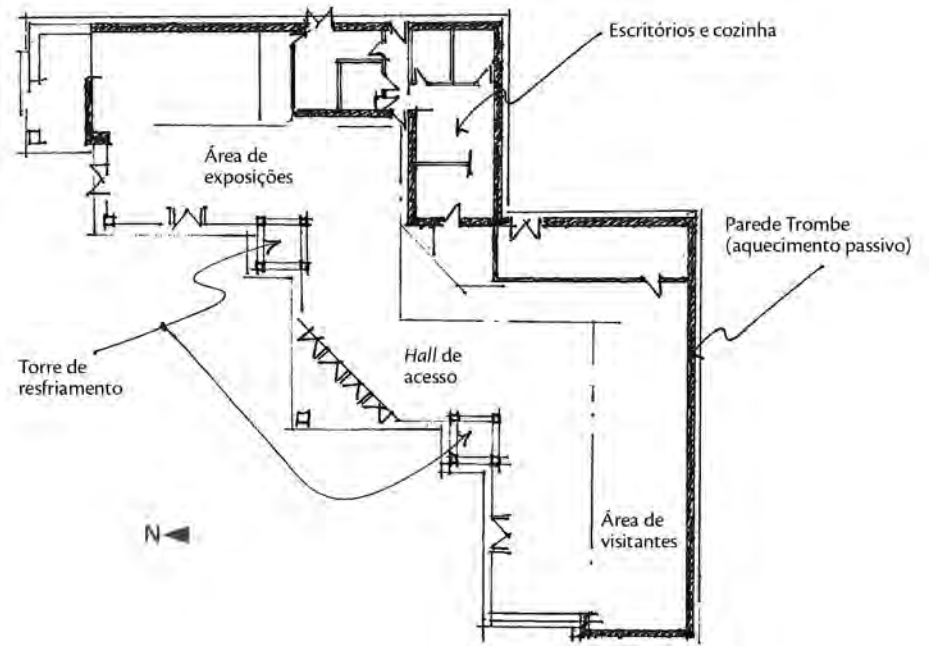


Fig. 15.21 Planta do edifício principal do Zion National Park Visitor Centre
Fonte: adaptado de Torcellini et al. (2005).

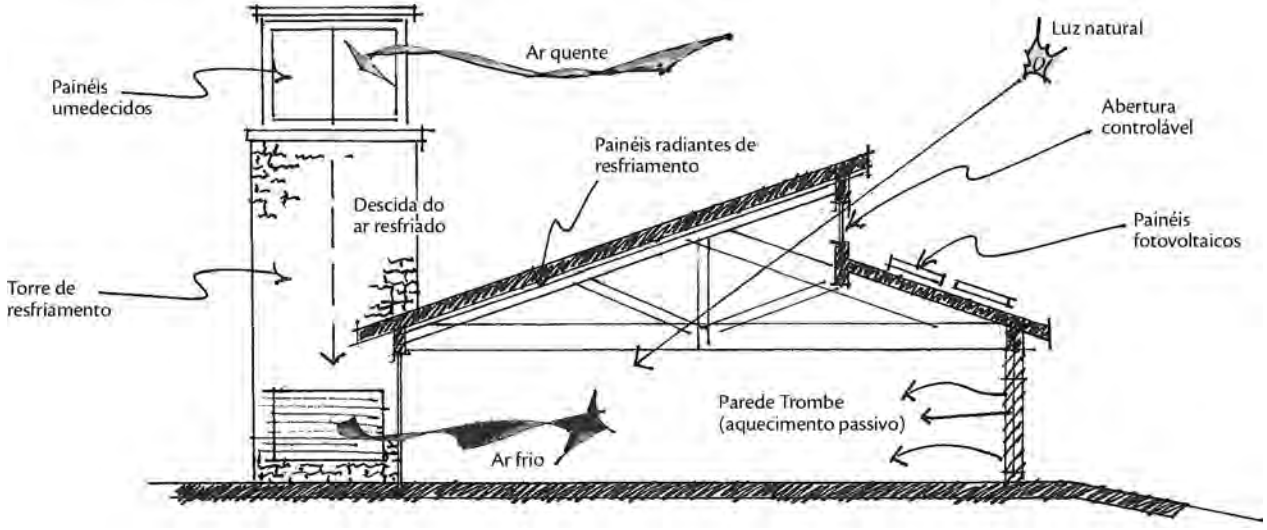


Fig. 15.22 Corte do edifício principal do Zion National Park Visitor Centre, mostrando a operação da torre de resfriamento e outras estratégias para o desempenho ambiental do edifício
Fonte: adaptado de Torcellini et al. (2005).

15.2 A percepção dos usuários

15.2.1 Federal Courthouse, Phoenix, Arizona

A pesquisa de satisfação dos usuários no edifício do Federal Courthouse, em Phoenix, focou no desempenho do átrio e dos escritórios circundantes, localizados no piso térreo, onde a influência direta e indireta do sistema PDEC é potencialmente maior. A pesquisa mostrou a insatisfação dos usuários com relação ao conforto térmico, à qualidade do ar e ao controle sobre as condições ambientais (Fig. 15.25). A relação entre ruído e conforto deslocou-se para condições mais satisfatórias, enquanto que "imagem aos visitantes" recebeu uma resposta média. A grande maioria, 88%, destacou o problema de temperaturas altas nos dias de verão.

As previsões de projeto sugeriram uma diferença de temperatura média de 11 °C entre o átrio e o exterior. Comparativamente, medições realizadas em outubro

A reabilitação de edifícios

16

Joana Carla Soares Gonçalves (seção 16.1)

Nick Baker (seção 16.2)

16.1 O porquê da reabilitação de edifícios

O cenário crescente da população urbana mundial, que alcançou a marca de 50% na primeira década de 2000 e tem previsões de ultrapassar 75% em 2050, chama atenção não apenas para o tema da densidade urbana, mas também da contribuição do estoque existente de edifícios para a acomodação dessa população em centros urbanos consolidados. Um estudo realizado por Vattenfall (2007) estima que 53% do estoque residencial mundial disponível em 2030 virão de novos edifícios, enquanto os 47% restantes referem-se a edifícios existentes.

Obviamente, esses números variam de acordo com o contexto urbano e socioeconômico das cidades. No caso europeu, por exemplo, estima-se que aproximadamente 75% do estoque residencial necessário para 2050 já esteja construído (Kleemann, 2000; Ravetz, 2008), consequentemente, a requalificação de edifícios existentes é uma questão-chave nesses países.

Com relação ao impacto ambiental das edificações, de acordo com dados publicados por McKinsey (2009), em 2005 o setor era responsável por 18% das emissões globais de gases causadores do efeito estufa, predominantemente o dióxido de carbono, CO_2. Estudos de projeção do IPCC (International Panel of Climate Change) mostram que essa parcela pode subir para 30% em 2030 (Levine et al., 2007). De maneira geral, o impacto ambiental do setor está relacionado com a construção do edifício, e todos os processos industriais vinculados a ela, e também, se não principalmente, com o consumo de energia dos edifícios em uso e a origem dessa energia, ou seja, o tipo da energia primária.

Estima-se que a vida útil da estrutura de um edifício alto, de grande porte, seja igual a ou mais de 40 anos (podendo chegar a mais de 60 anos), e essa duração é equivalente para a envoltória (Sabbatini, 2007). Durante esse tempo, os edifícios consomem energia continuamente no seu uso e ocupação. Como regra geral, os usos finais da energia estão atrelados aos vários sistemas prediais, incluindo o sistema de iluminação artificial, sistemas de climatização, equipamentos (eletrodomésticos, no caso dos edifícios residenciais) e bombas e elevadores (para os edifícios altos).

Nos países industrializados (também classificados internacionalmente como membros da OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development),

Com respeito a impactos de natureza não ambiental, no caso de edifícios residenciais, um grande argumento contra a demolição e a construção de um edifício novo ao invés da reabilitação de um existente é a ruptura de padrões sociais e relações socioeconômicas já estabelecidas. A longo prazo, programas de reabilitação guardam o potencial de reter estruturas sociais existentes.

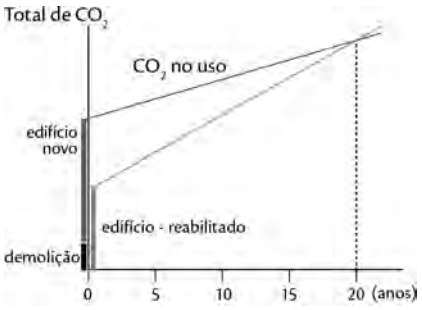


Fig. 16.2 Emissões de CO_2 para edifícios novos e reabilitados em função do tempo de uso. O ponto de empate depende da diferença no desempenho (indicada pela inclinação do gráfico) entre os dois casos
Fonte: Nick Baker.

16.2.3 O edifício, serviços prediais e ocupantes como sistemas

Simulações e análises de dados medidos em edifícios existentes mostram que a envoltória por si só não é capaz de determinar o desempenho energético final do edifício. A Fig. 16.3 apresenta os três subsistemas atuantes no desempenho ambiental e energético de um edifício: o projeto do edifício propriamente dito, os serviços prediais e os ocupantes, cada um com peso 2, aproximadamente.

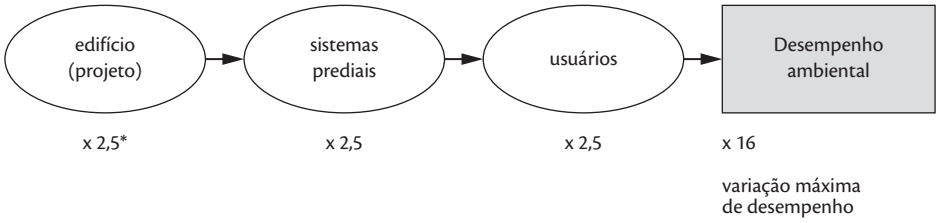


Fig. 16.3 O projeto, os serviços prediais e ocupantes como fatores de influência no desempenho ambiental dos edifícios. Um edifício mal projetado pode exigir muito dos serviços prediais, que, se mal administrados, resultam em alto consumo de energia. O inverso também pode acontecer. O impacto desses fatores resulta em grandes disparidades no consumo de energia de edifícios similares
Fonte: Nick Baker.

Quando um edifício projetado de forma inadequada é combinado a sistemas também impróprios e mal gerenciados, o desempenho energético resultante pode ser dramaticamente pior do que o de um edifício de situação inversa. Essa grande variação de desempenho pode ser vista na Fig. 16.4. É interessante notar que o edifício nº 92, na extrema direita, foi construído em 1987 e reformado em 1992. Os consumos mais altos de energia observados na Fig. 16.4 são referentes ao ar-condicionado e à iluminação artificial. O ponto a ser destacado nessa análise comparativa é a variação no consumo de energia em toda a amostra provável de ser encontrada em qualquer contexto climático, não apenas nas cidades de clima frio e temperado do Reino Unido.

Sob o ponto de vista da eficiência energética do edifício em operação, essa evidência enfraquece o argumento que favorece o edifício novo sobre a reabilitação do existente, uma vez que mostra como as propriedades inerentes ao edifício como projeto e construção são apenas um dos fatores determinantes no seu desempenho ambiental e energético final, em uso e ocupação. Por outro lado, sabe-se que o projeto, o gerenciamento dos sistemas prediais e o controle das condições ambientais internas podem resultar em um bom desempenho ambiental tanto no edifício novo quanto no reabilitado.

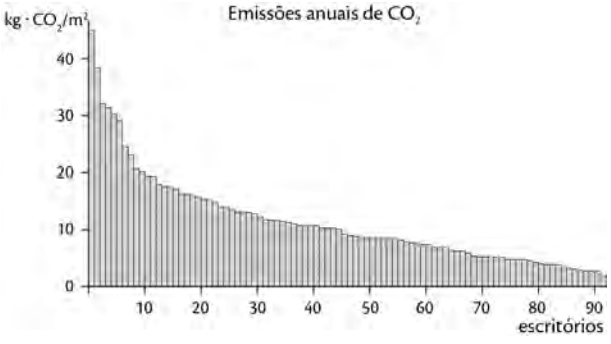


Fig. 16.4 Emissões anuais de CO_2 por m^2 para 92 edifícios de escritórios localizados no Reino Unido. A variação de até vinte vezes entre as emissões dos vários casos é um demonstrativo do efeito combinado dos fatores edifício-projeto, serviços prediais e ocupantes
Fonte: Nick Baker.

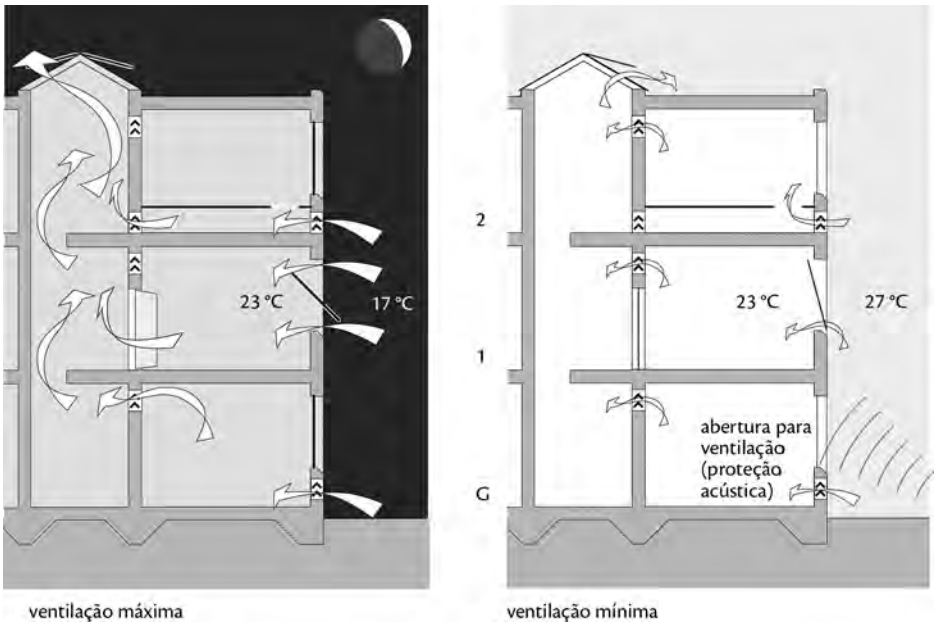


Fig. 16.8 Corte esquemático de um edifício residencial, em que é utilizada a ventilação noturna para maximizar as condições de conforto no período noturno e diurno. Fonte: Nick Baker.

o acesso do Sol) e a ventilação no período diurno (mais precisamente no período da tarde) aproxima a temperatura interna da externa –, o aproveitamento da ventilação noturna sem a abertura diurna propicia, por conta do efeito da massa térmica da construção, temperaturas mais baixas do que as exteriores durante o dia, as quais são mantidas até a noite, quando chega a ocupação.

Já em edifícios cuja principal ocupação acontece no período diurno, pelo efeito das cargas térmicas internas, mesmo com o aproveitamento da massa térmica e da ventilação noturna, o uso da ventilação diurna tem um papel crucial na remoção dos ganhos de calor, que dificilmente seriam completamente absorvidos pela massa térmica interna. Ou seja, o grande diferencial na maior ou menor eficiência da ventilação noturna são os ganhos de calor interno, associados à ocupação.

Dessa maneira, há uma diferença crítica na estratégia de ventilação e na infiltração da envoltória quando em edifícios condicionados artificialmente e naturalmente. Portanto, medidas de reabilitação como a redução da infiltração e o aumento do isolamento do envelope devem ser avaliadas conforme o modo de operação predominante do edifício.

Edifícios residenciais

Quando se fala em edifícios residenciais, a ênfase muda do período diurno de ocupação para o noturno; a criação de condições de conforto térmico no período noturno, quando os ocupantes estão dormindo, pode ser um desafio. Na predominância de condições de calor, as altas taxas de ventilação desejáveis, que precisam de aberturas generosas, podem ser comprometidas por considerações sobre o controle de ruídos, privacidade e segurança. Indo mais além, é importante evitar ganhos de calor no período diurno e o acúmulo na massa térmica da construção, que podem resultar em temperaturas elevadas durante a noite. Contudo, nos períodos mais amenos ou frios, a estratégia se inverte e o acúmulo da radiação solar durante o dia, na massa térmica da construção, passa a ser importante para o conforto térmico e, em casos mais extremos, uma alternativa à redução ou à eliminação da carga térmica de aquecimento.

O contexto europeu da reabilitação de edifícios

17

Paula Cadima (seção 17.1)

Jorge Rodríguez Álvarez (seção 17.2)

17.1 Mais conforto e menos energia na renovação de edifícios habitacionais em climas mediterrânicos

Esta reflexão sobre o desempenho ambiental e energético de edifícios se concentra nos aspectos de concepção do projeto de reabilitação ambiental arquitetônica e analisa algumas soluções técnicas e construtivas para edifícios de habitação no sul da Europa. Apresenta alguns resultados de vários projetos europeus financiados pelo programa Intelligent Energy Europe (IEE). São apresentadas soluções para a envolvente dos edifícios envidraçados e tratamentos da cobertura na perspectiva de atingir o conforto térmico tanto no inverno como no verão nos climas mediterrânicos.

A renovação dos edifícios habitacionais é um grande desafio internacional para enfrentar as alterações climáticas. Renovar os edifícios existentes não só proporciona um grande potencial para a redução das emissões de carbono e de consumo de energia como também oferece uma oportunidade de melhorar as condições de conforto térmico a par dos novos padrões de conforto e de consumo das sociedades modernas.

Os projetos europeus no âmbito do programa Intelligent Energy Europe têm disseminado muita informação sobre as oportunidades e as dificuldades na renovação de blocos de apartamentos de habitação social na Europa (Cadima; Noel; Sutherlan, 2008). A maioria desses projetos tiveram como objetivo a reabilitação de blocos de habitação para um melhor desempenho de conforto ambiental, realçando, sobretudo, os aspectos energéticos.

Na maioria dos países da União Europeia, a necessidade nominal de energia é em média de 50 $kWh/m^2 \cdot$ ano em virtude das exigências térmicas regulamentares (Edifícios e energia, 2013). No entanto, estudos recentes demonstram que o objetivo da Comissão Europeia para a realização de edifícios com balanço energético próximo do zero está se tornando cada vez mais uma realidade mesmo na reabilitação dos edifícios existentes (Trachte; Herde, 2010).

Nem sempre as necessidades de renovação para melhoramento da qualidade ambiental dos edifícios residenciais estão associadas aos problemas do conforto térmico. Muitas vezes, as infiltrações de água, o bom funcionamento dos sistemas de esgotos, os problemas acústicos e outras questões relacionadas à falta de espaço são

(por exemplo, que a parede tenha certo mínimo de inércia térmica etc.). Vale colocar aqui que esse método pode ter sido útil antigamente, mas está completamente ultrapassado, já que compromete a inovação e análises especializadas em favor de padrões mínimos comuns. Além do mais, ele não discrimina entre mediocridade e alta qualidade, representando, assim, um desencorajamento para o mercado a se comprometer com pesquisa e a desenvolver o conhecimento.

- a segunda opção é definir metas de desempenho sem especificar regras sobre como alcançá-las. Neste caso, a concessão é subordinada ao desempenho alcançado, em vez da repetição de soluções pré-estabelecidas. Assim, o projeto deve demonstrar a seu suposto desempenho por meio de indicadores que podem ser verificados posteriormente. Essa opção é beneficiada pela capacidade de equipes de projeto bem qualificadas.

Entre os programas listados no Quadro 17.1, os subsídios para auditorias em energia implementados na Finlândia oferece um bom custo-benefício, com um investimento um tanto quanto modesto. Auditorias energéticas fornecem informações específicas sobre o estado e o desempenho de edifícios existentes, juntamente com a possibilidade de avaliar propostas que são específicas para cada caso. Dessa maneira, o auditor se torna responsável por prever a economia permitindo ao proprietário tomar decisões com maior confiança.

Quadro 17.1 Alguns dos programas de renovação pela Europa

País	Descrição	Investimento	Metas/indicadores de performance
Áustria	Incentivos públicos.	1,78 bilhões de euros (2006-2010).	Consumo de energia reduzido a 25-45 kWh/m^2; 10.000 novos empregos.
Bélgica	Empréstimos sem juros.	1 bilhão de euros (2014).	Consumo de energia reduzido; 5.000 novos empregos.
Finlândia	Subsídios de 40% a 50% em auditorias energéticas.	23,1 milhões de euros (1992-2007).	11 TWh de economia de energia (1992-2007) equivalente a 360 milhões de euros; 6.800 edifícios avaliados.
França	Empréstimos preferenciais e poupanças com taxa zero e 2,5% de juros.	60 bilhões de euros (quantia esperada a ser levantada, público-privado).	Não disponível.
Alemanha	Subsídios e empréstimos para edifícios novos e renovações energeticamente eficientes.	16,9 bilhões de euros (2009) de fundos públicos.	3,1 milhões de casas energeticamente eficientes.
Suíça	Taxa sobre as importações de gasolina e diesel para apoiar a renovação energética dos envelopes de edifícios existentes.	118 milhões de francos suíços (2010).	240.000 t em redução de CO_2; 6.750 projetos concluídos.
Reino Unido	Cobrar fornecedores de eletricidade para cumprir as metas de redução de carbono.	Não disponível.	Não disponível.
Espanha	Incentivos financeiros, subsídios e empréstimos com baixas taxas de juros.	30 bilhões de euros (2011-2020), sendo 2,8 vindos de fundos públicos.	5.567 ktep de energia primária economizada em edifícios existentes até 2020.

Fonte: dados da Espanha: IDAE (Instituto para la Diversificacion y Ahorro de la Energía); e dos demais países: BPIE (Buildings Performance Institute Europe).

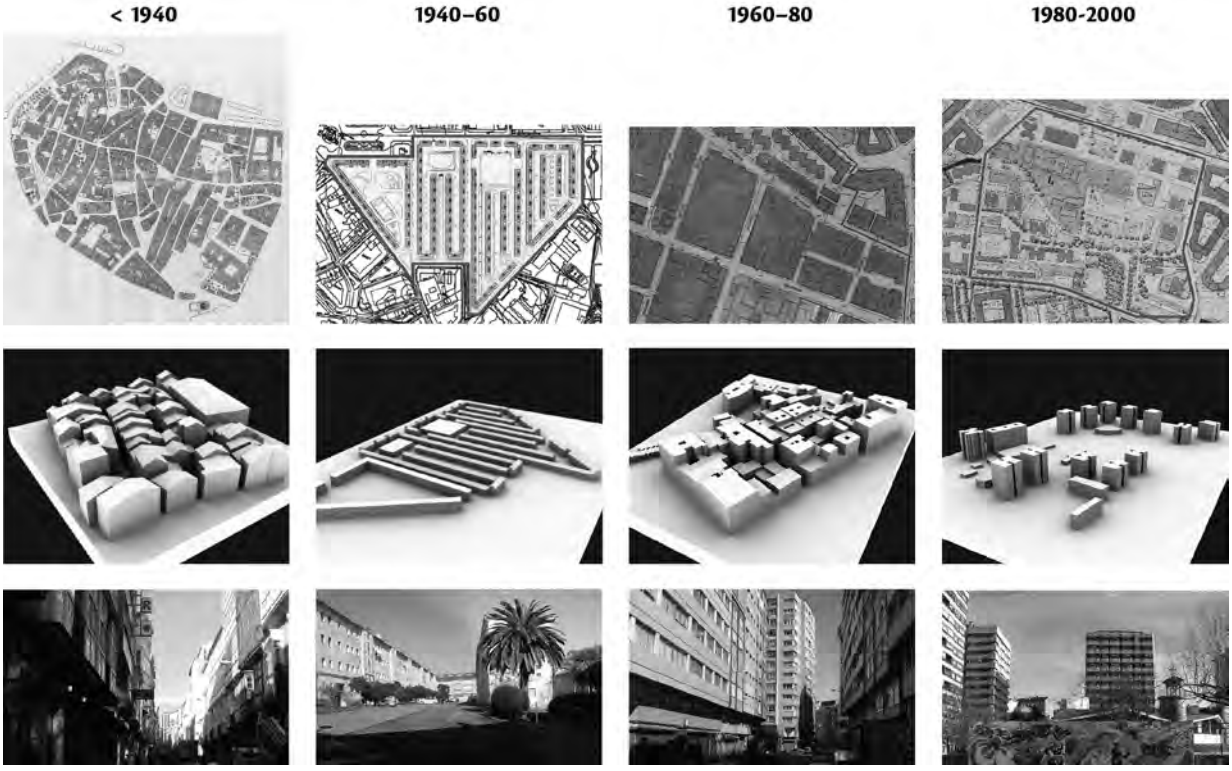


Fig. 17.19 O contexto urbano dos estudos de caso
Fonte: Jorge Rodriguez Álvarez.

assentamentos fora dos centros históricos. As ruas se tornaram mais largas, permitindo que edifícios se beneficiassem do sol e da ventilação natural;

- *boom* imobiliário dos anos 1960 e 1970, que resultou numa expansão descontrolada da extensão da malha urbana, ocupando antigas plantações e áreas verdes. O tecido resultante é denso, apertado e indiferente ao acesso do sol ou dos ventos;
- aglomerações isoladas na periferia da cidade dos anos 1980 criou a possibilidade da captação da energia solar para o aquecimento passivo dos ambientes internos, mas, por outro lado, levaram à ocupação de áreas verdes e ao espalhamento da malha urbana.

Características do edifício

- *Sobrado tradicional (~1920)*

  A forma e geometria respondem à projeção linear dos lotes cumpridos e estreitos, com 4 m a 7 m de largura por 12 m a 15 m de profundidade. Em termos de ocupação, o edifício inclui uma loja ou oficina de trabalho no térreo e dois apartamentos nos níveis superiores. As fachadas e paredes internas são feitas de blocos de granito com espessura de 50 cm a 80 cm, resultando em um coeficiente de condutibilidade térmica de aproximadamente (U) 2,5 $W/m^2 \cdot K$. O telhado inclinado é feito de telhas cerâmicas e suportado por uma estrutura de madeira. Antigamente, o espaço abaixo do telhado era uma zona não ocupada ventilada, protegendo o edifício de problemas de umidade; hoje, a tendência é de utilizar essa área como áreas de estoque.

O desempenho ambiental e a requalificação de edifícios altos no centro de São Paulo, com foco na habitação de interesse social

18

Joana Carla Soares Gonçalves
Joanna Perez Conceição
Sandra Mayumi Morikawa
Mônica Dolce Uzum

Ao contrário do que é visto nas cidades dos países industrializados, onde grande parte do estoque de edifícios necessário até 2050 já está construído (Kleemann et al., 2000; Ravetz, 2008), não se pode negar que o grande atrativo de mercado do setor da construção em países em desenvolvimento e de economias emergentes continua sendo a construção de edifícios novos (WBCSD, 2007). Segundo informação publicada pela Agência Câmara de Notícias (2011), só no Brasil o déficit habitacional em 2011 chegava à marca dos 5,5 milhões de unidades.

Contudo, vale destacar que em grandes cidades de economias emergentes, como São Paulo, a requalificação e a reocupação de edifícios existentes, localizados em bairros centrais, têm um papel fundamental para as políticas habitacionais, com ganhos socioeconômicos e ambientais associados às vantagens do adensamento populacional, como aqueles resultantes da redução dos deslocamentos urbanos.

18.1 O centro de São Paulo e seus edifícios altos residenciais

Em São Paulo, a reabilitação de edifícios vazios e deteriorados para o uso residencial em bairros do centro vem despertando o interesse do mercado e do poder público, tendo em vista o valor de venda ainda alto do imóvel localizado na região central, e todas as vantagens associadas à infraestrutura urbana de serviços básicos já instalada. Em 2004, a Emurb (Empresa Municipal de Urbanização) anunciou o plano de intervenção no centro intitulado Ação Centro, com o objetivo principal de criar oportunidades para o mercado para a habitação de interesse social e, juntamente com isso, promover a requalificação de determinadas áreas urbanas centrais. Uma das áreas de maior projeção desse projeto de intervenção pública foi o conjunto de quadras do bairro de Santa Ifigênia, conhecido como região da Luz, inicialmente denominado Perímetro de Reabilitação Integrada do Hábitat da Luz (PRIH-LUZ), abrangendo 25 quarteirões e aproximadamente 300.000 m^2. Atualmente, essa área coincide com o perímetro de incentivo fiscal da Prefeitura (PMSP, 2005). Em 2009, a Prefeitura anunciou os planos de um processo de transformação radical da região da Luz, visando ao adensamento construtivo e populacional desse conjunto de quadras, incluindo a demolição de uma grande parcela dos

18.4 Flexibilidade e sustentabilidade

18.4.1 Do comercial para o residencial

O exercício de projeto de conversão do edifício comercial para o residencial usou como referência as premissas do projeto Renova Centro, em desenvolvimento pela Cohab-SP. Da amostra de edifícios construídos originalmente para o uso comercial e selecionados pelo programa, verificou-se a altura média de 11 pavimentos (térreo mais dez). A malha urbana irregular do centro da cidade, com suas quadras e lotes de diversas dimensões é refletida na grande variação de proporções no conjunto dos edifícios analisados.

Em sua maioria, os edifícios seguem a tradição construtiva da década de 1960, tendo lajes de concreto, paredes externas de blocos de concreto e paredes internas de tijolos maciços. Com áreas de 170 m^2 até 460 m^2 em seus andares tipo, os edifícios podem apresentar plantas compartimentadas ou livres, exigindo uma grande alteração de *layout* em ambos os casos, para a sua requalificação e adaptação para o programa habitacional, especialmente por necessitarem de novas prumadas hidráulicas e elétricas (Figs. 18.7 e 18.8).

O fato de muitos dos edifícios apresentarem fachadas laterais cegas indica um desafio ainda maior para a mudança de *layout*, pois o acesso limitado à fachada acaba incorrendo no desenho de ambientes mais profundos. Com o intuito de cumprir os requisitos de iluminação e ventilação, muitos dos edifícios construídos há 50 anos ou mais já foram feitos com pátios centrais ou laterais. Morikawa (2012) verificou o desempenho ambiental das novas propostas, com foco na contribuição dos pátios para a ventilação e iluminação natural das unidades habitacionais, por meio de procedimentos analíticos de simulação computacional.

O alto valor imobiliário dos edifícios se torna um importante dado de projeto para a requalificação dos edifícios, pois, a fim de garantir a viabilidade dos empreendimentos, os edifícios do programa Renova Centro possuem uma média maior de

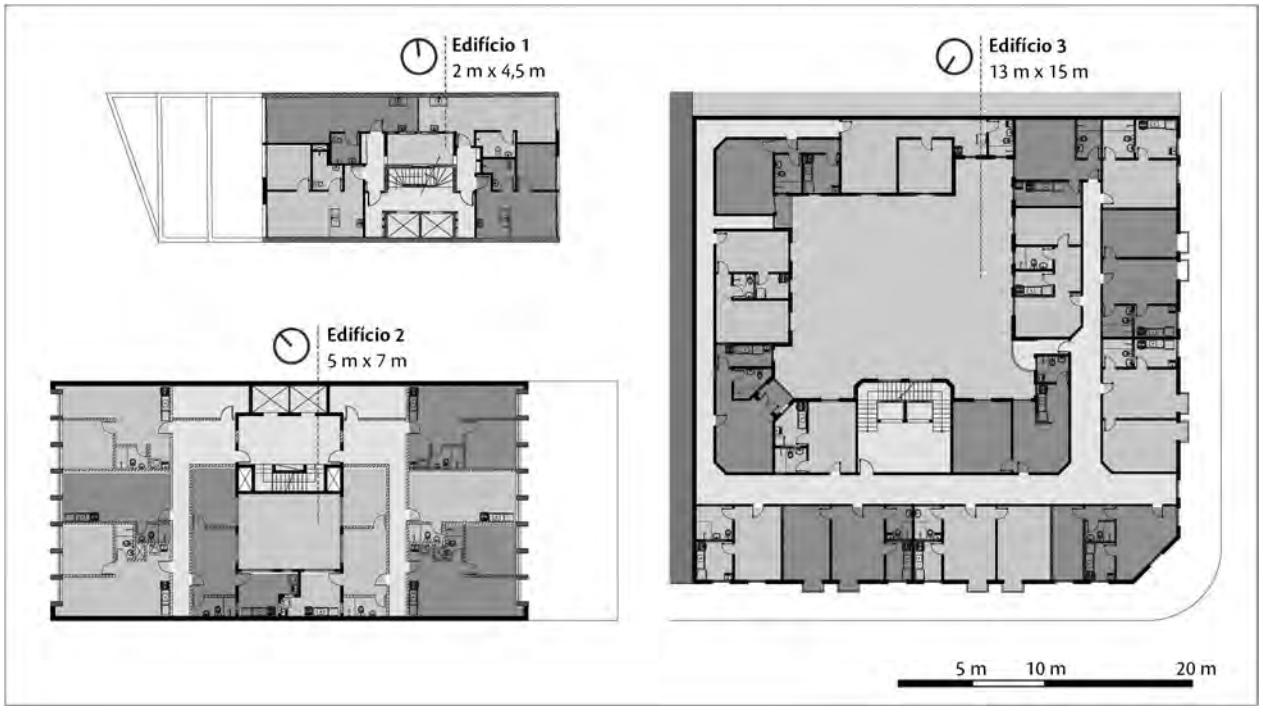


Fig. 18.7 Pavimento tipo de três dos edifícios do programa Renova Centro, em desenvolvimento pela Cohab-SP, com a proposta do novo *layout* de unidades residenciais
Fonte: Morikawa (2012).

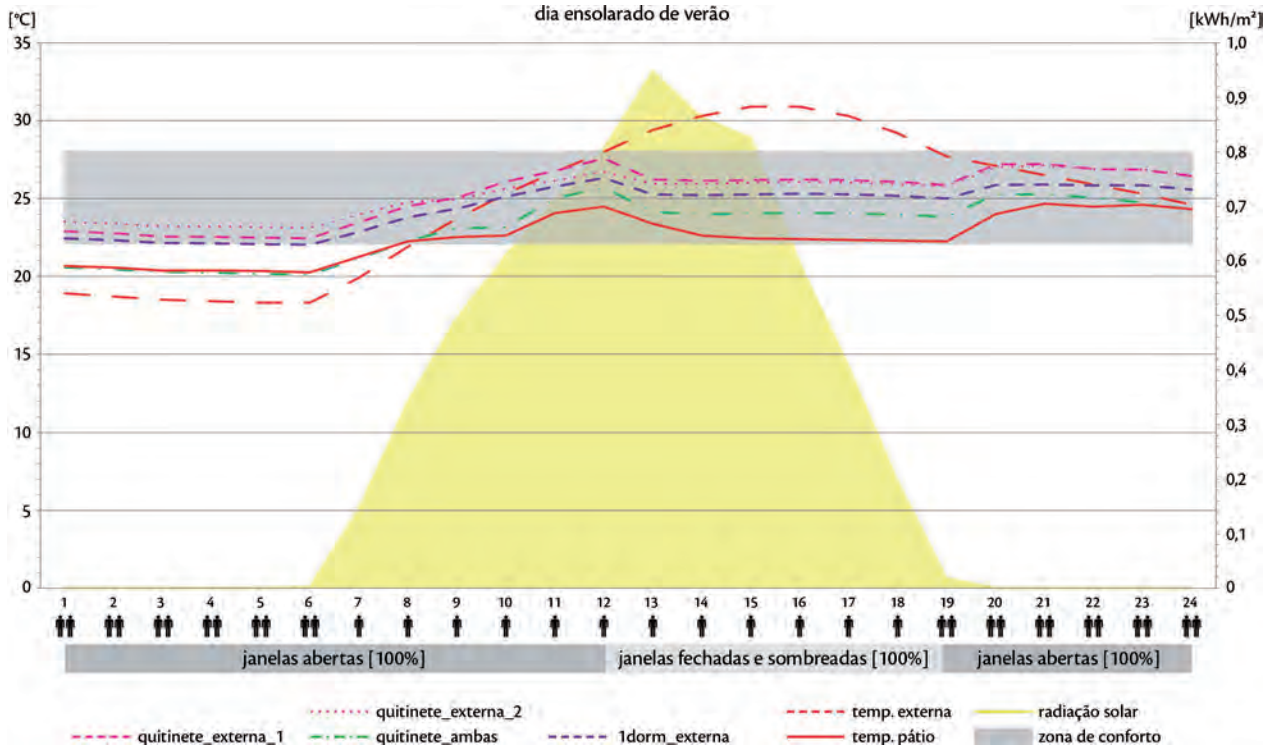


Fig. 18.14 Temperatura resultante no interior das unidades residenciais em um dia ensolarado de verão, considerando as janelas fechadas e sombreadas das 12h às 19h
Fonte: Morikawa (2012).

sofre um aumento de 10% dessas horas, quando movido dos andares mais baixos para os mais altos, enquanto a unidade de um dormitório sofre um aumento de 6% (Fig. 18.15). Estudos como esse são de grande utilidade para a distribuição das unidades no pavimento e, ao longo dos andares, apontando para os benefícios de colocar as unidades quitinete nos andares mais baixos junto aos pátios.

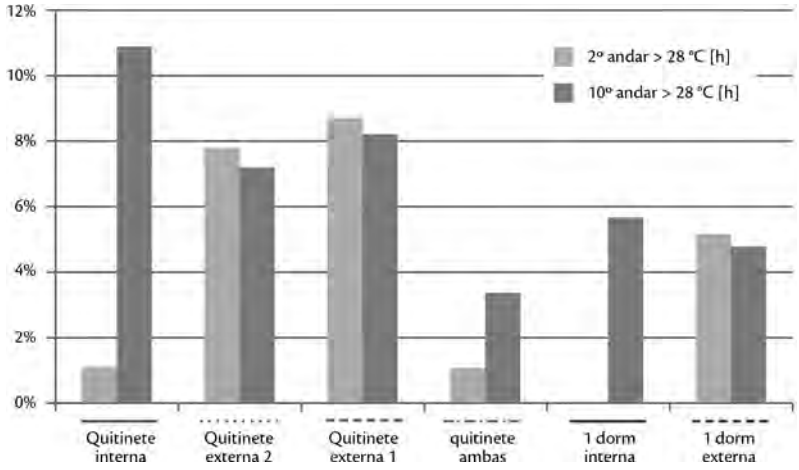


Fig. 18.15 Análise comparativa do número de horas acima do limite de 28 °C nas diferentes unidades, quando colocadas no 2º e no 10º andar
Fonte: Morikawa (2012).

Os estudos analíticos de Morikawa (2012) comprovam o potencial ambiental de uma serie de edifícios antigos localizados no centro da cidade, com pátios internos para a iluminação e ventilação natural, que podem exercer uma contribuição relevante no desempenho térmico e luminoso de unidades habitacionais, funcionando como mediadores da temperatura externa nos dias quentes do ano. Ou seja, os pátios representam uma oportunidade para a reocupação com qualidade ambiental desses edifícios.

A reocupação de edifícios multifamiliares no centro de São Paulo

19

Roberta Consentino Kronka Mulfarth (seção 19.1)

Maria Ruth Amaral de Sampaio (seção 19.2)

Karina Cavalcante de Oliveira (seção 19.2)

19.1 Uma reflexão sobre a questão ergonômica

19.1.1 A cidade de São Paulo e as escolhas do morar

Nos últimos anos, tem-se assistido na cidade de São Paulo um grande número de iniciativas com o objetivo de trazer mais moradores para as áreas centrais. O déficit habitacional aliado aos desgastes nos deslocamentos diários levou a um natural entendimento da necessidade de olhar de forma diferente para as áreas centrais. A riqueza na disponibilidade de transporte coletivo, quando comparada com outras áreas da cidade, e a vacância em um grande número de edificações permitiram que várias iniciativas começassem a se desenvolver com o objetivo não só de trazer mais pessoas para as áreas centrais, mas também, e principalmente, de tentar atrair *vida* em locais que perderam completamente a urbanidade.

Renova Centro, *Viva o Centro*, *Morar no Centro* e *Procentro* (Programa de Reabilitação da Área Central de São Paulo) são alguns exemplos desse processo de mudança de imagem do centro, que, além de refletirem uma tentativa de resposta não só a uma crescente demanda por habitações, evidenciam um esgotamento de áreas para novas edificações em consequência dos limites físicos impostos pelo crescimento e configuração da Região Metropolitana da Cidade de São Paulo (RMSP). Segundo Silva (2010), o perímetro que coincide com a área da *Operação Urbana Centro*, com 95 quadras, 158 edifícios vazios (68 totalmente vazios e 90 somente com o térreo ocupado), os quais possuem, na sua grande maioria, de 8 a 12 andares. Nessa mesma área, 12 edifícios sofreram reabilitação com recursos federais, estaduais e/ou municipais.

Como consequência desse processo, a mudança de paradigma relacionada à densidade populacional nas áreas centrais também ganhou destaque e esse novo olhar passou a avaliar a necessidade de uma cidade mais compacta. Mobilidade, poluição do ar com os deslocamentos (emissão de CO_2), qualidade de vida, entre outros fatores se tornaram parte dessa balança que procura equalizar o *morar* em uma cidade como São Paulo (Fig. 19.1).

Esse processo de mudança de imagem de um centro que se encontrava abandonado e alienado trouxe a discussão da intensificação do uso do solo em áreas centrais e, consequentemente, todos os "res" passaram a fazer parte desse universo

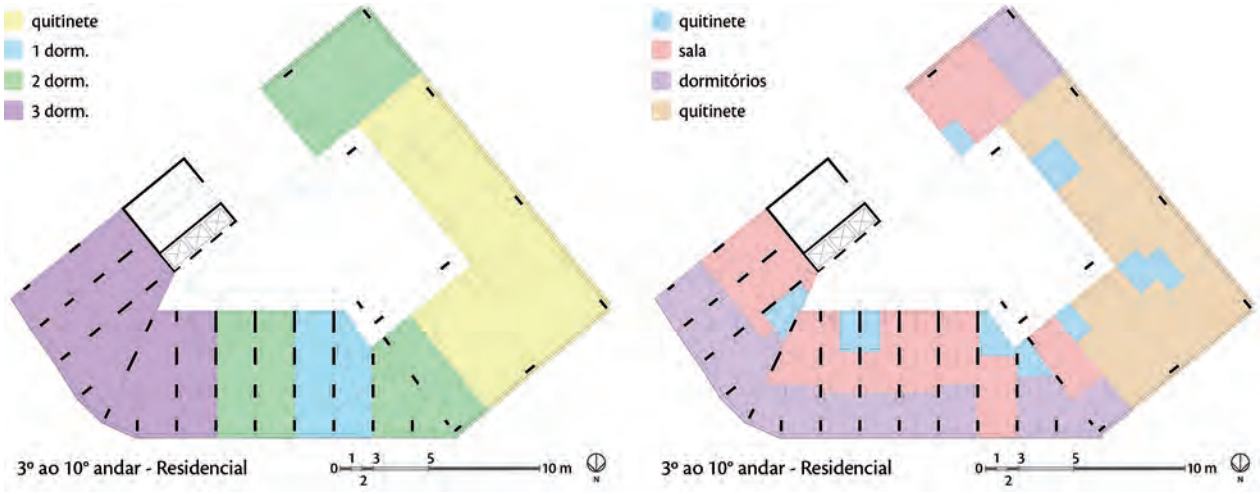


Fig. 19.11 Proposta de intervenção e aumento dos pavimentos do edifício Santa Josefa, com a transformação de algumas quitinetes em apartamentos de um e dois dormitórios
Fonte: Gonçalves, Mulfarth e Ferreira (2008).

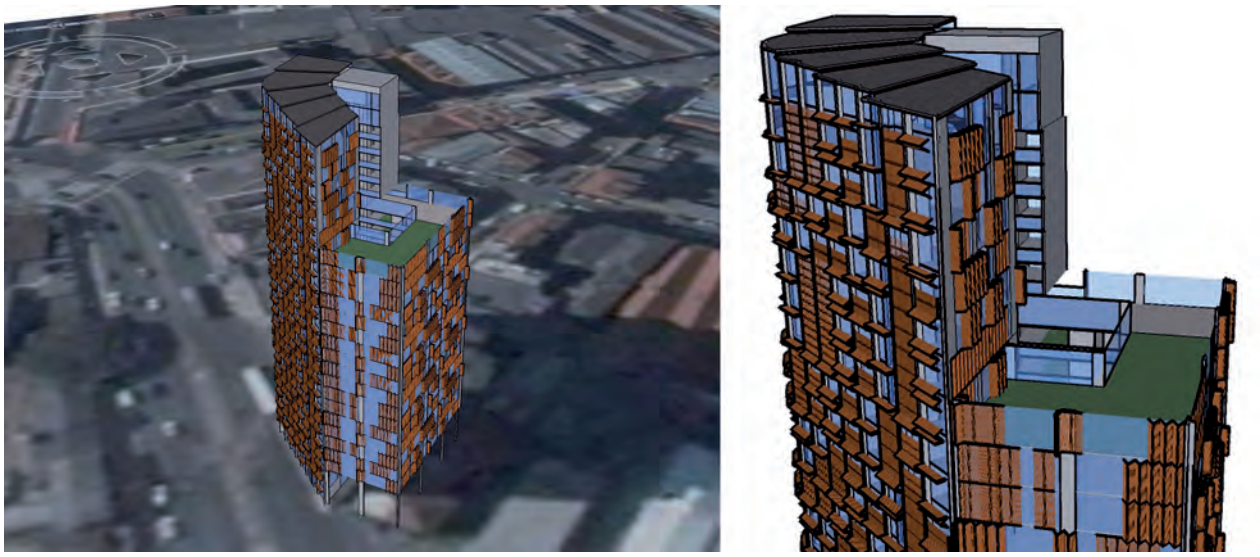


Fig. 19.12 Volumetria da proposta de ampliação do edifício Santa Josefa e proposta de nova fachada, com a inserção da proteção composta por elementos cerâmicos
Fonte: Gonçalves, Mulfarth e Ferreira (2008).

sobre a estrutura existente. Já no Santa Josefa os primeiros quinze andares foram estendidos para o lado, ao longo de um terreno vazio, criando um átrio aberto cercado por corredores internos.

Talvez a grande reflexão proposta com a readequação das unidades habitacionais tanto do São Vito como do Santa Josefa esteja não só na necessidade de redimensionamento das unidades e adequação ambiental tendo em vista a situação precária encontrada nos edifícios, em espaços muito aquém do mínimo desejável para uma família, mas também na revisão da função atual da habitação, com enfoque no interesse social.

Uma análise do desempenho ergonômico dessas unidades habitacionais constatou a necessidade de transformação do espaço da habitação, que além das funções básicas já conhecidas, também passou a incorporar funções que procuram se adequar às necessidades socioeconômicas dos moradores. Essas análises levaram à inserção de espaços destinados ao trabalho, com a função de gerar renda

in loco, incluindo: ensaio de profundidade de carbonatação, potencial de corrosão e extração de testemunhos, descritos a seguir.

Inspeção visual

Por meio de inspeção visual e tátil, com ajuda de um martelo à percussão, foram encontradas manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado, localizadas principalmente no subsolo e no térreo, compreendendo pilares, vigas e lajes. A manifestação patológica mais grave no âmbito de segurança estrutural se deu nos níveis avançados de corrosão da armadura (Fig. 19.17).

Fig. 19.17 Em (A), corrosão nas armaduras dos pilares do subsolo. Em (B), corrosão nas armaduras das vigas e lajes do subsolo
Fotos: Maria Ruth Amaral de Sampaio.

Aspectos geométricos e características das armaduras

Foram realizadas inspeções geométricas (levantamentos de medidas geométricas) dos elementos estruturais, como as dimensões das lajes, vigas e pilares e locação das peças estruturais para o levantamento de estrutura completa, viabilizando a elaboração da planta de fôrma de todos os pavimentos. A Fig. 19.18 mostra uma vista geral da planta estrutural do subsolo, com a locação dos pilares cilíndricos que foram reforçados. Os pilares originais que passaram por intervenção possuem seção circular de 54 cm de diâmetro, com armaduras longitudinais compostas por barras de bitola 20 mm a cada 50 mm (lisas, CA 25) e os estribos com bitola 4,2 mm a cada 200 mm.

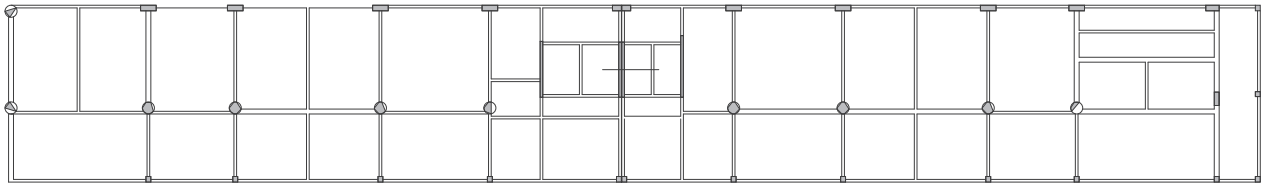


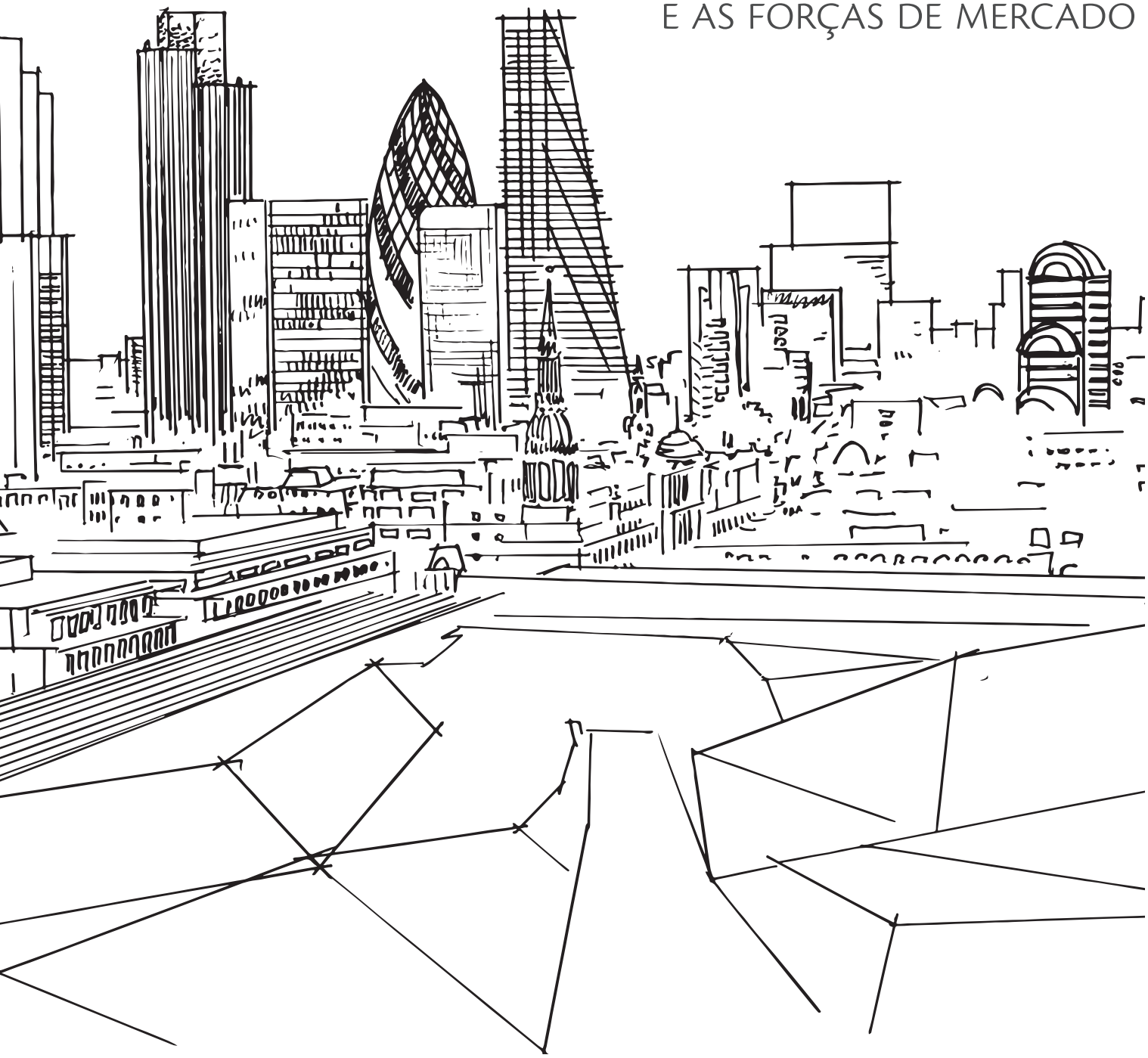
Fig. 19.18 Planta de locação dos pilares do subsolo
Fonte: Karina Cavalcante de Oliveira.

Profundidade de carbonatação e cobrimento

Os ensaios de profundidade de carbonatação são realizados para verificar a alcalinidade do concreto. Por meio desses ensaios em alguns pilares e vigas, conforme o método de ensaio RILEM CPC-18 (International..., 1998), verificou-se que a profundidade de carbonatação atingiu um valor médio de 36 mm com cobrimento de 25 mm, sendo a profundidade da carbonatação superior ao recobrimento das armaduras, o que apontou para o alto risco de corrosão.

[Parte 5]

Os desafios ambientais e as forças de mercado



Habitações mais sustentáveis para populações de baixa renda: fundamentos e propostas desenvolvidas pelo Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (Norie)

20

Miguel Aloyzio Sattler

A linha de pesquisa em Edificações e Comunidades Sustentáveis, do Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (Norie), possui um histórico de aproximadamente 17 anos, ao longo dos quais um dos temas que vêm sendo investigados é o de soluções habitacionais mais sustentáveis para populações de baixa renda. O Norie, que integra o PPGEC, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, está identificado com a área de construção desse Programa. Em 1995, o Norie deu início às suas atividades na área de sustentabilidade, juntamente com a Fundação de Ciência e Tecnologia, instituição à qual o autor estava também associado à época, por meio da realização de um Concurso Internacional de Ideias, que tinha como tema *habitações sustentáveis para populações carentes*.

Olhando para o conjunto de experiências do Norie, pretende-se compartilhar aqui algumas preocupações sobre os impactos causados à natureza, particularmente ao próprio ser humano, como resultado da transformação do ambiente natural em ambiente construído, assim como discutir algumas iniciativas para minorar tais impactos, por meio da inclusão de princípios de sustentabilidade no processo de produção de assentamentos humanos, em suas diversas escalas. A literatura citada aponta para a gravidade da situação atual, quando expressada por meio de uma série de indicadores, e levam à reconsideração das soluções atualmente adotadas, também nas diferentes escalas: edificações, bairros, cidades e municipalidades.

Espera-se que o conjunto de estudos e experiências conduzidas no Norie, aqui parcialmente descritas, possa contribuir para a concepção de edificações e comunidades mais sustentáveis, oferecendo uma melhor qualidade de vida para a sociedade, em particular, para as populações mais carentes. Assim, visa-se diminuir os impactos causados ao ambiente, de modo a, eticamente, preservá-lo sem limitar as oportunidades de seu usufruto, tanto pela espécie humana como por todas as demais, que compartilham este planeta.

20.1 Um breve retrospecto das pesquisas em habitação de interesse social

Para melhor justificar tanto o posicionamento aqui adotado em relação ao tema como o entendimento de algumas atividades envolvidas, julga-se importante apresentar um breve retrospecto, destacando os trabalhos relacionados

Adicionalmente, a publicação de Sattler (2007) ainda faz referência a outros estudos, como: paisagismo permacultural do entorno do protótipo (p. 242-250), avaliação de desempenho lumínico (p. 308-318), avaliação de desempenho acústico (p. 353-375), construção de um coletor solar com materiais de sucata (301-307), proposta de um forno multifuncional (p. 250-260) e outros.

20.2 Comunidades resilientes no cenário pós-pique do petróleo: uma reflexão sobre os desafios para a sustentabilidade

Conforme mencionado anteriormente, um conjunto de estratégias mais sustentáveis orientaram as propostas do Norie na concepção do Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis. Com o passar dos anos, observou-se um crescimento de preocupações globais com alguns temas específicos e de caráter global, como: o paulatino decréscimo da disponibilidade de recursos energéticos de origem fóssil; o aumento da poluição das águas, e o consequente decréscimo de acesso a fontes de água de qualidade; e a também crescente dificuldade de acesso a alimentos, tanto em quantidade como em qualidade, pela população global.

Facilmente se entende que esses temas guardam uma relação entre si. A exemplo disso, os mesmos recursos fósseis que possibilitam a produção de agrotóxicos e fertilizantes acabam contaminando as águas superficiais e profundas e os próprios alimentos. A segurança alimentar para a fração da população mundial que hoje ainda tem acesso a alimentos passa a ser ameaçada na medida em que diminuem os estoques mundiais de combustíveis, que possibilitam o seu transporte a grandes distâncias. A título de exemplo, a média ponderada das distâncias percorridas por todos os alimentos que chegam à Central de Abastecimento do Rio Grande do Sul, sediada em Porto Alegre, é de 560 km!

Caso se considere a distância média de transporte de alimentos nos Estados Unidos entre os locais em que estes são produzidos e onde são consumidos, esse valor supera a marca dos 2.000 km (Orr, 1994, p. 188). Ou seja, os alimentos diariamente consumidos estão sendo, permanente e continuamente, estocados e transportados por veículos que dependem de recursos fósseis.

Diante disso, os estudos passaram a incluir cenários que não estão muito distantes em termos de tempo. Segundo especialistas na área, apenas uma geração, ou algo como 30 a 40 anos, separa o ser humano de condições críticas (isto para se referir apenas a algumas, pois não foram incluídos entre as condições mencionadas o efeito estufa e as decorrentes mudanças climáticas, entre outros). A busca de maior resiliência às comunidades em geral, particularmente às mais carentes, oferecendo melhor qualidade de vida, saudabilidade do ambiente construído e segurança alimentar, tem sido o foco do Norie nos últimos anos.

Nesse contexto, parte-se do pressuposto de que a qualidade de vida está diretamente associada à saudabilidade corporal do ser humano e que esta é, fundamentalmente, dependente da qualidade do ar, da água e dos alimentos, assim como da acessibilidade à energia e a um abrigo digno. Os dois últimos constituem uma preocupação mundial maior ou menor, dependendo do nível de *desenvolvimento* de cada país, mas, no caso específico da cidade de Porto Alegre, os três primeiros aspectos são cada vez mais preocupantes. Para incitar uma reflexão a respeito da

Com base em tais referências, entre outras que subsidiam os estudos e propostas de ambientes (em diferentes escalas) mais sustentáveis propostos pelo Norie, no projeto para o conjunto habitacional para a cidade de Feliz, foram considerados aspectos associados a: arquitetura bioclimática; de gestão de resíduos sólidos e líquidos; de gestão energética; de produção local de alimentos; de gestão das águas (incluindo drenagem das águas pluviais) e que contemplassem a acessibilidade universal.

No que tange a diretrizes para as construções, foram estimulados: o emprego preferencial de materiais locais, bem como de materiais culturalmente aceitos; o uso de materiais reciclados ou potencialmente recicláveis ou reutilizáveis, evitando-se o emprego de materiais derivados de recursos de origem fóssil (plásticos em geral), ou tóxicos; o uso de materiais que exijam um nível baixo de manutenção e que sejam duráveis; a utilização de materiais com baixo nível de industrialização (pedra, tijolos cerâmicos, madeira, palha etc.), conduzindo a uma pegada ecológica pequena; e o emprego de técnicas construtivas que utilizassem, da forma mais ampla possível, mão de obra disponível localmente.

Ademais, buscou-se incentivar a criação, em maior ou menor escala, de benefícios para a população-alvo dos projetos e também para as populações residentes em áreas adjacentes ao empreendimento. Neste caso, foi solicitado aos alunos que propusessem algumas opções de serviços e equipamentos (Figs. 20.4 e 20.5):

1] uma creche (que também poderia contar com uma horta orgânica, produzindo alimentos saudáveis para as crianças);

2] um centro de capacitação (possibilitando a educação continuada de adultos e jovens, em cursos que poderiam estimular, entre outros fins, a produção local de alimentos, ou mesmo a constituição de novos ofícios e negócios);

3] um posto de serviços diversos (caixas eletrônicos, correio, posto de saúde, farmácia etc.);

4] um entreposto de venda de excedentes da produção de frutas e verduras, a ser explorado pela comunidade, também integrado a uma padaria, confeitaria, sorveteria etc.

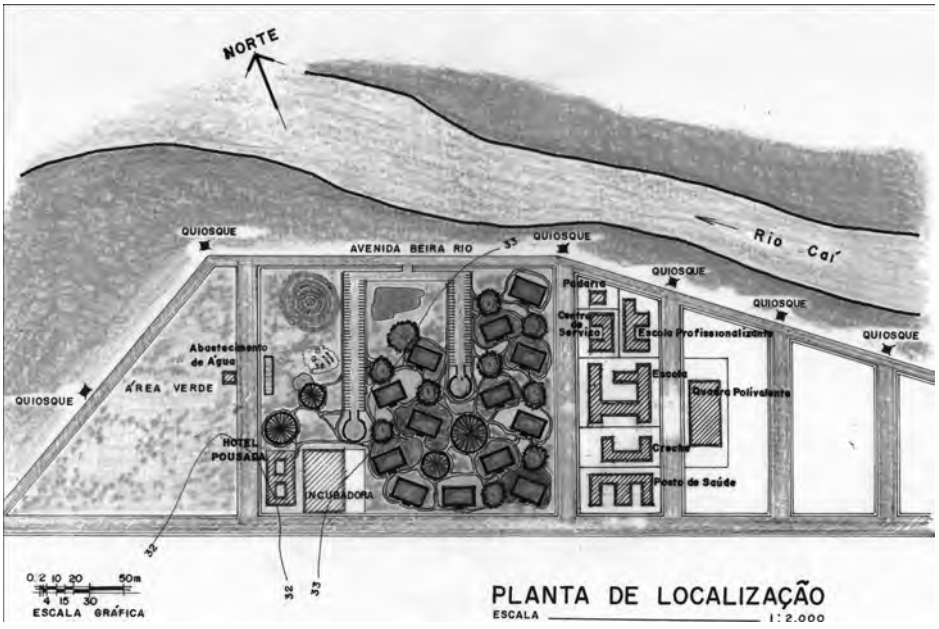


Fig. 20.4 Planta de localização integrante do estudo para o conjunto habitacional mais sustentável, destacando serviços e equipamentos que pudessem ser usufruídos pela população residente no entorno
Fonte: Lamb et al. (2010).

A certificação ambiental de edifícios

21

Anarrita Bueno Buoro

Alberto Hernandes Neto

Joana Carla Soares Gonçalves (seção 21.1)

Charles Harris (seção 21.2)

Após a criação dos sistemas BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) e LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) no Reino Unido e nos Estados Unidos, respectivamente, no início da década de 1990, adaptações desses sistemas a outros contextos socioeconômicos, e mesmo a criação de novos sistemas de certificação por mercados locais comprovam a busca do mercado do setor das edificações por instrumentos que meçam e classifiquem investimentos nessa área.

A grande força de mercado adquirida pelos sistemas de certificação do desempenho ambiental de edifícios em pouco mais de uma década aponta para o fato de que essas ferramentas de classificação vão continuar a influenciar a noção do que é o *edifício verde*, a médio e longo prazo. Sem desmerecer o papel dos sistemas de certificação ambiental e energética de edifícios no contexto global, diante do crescente interesse do mercado por esse tipo de classificação, é importante questionar o que vem sendo de fato certificado. Atualmente, têm recebido certificação empreendimentos que pouco se diferenciam da produção convencional no que tange ao projeto arquitetônico e aos conceitos de conforto ambiental.

Uma visão bem realista do mercado diria que o interesse pelo valor de mercado agregado ao empreendimento certificado antecede o entendimento e interesse pelo seu real desempenho ambiental. Sendo assim, é ainda mais importante perguntar: o quanto de real desempenho ambiental está presente nesses sistemas de avaliação? E quão melhor os edifícios certificados são em relação a seus similares? Uma reflexão sobre possíveis respostas para perguntas como essas são apresentadas neste capítulo.

21.1 Uma revisão dos sistemas de certificação e o caso brasileiro

Entre os principais sistemas de certificação de edifícios descritos por Brophy e Lewis (2011), estão os seguintes: BREEAM (originário do Reino Unido, 1990); LEED (originário dos Estados Unidos, 1998); CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency, originário do Japão, 2001); Green Star (Green Building Council of Australia, originário da Austrália, 2003); DGNB (German Sustainable Building Council, originário da Alemanha, 2007).

Brasil, Plano Nacional de Eficiência Energética, etiquetagem e o selo Casa Azul da Caixa

22

Roberto Lamberts
Veridiana Atanasio Scalco
Michele Fossati
María Andrea Triana Montes
Rogério de Souza Versage

Uma visão global traz inúmeros aspectos relativos à análise ambiental de edificações em todas as suas etapas. A eficiência energética é, frequentemente, o indicador mais importante de desempenho ambiental da edificação, pelo fato de a energia representar grande parte dos custos de operação, por ter alto impacto no conforto térmico e visual dos ocupantes e pelo potencial de oferecer ao consumidor informações sobre os gastos com energia (Kordjamshidi; King, 2009).

Como forma de incentivo à produção de edificações eficientes, medidas de avaliação de desempenho para edificações foram criadas em diversos países. Algumas abarcam temas de sustentabilidade, incluindo o da eficiência energética, e outras são focadas totalmente no uso racional da energia, tais como os certificados energéticos Energy Performance Certificates (EPCs), obrigatórios na Europa em função da Diretiva Europeia 2002/91/CE, recentemente reformulada pela Diretiva 2010/31/EU.

Os primeiros regulamentos relacionados ao desempenho de edificações foram criados na Europa no início dos anos 1970. Esses regulamentos definiam parâmetros para o envelope construtivo das edificações, no intuito de diminuir a transferência de calor pelos seus componentes construtivos, diminuindo as perdas nos períodos frios do ano (aumentando o isolamento térmico, diminuindo a infiltração da envoltória e, consequentemente, reduzindo as cargas de aquecimento).

No início dos anos 1990, a regulamentação e a certificação energética para edificações emergiram como um meio para redução do consumo energético e da emissão de gases causadores do efeito estufa. Métodos de avaliação vêm sendo desenvolvidos em diversos países, a fim de avaliar e classificar seu desempenho. A certificação energética de edificações passou a ser uma tendência mundial, adotada inicialmente por diversos países na Europa. Nos Estados Unidos, sua implantação é mais recente, com a etiqueta da associação American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Em outros países, a certificação ainda se encontra em desenvolvimento. Além das certificações energéticas, as certificações ambientais como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), Green Star e BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), entre outras, também consideram a questão energética como um item de destaque em suas metodologias.

As primeiras medidas relacionadas à conservação e ao uso racional de energia no Brasil surgiram na década de 1980 com a implementação, em 1984, do Programa

Quadro 22.2 Categorias do selo Casa Azul com critérios

Categorias	Critérios obrigatórios	Critérios de livre escolha
Qualidade urbana	2	3
Projeto e conforto	5	6
Eficiência energética	3	5
Conservação de recursos materiais	3	7
Gestão da água	3	5
Práticas sociais	3	8
Total de critérios	**19**	**34**

Fonte: com base em dados de Caixa (2010).

reais para o desempenho da construção e o conforto dos usuários. Dessa forma, o objetivo é que os critérios escolhidos com base na agenda do empreendimento estejam fundamentados nas suas demandas específicas.

A classificação dos projetos é dada nas categorias *ouro*, *prata* e *bronze*, como apresentado na Fig. 22.20. Projetos de baixa renda são elegíveis às três categorias, enquanto os demais são elegíveis somente às categorias prata e ouro. A categoria *bronze* é alcançada com a obtenção dos 19 critérios obrigatórios e a categoria *prata* com os 19 critérios obrigatórios mais 6 de livre escolha. Para a categoria *ouro*, são necessários 12 critérios de livre escolha, além dos 19 obrigatórios. Os critérios foram formulados com base em normas nacionais e são, na sua maioria, de fácil aplicação.

A adesão ao Selo é voluntária e apresenta um custo baixo, por já estar inserido dentro do contexto do financiamento da Caixa. Assim como visto no caso anterior, a classificação final depende do atendimento aos requisitos em projeto e da comprovação em obra, com a ocupação do edifício.

A metodologia do Selo foi desenvolvida em paralelo com a etiquetagem de energia para edificações residenciais. Por essa razão, muitos dos parâmetros considerados são semelhantes, além de ambas compartilharem como base a NBR 15.220 (ABNT, 2005) e a NBR 15.575 (ABNT, 2008). Porém, o Selo foi estruturado em termos de critérios com indicadores a serem atingidos.

O objetivo inicial do Selo foi a facilidade de ser absorvido pelo mercado, incluindo empreendedores e projetistas. Com esse intuito, foi desenvolvido o manual

Fig. 22.20 Selo Casa Azul nos níveis ouro, prata e bronze
Fonte: Caixa (2010).

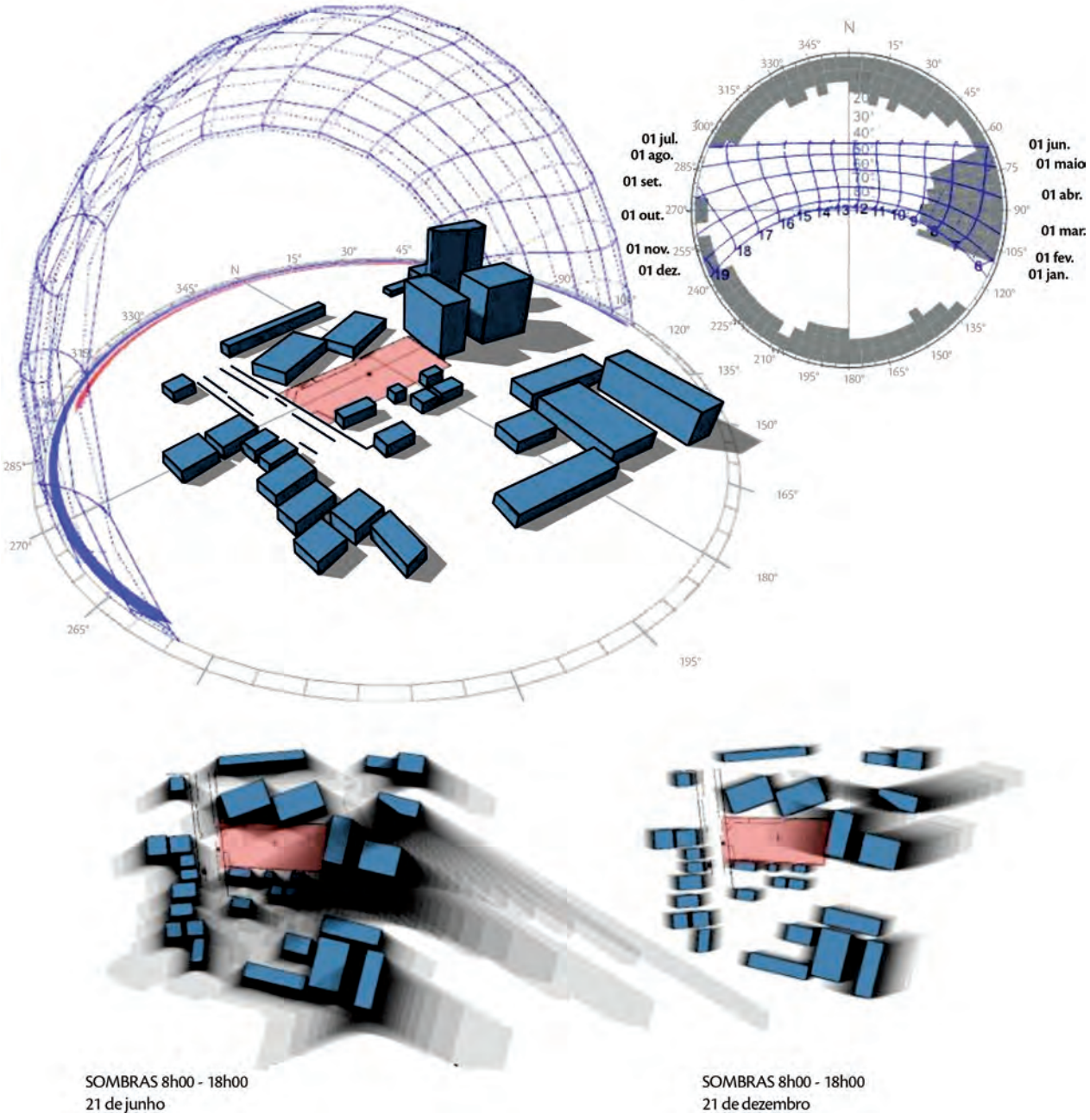


Fig. 22.21 Estudo de sombras do entorno no terreno
Fonte: Caixa (2010).

das habitações a possíveis necessidades futuras dos usuários; e adequação do projeto às condições físicas do terreno para tornar mínimo o impacto da construção no terreno e seu entorno natural.

22.2.2 Categoria eficiência energética

Em relação à eficiência energética, o selo tem como objetivo alertar aos projetistas e empreendedores para ações que busquem a diminuição da demanda de energia e o aumento da oferta, por meio de fontes alternativas. O setor residencial no Brasil apresenta como principais consumos de energia por fonte, a eletricidade, o GLP (gás liquefeito de petróleo) e a lenha, com porcentagens muito similares (EPE, 2011) (Fig. 22.22). Como a lenha é mais presente no setor rural e sua porcentagem de participação parece superestimada para a

[Sobre os autores]

Joana Carla Soares Gonçalves

É arquiteta e urbanista pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ (1993), e professora associada da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP), onde atua no Departamento de Tecnologia da Arquitetura e no Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (Labaut) desde 1993. Foi professora orientadora do Programa de Pós-Graduação Sustainable Environmental Design da Architectural Association (AA) School of Architecture de 2009 a 2012. Atualmente, é professora visitante do SED/AA. Em 2011, foi professora visitante na Graduate School of Design (GSD), da Universidade de Harvard. Desde 2015 é professora visitante da Faculty of Architecture and the Built Environment da University of Westminster, em Londres. Em 2011, atuou como coordenadora da consultoria de ecoeficiência do projeto de expansão do Centro de Pesquisas da Petrobras, no Rio de Janeiro. Participou da coordenação do documento *The green economy report*, produzido pela Unep em 2011. É autora do livro *The environmental performance of tall buildings* (2010).

Klaus Bode

Graduado em Engenharia de Sistemas Prediais e Desempenho Ambiental pela University of Bath (1987). De 1987 a 1995, integrou a equipe da empresa J. Roger Preston & Partners, quando participou do projeto da sede do Commerzbank, em Frankfurt am Main, na Alemanha. Em 1995, fez parte do grupo fundador da empresa de engenharia e consultoria ambiental BDSP Partnership, em Londres, com sede em Belgrado e em São Paulo. No BDSP Partnership, Klaus se estabeleceu internacionalmente no campo da eficiência energética e do desempenho ambiental de edificações e áreas urbanas, tendo participado dos projetos National Assembly for Wales, em Cardiff, com Richard Rogers Partnership; Columbia University Master Plan, em Nova York, com Renzo Piano Building Workshop; Università Commerciale Luigi Bocconi, em Milão, com Grafton Architects; London 2012 Velodrome, com Hopkins Architects; One Airport Square, em Acra, Gana, com Mario Cucinella Architetto; entre outros. Em 2012, participou da fundação da empresa Chapman BDSP, na qual atua no projeto de renovação da Battersea Power Station, em Londres e em outros projetos do cenário internacional. Desde 2005, faz parte do corpo docente do Programa de Pós-Graduação Environment and Energy, da AA School of Architecture, em Londres.

Leonardo Marques Monteiro

Professor doutor do Departamento de Tecnologia da FAU-USP. Autor da tese de doutorado *Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos*. Assessor *ad hoc* da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp). *Fellow* do Precourt Energy Efficiency Center, da Stanford University. Membro do Programa Iberoamericano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento (CYTED). Coordenador dos projetos "Conforto termoacústico em espaços urbanos abertos" e "Termoacústica urbana", financiados pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Pesquisador do Núcleo de Apoio à Pesquisa (NAP) "Biometeorologia humana" (IAG, FM, EP, FAU-USP). Revisor dos periódicos *Building and environment*, *Climate research*, *Hábitat sustentable* e *Ambiente construído*.

Leonardo Bitencourt

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Pernambuco, UFPE (1977), e doutorado em Environment and Energy Studies pela AA School of Architecture (1993). Atualmente, é professor da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), onde atua no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Tem experiência em projetos e pesquisas em Arquitetura e Urbanismo e possui publicações sobre questões relacionadas à Sustentabilidade Ambiental e Eficiência Energética em Edificações.

Mônica Pereira Marcondes Cavaleri

Arquiteta e urbanista pela FAU-USP (2002), mestre em Environment and Energy Studies pela AA School of Architecture (2004) e doutora pela FAU-USP (2010). Pós-doutoranda do Labaut (FAU-USP) no projeto "Edificação e desenho urbano com adensamento e qualidade ambiental" (PNPD-Capes). Coautora do artigo "The new research centre of the Brazilian Petroleum Company in Rio de Janeiro, Brazil: the achievements in the thermal performance of air-conditioned buildings in the tropics", publicado pela *Energy and Buildings*, em 2008. Consultora em Conforto Ambiental para o projeto vencedor do Concurso Internacional para o Museu Exploratório de Ciências da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), de CHN Arquitetos (2009).

João Oliveira Cotta

Graduado em Arquitetura pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas, PUC-Campinas (2008), e mestre (com distinção) em Sustainable Environmental Design pela AA School of Architecture (2012). Em 2009, tornou-se sócio do escritório Oliveira Cotta Arquitetura, cuja prática é voltada para as áreas de P&D, Indústria e Tecnologia. Em seu portfólio, destacam-se o novo centro de P&D da empresa Siemens na Ilha do Fundão, no Rio de Janeiro (certificação LEED Gold), o centro de Inovação da DuPont do Brasil e a nova indústria química do grupo alemão Freudenberg.

João Leal Vieira

Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela FAU-USP (2006) e mestre em Sustainable Environmental Design pela AA School of Architecture (2011). Foi coordenador de projetos e produtos da empresa Racional Engenharia (2007-2010) e atualmente é consultor ambiental da empresa BDSP Brasil, na qual se dedica a projetos urbanos e de edificações, entre eles a nova sede da Natura em São Paulo, edifícios corporativos e *retrofits*. É professor de Conforto Ambiental e Projeto de Arquitetura na FMU (FIAM-FAAM).

Alberto Hernandez

Graduado em Engenharia Mecânica (1988), doutor (1998) e livre-docente pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Poli-USP (2009). Atua no Departamento de Engenharia Mecânica, desenvolvendo pesquisas voltadas para a área de climatização e refrigeração com ênfase em eficiência energética, modelagem e simulação de sistemas de refrigeração e ar condicionado. Autor de mais de cem artigos em periódicos e congressos nacionais e internacionais. Membro da ABCM (Associação Brasileira de Ciências Mecânicas) e da Anprac (Associação Nacional de Profissionais de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento).

Vanessa Gomes Silva

Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Espírito Santo, UFES (1993), com mestrado (1998) e doutorado em Engenharia Civil pela Poli-USP (2003). Professora associada livre-docente (2010) da Unicamp, com experiência em Projeto e Construção Sustentável e Avaliação Ambiental de Edifícios. *Fullbright fellow* na Harvard University (2014) e University of Pittsburgh (2010), bolsista Capes para estudos de pós-doutoramento na University of Pittsburgh, na Carnegie Mellon University (2010-2011) e na SBSE Jeffrey Cook Scholar (2010). Vice-presidente da International Initiative for a Sustainable Built Environment (2011-2013). Coordenadora regional (Américas) da Comissão de Trabalho W116 (Smart and sustainable built environments), do International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), e assessora *ad hoc* do Programa Ambiental das Nações Unidas (PNUMA) e do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), entre outros.

Maristela Gomes da Silva

Graduada em Engenharia Civil pela UFES (1988), com mestrado (1993) e doutorado (1998) em Engenharia Civil pela Poli-USP, pós-doutorado em Engenharia Civil e Ambiental pela University of Pittsburgh (2011) e em Arquitetura e Construção pela Unicamp. Foi coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (1998-2000), diretora do Centro Tecnológico (2000-2008) da UFES, professora visitante no Department of Civil and Environmental Engineering da University of Pittsburgh (2010-2011), pesquisadora associada do Mascaro Center for Sustainable Innovation da mesma Universidade (2010-2011), professora convidada da Carnegie Mellon University (2010) e coordenadora do curso de Graduação em Engenharia Civil da UFES (2011-2012). É professora associada do Departamento de Engenharia Civil da UFES, membro especialista do Comitê Consultivo do Fundo de Tecnologia do BNDES, membro do corpo de revisores dos periódicos *Ambiente construído*, *Smart and sustainable built environment journal* e *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em materiais e componentes de construção civil, atuando, principalmente, nos temas de reciclagem de resíduos industriais, escórias siderúrgicas, cimentos, concreto, durabilidade, indicadores de sustentabilidade, análise do ciclo de vida, emissões de GHG, redução de impactos

ambientais de materiais de construção, construção sustentável e construção civil.

Denise Duarte

Professora doutora da FAU-USP, orientadora da Pós-Graduação e bolsista de Produtividade em Pesquisa (PQ) 2 do CNPq. Atualmente é vice-chefe do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e coordenadora do Labaut (FAU-USP). É pesquisadora do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Mudanças Climáticas (IAG-USP), revisora dos periódicos *Enegy policy*, *Portafolio*, *Ambiente construído*, *Oculum*, *Parc* e *Pós*. É assessora *ad hoc* Fapesp, CNPq e Capes e membro do Plea Board (Passive and Low Energy Architecture). Pesquisa o impacto da vegetação e do adensamento nos microclimas urbanos no cenário atual e o impacto de mudanças climáticas.

Marcelo R. A. F. Mello

Graduado em Engenharia Civil pela Poli-USP (2008) e em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (2009). Mestre em Sustainable Environmental Design pela AA School of Architecture (2012). Trabalhou na Ycon Engenharia como engenheiro estrutural. Atua como tutor no Centro Brasileiro de Construções em Aço e como consultor de Eficiência Energética da empresa Centro de Tecnologia de Edificações (CTE).

Anna Christina Miana

Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG (2000). Especialista em Conforto Ambiental e Eficiência Energética pela FAU-USP (2003). Mestre em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP (2005). Doutora em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo pela FAU-USP (2010), com pós-doutorado na mesma instituição (2012). Atualmente é docente do Instituto Metodista Izabela Hendrix, atuando no curso de Arquitetura e Urbanismo e professora visitante do Departamento de Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFMG.

Marcos Lima Rosa

Graduado em arquitetura e urbanismo pela FAU-USP (2004). Aluno do Programa de Doutorado da Technische Universität München (TUM). Autor do livro *Microplanejamento, práticas urbanas criativas* (2011) e editor do livro *Handmade urbanism* (2013). Lecionou na TUM em 2008, na Escola da Cidade (São Paulo) em 2009, e em ETH (Zurique) de 2010 a 2011. Criou e coordenou a plataforma de pesquisa do Deutsche Bank Urban Age Award (2008-2012), do qual foi curador em duas edições, além de conceitualizar a plataforma de mapeamento colaborativo no Rio de Janeiro (2013). Seu trabalho aborda sobreposições possíveis entre a teoria e prática por meio de investigação e *design* em trabalhos de pesquisa e estúdios colaborativos.

Carlos Eduardo Soares Gonçalves

Graduado em Engenharia de Produção pela Poli-USP (1997), com mestrado e doutorado em Economia pela Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo, FEA-USP (2003). Participou do Programa de Doutorado Sanduíche na Boston University (2001) e fez pós-doutorado na London School of Economics, LSE (2009). Atualmente é professor Titular da FEA-USP. Suas áreas de pesquisa são Macroeconomia, Economia Política e Desenvolvimento Econômico. É coautor dos livros *Economia sem truques* (2008) e *Sob a lupa do economista* (2009), ambos publicados pela parceria Campus-Elsevier.

Anésia Barros Frota

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília, UNB (1969), mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela FAU-USP (1983) e doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela mesma instituição (1989). É professora doutora da FAU-USP (aposentada em 2011). Professora visitante na Universidade de Lisboa em 2004. Fundadora da empresa de consultoria em desempenho ambiental da arquitetura, A. R. Frota Arquitetura SS Ltda., atuando em projetos no setor público e privado. Consultora *ad hoc* da Universidade Estadual de Maringá, da Universidade Estadual de Londrina e da Fapesp. Coautora do livro *Manual de conforto térmico* (2006), publicado pela editora Studio Nobel, e autora do livro *Geometria da insolação* (2004), publicado pela editora Geros. Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em conforto térmico, atuando principalmente nos temas: conforto ambiental, ventilação natural, conforto térmico, iluminação externa e mudança climática.

Alessandra Rodrigues Prata Shimomura

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela PUC-Campinas (1993), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas, Unicamp (1998), doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela FAU-USP (2005), com estágio no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), em Lisboa, Portugal, e pós-doutoramento em Arquitetura e Urbanismo pela FAU-USP (2009 e 2010). Atualmente é Jovem Pesquisadora do Departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura

e Urbanismo (Unicamp) e Pesquisador/Colaborador do Departamento de Arquitetura e Construção (FEC-Unicamp) no Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada (Lacaf). Assessora *ad hoc* da Fapesp.

Norberto Corrêa da Silva Moura

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela FAU-USP (1981), especialização em Conforto Ambiental e Conservação de Energia pela FAU-USP/Fupam (2001) e doutorado em Arquitetura e Urbanismo, pela mesma instituição, na área de Tecnologia da Arquitetura (2007). Professor doutor na FAU-USP desde 2008, integra o Conselho do Departamento de Tecnologia desde março de 2011. Foi coordenador do grupo de disciplinas de Metodologia no Departamento de Tecnologia de julho de 2011 a junho de 2013 e membro titular do Conselho Deliberativo Nutau-USP de dezembro de 2009 a dezembro de 2010. Atua nas linhas de pesquisa Tecnologia Digital de Produção e Ensino da Arquitetura, do Urbanismo e do Design, com ênfase na Modelagem da Informação da Construção (BIM) e conforto ambiental, eficiência energética e ergonomia, com foco em iluminação natural. Coautor do artigo "BIM implementation: an experiment integrating practice, theory and didactic", publicado nos anais do *1st BIM International Conference 2013*.

Erica Mitie Umakoshi Kuniochi

Graduada em Arquitetura e Urbanismo (2004) e doutora pela FAU-USP (2014). Atualmente é pesquisadora do Labaut (FAU-USP) e consultora na área de desempenho ambiental e energético de projetos de arquitetura e urbanismo. É coautora do livro *The environmental performance of tall buildings* (2010), publicado pela EarthScan (Londres).

Anne Save de Beaurecueil

Arquiteta pela California Polytechnic State University (1993), com especialização em Urban Architecture pela École d'Architecture de Paris (1994) e mestre em Advanced Architectural Design pela Columbia University GSAPP (1998). Foi docente da AA School of Architecture entre 2005 e 2010 (Diploma Unit 2) e, em 2013, professora visitante na Faculdade de Arquitetura da Unicamp. Atuou no escritório de arquitetura Zaha Hadid, em Londres, entre 1994 e 1997, no escritório TR Hamzah and Ken Yeang Architects, em Kuala Lumpur, entre 1996 e 1997 e no escritório Bernard Tschumi Architects, em Nova York e Paris, entre 1998 e 2003. Cofundadora do escritório de arquitetura SUBdV Architecture, sediado em São Paulo, cujo portfólio inclui os projetos das Lojas Clarindo e do Instituto Escola do Povo, na Comunidade de Paraisópolis (UMCP), ambos no bairro do Morumbi, em São Paulo.

Franklin Lee

Graduado em Arquitetura pela AA School of Architecture (1995) e mestre em Advanced Architectural Design pela Columbia Graduate School of Architecture, Planning and Preservation, GSAPP (2001). Professor adjunto da Columbia University (GSAPP), em Nova York, entre 2003 e 2005. Docente da AA School of Architecture entre 2005 e 2010 (Diploma Unit 2). Atuou no escritório de arquitetura TR Hamzah and Ken Yeang Architects, em Kuala Lumpur, entre 1996 e 1997 e no escritório Beyer Blinder Belle Architects Planners, em Nova York, entre 1997 e 2000. Cofundador do escritório de arquitetura SUBdV Architecture.

Monica Dolce Uzum

Arquiteta e urbanista pelo Centro Universitário Belas Artes (2004) e tecnóloga em Construção Civil (na moradia de edifícios) pela Fatec-SP (1999). Mestre pela FAU-USP (2011) e aluna do Programa de Doutoramento da mesma instituição. Desde 2012, é professora do Centro Universitário Metodista do Sul, onde atua nos cursos de Arquitetura e Urbanismo e Design de Interiores e coordena o Laboratório de Conforto Ambiental. Trabalhou em projetos de urbanização de favelas e de unidades habitacionais junto à Secretaria de Habitação da cidade de São Paulo e ao CDHU entre 1999 e 2009.

Joanna Perez Conceição

Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela FAU-USP (2008) e mestre em Sustainable Environmental Design pela AA School of Architecture (2010). Integrou a equipe de arquitetos do escritório paulista Aflalo & Gasperini entre 2008 e 2009 e a da Orbi Projetos e Resultados em 2009. Desde 2011, atua como consultora de desempenho ambiental na empresa inglesa BDSP Partnership (Chapman BDSP desde 2012), onde participou dos projetos da Universidad de Ingeniería y Tecnología (Utec), em Lima, da Battersea Powerstation Phase 2 e da London Bridge Residential Tower, em Londres, entre outros.

Sandra Mayumi Morikawa

Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela FAU-USP (2008) e mestre em Sustainable Environmental Design pela AA School of Architecture em 2012. Sócia do escritório JBMC Arquitetura e Urbanismo desde 2009. Em seu portfólio, destacam-se as obras da Estação e Passarela Cidade Nova, inaugurada (2010), e da Estação Uruguai (2014), ambas no Rio de Janeiro (RJ).

Roberta Consentino Kronka Mulfarth

Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela FAU-USP (1994), mestre em Energia pelo IEE-USP (1998) e doutora em Estruturas Ambientais Urbanas pela FAU-USP (2002). Professora da FAU-USP no Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo desde 2006 e atual coordenadora do grupo de disciplinas de Conforto Ambiental. Desenvolve pesquisas com enfoque no conforto ergonômico e comportamento. Participa da pesquisa *Ecocampus* da Rede de Universidades WC2, que reúne pesquisadores da USP, Technischen Universität de Berlin (TU-Berlim), Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Politecnico di Milano, entre outras.

Maria Ruth Amaral de Sampaio

Socióloga, professora titular do Departamento de História da Arquitetura e Estética do Projeto e das áreas de concentração Hábitat e História e Fundamentos da Arquitetura e do Urbanismo, do Programa de Pós-Graduação da FAU-USP. Foi diretora da FAU-USP entre dezembro de 1998 e dezembro de 2002. Atualmente pertence ao Laboratório de Fundamentos da Arquitetura e do Urbanismo (Labfau) e do grupo de pesquisa "Os estrangeiros e a construção da cidade". Faz parte do programa da Unesco "Profissionais da cidade", cujo objetivo é incentivar as relações da universidade com a sociedade. É autora de vários livros, entre os quais *Casas proletárias em São Paulo* (1994), em coautoria com o arquiteto Carlos Lemos, *Habitação e cidade* (1998) e *A promoção privada de habitação econômica e arquitetura moderna 1930-1964* (2002).

Karina Cavalcante de Oliveira

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS (2010). Aluna de mestrado na área de Engenharia de Construção Civil e Urbana (Poli-USP). Entre 2011 e 2012, atuou na empresa PhD Engenharia Ltda. Sua área de atuação é Materiais de Construção Civil, principalmente ligados ao concreto armado, e sua linha de pesquisa é Concreto com adições de fibras de aço.

Annarita Buoro

Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela FAAP (1997), especialista em Conforto Ambiental e Eficiência Energética pela FAU-USP (2003) e mestre pela mesma instituição (2008). Atualmente, é aluna do Programa de Doutorado da Poli-USP, na Faculdade de Engenharia Mecânica. É professora da disciplina Conforto Ambiental do curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário Senac-SP e da Escola da Cidade, onde atua nos respectivos laboratórios de Conforto Ambiental. Participou de projeto de pesquisa em Eficiência Energética no Grupo de Energia (Gepea) do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Poli-USP entre 2012 e 2013 e do Labaut (FAU-USP) de 2004 a 2008. Também atua junto à Fundação Carlos Alberto Vanzolini com projetos de certificação Aqua e PBE Edifica. Possui menção honrosa no concurso da Estação Antártica Brasileira (2013) e no concurso da Holcim Awards Latin America em 2008.

Roberto Lamberts

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1980), mestrado em Engenharia pela UFRGS (1983) e doutorado em Civil Enginering pela University of Leeds (1988). É professor titular da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). É supervisor do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações na UFSC; coeditor do periódico *Ambiente construído*; membro do comitê editorial do periódico *Journal of Building Performance Simulation*, das associações científicas Antac (na qual participou da diretoria por vários mandatos), Conselho Brasileiro para a Construção Sustentável (CBCS) e Associação Internacional para a Simulação do Desempenho de Edificações (IBPSA). É membro do Grupo de Trabalho (GT) e da Secretaria Técnica (ST) de Edificações do MME, Ministério de Minas e Energia do Governo Federal do Brasil, apoiando o desenvolvimento da etiquetagem de eficiência energética em edificações. Atua na área de Engenharia Civil, com ênfase em eficiência energética, desempenho térmico de edificações, bioclimatologia e conforto térmico.

Veridiana Atanasio Scalco

Graduada em Arquitetura e Urbanismo (2003), mestre em Arquitetura (2006) e doutora em Engenharia Civil (2010) pela UFSC. Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em conforto ambiental e eficiência energética de edificações, atuando nos seguintes temas: projeto arquitetônico e urbanístico, simulação computacional e educação a distância. Atualmente é pesquisadora do LabEEE, coordenadora do Núcleo de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas do Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) e membro da ST-Edificações do MME, coordenada pela Eletrobras, apoiando o desenvolvimento da etiquetagem de eficiência energética em edificações.

Michele Fossati

Graduada em Engenharia Civil (2001), mestre em Engenharia de Produção (2004) e doutora em Engenharia

Civil (2008) pela UFSC, com pós-doutorado nas áreas de Ecoeficiência de Edificações (2009) e Desenvolvimento de Regulamento de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (2013) pelo LabEEE-UFSC. Atualmente é pesquisadora do LabEEE, coordenadora do Núcleo de Edificações Residenciais do CB3E e membro da ST-Edificações do MME, apoiando o desenvolvimento da etiquetagem de eficiência energética em edificações.

María Andrea Triana Montes

Graduada em Arquitetura pela Universidad del Valle (1997), em Cali, Colômbia, e mestre em Arquitetura e Urbanismo pela UFSC (2005). Atualmente é pesquisadora na área de Eficiência Energética (LabEEE). Tem experiência em Arquitetura com ênfase em projetos de edificações, atuando principalmente nos seguintes temas: sustentabilidade, eficiência energética, desempenho térmico, metodologias de avaliação ambiental de edificações e habitações de interesse social.

Rogério de Souza Versage

Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela UFMS (2006) e mestre em Comportamento Ambiental e Eficiência Energética em Edificações pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da UFSC (2009). Atualmente é aluno de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSC. Tem experiência na área de desempenho térmico e eficiência energética de edificações, atuando principalmente com simulação computacional de desempenho termoenergético de edificações naturalmente ventiladas.

Sandro Tubertini

Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela FAU-USP (2004) e mestre em Sustainable Environmental Design pela AA School of Architecture, de Londres, em 2006. No mesmo ano, ingressou na ChapmanBDSP (antiga BDSP Partnership) e desde 2011 é diretor da empresa BDSP Brasil, em São Paulo, atuando em projetos urbanos e de edificações, entre eles a nova sede da Natura em São Paulo, edifícios corporativos e *retrofits*.

Simos Yannas

Diretor do Programa de Pós-graduação Environment and Energy Studies da AA School of Architecture, em Londres, e coordenador do curso de mestrado em Sustainable Environmental Design e do Programa de Doutorado em Arquitetura. Estudou Arquitetura na National Technical University of Athens, na Grécia, e Projeto Ambiental na AA School of Architecture. Recebeu o título de *professor* pela AA Graduate School e Open University Research School. Palestrante convidado em mais de 30 países. Nomeado Sir Isaac Newton Design Fellow da University of Cambridge em 2008. Membro fundador da organização Plea. Coautor do livro *Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos*, publicado pela Editora Revan, em 2003. Seu livro mais recente, *Lessons from vernacular architecture*, foi publicado pela editora Earthscan/Routledge em 2014.

Gustavo Brunelli

Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela FAU-USP (2003) e mestre em Environment and Energy Studies pela AA School of Architecture (2004). Consultor associado da empresa inglesa de engenharia e consultoria BDSP Partnership (desde 2013, ChapmanBDSP). Atua na BDSP Partnership desde 2005 como consultor em desempenho ambiental de edifícios e projetos urbanos, tendo participado de projetos ícones no contexto internacional, como a Assembleia do País de Gales, em Cardiff, a New Student Union da London School of Economics (LSE), em Londres, e o Velódromo das Olimpíadas de Londres de 2012.

Rosa Schiano-Phan

Graduada em Arquitetura pela Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II" (1997), mestre em Architecture, Energy and Sustainability pela University of North London (2000) e PhD pela AA School of Architecture (2005). Desde 2013, é principal lecturer em Architecture and Environmental Design, na Faculty of Architecture and the Built Environment da University of Westminster. Possui 15 anos de experiência em consultoria e pesquisa na área de desempenho ambiental do ambiente construído, tendo trabalhado em organizações de atuação internacional. Foi docente e orientadora no Programa de Mestrado em Sustainable Environmental Design da AA School of Architecture, entre 2010 e 2013, e contribuiu para o Programa de Doutorado em Environment and Energy Studies da mesma instituição. É codiretora da empresa Natural Cooling Limited e coautora do livro *The architecture and engineering of downdraught cooling,* publicado em 2010 e premiado pelo Royal Institute of British Architects com a menção honrosa RIBA President's Awards for Research em 2011.

Nick Baker

Graduado em Física pela London University em 1964, com PhD pela mesma instituição em 1968, com atuação marcante na área de desempenho ambiental da arquitetura. Professor e pesquisador do Departamento de Arquitetura da Cambridge University entre 1985 e 2005, com trabalhos na área de simulação computacional de

desempenho ambiental e energético de edifícios, iluminação natural e conforto térmico. Atualmente faz parte do corpo docente do curso de mestrado Sustainable Environmental Design, da AA School of Architecture e do Centro de Tecnologias Alternativas (Centre for Alternative Technology), na University of East London. Autor de uma série de livros e artigos sobre esses temas, sendo a sua publicação mais recente *The handbook of sustainable refurbishment*, publicado pela Earthscan em 2009.

Paula Cadima

Arquiteta pela Universidade Técnica de Lisboa (1985) e doutora pela AA School of Architecture (2000). Exerce atividade profissional e científica na área da sustentabilidade ambiental há mais de 25 anos. Lecionou na AA School of Architecture de 1994 a 1999, para onde voltou em 2010, e na Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa de 2001 a 2005, onde criou e coordenou o curso de mestrado em Arquitetura Bioclimática. Atuou na Comissão Europeia em Bruxelas entre 2005 e 2009, orientando projetos europeus na promoção da eficiência energética, energias renováveis e investigação de nível internacional em áreas emergentes, e desde então tem experiência como *European Community Expert*. Foi responsável pelo GT Ambiente e Arquitetura Sustentável do Conselho dos Arquitetos Europeus em 2009. É presidente da organização internacional Plea desde 2011 e codiretora do Programa de Pós-Graduação Environment and Energy da AA School of Architecture, em Londres, desde 2012.

Jorge Rodríguez Álvarez

Arquiteto e urbanista pela Universidade da Coruña, UDC (2003), mestre em Building Conservation and Urban Regeneration pela Universidade de Santiago de Compostela, USC (2006), e em Sustainable Environmental Design (com distinção) pela AA School of Architecture (2008). Doutor pela UDC (2014) e pesquisador visitante na UCL Bartlett entre 2012 e 2013. Desde 2008, leciona no programa de pós-graduação Environment and Energy, da AA School of Architecture, em Londres, no curso de mestrado Sustainable Environmental Design e no curso de Arquitetura e Urbanismo da ETSAC, na Espanha. Palestrante em um conjunto de universidades na Espanha e no exterior. Cofundador do escritório SAAI, especializado em projetos e consultoria para o desempenho ambiental, com trabalhos na Espanha, China, México e Costa Rica.

Miguel Aloysio Sattler

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS (1974), e em Agronomia, pela mesma universidade em 1978. Doutor pela University of Sheffield (1987) e pós-doutor pela University of Liverpool (1994), no Reino Unido, ambos em Ciências Ambientais ligadas à Edificação. Foi pesquisador da Fundação de Ciência e Tecnologia (RS), entre 1978 a 1996, e desde 1988 é professor no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, onde hoje é professor associado. Possui experiência na área de Engenharia Civil com ênfase em edificações e comunidades sustentáveis, atuando em pesquisa, ensino e extensão com foco nos seguintes temas: sustentabilidade, construções sustentáveis, engenharia urbana sustentável, conforto ambiental e habitação popular. Foi presidente da Antac e iniciador da série de eventos sobre Conforto Ambiental e Edificações e Comunidades Sustentáveis. É autor do livro *Habitações de baixo custo mais sustentáveis: a Casa Alvorada e Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis* (2007) e organizador da publicação *Construção e Meio Ambiente*, (2006), ambos publicados pela Antac.

Charles Louis Harris

Graduado em Arquitetura pela University of Pennsylvania (2009) e mestre em Arquitetura pela Harvard University Graduate School of Design (2013). Integrou a equipe de arquitetos do escritório Adrian Smith and Gordon Gill, em Chicago, de maio de 2012 a agosto de 2012, onde participou do projeto Biophilic Tower, em Suzhou, na China, premiado em 2012 pelo American Architecture Awards. Desde 2013, atua no escritório Skidmore Owings and Merrill LLP, de Nova York.

Em vez de se isolarem do mundo ao seu redor, atualmente os edifícios procuram aproveitar e valorizar sua relação com o meio externo, seja pelo aproveitamento do ar fresco e da luz natural, seja pela comunicação visual entre interior e exterior. *Edifício ambiental* aborda o desempenho, a qualidade e o impacto ambiental das edificações, explorando tópicos como ventilação natural, tecnologias de climatização e seleção de materiais; os impactos no clima das cidades provocados pelo ambiente construído e pelo adensamento urbano; ferramentas e métodos de simulação do desempenho ambiental; projetos e tecnologias aplicados em edifícios existentes; habitações sustentáveis para populações de baixa renda e o sistema de certificação ambiental de edifícios. Com inúmeros casos reais, do Velódromo das Olimpíadas de Londres à sede do Commerzbank em Frankfurt, estudos de projeto e soluções inovadoras, *Edifício ambiental* apresenta uma análise crítica e com fundamentos técnicos sobre os aspectos essenciais do projeto sustentável, da avaliação e da ocupação de edifícios.

Cremos, sim, que a arquitetura pode e deve estar além das certificações, dos regulamentos e das normatizações. Ela precisa respeitá-las, mas deve continuar sendo criativa e inovadora como sempre foi. Deve também entender que a sua relação com o clima nunca poderá ser desfeita e que o erro do passado não poderá ser repetido novamente. Este livro foi escrito com esse intuito, ou seja, de resgatar essa ideia e faz isso brilhantemente, apresentando conceitos, casos e mais, mostrando que a tecnologia pode ser aliada da arquitetura, e não sua inimiga.

Marcelo de Andrade Romero

Professor titular da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAUUSP)
Superintendente de Gestão Ambiental da Universidade de São Paulo (USP)

Patrocínio:
FUPAM
Fundação para a Pesquisa em Arquitetura e Ambiente

ISBN 978-85-7975-130-1
9 788579 751301