

# reabilita

Reabilitação Ambiental Sustentável  
Arquitetônica e Urbanística

REGISTRO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO À DISTÂNCIA

## Vol. 3 Edifício

TERCEIRA EDIÇÃO - 2023 - REVISADA E AMPLIADA

Org.

Marta Adriana Bustos Romero  
Caio Frederico e Silva  
Ederson Oliveira Teixeira  
Valmor Cerqueira Pazos





# reabilita

Reabilitação Ambiental Sustentável  
Arquitetônica e Urbanística

REGISTRO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO À DISTÂNCIA  
TERCEIRA EDIÇÃO - 2023 - REVISADA E AMPLIADA

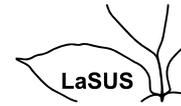
## Vol. 3 Edifício

Org.  
Marta Adriana Bustos Romero  
Caio Frederico e Silva  
Ederson Oliveira Teixeira  
Valmor Cerqueira Pazos





**Reitora** Márcia Abrahão Moura  
**Vice-Reitor** Henrique Huelva  
**Decana de Pesquisa e Inovação** Maria Emília Machado Telles Walter  
**Decanato de Pós Graduação** Lucio Remuzat Rennó Junior



**Diretor da FAU** Caio Frederico e Silva  
**Vice Diretoria da FAU** Maria Claudia Candeia de Souza  
**Coordenadora de Pós-Graduação** Maria Fernanda Derntl  
**Coordenadora do LaSUS** Marta Adriana Bustos Romero

**Coordenação de Produção Editorial,  
Preparação, Revisão e Diagramação** Valmor Cerqueira Pazos  
Isabella Capanema  
Lucas Correia  
Érika Stella Silva Menezes

**Conselho Editorial** Abner Luis Calixter  
Humberto Salazar Amorin Varum  
Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa  
Thiago Montenegro Goes

**Organizadores** Marta Adriana Bustos Romero  
Caio Frederico e Silva  
Ederson Oliveira Teixeira  
Valmor Cerqueira Pazos

Textos, imagens, figuras e ilustrações são de responsabilidade dos autores

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

Reabilitação ambiental sustentável arquitetônica e urbanística [livro eletrônico] : registro de curso de especialização à distância / organização Marta Adriana Bustos Romero...[et al.]. -- 3. ed. -- Brasília, DF : LaSUS FAU : Editora Universidade de Brasília, 2023. -- (Edifício; 3) PDF.

Vários autores.

Outros organizadores: Caio Frederico e Silva, Ederson Oliveira Teixeira, Valmor Cerqueira Pazos.

Bibliografia.

ISBN 978-65-84854-14-7

1. Arquitetura 2. Eficiência energética 3. Simulação computacional 4. Sustentabilidade ambiental 5. Urbanismo I. Romero, Marta Adriana Bustos. II. Silva, Caio Frederico e. III. Teixeira, Ederson Oliveira. IV. Pazos, Valmor Cerqueira.

23-160484

CDD-720.47

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Arquitetura sustentável 720.47Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

3ª Edição

FAU - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / LaSUS – Laboratório de Sustentabilidade Aplicada a Arquitetura e ao Urbanismo.  
Caixa Postal 04431, CEP 70842-970 – Brasília-DF. Telefones: 55 61 99362-3397. E-mail: lasus@unb.br / www.lasus.unb.br

# Prefácio

Bem-vindo ao terceiro volume do livro que registra os principais conteúdos do Curso de especialização Reabilita. Este livro é parte integrante de um curso lato sensu oferecido pelo Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. O curso Reabilita possui como objetivo primordial, a capacitação dos profissionais que atuarão na reabilitação de edificações, considerando critérios de sustentabilidade, eficiência energética e conforto ambiental. O presente livro, sendo o terceiro volume dos livros do curso, aborda questões fundamentais relacionadas à conservação de água, conforto térmico e desempenho de edificações e simulações computacionais.

Composto por quatro módulos multidisciplinares, cada um abordando um aspecto-chave da construção sustentável, esta obra foi cuidadosamente elaborada para fornecer conhecimentos fundamentais e práticos aos profissionais e estudantes engajados na busca por soluções sustentáveis no setor da construção de edifícios e sua implantação na escala urbana.

O primeiro módulo, intitulado “ Uso e conservação de água em edificações “, é de autoria do professor Daniel Richard Sant’Ana. Os capítulos deste módulo abordam a importância da conservação dos recursos hídricos em diversas escalas. Traz estratégias abrangentes para reduzir o consumo de água e conhecerá a aplicação de fontes alternativas. Por meio de programas de gestão de demanda e conscientização, o autor apresenta formas para implementar medidas práticas para o uso racional da água em edifícios.

No segundo módulo, “Eficiência Energética, Conforto Ambiental e Certificações de Sustentabilidade”, de autoria da professora Darja Kos Braga, explora-se o ambiente construído nas suas dimensões do conforto e da eficiência. Nesses capítulos, aborda-se como o ambiente construído afeta diretamente a nossa qualidade de vida. Ao explorar o conforto térmico e a qualidade da iluminação, discute-se como esses fatores impactam nosso humor, bem-estar e saúde. Além disso, apresetam-se certificações de sustentabilidade que avaliam diversas dimensões ligadas a pauta energética em edificações, com destaque para a relevância dessas questões em tempos de pandemia.

O terceiro módulo, “Retrofit e APO – Conforto ambiental e conservação de energia”, de autoria do professor Marcelo de Andrade Roméro,

apresenta conceitos fundamentais para a avaliação do desempenho de edificações já construídas. Nos capítulos do módulo, o autor apresenta a metodologia da Avaliação Pós-Ocupação e discute como ela se torna um valioso subsídio na tomada de decisão para a aplicação de medidas de retrofit. Ao explorar a melhoria e o aprimoramento de sistemas e equipamentos existentes, aborda-se formas de contribuir para a eficiência energética e a preservação do meio ambiente.

Fechando o livro, o quarto módulo, intitulado “Simulação do microclima urbano com o ENVI-met”, de autoria do professor Caio Silva, apresenta-se o universo das simulações computacionais. Nesta era digital, marcada pela 4ª Revolução Industrial, os capítulos apresentam ferramentas e técnicas que possibilitam a análise e o aprimoramento do desempenho de cenários urbanos por meio de simulações ambientais. Com foco no software ENVI-met, explora-se a importância da simulação para compreender o microclima urbano e implementar estratégias sustentáveis.

Cada módulo deste livro oferece uma visão aprofundada e prática sobre aspectos cruciais da construção de um ambiente mais sustentável. Por meio do conhecimento adquirido, pretendemos promover mudanças positivas no setor da construção, contribuindo para um futuro mais sustentável e eficiente.

Acreditamos que este volume é uma ferramenta valiosa em sua jornada profissional e acadêmica. Aproveite ao máximo cada capítulo de cada módulo e aplique o conhecimento adquirido para criar edificações e espaços mais sustentáveis, confortáveis e eficientes.

Boa leitura e que suas descobertas neste livro se transformem em ações concretas para um futuro melhor para todos.

Prof. Caio Silva  
Professor Associado UnB

# Sumário geral

## **Água – Uso e conservação de água em edificações 11**

Apresentação	14
Capítulo 1 – Recursos hídricos e a demanda de água	15
Capítulo 2 – Conservação de água em edificações	25
Palavras finais	36
Referências	37

## **EFIC – Eficiência Energética, Conforto Ambiental e Certificações de Sustentabilidade 43**

Apresentação	46
Capítulo 1 – Conforto térmico e lumínico	47
Capítulo 2 – Eficiência energética nas edificações	68
Capítulo 3 – Certificações de sustentabilidade nas edificações	79
Referências	90

## **Retrofit e APO - Conforto ambiental e conservação de energia 95**

Apresentação	98
Capítulo 1 – A Avaliação Pós-Ocupação – APO	99
Capítulo 2 – APO energética	103
Palavras finais	131
Referências	132

## **SIMU – Simulação do microclima urbano com o ENVI-met 135**

Apresentação	138
Capítulo 1 – O contexto das simulações ambientais	139
Capítulo 2 – O potencial da simulação computacional	147
Palavras finais	153
Referências	154





**reabilita**

# Água

**Uso e conservação de  
água em edificações**

Professor Daniel Sant'Ana, PhD.



# Sumário • Água

<b>Apresentação</b>	<b>14</b>
<b>Capítulo 1 – Recursos hídricos e a demanda de água</b>	<b>15</b>
1.1 O ciclo hidrológico e distribuição de água doce no planeta	15
1.2 Água no mundo	17
1.3 Água no Brasil	18
1.4 Demanda de água urbana e usos-finais de água	20
<b>Capítulo 2 – Conservação de água em edificações</b>	<b>25</b>
2.1 Uso racional de água	25
2.2 Sistemas prediais de água não potável	29
2.3 Programa de conservação de água	34
<b>Palavras finais</b>	<b>36</b>
<b>Referências</b>	<b>37</b>

# Apresentação

Caro cursista,

Seja bem-vindo à disciplina 'Uso e conservação de água em edificações'. Esta disciplina busca fornecer um amplo repertório de diferentes estratégias voltadas à conservação de água e apresentar o embasamento necessário para a elaboração de programas de conservação de água em edificações.

As naturezas quantitativas e qualitativas dos recursos hídricos estão sendo afetadas pela superexploração, poluição e fatores climáticos causados pelo aquecimento global. Tais apontamentos sobre o contexto hídrico atual, têm induzido em todo o mundo, uma série de medidas voltadas à conservação da água e à preservação dos recursos hídricos. Com ênfase na gestão da demanda de água, programas de conservação de água promovem a redução do seu consumo por meio do uso racional e da utilização de fontes alternativas de água.

Atuando na redução da demanda de água, o uso racional da água pode ser obtido por meio de campanhas de sensibilização, correção de vazamentos, redução de perdas e da instalação de equipamentos conservadores de água no sistema hidráulico.

Atuando na oferta, sistemas prediais de água não potável utilizam fontes alternativas para o abastecimento em usos cuja potabilidade não seja necessária, como na irrigação, lavagem, limpeza, descarga sanitária, entre outros.

Além de oferecer um amplo repertório teórico, este módulo estimula o aluno a buscar informações adicionais por meio de leituras complementares e pesquisa de mercado, sem perder contato com a prática profissional.

Desejo-lhe bons estudos,

Professor Daniel Sant'Ana

# Capítulo 1

## Recursos hídricos e a demanda de água

De onde vem a água que bebemos? Ela é suficiente para abastecer nossas demandas urbanas? Como utilizamos água nas edificações? A maneira pela qual a água é utilizada é igual nas diferentes tipologias edilícias (residenciais, comerciais e institucionais)? Quais são os fatores que afetam o consumo de água? Essas e outras questões serão abordadas nesta primeira unidade.

### 1.1 O ciclo hidrológico e distribuição de água doce no planeta

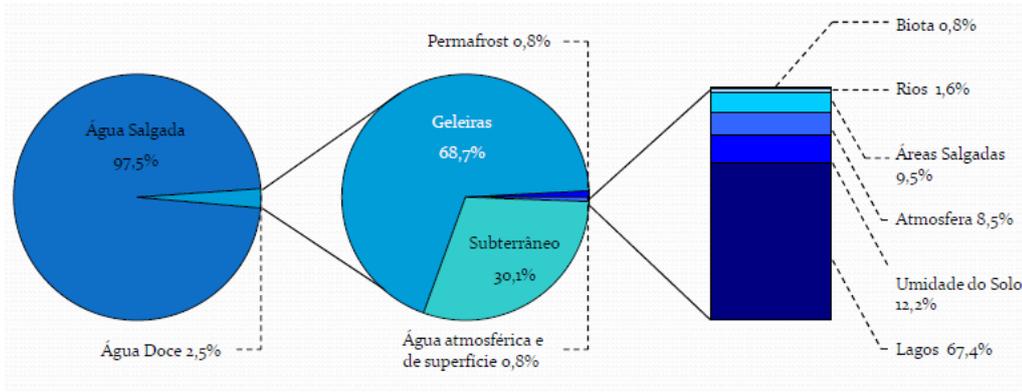
Água é essencial para a vida. Ela sustenta toda a fauna e flora do planeta. Água é vital para a saúde humana, não apenas para consumo e higiene pessoal, mas também para saneamento ambiental, pois a utilizamos no transporte e no tratamento de esgoto. Trata-se de um recurso natural utilizado em diferentes setores econômicos. Usamos água na produção de alimentos na agricultura, na geração de energia elétrica e na produção de bens de consumo em indústrias.

Sabe-se que 70% da superfície terrestre é coberta por água. Apesar da abundância, uma grande parcela de toda a água no mundo encontra-se nos oceanos, em sua forma salgada, imprópria para consumo. Apenas 2,5% da água no mundo é própria para uso agrícola, industrial e para consumo humano. Dessa porcentagem, uma grande parte da água doce encontra-se congelada nas calotas polares, ou em grandes profundidades subterrâneas de difícil extração. Apenas 0,01% de toda a água no mundo encontra-se acessível e adequada para consumo (SHIKLOMANOV, 1993).

Apesar de o volume de água no planeta ser fixo, a água doce é um recurso renovável que passa por um processo de purificação. A energia solar que se incide no planeta aquece as águas dos oceanos e dos continentes terrestre, passando do seu estado líquido ao gasoso. Durante esse processo de evaporação, as impurezas contidas na água são separadas, e as moléculas da água sobem à atmosfera. Esse vapor é transportado pela circulação atmosférica em forma de nuvens. Ao se condensar, a água passa por um processo de transformação, retornando

ao seu estado líquido. No decorrer desse processo de precipitação, a água volta à superfície terrestre em diferentes formas de precipitação (chuva, neve, geada, neblina, orvalho ou granizo). Nesse ínterim é que ocorre o abastecimento de nossos recursos hídricos, alimentando rios, lagos, represas, nascentes e águas subterrâneas.

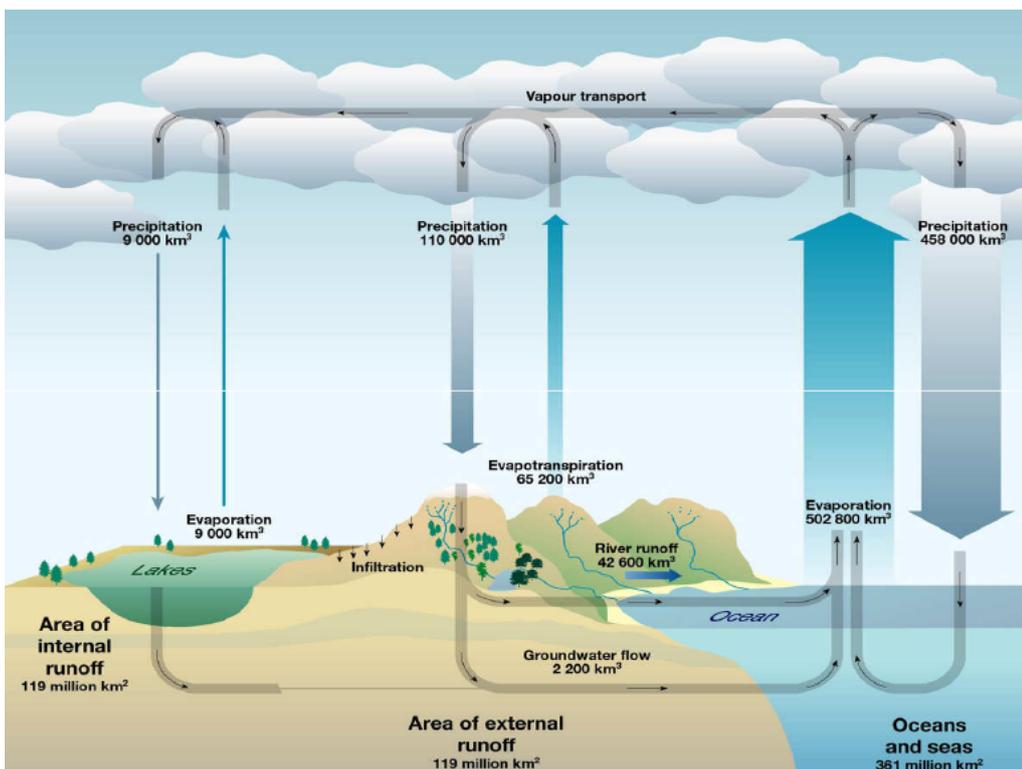
Figura 1 – Distribuição de água no mundo



Fonte: SHIKLOMANOV, 1993

Durante a precipitação, a água que atinge o solo pode ter diferentes destinos. Parte da água precipitada escoar na superfície terrestre chegando aos cursos de água, enquanto outra parte acaba infiltrando no solo, alimentando os lençóis freáticos. As águas que caem sobre o solo retornam aos oceanos diretamente, por escoamento superficial, ou indiretamente, pela descarga natural da água subterrânea.

Figura 2 – Ciclo Hidrológico



Fonte: <https://www.grida.no/resources/5794>

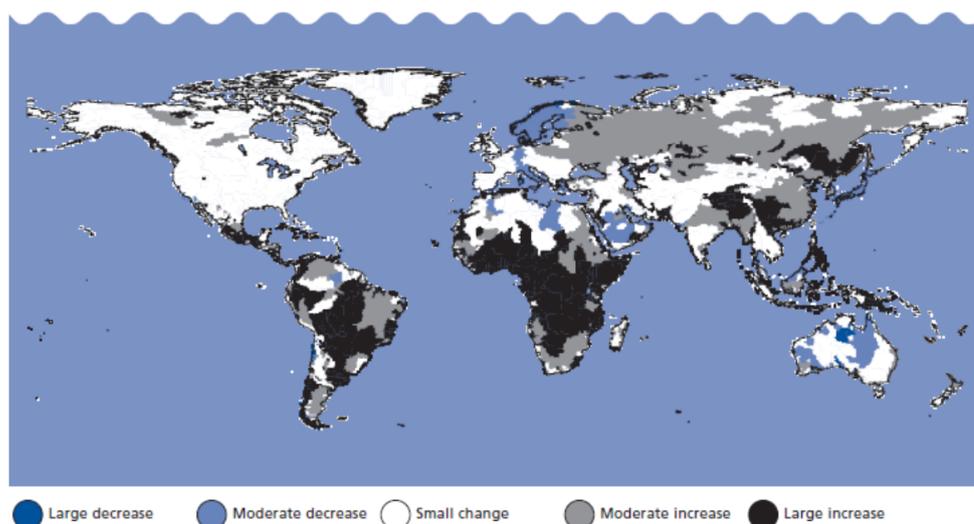
## 1.2 Água no mundo

Desde os primórdios até os dias contemporâneos, os seres humanos utilizam-se da água como um recurso inesgotável, dependendo fortemente de sua capacidade de regeneração. Com o constante crescimento da população mundial, a rápida urbanização, expansão industrial e produção agrícola vêm exercendo uma pressão muito grande ao meio ambiente (UNEP, 2006; UN-WATER, 2006).

Em 1995, o mundo extraiu o equivalente a 3.906 km<sup>3</sup> de água doce, e, segundo Rosegrant et al. (2002), a extração de água deverá aumentar em pelo menos 50% a mais até 2025. Devido ao crescimento populacional, estudos sugerem um aumento de 71% no consumo per capita mundial, dos quais mais de 90% desse aumento ocorrerá em países em desenvolvimento.

O relatório das Nações Unidas (UN-WATER, 2006) demonstra que o consumo mundial de água é exponencialmente maior do que a taxa de crescimento da população, enquanto a disponibilidade de água doce acaba sendo afetada por cargas poluentes de efluentes urbanos, industriais e agrícolas. Tradicionalmente, rios, lagos e águas costeiras têm sido utilizados como recipientes para diluição e dispersão de resíduos. No entanto, os corpos de água têm uma capacidade limitada para processar essas cargas poluentes. De acordo com o Relatório sobre o Desenvolvimento Mundial da Água das Nações Unidas (UN/WWAP, 2003), fontes de água doce estão sendo reduzidas pela poluição. O relatório indica que cerca de dois milhões de toneladas de resíduos são descartados em corpos hídricos diariamente, atingindo o equivalente a 12.000 km<sup>3</sup> de água doce em todo o mundo.

**Figura 3** – Previsão de estresse hídrico no mundo em 2025



Fonte: RIJSBERMAN & COSGROVE, 2000.

Existem evidências de que o aquecimento global terá um impacto sobre o ciclo hidrológico e, conseqüentemente, sobre nossa disponibilidade

hídrica (IPCC, 2001). Estima-se que as mudanças climáticas serão responsáveis por cerca de 20% do aumento da escassez de água no mundo (UN/WWAP, 2003). Embora seja difícil prever mudanças nos padrões de precipitação, simulações indicam que haverá um aumento na frequência de chuvas intensas, o que pode gerar inundações em muitas áreas urbanizadas e secas extremas em regiões áridas e semiáridas pelo mundo (IPCC, 2007).

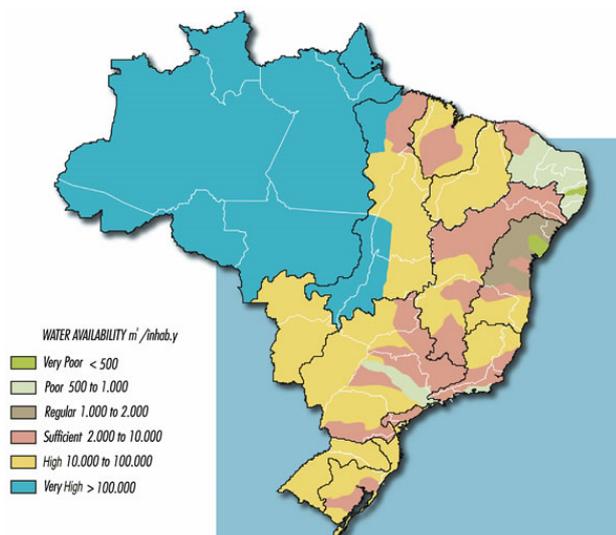
O uso excessivo dos recursos hídricos associado a fatores globais, como por exemplo, mudanças climáticas e poluição, afeta diretamente a quantidade e a qualidade de água para abastecimento. Como podemos observar na figura acima, previsões indicam que muitos países em desenvolvimento na América Latina, África e Ásia terão que enfrentar estresse hídrico caso novas tendências de gestão sustentável de água não sejam adotadas (RIJSBERMAN & COSGROVE, 2000).

### 1.3 Água no Brasil

Atualmente no Brasil, a pressão sobre recursos hídricos é um produto do crescimento populacional e econômico, expresso em altos índices de expansão urbana e poluição de água, agregados a crescentes episódios de inundações e secas, afetando tanto a quantidade como a qualidade de água doce disponível no país (ANA, 2002).

Para enfrentar esses desafios, foi criada a Agência Nacional de Águas (ANA) com o intuito de gerenciar e regularizar os recursos hídricos em âmbito nacional, pela promoção do uso sustentável da água. Para gerenciar os recursos hídricos do Brasil, o país foi dividido em doze regiões, cada uma composta de uma bacia hidrográfica ou grupo de bacias contíguas com características similares.

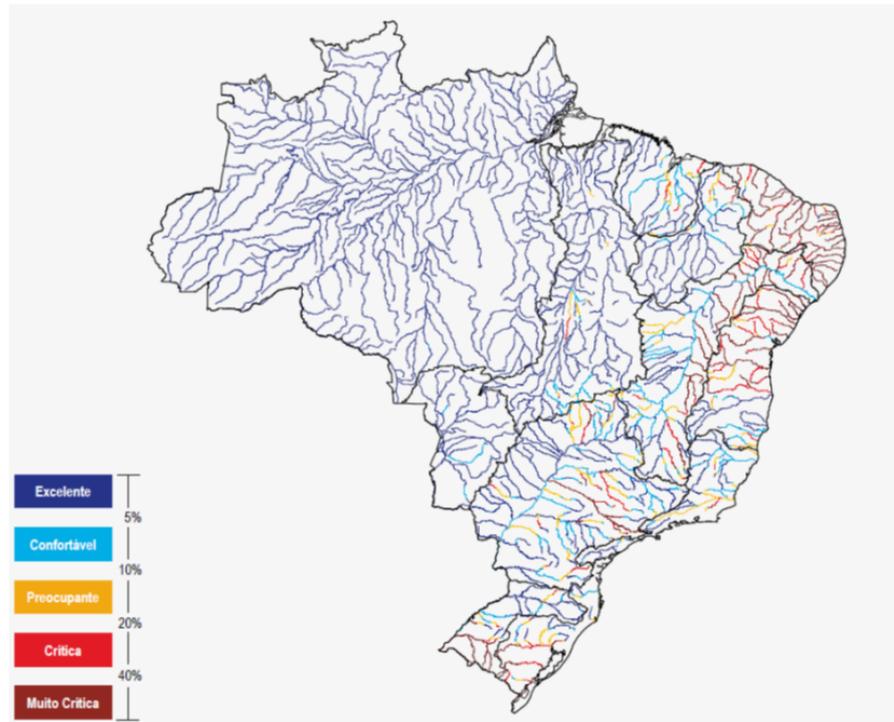
Figura 4 – Disponibilidade hídrica no Brasil



Fonte: RIJSBERMAN & COSGROVE, 2000.

O Brasil detém 11,6% de toda água doce superficial do mundo. Porém, é importante ressaltar 70% dessa água doce encontra-se na região Norte do país para atender apenas 7% da população brasileira. O restante está distribuído desigualmente pelo país, para atender 93% da população. Ao observar a Figura 4 acima, é possível afirmar que existe uma alta disponibilidade de água doce na região Amazônica. Em contrapartida, encontramos baixos níveis de disponibilidade hídrica nas regiões do Nordeste e Sudeste do País.

**Figura 5** – Relação oferta versus demanda



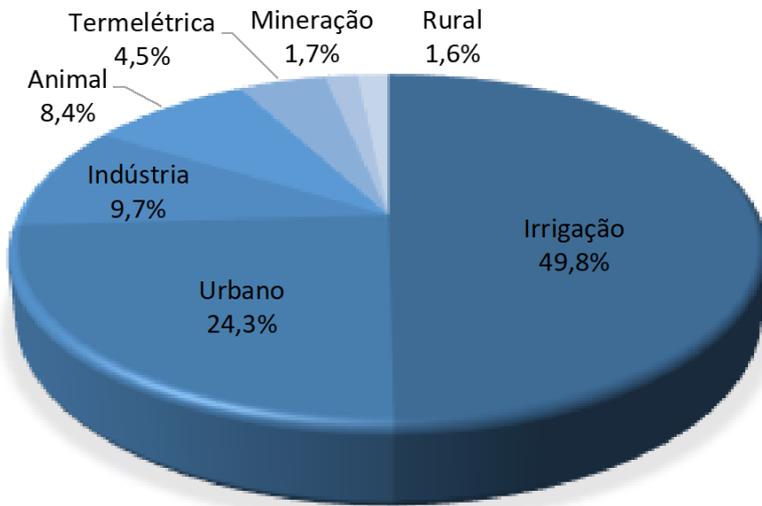
Fonte: ANA, 2007.

A Figura 5 apresenta a relação entre a demanda e a disponibilidade hídrica nos principais recursos naturais do país. Podemos observar que a disponibilidade hídrica de determinados cursos hídricos nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul, encontra-se em situação alarmante. Segundo o relatório da ANA (2012), a baixa disponibilidade hídrica nessas regiões do país está relacionada aos baixos índices de chuva para abastecimento no Sertão. Já a baixa disponibilidade hídrica da região Sudeste está ligada a alta demanda por água doce gerada por sua crescente população urbana. Por sua vez, a região Sul do país apresenta alta demanda referente à irrigação na produção agrícola.

A Figura 6 apresenta as demandas de água no país em 2019 (ANA, 2020). Aproximadamente metade do consumo de água no Brasil foi destinado à produção agrícola, para fins de irrigação (1.038 m<sup>3</sup>/s). Repare que o abastecimento urbano é responsável pela segunda maior vazão de extração de água (506 m<sup>3</sup>/s). Nos últimos anos, a demanda urbana de água tem apresentado um aumento constante no seu consumo per

capita (litros/pessoa/dia). Ou seja, a cada ano que passa as pessoas estão utilizando mais água em suas atividades diárias.

**Figura 6 – Usos de água**

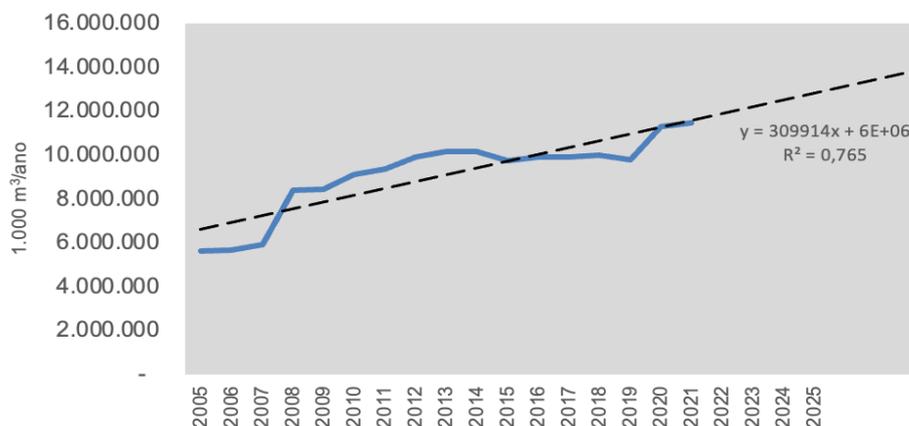


Fonte: ANA, 2020.

### 1.4 Demanda de água urbana e usos-finais de água

A Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades divulga, anualmente, um diagnóstico dos serviços de água e esgoto baseado nas informações enviadas pelas prestadoras de serviços no Brasil, o SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Ao verificar a evolução da demanda urbana de água nos últimos anos, podemos observar um aumento constante no consumo e, em um cenário futuro sem alterações (business as usual), projeções indicam uma crescente tendência na exploração de recursos hídricos para abastecimento urbano (Figura 7).

**Figura 7 – Projeção da demanda de água urbana no Brasil**



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

### Para refletir

Qual o histórico do consumo per capita de sua cidade? A companhia de abastecimento de água disponibiliza essas informações? Verifique a demanda de água per capita do seu estado ou distrito nos últimos anos consultando o SNIS disponível no site <http://www.snis.gov.br>. Em geral, houve um aumento ou redução no consumo? Há alguma explicação hipotética para essa tendência?

Há uma série de variáveis que afetam o consumo de água, entre eles; o clima, número de pessoas, o preço da água, renda, etc. Uma das variáveis que definem como a água será usada é a tipologia da edificação que, por sua vez, está diretamente ligada à sua função e atividades desenvolvidas nela. Com isso, os usos urbanos de água podem ser categorizados em consumo residencial (casas unifamiliares e edifícios multifamiliares), consumo comercial (escritórios, lojas, restaurantes, hotéis, postos de combustível etc.), consumo público (edifícios governamentais, escolas, hospitais etc.) e consumo industrial (produção de bens de consumo, alimentação de caldeiras, resfriamento etc.).

### O que é uma variável?

Uma variável é um elemento, característica ou fator susceptível a variações ou alterações. Variáveis do consumo de água são elementos que afetam a maneira pela qual a água é utilizada em edificações.

### O que é um parâmetro?

Parâmetro é um fator mensurável, numérico ou de outro formato, pelo qual diferentes variáveis podem ser comparadas. Parâmetros de consumo de água são utilizados para comparar o desempenho hidráulico de uma determinada edificação.

Na maioria dos casos, a principal variável que afeta o consumo de água é o número de pessoas em uma determinada edificação. Para tanto, o principal parâmetro utilizado nos indicadores de consumo é o consumo per capita, pelo qual o consumo predial é medido em litros por pessoa por dia (l/p/d). No caso de consumos externos (lavagem de pisos, irrigação etc.), ou de edificações com população flutuante (shopping centers, postos de saúde etc.), um parâmetro de consumo por área pode ser utilizado como medida de consumo em litros por área por dia (l/m<sup>2</sup>/d). Outra alternativa é utilizar um parâmetro baseado em atividades específicas, como, por exemplo, litros por refeição por dia para restaurantes ou litros por leito por dia, no caso de hospitais e hotéis.

O consumo predial é definido pela somatória de atividades que utilizam água em diferentes pontos de uso, dentro e fora da edificação. Segundo Memon e Butler (2006), essas atividades podem ser divididas em duas categorias: i) uso pessoal; e ii) uso comunal. Usos pessoais incluem atividades individuais, muitas vezes relacionadas à higiene (tais como tomar banho, lavar as mãos e rosto, escovar os dentes, usar

o vaso sanitário etc.). Já os usos comunais estão relacionados às atividades de cunho coletivo (preparo de alimento, lavagem de louças, lavagem de roupas etc.) ou atividades externas e prediais (como irrigação de jardins, lavagem de pisos etc.).

Mayer et al. (1999, p.1) definem usos-finais de água como “todos os lugares onde água é utilizada”, incluindo banheiros, chuveiros, torneiras, máquinas de lavar etc. A compreensão dos padrões dos usos-finais de água abre o caminho para a previsão da demanda urbana de água e para o desenvolvimento e avaliação de programas de conservação de água. Porém, segundo Vieira et al. (2007), o consumo de água em seus usos-finais pode variar significativamente de país para país, de região a região ou até mesmo de uma edificação a outra. A Tabela 1 apresenta indicadores dos usos-finais do consumo de água em edificações residenciais, resultados de diferentes estudos realizados no Brasil.

### O que é um indicador?

Alguma coisa que indica o estado ou nível de algo. Indicadores de consumo de água utilizam-se de unidades paramétricas temporais para a comparação de valores-base que ‘indicam’ o consumo de água de uma determinada edificação, e podem ser utilizadas na previsão da demanda de água, avaliação de programas de conservação de água e no dimensionamento de sistemas prediais.

**Tabela 1** – Usos-finais do consumo doméstico de água

USOS-FINAIS DO CONSUMO DOMÉSTICO DE ÁGUA													
	Rocha et al. (1998)	Ghisi & Ferreira (2007)	Ghisi & Oliveira (2007)	Barreto (2008)	Sant'Ana (2012)	Boeger & Sant'Ana (2013)	Marinoskiet al. (2014)	Marinoskiet al. (2018)	Sant'Ana & Mazzega (2018)	Hammeset al. (2020)	Maykot & Ghisi (2020)	Bornfim & Sant'Ana (2021)	MÉDIA
<b>USOS INTERNOS</b>													
Lavatório (%)	8	11	4	4	10	---	5	3	9	6	3	13	7
Chuveiro (%)	55	16	38	14	24	---	37	30	21	33	54	37	33
Bidet / Ducha Higiênica (%)	---	---	---	---	1	---	---	---	2	---	---	---	2
Descarga Sanitária (%)	6	33	27	6	16	---	20	21	17	28	9	36	20
Pia Cozinha (%)	18	34	24	12	15	---	19	23	17	14	10	13	18
Filtro (%)	---	---	---	---	1,5	---	---	---	1	---	---	---	1
Máquina de Lavar Louça (%)	---	---	---	---	0,5	---	---	---	2	---	---	---	1
Tanque (%)	3	2	---	5	10	---	5	7	10	1	3	---	5
Máquina de Lavar Roupa (%)	11	2	7	28	22	---	14	11	17	11	21	---	14
<b>Consumo per capita (l/p/d)</b>	<b>109</b>	<b>179</b>	<b>175</b>	<b>263</b>	<b>221</b>	<b>---</b>	<b>133</b>	<b>123</b>	<b>182</b>	<b>110</b>	<b>154</b>	<b>151</b>	<b>164</b>
<b>USOS EXTERNOS</b>													
Irrigação (%)	---	---	---	---	---	33	---	---	68	---	---	---	51
Lavagem de Pisos (%)	---	---	---	---	---	67	---	---	32	---	---	---	49
<b>Consumo por área (l/m²/d)</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>---</b>	<b>1,0</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>0,5</b>

### Para saber mais

Como vimos anteriormente, uma das variáveis do consumo de água é a tipologia da edificação, pois as atividades desenvolvidas nela afetam a maneira pela qual a água é utilizada. Evidentemente, os indicadores dos usos-finais do consumo doméstico de água, apresentados na Tabela 1, não se aplicam a edifícios comerciais e institucionais. Com isso em mente, verifica-se como a água é utilizada em diferentes tipos de edificações não-residenciais no Brasil.

### Edificações de hospedagem

NASCIMENTO, E. A. A.; SANT'ANA, D. Caracterização dos Usos-Finais do Consumo de Água em Edificações do Setor Hoteleiro de Brasília. **IMED**, v. 3, p. 156-167, 2014.

### Edificações de escritórios

KAMMERS, P. C.; GHISI, E. Usos finais de água em edifícios públicos localizados em Florianópolis-SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.6, n.1, p.75-90, 2006.

PROENÇA, L. C.; GHISI, E. Estimativa de usos finais de água em quatro edifícios de escritórios localizados em Florianópolis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.9, n.3, p.95-108, 2009.

SANT'ANA, D. Aproveitamento de água pluvial no complexo central de tecnologia do Banco do Brasil. In: SEABRA, G. (org.). **Terra: qualidade de vida, mobilidade e segurança nas cidades**. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2013, p.701-714.

### Edificações comerciais

TOTUGUI, N.; SANT'ANA, D.; SANTOS, S. A.; SANTANA, L. F. Caracterização dos usos-finais de água de edifícios comerciais: estudo de caso de um café em Brasília-DF. In: **SISPRED 2019: Desempenho e Inovação de Sistemas Prediais Hidráulicos**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2019. v. 1. p. 103-109.

### Edificações de ensino

MARINOSKI, A. K.; GHISI, E. Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis-SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.8, n.2, p.67-84, 2008.

SANT'ANNA, R.; MIRANDA, R.; CÉSAR, L.; SANT'ANA, D. Análise do consumo de água em escola pública no Distrito Federal. In: SEABRA, G. (org.). **Terra**: qualidade de vida, mobilidade e segurança nas cidades. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2013, p.1231-1243.

SANTANA, P. M.; SANT'ANA, D. Water use and conservation in educational centres of the Federal District, Brazil. In: **PLEA 2017**, Edinburgh. Design to Thrive, 2017. v. 3. p. 5173-5180.

BARBOSA, G. G.; BEZERRA, S. P.; SANT'ANA, D. Indicadores de consumo de água e análise comparativa entre o aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edificações de ensino do Campus Darcy Ribeiro - UnB. **Paranoá**, p. 1-15, 2018.

SANTOS, P. A. S.; RAMOS, S. R.; SANT'ANA, D. Uso racional de água: análise do potencial de redução do consumo em escolas públicas. In: **EuroElecs 2019**, Santa Fe. III Encuentro Latinoamericano y Europeo sobre Edificaciones y Comunidades Sostenibles, Buenos Aires: AJEA, 2020.

### **Edificações de transporte**

SANTOS, S. A.; SANT'ANA, D. Análise do potencial de redução do consumo de água potável pelo aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas na Rodoviária do Plano Piloto de Brasília - DF. **Paranoá**, p. 84-92, 2019.

## Capítulo 2

# Conservação de água em edificações

O que é um programa de conservação de água? O que podemos fazer para reduzir o consumo de água nas edificações? Nesta unidade, veremos as diferentes estratégias voltadas ao uso racional de água e sistemas prediais que fazem uso de fontes alternativas de água em fins não potáveis nas edificações.

### 2.1 Uso racional de água

Atuando na demanda, o uso racional de água busca utilizar água de maneira eficiente, com o mínimo de desperdício. Algumas das medidas voltadas à otimização do consumo de água em edificações incluem a conscientização de usuários, mudanças nos hábitos de consumo, adequação dos processos de uso da água, combate a vazamentos, uso de equipamentos economizadores de água, entre outros.

Corral-Verdugo et al. (2002) argumentam que o comportamento humano é a principal causa de degradação ambiental. O comportamento humano é provavelmente o fator que tem a maior influência sobre o consumo de água em edificações, pois a percepção das pessoas afeta a maneira como a água é utilizada, atuando sobre a frequência e tempo de uso da água. Campanhas de conscientização e educação ambiental, pelos diferentes meios de comunicação (pôsteres, folhetos, adesivos, informativos, palestras etc.), são capazes de estimular atitudes voltadas à conservação por meio de mudanças nos hábitos de consumo das pessoas.

No que se refere a manutenção predial, o uso racional de água pode ser obtido pela adequação dos processos que utilizam água e por meio de ações de base operacional. Por exemplo, os processos de manutenção predial que utilizam água, como lavagem de pisos e irrigação de jardins, podem ser adequados, reduzindo o tempo e a frequência de uso, agregado à utilização de equipamentos eficientes de consumo reduzido. Por sua vez, o monitoramento contínuo do consumo de água, utilizando-se de registros em planilhas eletrônicas e gráficos de leituras mensais, diárias ou até mesmo setorizadas, ajuda a identificar perdas

ou ineficiências no sistema hidráulico para eventuais intervenções ou reparos.

Vazamentos na rede hidráulica reduzem a eficiência do sistema, levando ao desperdício de água, aumentando o consumo e os custos operacionais da edificação. Por mais que pareçam inofensivas, pequenas goteiras de fluxo contínuo podem resultar em enormes perdas de água, caso não sejam consertadas imediatamente. A Tabela 2 apresenta a perda de água estimada gerada por vazamentos comumente encontrados em diferentes equipamentos consumidores de água.

**Tabela 2** – Volumes estimados perdidos em vazamentos

Aparelho/equipamento sanitário		Perda estimada
Torneiras (de lavatório, de pia, de uso geral)	Gotejamento lento	6 a 10 litros/dia
	Gotejamento médio	10 a 20 litros/dia
	Gotejamento rápido	20 a 32 litros/dia
	Gotejamento muito rápido	> 32 litros/dia
	Filete $\varnothing$ 2 mm	> 114 litros/dia
	Filete $\varnothing$ 4 mm	> 333 litros/dia
	Vazamento no flexível	0,86 litros/dia
Mictório	Filetes visíveis	144 litros/dia
	Vazamento no flexível	0,86 litros/dia
	Vazamento no registro	0,86 litros/dia
Bacia sanitária com válvula de descarga	Filetes visíveis	144 litros/dia
	Vazamento no tubo de alimentação da louça	144 litros/dia
	Válvula disparada quando acionada	40,8 litros (supondo a válvula aberta por um período de 30 segundos, a uma vazão de 1,6 litros/segundo)
Chuveiro	Vaza no registro	0,86 litros/dia
	Vaza no tubo de alimentação junto da parede	0,86 litros/dia

Fonte: ANA et al., 2005.

**Tabela 3** – Defeitos/falhas dos aparelhos sanitários e intervenções necessárias

Aparelho Sanitário	Defeitos/Falhas Encontrados	Intervenção
Bacia sanitária com válvula	Vazamento na bacia	Troca de reparos
	Vazamento externo na válvula de descarga	
Bacia sanitária com caixa acoplada	Vazamento na bacia	Regulagem da bóia ou troca de reparos
		Troca ou limpeza da comporta e sede
		Troca ou regulagem do cordão
Torneira convencional (lavatório, pia, tanque, uso geral)	Vazamento pela bica	Troca do vedante ou do reparo
	Vazamento pela haste	Troca do anel de vedação da haste ou do reparo
Torneiras hidromecânicas (lavatório, mictório)	Tempo de abertura inadequado (fora da faixa compreendida entre 6 e 12 segundos)	Troca do pistão ou êmbulo da torneira
	Vazão excessiva	Ajuste da vazão através do registro regulador
	Vazamento na haste do botão acionador	Troca do anel de vedação da haste ou do reparo
Registro de pressão para chuveiro	Vazamentos pelo chuveiro	Troca do vedante ou do reparo
	Vazamento pela haste do registro	Troca do anel de vedação da haste ou do reparo

Fonte: ANA et al., 2005.

Muitas vezes, sistemas hidráulicos datados ou que estejam apresentando sinais de desgaste necessitam de maior atenção a vazamentos. Em geral, vazamentos visíveis ocorrem junto ao equipamento ou aparelho consumidor de água, podem ser evitados por simples manutenção e facilmente reparados pela reposição das peças desgastadas. A Tabela 3 demonstra possíveis intervenções para o reparo de vazamentos em diferentes aparelhos hidro-sanitários. Vazamentos não visíveis ocorrem nas tubulações hidráulicas de alimentação e de distribuição e nos reservatórios de água. Vazamentos não visíveis são difíceis de detectar e podem levar tempo até serem identificados.

### Para saber mais

Quais são alguns dos sinais apresentados por vazamentos não visíveis na rede hidráulica de alimentação, distribuição ou reservatórios? Como identificar vazamentos não visíveis em uma edificação? Consulte o website de sua companhia de abastecimento de água local, verifique se existem dicas simples para identificar vazamentos. Alternativamente, você pode consultar a cartilha O uso racional da água no comércio e o Manual de gerenciamento para controladores de consumo de água no site da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp para maiores informações. Em casos mais complexos, torna-se necessário o uso de equipamentos para a detecção de vazamentos não visíveis.

Quais são os diferentes equipamentos disponíveis no mercado?

Como eles funcionam? Pesquise.

Nas edificações existentes, recomenda-se a substituição dos componentes convencionais por equipamentos economizadores novos. Em novas construções, o projeto hidráulico deve prever os equipamentos economizadores mais apropriados para o uso racional da água. Equipamentos economizadores de água apresentam características específicas de instalação, funcionamento, operação e manutenção e, segundo ANA et al. (2005, p.46), é fundamental que eles:

- “Sejam especificados adequadamente, em função do uso a que se destinam e do tipo de usuário;
- Sejam instalados corretamente, de acordo com as orientações e especificações dos respectivos fabricantes;
- Sejam utilizados da maneira adequada, para o fim a que se destinam, com eventual capacitação de usuários quando for o caso; e

- Recebam a manutenção necessária (preventiva ou corretiva) que garanta a regulagem e o funcionamento correto dos equipamentos, de acordo com as especificações dos respectivos fabricantes.”

### Pesquisa de mercado

A cada ano que passa, novos equipamentos economizadores de água aparecem no mercado. Segundo a SABESP, “os fabricantes estão sempre investindo em tecnologia e desenvolvendo produtos e dispositivos que atendam o mercado. Diversos destes lançamentos são de produtos economizadores de água, voltados especificamente para o seu uso racional”(s.d., p.29). Com isso em mente, identifique um equipamento economizador de água disponível no mercado brasileiro que apresente a menor vazão ou volume de água por uso para os pontos de consumo / usos-finais indicados abaixo:

- Torneira de lavatório;
- Chuveiro;
- Descarga sanitária;
- Mictório;
- Torneira de cozinha;
- Máquina de lavar louça;
- Torneira de uso geral/tanque;
- Máquina de lavar roupa
- Lavagem / limpeza;
- Irrigação.

Qual a sua vazão / volume por uso; marca / modelo; e valor de mercado? Monte uma tabela comparando a relação entre o consumo de equipamentos convencionais e o consumo reduzido. Qual o potencial de redução do consumo de água (%) para cada um deles? Consulte SABESP (s.d., p.29) para obter valores de consumo convencional.

### O que é água não potável?

Água imprópria para consumo humano, cujos parâmetros não atendem às exigências do Ministério da Saúde, mas apresentam condições mínimas para usos restritos nos quais não há risco de contaminação de usuários. ANA et al. (2005, p.51) apresentam as exigências mínimas da água não potável para as diferentes atividades realizadas nos edifícios.

### O que é água pluvial?

Água de chuva captada após escoamento de coberturas ou demais superfícies impermeáveis. Apesar de pura, a água da chuva se contamina ao entrar em contato com impurezas no ar ou superfície de coleta.

### O que é água cinza?

Águas servidas. Esgoto secundário proveniente de processos de lavagem e limpeza. Enquanto alguns autores excluem as águas com gordura (pia de cozinha e máquina de lavar louça) de sua definição, outros subcategorizam como: i) águas cinzas claras (águas provenientes de chuveiros, lavatórios e lavanderia); e ii) águas cinzas escuras (águas com gordura).

### O que é água residuária?

Esgoto doméstico. Efluente composto por águas servidas, águas com gorduras e esgoto primário com contribuição fecal (águas negras).

## 2.2 Sistemas prediais de água não potável

Atuando na oferta, sistemas prediais de água não potável fazem uso de fontes alternativas de água para abastecimento predial em usos restritos cujos padrões de potabilidade não sejam necessários. Entre eles, encontram-se sistemas de aproveitamento de águas pluviais, reúso de águas cinzas e recuperação de águas residuárias.

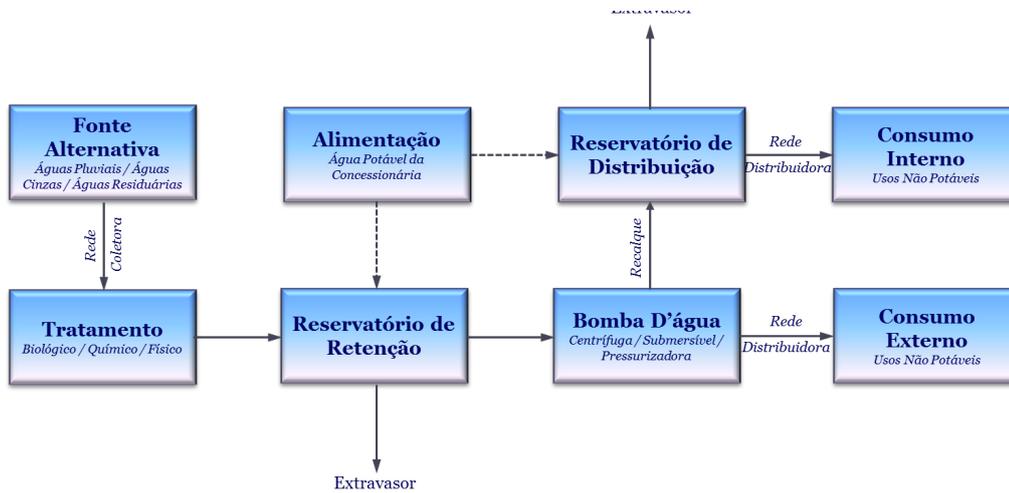
Segundo a Norma ABNT NBR 5626, o abastecimento predial pode ser feito com água potável e água não potável. Nesses casos, a concessionária (companhia de abastecimento de água) deve ser notificada previamente. Recomenda-se verificar se existe alguma norma ou regulamento da concessionária para verificar quais as exigências locais para antes de realizar as instalações prediais.

Conforme estabelecido na Norma ABNT NBR 5626, sistemas prediais de água não potável devem ser totalmente independentes do sistema predial de água potável, evitando conexões cruzadas (interligação de tubulações de água não potável com tubulações de água potável), e utilizando-se dispositivos de separação atmosférica para proteção sanitária da rede de água potável durante o processo de alimentação de água da concessionária no sistema predial de água não potável.

Existem diversos aspectos comuns na composição dos sistemas de água não potável (Figura 8). Fontes alternativas de água, como, por exemplo, águas pluviais, águas cinzas ou águas residuárias, são coletadas por uma rede coletora de tubulações usada no seu transporte para tratamento e retenção. O nível de tratamento da água para uso não potável, seja ele biológico, químico, ou físico, varia de acordo com a qualidade inicial da água e sua qualidade final desejada. Depois de tratada, a água pode ser armazenada em um reservatório de retenção, cujo dimensionamento é função do seu tempo de armazenamento e da sua oferta e demanda. Uma bomba de recalque transporta esta água armazenada para um reservatório de

distribuição conectado à rede de água potável da concessionária, caso haja a necessidade de uma alimentação para suprir a demanda e, sem que haja conexões cruzadas com a rede de água potável, uma rede de distribuição de água não potável, transporta a água para pontos de usos restritos (LEGGETT et al., 2001).

Figura 8 – Fluxograma genérico de sistemas prediais de água não potável no Brasil



### 2.2.1 Aproveitamento de águas pluviais

Segundo Sant’Ana e Amorim (2007), o aproveitamento de água pluvial é um conceito simples que, ao invés de permitir que as águas da chuva provenientes da cobertura escoem pelos bueiros, são filtradas e armazenadas em uma cisterna para seu aproveitamento na irrigação, limpeza, lavagem de roupas, descarga sanitária e demais usos cujo requisito de potabilidade não seja necessário.

Apesar de potável, a água da chuva torna-se imprópria para consumo ao entrar em contato com uma superfície de coleta. Impurezas como terra, poeira, galhos, folhas e excremento de aves são bastante comuns em coberturas, portanto o tratamento da água pluvial torna-se necessário. Também é possível coletar águas pluviais escoadas de pisos, mas neste caso um maior nível de tratamento é necessário, devido ao alto grau de impurezas encontradas no solo (óleos, graxa, fezes de animais, entre outros). Existe a possibilidade da água de chuva tornar-se ácida ao entrar em contato com poluentes na atmosfera, especialmente em regiões próximas a indústrias e fábricas. Nesse caso, a correção do pH da água torna-se necessária para evitar corrosões em metais sanitários.

Sistemas de aproveitamento de água pluvial podem ser classificados de acordo com os usos e nível de tratamento: (i) uso não potável direto; (ii) uso não potável tratado; e (iii) uso potável. O uso não potável direto utiliza-se de um tonel de água fixado a condutores verticais para o armazenamento de um pequeno volume de água pluvial (200 a 500

litros). Devido ao potencial de contaminação por micro-organismos patogênicos para a saúde humana, essa água limita-se à irrigação e lavagem de pisos ou carros.

Para sistemas de maior capacidade (a partir de 5.000 litros), recomenda-se uma pré-filtragem da água pluvial antes do seu armazenamento em uma cisterna (reservatório de retenção). Dispositivos instalados dentro da cisterna garantem a qualidade da água armazenada por grande período de tempo e, com isso, o uso não potável tratado das águas pluviais pode ser utilizado na irrigação, limpeza, descarga sanitária, lavagem de roupas, espelhos d'água, torres de resfriamento, combate a incêndio e demais usos não potáveis em edificações.

Caso essa água passe por um processo de desinfecção, é possível torná-la potável. Porém, o sistema de aproveitamento de água pluvial para uso potável requer um processo de tratamento que atinja os níveis de potabilidade exigida pela Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde e exige um monitoramento constante, podendo ser realizado por meio de uma unidade de controle que corta o abastecimento da água pluvial automaticamente caso o padrão de potabilidade não seja alcançado. Apesar do alto investimento inicial, os benefícios econômicos gerados pelo sistema geram um curto período de retorno – payback (SANT'ANA, 2006). Vale a pena ressaltar que a atual legislação no Brasil não permite o uso potável de águas pluviais em ambientes urbanos com acesso à rede de abastecimento. Em geral, o uso potável de águas pluviais limita-se a edificações autônomas, muitas vezes sem acesso à rede de abastecimento de água.

### **2.2.2 Reúso de águas cinzas**

Devido à escassez de recursos hídricos, diversos países desenvolveram sistemas prediais que reutilizam as águas cinzas em fins não potáveis. Além de promover a conservação de água potável, o reúso de águas cinzas reduz o volume de esgoto gerado pelas edificações, o que permite maximizar os sistemas de infraestrutura urbana de abastecimento de água e de tratamento de esgotos.

É possível encontrar uma gama de impurezas nas águas cinzas. Substâncias como cabelos, pelos, pele, sabão e detergentes usados na lavagem e banho, são bastante comuns. Não podemos esquecer outros tipos de impurezas que passam pelos ralos, como por exemplo urina, traços de fezes, vômito, entre muitos outros contaminantes. Portanto, torna-se necessário tomar certos cuidados para garantir a saúde dos usuários nas edificações e evitar o mal cheiro que pode surgir em função da proliferação de microrganismos.

O reúso de águas cinzas está ligado diretamente ao volume de oferta de águas cinzas, a qualidade do efluente, o tratamento aplicado e à qualidade da água exigida para o uso não potável. Com isso, sistemas

de reúso de águas cinzas também podem ser classificados de acordo com o nível de tratamento e tipos de reúso: (i) reúso não potável direto; e (ii) reúso não potável tratado.

O reúso não potável direto limita-se apenas à irrigação subterrânea de jardins, ou lavagem de pisos. As águas cinzas provenientes de máquinas de lavar roupas podem ser facilmente armazenadas em pequenos tonéis de 200 – 300 litros para reúso direto não tratado em lavagem de pisos, ou até mesmo na irrigação manual de plantas. Ela sua simplicidade, praticidade e baixo custo, a prática do “tonel & balde” é muito comum em residências de renda baixa e média-baixa no Brasil, pois os processos de lavagem de roupas e de pisos durante faxina, geralmente ocorrem no mesmo dia da semana, evitando o armazenamento da água cinza não tratada por um curto período de tempo (SANT’ANA, 2011).

Existem também, sistemas de desvio de águas cinzas que utilizam mecanismos simples para direcionar águas cinzas ao reúso não potável direto em irrigação subsuperficial (Figura 9). O desvio pode ser realizado por gravidade ou, se necessário, as águas cinzas podem ser bombeadas para auxiliar o seu transporte por uma rede de distribuição composta por tubulações perfuradas ou mangueiras porosas para irrigação subsuperficial. Esse tipo de reúso exige que as águas cinzas sejam utilizadas no momento em que são produzidas e que não sejam armazenadas por mais de um dia. Para o reúso de águas cinzas em irrigação por aspersão, lavagem de pisos e descargas sanitárias, torna-se necessário o tratamento físico, biológico e/ou químico do efluente.

Figura 9 – Sistema de desvio de águas cinzas



Fonte: [www.greyflow.net.au](http://www.greyflow.net.au)

### 2.2.3 Recuperação de águas residuárias

Além de conter contaminantes químicos (sabões, detergentes etc.), sólidos suspensos (terras, fibras, poeira etc.) e gorduras das águas

servidas, as águas residuárias contêm contaminação de origem orgânica das águas negras. Devido ao alto nível de bactérias e vírus encontrados no esgoto doméstico, um alto nível de tratamento é exigido na recuperação das águas residuárias para evitar riscos de contaminação dos usuários. Apesar de existir uma carência em pesquisas voltadas ao reúso não-potável de águas residuárias tratadas em edificações, começam a surgir no mercado brasileiro unidades de tratamento voltadas para o reúso não potável em descarga sanitária, irrigação e lavagem externa. Existem dois tipos básicos de sistemas descentralizados de recuperação de águas residuárias para reúso em edificações: (i) leitos cultivados e (ii) micro estações de tratamento.

Leitos cultivados (“constructed wetlands” ou “reedbeds”) são sistemas naturais de tratamento de águas residuárias. Além de promover a biodiversidade local, esses ambientes naturais construídos fazem uso de vegetação aquática para o tratamento aeróbio do esgoto doméstico. O substrato e o alto nível de oxigênio encontrado nas raízes das plantas aquáticas proporcionam um ambiente ideal para a proliferação de microorganismos aeróbios que decompõem as impurezas das águas residuárias, permitindo a absorção dos nutrientes de substâncias tóxicas pela vegetação. Para adquirir padrões de reúso não-potável, esse sistema natural requer um tratamento primário anaeróbio antes de o esgoto afluir no leito e fornecer desinfecção ao afluyente tratado.

Micro estações de tratamento, por outro lado, são produtos comercialmente disponíveis em modulações ou compactos e são ideais em ambientes urbanos com pouco espaço. Em geral, as micro estações oferecem tratamento primário, secundário e terciário de águas residuárias proporcionando um nível de tratamento adequado para o reúso não potável em descargas sanitárias, irrigação e lavagem de pisos ou carros.

### Pesquisa de mercado

Existe uma série de equipamentos hidráulicos e unidades de tratamento de água comercialmente disponíveis no mercado brasileiro para a composição de sistemas prediais de água não potável. Com isso em mente, faça um levantamento das diferentes tecnologias existentes voltadas para: i) o aproveitamento de águas pluviais; ii) o reúso de águas cinzas; e iii) a recuperação de águas residuárias.

Faça uma breve descrição do funcionamento de cada sistema, e procure compreender quais as possíveis composições hidráulicas para usos externos (irrigação, lavagem de pisos etc.) e internos (descarga sanitária, lavagem de roupas etc.). A composição do sistema hidráulico é o mesmo para ambos os casos?

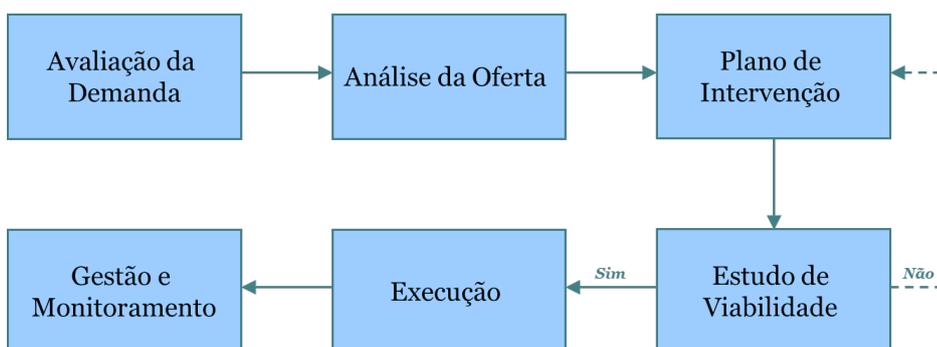
### 2.3 Programa de conservação de água

O programa de conservação de água pode ser definido como um conjunto de ações voltadas à gestão da demanda de água. Segundo ANA et al. (2005, p.21), “os grandes motivadores para a implantação de um programa de conservação de água são:

- Economia gerada pela redução do consumo de água;
- Economia criada pela redução dos efluentes gerados;
- Consequente economia de outros insumos como energia e produtos químicos;
- Redução de custos operacionais e de manutenção dos sistemas hidráulicos e equipamentos da edificação;
- Aumento da disponibilidade de água (proporcionando, no caso das indústrias, por exemplo, aumento de produção sem incremento de custos de captação e tratamento);
- Agregação de valor ao “produto”;
- Redução do efeito da cobrança pelo uso da água; e
- Melhoria da visão da organização na sociedade – responsabilidade social.

A Figura 10 apresenta um fluxograma simplificado do programa de conservação de água em edificações existentes e futuras obras. O programa de conservação de água dá-se início pela compreensão dos usos-finais do consumo de água conforme sua tipologia edilícia. Para novas edificações, recomenda-se utilizar indicadores de consumo que mais se aproximam da realidade da edificação. Alternativamente, uma auditoria do consumo de água pode ser realizada em uma edificação similar existente para obter as informações necessárias.

Figura 10 – Programa de conservação de água



Fonte: o autor

### O que é auditoria do consumo de água?

Auditoria do consumo de água é um processo documentado na avaliação dos fluxos de água dentro de um determinado domínio, onde a avaliação da quantidade e qualidade de água é realizada para as diferentes atividades consumidoras de água.

#### Para saber mais

ANA; FIESP; SindusCon-SP. **Conservação e reúso da água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005. 151p.

SABESP. **Manual de gerenciamento para controladores de consumo de água**. São Paulo: SABESP, 2014. 85p.

MMA. **Manual prático para uso e conservação da água em prédios públicos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, [s.d.]. 71p.

Para o dimensionamento de sistemas prediais de água não potável (ver Unidade 2.5) torna-se necessário verificar possíveis fontes alternativas de água. Recomenda-se uma análise quantitativa da oferta de água para verificar o volume de água disponível. É importante realizar um balanço entre a demanda e a oferta de diferentes fontes alternativas de água para garantir uma continuidade no fornecimento de água.

Com isso, é possível traçar um plano de intervenção composto por diferentes estratégias voltadas à conservação de água, pelo uso racional ou até mesmo pelo uso de fontes alternativas de água em fins não potáveis nas edificações. A concepção de um anteprojeto auxilia no estudo de viabilidade para verificar a adaptabilidade das estratégias (em edificações existentes), o potencial de redução do consumo de água promovido pelas estratégias individualmente e em conjunto, assim como os custos e benefícios gerados. No caso de inviabilidade, modifica-se o conjunto de ações (plano de intervenção) até que sua viabilidade seja comprovada.

A execução do programa de conservação de água inclui a elaboração de um projeto detalhado, com cronograma de atividades para as intervenções. No caso de equipamentos e sistemas hidráulicos, busca-se uma instalação correta, de acordo com especificações técnicas de fabricantes. Uma vez implementadas as ações, recomenda-se traçar um plano de gestão voltado a uma avaliação contínua do consumo de água e da manutenção dos equipamentos e sistemas hidráulicos instalados.

# Palavras finais

Com isso, concluímos nossa disciplina 'Uso e conservação de água em edificações'. Com ela, refletimos sobre a importância da gestão da demanda de água em busca de um desenvolvimento sustentável nas cidades brasileiras.

O material didático elaborado para esse curso fornece o embasamento teórico necessário para a compreensão do consumo predial e os usos-finais de água de diferentes setores para a previsão da demanda de água em edificações - informações cruciais no dimensionamento e avaliação de projetos voltados à conservação de água em edificações.

O conteúdo apresentado introduziu os conceitos e as tecnologias existentes para o uso racional de água e para o uso de fontes alternativas de água não potável em edificações como estratégias eficazes na conservação de água.

Além disso, a presente disciplina estimulou a busca de informações adicionais por meio de leituras complementares de estudos científicos, sem perder o contato com a prática do profissional da construção civil (por meio de pesquisas de mercado), em busca do estado da arte de tecnologias de conservação de água.

A cada dia que passa, a procura por soluções viáveis voltadas à conservação de água em edificações aumenta, ampliando a demanda por profissionais capacitados para atuar nesse extenso mercado de trabalho.

Espero que esta disciplina o tenha estimulado a sempre buscar alternativas que promovam a conservação de água em suas decisões projetuais e na sua prática profissional dentro da construção civil e demais áreas correlatas.

Faça um bom proveito do material e sempre busque saber mais!

Daniel Sant'Ana, dsantana@unb.br.

# Referências

ALCANTARA, I. R. M. G.; PAZOS, V.; BOEGER, L.; SANT'ANA, D. Técnicas de auditoria do consumo de água: relatos de experiência em campo. In: **Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade**. 1ed. Brasília: LaSUS, 2021, v. 1, p. 142-156.

ANA. **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: Agência Nacional das Águas, 2002.

\_\_\_\_\_. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: Agência Nacional das Águas, 2007.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**: informe anual. Brasília: Agência Nacional das Águas, 2020. 118p.

ANA; FIESP; SindusCon-SP. **Conservação e reúso da água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005. 151p.

BOMFIM, B.C.S.; SANT'ANA, D. Análise dos usos-finais de água de uma quitinete em Brasília. In: **Água e o Ambiente Construído**. 1ed. Ponta Grossa: Atena Editora, v. 1, p. 25-36, 2021.

BARBOSA, G. G.; BEZERRA, S. P.; SANT'ANA, D. **Indicadores de consumo de água e análise comparativa entre o aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edificações de ensino do Campus Darcy Ribeiro- UnB**. Paranoá, p. 1-15, 2018.

BARRETO, D. **Perfil do consumo residencial e usos finais da água**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p.23-40, abr./jun., 2008.

BOEGER, L.; SANT'ANA, D. Análise de viabilidade para o aproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais de Brasília. In: SEABRA, G. (org.) **Terra**: qualidade de vida, mobilidade e segurança nas cidades. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, p.1140-1153, 2013.

CORRAL-VERDUGO, V. et al. **Residential water consumption, motivation for conserving water and the continuing tragedy of the commons**. Environmental Management v.30 n.4, p.527-535, 2002.

GHISI, E.; FERREIRA, D. F. **Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil**. Building and Environment, v. 42 n. 7, p.2512-2522, 2007.

GHISI, E.; OLIVEIRA, S. M. **Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil.** Building and Environment, v. 42 n. 4, p.1731-1742, 2007.

HAMMES, G.; GHISI, E; THIVES, L. P. **Water end-uses and rainwater harvesting: a case study in Brazil.** Urban Water Journal, v. 17, n. 2, p. 177-183, 2020.

HENZE, M.; LEDIN, A. **Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewaters.**New York: IWA, 2001.

KAMMERS, P. C.; GHISI, E. **Usos finais de água em edifícios públicos localizados em Florianópolis-SC.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.6, n.1, p.75-90, 2006.

LEGGETT, D.et al. **Rainwater and greywater use in buildings: best practice guidance.** London: CIRIA, 2001. 121p.

MARINOSKI, A. K.; GHISI, E. **Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis-SC.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.8, n.2, p.67-84, 2008.

MARINOSKI, A.K; VIEIRA, A. S.; SILVA, A. S.; GHISI, E. **Water end-uses in low-income houses in Southern Brazil.** Water, v. 6, n. 7, p. 1985-1999, 2014.

MARINOSKI, A. K.; RUPP, R. F.; GHISI, E. **Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings.** Journal of Environmental Management, v. 206, p. 28-39, 2018.

MAYER, P. W. et al. **Residential end uses of water.** AWWA Research Foundation. American Water Works Association, 1999.

MAYKOT, J.K.; GHISI, Enedir. **Assessment of a rainwater harvesting system in a multi-storey residential building in Brazil.** Water, v. 12, n. 2, 2020.

MEMON, F.; BUTLER, D. Domestic water consumption trends and techniques for demand forecasts. In: BUTLER, D.; MEMON, F. (eds.) **Water Demand Management.** London: IWA Publishing, p.1-25, 2006.

NASCIMENTO, E. A. A.; SANT'ANA, D. **Caracterização dos Usos-Finais do Consumo de Água em Edificações do Setor Hoteleiro de Brasília.** IMED, v. 3, p. 156-167, 2014.

PROENÇA, L. C.; GHISI, E. **Estimativa de usos finais de água em quatro edifícios de escritórios localizados em Florianópolis.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.9, n.3, p.95-108, 2009.

RIJSBERMAN, F.R.; COSGROVE, W.J. **World water vision**: making water everybody's business. Washington: Earthscan, 2000.

ROCHA, A. L., BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E. **Caracterização e monitoramento do consumo predial de água**. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasília: Secretaria de Política Urbana. 1998.

ROSEGRANT, M.W.; CAI, X.; CLINE, S.A. **Global water outlook to 2025**: Averting an impending crisis. Washington: International Food Policy Research Institute, 2002.

SABESP. **Manual de gerenciamento para controladores de consumo de água**. São Paulo: SABESP, [s.d.]. 95p. Disponível em: <site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp\_doctos?Manual%20do%20controlador.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2014.

SANT'ANA, D. Rainwater harvesting in Brazil: investigating the viability of rainwater harvesting for a household in Brasília. In: BROADBENT, G.; BREBBIA, C.A. (ed.). **Eco-architecture**: harmonisation between architecture and nature. Southampton: WIT Press, v. 86, p. 381-390, 2006.

\_\_\_\_\_. Aproveitamento de água pluvial no complexo central de tecnologia do Banco do Brasil. In: SEABRA, G. (org.). **Terra**: qualidade de vida, mobilidade e segurança nas cidades. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, p.701-714, 2013.

SANT'ANA, D.; AMORIM, C. N. D. **Reúso de água em edificações**: premissas e perspectivas para o contexto brasileiro. Sistemas Prediais, São Paulo, v.2, n.1, p.32-37, 2007.

SANTANA, P. M.; SANT'ANA, D. Water use and conservation in educational centres of the Federal District, Brazil. In: PLEA 2017, Edinburgh. **Design to Thrive**. v. 3. p. 5173-5180, 2017.

SANT'ANNA, R.; MIRANDA, R.; CÉSAR, L.; SANT'ANA, D. Análise do consumo de água em escola pública no Distrito Federal. In: SEABRA, G. (org.). **Terra**: qualidade de vida, mobilidade e segurança nas cidades. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, p.1231-1243, 2013.

SANTOS, P. A. S.; RAMOS, S. R.; SANT'ANA, D. Uso racional de água: análise do potencial de redução do consumo em escolas públicas. In: Euro Elecs 2019, Santa Fe. **III Encuentro Latinoamericano y Europeo sobre Edificaciones y Comunidades Sostenibles**, Buenos Aires: AJEA, 2020.

SANTOS, S. A.; SANT'ANA, D. **Análise do potencial de redução do consumo de água potável pelo aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas na Rodoviária do Plano Piloto de Brasília - DF**. Paranoá, p. 84-92, 2019.

SHIKLOMANOV, I. A. World freshwater resources. In: Gleik, P. H. (ed.) **Water in crisis**. Oxford: Oxford University Press, 1993.

TOTUGUI, N.; SANT'ANA, D.; SANTOS, S. A.; SANTANA, L. F. Caracterização dos usos-finais de água de edifícios comerciais: estudo de caso de um café em Brasília-DF. In: SISPREL 2019, São Paulo. **Desempenho e Inovação de Sistemas Prediais Hidráulicos**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2019. v. 1. p. 103-109.

UNEP. **Challenges to international waters**: regional assessments in a global perspective. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2006.

UN-WATER. **Coping with water scarcity**: a strategic issue and priority for system-wide action. New York: UN-Water, 2006.

UN/WWAP. **1st UN world water development report**: water for people, water for life. Paris, New York and Oxford: UNESCO and Berghahn Books, 2003.

Vieira, P. et al. **Household water use**: a Portuguese field study. Water Science and Technology: Water Supply v.7 n.5, p.193-202. 2007.







# **EFIC**

**Eficiência Energética,  
Conforto Ambiental e  
Certificações de  
Sustentabilidade**

Professora Darja Kos



# Sumário • EFIC

<b>Apresentação</b>	<b>46</b>
<b>Capítulo 1 – Conforto térmico e lumínico</b>	<b>47</b>
1.1 Conforto térmico	48
1.2 Conforto lumínico	56
1.3 Variáveis arquitetônicas	59
<b>Capítulo 2 – Eficiência energética nas edificações</b>	<b>68</b>
2.1 Consumo de energia elétrica em edificações brasileiras	69
2.2 NBR 15.575 Edificações Habitacionais - Desempenho	70
2.3 Etiquetagem PROCEL Edifica	74
<b>Capítulo 3 Certificações de sustentabilidade nas edificações</b>	<b>79</b>
3.1 Certificação AQUA-HQE	80
3.2 Selo casa azul + caixa	82
3.3 Certificação LEED	83
3.4 Certificação EDGE	85
3.5 Certificações de saúde e bem-estar	87
<b>Referências</b>	<b>90</b>

# Apresentação

*“A experiência da arquitetura é recebida por todos os nossos sentidos e não unicamente pela visão. A qualidade de um espaço é medida pela sua temperatura, sua iluminação, seu som”.*  
Louis Kahn

Você provavelmente está dentro de um espaço construído. Como está se sentindo em relação ao conforto térmico? Está frio, quente ou neutro?

E como está a luz? Proporciona um ambiente agradável? Atende às suas necessidades para a tarefa que está sendo realizada, sem cansar a vista?

As mais recentes pesquisas científicas comprovam a grande influência do ambiente construído no nosso humor, bem estar e saúde. Essa influência vai muito além do conforto térmico, lumínico e acústico.

Por essa razão, foi incluída no texto do módulo a parte sobre certificações que avaliam a saúde e o bem-estar em edificações. Com a pandemia, essa temática ganhou mais importância ainda. Inclusive, as certificações se apressaram e incluíram os protocolos e referenciais específicos voltados para a prevenção de contágio com covid-19.

A saúde do meio ambiente é outro tópico relevante. Não adianta nos preocuparmos apenas com o nosso conforto, mas que este também seja alcançado com o mínimo de impacto ambiental. Portanto, ao mesmo tempo abordaremos os tópicos de Eficiência Energética e Certificações de Sustentabilidade.

Bons estudos!

Professora Darja Kos

# Capítulo 1

## Conforto térmico e lumínico

Feche os olhos e concentre-se em você... perceba a posição em que se encontra, o móvel que lhe apoia o corpo, a roupa que veste, os sons ou ruídos que pode ouvir, o ar que lhe circunda, os cheiros que sente...

Agora responda... Você está **confortável**?

“Uma pessoa está confortável em relação a um acontecimento ou fenômeno quando pode observá-lo ou senti-lo sem preocupação ou incômodo. Portanto, diz-se que uma pessoa está em um ambiente físico confortável quando se sente em neutralidade com relação a ele” (CORBELLA; YANNAS, 2003).

Dispomos de sistemas de percepção de calor, luz e som. Quando essas variáveis se encontram fora da nossa faixa de conforto, nosso corpo tem que se esforçar para se adaptar. Quanto maior esforço de adaptação, maior a sensação de desconforto.

Contudo não é tão simples assim... A nossa sensação sensorial não depende apenas da nossa fisiologia, mas também dos aspectos emocionais e psicológicos. Cada indivíduo interpreta psicologicamente e emocionalmente os estímulos físicos externos, e esta interpretação é de caráter subjetivo e de difícil avaliação (VIANNA; GONÇALVES, 2004).

Por isso, pessoas possuem limites e tolerâncias de conforto distintas, sendo difícil agradar a todos quando se tem um número significativo de pessoas num determinado ambiente.

Conforto ambiental envolve as seguintes subáreas:

- Conforto térmico;
- Conforto lumínico (luminoso);
- Conforto sonoro (acústico); e
- Ergonomia.

Embora a ergonomia seja muito importante para o conforto humano, não é abordada neste módulo por não estar ligada a aspectos arquitetônicos, mas a forma como o homem realiza suas atividades. A seguir, explicitam-

se os conceitos de conforto térmico e lumínico e alguns princípios e mecanismos para sua obtenção.

## 1.1 Conforto térmico

O termo **conforto térmico** define a sensação que o organismo humano experimenta quando “perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum **mecanismo de termorregulação**, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade” (FROTA E SCHIFFER, 2001).

A Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado define conforto térmico como “a condição mental que expressa a satisfação do indivíduo com o seu ambiente térmico” (ASHRAE, 2001). Trata-se, portanto, de algo subjetivo.

A seguir, vamos conhecer um pouco mais dos principais conceitos no conforto térmico:

- Mecanismos de termorregulação;
- Trocas térmicas entre corpo e ambiente;
- Variáveis de conforto térmico; e
- Índices de conforto térmico.

### 1.1.1 Mecanismos de termorregulação

A temperatura interna do organismo humano deve ser mantida praticamente constante, entre 36°C e 37°C. Já os limites para a sobrevivência estão entre 32°C e 42°C. Quando o meio apresenta condições térmicas inadequadas, o sistema termorregulador do homem é ativado. Este sistema reduz ou aumenta as perdas de calor pelo organismo.

No frio, mecanismos termorreguladores ajudam a evitar as perdas térmicas do corpo e aumentam a produção interna de calor. Eles se manifestam na seguinte ordem: vasoconstrição periférica (contração de vasos capilares próximos à pele), arrepios e aumento de metabolismo revelado pelo tremor dos músculos.

No calor, agem os mecanismos termorreguladores que aumentam as perdas térmicas do corpo: a vasodilatação periférica (dilatação de vasos próximos à pele), o suor e a redução automática do metabolismo.

Você já deve conhecer bem esses mecanismos e seus efeitos por experiência própria.

### 1.1.2 Trocas térmicas entre corpo e ambiente

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

A temperatura da pele também varia de acordo com cada parte do corpo e depende da temperatura do ar, variando normalmente entre 4°C e 45°C. Acima ou abaixo desses valores o indivíduo sente dor (BUTERA, 1995).

O calor é dissipado por meio de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente, envolvendo:

- Trocas secas: condução, convecção, radiação;
- Trocas úmidas: evaporação.

A **condução** térmica é um dos meios de transferência de calor que ocorre em materiais sólidos, pois é a propagação do calor por meio do contato.

A **convecção** é a forma de troca de calor entre um corpo físico e um fluido (líquido ou gás). As trocas são ativadas pelo deslocamento do fluido, que pode ser – natural (quando as porções aquecidas sobem, devido à sua densidade mais baixa, e as porções frias descem) ou – forçado (vento, por exemplo) (FROTA e SCHIFFER, 2001).

A **radiação** é o mecanismo de troca de calor entre dois corpos – que guardam entre si uma distância qualquer – por meio de sua capacidade de emitir e de absorver a energia térmica. Esse mecanismo é consequente da natureza eletromagnética da energia, o que permite sua transmissão sem necessidade de meio de propagação, ocorrendo mesmo no vácuo (FROTA e SCHIFFER, 2001).

A **evaporação** envolve as mudanças de fase – o suor (líquido) passa para o estado gasoso por meio da evaporação.

### 1.1.3 Variáveis de conforto térmico

As principais variáveis de conforto térmico são:

- Atividade física (metabolismo);
- Resistência térmica da vestimenta; e
- Parâmetros ambientais: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar.

Além disso, gênero, idade, hábitos alimentares e peso corporal exercem influência nas condições de conforto térmico e devem ser considerados.

#### **Metabolismo**

O metabolismo é o processo no qual as calorias adquiridas pelos

alimentos são transformadas pelo organismo em energia, usando o oxigênio extraído do ar pela respiração. Porém, de toda a energia produzida pelo organismo humano, apenas 20% é transformada em potencial de trabalho. Os 80% restantes são transformados em calor que deve ser dissipado para que a temperatura interna do organismo seja mantida em equilíbrio.

A dissipação da energia interna depende de vários fatores e é controlada por meio de mecanismos termorreguladores. A Tabela 1 apresenta dados relativos ao calor dissipado pelo corpo em função da atividade do indivíduo.

**Tabela 1** – Taxas metabólicas para diferentes atividades segundo a ISO 7730 (2005)

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

## Vestimenta

A vestimenta funciona como a resistência térmica interposta entre o corpo e o meio, ou seja, ela representa uma barreira para as trocas de calor por condução, convecção e radiação. Desse modo, funciona como isolante térmico, pois mantém junto ao corpo uma camada de ar mais aquecido.

Em climas muito secos, com temperaturas elevadas, poder-se-ia pensar que a ausência de roupas garante condições mais confortáveis. No entanto, nesse clima as vestimentas adequadas são as que mantêm a umidade advinda do organismo pela transpiração (evitando a desidratação) e reduzem o ganho de calor da radiação solar direta (Figura 1).

A vestimenta reduz também a sensibilidade do corpo às variações de temperatura e de velocidade do ar. Sua resistência térmica depende do tipo de tecido, da fibra e do ajuste ao corpo.

Figura 1 – Vestimenta dos povos nômades do Sahara (clima quente seco)



Fonte: <<https://www.walkingwithnomads.com/nomads-of-the-sahara-part-4/>>.  
Acesso em: 07 de julho de 2023

A resistência térmica da vestimenta é medida em unidade denominada clo (originada da palavra inglesa clothes - roupas). Um clo corresponde a  $0,155 \text{ m}^2\text{C/W}$ , o que é equivalente à vestimenta de um terno completo (calça, camisa, paletó, colete e gravata).

A Tabela 2 apresenta os índices de resistência térmica para as principais peças de roupa. O índice total da vestimenta de uma pessoa é a soma dos índices de todas as peças que compõem a vestimenta.

Tabela 2 – Índice de resistência térmica para vestimentas segundo ISO 7730 (2005)

Vestimenta	Índice de resistência térmica - Icl (clo)
meia calça	0,10
meia fina	0,03
meia grossa	0,05
calcinha e sutiã	0,03
cueca	0,03
camiseta de baixo	0,09
camisa manga curta	0,15
camisa com mangas compridas	0,25
blusa com mangas compridas	0,15
saia grossa	0,25
vestido leve	0,15
vestido grosso manga comprida	0,40
jaqueta	0,35
calça fina	0,20
calça média	0,25
sapatos	0,04

## Parâmetros ambientais

### Temperatura do ar

Você sabia que a temperatura do ar não é decorrência da ação direta dos raios do sol? O ar é transparente e deixa passar todos os comprimentos de ondas eletromagnéticas. O processo ocorre indiretamente, da seguinte forma: primeiramente, a radiação solar atinge as superfícies (sólidas e líquidas), onde é em parte absorvida e em parte refletida. A parte absorvida se transforma em calor, a temperatura das superfícies aumenta e, por convecção, aquece o ar.

A temperatura do ar é, portanto, consequência de um balanço energético entre:

- A radiação solar incidente e o coeficiente de absorção da superfície receptora;
- A condutividade e a capacidade térmica dos materiais que determinam a transmissão de calor por condução;
- As perdas por evaporação (superfícies úmidas), convecção de ar e radiação.

O resultado desses fenômenos simultâneos é que a temperatura do ar começa a se elevar a partir do nascer do sol. Cerca de duas horas depois do sol passar pelo ponto mais alto da sua trajetória, a temperatura chega ao seu máximo como a consequência do calor armazenado na superfície terrestre. A partir desse momento, o balanço começa a ser negativo: a energia perdida, especialmente por radiação em direção às altas camadas da atmosfera, é maior que a recebida, fazendo com que a temperatura do ar comece a diminuir até alcançar um mínimo pouco antes do nascer do sol.

### Temperatura radiante média

A temperatura radiante média representa “a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor por radiação é igual ao ambiente real não uniforme” (LAMBERTS et al, 2001). Podemos dizer que, “se uma pessoa está num ambiente cujo ar tem uma temperatura menor que a das paredes, receberá energia térmica delas, aumentando sua temperatura” (CORBELLA; YANNAS, 2003), nesse caso, por efeito da radiação.

Ou seja: em um ambiente que recebe muita radiação solar, somente a temperatura do ar não nos indicará exatamente a sensação térmica de um indivíduo. É importante que seja considerada também a temperatura radiante média, que modifica substancialmente essa sensação. Lembre-se de quando entramos em um carro que ficou exposto ao sol e mesmo depois de abrir todas as janelas continua um forno! Essa sensação de calor é fruto de altas temperaturas radiantes, ocasionadas

por superfícies quentes dentro do veículo.

### **Velocidade do ar**

A velocidade do ar é consequência da ação dos ventos ou dos fenômenos de convecção dentro de um ambiente. Atua como variável de conforto térmico na medida em que acelera as perdas de calor do corpo por convecção. Mas ela só será realmente efetiva para efeito de conforto térmico (dissipação do calor), se o fluxo de ar estiver localizado na altura do corpo dos ocupantes.

### **Umidade relativa do ar**

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

O ar, a uma determinada temperatura, somente pode conter uma certa quantidade de vapor de água. Quando chegamos a esse valor máximo, dizemos que o ar está saturado. Ultrapassado esse limite, ocorre a condensação, na qual o vapor excedente passa ao estado líquido, provocando o aumento da temperatura da superfície onde ocorre a condensação. Esses processos dão lugar a uma forma particular de transferência de calor: um corpo perde calor por evaporação que será ganho por aquele no qual se produz a condensação.

A umidade e a velocidade do ar influenciam na perda de calor por evaporação. Aproximadamente 25% da energia térmica gerada pelo organismo é eliminada dessa forma (10% por respiração e 15% por transpiração).

À medida em que a temperatura do meio se eleva, dificultando as perdas de calor por convecção e radiação, o organismo aumenta sua eliminação por evaporação. Em outras palavras, quando está quente suamos mais, e o movimento do ar acelera a evaporação do suor, por isso a ventilação é importante.

Porém, quando a temperatura do ar é superior à da pele, ganha-se calor por convecção. No momento em que o balanço começa a ser desfavorável, ou seja, quando apenas ganharíamos calor, a umidade do ar torna-se importante. Se o ar está saturado, a evaporação não é possível, o que faz a pessoa começar a ganhar mais calor quando a temperatura do ar é superior à da pele. No caso em que o ar está seco, as perdas continuam mesmo com as temperaturas mais elevadas. Em outras palavras, sentimo-nos muito melhor com altas temperaturas quando o ar está seco (pois proporciona perdas térmicas significativas por meio da evaporação do suor), do que quando o ar está saturado e o suor evapora muito lentamente. Lembre-se dos climas do norte do Brasil, em Belém ou Manaus, por exemplo.

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

### 1.1.4 Índices de conforto térmico

A literatura especializada revela duas correntes de pensamento em relação à definição das condições de conforto térmico. Uma delas pressupõe que, por serem biologicamente idênticas, todas as pessoas deveriam ter as mesmas preferências térmicas. Outra diz que as preferências térmicas das pessoas variam em função das condições climáticas externas. A seguir, são apresentados os índices das duas correntes.

#### Voto Médio Estimado e Percentual de Pessoas Insatisfeitas

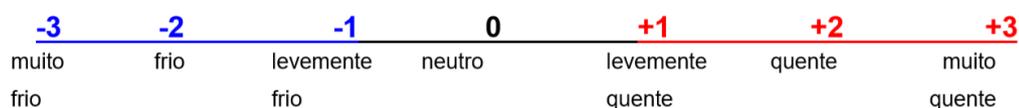
Os índices de Voto Médio Estimado (VME) e Percentual de Pessoas Insatisfeitas (PPI) derivam do pensamento de que os limites confortáveis de temperatura possam ser iguais para todos.

O principal representante dessa linha tem sido o dinamarquês Fanger, que realizou pesquisas em câmaras com temperatura, umidade e velocidade do ar controlados. As pessoas ficavam algum tempo nessas câmaras e respondiam a questionário sobre suas sensações térmicas. Por meio dessas respostas, o pesquisador elaborou as equações teóricas sobre as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente.

Suas equações serviram de base para a elaboração de Normas Internacionais como a ASHRAE 55 (1992) e a ISO 7730 (1994), fornecendo subsídios para os cálculos analíticos de conforto térmico conhecidos hoje como VME (Voto Médio Estimado) e o PPI (Percentual de Pessoas Insatisfeitas). Esse método é considerado o mais completo dos índices de conforto, pois leva em consideração as variáveis individuais (tipo de roupa e taxa metabólica) e ambientais (temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade e umidade do ar).

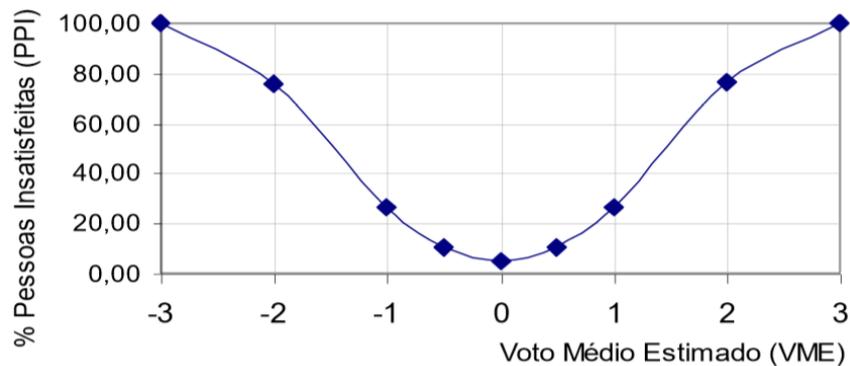
O VME prevê um valor médio de sensação térmica de um grande grupo de pessoas, segundo a escala de 7 pontos (Figura 2). O valor zero se refere ao ambiente neutro, valores negativos ao frio e os positivos ao calor.

Figura 2 – Escala do índice PMV



A partir do VME, é calculado o índice de Percentual de Pessoas Insatisfeitas (PPI). Esse fornece informações sobre a insatisfação térmica por meio da estimativa do percentual de pessoas propensas a sentir frio ou calor no ambiente analisado. O Gráfico 1 mostra a relação entre VME e PPI.

Gráfico 1 – Relação entre VME e PPI



Note que é impossível que exista, em um grande grupo de pessoas, menos do que 5% de insatisfeitos. Por essa razão, a norma ISO 7730 recomenda que o PPI seja menor que 10%, ou seja, o VME deve estar entre -0,5 e +0,5 (Gráfico 1).

### Teoria Adaptativa

Vários estudos comprovaram que a metodologia de avaliação de conforto térmico proposta por Fanger não é adequada em todas as situações, pois não considera a capacidade humana de adaptação ao meio externo.

A abordagem denominada de “adaptativa” defende que as pessoas procuram tomar providências que restaurem as condições de conforto quando ocorre alguma mudança que provoque desconforto. Tais providências podem ser classificadas em comportamentais (tais como escolha de roupa, atividade, abertura das janelas etc.), fisiológicas (adaptação do sistema termorregulador) e psicológicas (expectativas). A terceira categoria considera as expectativas decorrentes da experiência pessoal em relação às variações de temperatura típicas de um lugar (RORIZ, 2003).

Desse modo, as pessoas seriam mais tolerantes a situações térmicas típicas do lugar. Povos habituados a zonas mais quentes seriam mais intolerantes ao frio e aceitariam temperaturas mais altas, ocorrendo o inverso com aqueles acostumados a regiões mais frias.

Os modelos adaptativos têm sido desenvolvidos nos ensaios de campo, com pessoas exercendo atividades cotidianas em roupas próprias, sem a interferência do pesquisador.

### 1.1.5 Limites de conforto térmico

Depois de todos esses estudos e teorias, quais são as temperaturas consideradas confortáveis para os seres humanos? A Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE), que se baseia nos estudos de Fanger, considera, para os climas mais quentes da América do Norte, 25°C como temperatura ótima, podendo o intervalo de conforto variar entre 23°C e 27°C. Esses valores são aplicáveis para as seguintes condições:

- Velocidade do ar até 0,5 m/s;
- Umidade relativa entre 30% e 70%;
- Vestimenta normal;
- Pessoa sentada; e
- Ocupação sedentária; e
- Temperatura radiante média igual à temperatura do ar.

Já nos estudos de bioclimatologia de Givoni, considerando a maior tolerabilidade dos habitantes de países tropicais às altas temperaturas, verificou-se que a sensação de conforto térmico pode ser obtida para temperaturas entre 18°C e 29°C e umidade relativa variando de 20% a 80% (LAMBERTS et al., 2001).

### 1.2 Conforto lumínico

Conforto lumínico (ou conforto visual) pode ser definido como a existência de um conjunto de condições em um determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com máximo de precisão visual, com o menor esforço, com menor risco de prejuízos à visão e com reduzidos riscos de acidentes (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2011).

Quanto melhores forem as condições propiciadas pelo ambiente, menor será o esforço físico do olho para se adaptar e a pessoa desenvolver bem a atividade em questão. A iluminação inadequada pode causar fadiga visual e dor de cabeça, além de provocar erros e acidentes.

Para desenvolver atividades que demandam maior acuidade visual, necessita-se de mais luz. Mas quantidade não é o único requisito necessário. A boa distribuição de luz no ambiente e a ausência de contrastes excessivos que possam provocar ofuscamento (como a incidência direta do sol no plano de trabalho) também são fatores essenciais.

A luz natural possui qualidade superior à luz artificial. Sua variabilidade ao longo do dia é fundamental para o funcionamento do relógio biológico dos homens e de quase todos os outros organismos. Além disso, apresenta melhor reprodução de cores do que fontes artificiais.

A norma NBR ISO/CIE 8.995-1 (ABNT, 2013) especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos e os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho.

Iluminação artificial permite ao homem desenvolver suas atividades onde e quando a luz natural não é suficiente. A iluminação artificial pode e deve ser pensada pelo arquiteto, mas o grande diferencial deste profissional está no bom “projeto” de iluminação natural.

### **1.2.1 Iluminação natural**

Até o início do século passado, a luz natural era a mais importante fonte de luz em fábricas, escritórios, edificações públicas e residenciais. O surgimento da energia artificial a baixo custo levou à construção de edificações primariamente dependentes da energia elétrica para sua iluminação. Os sistemas artificiais se tornaram a forma mais simples de fornecer a luz, já que um projeto de iluminação natural exige o conhecimento da geometria solar e da disponibilidade e distribuição da luz natural.

Luz natural é muito importante também para a nossa saúde. É o principal fator de controle do ciclo circadiano, nosso ciclo biológico em um período de 24 horas (Figura 3). Regula a liberação de hormônios, as ondas cerebrais, batimentos cardíacos e o estado de vigília e sono. Os estudos mostram que pessoas que trabalham próximas de janelas dormem melhor, produzem mais e com menos estresse que as pessoas privadas de luz natural (HEALTHY BUILDING CERTIFICATE, 2020).

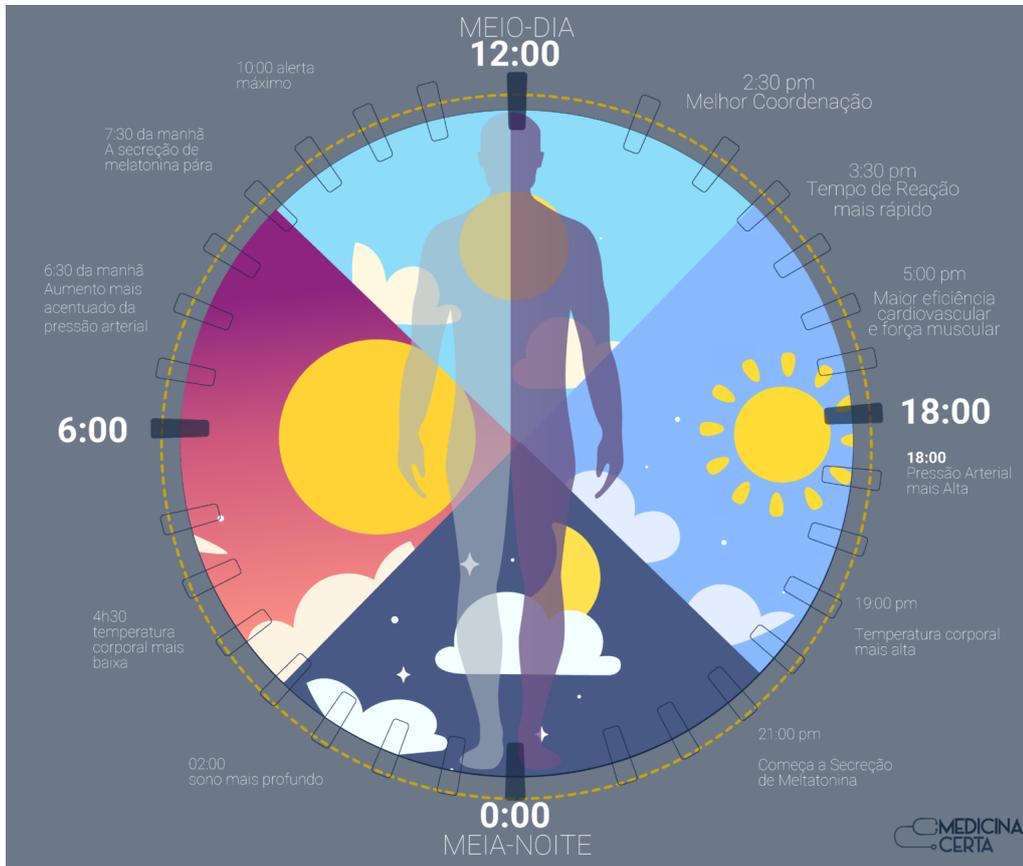
Hoje em dia, os arquitetos dão pouca atenção ao projeto no que se refere à maximização da admissão de luz natural e à minimização dos efeitos indesejáveis. Arquitetos como Alvar Alto, Rafael Moneo, Lelé, Gaudí, Norman Foster e Frank Gerry conseguiram integrar a luz natural primorosamente em suas obras. A consideraram como um elemento de composição arquitetônica, que dá forma, realça os contornos e permite a fruição do objeto arquitetônico como um todo (SOUZA, 2008).

Num bom projeto de arquitetura, a forma e a orientação são pensadas em função do clima e da radiação solar. Em edificações com vários pavimentos normalmente apenas a faixa até 5 metros da fachada pode ser totalmente iluminada com luz natural. As áreas afastadas até 10 metros podem ser iluminadas parcialmente pela luz natural e as mais profundas apenas com a luz artificial.

Em edifícios com plantas profundas, os átrios e pátios são um importante artifício para incorporação da luz natural. As prateleiras de luz são

outro recurso que facilitam a penetração da luz natural nos ambientes profundos. Além disso, funcionam como brise horizontal, diminuindo a incidência da radiação solar direta no ambiente.

Figura 3 – Ciclo Circadiano



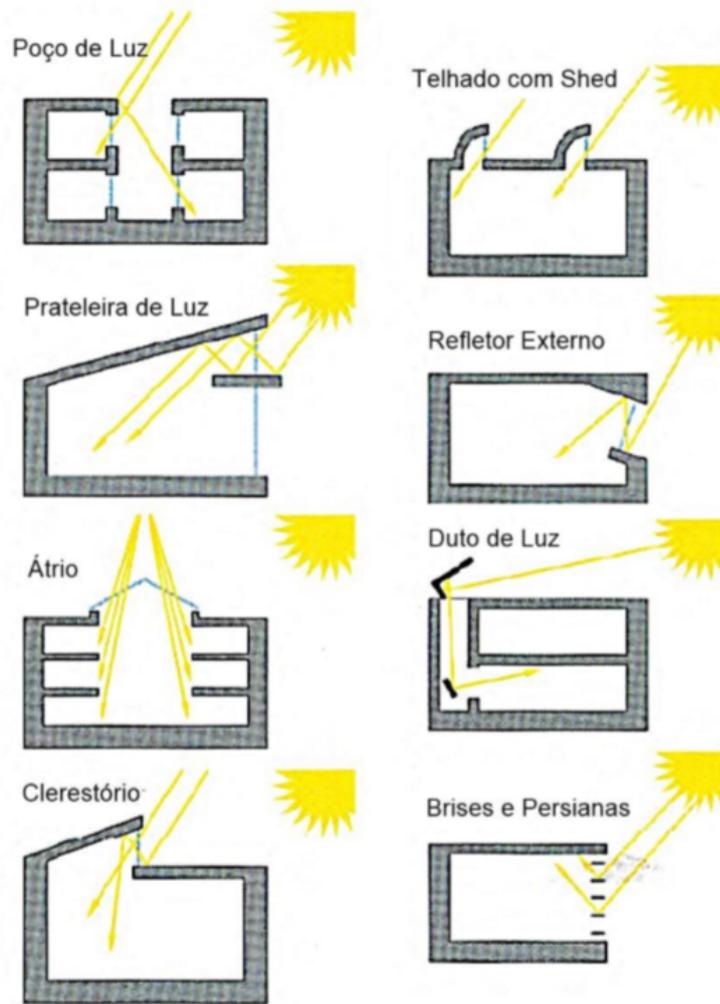
Fonte: <<https://medicinacerta.com.br/ciclocircadiano/>> Acesso em 20 de julho de 2023

A profundidade dos cômodos, pé-direito, tamanho, posição e formato das aberturas são parâmetros decisivos para uma boa iluminação natural. A escolha do vidro e o dimensionamento de beirais, varandas, brises e venezianas também determinarão a quantidade e a qualidade de luz natural nos ambientes internos. A Figura 3 ilustra alguns dos dispositivos e técnicas para entrada de luz natural nos ambientes internos.

Por que acender lâmpadas durante o dia num país com tanta abundância de luz natural como o Brasil? Seu uso reduz os custos de operação das edificações e o impacto ambiental causado pelo uso de energia elétrica. O aproveitamento de luz natural é um dos requisitos obrigatórios para edificações sustentáveis, pois reduz o consumo de energia para iluminação em até 50%, comparado a edificações tradicionais.

A luz do dia deve entrar em abundância, mas de forma controlada, para não causar desconforto por excesso de luz e de calor. A questão do equilíbrio entre a luz e o calor pressupõe o entendimento das duas principais fontes de iluminação natural: o sol e o céu.

Figura 4 – Alguns dos dispositivos e técnicas para entrada e controle de luz natural nos ambientes internos



Fonte: adaptado de br.pinterest.com

### 1.3 Variáveis arquitetônicas

Vamos agora abordar as características do edifício que podem ser trabalhadas para obter uma resposta mais positiva frente ao conforto (com ênfase no térmico) e à conservação de energia.

Em qualquer edificação, as trocas de energia entre o exterior e o interior acontecem por meio da envoltória (ou envelope) do edifício. A envoltória é constituída por paredes externas, coberturas e pisos que estão em contato direto com o ambiente externo.

Quando o piso está em contato direto com o solo, não sofre grandes trocas térmicas, pois a temperatura do solo varia pouco. As paredes externas e as coberturas, contudo, recebem grandes cargas térmicas provenientes da insolação. A temperatura da superfície de uma parede ou cobertura pode variar até 50°C durante um único dia, dependendo do material, da cor e da orientação.

Cada material possui propriedades físicas distintas, reagindo diferentemente frente às trocas térmicas e, principalmente, frente à radiação solar. De maneira geral, pode-se classificar os materiais dos fechamentos em **opacos** e **transparentes**.

A principal diferença (em termos de conforto térmico) entre eles é a sua capacidade de transmitir a radiação solar para o ambiente interno.

### **1.3.1 Fechamentos opacos**

Em fechamentos opacos somente há transmissão de calor quando existe uma diferença de temperatura entre as superfícies interna e externa. Com esse diferencial de temperatura, inicia-se a troca de calor entre as duas superfícies por condução. A intensidade do fluxo de calor pelo material depende da sua condutividade térmica, propriedade dependente da densidade do material.

A espessura do fechamento determina o tempo que o calor levará para atravessá-lo. Assim, a transmissão de calor nos fechamentos opacos demora algum tempo (normalmente algumas horas), enquanto nos fechamentos transparentes é quase instantânea.

A seguir, são abordados dois aspectos referentes aos fechamentos opacos importantes para o desempenho térmico da construção: a inércia térmica e o isolamento térmico.

#### **Inércia térmica**

Nos estudos dos fenômenos térmicos, fala-se de inércia térmica para indicar uma persistência da temperatura (CORBELLA; YANNAS, 2003). A inércia térmica pode ser definida também como a capacidade de uma edificação de amortecer, armazenar e liberar o calor.

Numa edificação com pouca inércia térmica, a temperatura interna acompanha em grande parte a variação da temperatura externa. Numa edificação com uma inércia hipotética infinita, a temperatura interna permaneceria constante.

Há dois parâmetros importantes associados à inércia térmica: a capacidade de amortecimento e o atraso térmico. O amortecimento é a propriedade do fechamento de diminuir a amplitude das variações térmicas internas. O atraso térmico é o tempo que leva uma diferença térmica para se manifestar na superfície oposta do fechamento.

O uso da inércia térmica como estratégia bioclimática é indicado principalmente em localidades com altas amplitudes térmicas diárias. A amplitude térmica diária é a diferença entre as temperaturas máxima e mínima de um dia.

#### **Isolamento térmico**

É muito utilizado em climas frios e temperados para reter o calor no

interior das edificações. Materiais isolantes são aplicados na envoltória do edifício: paredes externas, cobertura e piso. Os mais utilizados são lã de vidro, lã de rocha e isopor.

Nos últimos anos, apareceu no mercado um novo isolante termoacústico, conhecido como Lã de Pet. A principal matéria prima desse material é pet (sigla de polyethyleneterephthalate – em inglês), proveniente de garrafas pet recicladas.

Também há grande oferta de materiais compostos. A espessura desses varia dependendo do clima, do material e das exigências de isolamento.

O objetivo do isolamento térmico é impedir as trocas térmicas (saída de calor gerado no interior da edificação no frio e a entrada de calor externo no verão). Nos climas tropicais, o isolamento térmico é recomendado na cobertura, pois essa parte da envoltória recebe a maior carga térmica solar.

### **1.3.2 Fechamentos transparentes**

Os fechamentos transparentes de um edifício compreendem janelas, aberturas zenitais e paredes transparentes. A sua função na arquitetura é iluminação natural e estabelecimento de conexão visual com o exterior. Por meio dos fechamentos transparentes, acontecem as maiores trocas térmicas da construção.

As trocas térmicas de um fechamento transparente dependem de seu tamanho e orientação, do tipo de vidro (ou outro material transparente/translúcido) e da presença de proteções solares. Nas últimas décadas foram lançados no mercado mundial elementos transparentes que, com adição de óxidos em sua composição ou combinação de diferentes materiais, controlam a transmissão de determinadas faixas do espectro solar.

A orientação das superfícies transparentes define o horário e a época da exposição do ambiente à radiação solar direta. Já o tamanho da abertura e o tipo de vidro determinam a quantidade de trocas térmicas. No dimensionamento das aberturas, deve-se levar em conta, além das trocas térmicas, a iluminação natural do ambiente.

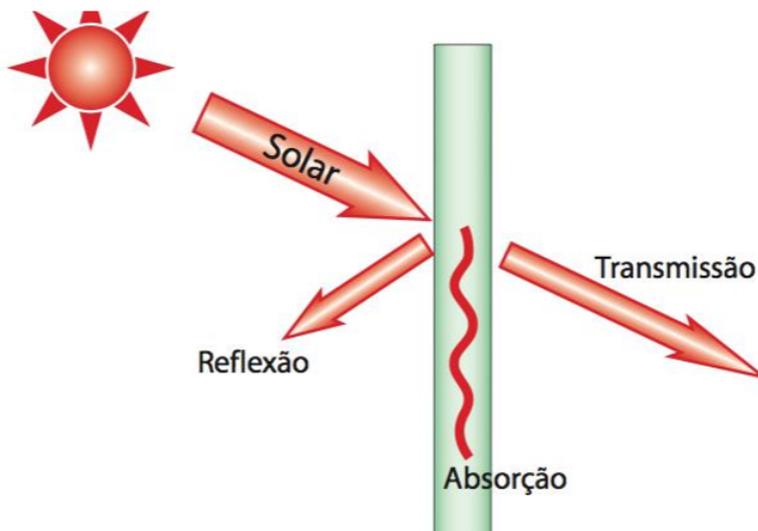
### **Vidros**

Os vidros são materiais transparentes às radiações visíveis que permitem a iluminação natural do espaço interior e estabelecem uma conexão visual com o exterior. No entanto, seu uso indiscriminado pode gerar problemas térmicos, luminosos e acústicos.

A radiação solar incidente em um fechamento transparente é em parte absorvida por este, em parte refletida e em parte transmitida para o interior (Figura 5). A parte absorvida se transforma em calor e pode ser emitida tanto para o exterior quanto para o interior na forma de radiação de onda longa.

Uma das características da arquitetura moderna é a utilização de grandes superfícies de vidro independentemente do local de implantação da edificação. Em climas tropicais e subtropicais, uso indiscriminado de vidro causa um sobreaquecimento das edificações devido ao ganho excessivo de carga térmica decorrente da radiação solar direta, conhecido também como efeito estufa. O resultado é o desconforto dos usuários e a intensificação do consumo de energia elétrica para condicionamento artificial.

**Figura 5** – Comportamento da radiação solar incidente em um fechamento transparente



Fonte: Guardian, 2013

A identificação de tais problemas gerou a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias de produção de componentes transparentes. Conhecidos como vidros de controle solar, buscam alta transmissão luminosa e baixa transmissão de radiação infravermelha e ultravioleta (UV).

A radiação infravermelha curta, cujo comprimento de onda vai de 780nm a 2500nm, representa apenas uma fonte de calor e não pode ser captada pelo olho humano.

A radiação UV, com comprimento de onda entre 290nm e 380nm, não representa uma fonte de calor e tampouco uma fonte de luz, mas compromete a durabilidade dos materiais. É responsável pela higienização dos ambientes (por ser germicida e bactericida), pigmentação e queimaduras de pele, síntese de vitamina D no corpo humano e descoloração de pigmentos nos móveis, pisos e paredes.

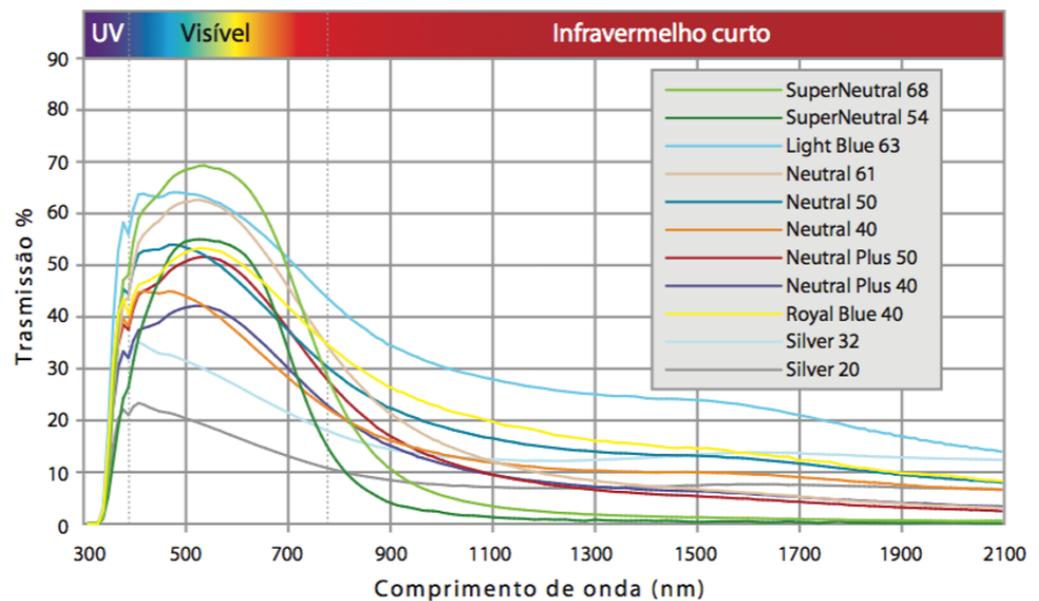
### O que é Efeito Estufa nos ambientes?

A radiação solar, que possui radiação infravermelha curta, penetra pelo vidro e aquece pisos, móveis e paredes. Os materiais aquecidos emitem calor em forma da radiação infravermelha longa para a qual o vidro é opaco, aprisionando o calor dentro do ambiente.

A Figura 6 mostra o desempenho de vidros de controle solar de um dos fabricantes. Observe relativamente altas taxas de transmissão

da luz visível (até 70%) e baixas taxas de transmissão de ondas UV e Infravermelho.

Figura 6 – Exemplo de transmissão de diferentes comprimentos de onda em vidros de controle solar



Fonte: Guardian, 2013

Portanto, em edificações localizadas em climas quentes, a escolha de vidro deve ser baseada na sua capacidade de admitir a luz natural, bloquear o calor solar, e permitir o contato visual entre interior e exterior.

### 1.3.3 Percentual de Aberturas nas Fachadas (PAF)

O PAF (em inglês Window Wall Ratio – WWR) é definido como a proporção entre as superfícies transparentes e a área da parede externa. Altos índices de PAF ocasionam maiores trocas térmicas (condução, convecção e radiação), afetando as temperaturas internas. A proporção entre área envidraçada e área opaca na fachada deve equilibrar de maneira adequada às necessidades de iluminação natural, vista para o exterior e as questões térmicas.

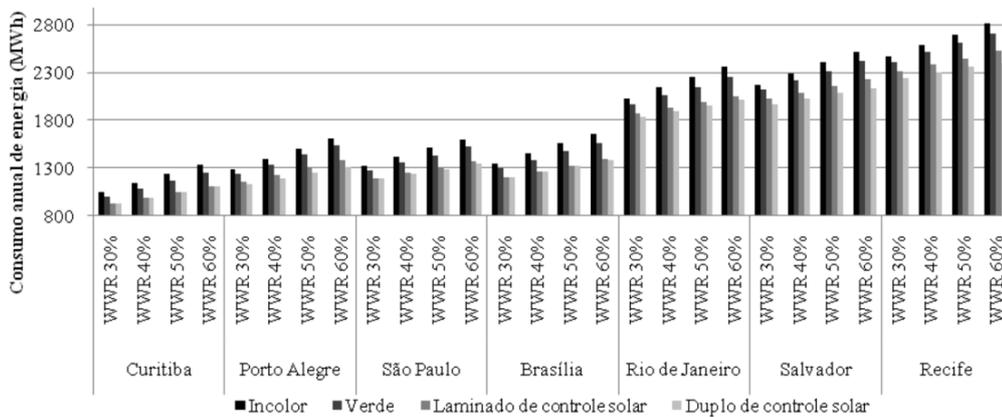
Em geral, maiores áreas de aberturas aumentam os ganhos e perdas térmicas, o que causa, principalmente em construções climatizadas artificialmente, impactos significativos nos custos energéticos.

As pesquisas de Bannister et al. (1998) concluíram que 50% de área envidraçada nas fachadas é o limite máximo para todos os tipos relevantes de edificações em todas as zonas climáticas. A partir desse percentual, há consequências negativas tanto para climas frios como para climas quentes.

No entanto, fachadas envidraçadas vêm se consolidando em arquitetura de escritórios, mesmo sendo sua eficiência energética amplamente questionada. A pesquisa de Andreis et al. (2014) simulou o consumo

de energia elétrica, em modelos com diferentes configurações de fachadas, em sete cidades brasileiras. Foram analisadas fachadas com 30%, 40%, 50% e 60% de PAF, confirmando o crescimento do consumo energético com maior área envidraçada (Figura 7).

**Figura 7** – Simulação da variação do consumo energético anual em relação ao Percentual de Aberturas nas Fachadas (WWR) e tipo de vidro



Fonte: Andreis et al. (2014)

Por outro lado, o desempenho energético depende significativamente do tipo de vidro. Como mostra a Figura 6, o consumo dos edifícios com PAF de 60% e vidro laminado de controle solar se mostrou semelhante ao consumo dos edifícios com PAF de 30% e 40% com vidro comum incolor. A especificação correta de vidro é fundamental e o investimento em um vidro com melhor desempenho será compensado na economia de energia para condicionamento dos ambientes.

A pesquisa também apontou que em climas muito quentes, como é o caso de Rio de Janeiro, Salvador e Recife, o vidro duplo de controle solar é benéfico. Já em climas amenos, como em Curitiba, São Paulo e Brasília, causou pouco ou nenhum impacto. Por se tratar de um fechamento com preço elevado é necessário avaliar a relação custo x benefício da aplicação desse fechamento no Brasil.

### 1.3.4 Elementos para controle e proteção solar

Os elementos de proteção solar nas edificações são recursos importantes para o controle dos ganhos térmicos e da luz natural. No lado interno das aberturas podem-se aplicar elementos de controle internos, como cortinas, persianas e prateleiras de luz internas. Esses controlam principalmente o excesso de luz natural e o ofuscamento, tendo menor efeito do ponto de vista térmico.

Os elementos para controle e proteção solar mais eficazes são os externos, que bloqueiam a radiação direta antes que esta penetre no interior. As proteções solares externas são beirais, brises, pergolados,

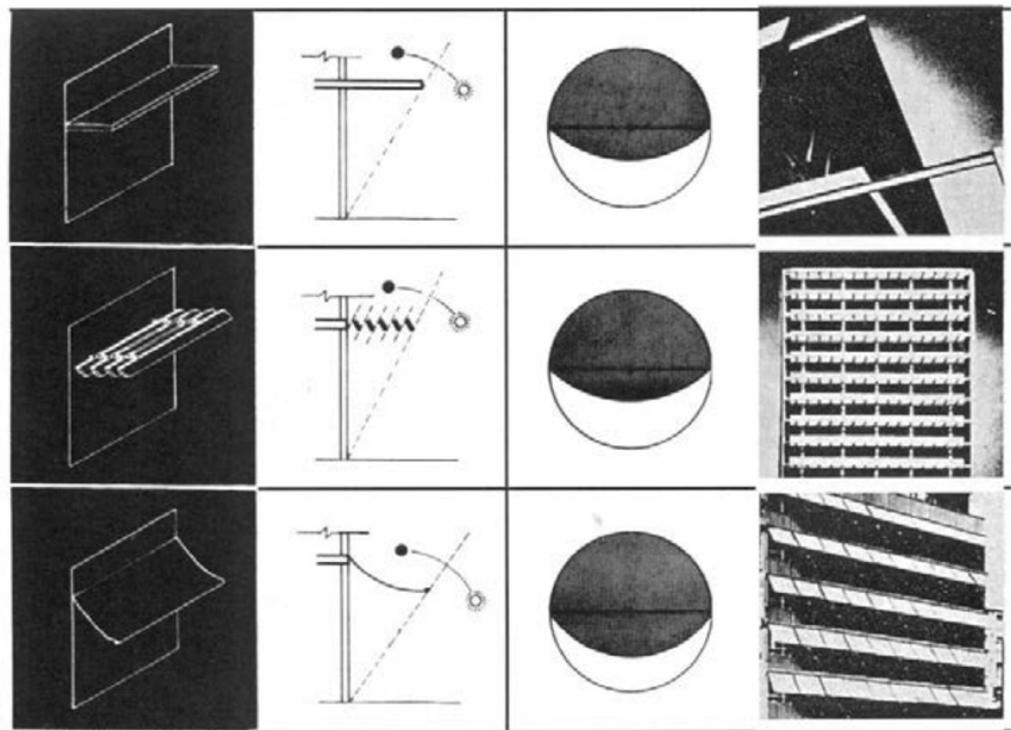
toldos, películas refletivas, prateleiras de luz externas e outros. Pela sua importância na arquitetura moderna, comentaremos mais detidamente os brises.

## Brises

Os brises são elementos de proteção externa e se constituem em planos que bloqueiam a radiação direta, sombreando a fachada. Devem ser projetados em função da orientação da fachada e da eficiência desejada. São considerados eficientes quando impedem a entrada de raios solares num determinado período e ao mesmo tempo permitem a entrada da luz natural difusa em quantidade suficiente para poder dispensar a iluminação artificial durante boa parte do dia.

Os brises podem ser horizontais, verticais ou mistos. Definem-se os brises horizontais a partir do ângulo em corte. É possível desenhar inúmeras variações, mantendo-se o mesmo ângulo, como mostra a Figura 8.

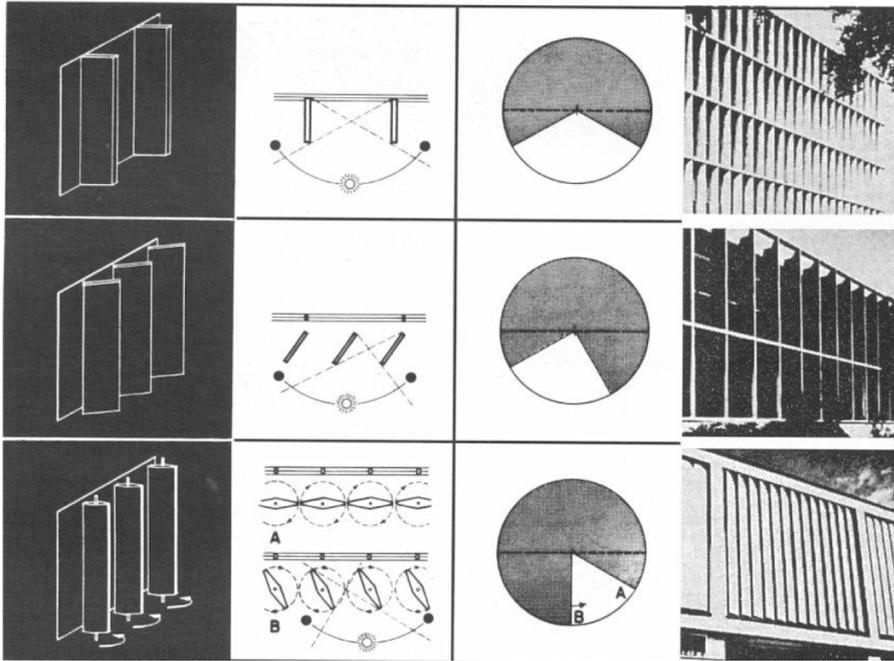
**Figura 8** – Protetores solares horizontais, com relativo mascaramento.  
Todos possuem o mesmo ângulo de proteção



Fonte: Olgyay, 1957

Brises verticais seguem o mesmo raciocínio, utilizando o ângulo em planta (Figura 9).

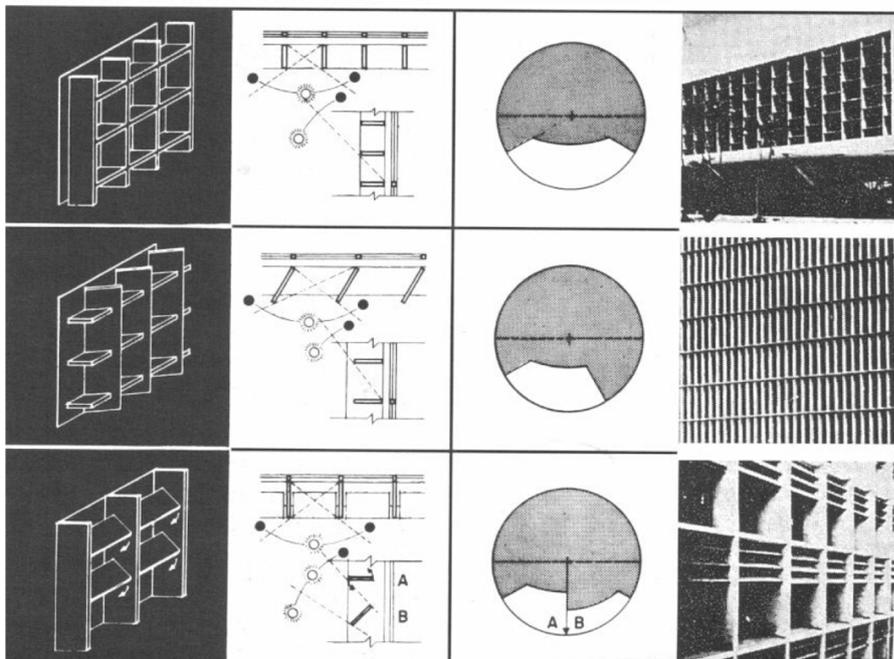
**Figura 9** – Brises verticais, com relativo mascaramento



Fonte: Olgyay, 1957

Os brises mistos utilizam as proteções horizontais e verticais combinadas (Figuras 10 e 11).

**Figura 10** – Protetores solares mistos



Fonte: Olgyay, 1957

Ao se acrescentar um elemento de controle em um elemento envidraçado, está se modificando seu Fator Solar, ou seja, a quantidade de energia solar final (luz e calor) que a abertura permite passar em relação à energia total externa incidente. A Tabela 4 mostra valores referentes ao Fator Solar de proteções solares internas e externas.

**Figura 11** – Exemplo de brise misto do edifício residencial da Superquadra SQN 206 do Plano Piloto de Brasília



Fonte: A autora

**Tabela 3** –Fator solar de proteções solare

Proteções Solares		Fator Solar
Internas	cortina translúcida	0,50 - 0,75
	cortina semi-translúcida	0,40 - 0,60
	cortina opaca	0,35 - 0,60
	persiana inclinada 45°	0,64
	persiana fechada	0,54
Externas	toldo 45° translúcido*	0,36
	toldo 45° opaco*	0,2
	veneziana	0,09
	veneziana horizontal	0,19
	brise horizontal	0,25

\*com toda abertura sombreada

Fonte: adaptado de Lambertset al. (1997)

## Capítulo 2

# Eficiência energética nas edificações

Na história das edificações, a eletricidade faz parte de apenas 1% de todo o período. Ou seja, vivemos 99% do nosso tempo histórico sem depender dela para aquecimento e resfriamento dos ambientes (ROMERO; REIS, 2012).

Sobrevivemos nas mais diversas condições climáticas graças à arquitetura adaptada ao clima. Utilizamos energia para aquecimento e cocção na forma de lenha, óleos e gases, que geram calor quando queimados. Nos climas quentes, utilizaram-se técnicas de ventilação, sombreamento e resfriamento evaporativo, mas não houve produção artificial de frio.

Do início da era de eletricidade urbana, na segunda década do século XIX, até o final dos anos 1960, a questão de eficiência energética foi pouco considerada. Após 140 anos de consumo crescente, o assunto começou a ser tratado no início dos anos 1970 devido à primeira crise de petróleo. Desde então, sua importância vem crescendo tanto no mundo desenvolvido, como nos países em desenvolvimento.

Hoje, muitos países possuem legislação e/ou normas para regular o consumo energético nas edificações. Essas normas e leis são ligadas à edificação e aos equipamentos responsáveis pelo uso final de energia e dependem das estratégias relacionadas a cada clima.

Nos climas frios, a estratégia principal é a contenção da perda de calor por meio dos fechamentos opacos e transparentes, utilizando isolantes térmicos e esquadrias com vidros duplos e triplos. As normas estabelecem valores limite de transmitância térmica (U) e regulam também a eficiência energética dos sistemas de aquecimento.

Os usos de energia diretamente ligados ao projeto arquitetônico e passíveis de intervenção são: iluminação artificial, climatização artificial e aquecimento de água.

Deseja saber mais sobre eficiência energética e conforto ambiental? Faça download gratuito da 3ª edição do livro “Eficiência Energética na Arquitetura” (2014), no site <https://labeee.ufsc.br/publicacoes/livros>.

## 2.1 Consumo de energia elétrica em edificações brasileiras

Conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), nossas edificações são responsáveis pelo consumo de 42,8% do total da eletricidade consumida no país. Em dados de 2017, as residências consumiram 21,4%; o setor comercial, 14,4%; e o setor público, 7% de toda energia elétrica.

No setor residencial, o consumo é distribuído de seguinte forma (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2011):

- Refrigeração (geladeira e freezer) 27%;
- Aquecimento de água 24%;
- Ar-condicionado 20%;
- Iluminação 14%; e
- Outros (lava-roupas, ferro, micro-ondas, TV, som e outros) 15%.

No setor comercial, utilizam-se 22% de energia elétrica com iluminação e 47% com ar-condicionado. No setor público, o consumo sobe para 23% e 48%, respectivamente. Ou seja, nas edificações não residenciais, cerca de 70% de toda a energia é consumida para obtenção de conforto térmico e lumínico.

Um edifício projetado para ser energeticamente eficiente pode reduzir em até 50% seu consumo, com relação a um edifício convencional. No caso de uma reforma (*retrofit*) a redução de consumo é de até 30%. Isso mostra a importância de se pensar em eficiência energética desde a concepção do projeto arquitetônico.

O conceito de eficiência energética envolve muitas variáveis em um edifício. Uma das estratégias é o uso da luz natural, equilibrando a entrada de luz e calor, buscando o equilíbrio entre conforto ambiental e eficiência energética.

A disponibilidade de luz natural nas regiões tropicais é grande, portanto esta deve ser usada de forma criteriosa. Não se pode exagerar no tamanho das janelas ou aberturas zenitais, mas, sim, equilibrar sabiamente o ingresso de luz difusa, bloqueando o calor gerado pela radiação solar direta, que ocasiona problemas de conforto térmico e luminoso (ofuscamento).

Em regiões tropicais, os níveis de iluminância são muito altos. Em média, o dobro do que na Europa Central, onde muitas das estratégias e tecnologias para o uso da luz natural foram desenvolvidas. Por esse motivo é importante não repetir soluções importadas, mas desenvolver metodologias próprias e aplicar com critério os materiais e tecnologias existentes no mercado, adaptando-os quando possível às nossas necessidades.

O Brasil já possui algumas normas e leis relacionadas ao conforto ambiental e à eficiência energética das edificações:

- NBR 16.401-2 de 2008, que especifica os parâmetros do ambiente interno que proporcionem conforto térmico aos ocupantes de recintos providos de ar-condicionado;
- NBR ISO/CIE 8.995-1 de 2013, que fixa valores mínimos de iluminação para locais de trabalho internos, de acordo com a atividade;
- NBR 15.220 de 2005, que trata do desempenho térmico de edificações;
- NBR 15.215 de 2005, sobre iluminação natural;

NBR 15.575 (2013), sobre desempenho de edifícios habitacionais. Contempla, entre outros, os requisitos para conforto térmico e lumínico. Devido a sua importância vamos falar desta norma mais detalhadamente.

## **2.2 NBR 15.575 Edificações Habitacionais - Desempenho**

Essa norma constitui importante marco para a modernização tecnológica da construção brasileira e melhoria da qualidade de nossas habitações. Todas as edificações residenciais, com projeto protocolado após o dia 19 de julho de 2013, devem atendê-la.

Trata-se de primeira norma brasileira sobre o desempenho das edificações. Por desempenho se entende, neste caso, o comportamento em uso de uma edificação e seus sistemas. Ou seja, como estes se comportam ao longo de determinada vida útil.

O conjunto normativo compreende seis partes:

- Parte 1: requisitos gerais;
- Parte 2: requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas; e
- Parte 6: requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Para cada necessidade do usuário há a sequência de Requisitos de Desempenho, Critérios de Desempenho e respectivos Métodos de Avaliação (CBIC, 2013). A norma define as exigências relativas à:

- Segurança: desempenho mecânico, segurança contra incêndio e segurança no uso e operação;
- Habitabilidade: estanqueidade a fontes de umidade externas e internas à edificação, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil;
- Sustentabilidade: durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental.

Vamos agora verificar brevemente as exigências de desempenho térmico e lumínico. Perceba que se utiliza a palavra “desempenho” e não “conforto”, pois os níveis mínimos de desempenho não garantem o conforto, são apenas o mínimo aceitável.

### **2.2.1 Desempenho térmico**

De acordo com a NBR 15.575, a avaliação de Desempenho Térmico pode ser efetuada por:

1) Procedimento A - Simplificado: que verifica o atendimento de requisitos e critérios da envoltória, com base na transmitância térmica e capacidade térmica das paredes externas e das coberturas.

O problema do procedimento simplificado é que este não delimita a área envidraçada. Com grandes áreas envidraçadas e poucas áreas opacas na fachada, os grandes ganhos térmicos acontecerão pelo vidro. Nesse caso, adianta pouco ter paredes que atendem a valores mínimos de transmitância e capacidade térmica. Numa próxima revisão da norma, isso deverá ser corrigido (NOTAS TAQUIGRÁFICAS, 2013).

2) Procedimento B – Simulação por software: para a realização das simulações computacionais, recomenda-se o uso de programa EnergyPlus ou outro que seja validado pela ASHRAE Standard 140 e permita determinar o comportamento térmico sob condições de exposição ao clima, sendo capaz de reproduzir os efeitos de inércia térmica (CBIC, 2013).

A avaliação por simulação computacional requer profissional com boa experiência e permite, além de nível mínimo, determinar níveis intermediário e superior de desempenho térmico.

Em 30 de março de 2021, foi publicada a Emenda 1 à NBR 15.575, que corrige e aperfeiçoa ambos os métodos de avaliação de Desempenho Térmico. O prazo de aplicação é de 180 dias. Ou seja, valerá para os empreendimentos residenciais protocolados nos órgãos competentes a partir de 27 de setembro de 2021.

### **2.2.2 Desempenho lumínico – Iluminação natural**

Contando unicamente com a iluminação natural, os níveis de

iluminância nas diferentes dependências das edificações habitacionais devem atender ao disposto na Tabela 5. Esta resume as exigências de desempenho mínimo (M: 60 lux ou mais) que é obrigatório, intermediário (I: 90 lux ou mais) e superior (S: 120 lux ou mais) de iluminância em ambientes domésticos.

**Tabela 4** – Níveis de iluminância para iluminação natural

Nível de desempenho	Iluminamento geral para os níveis de desempenho lux		
	M*	I	S
Sala de estar Dormitório Copa/cozinha Área de serviço	≥ 60	≥ 90	≥ 120
Banheiro Corredor ou escada interna à unidade Corredor de uso comum (prédios) Escadaria de uso comum (prédios) Garagens/estacionamentos	Não requerido	≥ 30	≥ 45
<p>* Valores mínimos obrigatórios, conforme Critério 13.2.1. da NBR 15575-1</p> <p>Nota 1 - Para os edifícios multipiso, são permitidos para as dependências situadas no pavimento térreo ou em pavimentos abaixo da cota da rua níveis de iluminância ligeiramente inferiores aos valores especificados na tabela acima (diferença máxima de 20 % em qualquer dependência).</p> <p>Nota 2 - Os critérios desta tabela não se aplicam às áreas confinadas ou que não tenham iluminação natural.</p> <p>Nota 3 - Deve-se verificar e atender às condições mínimas requeridas pela legislação local.</p>			

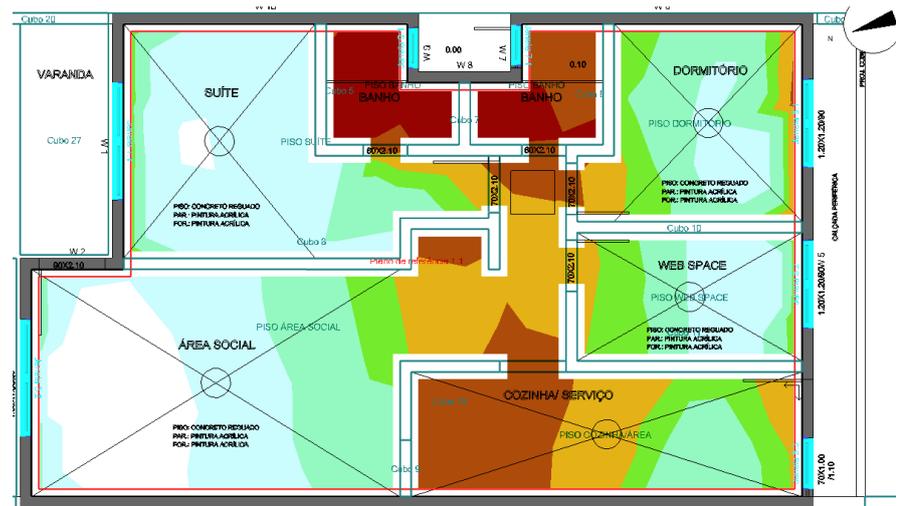
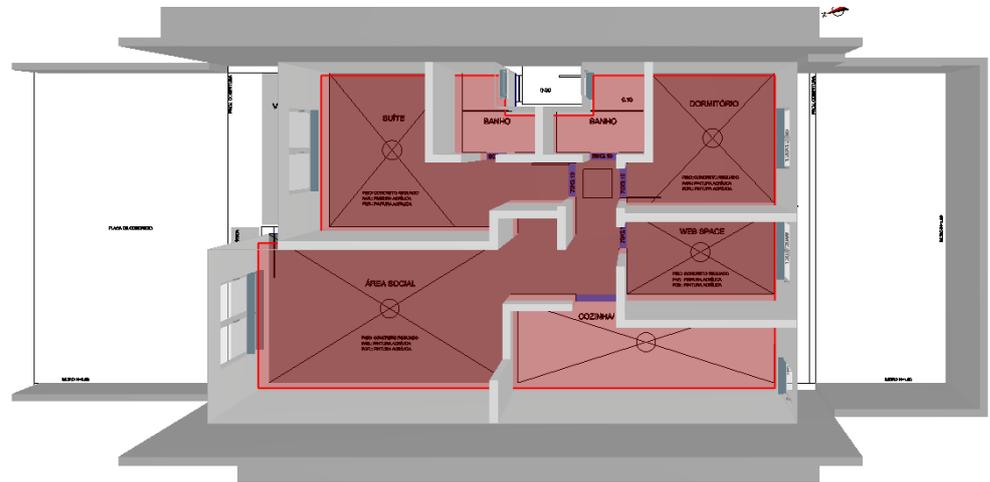
Fonte: CBIC, 2013

Os níveis de iluminância devem ser averiguados por meio das simulações com softwares especializados, como por exemplo, Relux e DIALux. Para verificar o nível de atendimento, devem ser modelados e simulados os recintos: sala de estar, dormitórios, copa/cozinha e área de serviço.

Deve ser considerado o valor de iluminância no centro dos ambientes na altura do plano de trabalho (75 cm acima do piso). Os níveis de iluminância são maiores perto das aberturas e decrescem conforme nos afastamos (Figura 12). As simulações devem ser realizadas para os dias 23 de abril e 23 de outubro às 9:30 e às 15:30, com céu parcialmente nublado. A Figura 12 mostra um modelo computacional e uma simulação de uma casa geminada.

O texto da avaliação de Desempenho Lumínico também está em revisão. A expectativa é que novos métodos de avaliação, com exigências mais altas, entrem em vigor em 2024.

Figura 12– Modelo computacional de uma residência térrea geminada, vista de cima, com um exemplo de simulação de iluminância no programa Relux



LEGENDA:



Illuminância [lux]

- < 60 lux – Desempenho Insatisfatório
- 60 a 89 lux – Desempenho Mínimo
- 90 a 119 lux – Desempenho Intermediário
- ≥ 120 lux – Desempenho Superior

Fonte: Modelagem e simulação produzidas pela Ambiente Eficiente Consultoria

### 2.3 Etiquetagem PROCEL Edifica

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) foi criado em 1985 pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio e gerido por uma Secretaria Executiva subordinada à Eletrobras. Sua missão é promover a eficiência energética, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população e eficiência dos bens e serviços, reduzindo os impactos ambientais.

A partir dessa estrutura, foi criado em 2003 o PROCEL Edifica com o objetivo de racionalizar o consumo de energia nas edificações brasileiras. Em 2009, publicou-se o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (BRASIL, 2009).

Em 2011, foi a vez de setor residencial, com a publicação de Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2011).

Os Regulamentos apresentam os procedimentos para a etiquetagem de eficiência energética de edificações, por meio de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). A ENCE classifica as edificações em faixas coloridas, de nível “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente), e fornece outras informações relevantes, como atendimento a pré-requisitos e bonificações (Figura 13).

Figura 13 – Exemplo de etiqueta (ENCE) Geral para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas



Fonte: <http://cb3e.ufsc.br>

Em junho de 2014, foi publicada a Instrução Normativa nº 2, que obriga a etiquetagem de edificações públicas federais novas ou as que passam por grandes reformas. Os projetos de edificações novas devem ser

desenvolvidos ou contratados visando, obrigatoriamente, à obtenção da ENCE nível “A”.

As obras de retrofit em edificações públicas federais devem ser contratadas visando à obtenção da etiqueta parcial da Edificação Construída nível “A” para os sistemas individuais de iluminação e de condicionamento de ar, ressalvados os casos de inviabilidade técnica ou econômica, devidamente justificados, devendo-se, nesse caso, atingir a maior classe de eficiência possível. Mesmo que nem todos os sistemas avaliados sejam objeto do retrofit, recomenda-se que a edificação seja completamente avaliada, emitindo-se a ENCE geral.

### **2.3.1 ENCE para edificações comerciais, de serviços e públicas**

A ENCE de edificações Comerciais, de Serviços e Públicas contempla a eficiência energética de três sistemas: envoltória, sistema de iluminação artificial e sistema de condicionamento de ar (Figura 13). Os primeiros dois possuem peso de 30%; e o último, de 40% no cálculo da etiqueta geral.

Além disso, a edificação deve atender aos pré-requisitos gerais e específicos. As iniciativas como uso racional de água, aquecimento solar de água, geração de energia eólica ou solar etc. são ponderadas em forma de bonificações.

Além da etiqueta geral, é possível avaliar uma edificação parcialmente. A ENCE parcial deve contemplar a envoltória, ou a envoltória e mais um sistema.

O processo de etiquetagem engloba duas etapas: a de projeto que se encerra com a emissão da ENCE de Projeto, e a de obra, concluída com a emissão da ENCE de Edificação Construída.

Em 24 de fevereiro de 2021, foi publicada a revisão do RTQ-C, com o novo nome: Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Esta aperfeiçoa os métodos para a classificação de eficiência energética e determina um prazo de 24 meses de transição para plena vigência do novo regulamento.

A Instrução Normativa (INI-C) traz mudanças significativas. O sistema de Aquecimento de água é avaliado junto com os sistemas de Envoltória, Condicionamento de ar e Iluminação. Dessa forma, a classificação parcial é possível para os seguintes sistemas:

- a) Envoltória completa (obrigatória em todas as avaliações);
- b) Envoltória completa e sistema de condicionamento de ar;
- c) Envoltória completa e sistema de iluminação;
- d) Envoltória completa e sistema de aquecimento de água;

e) Envoltória completa e outros dois sistemas.

A classificação é efetuada com base no consumo de energia primária, comparando-se o consumo da edificação real com a mesma edificação em uma condição de referência, equivalente à classificação D (INI-C, 2021).

A avaliação do consumo energético continua adotando o método simplificado ou de simulação. É possível que os sistemas de uma mesma edificação sejam avaliados pela combinação entre o método simplificado e o método de simulação.

Nova avaliação se baseia em 24 grupos climáticos, conforme a atualização da classificação dos climas brasileiros (BAVARESCO et al., 2017). Os regulamentos antigos consideram 8 zonas bioclimáticas, segundo a NBR 15.220 partes 3 (ABNT, 2005).

### 2.3.2 ENCE para edificações residenciais

Para as edificações residências, existem três etiquetas:

- A primeira para Unidade Habitacional Autônoma, que pode ser uma casa ou um apartamento. Essa etiqueta avalia o desempenho da envoltória no verão e no inverno e o sistema de aquecimento de água. Contempla também os pré-requisitos e as bonificações (Figura 14).

Figura 14 – Exemplo de etiqueta (ENCE) de Unidade Habitacional Autônoma



Fonte: <http://cb3e.ufsc.br>

- A segunda avalia a eficiência energética de uma Edificação Multifamiliar, que é apenas a média ponderada de etiquetas das unidades habitacionais autônomas (Figura 15).

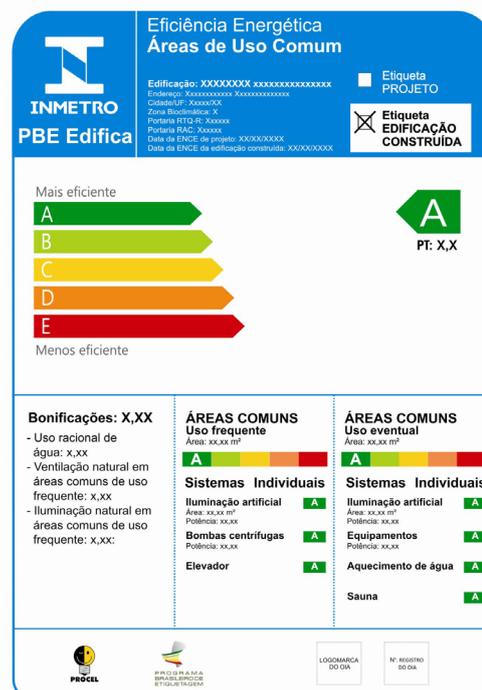
Figura 15 – Exemplo de etiqueta para Edificações Residenciais Multifamiliares



Fonte: <http://cb3e.ufsc.br>

- A terceira etiqueta é para Áreas de Uso Comum de edificações multifamiliares. Esta avalia a eficiência energética de áreas de uso frequente (garagens, halls de entrada etc.) e de áreas de uso eventual (salões de festa, piscinas, saunas, salas gourmet etc.). Contempla também as bonificações (Figura 16).

Figura 16 – Exemplo de etiqueta para Áreas de Uso Comum de edificações Multifamiliares



Fonte: <http://cb3e.ufsc.br>

Quando falamos da eficiência energética nas edificações, a maioria das pessoas logo pensa que se trata apenas de uso de equipamentos e sistemas eficientes. A etiqueta PROCEL/INMETRO mostra a importância da envoltória, ou seja, da arquitetura na eficiência energética de uma edificação. Tanto a demanda para resfriamento quanto a demanda diurna para iluminação artificial dependem de quanto o projeto arquitetônico levou em consideração as características do clima local.

A partir dessas Normas e Regulamentos, é necessário preparar os projetistas e o mercado para reformular a maneira de projetar e construir, buscando edificações cada vez mais eficientes e confortáveis, em sintonia com as metas de sustentabilidade.

O site [www.pbeedifica.com.br](http://www.pbeedifica.com.br) proporciona acesso a todos os regulamentos, manuais e informações sobre o processo de Etiquetagem de Edificações.

## Capítulo 3

# Certificações de sustentabilidade nas edificações

A indústria de construção civil é o setor com maior impacto ambiental do mundo, pois o uso das edificações ocasiona grande parte de consumo de recursos naturais (materiais, energia e água), das emissões de CO<sub>2</sub> e da produção de resíduos.

As práticas de projeto e construção sustentável ajudam a diminuir os impactos negativos. No entanto, redução de impactos não é a meta final. A construção verde é um processo em permanente evolução. O que hoje é considerado um processo inovador, amanhã pode se tornar a prática recorrente. Já existem empreendimentos com consumo líquido de energia zero, ou seja, que geram por meio de fontes renováveis toda energia que consomem, podendo ou não ser conectados a rede pública; os que capturam e conservam sua água, sem a necessidade do abastecimento externo; e os que atingem neutralidade de carbono. Os edifícios verdes do futuro buscarão design regenerativo, que, em vez de consumo, proporcionem renovação de recursos naturais.

As certificações de sustentabilidade mais aplicadas no Brasil são LEED, Processo AQUA-HQE e Selo Casa Azul, abordadas brevemente nas próximas páginas (Figura 17).

The Living BuildingChallenge é a certificação de sustentabilidade de edificações mais rigorosa do mundo. Os projetos devem cumprir uma série de ambiciosos requisitos de desempenho, incluindo o consumo net zero de energia, água e resíduos. Além das categorias tradicionais de sustentabilidade devem contemplar a beleza e o design inspirador.

Veja detalhes em: <http://living-future.org/lbc/about>

Além desses, estão chegando no mercado brasileiro a certificação alemã DGNB e a inglesa BREEAM. Na certificação DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen), as categorias e seus respectivos critérios são analisados por meio de uma perspectiva abrangente, que vai do macro ao micro: o planeta, a cidade, a vizinhança, o edifício e os componentes da edificação. Ao contrário dos outros sistemas, a questão de viabilidade econômica tem o mesmo peso das categorias ambientais, sociais e técnicas.

BREEAM (BuildingResearch Establishment Environmental Assessment Method) é a

certificação de edifícios sustentáveis mais antiga do mundo, lançada na Inglaterra no ano de 1992. Em março de 2021, já possui mais de 494 mil empreendimentos certificados em 89 países (www.breeam.com). Manuais distintos foram desenvolvidos para projetos internacionais - na Europa e nos Países Árabes - para diversos programas: residenciais, comerciais, escritórios, industriais etc. Para regiões sem manual definido, utiliza-se o BREEAM BESPOKE - um sistema personalizado e adaptado que incorpora as normas e regulamentos locais.

**Figura 17** – Logomarcas de principais certificações de sustentabilidade aplicadas no Brasil (LEED, Aqua-HQE e Casa Azul da Caixa)



Fonte: <http://cb3e.ufsc.br>

### 3.1 Certificação AQUA-HQE

AQUA-HQE é um sistema de certificação adaptado à realidade brasileira a partir da certificação francesa HQE (Haute Qualité Environnementale). A adaptação foi realizada pela Fundação Vanzolini, que cuida das atualizações, do processo de certificação e da formação dos consultores.

O lançamento do processo AQUA (Alta Qualidade Ambiental) ocorreu em 2008. Em 2014, juntou-se à rede internacional de certificação HQE e oficialmente passou a se chamar de Processo AQUA-HQE.

Destina-se a promover a melhoria da qualidade ambiental das edificações, considerando também a qualidade da gestão no desenvolvimento dos projetos. Dessa forma, é importante o comprometimento do empreendedor desde o início do projeto, pois a certificação requer a implantação de um Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE), além do atendimento do referencial de Qualidade Ambiental do Empreendimento (QAE).

Em junho de 2016, entraram em vigor novos referenciais:

- Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) em construção,

referente a edifícios residenciais e não residenciais;

- Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em construção; e
- Qualidade Ambiental de Edifícios não Residências em construção.

A Certificação AQUA-HQE possui ainda referenciais técnicos para outras certificações da construção sustentável, tais como:

- Operação e Uso;
- Hotéis, Lazer e Cultura;
- Indústria e Logística;
- Comércio;
- Organizações de Saúde; e
- Bairros e Loteamentos.

Cada referencial de Qualidade Ambiental do Empreendimento (QAE) é composto por 14 categorias (Figura 18). O empreendimento pode atingir três níveis de desempenho dentro de cada categoria: BOM, SUPERIOR ou EXCELENTE. Para o empreendimento ser certificado, deve atender no mínimo 3 categorias no nível EXCELENTE e no máximo 7 categorias no nível BOM.

**Figura 18** – 14 categorias de avaliação de Qualidade Ambiental de Empreendimento (QAE)

GERENCIAR OS IMPACTOS SOBRE O AMBIENTE EXTERIOR		CRIAR UM ESPAÇO INTERIOR SADIO E CONFORTÁVEL	
SÍTIO E CONSTRUÇÃO		CONFORTO	
1	RELAÇÃO DO EDIFÍCIO COM SEU ENTORNO	8	CONFORTO HIGROTÉRMICO
2	ESCOLHA INTEGRADA DE PRODUTOS, SISTEMAS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS	9	CONFORTO ACÚSTICO
3	CANTEIRO DE OBRAS COM BAIXO IMPACTO AMBIENTAL	10	CONFORTO VISUAL
		11	CONFORTO OLFATIVO
GESTÃO		SAÚDE	
4	GESTÃO DE ENERGIA	12	QUALIDADE SANITÁRIA DOS AMBIENTES
5	GESTÃO DA ÁGUA	13	QUALIDADE SANITÁRIA DO AR
6	GESTÃO DOS RESÍDUOS DE USO E OPERAÇÃO DO EDIFÍCIO	14	QUALIDADE SANITÁRIA DA ÁGUA
7	MANUTENÇÃO: PERMANÊNCIA DO DESEMPENHO AMBIENTAL		

Fonte: [www.arcoweb.com.br](http://www.arcoweb.com.br)

Cabe ao empreendedor definir quais categorias atingirão a classificação máxima, intermediária ou mínima, dependendo do contexto e de sua estratégia de sustentabilidade.

A Certificação é concedida pela Fundação Vanzolini, que faz 3 auditorias

ao longo do desenvolvimento do projeto e da obra. Dessa forma, o certificado é emitido em 3 fases: Programa, Concepção (projeto) e Realização (construção).

A Fundação Vanzolini disponibiliza os referenciais AQUA-HQE e outros materiais nas páginas eletrônicas:

<https://vanzolini.org.br/aqua/>

Até março de 2021, foram certificados 376 empreendimentos, englobando 628 edificações (Fonte: <https://vanzolini.org.br/certificacao/sustentabilidade-certificacao/aqua-hqe/>).

### 3.2 Selo Casa Azul + Caixa

Criado pela Caixa Econômica Federal em 2009, o Selo Casa Azul foi o primeiro sistema de classificação de sustentabilidade de projetos habitacionais desenvolvido para a realidade brasileira. Em março de 2021, o site da Caixa lista 48 empreendimentos certificados (Fonte: <https://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/negocios-sustentaveis/selo-casa-azul-caixa/Paginas/default.aspx>).

Aplica-se a todos os tipos de projetos de empreendimentos habitacionais propostos à CAIXA para financiamento ou nos programas de repasse. O principal atrativo do Selo para o construtor é o desconto nas taxas de juros do financiamento.

Em 2020, foram revisados os critérios, a sistemática de classificação, a logomarca e também o nome. Passou a se chamar de Selo Casa Azul + Caixa. Para a concessão do selo, são avaliados critérios agrupados em sete categorias:

1. Qualidade urbana e bem estar;
2. Eficiência energética e conforto ambiental;
3. Gestão eficiente da água;
5. Produção sustentável;
6. Desenvolvimento social; e
7. Inovação.

O Selo apresenta 4 níveis de gradação - Bronze, Prata, Ouro e Diamante - concedidos conforme a pontuação alcançada nos 49 critérios de

avaliação, somada à pontuação Bônus. Existem 15 critérios obrigatórios à obtenção dos Selos Bronze, Prata e Ouro. Para a obtenção do Selo Diamante, devem ser atendidos ainda 7 critérios obrigatórios adicionais. A Figura 19 mostra os quatro selos da certificação atualizada da Caixa.

Figura 19 – Selos Bronze, Prata, Ouro e Diamante do Selo Casa Azul + Caixa



Fonte: Caixa (2020)

A adesão ao selo é voluntária. A parte interessada deve apresentar os projetos à CAIXA para análise do financiamento, sendo necessário entregar toda a documentação e as informações técnicas que comprovem o preenchimento dos requisitos pleiteados. Depois de aprovado, o banco informa a graduação alcançada e, na contratação, emite o atestado de concessão do selo. A verificação do atendimento aos critérios é realizada durante o acompanhamento da obra.

O ponto negativo da certificação é a limitação da aplicação apenas a empreendimentos financiados pela CAIXA ou inscritos em programas de repasse do Orçamento Geral da União, nos quais a CAIXA atua como agente repassador.

### 3.3 Certificação LEED

O LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) é um sistema norte-americano, lançado no ano de 2000, que se tornou mais disseminado e relevante em todo o mundo. Avalia a sustentabilidade do projeto, construção e manutenção de edifícios. Fazem parte do sistema os referenciais:

- “Building, Design + Construction” (BD + C), destinado a novas construções e grandes reformas;
- “Interior Design e Construction” (ID + C), voltado a interiores comerciais;
- “Operations e Maintenance” (O + M), exclusivo para prédios já existentes;
- “NeighborhoodDevelopment” (ND), destinada ao planejamento urbano; e

- “LEED for Homes” (Homes), para edificações residenciais.

Os referencias são livros volumosos com descrição dos pré-requisitos e créditos. O atendimento de pré-requisitos é obrigatório, já os créditos conferem a pontuação. Para obter a certificação, é necessário alcançar uma pontuação mínima de 40 pontos - nível certificado. Com 50 pontos alcança-se nível Prata; com 60, nível Ouro; e com 80, nível Platinum.

Os créditos são agrupados em oito categorias: Localização e Transporte, Espaço Sustentável, Eficiência do uso da Água, Energia e Atmosfera, Materiais e Recursos, Qualidade Ambiental Interna, Inovação e Processos, e Créditos de Prioridade Regional (Figura 20).

Figura 20 – Categorias de avaliação da certificação LEED versão 4



Fonte: <https://www.gbcbrazil.org.br/wp-content/uploads/2017/09/Compreenda-o-LEED-1.pdf>

Na versão 4 dos referenciais BD+C, ID+C e Homes, foi incluído um pré-requisito geral, que é o Processo Integrado. Neste, os principais projetistas devem ser envolvidos no processo projetual desde o início. É necessário comprovar que este envolvimento resultou em soluções que aumentaram a eficiência energética e o consumo eficiente de água no empreendimento<sup>1</sup>.

Cada referencial LEED pode ser aplicado a diferentes tipologias. Por exemplo, o referencial Building Design + Construction pode ser aplicado a tipologias: Nova construção, Core & Shell (núcleo e envoltória), Escolas, Comércio, Hotelaria, Centros de Dados, Armazéns e Centros de Distribuição, e edificações de saúde. Cada tipologia possui diferentes regras quanto à aplicação de pré-requisitos e créditos.

Primeiro empreendimento no Brasil foi certificado em 2004. Até março de 2021, o número subiu para 615 empreendimentos (<https://www.usgbc.org/projects>).

A maior crítica que se faz à aplicação do LEED no Brasil é a de conter

<sup>1</sup> Infelizmente, no Brasil temos uma prática bem diferente, em que os projetistas entram no projeto após as principais definições arquitetônicas. Dessa forma, perdem-se muitas oportunidades de melhor design arquitetônico e de sistemas.

critérios e parâmetros que não se aplicam no nosso país, pois foram desenvolvidos seguindo normas e realidade norte-americanas.

O Referencial LEED for Homes, destinado a habitações, é o que apresenta as maiores divergências em relação a realidade brasileira. Até março de 2021, apenas uma residência recebeu essa certificação no Brasil. Devido a essa incompatibilidade, Green Building Council Brasil (GBC Brasil) desenvolveu a certificação GBC Brasil Casa, inspirada no referencial americano, mas adaptada a nossa realidade. Em 2012, foi lançado referencial para residências unifamiliares. Cinco anos mais tarde foi a vez dos condomínios. De acordo com o site do GBC Brasil, até março de 2021, foram certificadas 14 residências unifamiliares e apenas 02 empreendimentos multifamiliares.

Os sites oficiais para acessar os referencias e as informações sobre a certificação LEED são [www.gbcbrasil.org.br](http://www.gbcbrasil.org.br), do Brasil, e [www.usgbc.org](http://www.usgbc.org), dos Estados Unidos.

### **3.4 Certificação EDGE**

A experiência dos últimos 15 anos mostra que a certificação dos edifícios ainda é restrita a certos nichos, a um padrão elevado de construção e às regiões mais ricas do país. As certificações como LEED, AQUA-HQE e GBC Brasil Casa são inacessíveis à maioria dos empreendimentos, devido ao custo de consultorias, necessidade de documentação extensa e dispendioso processo de controle de impactos ambientais de obra, entre outros.

Nudel (2019), consultor experiente no assunto, afirma que no Brasil a produção de edificações certificadas não é democrática e nem relevante, considerando-se o tamanho da indústria nacional de construção civil.

O Brasil não é exceção. O International Finance Corporation (IFC) chegou à conclusão de que em mercados emergentes os sistemas de certificação mais populares mostram-se complexos, caros e inacessíveis à grande maioria dos empreendimentos. Por isso, lançou em 2014 o sistema EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies).

A iniciativa faz parte dos esforços globais visando a mitigação de mudanças climáticas. A construção de edificações eficientes é uma das formas com maior custo-benefício para diminuir a emissão de gases de efeito estufa, sendo os países emergentes os mercados com maior demanda por edificações novas.

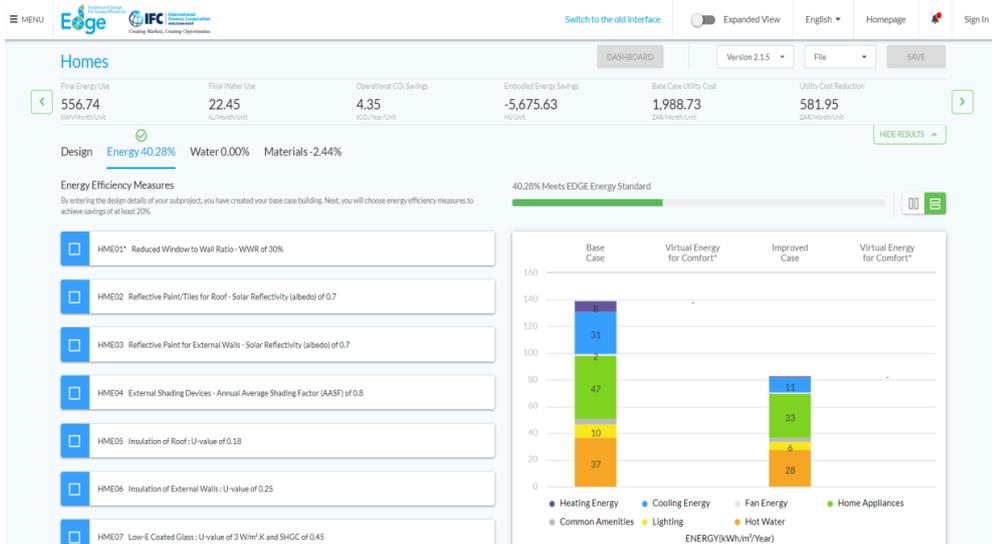
Visando simplificar a certificação, o EDGE foca em apenas três maiores

causadores de impactos ambientais na construção civil: consumo de energia, consumo de água e energia embutida nos materiais. Não é necessário o acompanhamento das estratégias de obra, comissionamento dos sistemas, complexas simulações energéticas e documentação extensa, como na maioria dos outros sistemas.

Para obter certificado, um empreendimento deve alcançar no mínimo 20% de economia no uso de energia, 20% no uso de água e 20% a menos de energia incorporada aos materiais, comparando-se com uma edificação convencional com mesma geometria, uso e local de implantação.

Os cálculos são realizados por meio de uma plataforma gratuita, que engloba um aplicativo de simulação (Figura 21). Este possui um banco de dados, de diversos países e cidades, com o consumo de edifícios, custos de investimentos e custos operacionais locais. Desta forma, além de poder comparar a eficiência de projeto, podem ser comparados os custos de investimento e operacionais para diferentes estratégias.

**Figura 21** – Tela do aplicativo EDGE que mostra a simulação de economia de energia com uso de diferentes estratégias



Fonte: <https://edgebuildings.com/marketing/presentations/?lang=pt-pt>

Podem ser certificados os projetos novos ou existentes em seis tipologias: residencial, hospedagem, comércio, escritórios, hospitalar e educacional.

Com sua simplicidade e baixo custo, o EDGE abre o caminho para disseminação e democratização da sustentabilidade na construção civil brasileira.

Veja mais detalhes sobre EDGE em [www.edgebuildings.com](http://www.edgebuildings.com).

### 3.5 Certificações de saúde e bem-estar

Aproveitando o crescimento da preocupação com a saúde e bem-estar, surgem na última década as certificações que tem por objetivo melhorar o ambiente construído nessa área. As inúmeras pesquisas recentes indicam que os ambientes fechados e o espaço urbano impactam nossa saúde e bem-estar de forma maior do que percebido antes.

A pandemia de covid-19 tende a aumentar esta preocupação e impulsionar a aplicação das certificações. Estas não perderam tempo e lançaram protocolos específicos para conter a propagação do novo Coronavírus. As estratégias utilizadas podem minimizar a propagação de outras doenças respiratórias, como influenza e legionelose.

#### **Certificação WELL**

Lançada em 2014, foi baseada nas pesquisas mais recentes sobre o impacto do ambiente construído na psicologia e fisiologia humana. Muito bem fundamentada, no entanto, mostrou-se cara e complexa.

#### **Fitwel**

Como alternativa surge a Fitwel, com a visão de promover a saúde e o bem-estar em edificações, independentemente de orçamento, tamanho, ano de construção ou localização destas. Hoje, presente em 180 países, é a principal certificação do ramo do mundo.

Os critérios e o processo certificativo foram simplificados. Não há pré-requisitos, medições e visitas in loco por parte dos avaliadores, não há necessidade das consultorias. O que permanece é uma ampla base científica em mais de 3 mil artigos (<https://fitwel.org/>).

Certificação Fitwel engloba 70 estratégias de projeto e operacionais, totalizando um máximo de 144 pontos. As estratégias com maiores impactos e multifacetadas recebem mais pontos. São três níveis de certificação – 1, 2 ou 3 estrelas, dependendo do número de pontos alcançado.

As estratégias são agrupadas em sete categorias:

**Saúde da comunidade do entorno** - Estratégias que impactam a saúde da comunidade do entorno, alcançando aqueles que vivem, trabalham, brincam ou aprendem nas áreas vizinhas.

**Redução da morbidade e do absenteísmo** – Estratégias que reduzem a morbidade e o absenteísmo promovem a diminuição das taxas de doenças crônicas e de saúde mental e a redução da transmissão de doenças.

**Equidade social para populações vulneráveis** – Estratégias que apoiam a equidade social garantem que crianças, idosos, deficientes, ou pessoas em desvantagem socioeconômica, tenham maior acesso a oportunidades de promoção da saúde.

**Sentimentos de bem-estar** – Estratégias que instilam sentimentos de bem-estar promovem inclusão, relaxamento e percepções de segurança, por meio de espaços limpos, uma maior conexão com a natureza e oportunidades de engajamento social.

**Acesso a alimentos saudáveis** – Estratégias que fornecem aos ocupantes maior disponibilidade de frutas, vegetais e outras opções de alimentos nutritivos, diversificando os pontos de venda e fontes de opções de alimentos mais saudáveis, promovendo escolhas mais saudáveis e reduzindo os custos de opções mais saudáveis por meio de incentivo de preços.

**Promoção da segurança do ocupante** – Estratégias que promovem a segurança do ocupante diminuem o risco de crimes e lesões, protegem ciclistas e pedestres do tráfego de veículos e aumentam a segurança das escadas.

**Aumento da Atividade Física** – Estratégias que aumentam a atividade física incorporando as oportunidades de movimento na vida cotidiana, seja por meio de transporte ativo, da promoção do uso de escadas (Figura 22) ou do acesso a equipamentos e áreas de ginástica internas e externas.

**Figura 22** – Design de escadas convidativo e sinalização de incentivo de uso contribuem para o aumento da atividade física



Fonte: <https://group.skansa.com>

Para atingir a certificação não é necessário que se invista em tecnologias caras e sofisticadas.

Os interessados em atuar como consultores da certificação podem fazer o curso e a prova para se tornar “Fitwell Ambassador”.

### **HealthyBuildingCertificate (HBC)**

As certificações costumam ser criadas pelas instituições públicas ou privadas. Não é o caso do Healthy Building Certificate, criada pelo geobiólogo brasileiro Allan Lopes. A certificação, que se chamava originalmente Selo Casa Saudável, hoje possui uma sede nos Estados Unidos e outra no Brasil.

Começou a ganhar corpo a partir de 2019, quando o engenheiro civil Marcos Casado, um dos maiores nomes da sustentabilidade no mercado da construção civil brasileira, se tornou seu executivo.

Podem ser avaliados as residências, escritórios, hotéis, restaurantes, escolas e indústrias. Além das edificações, os profissionais e os produtos voltados para construção civil também podem receber o selo.

A avaliação das edificações engloba as seguintes categorias: Profissional certificado, Desenho arquitetônico, Iluminação, Qualidade acústica, Qualidade de materiais, Projeto hidráulico, Projeto elétrico, Qualidade do ar interno, Paisagismo e áreas comuns, Sustentabilidade e Manutenção da edificação certificada.

# Referências

ANDREIS, Cínthia; BESEN, Priscila; WESTPHALL, Fernando. **Desempenho Energético das fachadas envidraçadas em climas brasileiros**. ENTAC. Maceió/AL, 2014.

ASHRAE. **Fundamentals Handbook**. American Society of Heating, Ventilating and Air- Conditioning Engineers. Atlanta, USA, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8.9951:2013**. Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1 - Interior. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.215**. Iluminação natural. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.215-3**. Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005. Versão corrigida 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.220**. Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005

\_\_\_\_\_. **NBR 15.575**. Edificações habitacionais - Desempenho. 4ª Edição válida a partir de 19/07/2013. Rio de Janeiro, 2013

BANNISTER, Paul; GUAN, Lisa; ISAACS, Nigel; PAGE, Ian (1998). **Testing commercial building energy standards**. IPENZ Transactions, Vol. 25, N.º. 1/EMCh.

BAVARESCO, Mateus Vinícius; MAZZAFERRO, Leonardo; MELO, Ana Paula, LAMBERTS, Roberto. **Classificação de climas brasileiros empregada na atualização dos Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações**. UFSC, Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). Florianópolis, 2017. Disponível em: [https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio\\_GruposClimaticos.pdf](https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio_GruposClimaticos.pdf)

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria 163, de 08 de junho de 2009. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Rio de Janeiro, 2009. Versão atualizada disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/arquivos>

\_\_\_\_\_. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro, 2012. Versão atualizada disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/arquivos>

\_\_\_\_\_. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021. **Instrução Normativa Inmetro Para A Classificação De Eficiência Energética De Edificações Comerciais, De Serviços E Públicas (INI-C)**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002707.pdf>

BUTERA, Federico M. **Architettura e Ambiente**. Manuale per il Controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici. Etaslibri, Italia, 1995.

CAIXA. **Guia Selo Casa Azul + Caixa**. Versão 002. Brazil, junho de 2020. Disponível em: [https://www.caixa.gov.br/Downloads/selo\\_casa\\_azul/Guia\\_Selo\\_Casa\\_Azul\\_CAIXA\\_Junho\\_2020.pdf](https://www.caixa.gov.br/Downloads/selo_casa_azul/Guia_Selo_Casa_Azul_CAIXA_Junho_2020.pdf)

CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção). **Desempenho de edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Brasília, 2013.

CORATO, Lucas L.; NAKANISHI, Tatiana M.; CARAM, Rosana M. Inovações tecnológicas em fachadas transparentes a partir da década de 70. In: **VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído**, São Pedro- SP. ENCAC. Anais, 2001.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**. Ed. Revan, Rio de Janeiro, 2003.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balço energético nacional, ano-base 2016**. Brasil, 2017.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico**. Ed. Nobel, 5ª edição, São Paulo, 2001.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. Elsevier Publishing Company Limited, Inglaterra, 1969.

GUARDIAN. **Manual Técnico, Guardian SunGuard, Vidros de controle solar e eficiência energética, Guardian Industries Corp**. 2013. Disponível em: [http://www.sa.pt.sunguardglass.com/cs/groups/sunguardsouthamerica/documents/web\\_assets/gi\\_002781.pdf](http://www.sa.pt.sunguardglass.com/cs/groups/sunguardsouthamerica/documents/web_assets/gi_002781.pdf)

Healthy Building Certificate. **Material do curso online**. Maio e junho de 2020.

ISO 7726: 1998. **Ergonomics of the thermal environment** - Instruments for measuring physical quantities, 1998.

ISO 7730: 2005. **Ergonomics of the thermal environment** - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 2005.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 1a edição. UFSC/Procel/Eletróbrás, PW Editores, 1997.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3a edição. UFSC/Procel/Eletróbrás, PW Editores, 2011.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; PAPST, Ana Lygia. **Desempenho Térmico de Edificações**. Apostila da Disciplina. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

LEED, Green Associate Study Guide. **Green Building Education Services**. 2011

NOTAS TAQUIGRÁFICAS. **Seminário “Guia Orientativo para Aplicação e Atendimento à ABNT NBR 15.575/2013”**. Organizado pelo SINDUSCONDF. 22 de agosto de 2013, Brasília, 2013.

NUDEL, Marcelo. **Certificação EDGE para Greenbuildings**. E-book da série Sustentabilidade e Conforto Ambiental, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://ca-2.com/ebook-certificacao-edge/>

\_\_\_\_\_. **Saúde e bem estar em edifícios através da certificação Fitwel**. E-book da série Sustentabilidade e Conforto Ambiental, São Paulo, 2020. Disponível em: [https://ca-2.com/wp-content/uploads/2020/07/ebook-fitwel.pdf?utm\\_source=landingpage&utm\\_medium=ebook&utm\\_campaign=fitwel](https://ca-2.com/wp-content/uploads/2020/07/ebook-fitwel.pdf?utm_source=landingpage&utm_medium=ebook&utm_campaign=fitwel)

OLGYAY, Victor. **Solar control and shading devices**. New Jersey, Princeton University Press, USA, 1957.

\_\_\_\_\_. **Arquitectura y Clima – Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos e Urbanistas**. Título Original: **Design with climate – Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. Edição original Princeton University Press, 1963. Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1998.

ROMERO, Marcelo de Andrade; REIS, Lineu Belico dos. **Eficiência Energética em Edifícios**. Ed. Manole, Barueri – SP, 2012.

RORIZ, Maurício. **Flutuações Horárias dos Limites de Conforto Térmico: uma Hipótese de Modelo Adaptativo**. ENCAC – COTEDI, Curitiba – PR, 2003.

SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de. **Luz Natural no Projeto**

**Arquitetônico.** Revista Lume, Edição 31, maio de 2008. Disponível em:  
[http://lumearquitetura.com.br/pdf/ed31/ed\\_31\\_Iluminacao\\_Natural.pdf](http://lumearquitetura.com.br/pdf/ed31/ed_31_Iluminacao_Natural.pdf)

VIANNA, Nelson Solano; GONÇALVES, Joana Carla S. **Iluminação e  
Arquitetura.** Geros s/c Ltda. São Paulo, 2004.





# **RETROFIT**

**Retrofit e APO - Conforto ambiental  
e conservação de energia**

Professor Marcelo de Andrade Roméro



# Sumário • RETROFIT

<b>Apresentação</b>	<b>98</b>
<b>Capítulo 1 – A Avaliação Pós-Ocupação – APO</b>	<b>99</b>
1.1 Definição e método	99
1.2 Avariáveis abrangidas pela Avaliação Pós-Ocupação	101
<b>Capítulo 2 – APO energética</b>	<b>103</b>
2.1 Introdução e método	103
2.2 Etapas	105
<b>Palavras finais</b>	<b>131</b>
<b>Referências</b>	<b>132</b>

# Apresentação

Caro cursista,

Este curso tem como objetivo apresentar os conceitos de Avaliação Pós-Ocupação (APO) de edificações existentes e, posteriormente, os conceitos de Retrofit – expressão de origem inglesa que vem sendo utilizada cada vez com mais frequência por profissionais da área de conservação de energia, que diz respeito a quaisquer medidas de melhoria e elevação de desempenho de equipamentos e sistemas de edifícios existentes.

Cientificamente, esses conceitos, quando aplicados no mesmo estudo de caso, se completam, na medida em que os subsídios obtidos na aplicação da metodologia da APO tornam-se extremamente úteis quando da decisão por uma ou outra solução de retrofit.

Desejo que tenham uma proveitosa leitura!

Professor Marcelo de Andrade Roméro.

# Capítulo 1

## A Avaliação Pós-Ocupação – APO

### 1.1 Definição e método

O que é APO? Para que serve? De maneira geral, poderíamos dizer que APO é uma metodologia de avaliação que insere a figura do usuário no processo avaliativo.

Agora, reflita um pouco sobre o que colocaremos a seguir.

Os espaços construídos que abrigam as suas práticas... como é estar neles?

São adequados, parcialmente adequados ou inadequados? Em que aspectos? Em que medida? A sua opinião com relação a isso é igual à opinião de alguém que compartilha esses mesmos espaços com você?

Seguramente você tem uma avaliação a fazer dos edifícios onde habita, trabalha ou frequenta, por ser usuário. E seguramente sua opinião tem valor, se considerarmos ser pertinente buscar obter espaços realmente adequados a seus usos, em todos os aspectos.

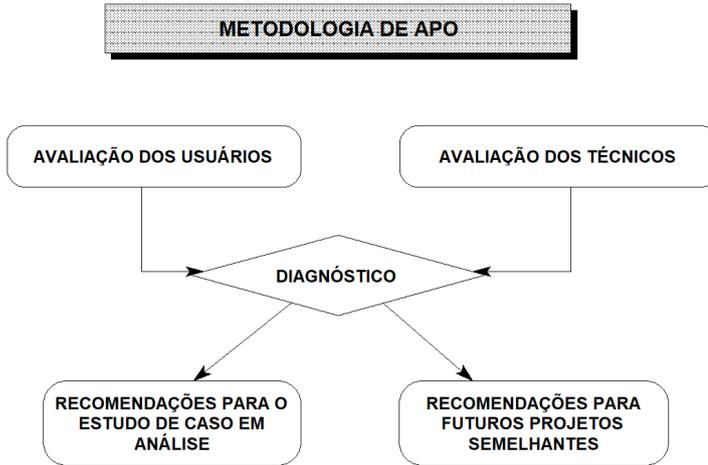
Ocorre que, infelizmente, nem sempre a avaliação do usuário é considerada, antes ou depois do processo de construção de edificações, ainda que eles passem por um processo de avaliação técnica.

O grande trunfo da avaliação pós-ocupação foi justamente propor a inserção dos usuários nos processos tradicionais de avaliação, sem, entretanto, reduzir o papel da avaliação técnica e da bagagem teórica de seus avaliadores.

Desta forma, a metodologia da avaliação pós-ocupação (ilustrada em sua forma básica na Figura 1) conta com dois grandes grupos de agentes alimentadores de informações, que são:

- Os usuários; e
- Os técnicos.

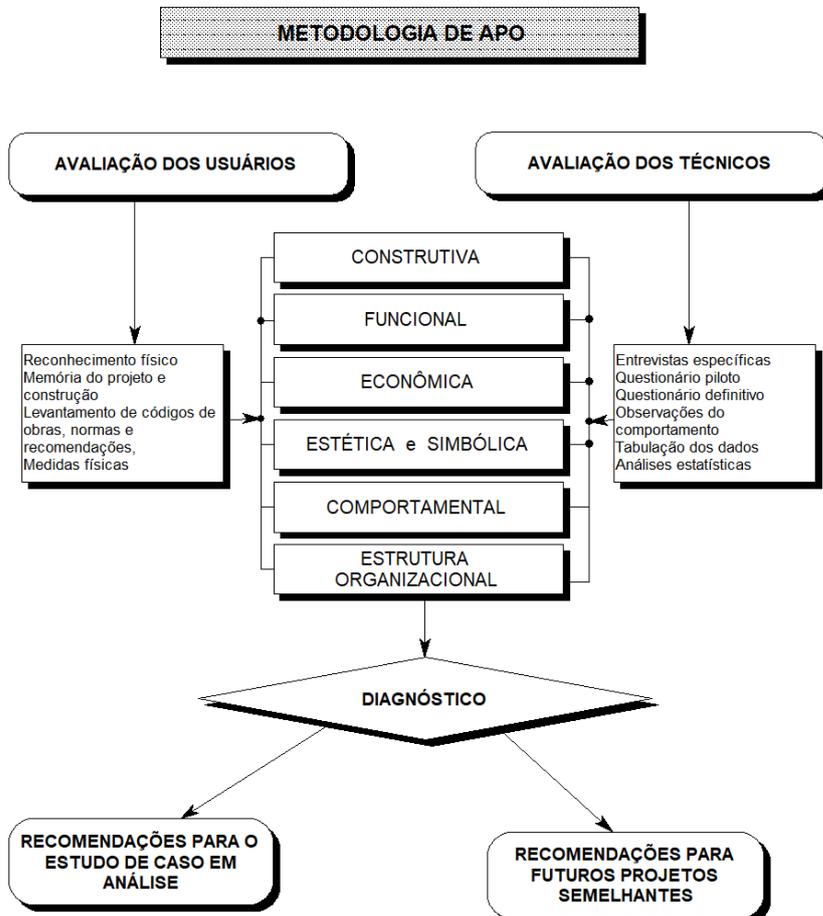
Figura 1 – Fluxograma básico do método de Avaliação Pós-Ocupação



Fonte: <https://group.skansa.com>

Como se pode deprender pelo fluxograma, os insumos advindos das avaliações dos técnicos e dos usuários levam à etapa de **diagnóstico**, ou seja, o momento em que as várias informações (comportamentais, técnicas, provenientes de normas, recomendações e medições feitas no local) são comparadas. Desse diagnóstico surgem as **recomendações** para o estudo de caso e para futuros projetos semelhantes.

Figura 1 – Fluxograma básico do método de Avaliação Pós-Ocupação



Fonte: <https://group.skansa.com>

Em cada uma dessas etapas (avaliação e diagnóstico), um grande número de variáveis pode ser analisado, podendo aumentar ou diminuir, de acordo com o tipo de ambiente construído em análise ou com o objetivo específico de cada avaliação. A Figura 2 indica um fluxograma mais detalhado do método, por meio do qual se podem visualizar as variáveis abrangidas por uma APO, bem como a origem dos dados advindos dos dois tipos de avaliação (dos usuários e dos técnicos).

### **1.2 Variáveis abrangidas pela Avaliação Pós-Ocupação**

Como se pode ver, são várias as características observadas nas edificações que passam pela avaliação pós-ocupação, das quais destacamos:

#### **Construtivas**

Abrangem todos os grandes itens do edifício, desde as fundações ao acabamento, passando por forros e vedações, indo até instalações e paisagismo.

#### **De conforto ambiental e conservação de energia**

Abrangem os aspectos referentes ao conforto ambiental e à conservação de energia, como, por exemplo, os relacionados com ventilação e iluminação natural.

#### **Funcionais**

Abrangem todos os itens referentes ao planejamento e à funcionalidade do edifício, bem como seu funcionamento em todos os níveis, desde fluxos de trabalho, passando por dimensionamento de áreas para atividades diversas até adequação de mobiliário.

#### **Econômicas**

Referem-se aos indicativos financeiros relacionados às propostas formuladas para cada estudo de caso. Segundo Mascaró (apud ORNSTEIN; ROMÉRO, 2003) a avaliação dessas variáveis fornece também parâmetros para se medir a eficiência do ambiente construído, por exemplo, quanto à relação custo-benefício.

#### **Estéticas**

Avaliam a questão do estilo e da percepção ambiental do ponto de vista do avaliador-arquiteto e do usuário (HERSHBERGER et al., 1988, apud: ORNSTEIN e ROMÉRO, 2003), a partir de características como cores, texturas ou volumetria.

## Comportamentais

São aquelas que diferenciam a APO de uma avaliação puramente técnica e são, na verdade, o grande diferencial da APO. Via de regra, são analisados aspectos como adequação do espaço ao uso, privacidade ou identidade cultural.

# Capítulo 2

## APO energética

### 2.1 Introdução e método

Como pôde ver, são vários os aspectos de uma edificação existente que podem ser avaliados com vistas a sua melhoria. Por ser tratar de assunto da maior importância, neste curso daremos ênfase à APO voltada aos aspectos energéticos e de conforto ambiental. Sendo assim, veremos a partir de agora que aqueles itens que dizem respeito apenas a essas variáveis serão considerados para aquilo que se pode chamar uma **APO energética**.

O mais interessante é que faremos isso a partir de um **estudo de caso** concreto!

A partir de agora, sempre que ele for mencionado, nós o faremos em um quadro cinza. Acreditamos que, dessa forma, o método, os conceitos e os procedimentos ficarão mais claros para você.

#### O edifício estudado

Projeto de Arquitetura:  
Croce Aflalo & Gasperini

Data do projeto: 1990

Término da construção: 1993

Localização: São Paulo - SP

Trata-se de um complexo edificado formado por torre e dois anexos (Figura 3)

Figura 3 – Edifício – Estudo de caso.

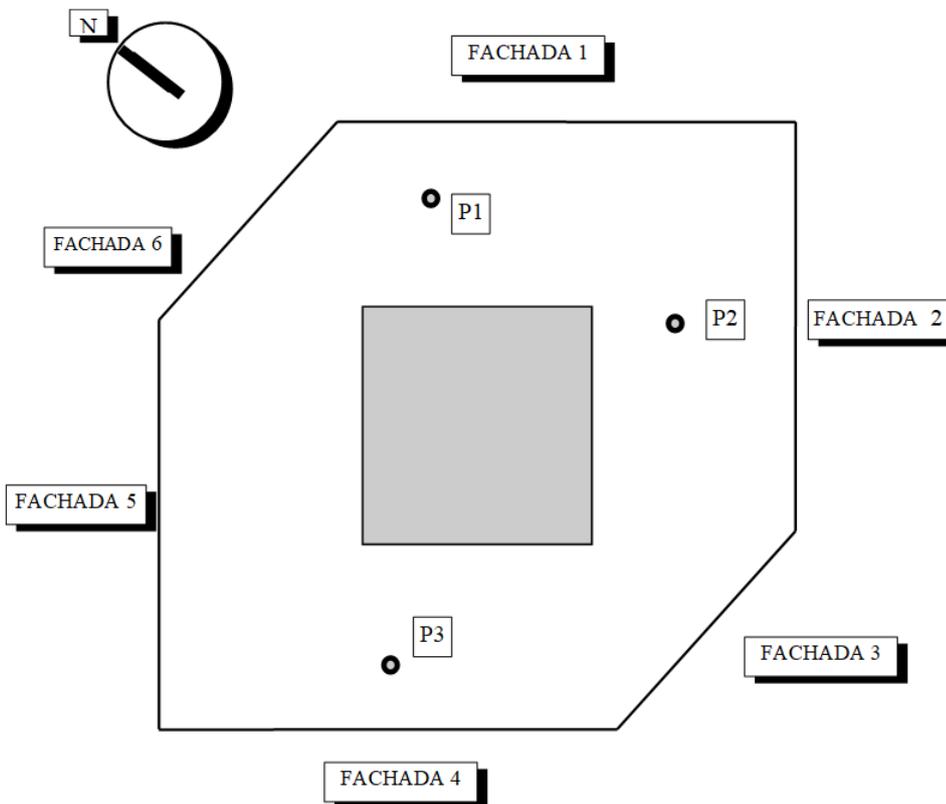


Fonte: fotografia elaborada pelo autor

A torre – edifício no qual se concentrou a pesquisa – possui 18 pavimentos tipo com ocupação típica de escritórios, um pavimento térreo com pé-direito duplo, dois andares técnicos e dois subsolos.

A planta do andar tipo (Figura 4) foi concebida em forma de hexágono, com um núcleo central onde estão situados oito elevadores sociais, um elevador de serviço, dois sanitários, copa, almoxarifado, depósito, duas escadas de incêndio enclausuradas e pressurizadas, hall de circulação e diversos shafts verticais de manutenção. A justificativa dos autores, segundo o material de apresentação e divulgação do projeto, para a escolha desse partido, é a possibilidade de circulação rápida e fácil por todas as áreas do pavimento, a possibilidade de visão externa em todos os setores e a presença de iluminação natural em todo o andar.

**Figura 4** – Planta esquemática do pavimento tipo. O quadrado cinza representa o núcleo central

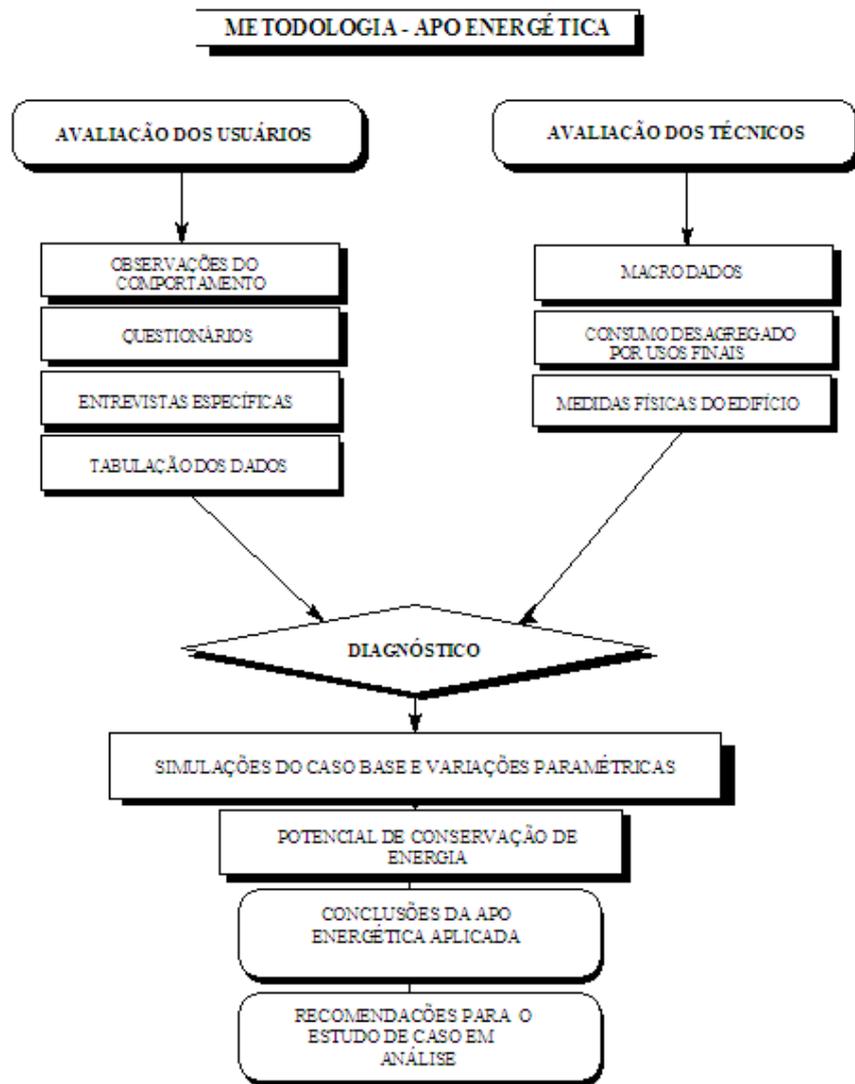


Fonte: o autor

A envolvente exterior é predominantemente de granito polido na cor rosa e vidro duplo laminado, com película refletiva na cor verde.

Agora que sabe um pouco sobre o edifício que será estudado, observe o fluxograma a seguir (Figura 5). Ele apresenta o método detalhado de APO utilizado neste curso, com ênfase na eficiência energética e no conforto ambiental.

Figura 5 – Planta esquemática do pavimento tipo. O quadrado cinza representa o núcleo central



Fonte: o autor

Vamos comentar, a partir de agora, cada um dos elementos constantes neste processo.

## 2.2 Etapas

### 2.2.1 Avaliação dos usuários

#### Observações do comportamento

A técnica de observação é uma das mais tradicionais ferramentas utilizadas em pesquisas que envolvam a análise do comportamento humano em períodos e locais predeterminados. Do ponto de vista da antropologia, esse método vem sendo utilizado com muita frequência

e tem sido a melhor forma de se obter dados primários acerca de uma dada cultura.

A primeira questão que se coloca neste momento é a participação, oculta ou não, do observador, e a possibilidade dele estar ou não invadindo a privacidade de quem está sendo observado. Para as APO's aplicadas em edifícios de escritório, a necessidade do observador em não invadir a privacidade do observado é um fato concreto e deve ser respeitado. Por outro lado, a técnica de observação para a APO energética – que busca perceber o comportamento do ponto de vista do conforto ambiental e da conservação de energia – pode ser utilizada com o observador parado em um determinado local, ou em movimento ao longo de todo o ambiente analisado, sem interferir no comportamento do observado e na sua privacidade.

A situação mais favorável e interessante seria a do observador participativo, ou seja, o pesquisador/observador inserido no seu ambiente de análise. A este respeito, Jacobs (apud BECHTEL et al., 1990) observa que essa é a mais comum de todas as regras e técnicas de observação e uma das que possui um maior número de exemplos e aplicações. Entretanto, torna-se difícil, por uma série de razões, inserir em um ambiente de escritório e trabalho um membro da equipe de pesquisa, com a dupla função de exercer as atividades normais da empresa e sua real atividade de observador e pesquisador.

Por esses motivos, sugere-se que o observador não seja do tipo participativo, quer dizer, não atue como um funcionário, e nem tampouco esteja totalmente oculto.

Sua presença deve ser claramente visível e sua função é anotar, desenhar ou mesmo fotografar situações de comportamento diversas, relacionadas com o binômio conservação de energia versus conforto ambiental, tais como: gestos de frio ou calor, excesso ou carência de iluminação natural e/ou artificial, ofuscamento ou quaisquer situações de conforto e desconforto.

#### **Observações do comportamento no edifício estudado**

As observações do comportamento são aspectos muito relevantes na APO, pois pequenos sinais de comportamento denotam as reações dos usuários a aspectos do edifício/estudo de caso.

Com relação às condições de conforto proporcionadas pelo controle da temperatura e da umidade relativa do ar por intermédio de ar condicionado, notou-se que a quase totalidade dos usuários permanecia durante todo o período do dia com roupas leves e, em alguns casos, com roupas de meia estação e 0,6 clo, tanto para o sexo masculino como para o sexo feminino.

As situações de desconforto, entretanto, apresentavam-se para os funcionários que tinham as suas mesas de trabalho situadas próximas às janelas que circulam todo o andar tipo. Esse desconforto é proveniente de uma dupla condição: o usuário sente o ar ligeiramente frio, proporcionado pelo ar-condicionado e, ao mesmo tempo, sente na pele ou na roupa a radiação solar direta que atravessa o vidro ou é refletida pelos edifícios vizinhos. Nessas situações de dupla condição, os usuários optam por fechar as persianas internas, impedindo a entrada da radiação direta, mas reduzindo a contribuição da iluminação natural, que é qualitativamente superior à iluminação artificial.

Essa situação poderia ser amenizada com algumas das soluções de protetores solares exteriores que você seguramente já conhece, de forma a impedir a penetração da radiação solar direta, ou com prateleiras de iluminação, que conduzem e refletem a radiação solar direta e difusa para o forro, iluminando o ambiente e evitando o contato com os usuários.

Do ponto de vista da iluminação artificial, existe um consenso por parte dos usuários, engenheiros e membros da equipe de manutenção, que os níveis de iluminação artificiais são excessivos.

Durante as observações, uma das funcionárias apresentava uma pele excessivamente vermelha. Indagada sobre o fato, ela explicou que aquele é um sintoma de excesso de iluminação, segundo o seu médico. Uma das alternativas para esse problema específico seria a redução dos níveis de iluminância na área de trabalho dessa funcionária, desde que não prejudicasse o exercício de suas funções.

Uma possibilidade seria a retirada de uma lâmpada de 32W da luminária acima de sua mesa. Uma outra possibilidade seria o remanejamento dessa funcionária para uma posição mais próxima à janela, que além de contar com iluminação natural, apresenta níveis de iluminância artificiais mais reduzidos.

### Questionários

A técnica de questionários permite a obtenção de um grande número de informações. A amostra pode ser dividida por estratos, dependendo da tipologia populacional existente. A utilização dessa técnica pressupõe uma análise exaustiva das questões a serem formuladas nos sentidos de evitar termos não compreendidos pelos usuários e também a indução de respostas.

É imprescindível que os questionários contenham as seguintes informações:

- Data e horário de aplicação do questionário e localização do respondente no edifício;

- Condições climáticas no momento da entrevista, atividade exercida pelo respondente e seu tipo de vestimenta;
- Taxa metabólica do respondente; e
- Idade do respondente.

### **Data e horário de aplicação do questionário e localização do respondente no edifício**

A data do questionário permite identificar a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa do ar exterior no dia em questão, bem como as condições da abóbada celeste (pode-se observar que os conceitos vistos nos módulos anteriores deste curso são aqui resgatados frequentemente!).

Os dados de localização do usuário no momento da aplicação do questionário são úteis para a compreensão exata de sua resposta, uma vez que ele pode estar junto a uma janela de vidro ou próximo a um difusor do condicionamento ambiental. O somatório dessas informações, aliado ao conhecimento do edifício, é a base para a elaboração de um diagnóstico fundamentado.

### **Condições climáticas no momento da entrevista, atividade exercida pelo respondente e seu tipo de vestimenta**

Considerando que o usuário de um dado ambiente construído, coberto ou descoberto, interno ou externo, tende a buscar o seu nível de conforto individual, a análise do tipo de vestimenta aliada à atividade que está sendo exercida no momento da aplicação do questionário e às condições climáticas de temperatura, umidade e velocidade do ar, são muito importantes para a compreensão das respostas.

### **Taxas metabólicas**

Para conhecer os índices de resistência térmica para uma série de vestimentas, abra o material complementar sobre Vestimentas e Resistência Térmica.

Para avaliar o nível de conforto dos usuários, é preciso considerar suas taxas metabólicas de acordo com as atividades que desempenham. Para isso, utiliza-se frequentemente os valores existentes no manual “*Fundamentals*” (ASHRAE, 1977 - *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.*), e calculam-se os índices de área de pele de adultos baseados nos valores do “*European Passive Solar Handbook*” (CCE - *Commission of the European Communities*, 1986), a saber: homens – 1.8m<sup>2</sup> – e mulheres – 1.6m<sup>2</sup>.

A Tabela 1 indica as taxas metabólicas expressas em *met* para as

atividades típicas de escritório e/ou atividades existentes em edifícios de escritórios:

**Tabela 1** – Taxas metabólicas

ATIVIDADE	MET(a)	WATTS	
		Homem (b)	Mulher (c)
Sentado lendo	1,0	105	94
Digitando	1,2 a 1,4	126 a 147	112 a 131
Trabalhos diversos de escritório	1,1 a 1,3	116 a 136	103 a 122
Escrevendo	1,1 a 1,3	116 a 136	103 a 122
Fazendo uma apresentação	2,0	210	188
Serviços de limpeza	2,0 a 3,4	210 a 357	188 a 320
Serviços de copa e cozinha	1,6 a 2,0	168 a 210	150 a 188
Manutenção leve	2,0 a 2,4	210 a 252	188 a 225
Manutenção pesada	3,5 a 4,5	367 a 472	329 a 423
Manobrista	2,2 a 3,0	224 a 315	206 a 282
Atividades leves gerais	1,6 a 3,3	168 a 346	150 a 310
Atividades moderadas gerais	3,3 a 5,0	346 a 525	310 a 470
Atividades pesadas gerais	5,0 a 6,7	525 a 703	470 a 630

Fonte: ASHRAE, 1977.

(a) - 1 met: 58,2 W/m<sup>2</sup>

(b) - homem: 58,2 W/m<sup>2</sup> x 1,8 m<sup>2</sup> = 105 W

(c) - mulher: 58,2 W/m<sup>2</sup> x 1,62 m<sup>2</sup> = 94 W

Para efeito de preparação de questionários, costuma-se utilizar três escalas de valores metabólicos:

- Atividade metabólica leve - digitação, redação de manuscritos, leitura e análise de relatórios, participação de reuniões, entre outras;
- Atividade metabólica média - serviço de limpeza, manutenção leve, serviços de copa, manobrista, entre outras;
- Atividade metabólica pesada - serviço de limpeza pesada, manutenção média e pesada, manobrista contínuo, entre outras.

### Idade

O questionário de avaliação inclui um campo para a identificação da idade do respondente de forma a permitir mais uma possibilidade de comparação e análise das variáveis referentes à iluminação natural, artificial e conforto térmico, bem como avaliar possíveis mudanças em seus níveis metabólicos e de acuidade visual.

Do ponto de vista do conforto térmico, Fanger, em 1970 (*apud* ASHRAE, 1977), realizou na Dinamarca pesquisa comparando os padrões de

conforto de pessoas na terceira idade (homens com 68 anos) com jovens (homens com 23 anos), expondo ambos os grupos a determinadas condições de conforto e obtendo resultados idênticos, tanto para o período diurno como para o período noturno. Nevins, em 1958 (*apud* ASHRAE, 1977), realizando pesquisa semelhante nos EUA, na qual relacionou a temperatura de conforto nos pés para jovens cursando o *college*, e para pessoas na terceira idade de ambos os sexos, obteve resultados idênticos para os níveis de conforto, com temperaturas de piso situadas entre 15,6°C e 29,4°C. Para temperaturas de piso acima de 29,4°C, ambos os grupos opinaram como estando muito quente, e para temperaturas de 32,2°C, somente os jovens opinaram como sendo satisfatória, e mesmo assim por um período de permanência não superior a 1 hora.

Do ponto de vista da iluminação natural e artificial, a Norma Brasileira NB-57 (ABNT, 1991) considera possibilidades de variações nas acuidades visuais de pessoas com idades diferentes e apresenta três faixas etárias: inferior a 40 anos, entre 40 e 55 anos e superior a 55 anos, nas quais as iluminâncias variam consoante cada faixa.

#### Aplicação dos questionários no edifício estudado

Os questionários foram aplicados em uma amostra representativa de 116 usuários do sexo masculino e feminino, para uma população de 986 pessoas, totalizando, portanto, 11,7% do universo.

As perguntas constantes do questionário eram as seguintes:

Há problemas no edifício?

Em caso positivo, quais?

Há treinamento e conscientização sobre conservação de energia?

Como você considera a manutenção do edifício?

Você considera o edifício automatizado?

Qual o nível de iluminação de sua mesa?

Em caso de ruim ou péssimo, por quê?

Como você está sentindo a temperatura da sala neste momento?

Em caso de ruim ou péssima, por quê?

Você sente diferença de temperaturas quando circula por diferentes áreas do pavimento?

As demais informações (data e horário de aplicação do questionário; localização do respondente no edifício; condições climáticas no momento de aplicação do questionário; atividade exercida; tipo de vestimenta; taxa metabólica e idade) foram obtidas a partir de perguntas complementares ou de observação direta.

## Entrevistas específicas

Além dos questionários, faz-se necessário entrevistar algumas peças-chave na hierarquia administrativa e operacional do edifício, tais como: o síndico, o chefe da manutenção, a equipe de vigilância ou qualquer outro profissional que detenha informações relevantes e não disponíveis para o usuário comum. As entrevistas específicas são muito importantes quando da obtenção das contas de energia elétrica (insumos que compõem a avaliação técnica, como verificado adiante), pois esta é a melhor oportunidade de se conhecer os eventuais problemas e circunstâncias acerca do uso da energia.

Existe também uma série de outras informações importantes para a equipe de pesquisa e que podem ser obtidas nas entrevistas específicas, tais como: a periodicidade com que lâmpadas e luminárias são limpas, a periodicidade com que lâmpadas são substituídas, o superaquecimento dos circuitos e dos quadros de distribuição ou qualquer outro indício de problemas nas instalações.

### Entrevistas específicas

Algumas pessoas foram entrevistadas formalmente e informalmente durante o período de medição e durante as visitas feitas ao edifício, sendo que a principal contribuição partiu do Gerente de Manutenção.

Nota-se em todos os entrevistados uma satisfação muito grande com relação ao edifício. Tendo em vista que os sistemas operam dentro do previsto, as reclamações não são constantes.

Em termos do desempenho energético, as pessoas envolvidas com a manutenção não têm condições de avaliar se o consumo é elevado, médio ou satisfatório, nem tampouco se a potência instalada com iluminação artificial poderia ser reduzida, sem causar desconforto aos ocupantes.

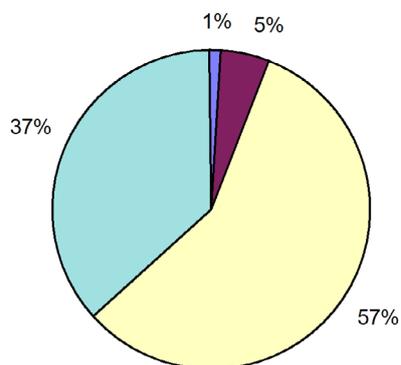
## Tabulação dos dados

As análises estatísticas realizadas nesta etapa referem-se à média aritmética, à moda, ao desvio padrão e às frequências absolutas e relativas. Estes dados podem ser fornecidos por planilhas eletrônicas ou por pacotes estatísticos.

**Tabela 2** – Uso e operação do edifício

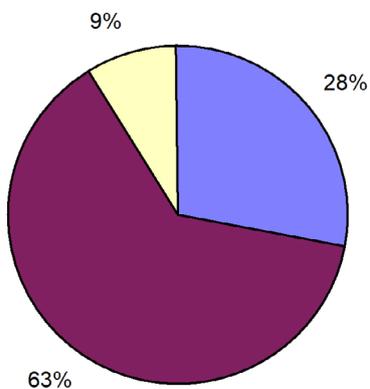
	SIM	NÃO
Há problemas no edifício?	<b>59%</b>	<b>41%</b>
Em caso positivo, quais?	(%)	
Condicionamento ambiental	<b>19%</b>	
Outros – diversos	<b>81 %</b>	
	SIM	NÃO
Há treinamento e conscientização sobre conservação de energia?	<b>26%</b>	<b>74%</b>

**Gráfico 1** – Como você considera a manutenção do edifício?



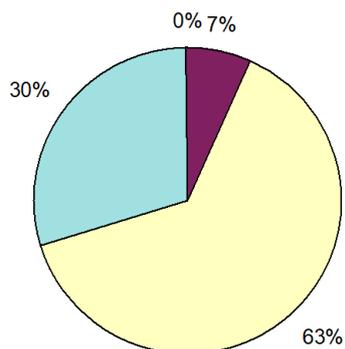
**37% - Ótima**  
**57% - Boa**  
**5 % - Precária**  
**1% - Péssima**  
**Média: 3,35**  
**Desvio padrão: 0,60**  
**Moda: Boa**

**Gráfico 2** – Você considera o edifício automatizado?



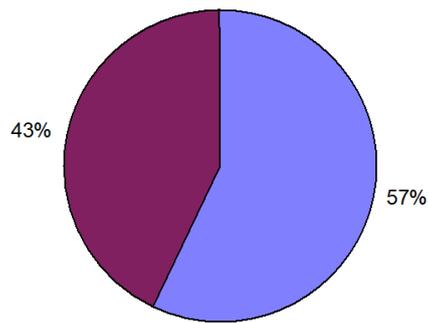
**63% - Sim**  
**28% - Não**  
**9%- Não sei**  
**Média: 1,45**  
**Desvio padrão: 0,65**  
**Moda: Sim**

**Gráfico 3** – Qual o nível de iluminação de sua mesa?



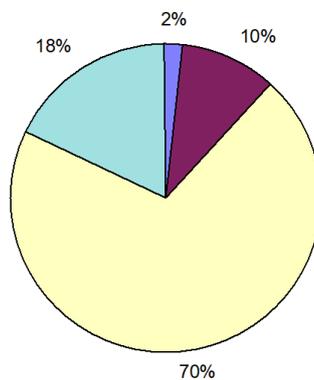
**63% - Ótimo**  
**30% - Bom**  
**7 % - Precário**  
**0% - Péssimo**  
**Média: 3,32**  
**Desvio padrão: 0,56**  
**Moda: Ótimo**

Gráfico 4 – Em caso de ruim ou péssimo, por quê?



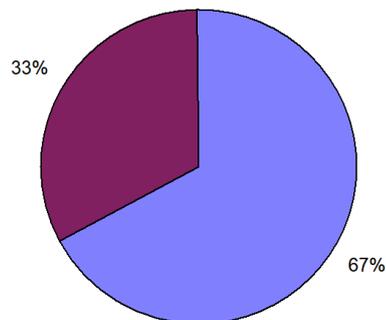
**57% - Claro**  
**43% - Escuro**

Gráfico 5 – Como você está sentindo a temperatura da sala neste momento?



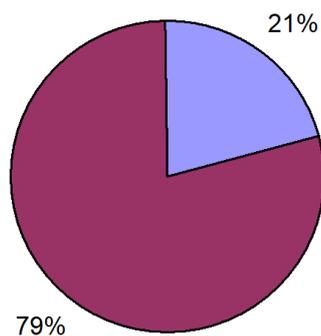
18% - Ótima  
70% - Boa  
10% - Precária  
2% - Péssima  
Média: 3,04  
Desvio padrão: 0,59  
Moda: Boa

Gráfico 6 – Em caso de ruim ou péssima, por quê?



**33% - Fria**  
**67% - Quente**

Gráfico 7 – Você sente diferença de temperaturas quando circula por diferentes áreas do pavimento?



**21% - Não**  
**79% - Sim**  
Média: **1,78**  
Desvio padrão: **0,41**  
Moda: **Sim**

## 2.2.2 Avaliação dos técnicos

### Macrodados

Esta etapa compreende o levantamento e a tabulação dos macrodados energéticos dos edifícios, tais como:

- Consumo;
- Demanda;
- Evolução da população equivalente (ou seja, aquela que represente realmente os usuários que permaneçam no edifício estudado por um período de tempo que a equipe de pesquisa estabeleça previamente);
- Evolução da área construída;
- Indicadores energéticos versus área útil;
- Indicadores energéticos versus população equivalente; e, principalmente,
- Análise das variações sazonais.

Essa etapa permite a visualização e a análise de fenômenos conjuntos e o nível de interferência de um sobre o outro. Por exemplo, para uma pesquisa realizada na Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira, da USP, quando se analisou a evolução do consumo e da demanda em uma série histórica de 20 anos, notou-se que a variação do crescimento da demanda foi inferior à variação do crescimento do consumo, o que denota um melhor aproveitamento da energia no período.

Outro fator verificado nesse mesmo caso foi o crescimento sazonal constante dos consumos energéticos desde março a dezembro, contrariando uma expectativa da universidade e da equipe de pesquisa, que esperavam uma redução no mês de julho, para em seguida retomar o crescimento até dezembro.

A importância dessa análise está na comparação das diversas variáveis envolvidas em uma série histórica não inferior a 1 ano.

### Macrodados do edifício estudado

Destacaremos aqui o levantamento e análise para uma série histórica mínima de 12 meses (ainda que seja muito interessante também considerar períodos de 5, 10 ou 20 anos) de consumos e demandas mensais e sazonais para analisar seu comportamento nos períodos de inverno, verão e meia-estação.

O levantamento e análise de macrodados do edifício estudado foram realizados em termos de:

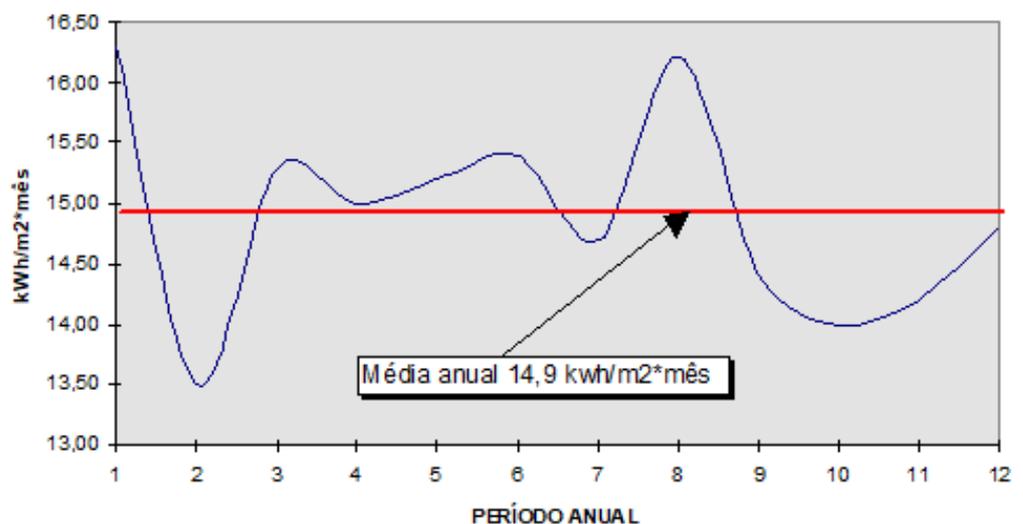
- Variações mensais; e
- Variações sazonais para consumo.

### Variações mensais

Embora o estudo tenha-se concentrado na torre de escritórios, o levantamento e a análise dos macrodados abrangeu todo o complexo (torre e anexos I e II), uma vez que a entrada de energia é feita em alta tensão para os três blocos e área externas. Para essa análise, foram obtidas as contas de energia elétrica fornecidas pela concessionária ELETROPAULO, para o período de janeiro a novembro de 1995. O tipo de faturamento é hora-sazonal - Tarifa Azul (THS). O Gráfico 8 indica o comportamento do consumo ao longo do ano.

O consumo médio anual por funcionário encontrado no edifício em análise foi de 854kWh, bastante elevado quando comparamos com o consumo médio por indivíduo no setor residencial, que é de cerca de 50 kWh (valor obtido em pesquisas sistemáticas que esse autor realiza anualmente junto a 150 famílias de classe média e alta). A demanda de pico média anual de 42KW/m<sup>2</sup> não é elevada e sugere um bom desempenho do edifício.

Gráfico 8 – Consumo por área, durante o ano



### Variações sazonais

Uma outra forma de conhecer o comportamento do consumo de energia elétrica no decorrer do ano é a análise sazonal dos valores. Veja a Tabela 2, a seguir.

**Tabela 3** – Consumos sazonais mensais, médios e totais.  
Os valores podem ser indicados em KWh ou múltiplos.

Tabela de Consumos Sazonais (kWh)				
mês	grupo	consumo mensal	consumo médio grupo	consumo total grupo
J		921.143		
F	<b>G-1</b>	760.927	848.959	<b>2.546.876</b>
M		864.806		
A	<b>G-2</b>	846.849	853.426	<b>1.706.851</b>
M		860.002		
J	<b>G-3</b>	868.447	849.285	<b>1.698.570</b>
J		830.123		
A		915.156		
S		812.428		
O	<b>G-4</b>	792.399	831.092	<b>4.155.460</b>
N		800.399		
D		835.078		

Observe que os meses do ano para a cidade de São Paulo foram divididos em quatro grupos sazonais:

- O grupo G-1 abrange os meses de janeiro, fevereiro e março, que são meses de verão e representam também um período de férias funcionais;
- O grupo G-2 abrange os meses de abril e maio e representa o período referente às condições climáticas de meia estação – outono;
- O grupo G-3 abrange os meses de junho e julho e representa o período referente às condições climáticas de inverno; e
- O grupo G-4 abrange os meses de agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, e representa o período referente às condições climáticas de meia-estação - primavera.

É possível detectar, pela observação da tabela, duas situações ligeiramente atípicas:

*1 - Como é possível que se consuma mais energia nos meses de primavera (grupo G2) que nos de verão (grupo G1), se nos últimos se usa mais ar-condicionado?*

*2 - Como é possível que nos meses de inverno (grupo G3) se consuma mais que nos de outono (grupo G4), se nos primeiros não se usa tanto ar condicionado?*

Por outro lado, nota-se que as diferenças sazonais são relativamente reduzidas e os consumos analisados aqui se referem a todo o complexo, e não somente à torre de escritório. Nesse sentido, o condicionamento ambiental é apenas uma variável em todo o processo, e as diferenças

sazonais estão sendo mais afetadas pelos equipamentos dos diversos setores do complexo e pela iluminação artificial.

Se fosse feito levantamento da demanda (kW), deveriam ser considerados os valores das demandas registradas, que são em última análise os valores verificados pelas medições efetuadas pela concessionária local. A partir daí elaborar-se-ia uma tabela semelhante à de consumo.

Finalmente, seria ainda possível, para se obter um primeiro parecer sobre o comportamento energético do edifício, elaborar uma tabela síntese, na qual constariam os dados totais anuais que deverão ser lançados na Tabela 4, a seguir

**Tabela 4** – Síntese de macroanálises

<b>TABELA RESUMO</b>					
<b>CASO.....</b>					
<b>Área Total:.....</b>		<b>Ano:.....</b>		<b>População:.....</b>	
Mês	Consumo mensal(kWh)	Demanda mensal (kWh)	Consumo (kWh/m2* mês)	Consumo por usuário/ mês (kWh.)	Demanda de pico (kW/m2 *mês)
JAN					
FEV					
MAR					
ABR					
MAI					
JUN					
JUL					
AGO					
SET					
OUT					
NOV					
DEZ					
Médias					

### Consumo desagregado por usos-finais

Este item tem por objetivo detalhar, da forma mais precisa possível, o comportamento e a origem dos consumos e das potências dos edifícios analisados. O ideal é que sejam medidas as correntes elétricas nos quadros de distribuição para cada um dos usos-finais existentes, tais como: iluminação, condicionamento, equipamentos de escritório, equipamentos de informática, bombas de recalque, elevadores, sistemas especiais e outros. Entretanto, nossa experiência indica que raramente os circuitos estão totalmente divididos pelos usos-finais existentes e raramente suas fases estão balanceadas.

## Levantamento de potências

Para efeito de potência, pode-se considerar os dados de “placa” em regime de trabalho constante, e quando estes inexistam, deve-se procurar os fabricantes ou calcular as potências mediante correntes e tensões médias em regime de trabalho constante e considerando cargas monofásicas e trifásicas.

### Cálculo

O consumo desagregado por usos-finais demonstra de que forma a energia está sendo consumida no edifício e aponta as medidas necessárias para sua racionalização. Para isso, é preciso:

**1º.** Agrupar os usos-finais. Iluminação, condicionamento ambiental e equipamentos gerais são desagregações mínimas que estão presentes em todos os trabalhos científicos.

#### A seguir, exemplos de grupos mais usados:

**Iluminação:** abrange todo e qualquer tipo de aparelho de iluminação artificial, incluindo a perda de potência nos reatores;

**Condicionamento ambiental:** abrange todo e qualquer tipo de aparelho utilizado para o condicionamento de ar, self contained, fan-coil ou água gelada, ou ainda self-contained compacto, conhecido como “aparelhos de janela”;

**Equipamentos de computação:** abrangem todo e qualquer tipo de aparelho ligado à área de informática, incluindo os computadores de pequeno, médio e grande porte, impressoras e periféricos que estejam alocados em centros de processamento de dados (CPD's);

**Equipamentos diversos:** abrangem todo e qualquer tipo de aparelho, incluindo os equipamentos de informática e respectivos periféricos utilizados em ambientes de escritório e todos os equipamentos elétricos fixos ou móveis existentes, salas de trabalho, secretarias, copas, cozinhas, corredores, depósitos etc.;

**Equipamentos eletromecânicos:** abrangem todo e qualquer tipo de aparelho ou equipamento eletromecânico não contemplado anteriormente, como escadas rolantes, bombas de recalque, elevadores etc.

**2º.** Levantar as potências instaladas para cada uso-final;

**3º.** Levantar os regimes de utilização, em horas, para uso-final. Esse cálculo deve considerar os períodos de funcionamento diurno e noturno e finais de semana;

4°. Calcular os consumos desagregados por usos-finais totais e por unidade de área e a participação de cada uso, em percentuais.

O cálculo é feito a partir das seguintes equações:

$$C = U \cdot I \cdot \cos \phi \cdot t$$

ou

$$C = P \cdot \cos \phi \cdot t$$

onde:

C = Consumo	(kWh)
P = Potência	(VA)
U = Tensão	(Volts)
I = Corrente	(Ampères)
t = tempo	(horas)
cos $\phi$ = fator de potência	

Para os fatores de potência (cosseno de  $\Phi$ ), adotaram-se os seguintes valores, retirados do Manual Pirelli de Instalações Elétricas. São Paulo, PINI, p.52 e 71:

- Iluminação incandescente: 1,0
- Iluminação fluorescente: 0,85;
- Condicionamento ambiental: 0,85 a 0,9;
- Equipamentos de escritório: 0,8 a 1,0;
- Equipamentos eletromecânicos: 0,5 a 0,9.

### **Consumo desagregado por usos-finais no edifício estudado**

O levantamento do consumo desagregado foi realizado no 5º pavimento devido à facilidade de acesso, uma vez que os dados aí obtidos podem ser extrapolados para os demais pavimentos-tipo.

Devido ao faturamento único para os três blocos (torre e anexos I e II), não foi possível isolar o consumo da torre e, a partir dele, definir o consumo desagregado. Desta forma, optou-se por efetuar o cálculo estimado do consumo da iluminação artificial e dos equipamentos em um programa de simulação energética chamado ESP-r, e, a partir da carga térmica calculada por ele, definir o consumo para o condicionamento ambiental. Isso mostra que adaptações e ajustes necessitam ser feitos durante a aplicação do método, de acordo com os insumos disponíveis.

Geralmente, as concessionárias de energia elétrica, quando se trata de um conjunto de edifícios suportados por uma única entrada de energia, integram os consumos e as demandas das diversas torres ou blocos em uma única conta ou fatura. É muito importante que o profissional que está aplicando o retrofit esteja ciente disso.

### **Consumo em iluminação artificial**

A desagregação do consumo para o uso-final iluminação artificial considerou a situação existente no 5º pavimento, excluindo a área central de serviços e totalizando 325 luminárias para duas lâmpadas de 32W com reatores eletromagnéticos Série Ouro da Philips, perfazendo 27.950W, incluindo as perdas pelo reator, que neste caso foram de cerca de 22W por luminária ou conjunto de duas lâmpadas. Vale ressaltar aqui o fato de que os reatores eletrônicos têm uma perda muito menor e, também por este motivo, estes reatores são mais utilizados no momento. Para o regime de utilização, assumiu-se um total de 11½ horas de funcionamento, a saber: das 7h30min às 19h, sem interrupção no horário do almoço (12h às 13h).

Total do consumo final da iluminação artificial:  $C_i = 7.539,00$  kWh/mês.

### **Consumo em equipamentos**

O andar em análise possui cerca de 1.028m<sup>2</sup> de área útil e 13.364W em equipamentos de escritório, incluindo computadores e periféricos, máquinas de calcular, aparelhos de fax, copiadoras, bebedouros e máquinas de café, o que totaliza uma potência instalada média de 13W/m<sup>2</sup>. Para o regime de utilização dos dias úteis, considerou-se o mesmo período de funcionamento da iluminação artificial. Para os finais de semana, considerou-se apenas, aos sábados, 10% da potência instalada durante um período de 11½ horas. Para o período noturno, desconsiderou-se o funcionamento dos equipamentos tanto para os dias úteis como para os finais de semana, pois nesse estudo de caso não há funcionamento de nenhuma atividade no período noturno.

Total do consumo final dos equipamentos:  $C_e = 3.098,00$  kWh/mês

### **Consumo em condicionamento ambiental**

Considerou-se aqui o consumo em kWh para retirar a carga térmica existente no mês de fevereiro para as condições reais de uso e operação. Isso inclui as componentes: iluminação natural e artificial, pessoas e equipamentos, e assume um set-point para a temperatura de bulbo seco de 24,5°C.

O valor final encontrado pelo simulador/programa ESP-r para o consumo em condicionamento ambiental:  $C_c = 7.100$  kWh/mês.

### **Cálculo final do consumo desagregado**

O somatório dos valores obtidos acima com os cálculos de iluminação, equipamentos e condicionamento ambiental nos permite obter o cálculo final ou consumo desagregado para esses três usos-finais. Observe a

**Tabela 5** – Síntese do consumo desagregado por usos-finais

<i>Usos Finais</i>	<i>KWh/mês</i>	<i>%</i>
Iluminação	7.539	42,0
Equipamentos diversos e computadores	3.098	17,5
Condicionamento ambiental	7.100	40,5
Total	17.737	100

Tabela 5, a seguir:

### **Medidas físicas do edifício**

Esta etapa busca avaliar os seguintes aspectos:

- A incidência da componente natural no interior dos ambientes;
- A incidência da componente artificial no plano de trabalho;
- O somatório das incidências natural e artificial atuando conjuntamente.

Para atender a esses objetivos, devem ser realizadas, durante o dia, medições das componentes natural e artificial e, no período noturno, medições da componente artificial.

Para se avaliar a penetração da componente natural no interior dos ambientes, pode-se utilizar o Coeficiente de Luz do Dia (CLD) que inclui a luz solar direta ou o Fator de Luz do Dia (FLD), que a exclui.

Para se avaliar o desempenho da iluminação natural e artificial, deve-se utilizar os procedimentos de verificação de iluminância de interiores descritos na Norma Brasileira - ABNT - 5382 de abril de 1984. Os índices para a determinação da iluminância desejada no campo de trabalho podem ser extraídos da NBR-5413- Iluminância de interiores - Especificação.

Após a medição, é preciso analisar as temperaturas e as umidades relativas do ar existentes nos ambientes, de forma a avaliar se as condições encontradas são aceitáveis dentro de parâmetros que você já estudou nos módulos de Estratégias Bioclimáticas de Reabilitação Ambiental Adaptadas ao Projeto e de Métodos e Técnicas para Conforto Ambiental e Reabilitação do Espaço Construído, como o diagrama bioclimático de Victor Olgyay ou as zonas de conforto de Givoni.

### **Medidas físicas do edifício estudado**

Entre março e agosto realizaram-se, no 5º pavimento e no térreo do edifício (de forma a se obter as condições externas), medições de:

- Iluminação natural e artificial;
- Temperaturas e umidades relativas; e
- Velocidade.

As medições foram realizadas com o edifício em situação de ocupação (dias úteis) e sem ocupação (sábados e domingos). As condições externas de temperatura e umidade relativa do ar foram medidas no pavimento térreo, com o termômetro digital protegido da radiação solar direta.

### Iluminação natural e artificial do edifício estudado

As tarefas realizadas no edifício analisado constam da norma brasileira no que diz respeito a bancos e escritórios.

A NB-57, ABNT, maio de 1991, apresenta uma faixa de valores, mínimos, médios e máximos de iluminâncias, em lux, como demonstrado na Tabela 6, a seguir, e indica os critérios para a escolha correta de cada

**Tabela 6** – Iluminâncias de interiores - NB-57 (1991).

Os valores mínimos, médios e máximos devem ser escolhidos de acordo com os níveis de contrastes e refletâncias do fundo da tarefa, suas características de precisão e produtividade, bem como características daquele que vai executar a tarefa, como acuidade visual e idade

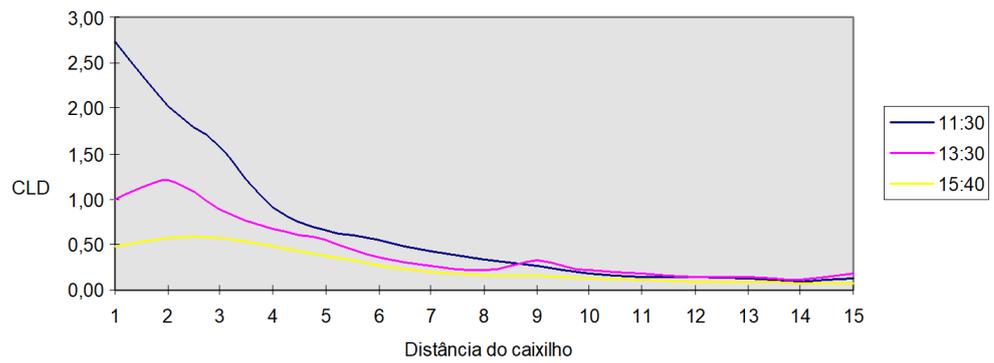
Local	Iluminâncias (lux)		
	mínima	média	máxima
atendimento ao público	300	500	750
salas de datilógrafas	300	500	750
salas de gerentes	300	500	750
salas de recepção	100	150	200
salas de conferências	150	200	300
saguão	100	150	200
arquivos e trabalhos de menor importância	200	300	500
escritórios de desenho	750	1000	1500
escritório de arquitetura	750	1000	1500
desenho decorativo e esboço	300	500	750

uma destas opções.

Para determinação dos níveis de iluminância da iluminação artificial, utilizou-se os procedimentos constantes da Norma Brasileira NBR-5382 (1985).

O Gráfico 9, a seguir, indica os Coeficientes de Luz do Dia – CLD – para

**Gráfico 9** – Coeficiente de Luz do Dia (CLD).  
Os valores da distância do caixilho (janela) encontram-se em metros

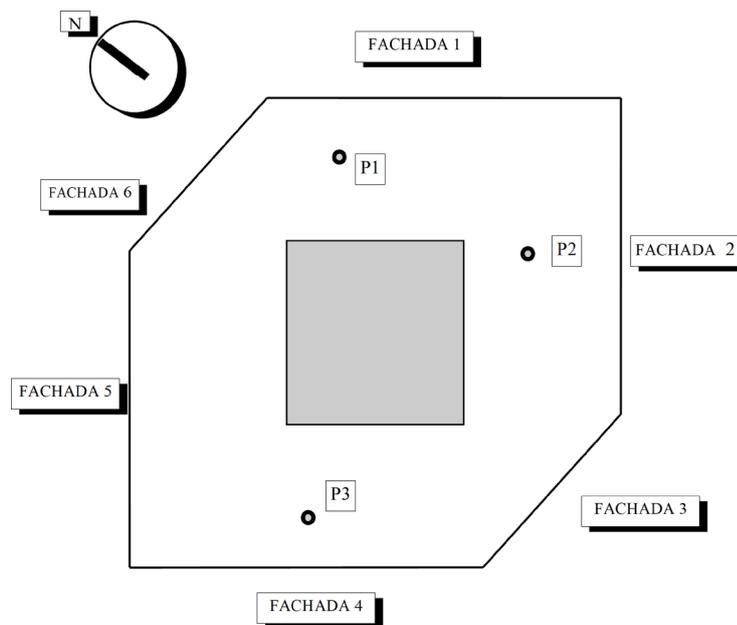


o dia 16 de março de 1996, no 5º pavimento.

### Temperaturas e umidades relativas do edifício estudado

A Figura 6, a seguir, mostra os pontos de medição da temperatura e

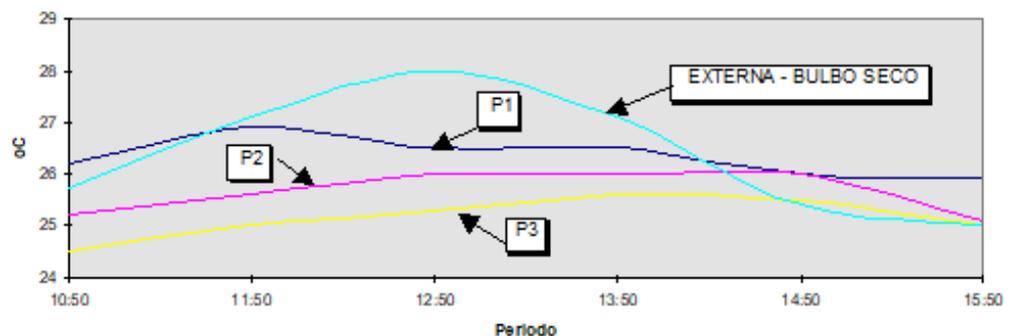
**Figura 6** – Localização dos pontos de medição de temperatura e umidade no 5o pavimento



umidade no 5º pavimento.

A partir da medição, foi feito o Gráfico 10, a seguir, que mostra a variação das temperaturas radiantes encontradas no edifício quando ele estava

**Gráfico 10** – Variação das temperaturas radiantes - edifício sem uso. P1, P2 e P3 indicam os pontos de medição



sem uso.

A análise do Gráfico 10 anterior com o edifício sem uso – e, portanto, sem a contribuição das cargas internas – indica que as temperaturas internas até as 14h30min situam-se abaixo da temperatura externa e mantêm-se constantes, mesmo após a queda da temperatura externa no início da tarde.

Esse fato demonstra que, apesar do elevado percentual de vidro nas fachadas, o edifício possui massa suficiente para atenuar as condições externas. Nota-se que a diferença entre as temperaturas internas e externas varia segundo a posição dos termômetros. No ponto P3 – fachada oeste – a diferença máxima é de 3,0°C. No ponto P2 – fachada leste – a diferença máxima é de 2,5°C e no ponto P1 - fachada norte – a diferença atinge o valor mínimo, ou seja 1,5°C.

Essa análise indica que, no período de inverno, o efeito da massa proporcionaria, por meio da inércia térmica, temperaturas internas baixas no período da manhã. Essas temperaturas se elevariam paulatinamente com a contribuição das cargas térmicas externas (radiação difusa ou global) e principalmente com a contribuição das cargas internas. Considerando que em um dado momento as temperaturas internas atingiriam valores mais elevados que as externas, a ventilação natural poderia ser acionada, em um nível acima do plano de trabalho, como forma de reduzir as cargas internas.

### **Velocidade do ar do edifício estudado**

As medições indicam uma velocidade média do ar situada entre 0,1m/s e 0,2 m/s, que são valores aceitáveis para ambientes fechados e condicionados artificialmente.

### **Avaliação Final do edifício estudado**

Aplicando o **diagrama bioclimático de OLGYAY** e os **dados medidos na carta bioclimática proposta por GIVONI**, os valores encontrados nos pontos P1 e P3 encontram-se na zona de conforto para o período de verão.

### **2.2.3 Diagnóstico**

A etapa de diagnóstico compreende o cruzamento dos dados comportamentais com aqueles levantados pela equipe de pesquisa. O resultado esperado é um diagnóstico representativo e fundamentado nas questões referentes ao uso da energia. De posse desse diagnóstico, a equipe de pesquisa poderá, por meio de técnicas de cenários, estabelecer as estratégias de conservação de energia para o edifício estudado. Essas estratégias (ECO's - Estratégias de Conservação de

Energia, do inglês Energy Conservation Opportunities) consideram sempre as relações de custo-benefício envolvidas em cada uma das recomendações de forma a balizar as futuras decisões.

### **Diagnóstico do edifício estudado**

A etapa de diagnóstico foi elaborada tomando como roteiro os quesitos e a ordem existente no questionário aplicado.

### **Níveis de iluminância no plano de trabalho**

Os níveis de iluminância no plano de trabalho estão ótimos (63%) ou bons (30%) para 93% dos entrevistados. Dentre os que optaram pelos conceitos precário ou péssimo, 57% afirmaram que a iluminação é excessiva, e 43% afirmaram ser deficiente. As medições de luz natural e artificial em dois dias alternados indicaram que mais de 95% de toda a área medida possui níveis de iluminância acima de 500 lux, atingindo em alguns casos valores superiores a 1.000 lux. Os usuários, em conversas informais, atestaram que a quantidade de luz é exagerada e superior a suas necessidades, principalmente nas áreas centrais do pavimento tipo. Lembre-se de que a normalização brasileira fixa em 500 lux o valor mínimo recomendável para atividades de escritório (NB-57), excluindo atividades de desenho.

Do ponto de vista da iluminação natural, verifica-se que até as 12h, a iluminação natural atinge o mínimo recomendável de 500 lux a uma distância situada entre 3,75m e 4,37m. Entre 13h e 14h, a iluminação natural atinge distâncias entre 2,5m e 3,75m e, entre 15h30min e 16h, o máximo atingido é de 1,25m da janela. Esses dados são bastante significativos e somente são possíveis de serem obtidos quando as persianas estão totalmente levantadas. Vale ressaltar que o pavimento em análise possui grandes áreas sem divisórias internas, o que facilita a penetração da luz natural.

### **Temperatura no ambiente de trabalho**

Cerca de 88% dos entrevistados afirmaram que a temperatura da sala no momento da entrevista situava-se entre boa (70%) e ótima (18%). Dentre os que optaram pelos conceitos precário ou péssimo, 67% afirmaram que o ambiente estava quente, e 33% afirmaram que o ambiente estava frio. Os usuários em encontros informais reclamaram predominantemente das baixas temperaturas e não das elevadas temperaturas, demonstrando que as opiniões a este respeito se dividem. Da amostra analisada, 12% dos entrevistados encontram-se insatisfeitos, por excesso ou de frio ou de calor, mas de acordo com os estudos realizados, uma pequena alteração no vestuário – o que alteraria a sua resistência térmica – daqueles que se consideram insatisfeitos, poderia trazer sensações bem próximas do ideal.

### **Diferenças de temperatura no mesmo pavimento**

As diferenças de temperatura em um mesmo pavimento são, de certa forma, inevitáveis, devido à quantidade de variáveis que se modificam durante o período diário: o movimento solar, a elevação e o declínio da radiação solar global nos envidraçados e o controle não uniforme das persianas, o que eleva ou reduz a carga térmica em um dado setor do edifício.

Mesmo considerando o controle setorizado do equipamento de condicionamento, por meio de sensores e alterações na vazão de ar frio (VAV - Volume de Ar Variável), existe um tempo mínimo necessário entre a medição da temperatura pelo sensor, a alteração da abertura da válvula de insuflamento, as trocas de ar por convecção e a percepção térmica pelos usuários. Por esses motivos, cerca de 80% dos usuários detectaram temperaturas diferenciadas no pavimento tipo. Analisando os dados medidos no local em um dia típico de trabalho, nota-se que as diferenças de temperatura em um mesmo horário não são superiores a 0,6°C, que é um valor bastante razoável quando consideramos a quantidade de variáveis envolvidas no processo.

Nos dias em que se efetuaram as medições, notou-se que a temperatura no corredor do setor de serviços estava mais elevada que a temperatura ambiente. Não nos parece que esse fato chegue a incomodar os usuários, pois essa região não é uma região de trabalho. Outro fator que deve explicar em parte as diferenças de temperatura verificadas pelos usuários é o não condicionamento de sanitários, arquivos e copa, que são áreas frequentadas pelos usuários.

#### **2.2.4 Simulações e variações paramétricas**

O uso de ferramentas de simulação vem aumentando em todo o mundo, e isso se deve ao fato de permitirem analisar tanto edifícios que ainda se encontram nas etapas preliminares de projeto quanto edifícios que já estejam construídos e operando.

Certamente que o maior potencial de conservação de energia se encontra nas etapas preliminares de projeto, nas quais as mais importantes decisões a respeito das variáveis que interferem no consumo final de energia elétrica ainda não foram tomadas.

Na etapa de retrofit, o potencial de conservação tende a ser mais reduzido, tendo em vista que uma série de modificações não pode ser realizada por uma questão de custo versus benefício.

Em termos de resultados e de possibilidades de se simular vários ambientes de um dado edifício, o programa Energy Plus é uma opção bastante.

O programa Energy Plus foi criado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (US Department of Energy) para realizar simulações energéticas em edifícios, apresentando resultados relativos a aquecimento, resfriamento, iluminação artificial e natural, ventilação e

outros fluxos energéticos.

### Simulação e variações paramétricas no edifício estudado

As simulações e as variações paramétricas efetuadas neste estudo foram feitas para os meses de fevereiro e julho. Comparando-as, nota-se a possibilidade de redução das cargas térmicas de condicionamento ambiental, devido à redução da radiação global e às baixas temperaturas de bulbo seco do ar exterior. Da mesma forma, verifica-se a possibilidade de redução nas cargas térmicas de condicionamento ambiental, devido à redução do regime de utilização e da potência instalada com o uso final iluminação artificial.

Veja os Gráficos 11 e 12, a seguir, em que constamos principais

Gráfico 11 – Redução nas cargas de condicionamento ambiental

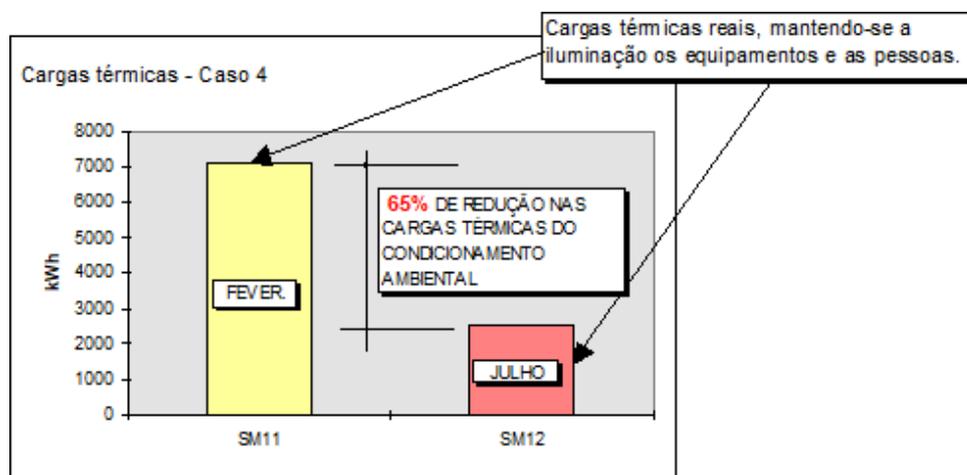


Gráfico 12 – Redução nas cargas de condicionamento ambiental

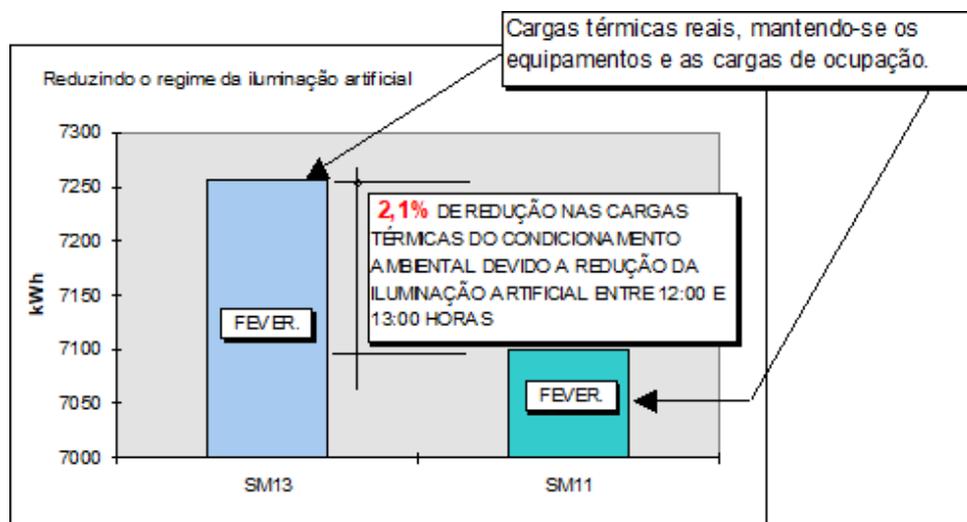
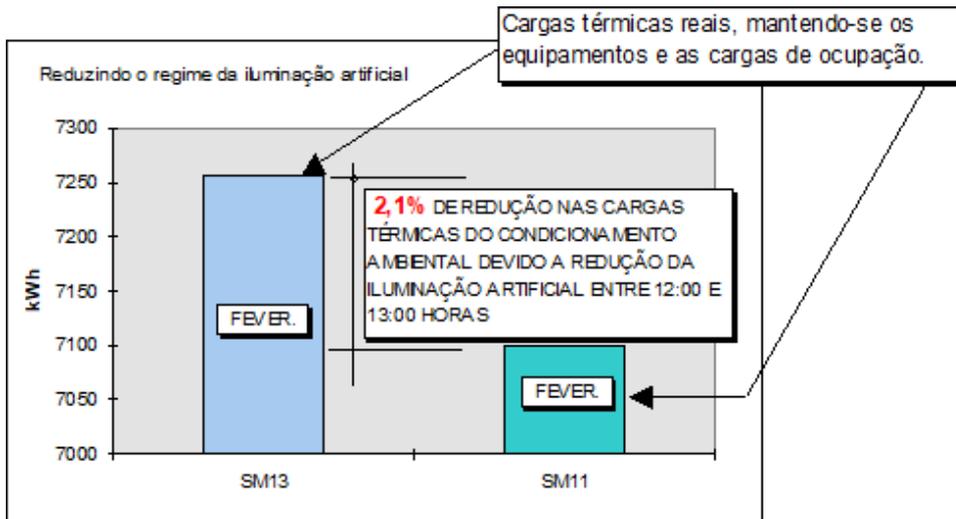


Gráfico 13 – Redução nas cargas de condicionamento ambiental



resultados desta avaliação:

## 2.2.5 Potencial de conservação de energia

### Potencial de conservação de energia do edifício estudado

A etapa de levantamento de macro dados revelou um consumo médio por unidade de área de 14,9 kWh/m<sup>2</sup>. Desse total, o condicionamento ambiental responde por 48% e a iluminação artificial por 47,1%. Em ambos os usos-finais existe um potencial de conservação de energia factível de ser implantado e que será calculado a seguir. Como pode imaginar, as hipóteses apresentadas basearam-se no levantamento do consumo desagregado por usos-finais e nos resultados das simulações computacionais.

### Substituição simultânea dos reatores eletromagnéticos por reatores eletrônicos

Esta simulação considera a substituição total dos reatores eletromagnéticos por reatores eletrônicos, bem como a venda dos reatores eletromagnéticos que estejam em condições de uso e operação. O sistema de iluminação artificial não é totalmente ineficiente, pois possui lâmpadas e luminárias que incorporam um padrão de tecnologias disponíveis no mercado. Por outro lado, os reatores também são do tipo eletromagnéticos e de baixo rendimento, quando comparados com os atuais reatores eletrônicos.

Os reatores eletrônicos considerados nesta simulação são do tipo HFB da Philips, para duas lâmpadas de 32 Watts, que, segundo o catálogo da empresa, apresenta uma perda média por conjunto de 7 Watts e uma vida útil média de 100.000 horas ou 26 anos (considerou-se aqui um período médio de utilização de 15 horas/dia e 250 dias/ano). A potência total por conjunto para os reatores eletromagnéticos é de 86W e para os reatores eletrônicos é de 71W, havendo, portanto, um potencial de

conservação de 15W por conjunto, ou 17,5%.

O cálculo do período de retorno do investimento será feito mediante a

$$P_{ri} = \frac{(I_t - Re) + - R_{om}}{E_{ac} + E_{ad}}$$

onde:

**P<sub>ri</sub>** = Período de retorno do investimento

**I<sub>t</sub>** = Investimento total em tecnologias novas e mais eficientes

**Re** = Reduções eventuais outras com a venda de tecnologias obsoletas

**R<sub>om</sub>** = Redução ou elevação dos custos com operação e manutenção, provenientes de tecnologias mais eficientes

**E<sub>ac</sub>+E<sub>ad</sub>** = Economias anuais nas tarifas de consumo e demanda

aplicação da equação a seguir:

Para o valor de **I<sub>t</sub>**, considerou-se o montante total para a aquisição de 5.850 reatores do tipo HFB da Philips, ou seja, R\$ 263.250,00 - 325 reatores por pavimento (área de carpete) x 18 pavimentos = 5.850 reatores. 5.850 x R\$ 45,00 = R\$ 263.250,00.

Não se considerou aqui o valor **R<sub>om</sub>**, tendo em vista que o serviço de substituição será feito pela equipe de manutenção já existente e após a substituição total

Para o valor de **Re**, considerou-se a venda dos 5.850 reatores por um valor mínimo de R\$ 5,00 a unidade e totalizando um montante de R\$ 29.250,00. O custo anual das perdas com os 5.850 reatores eletromagnéticos é de R\$ 16.173,00 e o custo anual das perdas com os reatores eletrônicos é de R\$ 4.728,00.

O valor de **E<sub>ac</sub>** é, portanto, de R\$ 11.445,00. Para calcular as economias anuais nas tarifas de demanda (E<sub>ad</sub>), considerou-se a diferença entre as perdas pelos reatores eletromagnéticos e eletrônicos, ou seja, 15 Watts por unidade os quais totalizam para os 5.850 reatores uma demanda de pico de 87,75kW. Considerando um custo de R\$ 11,93/kW, o valor de E<sub>ad</sub> para o período de 1 ano é de R\$ 12.562,20. Aplicando a equação para esses valores, obtém-se o resultado de 9,74 anos como o período de amortização do capital investido. A partir desse momento, somente a torre gerará para a empresa uma economia anual no uso-final da iluminação artificial, de R\$ 24.007,00/ano.

O edifício conta com outros potenciais de conservação factíveis de serem implantados, tais como a instalação de sensores de presença nos pavimentos tipo e a redução da potência instalada com a iluminação artificial que proporcionaria também uma redução no consumo do condicionamento ambiental, devido a redução da carga térmica. Essa

situação foi considerada na etapa de simulação deste trabalho.

### **2.2.6 Conclusões da APO energética aplicada e recomendações para o estudo de caso**

1. Existe um potencial de conservação de energia na substituição dos reatores eletrônicos por reatores eletromagnéticos. Da mesma forma, os sensores de presença poderiam ter sido incluídos no projeto, de forma a desligarem a iluminação artificial no período do almoço e período noturno.
2. A iluminação artificial é elevada e considerada acima da norma brasileira e das recomendações internacionais para ambientes de escritório. A potência por unidade de área consequentemente é bastante elevada, cerca de  $27\text{W}/\text{m}^2$ , quando se é possível atingir os valores mínimos de 500 lux, com potências instaladas inferiores a  $15\text{W}/\text{m}^2$ .
3. A carga térmica do condicionamento ambiental poderia ser reduzida em função da redução da carga térmica de iluminação artificial.
4. Os fatores de luz do dia são razoáveis, certamente devido à altura dos caixilhos e a cor clara dos ambientes interiores.
5. Como recomendações factíveis, sugere-se a substituição paulatina dos reatores eletromagnéticos por reatores eletrônicos e a instalação de sensores de presença nos pavimentos tipo.

# Palavras finais

Ao final deste texto, você certamente tem claro que a Avaliação Pós-Ocupação – APO – é a metodologia para se identificar os problemas que um edifício possui, e o retrofit é o conjunto de soluções ou alterações que esse edifício deve sofrer para que seja reabilitado. Assim, o retrofit compreende as últimas etapas constantes do fluxograma metodológico aqui apresentado.

No caso da APO energética, as estratégias de retrofit possibilitam economizar energia na grande massa edificada existente em nosso país.

Considere que tanto a Avaliação Pós-Ocupação como o Retrofit são técnicas altamente profissionalizantes e com um extenso mercado de trabalho no Brasil.

Aproveite e usufrua!

Professor Marcelo de Andrade Roméro

# Referências

ASHRAE - American Society of Heating. **Handbook & Product Directory** – Fundamentals, 1977

\_\_\_\_\_. **Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**, Inc. 1977.

AKUTSU, M. et al. **Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares** - Manual de procedimentos de avaliação. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1987.

BECHTEL, R. et al. **Methods in Environmental and Behavioral Research**. Krieger Pub Co: 1990.

BRASIL - ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - **Norma Brasileira NB 57** - Iluminância de Interiores. São Paulo, 1991;

\_\_\_\_\_. **Norma Brasileira NBR - 5382** - Verificação de Iluminância de Interiores. São Paulo, 1985.

\_\_\_\_\_. **Norma Brasileira NBR 5413** - Iluminância de Interiores. São Paulo, 1982.

CCE - **Commission of the European Communities**. European Passive Solar Handbook, 1986.

FANGER, P.O. **Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environment Engineering**, Danish Technical Press, Copenhagen, Denmark, 1970.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Ed. Studio Nobel, 1999.

HOPKINSSON, R.G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação Natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.

ISO - International Organization for Standardization. **ISO - 7730 - Moderate thermal environments** - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Switzerland, 1984

IZARD, J. L. e GUYOT, A. **Arquitetura bioclimática**. México, D.F. Gustavo Gili, 1983.

KOENIGSBERGER, O.H. et al. **Vivendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madrid, Paraninfo S.A., 1977.

MASCARÓ, Juan Luis. **O custo das decisões arquitetônicas**. São Paulo: NOBEL, 1985.

NEVIS, R.G. **Effect of heated-floor temperatures on comfort**. ASHRAE TRANSACTIONS, Vol. 64, 1958.

ORNSTEIN, S. e ROMÉRO, M. de A. (colaborador). **Avaliação Pós-Ocupação do Ambiente Construído**, Porto Alegre: ANTAC, 2003.

PHILIPS. **Manual de Iluminação**. Holanda, Philips Lighting Division, 1975.

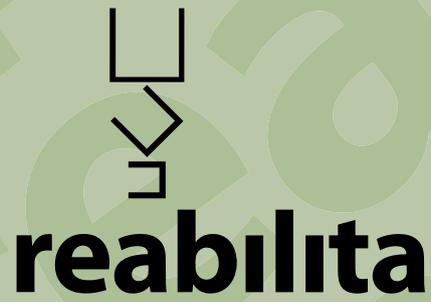
PIRELLI. **Manual Pirelli de Instalações Elétricas**. São Paulo: PINI, 2010.

PIRRÓ, L. F. de S. **O Impacto das Envolventes Verticais no Desempenho Energético de Edifícios de Escritórios**. Tese de Doutorado, FAUUSP, 2005.

RAMÓN, F. **Ropa, sudor y arquitecturas**. Madrid, H. Blume, 1980.

SCARAZZATO, P. S. **Investigação sobre critérios para determinação e medição dos níveis de conforto térmico**. Dissertação. (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo – FAUUSP, São Paulo, 163 p., 1987.





# **SIMU**

**Simulação do microclima urbano  
com o ENVI-met**

Professor Caio Frederico e Silva



# Sumário • SIMU

<b>Apresentação</b>	<b>138</b>
<b>Capítulo 1 – O contexto das simulações ambientais</b>	<b>139</b>
1.1 Introdução	139
1.2 Simulações computacionais aplicadas	142
1.3 A simulação no contexto das tecnologias	145
<b>Capítulo 2 – O potencial da simulação computacional</b>	<b>147</b>
2.1 O processo de modelagem ambiental	147
2.2 O caso do ENVI-met	150
<b>Palavras finais</b>	<b>153</b>
<b>Referências</b>	<b>154</b>

# Apresentação

Caros cursistas,

Estamos vivendo uma revolução digital. A 4ª Revolução Industrial, como é conhecida por alguns autores, inaugura a era digital, da Inteligência Artificial (Artificial Intelligence – AI) e também do processo de projeto digital. Este módulo apresenta a todos o universo das simulações computacionais.

A temática da simulação de desempenho de edifícios (tradução livre do inglês Building Performance Simulation – BPS) vem tendo cada vez mais destaque, uma vez que o século XXI é bastante emblemático para as TICs - Tecnologias de Informação e Comunicação -, onde se insere a lógica de utilização de ferramentas computacionais como suporte à produção ou à avaliação de projetos.

Em uma breve análise ao nosso contexto, é fácil observar que a informática está presente, direta ou indiretamente, no trabalho que exercemos. As tecnologias computacionais estão presentes mais do que nunca, quando o mundo teve que mudar rapidamente hábitos, na luta global de combate à pandemia da Covid-19. Está presente dos aplicativos de transporte aos de entrega em domicílio, das câmeras de segurança às imagens de satélite, e em todos os lugares que frequentamos, físicos ou cibernéticos.

As ferramentas computacionais são utilizadas ora para auxiliar na produção organizada nos novos bens e serviços, ora para medir desempenho dos produtos que adquirimos ou utilizamos. Nesse sentido, o módulo em questão pretende apresentar alguns conceitos, contextualizar as simulações computacionais aplicáveis à nossa temática e discutir as possibilidades de incorporar essas novas técnicas na nossa missão de reabilitar as cidades do presente.

Este módulo está organizado em duas partes: a primeira dedicada à contextualização acerca das simulações ambientais. E a segunda parte, que aborda a simulação computacional na sua dimensão prática, focando o potencial e a demonstração por meio do software ENVI-met, considerado o mais utilizado em todo o mundo na área de microclima urbano.

Aproveitem e façam um bom módulo!

Professor Caio Frederico e Silva

# Capítulo 1

## O contexto das simulações ambientais

### 1.1 Introdução

Podemos conceituar de simulações ambientais todas as metodologias que utilizam técnicas computacionais para avaliar o meio ambiente, seja ele ambiente natural ou construído. As simulações computacionais voltadas para avaliar o ambiente são chamadas neste capítulo de simulações ambientais.

Assim, este capítulo propõe a reflexão acerca da aplicação dos recursos tecnológicos em prol da qualidade ambiental de nossos edifícios e de nossas cidades. Especialmente agora, diante da maior crise sanitária e climática do século, conhecer mais as ferramentas computacionais que auxiliam no entendimento na cena urbana é um importante passo para um profissional engajado com a temática da sustentabilidade ambiental.

No contexto das tecnologias utilizadas para a análise ambiental, deveremos compreender, inicialmente, que tecnologia – de modo simplificado – é o estudo da técnica. Neste sentido, tecnologias ambientais podem ser entendidas como o estudo de técnicas associadas ao meio ambiente. De modo mais específico, analisaremos a aplicabilidade de alguns recursos tecnológicos na reabilitação ambiental. Para isso, focaremos o uso de ferramentas de simulação computacional na avaliação ambiental de cenários urbanos e arquitetônicos.

Para iniciar a discussão sobre essa temática, sugiro que reflitamos acerca de possíveis práticas inovadoras que podemos desenvolver no nosso dia a dia. O simples fato de acessar um cardápio de um restaurante com o QR-CODE<sup>1</sup> amplia a possibilidade do cardápio ser mais interativo, colorido, e com mais informações gráficas; ou o hábito rotineiro de pagar os boletos com cartão magnético torna as operações financeiras mais seguras. No ambiente arquitetônico, o fato de instalar sensores de presença nos ambientes iluminados torna a iluminação mais

---

<sup>1</sup> QR-CODE é um tipo de código de barras. O termo, amplamente usado atualmente, é derivado da expressão em inglês 'quick response code'. Foi criado em 1994 por um japonês chamado Masahiro Hara, e leva seu desenho inspirado em um tabuleiro de jogo como o "Sudoku".

eficiente e econômica. Tudo isso são exemplos de como a tecnologia tem contribuído para um meio ambiente mais sustentável.

Agora repare como diante de diversos novos hábitos, estamos dia após dia utilizando os recursos tecnológicos a nosso favor. Agora mesmo, por exemplo, parte de vocês deve estar lendo este texto com o auxílio de um computador, smartphone ou tablet, e, para isso, não precisou imprimir o conteúdo, utilizando a tradicional folha de papel.

As estratégias tecnológicas nos deixam a cada dia mais envolvidos e dependentes da tecnologia em si, uma vez que a tecnologia da informação é vista hoje como um processo disruptivo. Estamos, portanto, diante de mais uma revolução global: a revolução digital-informacional. Este momento histórico desencadeado em meados do século XX pode ser apresentada como um estágio de avanço que marca todas as comunidades humanas (Figura 1).

Somos apresentados a esse novo cenário do mundo do trabalho. Cada dia, somos bombardeados de demandas para aprender nova

**Figura 1** – Revoluções Tecnológicas

Revoluções Tecnológicas	
<b>Pré Revolução Industrial</b>	Inexistência de Projeto/Projeto Manual Produção Artesanal, Tradicional - corporações
<b>1º Revolução Industrial</b>	Projeto Manual Pré-Fabricação de componentes e montagem em canteiros Novos materiais: ferro e vidro
<b>2º Revolução Industrial</b>	Projeto Manual Industrialização da Construção (organização e produção em série - novas relações de produção e mecanização dos meios de produção) Novos materiais: concreto Grande possibilidade de atender demandas sociais quantitativas e alguma possibilidade de atendê-las associadas a demandas de originalidade/identidade/variabilidade
<b>Revolução Digital-Informacional</b>	Projeto Informatizado: CAD-CAE, prototipagens, etc Produção industrializada integrada com o projeto Grande possibilidade de atender demandas sociais quantitativas e de originalidade/identidade/variabilidade (produção em sistema aberto e objetos únicos - pequenas séries)

Fonte: SPERLING, 2012, p. 02

ferramenta, baixar um novo aplicativo, instalar um novo sistema do computador, e por aí vai. Este módulo pretende propor uma reflexão mais ampla. Então, reflita nesta pergunta: você está preparado para desenvolver uma nova forma de pensar e uma nova forma de usufruir deste universo digital? Esse novo modelo de raciocínio deve conhecer e incorporar a utilização de ferramentas computacionais disponíveis nas atividades realizadas, sobretudo nos estudos de avaliação ambiental.

A arquitetura e o urbanismo são precursores no uso de instrumentação para o apoio ao desenvolvimento da profissão. Na análise formal dos projetos, utilizam desde croquis até mapas cartográficos, diagramas e maquetes físicas. Diante do contexto da informatização, a arquitetura também mergulhou nos softwares de projeção passando pelas

ferramentas *Computer Aided Design* - CAD – e, atualmente, evoluindo para a tecnologia *Building Information Modeling* – BIM ou CIM – *City Information Modeling*.

Menezes (2000) contextualiza o marco institucional que levou os conteúdos da informática para a formação dos arquitetos e urbanistas.

*A portaria do MEC 1770/94 é considerada um divisor entre os momentos da aplicação da informática no ensino da Arquitetura e Urbanismo nacionais. Após a portaria, o ensino da Informática passou a ser obrigatório nos currículos de todas as escolas do país (MENEZES, 2000, p. 374).*

A adoção de técnicas computacionais completa, em 2021, mais de duas décadas de convivência com os arquitetos. Discute-se, então, a necessidade da incorporação de novos programas computacionais, que auxiliem não só na projeção em si, tampouco apenas na avaliação dos seus projetos, mas que contribuam para um processo de projeto integrado.

As ferramentas computacionais voltadas para avaliar e contribuir com a qualidade ambiental tem cada vez maior número, sendo assim, neste módulo, estudaremos um exemplo de ferramenta, muito usada por mais de 130 países: o ENVI-met. A ferramenta escolhida analisa o meio urbano ou o espaço arquitetônico, medindo o grau de qualidade ambiental, que tem forte afinidade com o objetivo maior do Curso de Pós-Graduação Reabilita.

Nesse sentido, este capítulo propõe uma conexão entre os conteúdos vistos até então no Reabilita com o seu potencial de aplicabilidade prática. Para darmos início, é essencial que você compreenda como funciona o processo de simulação computacional. Para isso, partiremos de alguns exemplares de programas disponíveis no rol das tecnologias ambientais, tanto na escala arquitetônica quanto na escala urbana.

É nosso compromisso, enquanto profissionais envolvidos com a produção da cidade, o cumprimento das legislações urbanísticas. Para isso, é desejável que estejamos atualizados e capacitados para lidar com os mais variados problemas. Indico como uma das formas mais eficazes de capacitação o treinamento continuado em ferramentas computacionais de análise ambiental.

Caso você trabalhe diretamente com a área de projetos, recomenda-se a adoção de um desenho urbano mais bioclimático e resiliente, alinhado aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Caso contrário, teremos cidades crescendo movidas por outros aspectos alheios à qualidade urbana e que, muitas vezes, acabam causando e ampliando os impactos negativos derivados da urbanização.

Esse distanciamento entre a produção dos espaços construídos e urbanizados e a pouca prática do bioclimatismo tem reflexo direto

no empobrecimento cultural da população, uma vez que incorporar princípios bioclimáticos é também resgatar valores inerentes à população local. O que observamos na prática, ao andarmos pelas ruas, é que o processo de construção da cidade está cada vez menos envolvido com o seu contexto ambiental, suas características climáticas, em que se conheça o desempenho da ventilação no local, o percurso aparente do sol e o regime de chuvas. Essa perda de contato com suas origens “naturais”, por exemplo, prejudica o desenvolvimento sustentável e amplia os impactos ambientais gerados na Terra pela produção do espaço construído e pelo processo de urbanização. Nas palavras de Krenak:

*“Fomos nos alienando desse organismo de que somos parte, a Terra, e passamos a pensar que ele é uma coisa e nós, outra: A Terra e a humanidade. Eu não percebo onde tem alguma coisa que não seja natureza. Tudo é natureza. O cosmos é natureza. Tudo em que eu consigo pensar é natureza”. (Ailton Krenak, 2019)*

O capítulo visa, portanto, **contribuir com a difusão do uso de ferramentas de simulação computacional como importante mecanismo de análise ambiental de frações urbanas**, auxiliando na tomada de decisões em estudos prognósticos e, claro, na construção de um ambiente mais qualificado e resiliente.

É essencial que você encerre este texto sabendo:

- Conhecer o potencial de uso do programa computacional de simulação microclimática ENVI-met.

## 1.2 Simulações computacionais aplicadas

Ponderamos aqui que alguma parte da motivação para a desconexão do espaço construído como adequado aproveitamento dos recursos naturais pode ser de responsabilidade do processo que foi desencadeado pós-revolução industrial, no qual o abusivo uso da mecanização de muitos sistemas do edifício passaram a ser os principais responsáveis pelo conforto e pelo fornecimento das condições ideais de trabalho, como o uso de exaustores e condicionadores de ar, além do uso massificado da iluminação artificial.

Neste momento histórico, emblemático pela pandemia da Covid-19, em que há uma evidente normalização dos usos dos recursos digitais, e uma ampliação da universalização de tecnologias computacionais associado a uma rede de informação cada vez mais acessível, pretende-se que o profissional envolvido com a produção do espaço passe a saber utilizar o potencial deste momento para melhorar – e porque não dizer – reabilitar o ambiente que o circunda.

Essa capacidade de conhecer, acessar e saber analisar os dados climáticos é imprescindível para que o projeto incorpore as qualidades ambientais e para que as nossas cidades possibilitem, segundo Romero (2010), “uma sustentabilidade progressiva”. Assim, os recursos tecnológicos disponíveis hoje devem ser empregados no monitoramento um espaço que possa ser mais sustentável ambientalmente amanhã.

Uma das missões imprescindíveis para um bom profissional especialista em reabilitação ambiental deve ser a capacidade de acessar e compreender dados climáticos de uma cidade. Num contexto de mudanças climáticas e crise ambiental em vários níveis, a consulta aos dados climáticos em plataformas confiáveis faz parte da adequada formação profissional. Nesse sentido, colocamos aqui o link de um dos maiores bancos de dados internacionais de arquivos climáticos, disponível no site do Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina – LabeEEE/UFSC, constam pelo menos 413 cidades brasileiras.

Qual a sua ferramenta profissional de acesso a dados climáticos? Não vai me dizer que é o Climatempo. Um dos portais mais confiáveis para o acesso de dados climáticos é o site do Instituto Nacional de Meteorologia – **INMET**, a plataforma **Projeteee**, mantida pelo antigo Ministério de Meio Ambiente e, num contexto internacional, recomendo o aplicativo gratuito Climate Consultant.

Um dos programas considerados como precursores dos estudos computacionais de conforto ambiental nas escolas de arquitetura do Brasil é o Arqitrop, uma vez que trabalhava no ambiente *Microsoft Disk Operating System* – MS-DOS.

*O Arqitrop é um sistema integrado de ferramentas computacionais e bancos de dados que simula o desempenho térmico e verifica a adequação climática de edificações visando otimizar o conforto ambiental e a economia de energia elétrica (RORIZ e BASSO, 1990).*

Em um estudo específico que abordava o uso de programas computacionais de avaliação de luz natural por arquitetos, Christakou (2003) organizou um banco de avaliação que diagnosticava diferentes programas. Nesse trabalho, o autor avaliou as vantagens e desvantagens dos programas escolhidos. A partir disso, pondera que:

*A maioria dos softwares de visualização não é precisa do ponto de vista matemático, ou seja, gera falsas impressões ao invés de uma imagem que represente precisamente o espaço arquitetônico. Uma razão para essa imprecisão é a representação incorreta da luz, em especial a da LN, no espaço arquitetônico (CHRISTAKOU, 2003, p.2).*

O trabalho de Christakou (2003) mostra também que o elemento “interface” é um dos mais essenciais para a apreensão e uso do programa pelos arquitetos, uma vez que se trata de um público que utiliza a linguagem visual como ferramenta de trabalho.

Pode-se citar ainda uma outra geração de programas computacionais que promovem a simulação em tempo real, que operam por meio de um ecossistema de algoritmos por meio das ferramentas *Grasshopper / Rhinoceros 3D*. Em 2020, estes são considerados o estado da arte da simulação computacional.

O uso de ferramentas computacionais próprias para a avaliação do espaço construído, seja o projeto arquitetônico ou urbanístico, mostra-se como um mecanismo fundamental para o monitoramento da qualidade da produção arquitetônica e urbanística atual.

Para que façamos essa avaliação constante, há algumas opções de programas abertos disponíveis ao uso de pesquisadores na área da arquitetura e do urbanismo. No âmbito da Universidade de Brasília, o professor Gustavo Luna desenvolveu um diagrama simplificado de análise da ventilação natural – **D-VENT**, disponível no site oficial do grupo de pesquisa em Simulação Computacional do Ambiente Construído – SiCAC ([www.sicac.unb.br](http://www.sicac.unb.br)). As teorias e cálculos de ventilação que estão por traz do aplicativo D-VENT estão em um capítulo de livro recém-publicado pela Editora da Universidade de Brasília (Silva et al., 2020).

Em um contexto Internacional e de análise microclimática, não podemos deixar de citar o ENVI-met, desenvolvido na Universidade de Bochum, na Alemanha. Esse programa será explorado ao longo do capítulo.

Para sua utilização massificada, há grandes limites impostos ao uso destes programas na esfera prática, pois muitos dos programas são desenvolvidos e regidos pela física, baseados em algoritmos e com pouca correlação entre a compreensão geral do arquiteto urbanista, exigindo, para o usufruto, um treinamento especializado que distancia os benefícios que podem ser trazidos pelo programa da prática, a curto prazo.

Outra questão a ser considerada nos programas utilizados na área da arquitetura e do urbanismo é que muitos deles são advindos de outras áreas do saber: ora da Engenharia, ora da Geografia, com teorias complexas associadas às demandas de outras áreas específicas, sem serem voltadas ao olhar do arquiteto e urbanista, profissional que deve conduzir a reabilitação urbana. A linguagem demasiadamente técnica desses programas ou o uso de língua estrangeira – o caso de programas importados, restringem ainda mais o seu usufruto pelos profissionais. Por fim, percebe-se que a utilização dos programas de simulação computacional fica restrito ao âmbito universitário ou a grandes empresas que buscam profissionais qualificados para a avaliação por ferramentas computacionais.

### 1.3 A simulação no contexto das tecnologias

A partir do século XXI, a revolução digital tem transformado o fazer arquitetura e urbanismo em uma ciência cada vez mais instrumentalizada, na qual o domínio do lápis não é requisito único, mas o domínio de softwares de projeção tornou-se um dos saberes mais apreciados pelas gerações de arquitetos e urbanistas do final dos anos 90.

Com o avanço das tecnologias da informação, há cada vez mais ferramentas computacionais desenvolvidas para a projeção e avaliação de arquitetura e urbanismo no mercado do design e da construção civil. O foco dessas ferramentas muitas vezes é apenas a modelagem, deixando de lado os processos de avaliação integrada de que tanto precisamos.

Uma série de ferramentas hoje difundidas faz parte do grupo *Computer Aided Design (CAD)* e, depois do ano 2000, a recém-chegada tecnologia *Building Information Modelling (BIM)*. Em ambas as tecnologias, os processos avaliativos não são considerados adequadamente e o processo de análise de desempenho só é possível quando há a incorporação de outros softwares específicos. É fundamental deixar claro que o processo de simulação se distingue do processo de modelagem. A modelagem computacional está fundamentada nas tecnologias CAD e BIM, enquanto a simulação representa um processo informatizado de avaliação. A modelagem na área computacional assume um conceito ainda mais específico.

Quando se busca ferramentas computacionais que trabalhem na escala do urbano, vê-se programas desenvolvidos na área de planejamento urbano, como, por exemplo, a gama de programas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) que trabalham em uma escala inapropriada para o arquiteto e urbanista, quando este trabalha na escala microclimática.

Há diversos problemas ambientais e urbanos que só são visíveis ao aproximar o olhar à escala do entorno do edifício, onde o clima urbano tem uma caracterização bem peculiar e onde está um forte impacto sobre o usuário do espaço urbano. Uma vez que se pode contar com os avanços do sensoriamento remoto, com imagens de qualidade com um nível de precisão a cada 45 cm do território, essas ferramentas passam a ser estratégicas para os urbanistas. Destaca-se, no entanto, que as ferramentas de Georreferenciamento não são ferramentas de simulação computacional, mas de caracterização e representação gráficas de cenários, que não é o escopo no nosso módulo.

Ao se analisar os manuais dos programas computacionais mais utilizados para a avaliação do conforto ambiental térmico, percebe-se que não há uma uniformidade de metodologias, o que mostra que os pesquisadores da área se dedicam a experimentar de diversas fontes.

É necessário, então, que o profissional envolvido no processo de produção e/ou reabilitação dos cenários urbanos e arquitetônicos conheça de maneira aproximada os detalhes do processo de simulação computacional para que consiga adequar o uso dos programas às hipóteses corretas.

Esta área do conhecimento é, portanto, merecedora de muitos estudos, assim como os já realizados por Castelo Branco (2009) e Silva (2009), que destacaram o uso da simulação computacional no contexto da cidade de Brasília, tanto na escala da quadra quanto da escala do setor segundo as divisões estabelecidas por Romero (2001), quando apresenta as escalas de análise do território.

Com a disponibilidade de ferramentas computacionais que servem como apoio à avaliação da qualidade do ambiente urbano, o método computacional passa a ser fundamental para a compreensão do dinamismo do clima urbano, sobretudo o da microescala.

Nesse sentido, o uso de simulações computacionais pode auxiliar diretamente na elaboração de propostas de reabilitação ambiental urbana, em diferentes contextos climáticos do mundo.

## Capítulo 2

# O potencial da simulação computacional

Na parte 2 deste capítulo, apresentaremos o conceito de modelagem ambiental, e apresentaremos brevemente o programa computacional: *ENVI-met*, próprio para análises microclimáticas na escala urbana. Você já o conhece?

### 2.1 O processo de modelagem ambiental

Modelar é conceito dúbio. Na matemática, modelar pode ser sinônimo de calcular. Na ciência da computação, pode ser sinônimo de equacionar. Nas ciências sociais aplicadas, como é o caso da arquitetura e urbanismo, o conceito de modelar assume outros conceitos. Modelar passa a ser elaborar, projetar cenários e até mesmo simular.

Modelar a cidade é tarefa difícil, visto que, para que o modelo seja significativo, é preciso compreendê-la muito bem antes de sintetizá-la em modelos. Antes de tudo, é necessário fragmentá-la e centrar o olhar sobre o objeto de avaliação, que conformará o modelo a partir de uma fração da cidade ou de um edifício. Quase todos os programas computacionais irão exigir de nós um olhar fragmentado sobre a realidade.

A modelagem e a simulação ambientais não podem ser vistas como ferramentas-fim, mas como ferramentas-meio. É importante compreender que o processo de simulação não deve encerrar-se em si, pois os resultados da simulação não significam muito quando não são comparados a outra realidade. O processo de modelagem é, portanto, o processo de traduzir a realidade, com a finalidade de fundamentar uma análise, idealmente, uma análise comparativa.

Dessa forma, propomos que o processo de simulação seja retroalimentado, induzindo que o mesmo não é estático, linear. Sendo assim, apresentamos esta outra lógica de utilização da simulação computacional como ferramenta de análise (Figura 2).

Figura 2 – Síntese do Processo de Simulação Retroalimentada



Fonte: Autor (2015)

*Que o processo de simulação pode gerar uma economia real de energia e melhorias do seu desempenho de construção, quando o projeto é feito de modo integrado. Assim, deve-se investir para que se continue a desenvolver o BIM para automatizar a criação de modelos de energia de arquitetura / mecânica / elétrica e assim conseguirmos cada vez mais projetos mais controlados, bem como a sua qualidade mensurada (LYNN, 2010).*

Para utilização de qualquer ferramenta computacional apresentada neste módulo, é necessário conhecer inicialmente:

- **Contextualização climática:** compreender o clima de um lugar é mais que coletar os dados oficiais que compõem as normais climatológicas, é compreender quais dados são mais relevantes para a análise que depende, muitas vezes, do objetivo da nossa pesquisa.
- **Delimitação dos cenários:** a partir do conhecimento prévio da área a ser investigada, (com a definição das hipóteses a serem testadas), o pesquisador deve criar, recortar e descrever os cenários a serem analisados. Cenário está aqui conceituado como o ambiente-tipo, o objeto concreto fruto de investigação, podendo ser real ou fictício.
- **Modelagem:** o processo de modelagem é o da elaboração do modelo (que representa o cenário criado) na interface computacional. A modelagem é o ato de compor o modelo, em duas ou três dimensões, dependendo do programa a ser utilizado.

• **Configuração e simulação:** antes de iniciar o processo de simulação (que pode levar horas ou dias), é fundamental que o programa seja corretamente parametrizado, com a inserção dos dados climáticos da cidade, e os parâmetros a serem avaliados muito bem escolhidos).

• **Interpretação dos dados:** posteriormente ao processo de simulação, passamos à etapa de interpretação dos dados simulados, que pode ser considerada a mais importante de todo o processo de análise. Esse é o momento em que extraímos os resultados e os julgamos como adequados às hipóteses levantadas nos cenários modelados.

A simulação computacional desenvolvida com o programa ENVI-met tem suas vantagens e desvantagens. Nesse capítulo, vamos indicar os tipos de problema que a simulação pretende solucionar, destacando que nem sempre a simulação sofisticada como a do ENVI-met precisa ser acionada. Para ficar mais claro, adicionamos à tabela o aplicativo Climate Consultant, por compreendermos que, algumas vezes, uma análise feita a partir de dados climáticos já é suficiente como insumo para a análise ambiental pretendida, subsidiando um estudo de reabilitação (Quadro 1).

**Quadro 1** – Problemas e Ferramentas a serem utilizados

Nº	Tipo de Problema	ENVI-met	ClimateConsultant
1	Análise de Carta Solar		x
2	Leitura de Dados Climáticos		x
3	Análises associadas a CO <sup>2</sup>	x	
4	Indicadores de Conforto Térmico	x	x
5	Desempenho da ventilação urbana	x	x
6	Desempenho dos materiais superficiais	x	
7	Desempenho de áreas verdes	x	
8	Radiação solar de fração urbana	x	
9	Precisa registro/licenças	x	
10	Grau de conforto térmico urbano	x	
11	Compreensão das Zonas de Conforto		x
12	Índice de Fator de Visão do Céu	x	
13	Nível de radiação (direta e difusa)	x	x
14	Nível de umidade do ar	x	
15	Nível da temperatura do ar	x	

Fonte: adaptado do Autor (2015)

## 2.2 O caso do ENVI-met

O programa ENVI-met oferece diversos parâmetros ambientais, pois opera por meio de uma plataforma tridimensional pela qual se avaliam as interações entre as plantas, o solo e o ar. O modelo de cálculo inclui: radiação de onda curta e longa, fluxo de sombreamento, reflexão e irradiação do edifício e a vegetação.

O modelo inclui estudos a partir do fluxo de radiação de ondas curtas e ondas longas. Em relação às sombras, reflexões e irradiação de sistemas edificadas e a transpiração da vegetação, transpiração, evaporação e fluxo de calor sensível da vegetação e simulação completa incluindo todos os parâmetros físicos da área analisada.

A aplicação do ENVI-met se dá nas áreas da climatologia urbana, arquitetura, *design* de prédios ou planejamento ambiental, entre outras correlatas. ENVI-met vem junto com um *software* adicional (Leonardo) que abarca editores e ferramentas de visualização gráfica para a modelagem dos resultados.

O programa ENVI-met apresenta na tela principal a área de inserção dos dados, e, na lateral esquerda, ficam os elementos básico que configuram a área a ser simulada, como vegetação, tipo de solo e gabarito das edificações.

A nova versão do programa ENVI-met, se acessada com a licença científica ou profissional, é possível utilizar dados de arquivos climáticos. Caso contrário, é possível editar os dados climáticos a partir da caracterização do clima do lugar. Recomenda-se que os dados sejam pesquisados na estação climatológica de referência da cidade, que utilizam dados oficiais disponibilizados nas estações oficiais do INMET ou dos aeroportos. No caso de Brasília, muitos estudos utilizaram como referência os dados climatológicos disponibilizados no Aeroporto de Brasília (Quadro 2).

**Quadro 2** – Configuração básica do programa ENVI-met

Dados	Época seca	Época úmida
Dia típico	08.09.2008	13.01.2009
Horário de início de simulação	6h	6h
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]	1,4	1,2
Wind Direction (0:N.90:E.180:S.270:W)	90°	315°
Roughness Length z0 at Reference Point	1	1
Initial Temperature Atmosphere [K]	311	309
Specific Humidity in 2500m [gWater/kg air]	5,05	9,66
Relative Humidity in 2m [%]	17	61

Fonte: CASTELO BRANCO (2009, p. 47)

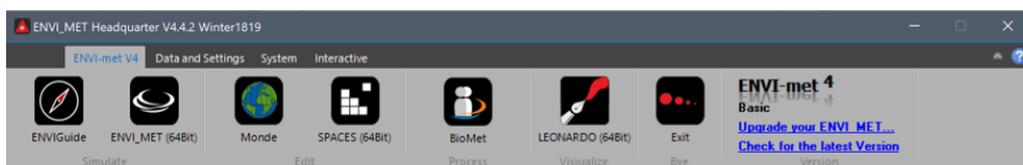
Bruse (2008), principal desenvolvedor do programa, indica que o ENVI-met é baseado em diversos projetos de investigação científica e está, portanto, sob constante desenvolvimento. Sua proposta baseia-se no prognóstico das leis fundamentais da dinâmica de fluidos e da termodinâmica. O modelo inclui a simulação de: enchente ao redor e entre edifícios; troca de processos de calor e vapor na superfície do solo e, nas paredes, turbulência; troca de vegetação e parâmetros de vegetação; bioclimatologia; dispersão de partículas.

A aplicação do ENVI-met se dá nas áreas da climatologia urbana, arquitetura, design de prédios ou planejamento ambiental, entre outras correlatas. ENVI-met vem junto com plug-ins adicionais como o *Leonardo* e *Albero*, que abarcam, respectivamente, editor de visualização gráfica para a modelagem dos resultados e um editor para a elaboração detalhada de diferentes espécies de vegetação.

As simulações serão apresentadas por horário do dia, comparando-se as áreas entre si e focando os principais impactos com a inserção de novas construções. Os horários mais indicados para serem gerados os mapas de simulação são às 9h; às 12h, às 15h e às 18h, seguindo o preestabelecido pela OMM – Organização Mundial de Meteorologia. Para análises dos efeitos da ilha de calor urbana, embora o programa não seja o mais recomendado para tal análise, por uma limitação de escala do trecho modelado, recomenda-se que seja extraído no horário das 20h ou 21h.

O programa ENVI-met apresenta uma interface bastante simplificada. Na tela principal do programa (*headquarter*), é apresentada a área de inserção dos dados, e, na lateral esquerda, ficam os elementos básicos que configuram a área a ser simulada, como vegetação, tipo de solo e gabarito das edificações (Figuras 3).

**Figura 3** – Interface do programa ENVI-met 4.0



Fonte: ENVI-met 4.0

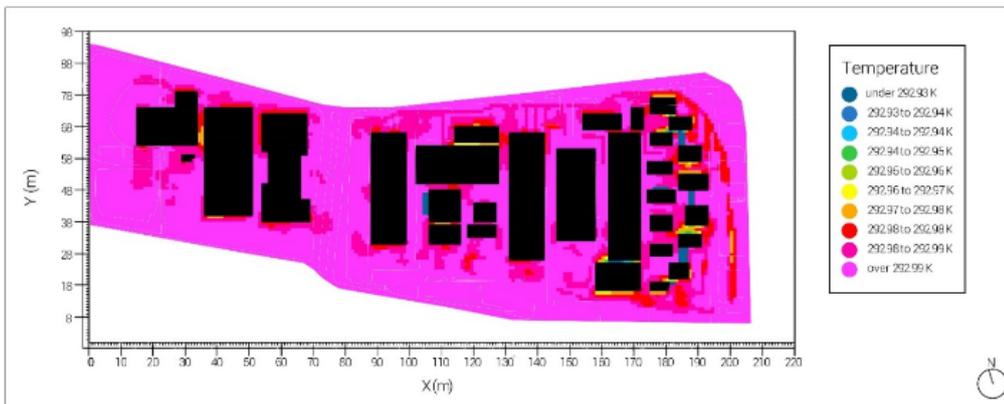
Antes da simulação propriamente dita, podem ser escolhidos os parâmetros a serem testados, que podem ser desde velocidade do vento (*windspeed*), temperatura do ar (*pot. Temperature*), umidade relativa do ar (*relative humidity*) a parâmetros mais específicos como o fator de visão do céu (*skyview fator*) e concentração de CO<sub>2</sub> (*CO<sub>2</sub>concentrate*).

Para o processamento das simulações, cria-se um arquivo com configurações básicas para a cidade analisada. Para os dados não obtidos da estação climatológica de referência da cidade, são utilizados

dados oficiais disponibilizados nos aeroportos do mundo. É importante destacar que, para cada projeto, deverá ser criado um arquivo de configurações climáticas, que indica os dados oficiais da cidade respectiva do projeto ou da fração urbana a serem validados.

Para a análise de um trecho pequeno (50x50 metros), as simulações duram cerca de 24 horas (a depender do tempo de processamento da máquina utilizada). Para uma análise microclimática de uma quadra urbana de 100x100 metros, para o processamento de 48 horas de simulação, o tempo de simulação pode facilmente passar de 72 horas de simulação. Há outras metodologias de simulação que utilizam a nuvem e macrocomputadores para dar celeridade a esse processo. Após o tempo de simulação, parte-se para a extração dos dados por meio de gráficos, mapas, com o uso de cores que permitem uma fácil compreensão (Figura 4).

**Figura 4** – Demonstração de uso do ENVI-met, simulação do Setor Comercial Sul, DF



Fonte: Silva et al. (2016)

É possível encontrar um vídeo rápido da Figura 4 no Youtube. Ele apresenta em menos de um minuto o processo de modelagem e simulação do programa ENVI-met, de modo animado, o estudo de diversos parâmetros ambientais em uma fração urbana da cidade de Viena. Observe a simplificação do programa na modelagem dos cenários urbanos e observe também a representação gráfica que destaca com facilidade o objeto analisado.

# Palavras finais

Primeiramente é importante registrar a importância da disseminação do uso de ferramentas computacionais simuladoras na atividade profissional dos atores envolvidos com a reabilitação ambiental. Da escala macro – do planejamento urbano, à micro ou nano, como a análise de fachadas e materiais. As ferramentas apresentadas aqui cumprem um importante papel enquanto indicativo de alternativas para promover a reabilitação das cidades

Espero que de uma forma ou de outra, este módulo tenha despertado você para os aspectos gerais da simulação computacional, seja na adoção de ferramentas mais tecnológicas no processo de projeto, seja na aplicação de dados climáticos básicos, ou mesmo em uma simulação com os softwares mais sofisticados. O recado principal é o de que vamos utilizar a tecnologia disponível para melhorar ambiente ao nosso redor.

Diante das questões que discutimos aqui, devemos nos sensibilizar com a importante missão de reabilitar as nossas cidades. É nosso compromisso torná-las cada vez mais saudáveis e sustentáveis, o que pede uma mudança de postura dos diversos atores urbanos, sejam eles gestores públicos, arquitetos, urbanistas ou cidadãos comuns. Essa necessidade de reconstruir, refazer e repensar a cidade sugere a adoção de práticas inovadoras que qualifiquem o espaço urbano para as gerações presentes e futuras.

Diante de diversos estudos demonstrados neste texto, é desejável perceber que simular demanda maturidade, autocrítica e conhecimento ampliado sobre o assunto, uma vez que o usuário, operador do programa computacional, não pode ser apenas um operador de computador, sem conhecimento técnico do assunto a ser tratado na simulação. A simulação demanda o acompanhamento direto de um profissional capacitado para o seu desenvolvimento e requer muita atenção e paciência.

Acreditamos a que prática da simulação será comum em um futuro próximo. Refletimos que seu uso deva ser um processo dialético e retroalimentado. Isso significa que também devemos aprender com o nosso objeto analisado, para antecipar problemas e realizar diagnósticos mais simplificados e assertivos. Por fim, antes de começar a aprender a simular, ou mesmo de aprender o próximo programa, a pergunta-problema de pesquisa deve estar clara, pois a simulação é o processo e não a resposta.

Bons estudos e até breve!

Professor Caio Frederico e Silva | @caiofreds

# Referências

BRUSE, M. ENVI-met. **3.1 On-line Manual**. Disponível em: <http://www.envi-met.com>.

CASTELO BRANCO, L. M. B. **Análise da Arborização em Brasília**. O caso da Superquadra 308 Sul. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

CHRISTAKOU, E. D. **A Simulação Computacional da Luz Natural Aplicada ao Projeto de Arquitetura**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

KRENAK, Ailton. **Ideias para adiar o fim do mundo**. São Paulo: Companhia das Letras, 2019.

LYNN, M. Apresentação no SIMBUILD. **Representante da American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)**.2010.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura do Lugar**: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília. Editora: Nova Técnica, Brasília, 2011.

\_\_\_\_\_. **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. Editora Universidade de Brasília. Brasília, 2001.

MENEZES, A. M. de. **O Uso do Computador no Ensino de Desenho nas Escolas de Arquitetura**. Anais do IV Congresso Ibero-Americano de Gráfica Digital – SIGRADI (p. 374-376), Rio de Janeiro, 2000.

SILVA, C. F. e, FERRARI, I., MARKIEWICZ, J. **The Urban Sectorization of Lucio Costa's Modernism and the Emergency of Heat Islands in the Capital of Brazil**. Procedia Engineering 169: 64-71. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.10.008

SILVA, C. F. e., SALES, G. L. CRONENBERGER, J. e ZANONI, V. **Simulação, ambiente e energia no espaço construído**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2020. 284 p.

SILVA, C. F. E. **Tecnologias Ambientais**. (Capítulo de livro) Livro REABILITA. Registro do Curso de Especialização a Distância. 2ª Edição. Brasília, 2015.

SILVA, C. F. e. **Simulação como Metodologia de Análise Urbana no Distrito Federal**. Monografia Reabilita, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 2008.

SILVA, C. F. e. **Caminhos Bioclimáticos**: Desempenho de Vias Públicas na Cidade de Teresina - PI. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília 2009.

SPERLING, D. M. **O Projeto Arquitetônico, Novas Tecnologias de Informação e o Museu Guggenheim de Bilbao**. Artigo Acadêmico da Universidade de São Paulo.

RORIZ, M.; BASSO, A. **Arquitrop**, versão 3.0, São Carlos, SP, 1990. Disponível em: [www.labee.ufsc.br](http://www.labee.ufsc.br).



ISBN: 978-65-84854-14-7

**BR**



9 786584 854147