

GUIA DE BOAS
PRÁTICAS EM
**EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA**



Studio Symbios

ABRAINC
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
INCORPORADORAS IMOBILIÁRIAS

FICHA TÉCNICA

REALIZAÇÃO ABRAINCC

Vladimir Iszlaji

Diretor de Desenvolvimento Urbano e
Meio Ambiente ABRAINCC

Ruy Monteiro

Analista de Meio Ambiente e Território ABRAINCC
ruy@abrainc.org.br

Franciane Sotero

Diretora de Marketing ABRAINCC

Especialistas Técnicos

Studio Symbios

Bruno Cerqueira Martinez

Carolina Carvalho Leme

Juliana Pellegrini Lemos Trigo

APOIO

Associadas ABRAINCC

PUBLICAÇÃO

Cozza Comunicação e PRG Design

Projeto Gráfico e Diagramação

Sergio Colotto

Ilustrações

APOIO TÉCNICO

José Luiz Esteves da Fonseca

Matheus Brandt

Vitoria Damasceno

Eduardo Galeskas



SUMÁRIO

04.	INTRODUÇÃO	104.	ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA
05.	CONCEITOS	104.	Correto dimensionamento da carga térmica
07.	CAP.1 PROCESSO INTEGRATIVO	105.	Equipamentos com alta eficiência (SEET / IDRS / COP)
12.	CAP.2 CLIMA E CENÁRIOS FUTUROS	106.	Controle inteligente (automação)
22.	CAP.3 CONFORTO E DESEMPENHO	107.	<i>Free cooling</i>
29.	CAP.4 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	108.	Ventilação natural
36.	CAP.5 ENERGIA	110.	Ventilação mecânica com aumento da velocidade do ar
44.	CAP.6 EMISSÕES DE CARBONO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO	111.	Zonamento dos ambientes
55.	ESTRATÉGIAS E RECOMENDAÇÕES APLICADAS AO PROJETO	112.	Ventilação sob demanda (<i>Demand-Controlled Ventilation – DCV</i>)
55.	CAP.7 MORFOLOGIA DA EDIFICAÇÃO	114.	FLUÍDOS REFRIGERANTES E VAZAMENTOS
58.	CAP.8 ENVOLTÓRIA	114.	Escolha do fluido refrigerante
60.	RAZÃO DE VIDRO NA FACHADA (WWR)	117.	Prevenção de vazamentos
62.	DESEMPENHO TÉRMICO DOS MATERIAIS	118.	
63.	Opacos	119.	CAP.11 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL
63.	Cor da fachada	122.	CORRETO DIMENSIONAMENTO
64.	Transmitância térmica	123.	POTÊNCIA INSTALADA
66.	Inércia térmica	128.	CONTROLE E AUTOMAÇÃO
68.	Translúcidos	130.	CAP.12 GERAÇÃO ENERGIA RENOVÁVEL
71.	Sombreamento	130.	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA
76.	VENTILAÇÃO NATURAL	130.	Aplicações em empreendimentos
79.	ILUMINAÇÃO NATURAL	132.	Modelos de negócio
85.	CAP.9 SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	132.	Benefícios para construtoras e incorporadores
87.	TIPOS DE SISTEMA DE ÁGUA QUENTE	132.	Desafios
87.	Elétrico por resistência	133.	ENERGIA SOLAR TÉRMICA
88.	Gás (GLP ou GN)	134.	ENERGIA EÓLICA EM PEQUENA ESCALA
88.	Bomba de calor (<i>Heat Pump</i>)	135.	INTEGRAÇÃO DA GERAÇÃO RENOVÁVEL AO PROJETO
89.	ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE CONSUMO DE ÁGUA QUENTE	135.	Regras práticas de dimensionamento
89.	Restritores de vazão e arejadores de torneiras	136.	Potencial de geração pelo Brasil
90.	Layout com mínimas distâncias hidrossanitárias	137.	ASPECTOS REGULATÓRIOS E INCENTIVOS
91.	Isolamento térmico de tubulações e reservatórios	138.	FUTURO DA GERAÇÃO RENOVÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL
92.	Controle automático de bombas de recirculação	140.	CAP.13 EQUIPAMENTOS
93.	Recuperadores de calor de efluentes	141.	PLUG LOADS (CARGAS DE TOMADA)
94.	Sistemas de aquecimento solar térmico (SAT)	142.	Tomadas inteligentes
96.	Bombas de calor para aquecimento de água	143.	Sensores de presença integrados a tomadas e circuitos
98.	CAP.10 SISTEMA DE AR-CONDICIONADO	143.	Especificação de equipamentos eficientes (Selo Procel A)
100.	SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO MAIS UTILIZADOS	144.	BOMBAS DE ÁGUA
100.	Sistema split	144.	Dimensionamento correto da bomba
101.	Sistema mult-split	145.	Motores de alto rendimento
101.	VRF/VRV (fluxo de refrigerante variável)	146.	Inversores de frequência (VFD – <i>Variable Frequency Drives</i>)
102.	Sistema água gelada	146.	Automação e monitoramento
103.	Rooftops, <i>self-contained</i> e splitões	147.	ELEVADORES
		147.	Motores eficientes
		148.	Sistemas regenerativos
		148.	Controle inteligente de tráfego
		149.	Cabines eficientes e <i>stand-by</i>
		151.	CAP.14 MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA
		152.	SUBMEDIÇÃO DE ENERGIA
		153.	SISTEMAS DE GESTÃO DE ENERGIA (EMS – <i>ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS</i>)
		155.	MEDIDORES BIDIRECIONAIS E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
		155.	Dicas de como ler a conta de um medidor bidirecional

INTRODUÇÃO

A eficiência energética é um importante atributo das edificações, representando a capacidade de reduzir o consumo de energia sem comprometer a qualidade do ambiente interior para os usuários.

Incorporar esse conceito desde a concepção dos empreendimentos não apenas reduz custos operacionais e emissões de carbono, mas também amplia sua atratividade e valor no médio e longo prazo.

Edificações concebidas sob essa ótica transcendem soluções isoladas: são sistemas integrados em que arquitetura e engenharia precisam atuar em sinergia. O resultado são empreendimentos que conciliam conforto, saúde e produtividade dos usuários, ao mesmo tempo, reduzem impactos ambientais e elevam a resiliência.

Esse movimento também se conecta à escala urbana: em contexto de déficit habitacional, mudanças climáticas e pressões por eficiência energética e urbana, a descarbonização exige cidades mais compactas e integradas, respeitando as especificidades locais. Um caminho mais sustentável ao qual este guia se alinha ao tratar da eficiência nas construções, peças fundamentais dessa transformação.

O mercado já responde a essa transição, impulsionada por regulamentações mais exigentes, certificações ambientais reconhecidas e pela agenda climática, mas já capaz de orientar investimentos e estabelecer novos padrões. Investidores e clientes, por sua vez, valorizam cada vez mais empreendimentos de alta performance ambiental, reconhecendo-os como ativos seguros, valorizados e alinhados às demandas contemporâneas.

A **ABRAINC**, com apoio técnico do **Studio Symbios**, desenvolveu este **Guia de Boas Práticas em Eficiência Energética** para oferecer ao setor imobiliário uma referência objetiva e aplicável.

O material reúne conceitos essenciais, metodologias integrativas e recomendações de projeto que apoiam as empresas no atendimento às normas vigentes, na antecipação de tendências e no fortalecimento de sua posição diante dos desafios da descarbonização.

Trata-se de um convite à adoção de uma visão estratégica de longo prazo, incentivando o investimento em soluções eficientes e a preparação de portfólios imobiliários para um futuro em que eficiência e resiliência não serão diferenciais, mas requisitos de mercado.



CAPÍTULOS

	1. PROCESSO INTEGRATIVO	07
	2. CLIMA E CENÁRIOS FUTUROS	15
	3. CONFORTO E DESEMPENHO	22
	4. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	29
	5. ENERGIA	36
	6. EMISSÕES DE CARBONO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO	44
	7. MORFOLOGIA DA EDIFICAÇÃO	54
	8. ENVOLTÓRIA	57
	9. SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	84
	10. SISTEMA DE AR-CONDICIONADO	97
	11. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	117
	12. GERAÇÃO ENERGIA RENOVÁVEL	127
	13. EQUIPAMENTOS	139
	14. MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA	150

IMPACTO DA ESTRATÉGIA APRESENTADA

Como no exemplo a seguir, tabelas estão presentes em vários capítulos do **Guia de Boas Práticas em Eficiência Energética**. Veja abaixo como interpretá-las:

EQUIPAMENTOS EFICIENTES	
Custo de implantação	\$\$\$
Savings	☘☘☘
Redução de Carbono Operacional	☘☘☘
Zonas Bioclimáticas	Moderadas
Tipologia	Todas

Para cada estratégia proposta apresenta-se tabela com seu impacto: financeiro, ambiental, além da indicação em quais regiões e tipologias se aplicam.

Custo de implantação



Baixo

Elevado

Economia financeira operacional



Baixo

Elevado

Redução na emissão de Carbono Operacional



Baixo

Elevado

Zonas bioclimáticas

NBR 15220-3:2024 (1, muito fria a 6, muito quente)

Tipologia

Residencial e Comercial



CONCEITO:

PROCESSO INTEGRATIVO

PROCESSO INTEGRATIVO

Abordagem metodológica integrativa

Processo integrativo é uma proposta de abordagem colaborativa e multidisciplinar que promove visão sistêmica, sinérgica e coordenada entre os *stakeholders* ao longo de todo o desenvolvimento de projeto. O diagrama traduz uma metodologia escalonável e orientada a metas: podendo ser aplicada a projetos novos ou retrofits, combinando estratégias em diferentes profundidades para alcançar desde edificações com foco em conformidade normativa e certificações ambientais, até de alta eficiência energética, *Net Zero Energy*, *Net Zero Carbon* e com enfoques regenerativos. O nível de ambição resulta da combinação escolhida de estratégias e do desempenho especificado para cada uma.

A metodologia favorece decisões informadas por dados (data-driven), com base técnica e análise crítica. A sequência proposta acelera a implementação e amplia a disseminação do conhecimento, qualificando a adoção de estratégias frente aos desafios do mercado. É essencial que as etapas ocorram sequencialmente e com visão de ciclo de vida da edificação.

Como princípio climático-cultural, o projeto deve se adaptar ao clima, à cultura e ao contexto locais, mantendo o usuário no centro (human-centric). Prioriza-se a redução de consumo pela otimização de estratégias passivas e, somente depois, a redução da demanda por sistemas ativos. Diferentes climas e culturas exigem estratégias específicas de projeto, ajustadas para assegurar conforto e eficiência.

Abordagem abrangente (arquitetura + sistemas). O foco em desempenho ambiental implica integrar decisões arquitetônicas e de engenharia de sistemas. A seguir, as ações do método:

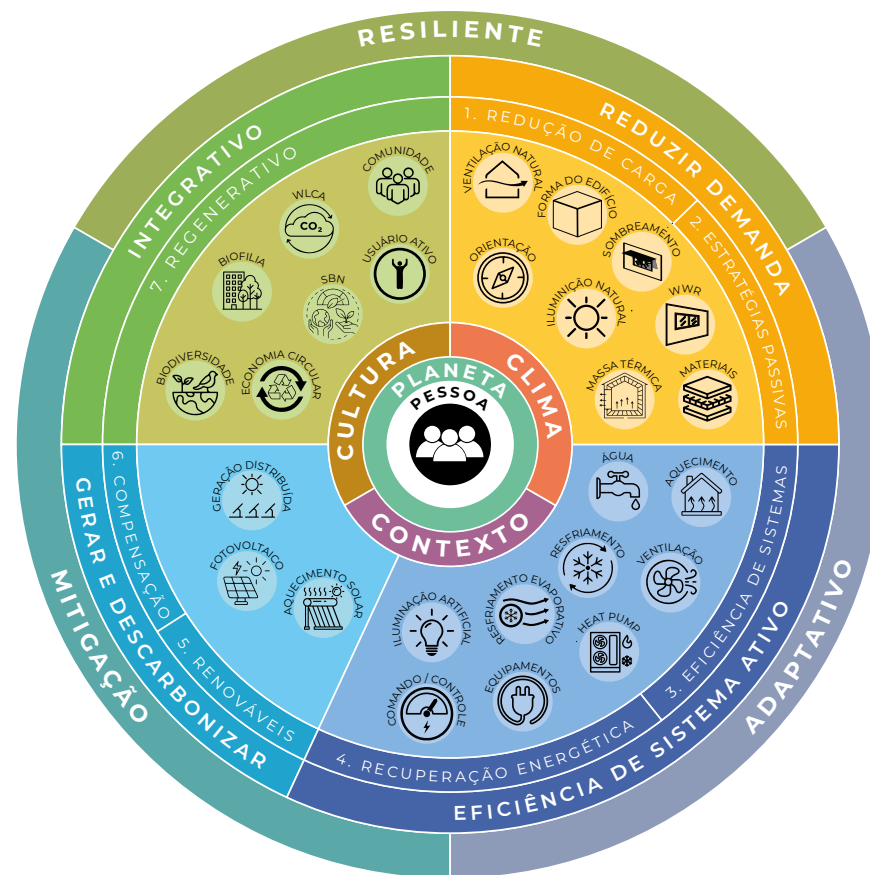


Diagrama da metodologia do Studio Symbios para processo integrativo.
Fonte: Studio Symbios.

PROCESSO INTEGRATIVO



REDUZIR DEMANDA

1. Redução de carga — Reduzir as demandas energéticas da edificação priorizando o partido arquitetônico: compacidade, proporções, envoltória e usos que diminuam cargas térmicas.

2. Estratégias passivas — Empregar soluções que aproveitam as condições ambientais para atender parte das cargas (térmicas e visuais) antes de qualquer sistema ativo.

Análises: ajustadas ao clima e ao contexto, como referencial à arquitetura vernacular que evidencia as boas práticas de estratégias bioclimáticas.

EFICIÊNCIA DE SISTEMAS ATIVOS

3. Eficiência de sistemas — Minimizar perdas e maximizar o rendimento dos sistemas ativos (HVAC, iluminação artificial, bombeamento, elevadores).

4. Recuperação de energia — Aproveitar energias residuais (calor de exaustão, ar de exaustão, rejeito de processos) para suprir parte das demandas.

Análises: consumo de água (medição, reuso e bombeamento eficiente); aquecimento; ventilação; resfriamento; bombas de calor; resfriamento evaporativo; equipamentos de uso final; iluminação artificial; monitoramento e controle (sensores, dimerização, automação, lógica de ocupação).

GERAR E DESCARBONIZAR

5. Energia renovável — Atender a demanda remanescente com fontes renováveis *on-site* e/ou *off-site*.

6. Compensações — Compensar o saldo de emissões de maneira responsável, após esgotar redução e eficiência.

Análises: fotovoltaico, aquecimento solar, geração distribuída e integração com tarifação/gestão de demanda e armazenamento.

INTEGRATIVA

7. Regenerativa — Ir além de “não causar dano”, buscando valor líquido positivo para ecossistemas e sociedade.

Análises: biodiversidade; soluções baseadas na natureza; biofilia; economia circular; WLCA; comportamento do usuário (uso ativo e educado dos sistemas) e impactos na comunidade.



NOTAS DE APLICAÇÃO

- **Sequenciamento metodológico:** aplicar as ações nesta ordem:

PASSIVO → SISTEMAS → RENOVÁVEIS → REGENERATIVO

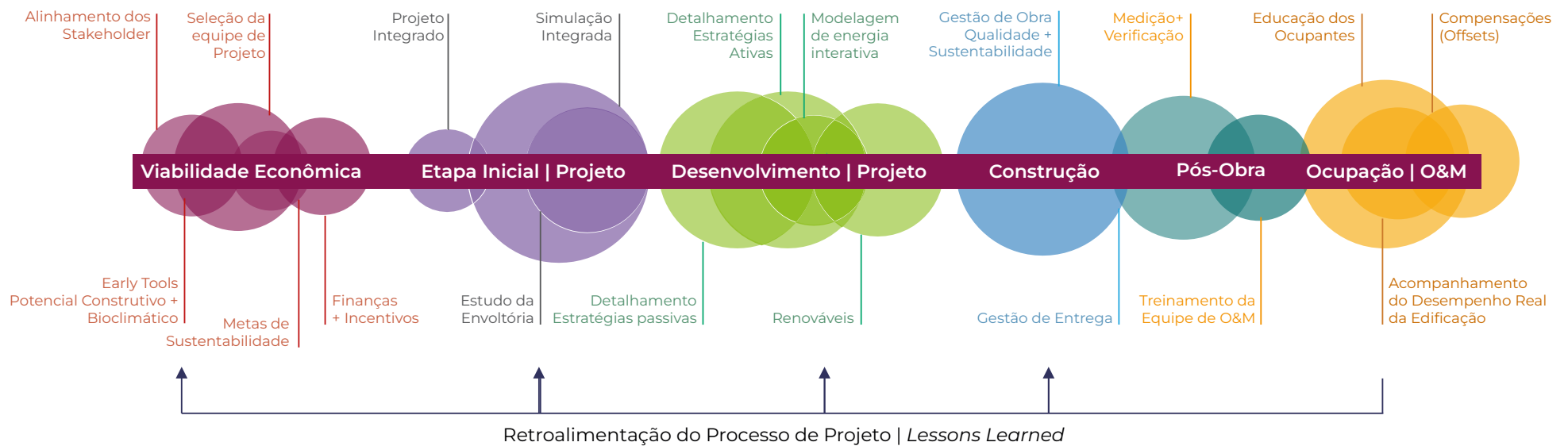
Quebras de sequência tendem a elevar custos (CAPEX/OPEX), aumentar emissões e comprometer o desempenho previsto.

- **Decisão baseada em evidências:** sustentar escolhas com simulações (térmica, luz natural/ofuscamento, ventilação/CFD, energética, geração/armazenamento) e com WLCA – *Whole Life Carbon Assessment* para comparar alternativas. Adotar uma abordagem baseada em dados (*Data-Driven*) para metas, estudos de cenários e validações.
- **Perspectiva de ciclo de vida:** planejar e avaliar o projeto considerando todas as etapas — projeto, obra, uso/operação, manutenção e fim de vida — com metas claras.

Resultante: edificações confortáveis, energeticamente eficientes, de baixo/zero carbono e, quando possível, regenerativas, fortalecendo a saúde e o bem-estar, o ecossistema, e a comunidade.



Workflow – Inserção Da Metodologia Integrativa Ao Processo De Projeto



Inserção da metodologia integrativa ao processo de projeto.

O fluxograma resume o workflow de inserção da Metodologia Integrativa: inicia-se na viabilidade, segue pelo desenvolvimento do projeto e alcança à operação. O tamanho e a sobreposição dos círculos indicam a intensidade de esforço e o trabalho simultâneo entre etapas e disciplinas. Em cada fase, marcos e entregáveis essenciais são destacados. A seta inferior representa o ciclo de retroalimentação: os resultados aprendidos retornam as etapas, elevando a qualidade, encurtando futuros prazos e aperfeiçoando decisões em projetos subsequentes.

Fonte: Studio Symbios baseado no modelo- Approach to ZNE+C workflow da ARUP.



CONCEITO:

CLIMA E CENÁRIOS FUTUROS

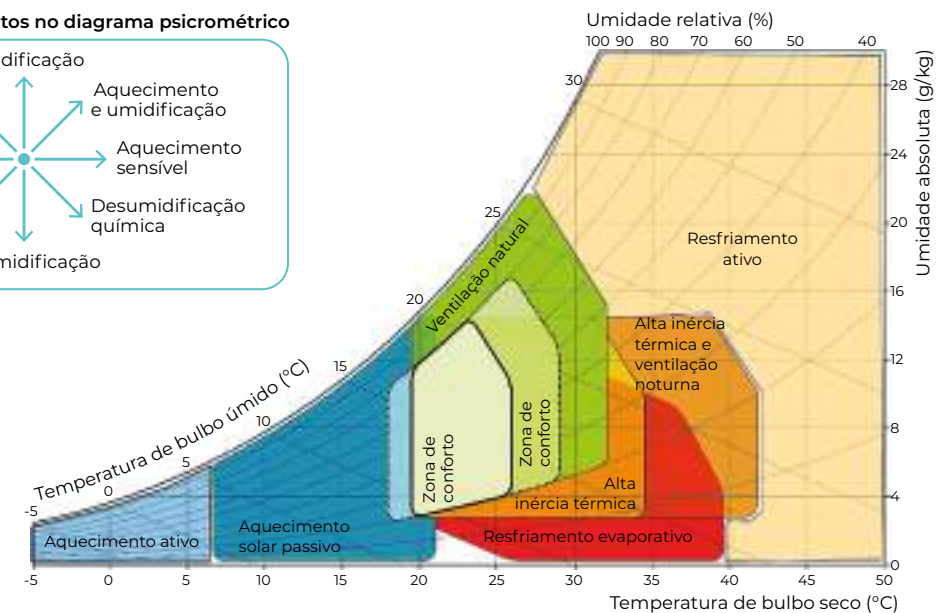
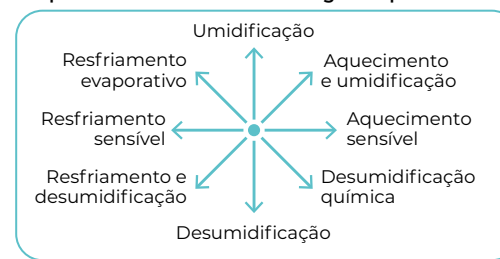


Projetar edificações eficientes exige reconhecer o clima como variável estruturante do desempenho do ambiente construído. Assim, a análise climática e do local não é opcional, mas estratégica para orientar o programa de necessidades e as diretrizes construtivas desde a concepção. O zoneamento bioclimático, quando incorporado desde a etapa de concepção, permite alcançar edificações mais eficientes, confortáveis e resilientes, com reflexos diretos na sustentabilidade econômica. Nesse sentido, a arquitetura se posiciona como um veículo de conexão entre indivíduos, espaço construído e ambiente natural, ampliando a experiência urbana e, ao mesmo tempo, mitigando impactos ambientais.

CLIMA

O clima corresponde a padrões médios observados ao longo de extensos períodos (30 anos ou mais), moldados por fatores como latitude, altitude, proximidade de corpos d'água, correntes oceânicas e barreiras montanhosas. Em regiões de clima severo, cresce a dependência de sistemas ativos de climatização, por isso, a incorporação de estratégias passivas torna-se crucial para reduzir cargas térmicas, seja de aquecimento ou de resfriamento. Ferramentas como a carta psicrométrica, que correlaciona temperatura e umidade, são fundamentais para identificar o perfil climático local, evidenciar períodos passíveis de conforto apenas com soluções passivas e reconhecer aqueles que demandam sistemas ativos.

Interpretando movimentos no diagrama psicrométrico



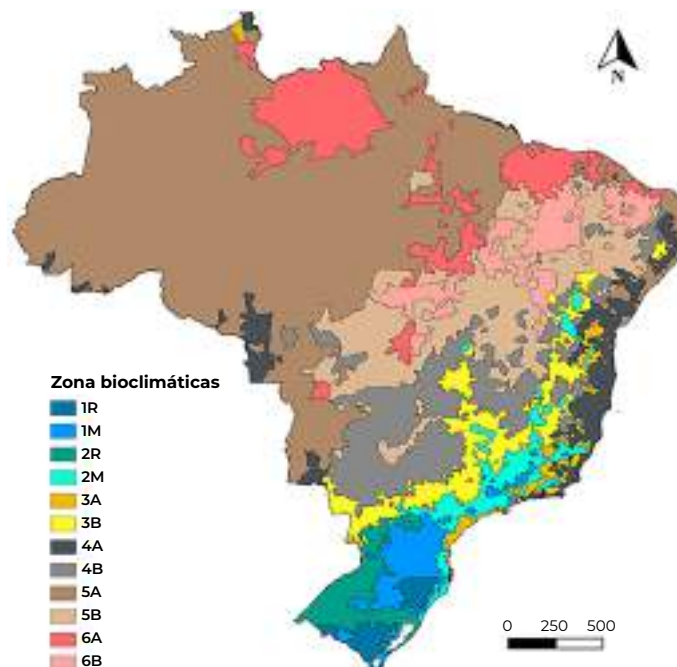
A carta psicrométrica demonstra a frequência de ocorrência de condições climáticas de um local. Ela permite visualizar rapidamente quantas horas estão em conforto e quantas exigem aquecimento, resfriamento, umidificação ou desumidificação. Além disso, usa zonas coloridas para indicar quando estratégias passivas são eficientes sozinhas e quando será necessário o uso de estratégias ativas.

CLIMA E CENÁRIOS FUTUROS



O Brasil, por sua extensão continental e posição entre os trópicos, apresenta grande diversidade climática, inviabilizando soluções padronizadas. Enquanto climas rigorosos concentram-se nas regiões mais quentes e úmidas, a maior parte da população está em cidades com condições levemente quentes ou amenas. Nesse contexto, o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (NBR 15220-3:2024) assume papel estratégico ao classificar o país em seis zonas, de Muito Fria (ZB01) a Muito Quente (ZB06), com subdivisões internas para climas frios a partir da severidade do inverno, e para os climas quentes em relação à variação da umidade.

Um avanço da revisão foi a adoção do índice de graus-horas (degree-hours, GH), que quantifica não apenas a ocorrência do desconforto térmico, mas também sua intensidade, duração e frequência. Além dos graus-horas, outras variáveis propostas pela ASHRAE AEDGs (2014) ampliam a compreensão do contexto climático: **radiação solar anual** (indicador da intensidade de energia solar), **temperatura de ponto de orvalho** (capacidade de desumidificação) e **temperatura de bulbo úmido** (potencial de resfriamento evaporativo). A combinação desses indicadores permite traduzir padrões climáticos em diretrizes arquitetônicas robustas, reduzindo incertezas e fortalecendo o desempenho projetual. Estudos recentes reforçam a relevância dessa abordagem.



Zona bioclimáticas

- 1R
- 1M
- 2R
- 2M
- 3A
- 3B
- 4A
- 4B
- 5A
- 5B
- 6A
- 6B

Zona	Classificação	TBsm(°C)	UR(%)
1R	Muito fria inverno rigoroso	< 18,8	–
1M	Muito fria inverno moderado	< 18,8	–
2R	Fria inverno rigoroso	18,8 - 20,9	–
2M	Fria inverno moderado	18,8 - 20,9	–
3A	Mista úmida	20,9 - 22,9	> 73,2
3B	Mista seca	20,9 - 22,9	≤ 73,2
4A	Levemente quente e úmida	22,9 - 25,0	> 70,3
4B	Levemente quente e seca	22,9 - 25,0	≤ 70,3
5A	Quente e úmida	25,9 - 27,0	> 68,7
5B	Quente e seca	25,9 - 27,0	≤ 68,7
6A	Muito quente e úmida	≥ 27,0	> 66,8
6B	Muito quente e seca	≥ 27,0	≤ 66,8

Mapa do zoneamento bioclimático brasileiro de 2024 de acordo com a norma NBR 15220-3:2024.

Fonte: NBR 15220-3:2024 – Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho



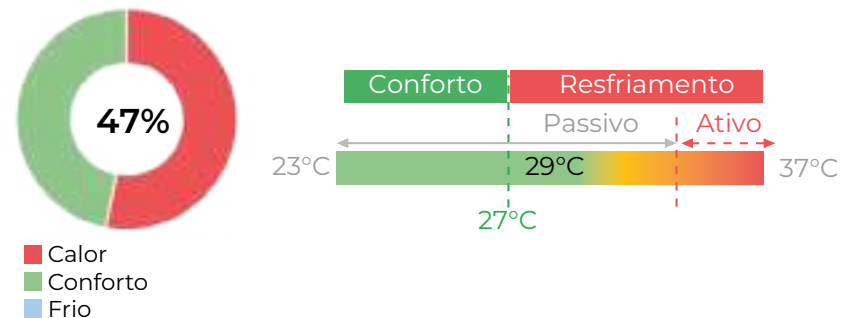
TAXONOMIA: Um dos cenários avaliados no estudo de eficiência energética para a Taxonomia Sustentável Brasileira foi o impacto de diferentes contextos climáticos no desempenho da edificação. Analisou-se um empreendimento vertical residencial de interesse social em três contextos climáticos: Curitiba (frio), São Paulo (moderado) e Salvador (quente). Os resultados indicaram variações significativas na demanda absoluta de energia e na composição do consumo, reforçando a necessidade de adequar edificações ao clima local e às características do entorno na busca por eficiência energética. Em climas frios ou amenos há uma redução expressiva da demanda total de energia anual, além da maior representatividade do consumo de água quente, que nesse caso era elétrico.

Assim, como orientações gerais e preliminares apresenta-se a seguir diretrizes globais com base no novo zoneamento bioclimático, organizadas por padrões macro climáticos.

Estratégias por Zonas Bioclimáticas

Zonas Muito Quentes e secas

(ex.: cerrado e semiárido | Cidade representativa Teresina | zona 6A)

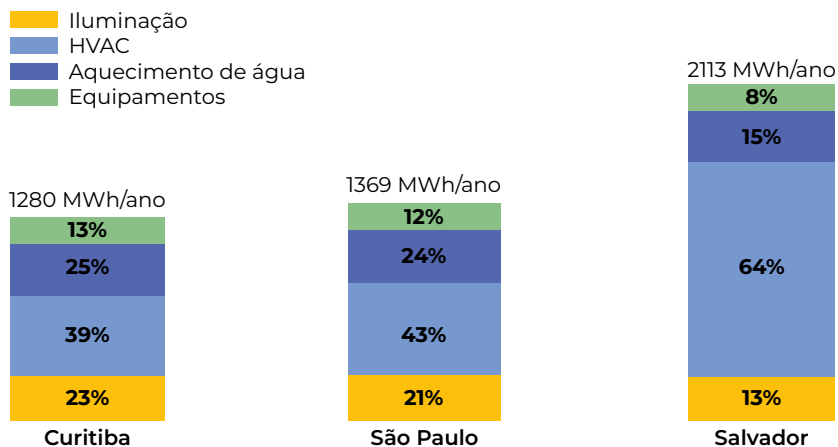


Perfil de temperatura de Teresina.

Envoltória: estratégias focadas em reduzir os ganhos solares, com sombreamentos externos, cores claras, superfícies refletivas, baixo WWR e pequenas aberturas. A adoção de massa térmica é altamente eficiente, funcionando como regulador natural das oscilações de temperatura. Beirais e pátios internos são desejáveis.

Ventilação: a ventilação natural destinada à períodos noturnos ou em conjunto com estratégias de resfriamento do ar. Pé-direito alto, poucas e pequenas aberturas de ventilação.

Composição por usos de energia por cidades



Fonte: Estudos de aderência Taxonomia Sustentável Brasileira para ABRAINC.

O estudo avaliou o impacto do clima nos end-uses e a demanda de energia anual de um empreendimento residencial com padrão construtivo de habitações de Interesse Social (HIS).

CLIMA E CENÁRIOS FUTUROS



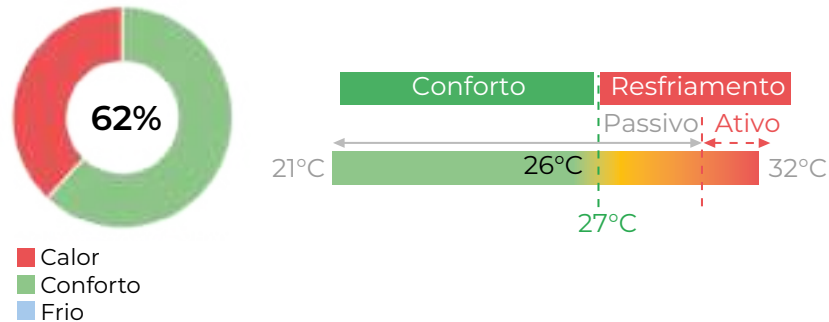
HVAC: Grande dependência de climatização mecânica, equipamentos com alta eficiência apresentam um ótimo retorno sobre o investimento. Devido ao clima seco, sistemas de condensação evaporativos e torres de resfriamento fornecem uma ótima performance.

Aquecimento de água: Alta capacidade de aquecimento solar de água.

Iluminação: Alta capacidade de iluminação natural. Aberturas sombreadas e pequenas para mitigar os ganhos solares ou convectivos.

Zonas Muito Quente e úmidas

(ex.: Litoral nordestino | Cidade representativa Fortaleza | zona 6A)



Perfil de temperatura de Fortaleza.

Envoltória: estratégias focadas em reduzir os ganhos solares, com proteções solares externas, cores claras, superfícies refletivas, baixo WWR, vegetação para sombreamento. Nas regiões com predominância de baixa amplitude térmica a utilização de envoltórias leves e isolamento térmico são recomendáveis.

Ventilação: a eficiência da ventilação natural é limitada em climas quente de umidade relativa do ar muito alta. Contudo, as regiões costeiras tendem a se beneficiar das brisas marítimas que carregam um ar mais frio.

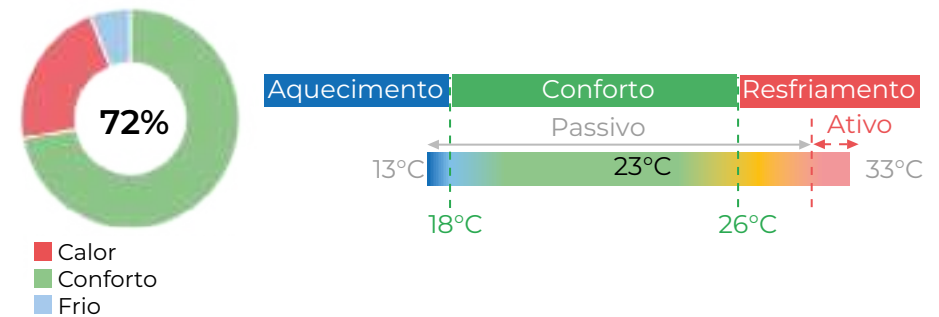
HVAC: dependência de climatização mecânica, equipamentos com alta eficiência apresentam um bom retorno sobre o investimento. Possibilidade de utilização de ventilação natural de forma híbrida em algumas tipologias com mais tolerância ao conforto, como exemplo, edificações residenciais.

Aquecimento de água: menor demanda de consumo de água quente e alta capacidade de aquecimento solar de água.

Iluminação: Alta capacidade de iluminação natural. As aberturas para promover a iluminação devem ser o mínimo necessário, bem protegidas e com vidros de alto desempenho. Evitar aberturas zenitais.

Zonas moderadas quentes

(ex.: Minas e Goiás | Cidade representativa Rio de Janeiro | zona 4A)



Perfil de temperatura do Rio de Janeiro.

CLIMA E CENÁRIOS FUTUROS



Envoltória: estratégias que reduzem o ganho de calor, por meio de cores claras, vidros de alto desempenho, baixo WWR e sombreamentos. As proteções solares devem focar no bloqueio da radiação direta durante o verão, principalmente no período da tarde. Materiais com elevada capacidade térmica contribuindo para a inércia térmica.

Ventilação: Aproveitamento de ventilações noturnas para resfriamento. Ventilação natural diurna que proporcione redução de carga preferencialmente em condições de temperaturas externas que não superem 28°C e nem estejam abaixo de 18°C.

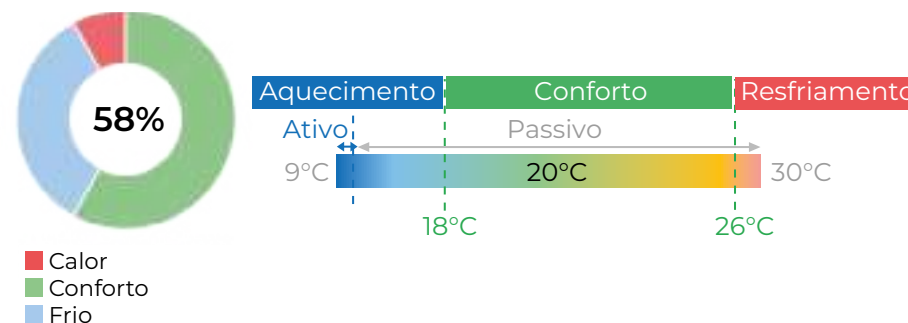
HVAC: dependência de climatização mecânica, equipamentos com alta eficiência apresentam um bom retorno sobre o investimento. Possibilidade de utilização de ventilação natural de forma híbrida em algumas tipologias com mais tolerância ao conforto, como exemplo, edificações residenciais.

Aquecimento de água: estratégias que possibilitam reduzir o consumo para aquecimento de água apresentam um bom retorno sobre o investimento, como pré-aquecimento solar.

Iluminação: Alta capacidade de iluminação natural. As aberturas para promover a iluminação devem contar com proteções solares.

Zonas moderadas frias

(ex.: Região sudeste | Cidade representativa São Paulo | zona 2M)



Perfil de temperatura de São Paulo

Envoltória: estratégias que proporcionem aquecimento passivo nos períodos frios e redução de ganho de calor no verão. Proteções solares que bloqueiem as radiações diretas durante o verão, principalmente no período da tarde. Baixo WWR e orientadas preferencialmente a leste. Inércia térmica é recomendada e pode ser alcançada a partir de componentes que tenham elevada capacidade térmica.

Ventilação: Ventilação natural cruzada ou por efeito chaminé que proporcione redução de carga no verão, preferencialmente em condições de temperaturas externas que não superem 28°C e nem estejam abaixo de 18°C.

HVAC: Necessidade de climatização mecânica para poucos dias do ano, grande potencial para utilização de sistemas híbridos de ventilação natural e ar-condicionado.

CLIMA E CENÁRIOS FUTUROS



Aquecimento de água: Alta demanda de água quente, estratégias que possibilitam reduzir o consumo para aquecimento de água apresentam um excelente retorno sobre o investimento, como pré-aquecimento solar.

Iluminação: Alta capacidade de iluminação natural. As aberturas para promover a iluminação devem contar com proteções solares. Nas iluminações naturais zenitais utilizar estratégias que atenuem a penetração de radiação direta, como lanternins ou *sheds*.

Zonas muito frias

(ex.: áreas serranas da região sul | Cidade representativa Canoas | zona 1R)

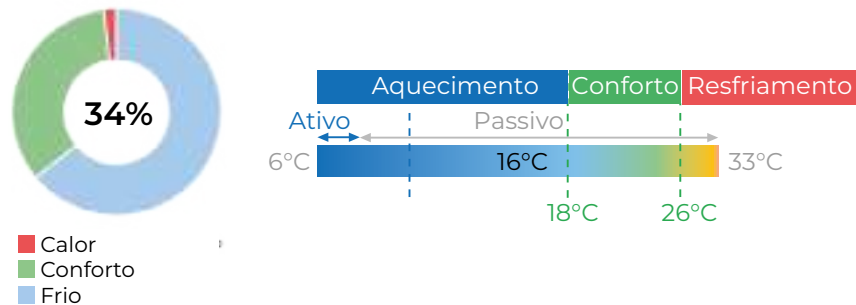


Gráfico 02 | Perfil de temperatura de Canoas

Envoltória: estratégias focadas em aquecimento passivo nos períodos frios e na redução de ganho de calor no verão. Isolamento térmico em paredes e coberturas; aproveitamento de ganhos solares no inverno (fachada norte); proteção contra ventos frios.

Ventilação: a ventilação natural promovida em períodos mais amenos e de calor quando as temperaturas forem menores que 28°C. Nos de-

mais períodos é crucial a adequada selagem da envoltória, para que não ocorram infiltrações indesejadas.

HVAC: dependência de aquecimento mecânico. Alto potencial de utilização de ventilação natural nos períodos mais amenos do ano.

Aquecimento de água: Alta demanda de água quente, estratégias que possibilitam reduzir o consumo para aquecimento de água apresentam um excelente retorno sobre o investimento, como pré-aquecimento solar.

Iluminação: As aberturas para promover a iluminação devem ser bem protegidas, evitando pontes térmicas. As iluminações naturais zenitais se incorporadas devem garantir proteção solar nos períodos de calor.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O ambiente construído é, ao mesmo tempo, receptor dos impactos climáticos e emissor de gases de efeito estufa. A verticalização e o adensamento urbano agravam esse cenário, comprometendo a ventilação das cidades, intensificando as ilhas de calor e ampliando a dependência de sistemas de climatização ativa.

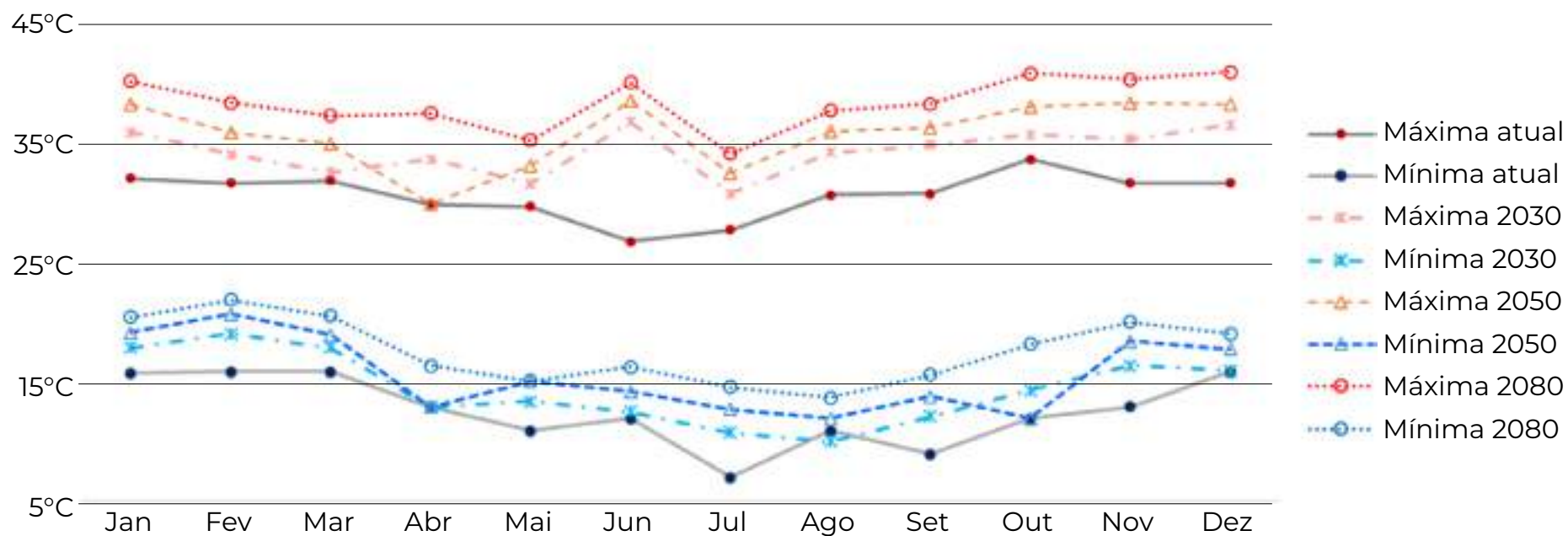
Diante da vida útil média de 50 anos das edificações, torna-se relevante que as estratégias adotadas no presente sejam capazes de responder ao aquecimento global, adaptar-se a diferentes padrões de uso e antecipar condições ambientais em constante transformação. Mais do que eficientes, edificações resilientes e regenerativas devem ser concebidas para evoluir com o tempo, assegurando desempenho consistente e menor vulnerabilidade frente às incertezas climáticas.



VOCÊ SABIA?

As avaliações de desempenho e conforto das edificações ainda se apoiam em bases climáticas passadas, desconsiderando cenários atuais e futuros. Essa defasagem compromete a efetividade das soluções projetuais e reduz a resiliência das edificações. Para superar essa limitação, a comunidade científica desenvolveu arquivos climáticos futuros, fundamentados em cenários plausíveis de aquecimento global definidos pelo Quinto Relatório do IPCC (AR5, 2014). Esses cenários, chamados RCPs (*Representative Concentration Pathways*), descrevem diferentes trajetórias de emissões até o fim do século XXI. A integração dessas projeções ao planejamento e ao processo de projeto é fundamental.

¹ Os diversos RCPs são apresentados no glossário para consulta.



Comparativo de cenários presentes e futuros (RCP 8.5) das temperaturas externas para cidade de São Paulo.

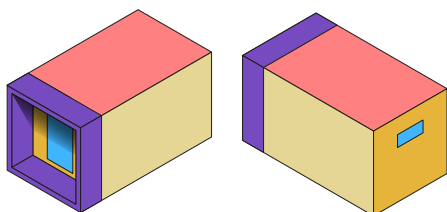


Estudo de Caso | Cenários Futuros

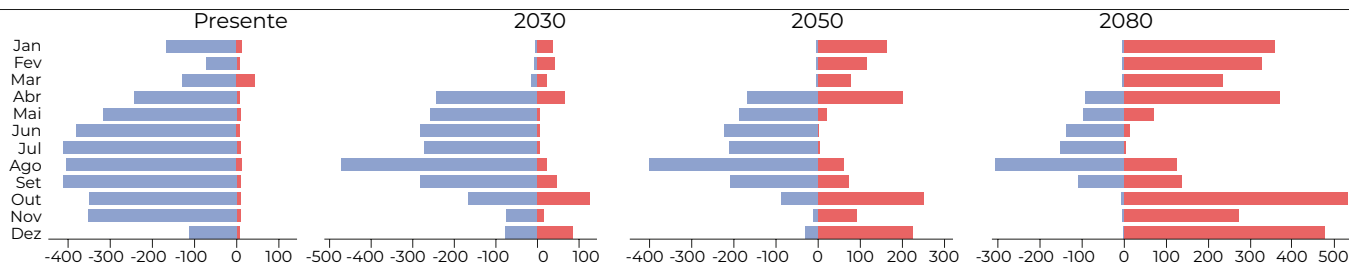
No estudo de caso apresentado abaixo, a simulação de cenários futuros revelou e quantificou a perda de eficiência energética e o aumento da dependência de climatização mesmo em climas considerados amenos. Realizaram-se simulações termoenergéticas de habitações compactas para a cidade de São Paulo a partir de projeções climáticas do RCP 8.5, que considera o atual padrão de emissões com estimativa de aquecimento entre 2.5°C e 4.8°C.

Horas-graus (presente e futuro)

Melhor Solução

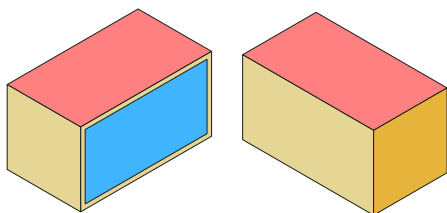


20% do tempo em 2080 com To acima de 30°C

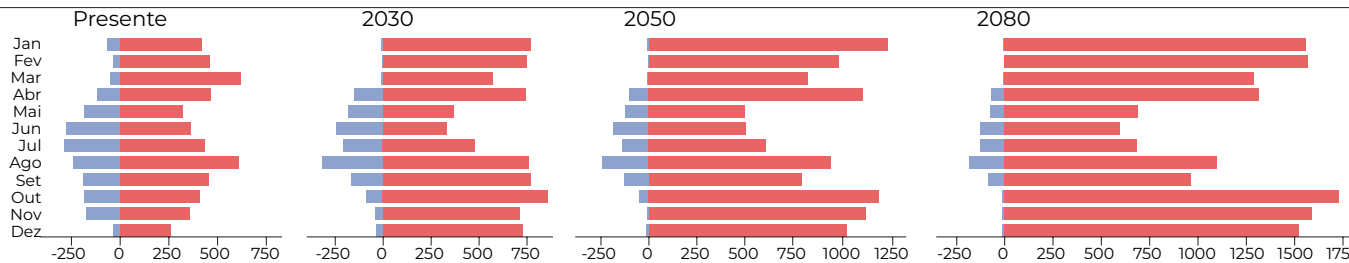


To máxima: 36.7°C

Pior Solução



38% do tempo em 2080 com To acima de 30°C



To máxima: 50.5°C

Estudos de soluções construtivas de cenários futuros (RCCP 8.5). Fonte: Leme, 2023.

A imagem ilustra soluções construtivas distintas de espaços compactos e como estas se comportam às mudanças climáticas. Os resultados, expressos em graus-hora mensal de aquecimento e resfriamento, demonstram a evolução da necessidade de climatização frente às projeções de alterações climáticas segundo o RCP 8.5.



Os resultados reforçam a necessidade de incorporar estratégias mais resilientes. Caso contrário, há risco de que edificações não adaptadas às mudanças climáticas comprometam tanto o conforto quanto a saúde dos ocupantes, já que nem mesmo sistemas convencionais de climatização poderão garantir condições adequadas diante do aquecimento global.

Referências Bibliográficas

- ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho, Rio de Janeiro, 2024.
- ABNT. NBR 15220-3:2024 – Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho, Rio de Janeiro, 2024
- ASHRAE Advanced Energy Design Guide for Multifamily Buildings Achieving: Zero Energy (2022)
- CIBSE. (2005). AM10: Natural ventilation in non-domestic buildings. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.
- GIVONI, Baruch. Building Bioclimatic Chart. Em: Man, Climate and Architecture, 1969.
- LEME, C. C. Definição de estratégias de conforto termo-luminoso para aplicação em etapa inicial do processo de projeto de microapartamentos. USP, 2023.
- SANTAMOURIS, M; MUMOVIC, D. A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering: An Integrated Approach to Energy, Health and Operational Performance. 1. ed. Londres: Routledge, 2009



CONCEITO:

CONFORTO E DESEMPENHO



A busca pela eficiência energética nas edificações não pode prescindir da centralidade do conforto ambiental, especialmente o térmico. Edificações orientadas ao desempenho ambiental integram estratégias passivas e tecnologias de eficiência, unindo arquitetura e engenharia em soluções que conciliam conforto, saúde e baixo impacto ambiental.

Conforto

"Thermal comfort can be defined as that condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment." (ASHRAE, 1966).

O conforto térmico corresponde à condição de satisfação do indivíduo em relação ao ambiente (ASHRAE, 1966). Trata-se de um conceito subjetivo, influenciado por variáveis físicas ambientais (temperatura do ar, radiação, umidade, ventilação), fisiológicas, comportamentais e psicológicas. Assim, não existe uma condição única de conforto, mas sim uma faixa de situações em que a maioria dos usuários pode se sentir satisfeito.

As pessoas passam entre 85% e 95% do tempo em espaços fechados e, portanto, a qualidade ambiental interna impacta diretamente a saúde, o bem-estar e a produtividade dos usuários, além da eficiência energética e das emissões de carbono das edificações. Assim, o ambiente construído deve atender ao homem em sua integralidade, e isso inclui a oferta de espaços termicamente confortáveis.

Modelos de avaliação do conforto térmico

Há duas abordagens principais de conforto térmico: estática e adaptativa.

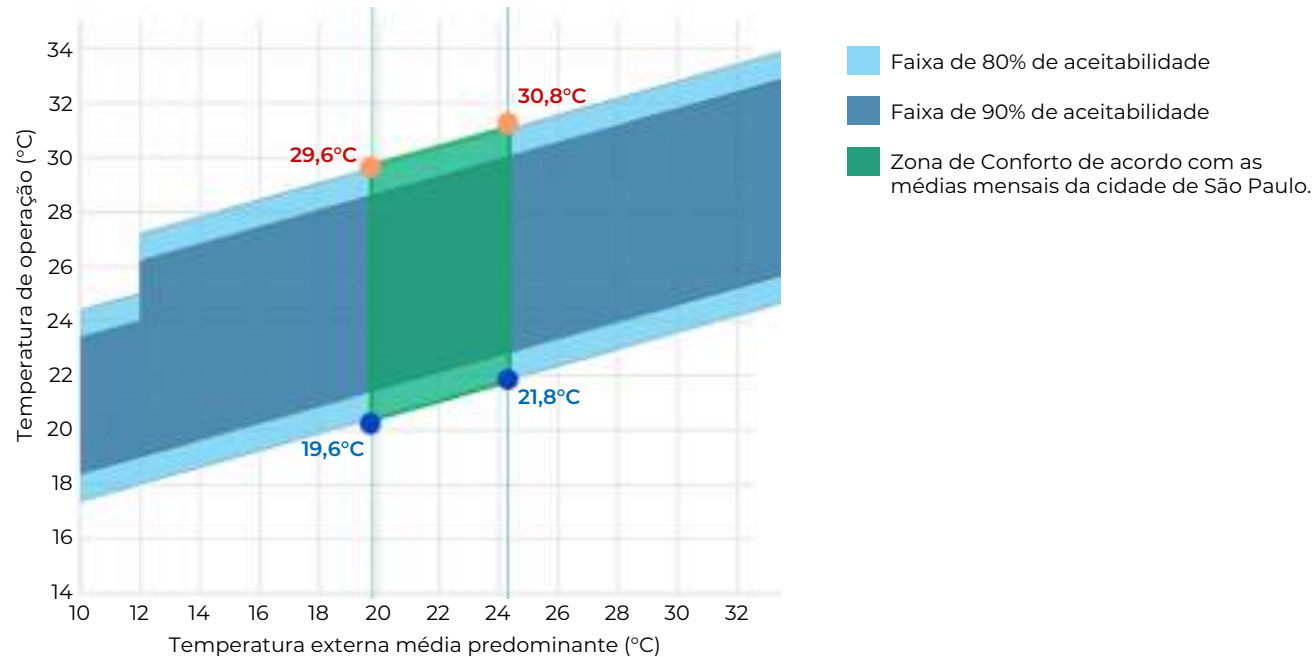
Abordagem estática: considera o ser humano um receptor passivo, sendo o índice PMV (*Predicted Mean Vote*) o seu principal indicador. Essa linha busca padronizar as condições internas de acordo com médias populacionais, propondo um modelo analítico e racional amplamente utilizado para avaliar o conforto térmico em ambientes condicionados.

Abordagem adaptativa: considera o ser humano como agente ativo, em que as condições térmicas dos espaços são reguladas principalmente pelos ocupantes (ASHRAE 55, 2013), trabalhando com faixas de conforto. Destinados a edificações naturalmente ventiladas ou híbridos (*mixed-mode*), utiliza-se o Modelo Adaptativo como índice para avaliação do conforto térmico do usuário.

Modelo Adaptativo (ASHRAE-55) é um índice de conforto que apresenta faixas de conforto a partir da tolerância dos usuários (80% e 90% de aceitabilidade) correlacionando temperaturas internas (temperaturas operativas) e externas (médias mensais de temperatura de ar).



Modelo Adaptativo (ASHRAE 55 -2020) | Zona de conforto para São Paulo



Fonte Studio Symbios

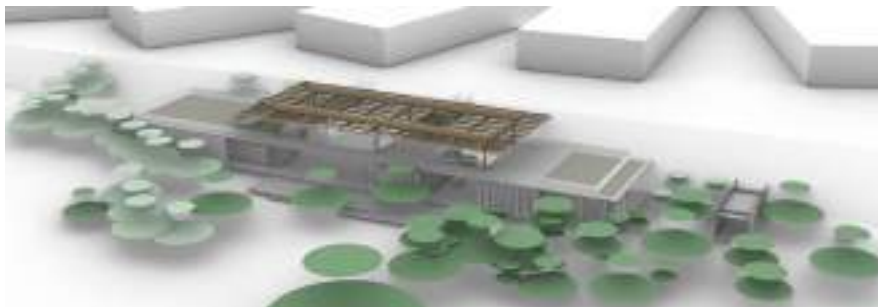
(a) Gráfico exemplificando a zona de conforto considerando faixas de 80% e 90% de aceitabilidade. (b) em uma avaliação preliminar e climática, é possível obter os limites de temperaturas operativas internas estabelecendo a zona de conforto adaptativo para a cidade de São Paulo. A área a ser trabalhada é obtida a partir das temperaturas externas médias mensais (Prevailing Mean Outdoor Temperature), que na cidade de São Paulo estão entre 19,6°C e 24,2°C. Fonte: Studio Symbios.



A norma ASHRAE 55 e outros modelos e diretrizes reconhecem a relevância de oferecer controle individual do ambiente. É uma abordagem que incentiva o uso de edificações naturalmente ventiladas ou em regime *mixed-mode* (ventilação híbrida), ampliando as possibilidades de exploração da ventilação natural, de sistemas dinâmicos de climatização e de soluções híbridas mais eficientes. Além disso, questiona os ajustes de sistemas convencionais, em especial os setpoints de HVAC, propondo algumas estratégias adaptativas a serem incorporadas:

1. Devem considerar as variações das condições climáticas externas
2. Adaptações dos setpoints conforme se alterna entre modos de ventilação mecânica e natural, já que os parâmetros devem diferir ligeiramente.
3. Devem considerar os padrões de ocupação dos espaços (ex.: salas de reunião ou auditórios), permitindo a flexibilização de valores de temperatura mais altos no verão e mais baixos no inverno durante horários fora do expediente.

Estudo de Caso de Conforto



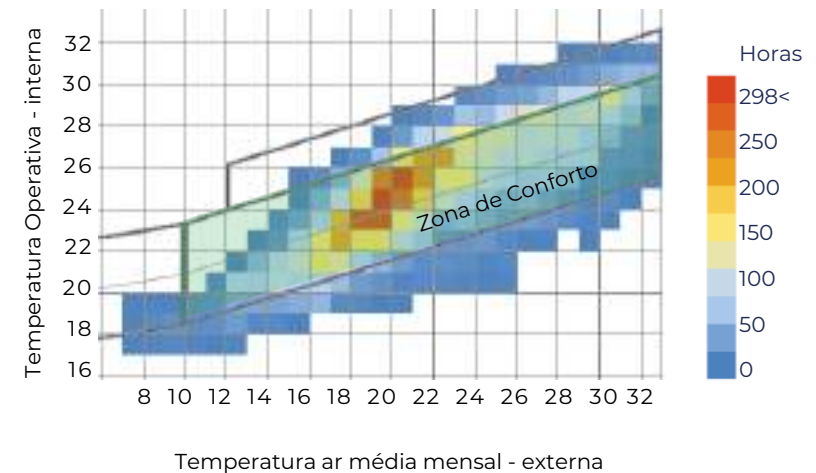
HORAS* EM CONFORTO | ASHRAE 55 Modelo Adaptativo

Desconforto por calor **4.7%**

95%

Horas em conforto

Modelo Adaptativo ASHRAE 55 – 80% aceitabilidade





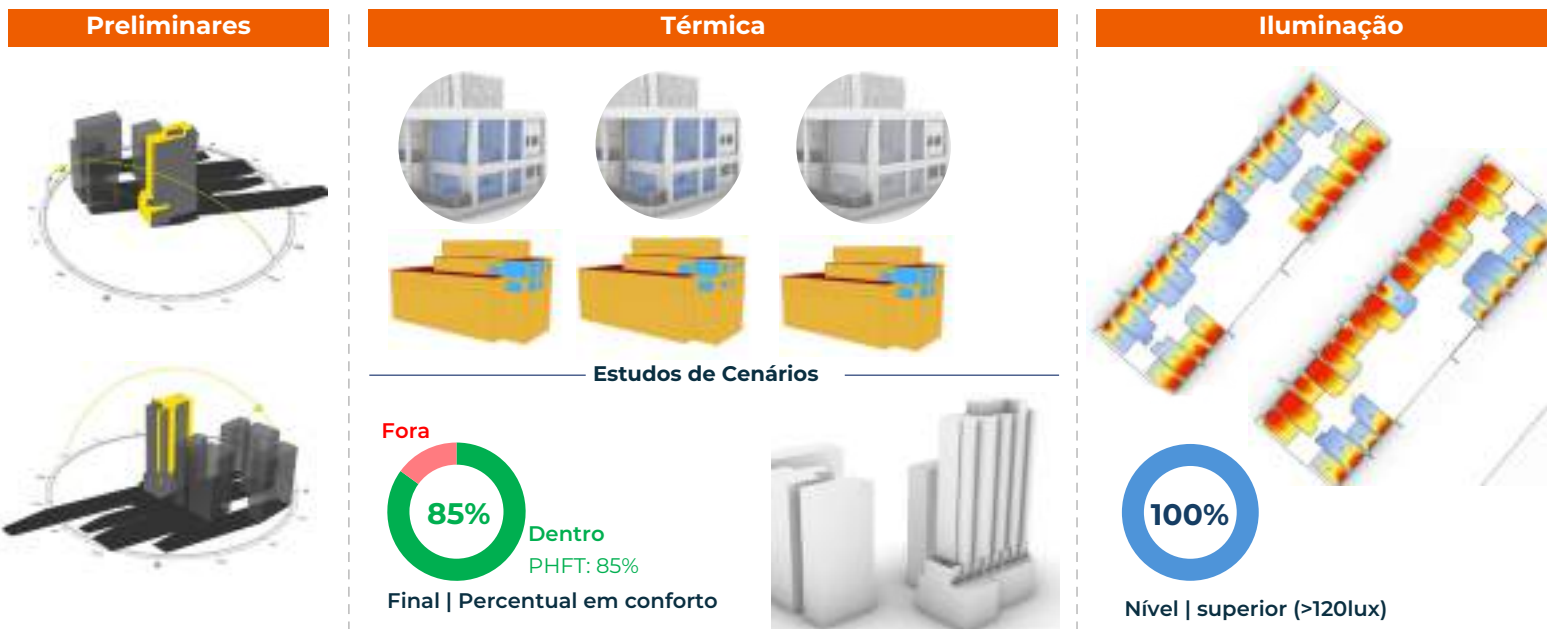
Com a incorporação de estratégias passivas aderentes ao padrão de ocupação da edificação alcançou-se o índice de 79% do tempo em conforto. Dessa forma, o sistema de climatização será utilizado apenas em 21% tempo no ano, que representa economia expressiva de consumo energético e emissões de carbono operacionais.

Contexto brasileiro

A regulamentação brasileira sobre conforto térmico vem avançando de forma consistente, acompanhando a evolução científica, as demandas sociais e a agenda de eficiência energética e sustentabilidade. Nesse sentido, a atualização do Zoneamento Bioclimático Brasileiro (NBR 15220-3:2024) trouxe um salto metodológico ao adotar o cálculo de Graus-hora e alinhar-se ao modelo adaptativo de conforto, reconhecendo a diversidade climática do país e a capacidade de adaptação dos usuários em edificações naturalmente ventiladas.

O marco mais relevante, porém, é a NBR 15575:2024 Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais, que integrou conforto térmico e eficiência energética por meio de indicadores objetivos de conforto (faixa de conforto – PHFT) e de energia (cargas térmicas de aquecimento e resfriamento). De forma complementar, a norma também introduziu parâmetros de iluminação natural, vinculando-os tanto à qualidade ambiental interna quanto à redução do consumo de energia elétrica. Esse avanço oferece ao setor um referencial técnico comparável e transparente, fortalecendo a qualidade dos projetos e estimulando práticas construtivas mais eficientes.

Além disso, a norma passou a servir de referência metodológica para certificações e selos ambientais nacionais, como AQUA-HQE, Selo Azul da Caixa e PBE Edifica, aproximando a regulamentação obrigatória dos instrumentos de diferenciação competitiva no mercado.



Estudos para norma de desempenho NBR 15575:2024. Fonte: Studio Symbios.

Estudos sequenciais para avaliação de desempenho térmico e lumínico segundo a NBR 15575. Avaliações iniciais em etapa preliminar que embasaram estudos de cenários em etapas de maior detalhamento e finalizam com simulações comprobatórias. Esse processo garante a conformidade normativa e acompanha o desempenho durante todo o processo de projeto.



Referências Bibliográficas

- ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho, Rio de Janeiro, 2024.
- ASHRAE 90.1-2016. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential.
- PETERSEN, S. et al. Simulation-based support for integrated design of new low-energy office buildings, 2011
- ØSTERGÅRD T, JENSEN RL, MAAGAARD SE. Building simulations supporting decision making in early design—A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016.
- LAMBERTS, R. et al . Eficiência energética na arquitetura. 2. ed. revisada. São Paulo: ProLivros, 2004.
- REINHART, C. Daylight performance predictions. In: Building performance simulation for design and operation. Routledge, 2019
- SANTAMOURIS, M; MUMOVIC, D. A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering: An Integrated Approach to Energy, Health and Operational Performance. 1. ed. Londres: Routledge, 2009



CONCEITO:

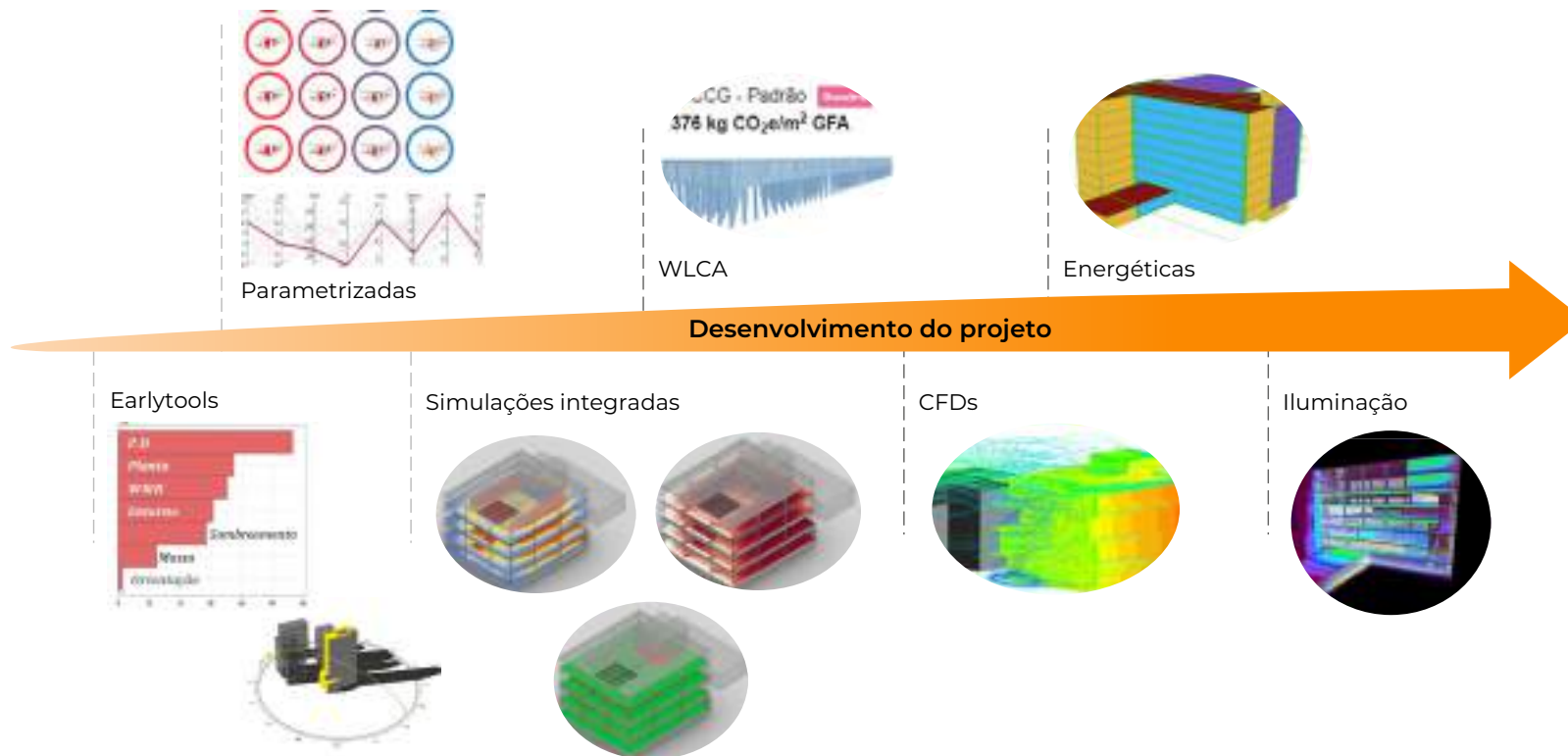
SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS



O processo de projeto de edificações modernas é cada vez mais complexo devido às exigências dos usuários, aos requisitos regulatórios e às inúmeras possibilidades tecnológicas. Esse contexto, em especial no caso de edificações de alto desempenho, exige decisões assertivas desde as fases iniciais a partir da integração de ferramentas de simulação de desempenho da edificação (*Building Performance Simulation – BPS*). As BPS permitem explorar cenários, comparar alternativas e orientar escolhas baseadas em dados (*Data Driven*) – reduzindo riscos de decisões equivocadas.

Nas fases iniciais, simulações preliminares e *EarlyTools* permitem análises rápidas e multifatoriais, gerando alternativas e tendências de desempenho que orientam o projeto e reduzem riscos de não conformidade ou desempenho insuficiente. Não obstante, as avaliações em etapas conceituais atenuam riscos de não conformidade com normas e certificações, comprometimento do desempenho e operações ineficientes ou subótimas. À medida que o projeto evolui, as BPS tornam-se mais robustas, refinando estratégias termoenergéticas, bioclimáticas e ambientais.



Simulações no Processo de Projeto. Fonte: Studio Symbios.



As oportunidades estratégicas viabilizadas pelo uso de simulações ao longo do projeto e da operação de edificações incluem: reduzir demanda energética de forma consistente e segura; elevar a eficiência dos sistemas; otimizar a geração de energia; preservar o conforto dos usuários.

A redução de carga resulta da otimização de estratégias passivas e de sua integração inteligente aos sistemas ativos. Já a eficiência operacional é ampliada pela avaliação comparativa de cenários e pela definição e detalhamento de soluções avançadas para HVAC, aquecimento de água e iluminação artificial, aliadas à integração de controles inteligentes e ao monitoramento contínuo. No campo da geração de energia, as simulações apoiam desde estudos de viabilidade e identificação de potenciais de produção, até o refinamento técnico dos sistemas, incorporando indicadores de performance e de viabilidade financeira.

Por fim, as avaliações do ciclo de vida (LCCA – custo do ciclo de vida e WLCA – avaliação de carbono incorporado e operacional) integradas aos BPS (*Building Performance Simulation*) orientam decisões alinhadas às metas de descarbonização e à conquista do *net-zero*, ampliando a robustez e o valor estratégico das soluções adotadas.

Simulações Integradas, Parametrizadas e Otimizações

São ferramentas avançadas de avaliação baseadas em simulações paramétricas, generativas ou suportadas por inteligência artificial que ampliam a capacidade de explorar soluções inovadoras. São métodos que tem como objetivo navegar em cenários complexos, identificando o equilíbrio ideal entre energia × conforto × custo × carbono. Integradas ao BIM, aumentam precisão, rastreabilidade e consistência dos dados, reduzindo o *performance gap*.

As *EarlyTools* são especialmente relevantes nas fases iniciais, explorando vastos espaços de soluções com análises de sensibilidade e metamodelos. Essa abordagem oferece agilidade e assertividade ao processo, revelando tendências de comportamento da edificação e estimando, com rapidez, seus potenciais de desempenho energético e conforto ambiental.

Principais resultados: indicadores e recomendações de sombreamento, aberturas, orientação, WWR, massa, potencial de ventilação, exposição solar e acesso ao sol e ao céu.



Simulações Termoenergéticas Dinâmicas

As simulações termoenergéticas são ferramentas essenciais para a avaliação do desempenho energético e do conforto térmico de edificações, permitindo prever o comportamento da edificação antes mesmo da sua construção. Elas desempenham um papel estratégico tanto na fase de projeto quanto na operação, pois possibilitam a comparação entre diferentes cenários de envoltória, sistemas de climatização, estratégias passivas e até variações no padrão de uso e ocupação dos ambientes.

Ao avaliar o impacto de medidas construtivas, soluções tecnológicas e estratégias de eficiência, a simulação termoenergética fornece informações quantitativas que orientam a tomada de decisão de projeto e análises técnico-financeiras mais precisas. Dessa forma, tomadores de decisão conseguem identificar as soluções mais vantajosas em termos de custo-benefício e alinhamento às metas de desempenho do empreendimento.

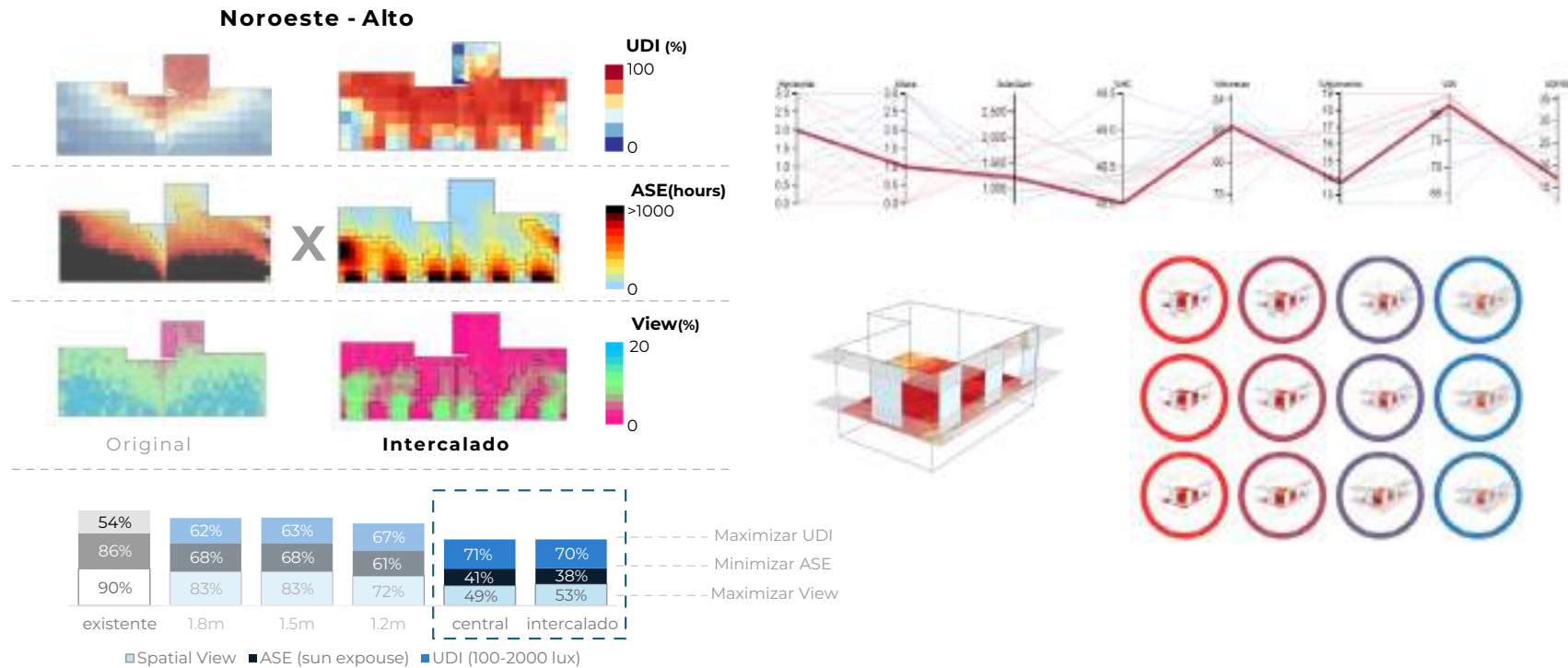
Além disso, essas simulações são amplamente utilizadas para comprovação de conformidade normativa, como no caso da NBR 15575:2024, que estabelece requisitos de desempenho térmico mínimo para habitações, também em certificações nacionais e internacionais, como o PBE Edifica, o AQUA-HQE e o LEED, que exigem a demonstração objetiva e aplicada à edificação quanto a eficiência energética e o conforto ambiental.

Principais resultados: Dimensionamento de sistemas, *savings*, cálculo do EUI, custos, consumo e demandas energéticas, variáveis ambientais e indicadores de conforto.

Simulações de Iluminação Natural

Simulações baseados no clima permitem análises precisas e dinâmicas ao considerar condições reais de clima, céu e sol, a partir de dados meteorológicos. As métricas dinâmicas traduzem a variação temporal e espacial da luz natural no interior, oferecendo diagnósticos mais realistas e apoio estratégico às decisões de projeto. Essas simulações são aplicadas para demonstrar conformidade normativa (ex.: ABNT NBR 15575:2024 – desempenho da iluminação natural) e para atender requisitos de certificações como PBE Edifica, AQUA-HQE e LEED.

Principais resultados: valores absolutos e pontuais de Iluminâncias, percentual de horas em conforto considerando Autonomia da Luz Natural (DA), Autonomia Contínua da Luz Natural (DAcon), Iluminâncias Úteis da Luz Natural (UDI), Exposição Anual à luz solar (ASE), Probabilidade de Ofuscamento da Luz Natural (DGP), métricas de ciclo circadiano.



Estudo de simulações parametrizadas de métricas dinâmicas de daylight para retrofit de fachada de um empreendimento. Fonte: Studio Symbios.

Combinações e Confiabilidade

As simulações podem ser complementadas por análises de maior escopo, como avaliações aerodinâmicas e de emissões de carbono. As simulações de CFD – *Computational Fluid Dynamics* (Dinâmica dos Fluidos Computacional) avaliam a viabilidade e eficiência da ventilação natural/mecânica, padrões de escoamento, comportamentos térmicos e efeitos aerodinâmicos. As de carbono, WLCA – *Whole Life Carbon Assessment* (Avaliação de Carbono do Ciclo de Vida Completo), mensuram emissões da edificação ao longo das fases de produto, obra, uso e fim de vida. Para garantir confiabilidade, são essenciais profissionais capacitados, leitura crítica dos resultados, ferramentas adequadas e controle rigoroso dos parâmetros de entrada e de cálculo.



Boas práticas de processo

- **Definir requisitos claros de desempenho** desde o início do projeto (energia, conforto, carbono, operação) e *checkpoints* por fase.
- **Dados de entrada rastreáveis e consistentes:** arquivos climáticos validados, perfis de ocupação/uso, cargas internas e estratégias de controle explicitadas.
- **Incerteza e sensibilidade:** análises para identificar variáveis críticas, compreendendo o que realmente impacta o resultado.
- **Validação e calibração:** sempre que possível, confrontar com medições, evitando compensações indevidas.
- **Garantia e Controle de Qualidade do modelo:** checagens de malha, zonas, sistemas, *schedules* e balanços de energia; “*garbage-in, garbage-out*” é real.
- **Documentação executiva:** registrar premissas, limites e confiabilidade para dar segurança a decisões de investimento.

Assim, a simulação de performance e conforto consolida-se como um instrumento estratégico de decisão, que aumenta a previsibilidade dos resultados, expande a exploração de soluções inovadoras e suportam decisões informadas baseadas em dados. Ainda podem extrapolar para avaliações presentes e projeções futuras para garantia de edificações mais eficientes, resilientes, em especial que buscam *zero energy* e/ou *net zero carbon* ao longo de sua vida útil.



Referências Bibliográficas

- ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho, Rio de Janeiro, 2024.
- ASHRAE 90.1-2016. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential.
- ASHRAE 55 – 2023 *Thermal environmental conditions for human occupancy*.
- PETERSEN, S. et al. Simulation-based support for integrated design of new low-energy office buildings, 2011
- ØSTERGÅRD T, JENSEN RL, MAAGAARD SE. Building simulations supporting decision making in early design—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016.
- REINHART, C. Daylight performance predictions. In: *Building performance simulation for design and operation*. Routledge, 2019
- SANTAMOURIS, M; MUMOVIC, D. *A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering: An Integrated Approach to Energy, Health and Operational Performance*. 1. ed. Londres: Routledge, 2009



CONCEITO:

ENERGIA



A energia elétrica é um dos principais insumos na operação de edificações. Para os stakeholders do setor, compreender a estrutura tarifária brasileira e as alternativas de contratação de energia deixou de ser apenas uma questão técnica: tornou-se um fator estratégico de competitividade. Este capítulo apresenta os principais componentes da tarifa de energia no Brasil (TE, TUSD, demanda contratada e encargos), detalha o funcionamento das modalidades tarifárias em baixa, média e alta tensão, e explica o papel das bandeiras tarifárias na formação do custo final. Também aborda o funcionamento do mercado livre de energia (ACL), cada vez mais relevante para empreendimentos de médio e grande porte que buscam previsibilidade de custos e acesso à energia renovável.

Entendendo a Estrutura da Tarifa de Energia

TE – Tarifa de Energia

A Tarifa de Energia (TE) corresponde ao custo da energia propriamente dita, ou seja, o valor pago pela geração de eletricidade que chega até o consumidor final. Esse componente da fatura é definido a partir de contratos de compra de energia firmados pelas distribuidoras com geradores, em leilões regulados pela ANEEL. Em termos práticos, a TE representa a parcela da conta que remunera o processo de geração da energia, variando conforme a matriz energética, a região e os custos de aquisição de cada distribuidora. Em 2024/2025, a TE costuma representar cerca de 30% a 40% da tarifa final paga pelo consumidor.

TUSD – Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

A Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), por sua vez, cobre os custos relacionados à infraestrutura necessária para entregar a energia até a unidade consumidora. Isso inclui não apenas as linhas de transmissão e redes de distribuição, mas também os serviços de operação, manutenção, medição e perdas técnicas ao longo do caminho. Em muitos casos, a TUSD é a parcela mais significativa da fatura de energia, chegando a representar 40% a 50% do valor total pago.

VOCÊ SABIA?

A separação entre TE e TUSD é fundamental porque cada parcela está sujeita a diferentes regras de cobrança e de incidência de impostos. Essa distinção é especialmente importante em empreendimentos que buscam migrar para o mercado livre de energia, ou que operam sistemas de geração distribuída (GD), já que os créditos de energia compensam prioritariamente a TE, enquanto a TUSD segue regras específicas de pagamento conforme as resoluções da ANEEL.



Demanda Contratada

A Demanda Contratada representa a carga máxima de potência (kW) que o consumidor se compromete a utilizar junto à concessionária de energia em determinado ponto de conexão. Essa definição é feita já na fase de projeto e formalizada em contrato, garantindo que a rede elétrica local esteja preparada para atender àquele nível de consumo sem riscos de sobrecarga.

O valor da demanda contratada é cobrado mensalmente, independentemente de ser utilizado integralmente ou não. Caso o consumidor ultrapasse esse limite, são aplicadas penalidades financeiras significativas, chamadas de ultrapassagem de demanda, que podem elevar de forma expressiva a fatura de energia. Por outro lado, uma demanda superdimensionada também representa custos desnecessários, já que o consumidor pagará por uma potência que raramente é utilizada.

Em edificações corporativas, shopping centers, hospitais e condomínios de médio e grande porte, a gestão correta da demanda contratada é estratégica, pois esses empreendimentos apresentam picos de consumo em horários específicos, especialmente relacionados a sistemas de climatização, bombas de água e elevadores. Um dimensionamento adequado permite equilibrar segurança, economia e previsibilidade de custos, além de abrir espaço para estratégias complementares, como o uso de automação predial (BMS) para controlar cargas ou até soluções de armazenamento de energia para suavizar os picos.

VOCÊ SABIA?

As ferramentas de simulação energética são poderosas aliadas no processo de definir a demanda contratada de uma edificação. Com softwares capazes de modelar o perfil de consumo ao longo do dia e do ano, é possível prever picos de carga, testar diferentes cenários de ocupação e avaliar o impacto de sistemas como climatização, bombas de água e elevadores.



Encargos e Bandeiras Tarifárias

Além das parcelas de energia (TE) e distribuição (TUSD), a fatura de energia elétrica no Brasil inclui os encargos setoriais, que são valores destinados a custear políticas públicas e garantir o equilíbrio do sistema elétrico nacional. Esses encargos financiam, por exemplo, programas de universalização do acesso à energia, subsídios para fontes incentivadas, custeio de energia de reserva e outros mecanismos regulatórios administrados pela ANEEL e pelo governo federal. Embora representem uma fração menor do custo final, podem variar conforme a conjuntura do setor e impactar diretamente no valor pago pelos consumidores. Entre os principais encargos estão:

- **CCC** – Conta de Consumo de Combustíveis: cobre os custos do uso de combustíveis fósseis na geração de energia em sistemas isolados, principalmente na região Norte.
- **CDE** – Conta de Desenvolvimento Energético: financia subsídios tarifários (baixa renda, irrigação, fontes incentivadas, universalização do acesso).
- **PROINFA** – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia: incentiva a geração por biomassa, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e energia eólica.
- **ESS** – Encargos de Serviços do Sistema: cobre custos adicionais para manter a confiabilidade do sistema elétrico, como despacho de usinas fora da ordem de mérito.
- **TFSEE** – Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica: destinada ao custeio da fiscalização realizada pela ANEEL.
- **RGR** – Reserva Global de Reversão (em extinção, mas ainda presente em alguns contratos): fundo criado para indenização de concessões revertidas ao poder concedente.



Outro componente relevante da fatura são as bandeiras tarifárias, mecanismo criado para sinalizar, mês a mês, os custos adicionais da geração de energia elétrica no país. Funcionam como um sistema de alerta que reflete as condições de operação do setor elétrico:

- **Bandeira Verde:** indica condições favoráveis de geração, sem custos adicionais.
- **Bandeira Amarela:** acionada em cenários de geração menos favorável, adiciona um valor extra por kWh consumido.
- **Bandeira Vermelha:** Patamar 1 e 2: representam condições críticas de geração, com acréscimos mais elevados no custo da energia.

Sistema Tarifário Brasileiro

Baixa Tensão (Grupo B)

A modalidade de baixa tensão (Grupo B) é aplicada a consumidores conectados em tensão inferior a 2,3 kV, englobando principalmente unidades residenciais, pequenos comércios, escritórios e serviços de baixa demanda energética. Sua estrutura tarifária é a mais simples entre os grupos, pois não contempla cobrança de demanda contratada: o cliente paga apenas pelo consumo efetivo de energia elétrica registrado em kWh, acrescido dos encargos setoriais e eventuais bandeiras tarifárias.

No Brasil, os valores variam de acordo com a distribuidora e a região, mas a tarifa de energia (TE) somada à tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD) em baixa tensão geralmente fica na faixa de R\$ 0,70 a R\$ 1,20 por kWh em 2024, antes da aplicação das bandeiras tarifárias.

Média Tensão (Grupo A4)

O Grupo A4 – Média Tensão atende consumidores ligados em tensão entre 2,3 kV e 25 kV, sendo a categoria típica de edificações comerciais, shopping centers, hospitais, hotéis e condomínios de médio porte. Diferentemente do Grupo B (baixa tensão), aqui existe a cobrança de demanda contratada (kW) além do consumo de energia (kWh). Isso significa que, mesmo que a demanda máxima prevista não seja utilizada, o consumidor paga pelo valor contratado, e em caso de ultrapassagem, são aplicadas penalidades que podem elevar significativamente a conta.



Nessa modalidade, os consumidores podem optar por duas formas de tarifação:

- **Convencional:** uma única tarifa de energia e de demanda, independentemente do horário. Pode ser vantajosa em edificações com carga estável ao longo do dia e baixo consumo no horário de ponta.
- **Horosazonal Verde e Azul:** estrutura tarifária diferenciada conforme o horário (ponta x fora de ponta) e a época do ano (período seco x úmido). No horosazonal verde, a demanda é única e a energia tem tarifa diferenciada. Já no horosazonal azul, tanto a energia quanto a demanda variam de acordo com o horário, exigindo maior gestão de cargas.

A escolha correta entre convencional e horosazonal depende da análise do perfil de carga do empreendimento. Por exemplo, um condomínio corporativo com uso intenso de climatização no período da tarde pode se beneficiar do horosazonal verde, enquanto um shopping center, que concentra sua demanda no horário de ponta, pode precisar de um planejamento mais cuidadoso para evitar custos excessivos no horosazonal azul.

No Brasil, em 2024/2025, os valores médios da tarifa de energia (TE + TUSD) para média tensão variam entre:

- **Fora de ponta:** R\$ 0,50 a R\$ 0,60 por kWh
- **Horário de ponta:** R\$ 0,80 a R\$ 0,90 por kWh

Já a tarifa de demanda contratada costuma oscilar entre R\$ 20 e R\$ 40 por kW, dependendo da concessionária e da modalidade tarifária.

Alta Tensão (Grupos A3, A2, A1)

Os consumidores enquadrados nos grupos de Alta Tensão (A3, A2 e A1) são aqueles conectados em níveis superiores a 25 kV, podendo chegar a 230 kV ou mais, dependendo da classificação. Essa modalidade é destinada a grandes consumidores, como indústrias, complexos corporativos, shoppings de grande porte, hospitais de referência e empreendimentos comerciais de larga escala, que exigem fornecimento contínuo, estável e de alta capacidade.



Em projetos imobiliários, esse enquadramento pode ser relevante em condomínios corporativos de alta densidade, parques tecnológicos e empreendimentos de uso misto com consumo elevado. Nesses casos, os desafios incluem a implantação de subestações dedicadas, sistemas de proteção mais complexos, maior área física para infraestrutura elétrica e coordenação direta com a concessionária para viabilizar o fornecimento e a homologação das instalações.

No Brasil, em 2024/2025, as tarifas de energia em alta tensão apresentam valores significativamente menores que os praticados em baixa e média tensão, mas variam de acordo com o horário:

- **Fora de ponta:** em torno de R\$ 0,27 a R\$ 0,30 por kWh.
- **Horário de ponta:** em torno de R\$ 0,43 a R\$ 0,44 por kWh.

Já a tarifa de demanda contratada costuma variar de R\$ 30 a R\$ 60 por kW, sendo um componente relevante da fatura, especialmente para empreendimentos de grande porte.

Mercado Livre de Energia (ACL – Ambiente de Contratação Livre)

O Ambiente de Contratação Livre (ACL), conhecido como mercado livre de energia, é um modelo em que o consumidor pode negociar diretamente a compra de energia elétrica junto a geradores ou comercializadores, sem depender exclusivamente da tarifa regulada das distribuidoras. Criado na década de 1990 e em expansão contínua, o mercado livre já representa mais de 35% do consumo de energia elétrica no Brasil, sendo um caminho estratégico para grandes consumidores que buscam redução de custos, previsibilidade e sustentabilidade.

Podem participar do ACL os chamados consumidores livres (com demanda contratada acima de 2.500 kW) e os consumidores especiais (com demanda entre 500 kW e 2.500 kW), que têm acesso à contratação de energia proveniente de fontes incentivadas, como solar, eólica, PCHs e biomassa. A partir de janeiro de 2024, a regulação da Aneel permitiu que todos os consumidores do Grupo A (média e alta tensão) tenham direito de migrar para o mercado livre, ampliando o universo de incorporadores e gestores que podem considerar essa alternativa em seus empreendimentos.

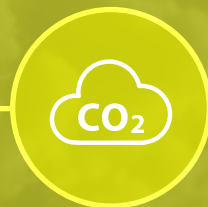
Entre as principais vantagens do ACL estão a previsibilidade de custos, já que os contratos podem ser firmados com prazos de 2 a 10 anos, reduzindo a exposição à volatilidade tarifária, e a possibilidade de contratar energia renovável certificada (I-REC). Os desafios, por outro lado, envolvem as exigências regulatórias para adesão, a necessidade de uma gestão contratual robusta e o acompanhamento especializado para acompanhar riscos de mercado, sazonalidade e garantias financeiras.



Em termos de valores, os preços de energia no ACL em 2024/2025 variam conforme a fonte e o prazo contratual, mas podem ser 20% a 35% mais baixos do que as tarifas reguladas do mercado cativo.

Referências Bibliográficas

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482/2012: Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 1000/2021: Consolidação das regras aplicáveis às distribuidoras de energia elétrica.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Estrutura Tarifária: Grupos A e B, Modalidades Convencional e Horosazonal.
- ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Relatórios Técnicos sobre a Operação do Sistema Interligado Nacional.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2023.
- CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Relatórios do Mercado Livre de Energia (ACL).



CONCEITO:

EMISSÕES DE CARBONO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

EMISSÕES DE CARBONO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO



Para estabilizar o clima, o mundo industrializado precisa reduzir as emissões antrópicas de carbono a quase zero até 2050 (ASHRAE, 2025). Isso inclui as emissões provenientes da energia utilizada em edificações. De acordo com compromissos internacionais como o Acordo de Paris e as metas estabelecidas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), até 2030 o ambiente construído global deverá reduzir suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) em relação a 2015.

Esse movimento foi reforçado pela Declaração de Chaillot, assinada em 2024 por diversos países, incluindo o Brasil, que reconhece o papel do ambiente construído na mitigação climática e estabelece compromissos para acelerar a transição rumo a edificações e cidades de baixa emissão de carbono. Ao assumir tal compromisso, o Brasil alinha-se às diretrizes internacionais, mas também assume o desafio de traduzir essas metas em ações concretas no contexto nacional, onde o setor da construção responde por uma parcela do consumo energético e suas emissões associadas.

Em contexto de déficit habitacional, mudanças climáticas e pressões por eficiência energética e urbana, a descarbonização requer revisão da morfologia urbana; cidades mais compactas, integradas e verticalizadas podem reduzir deslocamentos, custos de infraestrutura por habitante e emissões associadas, sendo mais sustentáveis. Entretanto exigem planejamento coordenado (uso do solo, mobilidade, habitação e energia) para que os ganhos ambientais e de qualidade de vida se materializem.

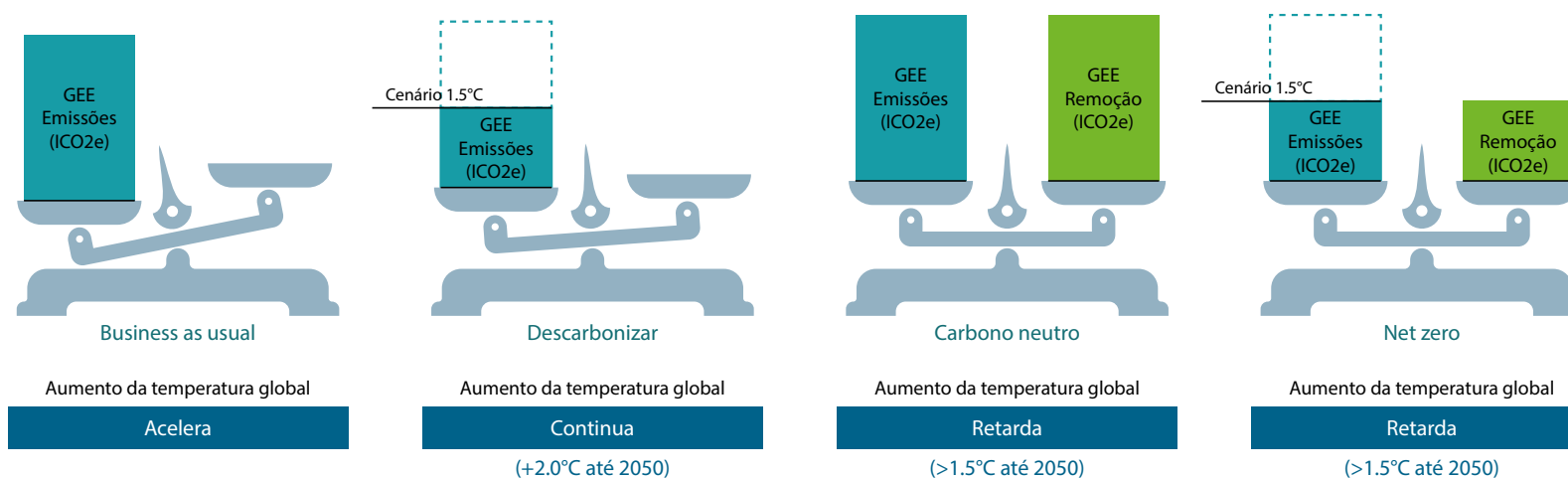
O modelo da “cidade de 15 minutos” oferece o arcabouço prático: bairros completos que aproximam moradia, trabalho e serviços, priorizando mobilidade ativa e transporte coletivo e viabilizando baixas emissões com melhor qualidade de vida.

Dentro deste cenário, a implementação de estratégias de eficiência energética assume papel relevante na redução das emissões operacionais de GEE, ao mesmo tempo que gera benefícios econômicos. Além de diminuir os custos anuais de energia, essas medidas apresentam retorno financeiro ao longo do tempo, pois as economias obtidas compensam o investimento inicial, tornando as soluções, tanto ambientalmente quanto economicamente vantajosas.

Medidas de eficiência energética podem ser implementadas no curto prazo, mas equipes de projeto precisam planejar com uma perspectiva de longo prazo para alcançar reduções de carbono com o menor custo. Esse planejamento de longo horizonte permite maximizar o valor total e reduzir custos ao alinhar ações com eventos de capital futuros inevitáveis, como o fim da vida útil de equipamentos, a rotatividade de ocupantes ou a requalificação do empreendimento.

Atender a essas metas exige contabilizar as emissões de GEE de ciclo de vida completo das edificações. As emissões operacionais incluem as emissões de Escopo 1 provenientes da combustão de combustíveis no local e as emissões de Escopo 2 decorrentes da energia adquirida. Já as emissões incorporadas abrangem todas as emissões de GEE resultantes da fabricação, transporte, instalação, manutenção e descarte de um material ou produto.

EMISSÕES DE CARBONO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO



Emissões relacionadas a gases de efeito estufa (GEE) suportadas por meta baseada na ciência em alinhamento com o Acordo de Paris de limitar as temperaturas globais a 1,5°C. Fonte: Baseado no modelo - Tall Buildings: rising to the net zero challenge- ARUP, 2023

A seguir são apresentadas algumas definições, baseadas nas melhores práticas aceitas pelo setor.

Business as Usual – Refere-se a um cenário em que não ocorrem mudanças significativas quanto a implementação de políticas públicas, economia, tecnologia ou comportamentos sociais. Nesse contexto, o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) mantêm-se em linha com as tendências históricas de crescimento, sem a adoção de estratégias adicionais de eficiência ou descarbonização aplicadas à edificação.

Redução – Processo de diminuição das emissões de GEE em relação a metas científicas de estabilização climática, alinhadas ao limite de 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais. Envolve a aplicação de estratégias de eficiência energética, escolha de materiais de menor impacto e adoção de práticas de ciclo de vida que reduzam emissões em todas as fases da edificação.

Carbono Neutro – Condição em que a somatória de todas as emissões de GEE associadas a uma edificação é compensada integralmente por meio de mecanismos de remoção ou offsets realizados de forma responsável.

Net Zero Carbon – Condição em que as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) são minimizadas ao máximo por meio da implementação de estratégias de eficiência energética, uso de fontes renováveis e práticas de baixo carbono, em alinhamento com metas científicas que limitam o aquecimento global a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais. Apenas as emissões residuais e inevitáveis são posteriormente compensadas de forma responsável, garantindo um balanço líquido de zero emissões.

Essa definição contempla tanto o carbono operacional (gerado no uso da edificação) quanto o carbono incorporado (proveniente de materiais, construção, manutenção e fim de vida) ao longo de todo o ciclo de vida da edificação.

VOCÊ SABIA?

COMO DESCARBONIZAR UMA EDIFICAÇÃO E MENSURAR SUAS EMISSÕES

Descarbonizar uma edificação significa planejar, projetar, operar e, eventualmente, desmontar a edificação de forma a minimizar ou eliminar tanto o carbono incorporado quanto o carbono operacional, seguindo princípios de sustentabilidade, eficiência e viabilidade econômica.

A redução do carbono operacional requer uma estratégia integrada, atuando em múltiplas frentes, seguindo estratégias de redução de demanda, eficiência e geração, visto que quanto menor a demanda de energia, mais viável e eficiente será alcançar um desempenho de baixa emissão durante a operação. Assim, elenca-se abaixo as etapas de estratégias recomendadas para a sua redução:

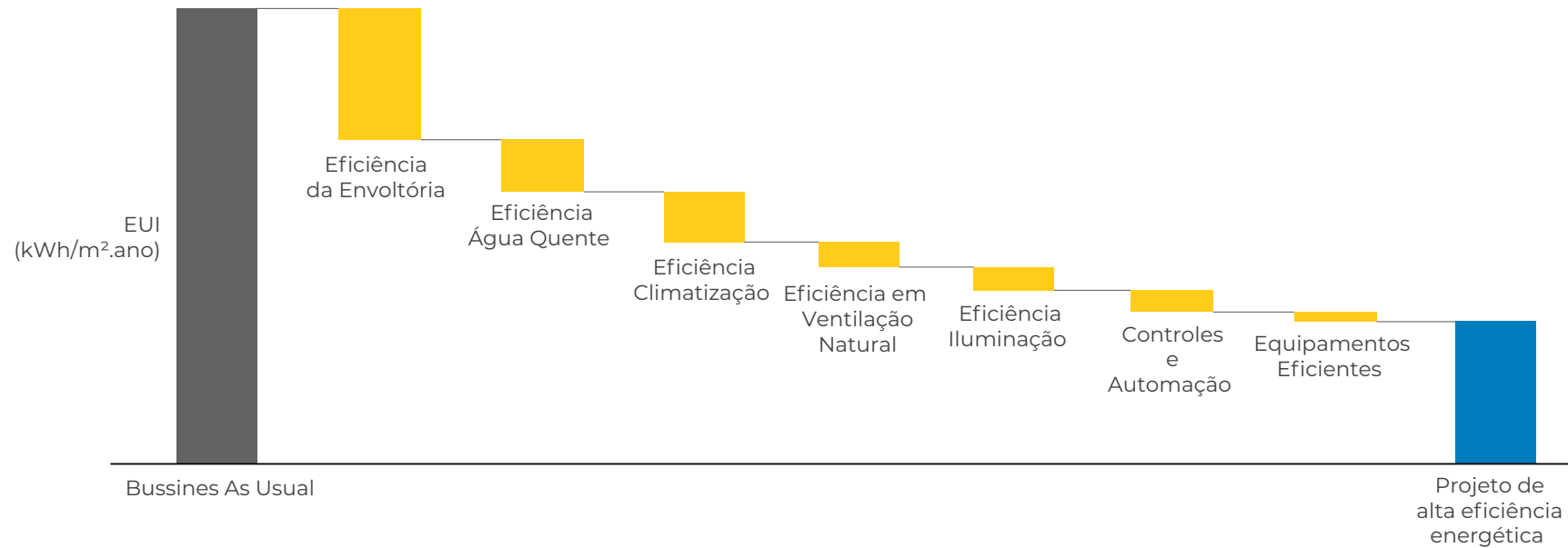
- 1. Reduzir a demanda de energia da edificação por meio de soluções de eficiência:** priorizar estratégias passivas de projeto, como o dimensionamento adequado da envoltória.
- 2. Sistemas de climatização e iluminação de alto desempenho:** aliados a controles de gestão inteligente, devem complementar essas estratégias.
- 3. Eletrificação dos sistemas:** substituindo combustíveis fósseis por fontes limpas, preferencialmente combinado com a geração de energia renovável. Somente após a realização destas etapas iniciais a geração de energia renovável deve ser incorporada, podendo ser integrada à edificação; bem como proveniente de fontes externas, como geração distribuída (verificar capítulo sobre energia renovável para maiores informações), podendo ser potencializada por sistemas de armazenamento *in loco*, quando viável.
- 4. Manutenção adequada e o monitoramento contínuo:** garantem que o desempenho projetado seja mantido durante a operação.

Quando aplicadas de forma coordenada, essas estratégias reduzem significativamente as emissões ao longo de toda a vida útil da edificação, criando bases robustas para a descarbonização.

EMISSÕES DE CARBONO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO



É importante destacar que descarbonizar não é apenas calcular emissões para atingir o *net zero* da edificação. Não se trata de eliminar imediatamente todas as emissões por meio da eletrificação total ou da compra de créditos de energia renovável (I-RECs), nem de manter o uso intensivo de combustíveis fósseis e compensar essas emissões de forma nominal. O foco está na redução efetiva e contínua das emissões, por meio de estratégias integradas de eficiência energética, transição para fontes limpas e melhorias operacionais e tecnológicas, garantindo impactos concretos e mensuráveis ao longo do ciclo de vida da edificação.



Oportunidades para reduzir o consumo de energia em edificações.

Fonte: Imagem Adaptada, LETI - Climate Emergency Design Guide – Medium and large scale housing- pag 47.

EMISSÕES DE CARBONO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO



EUI – Energy Use Intensity

O baixo consumo de energia deve ser a característica central de uma edificação operacionalmente de baixa emissão. Para medir esse desempenho, utiliza-se a Intensidade de Uso de Energia (EUI, do inglês *Energy Use Intensity*), expressa em kWh/m²ano, que funciona como um indicador base do consumo energético da edificação, essencialmente a “conta de energia” da edificação.

A EUI é um parâmetro determinante para decisões de projeto e operação ao longo de todo o ciclo de vida da edificação, e a indústria da construção deve promover e ampliar a compreensão sobre sua medição e comparação. Nesse contexto, o conceito de *benchmark* contribui para a análise, permitindo comparar a EUI da edificação com referências de desempenho de construções semelhantes — escolas com escolas, edificações comerciais com comerciais, residenciais com residenciais, considerando que cada tipologia possui um consumo estimado específico. Esses dados de comparação funcionam como guia para estabelecer metas realistas, incentivar o engajamento dos projetistas durante a fase de concepção e estimular os ocupantes a reduzirem o consumo energético durante a fase de uso e operação da edificação.

Compreender o desempenho da edificação permite identificar oportunidades de melhoria, orientar decisões de projeto e monitoramento, e apoiar estratégias efetivas de descarbonização.

Carbono Operacional

O carbono operacional corresponde às emissões de dióxido de carbono e de outros gases de efeito estufa resultantes do consumo de energia em uma edificação. Normalmente, estão incluídas nesse cálculo as emissões relacionadas ao funcionamento dos sistemas água, de aquecimento, água quente, climatização, ventilação e iluminação, além da energia empregada em atividades como cozinhar e no uso de equipamentos específicos, como elevadores, escadas rolantes etc.

As emissões operacionais variam ao longo do ciclo de vida da edificação e dependem de múltiplos fatores, como a eficiência da envoltória, o desempenho dos sistemas de climatização (HVAC), a matriz energética local, os fatores de emissão de carbono associados; e o padrão de uso adotado pelos ocupantes. Compreender e gerenciar esses fatores é essencial para implementar estratégias eficazes de redução de emissões e garantir o desempenho sustentável da edificação ao longo do tempo.

Carbono Incorporado

Carbono incorporado: refere-se ao dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa associados às seguintes etapas do ciclo de vida:

Produto: extração e processamento dos materiais, consumo de energia e água nas fábricas e transporte de insumos e produtos.

Construção: atividades ligadas à execução da obra.






Uso: manutenção, reparos, reformas, substituições e emissões relacionadas a vazamentos de fluidos refrigerantes.

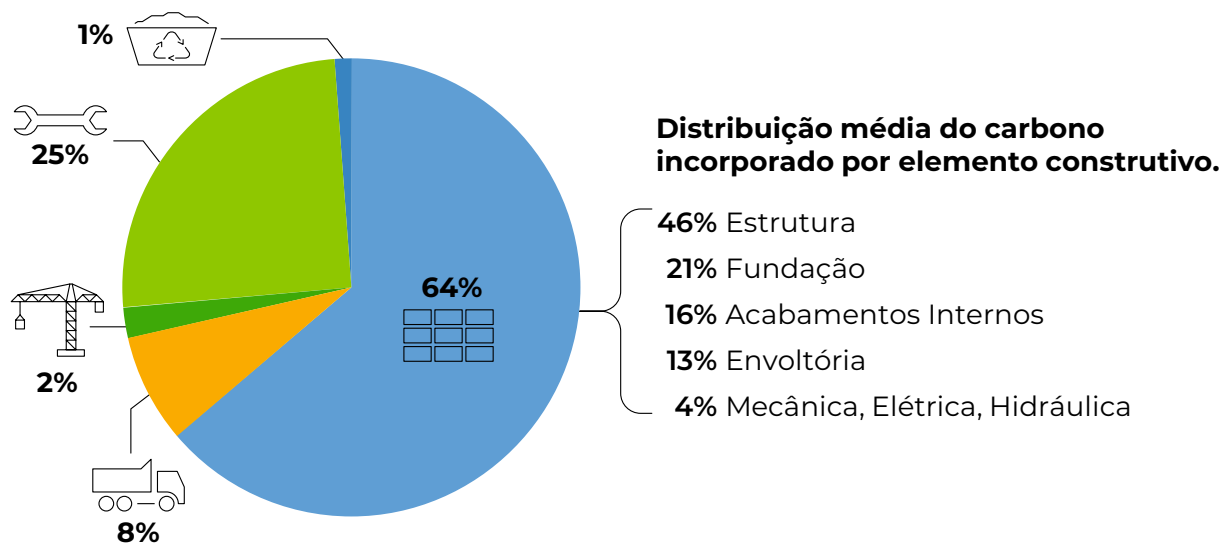
Fim de vida: demolição, desmontagem, processamento de resíduos e descarte de partes do produto ou da edificação, bem como o transporte associado a essas etapas.

EMISSÕES DE CARBONO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO



Na imagem são apresentadas, para referência, as proporções de emissão de carbono incorporado para uma edificação residencial de médio a grande porte, nas fases do ciclo de vida e por elementos (*layers*) da edificação, para uma edificação no contexto de Londres.

-  Produtos / Materiais (A1-A3)
-  Transporte (A4)
-  Construção (A5)
-  Manutenção - Substituição (B1-B5)
-  Fim de vida- descarte (C1-C4)



Carbono incorporado emissões durante o ciclo de vida útil e separado por componentes da edificação, exemplo de tipologia residencial.
 Fonte: LETI Climate Emergency Design Guide – Medium and large scale housing- pag 28.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)** é uma ferramenta usada para entender os impactos ambientais de produtos, sistemas, componentes ou até de uma edificação inteira, ao longo de todo o seu ciclo de vida útil— ou mesmo de uma parte dela. Isso inclui todas as etapas, desde a extração das matérias-primas até a fabricação, uso, manutenção e, finalmente, o descarte ou sua reciclagem.

A ACV permite medir os impactos ambientais por diferentes métricas, como:

- Potencial de aquecimento global (GWP)
- Potencial de depleção da camada de ozônio (ODP)
- Potencial de eutrofização (EP)
- Potencial de acidificação (AP)

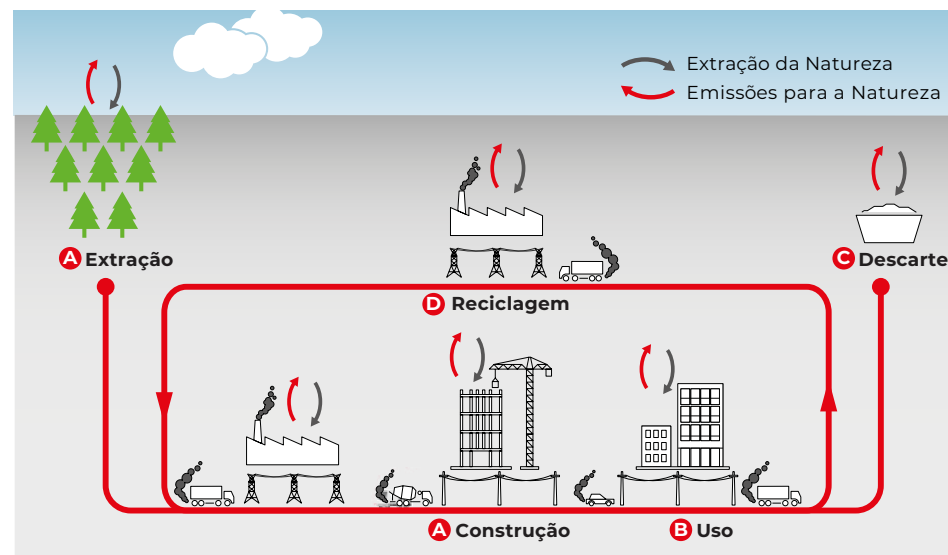
Declaração Ambiental de Produto – DAP (do inglês EPD – *Environmental Product Declaration*) é um documento registrado e verificado de forma independente, por uma terceira parte, que comunica informações transparentes e comparáveis sobre o impacto ambiental do ciclo de vida de um produto.

Seguindo normas internacionais para garantir confiabilidade e consistência. As principais referências são:

ISO 21930:2017 (*Sustainability in buildings and civil engineering works*)
Estabelece as regras fundamentais para EPDs de produtos e obras da construção.

ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 (*Life Cycle Assessment*)

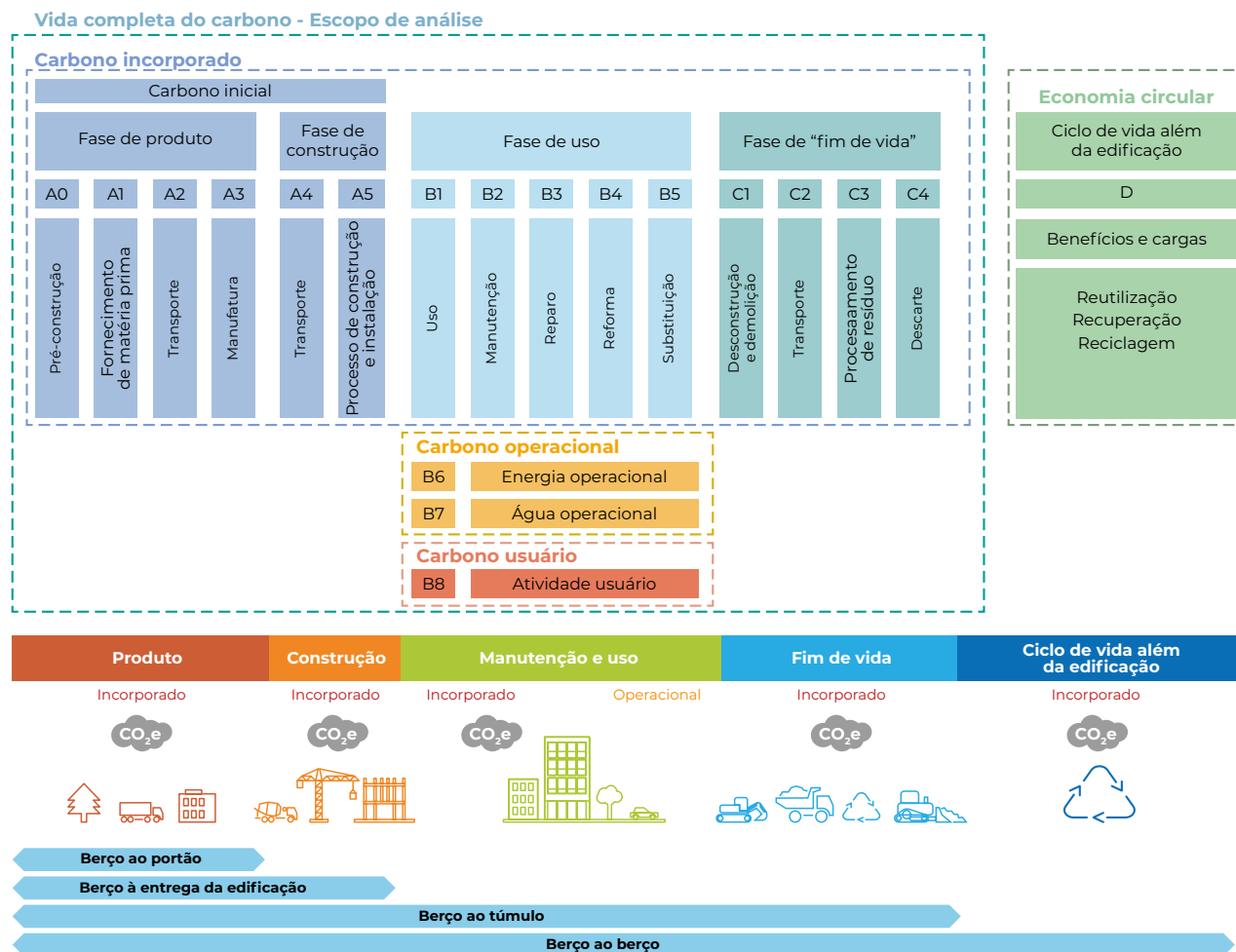
Fornecem os princípios, estrutura, requisitos e orientações para ACV, base metodológica usada na geração dos inventários e resultados que alimentam as EPDs.



Fontes de emissões por etapa do ciclo de vida (A, B, C, D) de uma edificação.

Fonte: *Life Cycle Assessment of Buildings: A Practice Guide*, com base nas definições de etapas da norma europeia EN 15978 (crédito: Meghan Lewis).

EMISSÕES DE CARBONO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO



Avaliação de Carbono no Ciclo de Vida Total (WLCA)

A Avaliação de Carbono do Ciclo de Vida Total (WLCA – *Whole Life Carbon Assessment*) considera tanto o carbono incorporado quanto as emissões associadas ao uso operacional de energia, orientando o desenvolvimento de edificações com menores emissões ao longo de toda a sua vida útil (“do berço ao túmulo”). A metodologia mensura e gerencia os impactos de carbono desde a extração e processamento de matérias-primas até operação, manutenção, demolição e potenciais reuso ou reciclagem, podendo ser aplicada a edificações inteiras ou partes específicas, como a estrutura ou envoltória.

O desempenho energético é componente representativo do WLCA, pois a eficiência reduz diretamente o carbono operacional e gera economia de custos. Integrar a análise de eficiência energética à avaliação de ciclo de vida permite estabelecer metas de descarbonização mais robustas e viáveis economicamente.

EN 15978:2011 — Limites do sistema e apresentação modular das informações nas diferentes fases da avaliação.
 Fonte: Imagem Adaptada Normativa EN 15978:2011 e New Buildings Institute | Lifecycle GHG Impacts In Building Codes. Bowles, W., K. Cheslak, and J. Edelson. 2022.

EMISSÕES DE CARBONO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO



Estruturado em módulos padronizados, o WLCA possibilita análises detalhadas e comparáveis de construção, operação, manutenção e descarte. Sua inclusão precoce no projeto é essencial para viabilizar estratégias de baixo carbono e avaliar cenários alternativos considerando viabilidade econômica, substituição de materiais e adequação técnica. Aplicável desde a concepção até execução, operação, reformas, bem como para certificações ambientais e políticas públicas. O WLCA fornece informações estratégicas para orientar decisões de projeto e do proprietário, garantindo controle abrangente sobre as emissões ao longo da vida útil da edificação.

Seguindo a estrutura modular da EN 15978:2011, e, quando necessário, a adoção dos complementos do RICS (2023), garantindo assim transparência, comparabilidade e coerência no relato de emissões ao longo de todo o ciclo de vida.

Pré-construção (A0): atividades não físicas, como levantamentos, concepção e projeto.

Produção (A1–A3): emissões da extração de matérias-primas, transporte até a fábrica e fabricação.

Construção (A4–A5): emissões associadas ao transporte de materiais/ produtos até o canteiro (A4), ao consumo de energia decorrente das atividades no local (uso de máquinas etc.) e às emissões de GEE relacionadas à produção, transporte e processamento de materiais desperdiçados no local (A5).

Uso (B1–B8): manutenção, reparos e substituições, incluindo transporte, consumo de combustível, energia e materiais associados a reformas. O consumo operacional de energia e água é medido nos estágios B6 e B7. Atividades dos usuários, como emissões de veículos e deslocamentos está incluído ao módulo B8.

Fim de Vida (C1–C4): desconstrução ou demolição, transporte, separação e descarte de materiais.

Além do Fim de Vida (D): potencial de reutilização, reciclagem ou recuperação de materiais

Carbono Incorporado versus Carbono Operacional

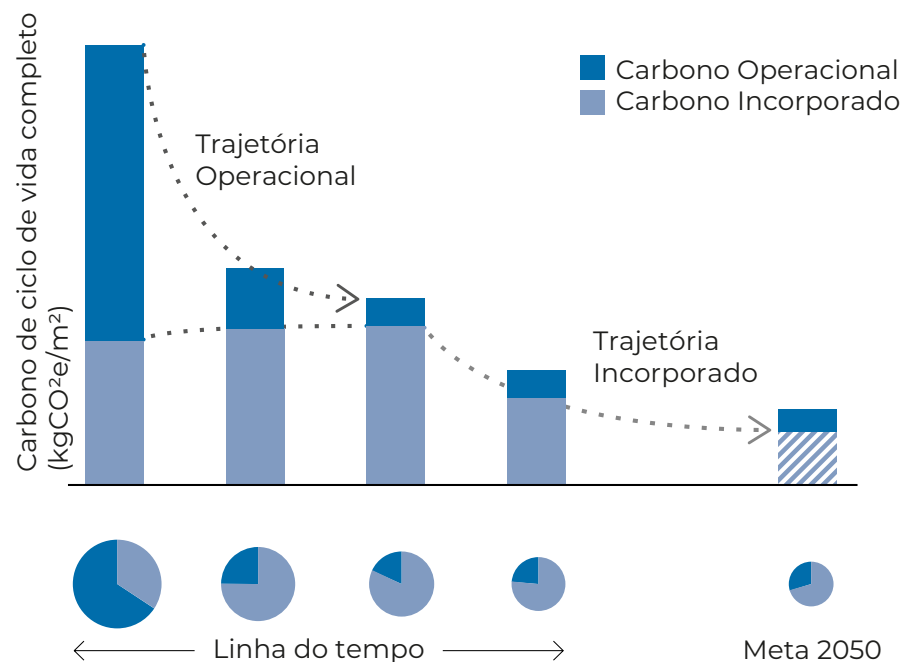


Diagrama com projeção de evolução das trajetórias e suas respectivas proporções até 2050, entre carbono operacional e incorporado.

Fonte: Adaptada LETI, Embodied Carbon Primer, 2020. pag 18.

EMISSÕES DE CARBONO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO



Tradicionalmente, o carbono operacional responde por 40%–60% das emissões totais de uma edificação, enquanto o restante se relaciona ao carbono incorporado. Nas últimas décadas, o setor do ambiente construído concentrou-se em elevar a eficiência energética, impulsionado por iniciativas, como da ASHRAE em desenvolver normas e guias para qualificação técnica com destaque para a ASHRAE 90.1, referência internacional que define requisitos mínimos para envoltória, sistemas de HVAC, iluminação e demais cargas. À medida que essas estratégias se disseminam e são implementadas, a proporção relativa do carbono incorporado tende a aumentar. A imagem ilustra essa evolução: com a redução gradual das emissões operacionais, o incorporado passa a representar parcela mais significativa do total, o que reforça a necessidade de difundir desde já o conhecimento e as práticas de baixo carbono ao longo do ciclo de vida, sobretudo nas fases de projeto, especificação e compras.

Entretanto, para avançar nessa direção, alguns desafios são identificados:

Informação e transparência de materiais (EPDs): lacunas de disponibilidade, comparabilidade e qualidade das Declarações Ambientais de Produto;

Metodologias e padronização de cálculo: adoção ainda inconsistente de procedimentos harmonizados para quantificar carbono

incorporado ao nível da edificação;

Dados e evidências aplicadas: escassez de bases confiáveis, e de estudos de caso representativos que orientem decisões de projeto, compras e contratação, com foco em reduções mensuráveis de carbono.

O que é Planejamento Estratégico de Descarbonização e por que ele é necessário?

O Planejamento Estratégico de Descarbonização (do inglês SDP – *Strategic Decarbonization Plan*) é uma abordagem que integra medidas de eficiência energética e redução de carbono ao ciclo de planejamento e gestão de ativos, alinhando intervenções técnicas ao orçamento e ao cronograma de CapEx. Ao priorizar baixo consumo de energia e executar ações junto a reformas ou substituições já previstas, é possível reduzir emissões de forma mais eficiente, e com menor necessidade de capital adicional.

Esse plano deve refletir as restrições reais do setor quanto a custos, fases de implantação e manutenção; e não se limitar a cálculos isolados de *payback*. O custo de não agir não é nulo; portanto, a análise deve sempre considerar cenários *business as usual*, identificando tanto oportunidades de economia quanto

riscos do adiamento da tomada de decisão. Todo empreendimento, seja uma nova construção ou *retrofit*, pode se beneficiar de um SDP.

Em projetos novos, o plano atua de forma preventiva, orientando escolhas de concepção que priorizam eficiência energética e evitam custos futuros.

Em retrofits, funciona como roteiro para integrar descarbonização e eficiência às intervenções inevitáveis ao longo da vida útil do ativo.

Compreender quais medidas são viáveis agora, quais devem ser evitadas e quais podem se tornar possíveis no futuro, é mais valioso do que buscar soluções perfeitas de curto prazo de tempo.

Um SDP não é um exercício técnico, mas um guia pragmático que equilibra eficiência energética, desempenho ambiental, viabilidade financeira e gestão de riscos, ajudando incorporadores e gestores a “fazerem a coisa certa” de maneira inteligente e pragmática.



MORFOLOGIA DA EDIFICAÇÃO

MORFOLOGIA DA EDIFICAÇÃO



No contexto brasileiro, a concepção da forma da edificação é fortemente condicionada pelo lote e pelos parâmetros construtivos, o que limita a liberdade de implantação. Ainda assim, a eficiência da morfologia da edificação exerce papel determinante no desempenho energético e nos custos de construção. Essa eficiência é medida pelo fator de forma A/V (área da envoltória/volume) que quantifica a relação da área exposta da envoltória com o volume total construído da edificação. Além disso, a forma básica da edificação influencia diretamente o potencial de iluminação natural, as características de transferência de calor da envoltória e, conseqüentemente, o consumo energético global da construção.

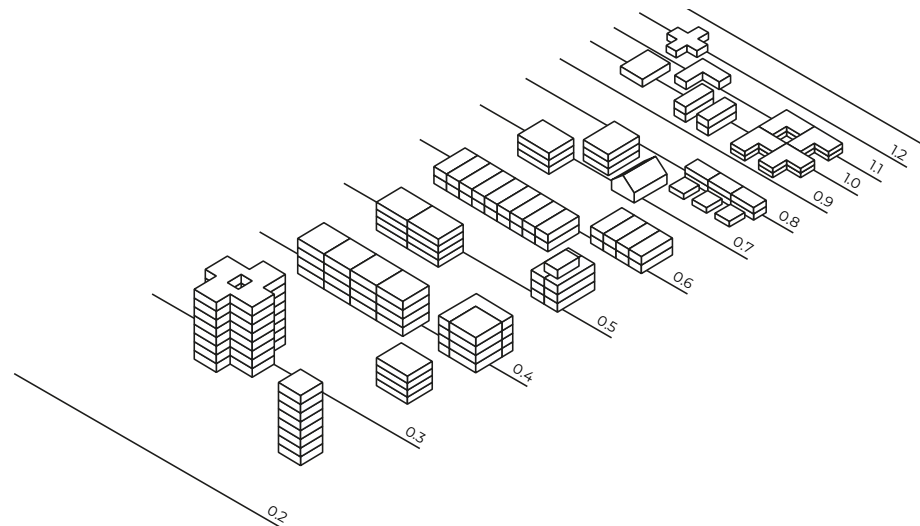
Ao considerar a morfologia da edificação quanto à eficiência energética, a envoltória pode ser vista de forma ambivalente: como passivo energético, por onde ocorrem ganhos e perdas de calor, infiltrações e entrada de radiação solar indesejada; ou como ativo estratégico, quando aproveitada para ventilação natural, iluminação e uso da inércia térmica. A depender da solução projetual, a mesma fachada pode representar risco de sobrecarga ou oportunidade de eficiência. A forma também define a área e a orientação disponíveis para janelas, além de influenciar o modo como o vento incide nas superfícies externas, podendo favorecer a ventilação natural ou implicar infiltrações indesejadas em aberturas e frestas. Pode-se categorizar a morfologia da edificação nas seguintes formas:

Formas compactas: como plantas circulares, quadradas ou retangulares, apresentam menor relação A/V , reduzindo perdas térmicas, mas limitando a profundidade útil para iluminação lateral, que pode ser compensada por átrios ou soluções de iluminação zenital.

Formas em letras: menos compactas, como plantas em H, L ou U, aumentam o potencial de iluminação natural e ventilação cruzada, mas também ampliam a exposição às variações climáticas externas, exigindo maior cuidado com o controle solar. Em edificações multifamiliares e

comerciais, morfologias articuladas, com beirais, projeções e variações volumétricas, podem oferecer auto-sombreamento, reduzindo cargas de resfriamento.

Formas alongadas: permitem plantas estreitas favorecendo o acesso à luz natural e à ventilação cruzada e a criação de corredores externos, diminuindo a área condicionada e criando espaços de convivência protegidos.



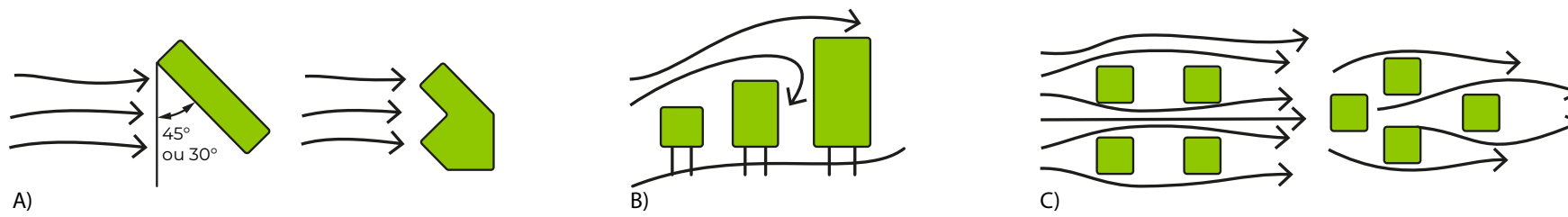
Fator de forma de diferentes morfologias de edificações.

Outra variável relevante é a área e o número de pavimentos. Edificações maiores e mais altas modificam significativamente a intensidade de uso de energia e a gama de medidas de conservação possíveis, exigindo uma avaliação integrada da morfologia, da envoltória e dos sistemas de climatização.

MORFOLOGIA DA EDIFICAÇÃO



A orientação da edificação é igualmente decisiva. Em climas tropicais, recomenda-se que as edificações sejam implantadas com seu eixo maior no sentido norte-sul, de modo a reduzir a incidência solar direta em fachadas críticas e, ao mesmo tempo, alinhar-se perpendicularmente aos ventos predominantes para maximizar o fluxo de ar e a ventilação cruzada. Em cidades tropicais, ângulos de até 30° em relação ao vento dominante ainda são eficazes, enquanto edificações com pátios internos podem ser orientadas a 45° para canalizar o vento e potencializar a ventilação.



a) As edificações devem ser implantados de modo a aproveitar os ventos predominantes locais. b) Para promover a ventilação recomenda-se a implantação de edificações em diferentes alturas e com o térreo desobstruído. c) A disposição de múltiplas edificações deve evitar a criação de zonas de sombra de vento sobre as demais, garantindo o potencial de ventilação cruzada e a renovação natural do ar.

Otimizar a forma da edificação significa equilibrar compacidade e estratégias passivas, ponderando custo inicial, desempenho operacional e valor agregado. A geometria de uma edificação não apenas influencia sua eficiência interna, mas também afeta o microclima urbano, regulando ventilação, ilhas de calor e o acesso ao sol e ao céu. Assim, a morfologia não deve ser vista apenas como escolha arquitetônica, mas como uma decisão estratégica de caráter financeiro, técnico e ambiental, capaz de alinhar eficiência operacional, competitividade imobiliária e qualidade urbana

VOCÊ SABIA?

Que unidades entre 7.5m e 10.5m de profundidade e edificações com fator de forma (A/V) inferior a 0,7 tendem a atingir maior eficiência energética.

FATOR DE FORMA

Custo de implantação	💰 💰 💰
Savings	🌱 🌱 🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas



ENVOLTÓRIA

CAPÍTULO 8:

ENVOLTÓRIA

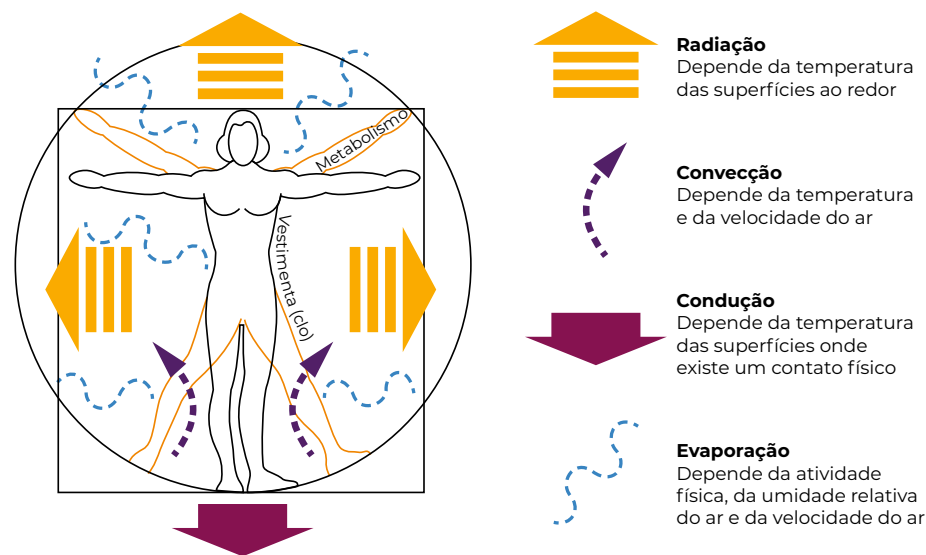


A envoltória tem impacto direto no consumo de energia, principalmente em contextos climáticos mais severos, sendo uma estratégia de redução de demanda de energia.

A envoltória da edificação harmoniza forma e função, respondendo simultaneamente aos requisitos estéticos e de desempenho do empreendimento. Sua durabilidade e eficiência dependem diretamente da adequação ao contexto climático em que se insere e da integração entre todos os seus elementos construtivos (como paredes, coberturas, pisos e aberturas) para que atuem como um sistema coeso e adaptável.

No aspecto do desempenho energético, a eficiência da envoltória constitui a base para conservação de energia nas edificações, contribuindo para otimização do comportamento térmico da edificação (Santamouris, 2009). Portanto, seu projeto deve priorizar estratégias que reduzam a transferência de calor, minimizando os ganhos térmicos no verão e as perdas no inverno.

Essa transferência ocorre sempre do ambiente mais quente para o mais frio, por meio de três mecanismos principais: **condução** (transferência por contato direto entre materiais), **convecção** (movimento do ar ou de fluídos) e **radiação** (emissão de ondas eletromagnéticas).



*Implantação das edificações em relação aos ventos.
Representação esquemática da fisiologia humana e das trocas térmicas; Fonte: LabEEE UFSC (2011).*

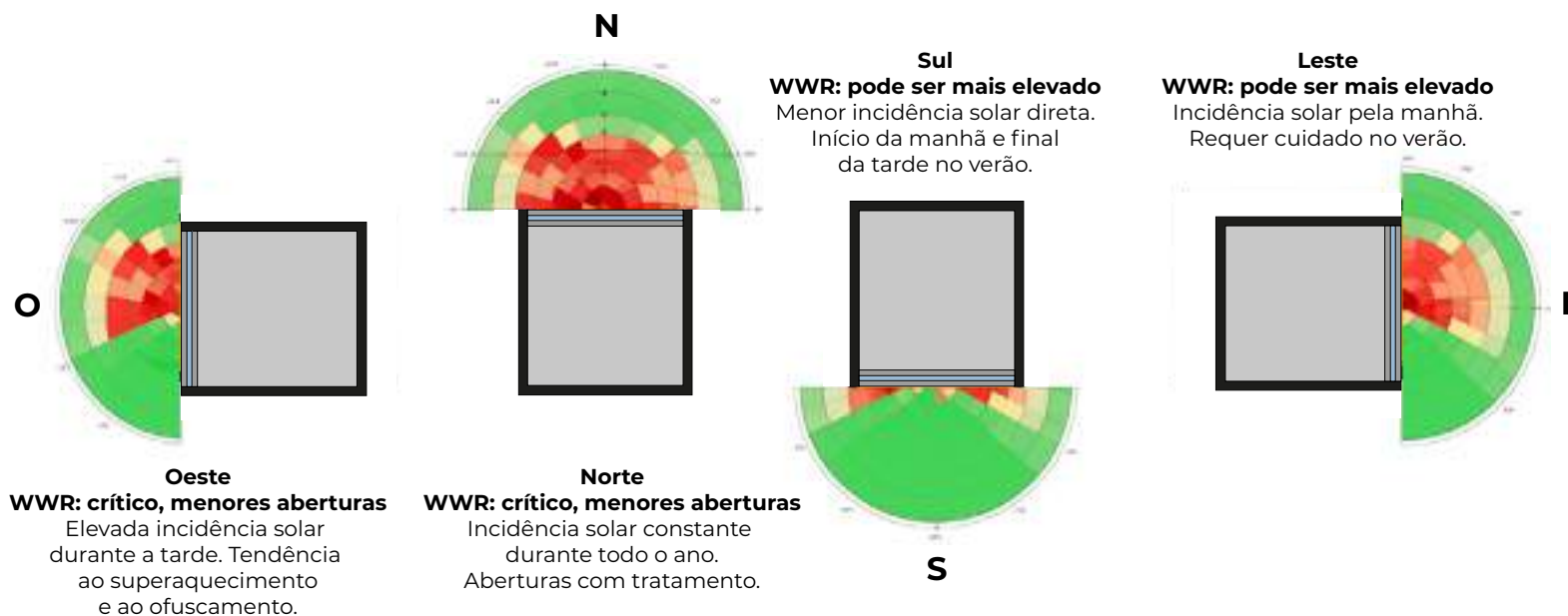
A redução da transferência de calor pela envoltória depende da combinação de quatro estratégias passivas: proporção de vidro na fachada (WWR), desempenho térmico dos materiais, sombreamento e ventilação. Sua definição deve considerar clima, orientação solar, ocupação, entorno e a interação entre elas para garantir eficiência e conforto.



RAZÃO DE VIDRO NA FACHADA (WWR – *Window-to-Wall Ratio*)

A **razão de vidro na fachada (WWR – *Window-to-Wall Ratio*)** é um indicador-chave definido nas fases iniciais de projeto e expressa a proporção entre áreas envidraçadas e a parede externa da edificação. Embora as janelas tragam benefícios como iluminação natural, visual, ventilação e valorização estética, o excesso de área translúcida pode comprometer o desempenho térmico e elevar tanto os custos de climatização quanto o investimento inicial. A razão de vidro na fachada (WWR) ideal envolve diversos fatores incluindo clima, orientação, entorno, forma da edificação, usos finais e sombreamento. A seguir, apresenta-se diretrizes gerais para avaliações iniciais de projeto, avaliações mais consistentes e efetivas devem ser realizadas a partir de simulações ambientais e estudos bioclimáticos.

Referências normativas nacionais e internacionais ajudam a balizar esse processo. Para a ASHRAE 90.1, o valor de referência inicial do WWR para residencial é 40% e para comercial varia entre 19% e 40%, a depender da área total, enquanto ABNT NBR 15575 adota a razão inicial de 17% da área de piso. No contexto brasileiro, caracterizado por alta incidência solar, um WWR mais baixo ajuda a reduzir as cargas de resfriamento e atenua a ocorrência de ofuscamento e superaquecimento, especialmente em fachadas leste e oeste.



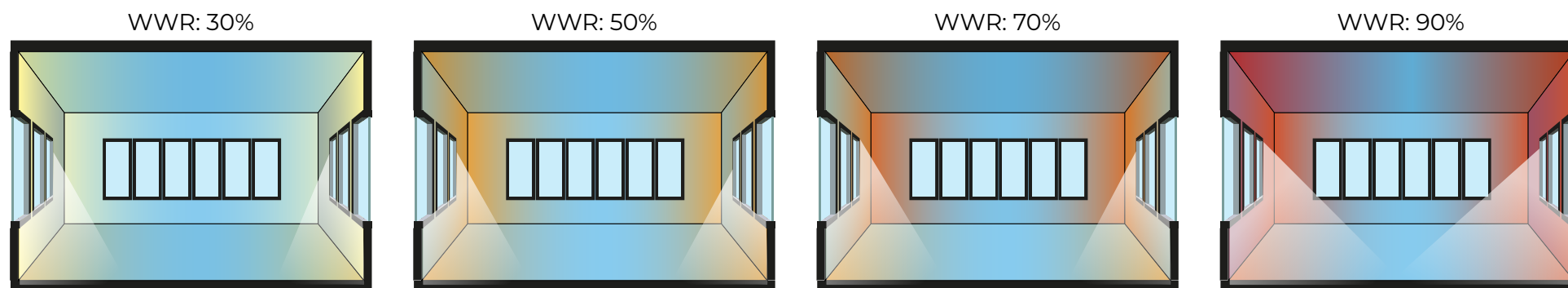
Estudos Recomendações de WWR por orientação a partir de estudos de radiação solar. Fonte: Studio Symbios.

Recomendações de WWR por orientação a partir de estudos de radiação solar.

CAPÍTULO 8: ENVOLTÓRIA



Em edificações multifamiliares, o WWR tende a ser inferior ao de edificações comerciais, exceto nas paredes externas com amplas aberturas de acesso a varandas e terraços, que podem atingir valores superiores a 70% de WWR, ficando assim altamente suscetíveis ao superaquecimento. Dessa forma, adotar um WWR adequado com base em avaliações integradas garante a construção de ambientes confortáveis, com menor custo operacional e maior valorização do empreendimento ao longo de seu ciclo de vida.



Fonte: ABRAIN.

VOCÊ SABIA?

Que nem sempre o aumento de área envidraçada se traduz em melhor iluminação natural, o aumento pode resultar em elevado ofuscamento por excesso ou pela má distribuição de luz. A quantidade, posicionamento e altura das aberturas influenciam mais na distribuição e qualidade da luz natural do que a área de vidro em si.

RAZÃO DE VIDRO DA FACHADA (WWR) < 40%

Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	🌱 🌱 🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas



DESEMPENHO TÉRMICO DOS MATERIAIS

Parte da radiação solar, seja direta ou difusa, incidente sobre a edificação é transmitida para o interior, constituindo uma fração significativa dos ganhos térmicos (carga térmica) e influenciando diretamente as condições internas de conforto. A intensidade desses ganhos varia de acordo com a potência da radiação incidente e com as propriedades térmicas dos paramentos da construção, sendo determinante para o conforto térmico e para o desempenho energético da edificação.

Os elementos que compõem a envoltória, quando expostos à radiação solar, podem ser classificados como opacos ou translúcidos/transparentes. O comportamento térmico desses elementos depende diretamente das propriedades físicas e térmicas dos materiais que os constituem, as quais determinam a quantidade de calor absorvida, refletida ou transmitida. Assim, a escolha adequada dos materiais e o entendimento de suas propriedades são fatores-chave para controlar os ganhos solares e otimizar o desempenho térmico da edificação (Lamberts, 2004).

Nos elementos opacos a transmissão de calor ocorre quando há diferença entre as temperaturas superficiais, no caso de vedações externas, essa diferença se dá entre as superfícies internas e externas. O fluxo de calor sempre ocorrerá no sentido da superfície mais quente para a mais fria e terá ações diferentes, podendo transmitir, refletir, absorver e reemitir a radiação térmica incidente.

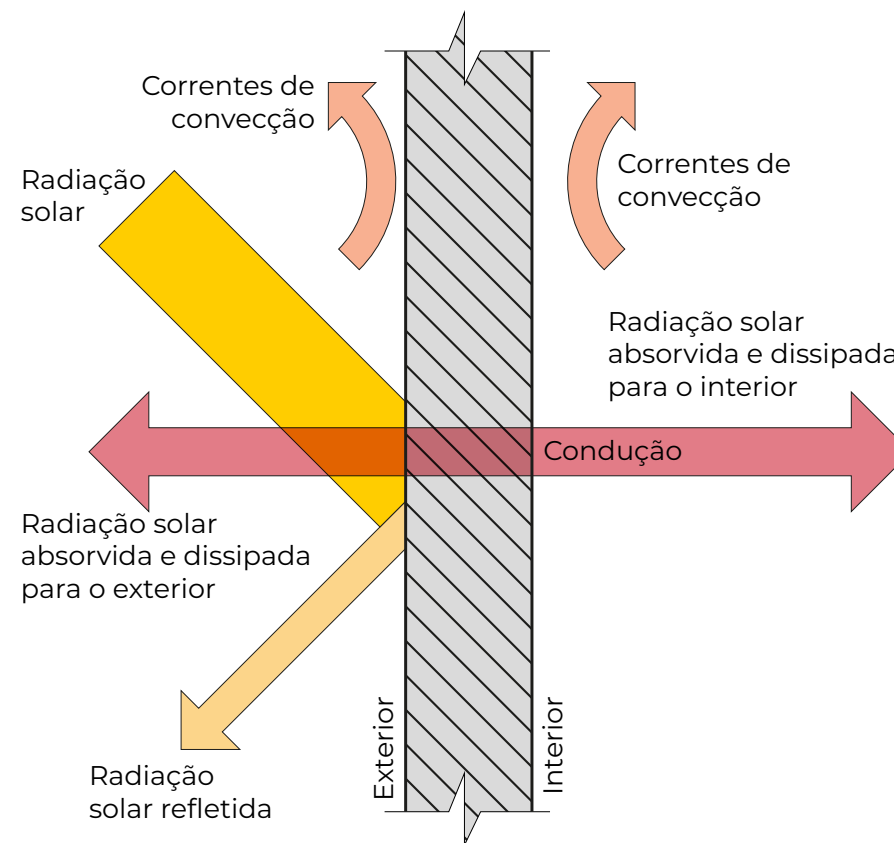


Diagrama esquemático de trocas de calor em elementos opacos.
Fonte: Imagem adaptada de Frota, 2009

CAPÍTULO 8: ENVOLTÓRIA



OPACOS

As propriedades térmicas dos elementos opacos de vedação que mais influenciam a eficiência térmica das envoltórias são:

- Cor da fachada – externa (absortância)
- Transmitância térmica / Resistência térmica
- Massa térmica / Inércia térmica

Cor da Fachada

A cor da fachada, tanto de paredes como de cobertura, é predominante na absorvidade da radiação incidente (de onda curta) e expressa pelo albedo e pela Absortância solar (α). Para a avaliação do desempenho térmico dos ambientes internos, o impacto das cores é quantificado pela absorptância solar. A parcela da radiação solar absorvida por certo material será responsável por aquecê-lo, sendo parcialmente re-emitido para fora e emitido para dentro.

Cores escuras, por apresentarem alta absorptância e baixo albedo, absorvem uma quantidade maior de radiação solar e convertem essa energia em calor, contribuindo para o aumento da temperatura das superfícies e, conseqüentemente, do ar circundante. Em climas quentes, seu uso não é recomendado, especialmente em fachadas voltadas para cômodos de longa permanência, como dormitórios e salas, pois favorecem o aquecimento interno e podem comprometer o conforto térmico. Além disso, em escala urbana, a aplicação extensiva de cores escuras em fachadas e coberturas intensifica o fenômeno das ilhas de calor.

VOCÊ SABIA?

A absorptância é o inverso da refletância, sendo a refletância responsável pela reflexão da luz (natural e artificial). Dessa forma, cores claras contribuem para a redução da carga solar e para a iluminação dos ambientes.

Absortância | α $\alpha + \rho = 1$

Cor clara
 $\alpha \leq 0,35$



Cor média
 $0,35 > \alpha < 0,75$



Cor escura
 $\alpha \geq 0,75$



ABSORTÂNCIA (α)

	Claras	Escuras
Custo de implantação	3 \$	3 \$
Savings	3 \$	3 \$
Redução de Carbono Operacional	3 CO ₂	3 CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Zonas 1 a 6	Zonas 1 e 2
Tipologia	Todas	Todas

CAPÍTULO 8:

ENVOLTÓRIA



Transmitância térmica (U) | W/m²K

A transmitância térmica global, (U-value) é uma das variáveis mais importante na avaliação do desempenho térmico das vedações opacas e é o inverso da resistência térmica. Através desta variável é possível avaliar a transmissão de calor em qualquer material, mensurando a capacidade do material de conduzir calor. Este fluxo é induzido pelo diferencial de temperatura entre os ambientes.

Valores baixos de transmitância indicam uma maior resistência do fluxo de calor em atravessar o componente, representando uma maior capacidade de isolamento térmico do componente construtivo. A seguir apresenta-se as transmitâncias térmicas de soluções construtivas comuns do mercado. Observa-se que em materiais com camadas de ar, como blocos, e/ou materiais isolantes em suas composições os u-values são menores, que tendem a apresentar melhor desempenho térmico.

Vedações Verticais – Blocos



BLOCO	U (w/m°C)	C (w/m°C)
Concreto	2,78	209
Tijolo	2,46	150

Vedações Verticais – Isolantes



ISOLANTE	U (w/m°C)	C (w/m°C)
Concreto	0,69	224
Tijolo	0,31	106

Vedações Horizontais – Lajes



ISOLANTE	U (w/m°C)	C (w/m°C)
Concreto	3,73	220
Pré-moldada	2,95	167

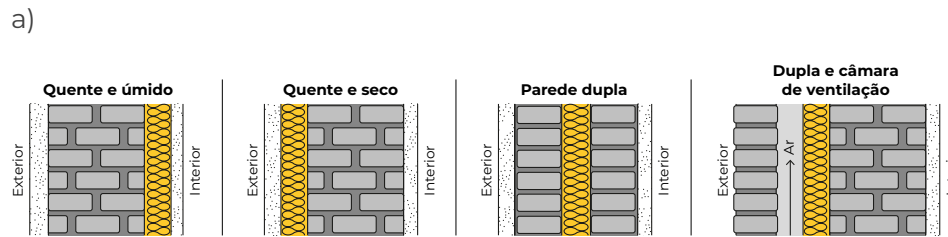
ISOLANTE	U (w/m°C)	C (w/m°C)
Nervurada	2,22	278
Verde	2,18	363

Referência de propriedades térmicas das soluções construtivas de vedações padrões brasileiras.
Fonte: Anexo V do INMETRO.

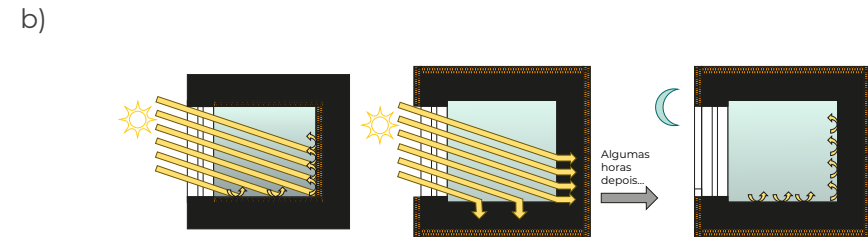
CAPÍTULO 8: ENVOLTÓRIA



O uso de isolantes térmicos na composição das vedações contribui para a diminuição da transmitância térmica, sendo materiais de baixa densidade, ou seja, bastante porosos, dificultando a transferência de calor. Os isolantes térmicos são recomendados em regiões de climas mais severos e/ou com baixa amplitude térmica, em que se deseja isolar o ambiente interno do externo. É importante ressaltar, que o posicionamento da camada isolante na composição dos materiais também influencia no desempenho da envoltória, como ilustrado a seguir:



a) O Isolamento térmico terá maior eficácia de acordo com sua localização na composição da vedação e de acordo com o clima. Climas quentes e úmido, com amplitude térmica baixa, o adequado é a aplicação do isolamento na fase interna. Já em climas com elevada amplitude térmica o adequado é externo. Soluções com parede dupla ou câmaras de ventilação permitem a combinação do efeito de isolamento e massa térmica.



b) Isolamento Interno funciona como "tampa de reservatório". Impede que o calor interno seja absorvido pelas paredes.

VOCÊ SABIA?

Que isolantes térmicos tendem a ter maior carbono incorporado.

TRANSMISSÃO TÉRMICA (U)

U-value Baixo U <2.7

Custo de implantação	\$\$\$
Savings	●●●
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas

CAPÍTULO 8:

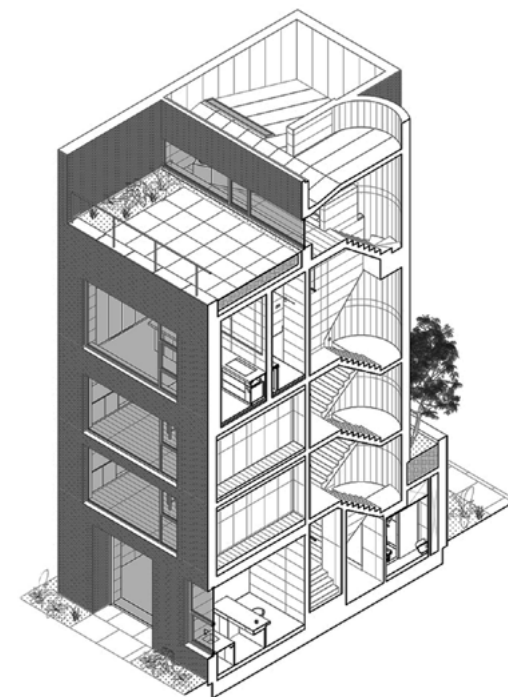
ENVOLTÓRIA



Inércia Térmica

Uma edificação de elevada inércia térmica proporcionará uma diminuição das amplitudes térmicas internas e um atraso térmico no fluxo de calor devido a sua alta capacidade de reter calor (capacidade térmica – C). Assim, o pico de temperatura interna apresenta um atraso e um amortecimento térmico em relação ao pico externo.

A inércia térmica total da edificação é resultante do conjunto de materiais que compõem os vários sistemas da envoltória, que devem ser compostos por materiais densos com elevada capacidade térmica.



Exemplo de soluções construtivas modernas de elevada capacidade térmica.

Casa Crua / Order Matter. Fotografia: Simone Bossi. Origem: <https://www.archdaily.com.br/br/1030926/casa-crua-order-matter>

CAPÍTULO 8: ENVOLTÓRIA



Essa é uma estratégia desejável em contextos climáticos com altas amplitudes de temperatura diárias, como climas quentes e secos.

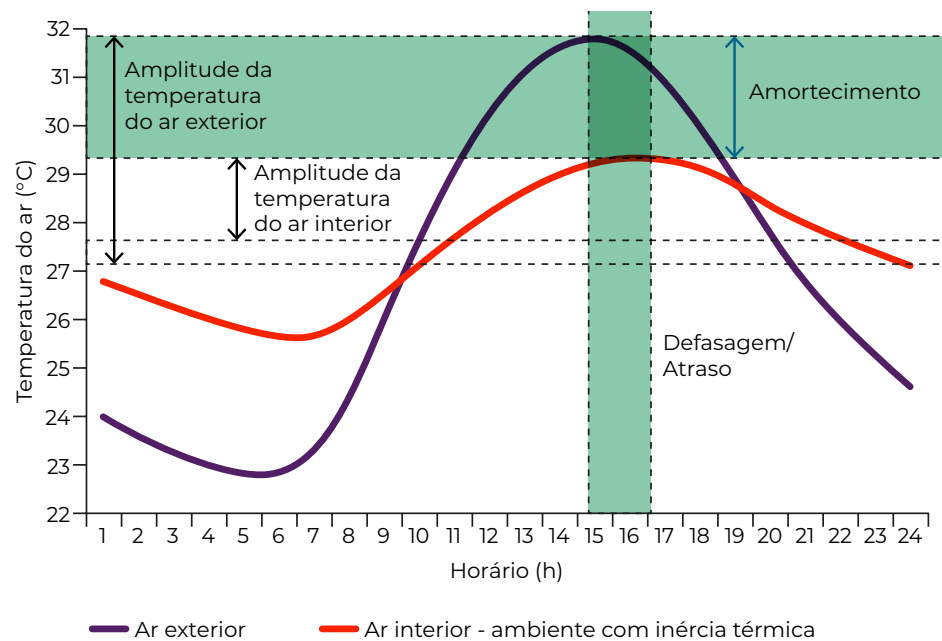


Gráfico ilustrativo dos efeitos de atraso e amortecimento térmico devido à atuação da massa térmica.

INÉRCIA TÉRMICA		
	Leve	Pesada
Custo de implantação	\$ \$ \$	\$ \$ \$
Savings	🌱 🌱 🌱	🌱 🌱 🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Baixa Amplitude Térmica	Alta Amplitude Térmica
Tipologia	Todas	Todas

VOCÊ SABIA?

A localização do isolante térmico na composição das vedações é importante para não eliminar o efeito da massa térmica, tornando-a ineficaz para o conforto interno.



TRANSLÚCIDOS

Nos elementos translúcidos, que normalmente são vidros nas edificações, a radiação solar é o fator crítico na transferência de calor ao permitirem a passagem direta de parte dessa radiação para o interior dos ambientes. Esse fenômeno, de difícil controle, pode provocar superaquecimento no verão e perdas significativas de calor no inverno. Além disso, por serem bons condutores térmicos (alta transmitância térmica – U), as trocas de calor ocorrem de forma mais rápida e intensa do que em elementos opacos, tornando-se pontos sensíveis no desempenho térmico da edificação.

Para avaliar e especificar corretamente vidros em projetos, seguem alguns parâmetros técnicos que possibilitam uma compreensão rápida e global desses materiais:

Fator solar (FS): indica o percentual da radiação solar transmitida através do vidro. Quanto menor o valor de FS, menor o ganho de calor interno, o que é vantajoso em climas quentes.

Coefficiente de ganho de calor solar (SHGC): representa a fração da radiação solar global que, após ser transmitida, absorvida e reemitida pelo vidro, converte-se em calor no interior. Um valor mais baixo de SHGC significa maior eficácia no bloqueio de calor solar.

Transmitância visível (VT): mede a fração de luz natural que atravessa o vidro. Como a VT está relacionada ao SHGC, muitas vezes analisa-se a razão VT/SHGC em vez de avaliá-los isoladamente, para equilibrar entrada de luz e controle térmico.

Índice de Seletividade (IS): compara a quantidade de luz visível transmitida em relação ao calor admitido, por meio da razão VT/FS. Quanto mais alto for o IS, maior a proporção de luz visível que penetra em relação ao calor.

Exemplo prático:

- IS = 1 luz e o calor penetram na mesma proporção.
- IS = 2 entra **duas vezes mais luz visível do que calor**, o que traduz melhor desempenho energético e de conforto.

Esses índices são cruciais para decisões de projeto, pois impactam diretamente em conforto dos usuários, eficiência energética e, conseqüentemente, nos custos de climatização e operação da edificação.



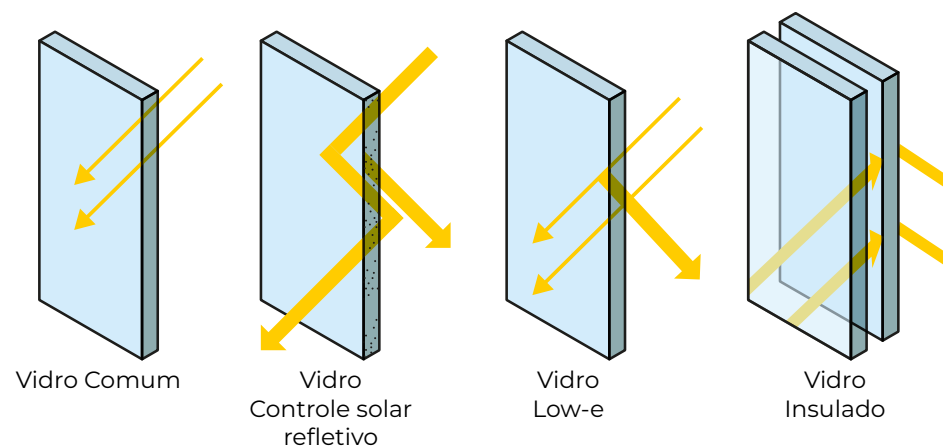
Principais tipos de vidro para edificações

Vidros Comuns: baixo desempenho térmico, com FS em torno de 0,87. Podem ser incolores (*float*) ou pigmentados (bronze, cinza, verde, azul). Mais acessíveis (faixa de valor estimado R\$200-R\$350/m², mas energeticamente pouco eficientes.

Vidros de Controle Solar: incluem refletivos, *low-e* (com revestimento que reduz perdas no inverno e ganhos no verão, mantendo transparência) e espectralmente seletivos (alta razão VT/SHGC). Indicados para equilibrar conforto e eficiência energética. Maior investimento sendo os refletivos na faixa estimada de R\$350-R\$550/m²; Os modelos de alto desempenho *low-e*, especialmente com revestimentos metálicos ou múltiplas camadas, podem alcançar preços bastante elevados na faixa de R\$ 4000/m².

Vidros Laminados: formados por duas ou mais lâminas unidas por película plástica (PVB). Além da segurança, podem combinar vidros comuns ou de controle solar, agregando resistência e desempenho. Custo variado a depender da espessura e composição das lâminas.

Vidros Insulados (duplos ou triplos): compostos por múltiplas lâminas separadas por câmaras de gás, que funcionam como barreira térmica e acústica. Podem integrar vidros distintos, aumentando a performance, mas com maior custo inicial. É um tipo de vidro que impacta o peso do caixilho, e assim os custos com estrutura e caixilharia. Semelhante ao laminado, variando com o tipo de câmara, revestimentos adicionais e qualidade da selagem, o custo estimado iniciando em R\$ 450/m²



Ilustrações esquemáticas dos tipos de vidros. Fonte: gerado no chatgpt.

Vidros Especiais

Vidros Eletrocrômicos: alteram a transparência com estímulo elétrico, permitindo controle dinâmico da entrada de luz e calor.

Vidros Fotovoltaicos: integram células que geram energia, unindo função de fechamento com produção energética.



O ponto central é que a escolha do vidro não é apenas uma questão estética, mas uma decisão estratégica que afeta:

1. **Investimento inicial:** vidros mais tecnológicos custam mais.
2. **Custos operacionais:** redução significativa de gastos com climatização e iluminação.
3. **Valor de mercado:** imóveis com melhor conforto ambiental e eficiência energética têm maior valorização e atratividade.

VOCÊ SABIA?

Utilizar vidro de alto desempenho em todas as fachadas tende a não ser eficaz e um desperdício financeiro. Uma boa estratégia técnico-financeira é especificar o desempenho do vidro por orientação a partir de análises termo energéticas integradas às de iluminação

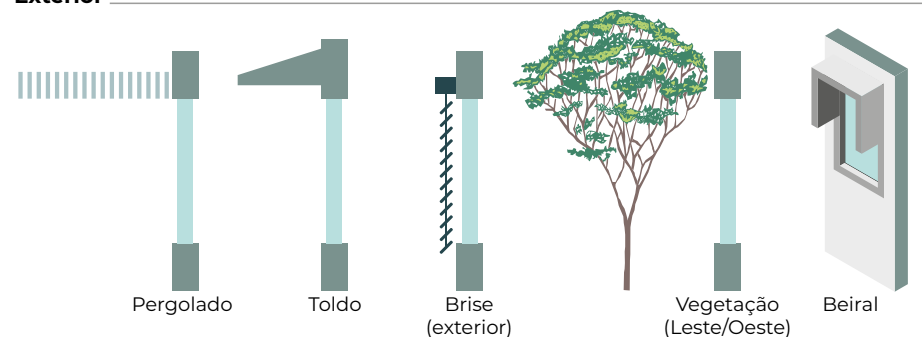


SOMBREAMENTO

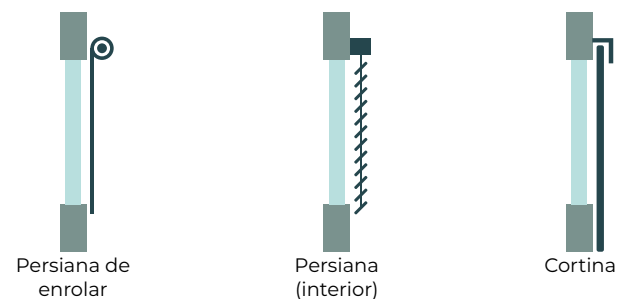
O sombreamento é um conjunto de estratégias voltadas ao controle da radiação solar incidente na envoltória, tanto em elementos translúcidos (vidros) quanto em elementos opacos. Seu dimensionamento deve considerar variáveis como orientação solar, entorno edificado, vegetação, relevo, bem como a carga térmica interna dos ambientes. Em alguns casos, o sombreamento é resultante da existência de ambientes de transição, como varandas, sacadas e terraços, e não necessariamente pela inserção de dispositivos projetados exclusivamente para esse fim.

As soluções de sombreamento podem ser voltadas também às partes opacas da envoltória, principalmente nas orientações com maiores ganhos solares e em climas quentes. Há diversas formas de fornecer sombreamento incluindo beirais, estruturas de sombreamento, brises, persianas externas e paisagismo. Estratégias de sombreamento externo são mais eficazes na redução de ganhos solares do que soluções internas, pois bloqueiam a radiação antes que ela atravesse o vidro.

Exterior



Interior

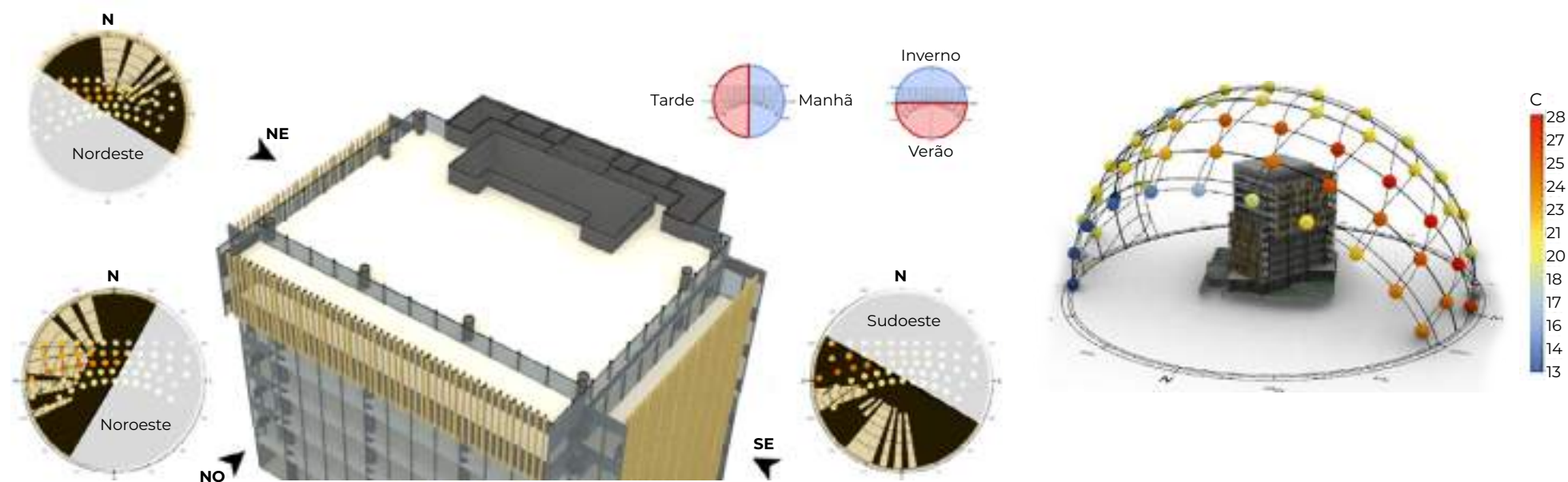


Ilustrações esquemáticas de soluções padrões de sombreamento.

CAPÍTULO 8: ENVOLTÓRIA



Quando bem dimensionado, o sombreamento contribui para a redução de ganhos solares excessivos, mitigando o ofuscamento, promovendo uma distribuição equilibrada da iluminação natural e, como consequência, a melhoria da eficiência energética e do conforto dos usuários. A eficácia de um sistema de sombreamento está correlacionada com o ângulo de corte capaz de bloquear a radiação solar nos períodos mais críticos. Ao associar a trajetória solar anual às temperaturas externas, é possível identificar mais facilmente os momentos de maior demanda térmica e propor soluções ajustadas para cada fachada e uso.



*Simulações de trajetória solar associada às temperaturas de ar para estudos de sombreamento das aberturas em três fachadas do empreendimento.
Fonte: Studio Symbios.*



Metodologias de Análise de Sombreamento

A escolha da metodologia depende da fase de projeto e do nível de precisão desejado:

- **Cálculos manuais:** utilizam princípios básicos de geometria solar, sendo adequados em etapas iniciais. Algumas regras práticas orientam esse processo, como identificar os períodos críticos (manhã/leste, tarde/oeste) e priorizar proteções horizontais para fachadas norte e verticais para leste/oeste em regiões do hemisfério sul.
- **Simulações preliminares:** ferramentas simplificadas permitem análises rápidas, como estudos de acesso ao sol e ao céu, radiação incidente, horas de insolação, mascaramento e trajetória solar (*sunpath*). Oferecem maior precisão que os cálculos manuais e auxiliam nas primeiras definições projetuais.
- **Ferramentas avançadas de avaliação:** simulações integradas e parametrizadas possibilitam prever cenários dinâmicos ao longo do tempo, considerando clima real, condições do entorno e a interação entre parâmetros projetuais. São recursos que permitem desenvolver estratégias automatizadas, como fachadas responsivas e brises móveis, oferecendo maior precisão e flexibilidade nas soluções adotadas.

Decisões Estratégicas Orientadas pela Análise

Os resultados de um estudo de sombreamento embasam decisões críticas de projeto, tais como:

- **Orientação e forma da edificação;**
- **Localização e proporção de janelas (WWR);**
- **Dimensionamento de dispositivos de proteção solar;**
- **Qualificação de espaços externos;**
- **Avaliação de impactos urbanos em praças, parques e edificações vizinhas.**

Um estudo de sombras bem executado pode reduzir em até 30% a demanda de climatização, trazendo economias operacionais relevantes. Para que os resultados sejam efetivos na tomada de decisão em nível executivo, devem ser apresentados como indicadores objetivos: redução de carga térmica, impacto no consumo energético (kWh/m²-ano), retorno sobre investimento (ROI) e efeitos sobre certificações de sustentabilidade.



Fachadas Adaptadas ao Clima

As fachadas adaptadas ao clima buscam o desenvolvimento de envoltórias que respondam à dinâmica climática de preferência promovendo uma implementação e manutenção simples. Além das soluções fixas, surgem as fachadas responsivas, compostas por elementos dinâmicos que se adaptam em tempo real às condições ambientais.

- **Componentes cinéticos:** painéis que giram, se inclinam ou se movimentam de forma programada, muitas vezes inspirados em sistemas biológicos da natureza.
- **Materiais inteligentes:** vidros eletrocromáticos ou termocromáticos, capazes de variar sua opacidade em resposta a estímulos elétricos ou à temperatura.

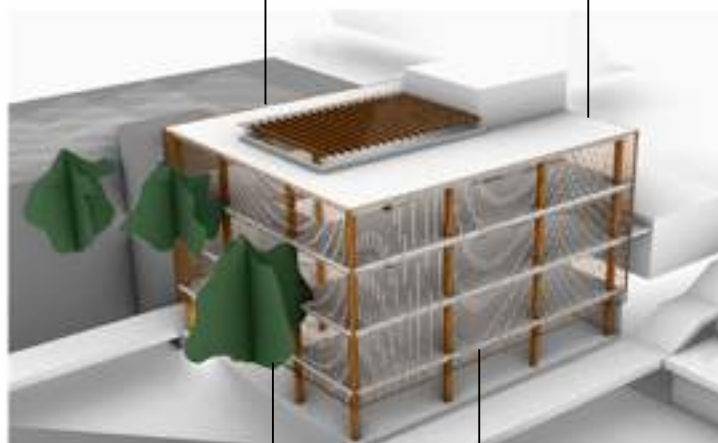
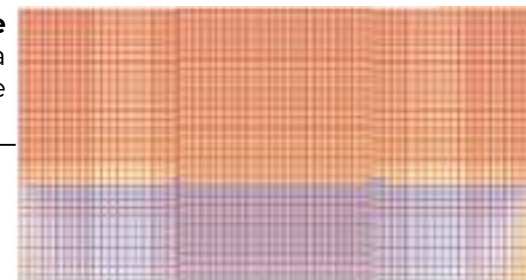
VOCÊ SABIA?

Que o sombreamento aumenta a durabilidade da envoltória (menor degradação por UV) e pode diminuir o CAPEX de HVAC por *downsizing* de equipamentos.



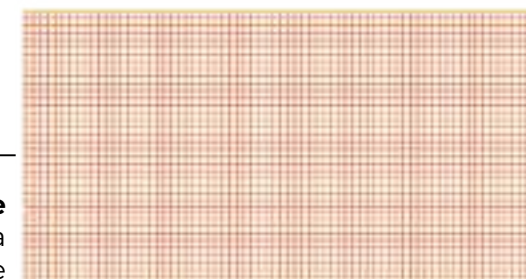
Fachada Norte
Proteção variada
80% - 58% permeabilidade

Fachada Leste
Proteção variada
80% - 58% permeabilidade



Fachada Oeste (com árvore)
Maior proteção
58% permeabilidade

Fachada Leste
Proteção média
77% permeabilidade



Avaliações de Fachadas adaptadas ao clima. Fonte: Studio Symbios.

Edificação educacional naturalmente ventilada com fachada solta e sombreada por elementos cerâmicos vazados fixos, que contribuem ao desempenho energético. Para definição da composição e desenho final da fachada, foram realizadas simulações parametrizadas exploratórias para otimização da permeabilidade dos elementos vazados minimizando exposição solar e maximizando ventilação e iluminação natural. O impacto da insolação, e do sombreamento das edificações implantadas no seu entorno, bem como da maciço de vegetação, também resultaram no desenho final das fachadas.

Essas soluções permitem reduzir significativamente o consumo energético com climatização e iluminação, ao mesmo tempo em que elevam o nível de conforto dos usuários. Não obstante, posicionam a edificação como referência em inovação e sustentabilidade, fortalecendo sua imagem corporativa e seu valor no mercado imobiliário.



VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural é, depois do sombreamento, a estratégia bioclimática mais relevante para o contexto brasileiro (Lamberts, 2004), sendo eficaz em regiões cuja temperatura externa varia entre 20°C e 32°C, faixa predominante na maior parte do território nacional. Trata-se de uma solução de baixo consumo energético que utiliza diferenças de pressão do vento e de temperatura para promover a renovação do ar interno e o resfriamento dos ambientes, com mínima ou nenhuma intervenção mecânica.

Quando projetada adequadamente, a ventilação natural reduz CAPEX (investimento inicial em HVAC) e OPEX (custos operacionais com energia), melhora o conforto térmico, a qualidade do ar interno (QAI), reduz carga térmica e, conseqüentemente a capacidade instalada de ar-condicionado. Por outro lado, erros de dimensionamento podem comprometer o desempenho, acarretando desconforto, ruído, infiltrações e baixa qualidade do ar interno. Riscos além dos fatores técnico-financeiros podem afetar a saúde dos usuários, caso a solução seja inadequada.

A ventilação natural serve a diferentes objetivos, desde a garantia de ar fresco para preservar a qualidade interna até o resfriamento passivo no verão. Há um amplo range de complexidade de projetos voltados às edificações naturalmente ventiladas, desde sistemas simples com janelas manuais, a soluções sofisticadas, integradas a sistemas de automação predial (BMS), incluindo mecanismos como resfriamento evaporativo ou chaminés solares.

Outro parâmetro relevante na definição das estratégias de ventilação é a experiência dos usuários, visto que edificações naturalmente ventiladas têm menor incidência da "síndrome da edificação doente" e favorecem a saúde ocupacional, como evidenciado durante a pandemia de COVID-19. Além disso, tendem a ser preferidas por seus usuários quando comparadas a ambientes totalmente climatizados.

CAPÍTULO 8:

ENVOLTÓRIA



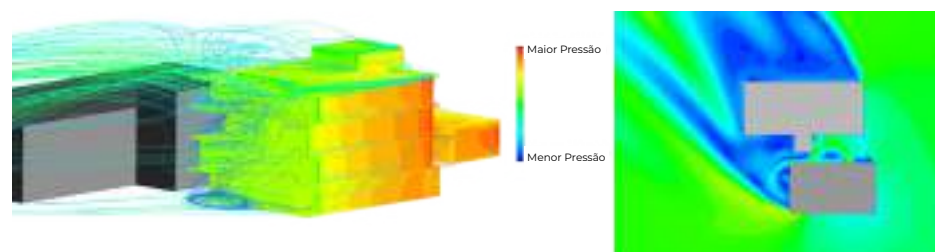
Do ponto de vista técnico, a aplicação exige uma avaliação de viabilidade detalhada antes da inserção de tal estratégia considerando três abordagens:

1. **Local:** microclima, ruído externo, umidade do ar, qualidade do ar, radiação solar e regime de ventos.
2. **Edificação:** orientação solar, WWR (relação janela-parede), profundidade da planta, compartimentação, tipos de aberturas, sombreamento e proteção contra ruído e chuvas.
3. **Sistemas:** integração com HVAC, BMS e controles de automação, prevendo o comportamento do usuário e sensores de temperatura, CO2 e umidade.

A estratégia pode ser dividida em três modelos:

- **Manual:** menor custo, depende da interação do usuário.
- **Automática:** sensores controlam aberturas de forma responsiva.
- **Mixed-mode:** combina ventilação natural e mecânica conforme condições externas.

A eficiência depende do correto entendimento do contexto climático combinada a aplicação cuidadosa de princípios como ventilação cruzada, efeito chaminé e ventilação unilateral, ajustados à profundidade da planta e à disposição interna. Modelagens computacionais, como às dinâmicas dos fluídos dinâmicos (CFD), ilustrada abaixo e simulações energéticas auxiliam na previsão e otimização do desempenho. Avaliações por CFD permitem avaliar os fluxos de ar, apresentando as pressões de ar na fachada, estratificação de temperaturas, velocidade e direção de ar.



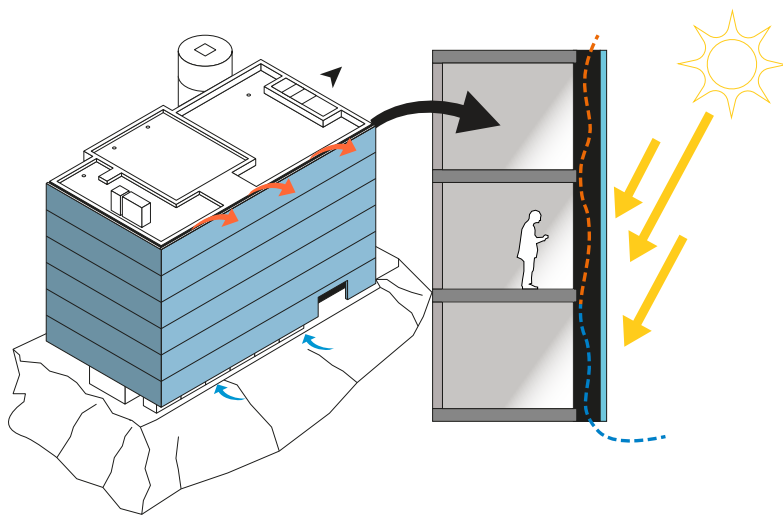
Estudos de ventos por simulações de CFD, na fachada do empreendimento.
Fonte: Studio Symbios.

CAPÍTULO 8:

ENVOLTÓRIA



Por fim, o sucesso da estratégia depende de um sistema de controle eficaz e da capacidade adaptativa dos usuários. Introdução da ventilação natural ou do *mixed-mode* deve considerar aspectos regulatórios, de segurança, manutenção, controle do conforto adaptativo (conforme ASHRAE 55) e monitoramento pós-ocupação (POE), em especial nas edificações comerciais. Ainda no contexto corporativo, a ventilação natural de escritórios pode fazer parte de uma estratégia para neutralidade de carbono e sustentabilidade operacional, sendo utilizada diretamente ao conforto do usuário ou exclusivamente para redução de carga térmica. Estratégias como *mixed-mode* e edificações naturalmente ventiladas com aberturas operáveis contribuem para a movimentação do ar no interior, enquanto fachadas ventiladas e o resfriamento noturno podem se restringir a atenuar a carga térmica, sem interação com os usuários.



Estudos de fachada ventilada em edificação corporativa com envoltória dupla envidraçada.
Fonte: Studio Symbios.

Para tomadores de decisão, investir em ventilação natural é apostar em uma solução de alto impacto econômico, ambiental e social, que pode tornar as edificações mais resilientes, eficientes e saudáveis.

VENTILAÇÃO

Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	🌱 🌱 🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Moderadas
Tipologia	Todas

VOCÊ SABIA?

Você sabia: que a eficiência da ventilação natural está atrelada à profundidade da planta e ao layout interno. Regras práticas para ventilação efetiva em aberturas laterais:

- **Unilaterais, a profundidade da planta deve ser aproximadamente 2 x pé-direito.**
- **Bilaterais, a profundidade efetiva é 2.5 x o pé-direito.**



ILUMINAÇÃO NATURAL

Embora a iluminação artificial possa suprir as necessidades visuais, soluções baseadas exclusivamente nesta estratégia, acarretam custos operacionais e de manutenção significativamente mais altos, além de reduzirem a integração da edificação com o ambiente externo. Em contrapartida, a iluminação natural, quando devidamente incorporada ao projeto, transforma-se em um ativo estratégico de valor, capaz de reduzir o consumo de energia, melhorar o bem-estar e a produtividade dos usuários e reforçar a sustentabilidade do empreendimento. Projetos bem concebidos utilizam a luz natural desde as etapas iniciais de concepção, integrando-a às demais estratégias bioclimáticas. Decisões sobre morfologia da edificação, acabamentos e cores, distribuição espacial, orientação e materiais impactam a eficácia da iluminação natural.

Em edificações multifamiliares ou corporativas de múltiplos pavimentos, estudos indicam que até cinco metros de profundidade a partir da fachada podem ser plenamente iluminados com luz natural, enquanto áreas além desse limite, recebem iluminação parcial. Assim, a definição da profundidade da planta e da disposição das aberturas tem impacto significativo no desempenho da luz natural.

Apesar de abundante no Brasil, a luz natural ainda é pouco explorada em muitos empreendimentos, seja por limitações técnicas, seja pela dificuldade em equilibrar desempenho visual, térmico e acústico. O desafio é intensificado pela alternância de luminâncias decorrente da nebulosidade típica dos climas tropicais e subtropicais. Para superar essas limitações, o setor tem avançado no uso de modelos dinâmicos baseados em clima, que utilizam dados meteorológicos locais para prever a disponibilidade de luz ao longo do ano e permitem maior precisão no dimensionamento. Esses modelos viabilizam simulações complexas, que consideram latitude, tipologia de céu, obstruções e variações sazonais. (Veja maiores detalhes no capítulo 4 | Simulações Computacionais).



Ferramentas e Métricas Avançadas

O avanço dos softwares e métricas dinâmicas transformaram a avaliação da iluminação natural em um campo estratégico. Essas métricas, associadas a simulações baseadas no clima, permitem a tomada de decisão orientada com suporte de dados robustos. Pela agilidade das simulações possibilitam a criação de cenários comparativos de alternativas e a redução de riscos de sub ou superdimensionamento. Destacam-se:

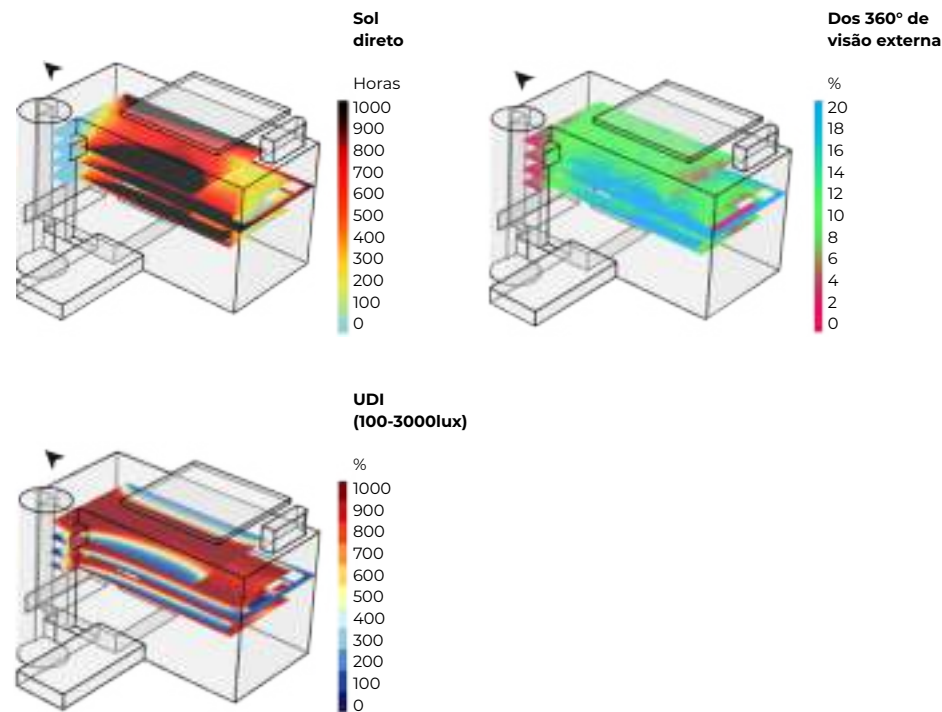
UDI (Useful Daylight Illuminance): indica se a iluminância está em níveis úteis (300 – 3000 lux). Valores entre 300lux e 100 lux exigirá complementação com iluminação artificial, abaixo de 100lux será dependente exclusivamente da iluminação artificial; acima de 3000 lux, há risco de ofuscamento.

sDA (Spatial Daylight Autonomy): mede a porcentagem da área que atinge pelo menos 300 lux por 50% das horas ocupadas no ano.

ASE (Annual Sunlight Exposure): avalia desconforto visual por excesso de luz, definindo limite de até 1000 lux em 250 h/ano.

DGP (Daylight Glare Probability): índice de desconforto por ofuscamento, variando de imperceptível a intolerável.

Fator de visão (View Factor): é uma métrica que avalia o impacto das fachadas e sombreamentos na vista para o exterior, mensurando a área do piso que tem acesso a uma vista de qualidade para o exterior.



Estudos de fachada ventilada em edificação corporativa com envoltória dupla envidraçada.
Fonte: Studio Symbios.

Edificação de uso misto onde foram realizadas simulações integradas e parametrizadas para otimização de carga térmica; iluminação natural integrada e combinada a iluminação artificial; acesso visual ao exterior; atenuação de ofuscamento aos usuários; e radiação direta nas fachadas. As análises computacionais combinatórias, proporcionaram um potencial de redução de 20% no consumo de energia para condicionamento e iluminação, e consequentemente uma redução nos investimentos em CapEx e Opex.



Estratégias Arquitetônicas e Técnicas para maior benefício da iluminação natural

As estratégias para maximizar os benefícios da iluminação natural envolvem desde o posicionamento e dimensionamento adequado das aberturas até o uso de elementos construtivos que controlam e qualificam a entrada de luz. A orientação correta das fachadas e a proporção entre janela e parede (WWR) permitem equilibrar ganhos luminosos e térmicos, enquanto dispositivos como brises, sheds, claraboias e átrios potencializam a penetração da luz difusa, reduzindo ofuscamento e sobreaquecimento. Complementarmente, o uso de vidros com propriedades específicas (*low-e*, controle solar ou difusores) e superfícies internas de alta refletância favorece a distribuição homogênea da luz, ampliando o conforto visual e diminuindo a dependência de iluminação artificial.

Forma e profundidade de planta: ambientes mais estreitos são mais favoráveis a uma distribuição mais homogênea da luz natural. Ambientes com pé-direito mais elevado e janelas posicionadas em alturas diferentes também contribuem para a penetração da iluminação natural. Até 5 m de profundidade a partir da fachada podem ser plenamente iluminados; entre 5 e 10 m, apenas parcialmente.

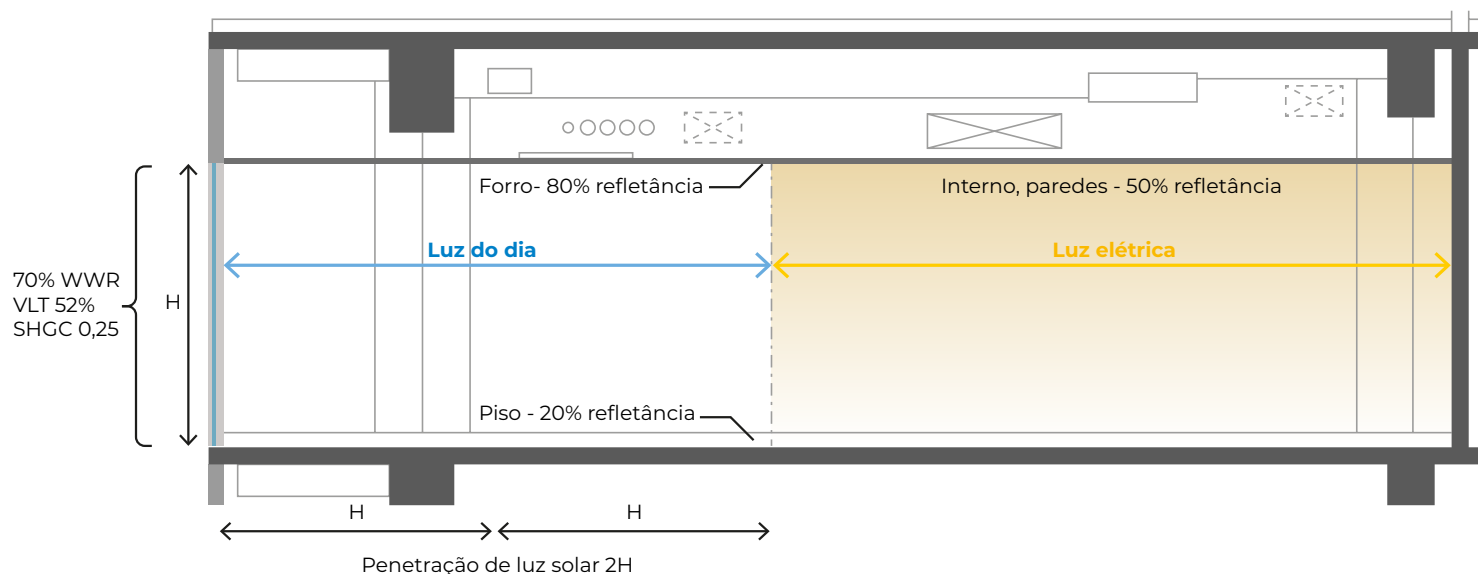


Ilustração esquemática da área de influência da iluminação natural no interior de uma edificação devido à abertura unilateral e vertical. Fonte: Ilustração adaptada da apresentação SOM, divaday 2017.

CAPÍTULO 8: ENVOLTÓRIA



Edificações e formas alongadas no eixo leste-oeste: a penetração e distribuição da iluminação natural dependerá da obstrução do entorno, que tende a ser mais impactante nos pavimentos mais baixos, ao limitar o acesso ao sol e ao céu. Quanto as plantas alongadas, estas favorecem a iluminação cruzada e com elementos de proteção solar atenuam os raios diretos, promovendo uma iluminação mais difusa.

Prateleiras de Luz (Light Shelves): funcionam como brises horizontais, redirecionando a luz para o interior e reduzindo ofuscamento. Permitem maior penetração da luz, até duas vezes a altura da janela.

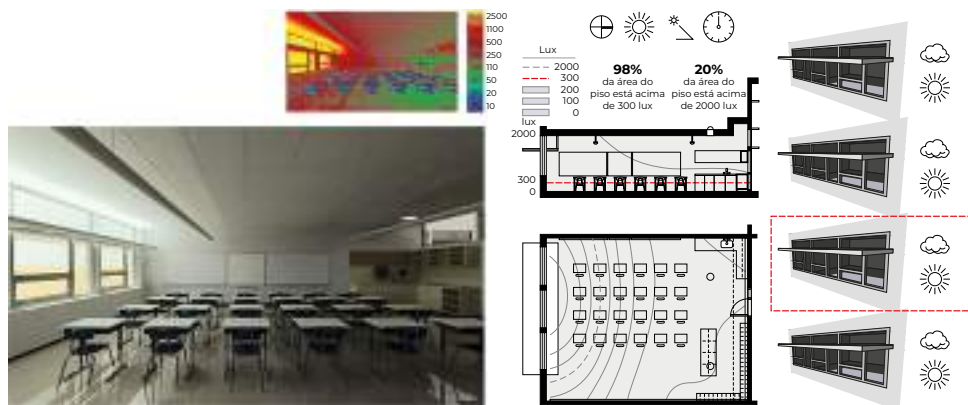
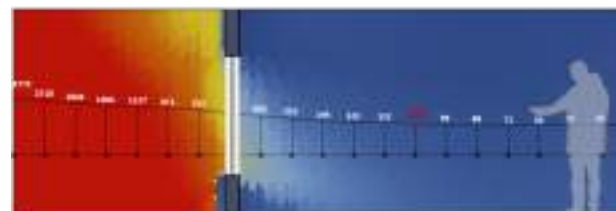


Ilustração representativa de prateleira de luz. Fonte: <https://patternguide.advancedbuildings.net>.

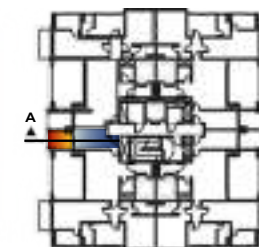
Distribuição e posicionamento de janelas: janelas mais largas e altas distribuem a luz mais uniformemente que janelas mais estreitas. Quanto ao posicionamento, janelas em paredes adjacentes favorecem iluminação bilateral, com melhor distribuição da luz e redução da ocorrência de ofuscamento.



Corte A

Distribuição da luz natural. Fonte: Studio Symbios.

Representação da distribuição da iluminação natural e como perde-se rapidamente a iluminância quando a abertura é unilateral e vertical.



Iluminação zenital: Oferece uniformidade superior e maior disponibilidade de luz ao longo do dia. Exige soluções de controle solar para evitar ganhos térmicos indesejados, assim recomenda-se também o uso da iluminação zenital através de vidros posicionados verticalmente.



Soluções de Iluminação zenital. Referência de aberturas zenitais tipo shed e lanternin.

Materiais e cores: Superfícies internas claras, principalmente nos pisos e paredes ampliam a distribuição da luz. Recomenda-se trabalhar com cores de refletâncias para o teto $\geq 0,8$ e para paredes $\geq 0,6$. As cores de fachadas serão importantes para iluminação natural em edificações próximas ou edificações com muitas reentrâncias, em que auto sombreamento.

Controles de luminosidade: O uso de venezianas, persianas ou elementos de sombreamento são boas ferramentas de controle de excesso de iluminação natural, principalmente quando trabalham com materiais translúcidos reduzindo a penetração da luz, mas não bloqueando-a.



Integração com Iluminação Artificial

Por fim, mesmo com luz natural abundante, há a necessidade de integrar a iluminação natural à artificial, assim controles automáticos são essenciais para garantir economia. Estas estratégias serão mais bem detalhadas no capítulo de iluminação artificial, mas destacam-se:

Sensoresoriameto: A iluminação artificial deve operar apenas quando e quanto necessário. Nas faixas perimetrais com luz natural, use fotossensores (medição de iluminância) para dimerizar e desligar a luz quando a meta normativa for atingida. Em áreas internas ou de uso intermitente, adote sensores de presença/vacância para evitar funcionamento desnecessário. Quando fizer sentido pelo porte do empreendimento, integre esses controles à automação predial; em projetos menores, controle local por circuito ou por luminária, atende ao mesmo princípio.

Zoneamento ou distribuição inteligente das luminárias: setorização entre janelas e áreas internas que favorece integração harmônica entre luz natural e artificial.

VENTILAÇÃO	
Custo de implantação	\$\$\$
Savings	●●●
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Moderadas
Tipologia	Todas

VOCÊ SABIA?

Para uma sensibilidade em etapas de pré-dimensionamento pode-se utilizar a razão de 1.5 vezes a altura da janela e 2 vezes a janela com prateleira de luz como a profundidade de penetração da luz natural.



Referências Bibliográficas

- ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho, Rio de Janeiro, 2024.
- ABNT NBR 15220: Desempenho térmico de edificações, Rio de Janeiro, 2024
- ASHRAE Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings: Zero Energy (2019)
- ASHRAE Advanced Energy Design Guide for Multifamily Buildings Achieving: Zero Energy (2022)
- ASHRAE 90.1-2016. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential.
- CIBSE. (2005). AM10: Natural ventilation in non-domestic buildings. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.
- IES LM-83-12: Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), United State of America, 2012.
- ALUCCI, M.P. Manual para dimensionamento de aberturas e otimização da iluminação natural na arquitetura. FAUUSP, São Paulo, 2006.
- LAM BERTS, R.et al . Eficiência energética na arquitetura. 2. ed. revisada. São Paulo: ProLivros, 2004.
- MARDALJEVIC, J. et al. "Daylighting metrics: is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability." Proceedings of the building simulation and optimization conference (BSO12), Loughborough, UK. Vol. 1011, 2012.
- REINHART, C. Daylight performance predictions. In: Building performance simulation for design and operation. Routledge, 2019
- SANTAMOURIS, M; MUMOVIC, D. A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering: An Integrated Approach to Energy, Health and Operational Performance. 1. ed. Londres: Routledge, 2009



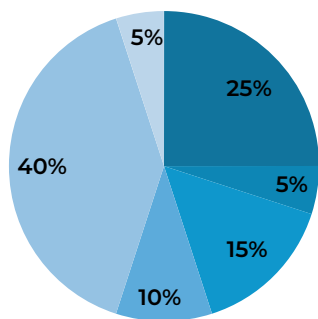
SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

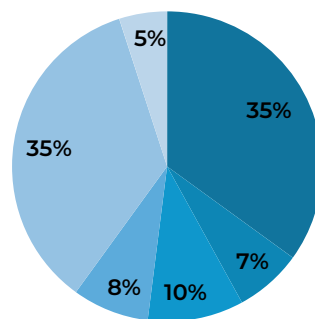


O aquecimento de água representa uma parcela significativa do consumo energético em diferentes tipologias de edificações, com particular destaque para edificações residenciais multifamiliares, onde, dependendo da região e padrão de consumo, seu consumo pode ultrapassar 50% do consumo de energia total.

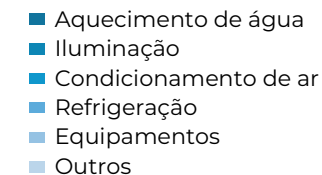
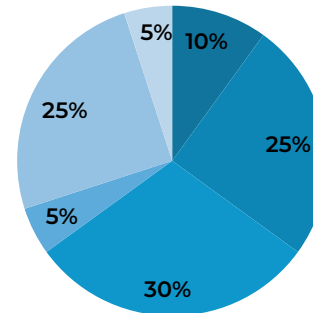
Residencial Unifamiliar



Residencial Multifamiliar



Comercial (Escritórios)



As estratégias de eficiência para esses sistemas devem buscar, simultaneamente, a redução do consumo de água e o aumento da eficiência da geração de água quente. A redução do consumo pode ser alcançada com a especificação de equipamentos, dispositivos de baixa vazão e com temperatura de operação adequada. Já a eficiência na geração pode ser aprimorada por meio da adoção de fontes renováveis, como sistemas solares térmicos, e tecnologias de recuperação de calor ou de bombas de calor.

Em edificações comerciais a recomendação é a adoção de sistemas locais de aquecimento de água, evitando assim a necessidade de sistemas centralizados com recirculação, que implicam em maiores perdas térmicas e consumo elétrico adicional com bombas de recirculação. Também, as estratégias de eficiência energética devem focar tanto na eficiência da geração de água quente quanto na redução das perdas de energia.

A adoção de medidas de eficiência energética em sistemas de aquecimento de água deve ser analisada conforme o perfil de consumo, a localização climática e a tipologia da edificação. **Soluções passivas de redução de consumo** devem sempre ser priorizadas, seguidas **da seleção de sistemas eficientes** e da **redução de perdas**. Estas medidas não apenas trazem economia de energia, mas também agregam valor ao empreendimento, contribuindo para certificações ambientais e para o atendimento à nova regulação de eficiência energética de edificações.



Abaixo iremos explorar medidas de eficiência energética que podem ser adotadas nos sistemas de aquecimento de água.

Tipos Sistemas de água quente

Elétrico por Resistência (Chuveiro Elétrico)

O sistema individual de aquecimento de água por resistência elétrica, comumente conhecido como chuveiro elétrico, é amplamente utilizado em residências unifamiliares e edificações multifamiliares de padrão econômico baixo e médio. Nesse sistema, a água é aquecida instantaneamente por meio de uma resistência elétrica instalada diretamente no ponto de uso.

Entre suas principais vantagens, destacam-se o baixo custo inicial e a facilidade de instalação, fatores que contribuíram para sua ampla adoção no Brasil. No entanto, esse tipo de sistema apresenta desvantagens importantes, como o alto consumo de energia elétrica durante os horários de pico, o baixo conforto térmico e a baixa eficiência energética, com um coeficiente de performance (COP) em torno de 1.

De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (BEN 2023), esse sistema representa aproximadamente 73% dos sistemas de aquecimento de água no setor residencial brasileiro, sendo, portanto, o padrão predominante no país, especialmente em regiões com menor renda.

Paradoxo do Chuveiro Elétrico: Os chuveiros elétricos, embora apresentem boa eficiência no processo de aquecimento (comparado com aquecimento a gás), podem ser menos eficazes no uso de água. Isso ocorre porque muitos projetos hidráulicos utilizam como referência normas que estabelecem vazão mínima de 12 L/min, enquanto os modelos elétricos mais comuns do mercado costumam operar abaixo desse parâmetro, geralmente entre 4 e 6 L/min. Essa discrepância evidencia uma lacuna entre as exigências normativas e a oferta real de produtos, o que pode gerar desconforto nos projetos e, ao mesmo tempo, abrir espaço para a evolução em soluções que conciliem eficiência hídrica e energética.

VOCÊ SABIA?

Um banho em um chuveiro elétrico (7000W) de 10min custa em média R\$1,50 de energia. Em uma residência com 3 pessoas que tomam 2 banhos por dia o custo será de 270 reais por mês.

SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA



Gás (GLP ou GN)

O aquecimento a gás centralizado, por sua vez, é amplamente utilizado em edificações residenciais de médio e alto padrão, principalmente nas regiões Sul e Sudeste do país. Neste sistema, um ou mais aquecedores a gás atendem a demanda da unidade. Também existem sistemas centralizados que atendem diversas unidades simultaneamente, com distribuição por rede hidráulica pressurizada.

Entre os benefícios do sistema estão o conforto térmico, a capacidade de atender múltiplos pontos simultaneamente e a possibilidade de uso em conjunto com aquecimento solar (sistema híbrido). Contudo, os principais desafios são o custo de instalação e infraestrutura, além da necessidade de ventilação adequada e de infraestrutura de gás canalizado ou GLP. Além disso, o sistema apresenta impacto ambiental por conta da emissão de CO₂ associada à queima do gás.

Bomba de Calor (Heat Pump)

Outro sistema crescente em projetos eficientes é a bomba de calor para aquecimento de água, tecnologia que utiliza o calor do ar ambiente para aquecer a água com elevado desempenho energético (COP \geq 3,5). É comumente aplicado em edificações comerciais, hotéis, academias e condomínios com demanda constante e centralizada.

As vantagens incluem a alta eficiência energética, mesmo em dias parcialmente nublados, e a possibilidade de integração com sistemas solares. Como desvantagens, citam-se o investimento inicial elevado, a necessidade de espaço técnico ventilado e a manutenção especializada. É uma excelente alternativa especialmente em regiões com temperatura média superior a 15 °C.

Sistema	COP (Eficiência)	Custo Inicial (R\$)	Adequação Climática
Chuveiro Elétrico	1	150	Todas regiões
Gás	0.85	1200	Regiões frias
Bomba de Calor	3.5	8000	Acima de 15°C



Estratégias de Redução de Consumo de Água Quente

Restritores de Vazão e Arejadores de Torneiras

Dispositivos restritores de vazão, instalados em duchas e torneiras, são uma medida simples e eficaz para limitar o volume de água quente consumido, sem comprometer o conforto do usuário. Esses dispositivos permitem, por exemplo, a redução da vazão de chuveiros de valores típicos de 12 a 15 litros por minuto para cerca de 8 litros por minuto, mantendo a sensação de banho confortável. Essa solução é recomendada para todas as regiões do Brasil, com um custo estimado entre R\$ 20 e R\$ 50 por ponto instalado. A adoção dessa medida pode resultar em uma economia de aproximadamente 30% no consumo de água e energia associados ao aquecimento.

Entretanto, é importante garantir que os restritores sejam compatíveis com o sistema de pressurização utilizado na edificação, e evitar seu uso em lavatórios que operem com baixa pressão, onde o desempenho pode ser prejudicado.

RESTRITOR DE VAZÃO

Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	✓ ✓ ✓
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas

VOCÊ SABIA?

Existem no mercado chuveiros que misturam a gota d'água com ar, reduzindo a vazão de água e mantendo o conforto do banho.










SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA



Layout com Mínimas Distâncias Hidrossanitárias

Uma estratégia eficiente para reduzir perdas térmicas no sistema de aquecimento de água consiste em posicionar banheiros e cozinhas próximos entre si, minimizando o comprimento das tubulações de água quente. Essa solução, aplicável em todas as regiões do Brasil, não implica custos adicionais relevantes, desde que seja considerada desde a fase inicial de concepção do projeto arquitetônico. Além da economia de energia ao evitar perdas de calor ao longo das tubulações, essa medida também reduz a necessidade de materiais e mão de obra na instalação hidráulica, portanto gera redução de CAPEX e tempo de obra. No entanto, seu sucesso depende de um bom planejamento integrado entre arquitetura e instalações prediais.

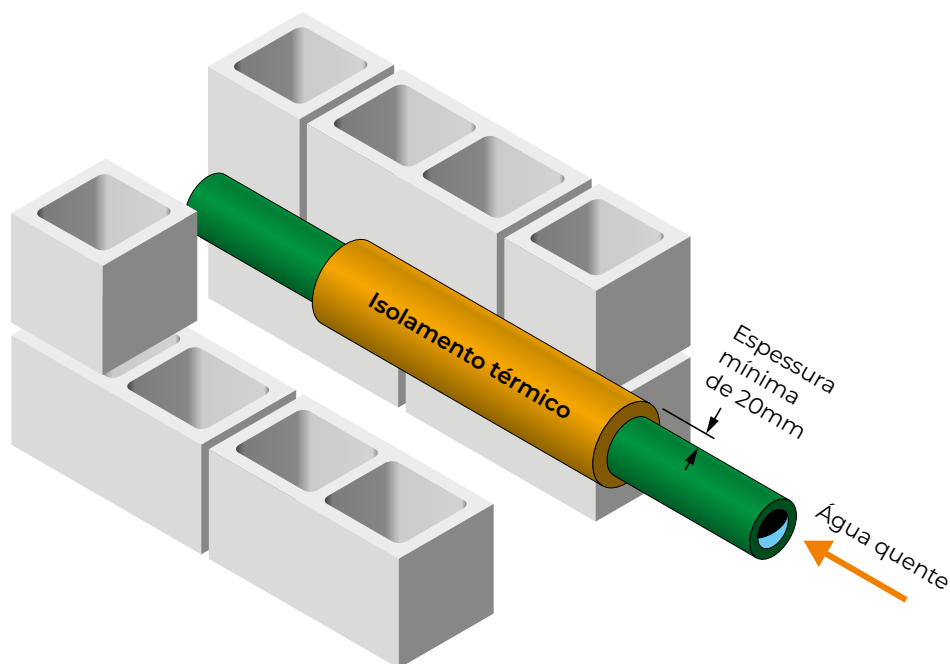
DISTÂNCIA HIDROSSANITÁRIA

Custo de implantação	  
Savings	  
Redução de Carbono Operacional	  
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Residencial



Isolamento Térmico de Tubulações e Reservatórios

O uso de materiais isolantes térmicos em tubulações e reservatórios (*boilers*) é uma medida essencial para aumentar a eficiência energética dos sistemas de aquecimento de água. Essa prática evita perdas de calor durante o transporte e armazenamento da água aquecida, contribuindo para uma redução de até 10% no consumo de energia do sistema. Recomendado para todas as regiões do Brasil, mais efetivo nas regiões Sul e Sudeste, o isolamento deve ter espessura mínima de 20 mm, utilizando materiais como espuma elastomérica ou lã de vidro, com resistência adequada à umidade. O custo estimado dessa medida varia entre R\$ 20 e R\$ 40 por metro linear.



Importante considerar as espessuras do isolamento em projeto, para evitar problemas de compatibilização.

ISOLAMENTO TUBULAÇÃO










Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	🌱 🌱 🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas



Controle Automático de Bombas de Recirculação

O controle automático de bombas de recirculação consiste no uso de temporizadores ou sensores para ativar as bombas apenas quando necessário, evitando o funcionamento contínuo. Essa medida é aplicável a todas as regiões brasileiras onde se utiliza sistema centralizado de aquecimento de água. O investimento estimado varia entre R\$ 500 e R\$ 1.200 por sistema. Os principais benefícios incluem a economia de energia elétrica associada ao funcionamento das bombas e a redução das perdas térmicas no sistema. No entanto, é importante que o sistema de controle seja corretamente ajustado, de modo a não comprometer o conforto dos usuários quanto à disponibilidade imediata de água quente.

RECIRCULAÇÃO

Custo de implantação	  
Savings	  
Redução de Carbono Operacional	  
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Sistemas Centrais

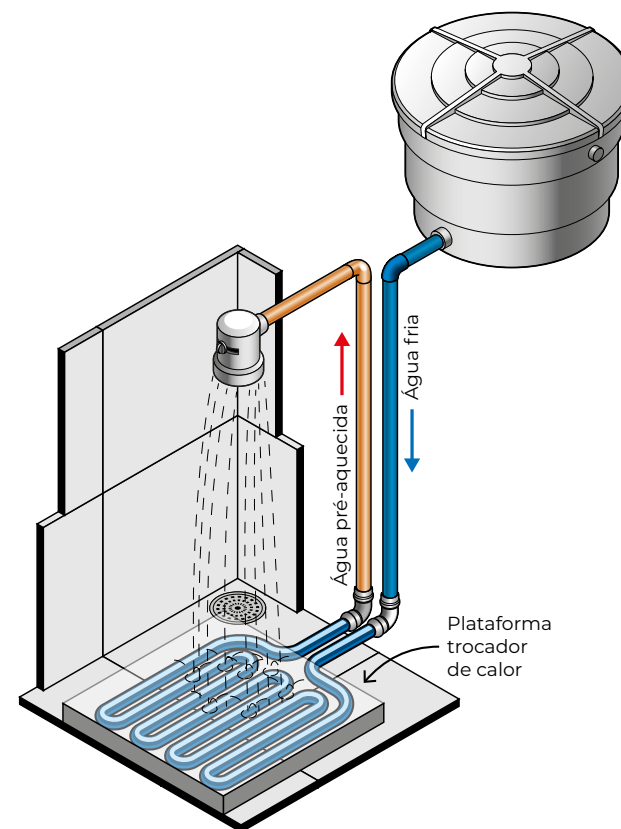
SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA



Recuperadores de Calor de Efluentes (RCE)

Os recuperadores de calor de efluentes são dispositivos instalados na tubulação de descarte de água quente, como o ralo do chuveiro, que aproveitam o calor da água usada para pré-aquecer a água fria de entrada. Essa estratégia é especialmente indicada para regiões com elevado uso de água quente, como edificações multifamiliares, hotéis, academias e vestiários corporativos. O investimento estimado por ponto varia entre R\$ 800 e R\$ 1.500, com potencial de economia de até 30% da energia térmica utilizada no aquecimento de água. Para que o sistema funcione com eficiência, é necessário que a instalação seja verticalizada (com água de descarte fluindo por gravidade) e que haja fácil acesso à tubulação de esgoto, o que exige previsão em projeto ou adaptações específicas.

Embora ainda pouco difundidos no país, esses equipamentos representam uma oportunidade significativa de inovação e redução de consumo energético em empreendimentos com alto volume de banho diário.



É recomendável consultar fornecedores especializados em eficiência hídrica e térmica para avaliar a viabilidade técnica e econômica de aplicação em cada projeto.

VOCÊ SABIA?

Já existem soluções de mercado para acoplar recuperadores de calor a chuveiros elétricos.

RECUPERAÇÃO DE CALOR

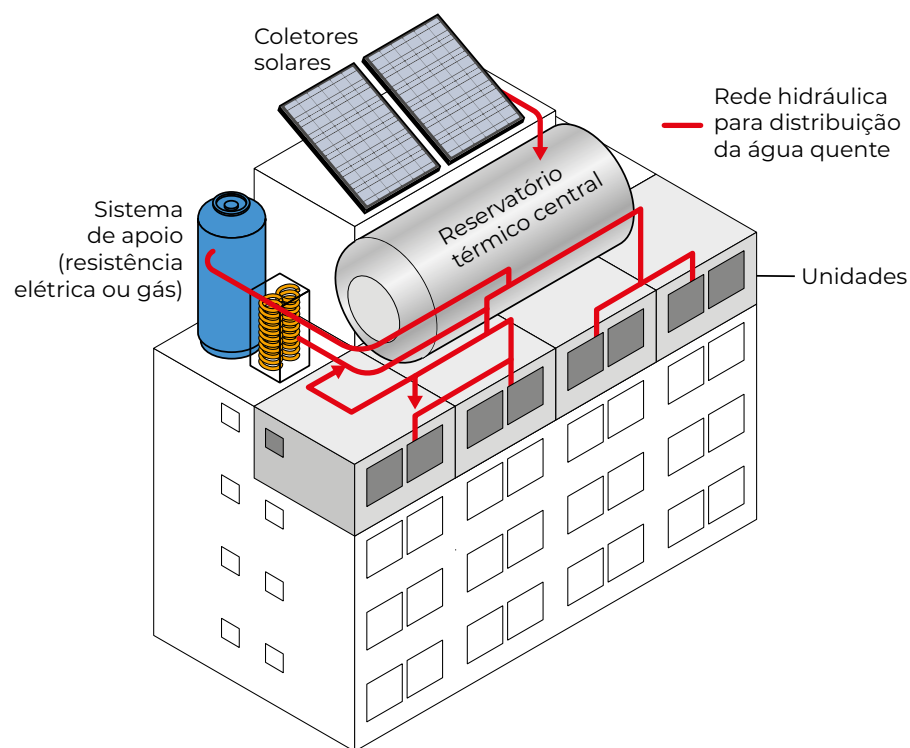
Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	🌱 🌱 🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas

SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA



Sistemas de Aquecimento Solar Térmico (SAT)

O sistema de aquecimento solar térmico centralizado é frequentemente aplicado em edificações multifamiliares de médio e alto padrão, bem como em empreendimentos que buscam atender critérios de sustentabilidade ou certificações ambientais. Neste modelo, a água é aquecida por coletores solares instalados na cobertura, armazenada em reservatórios térmicos e distribuída por meio de redes hidráulicas até os pontos de consumo.



As principais vantagens do sistema incluem a redução significativa do consumo de energia elétrica ou gás para aquecimento de água, com economias que podem superar 70% do consumo anual.

Como desvantagens, destacam-se o custo inicial mais elevado, a necessidade de área útil na cobertura (mínimo de 1,2 m² por unidade habitacional) e a dependência da radiação solar, o que exige sistemas de apoio térmico para garantir o conforto em dias nublados ou chuvosos.

AQUECIMENTO SOLAR

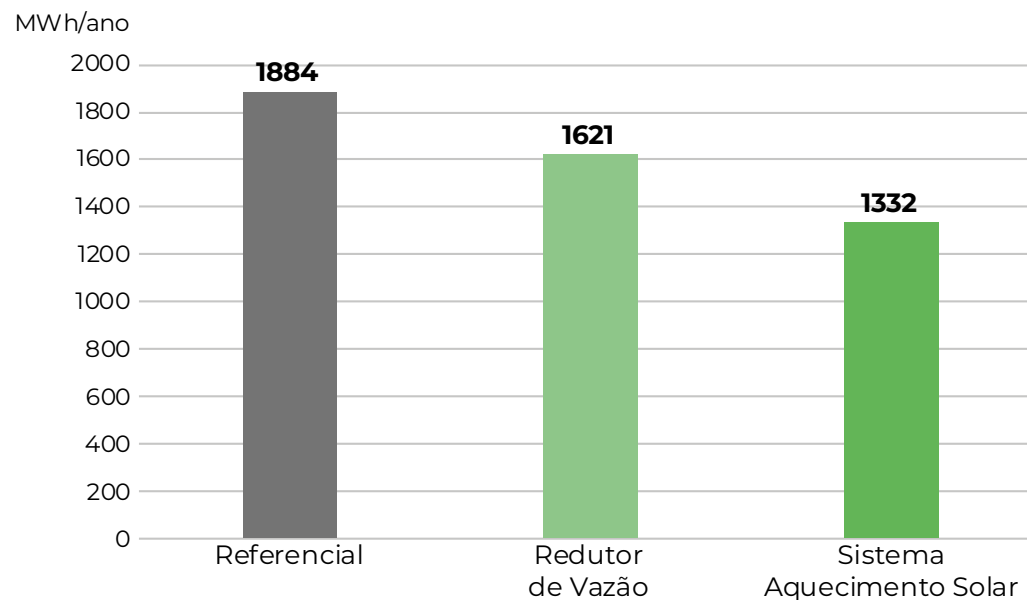
Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	☑ ☑ ☑
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas

VOCÊ SABIA?

Para cada m² de coletor solar bem orientado a geração térmica média é de 1,4 kWh/dia (em SP) e 1,6 kWh/dia (em Salvador).



TAXONOMIA. No estudo desenvolvido para avaliar as oportunidades de eficiência energética aplicáveis ao segmento residencial dentro dos critérios da Taxonomia Sustentável Brasileira, foram identificadas práticas de sustentabilidade já adotadas pelo mercado. Entre elas, destacam-se a implantação de sistemas de aquecimento solar e a utilização de redutores de vazão em chuveiros para água quente doméstica, ambas com impacto expressivo na redução do consumo energético da edificação. O gráfico a seguir ilustra essa redução no consumo global. A primeira barra representa o consumo anual da edificação (MWh/ano) sem nenhuma medida de eficiência. A barra central mostra o consumo após a aplicação de redutores de vazão nos chuveiros, reduzindo de 12 L/min para 9 L/min. Por fim, a última barra evidencia o resultado da combinação das duas medidas: redutores de vazão aliados a um sistema de aquecimento solar de água projetado para a edificação. Os resultados são significativos: a combinação das estratégias proporcionou uma redução de até 30% no consumo total da edificação, demonstrando o potencial dessas soluções para alinhar empreendimentos residenciais aos critérios da Taxonomia e às boas práticas de eficiência energética.



Resultado do estudos de aderência a Taxonomia Sustentável Brasileira desenvolvida para ABRAINC pelo Studio Symbios.

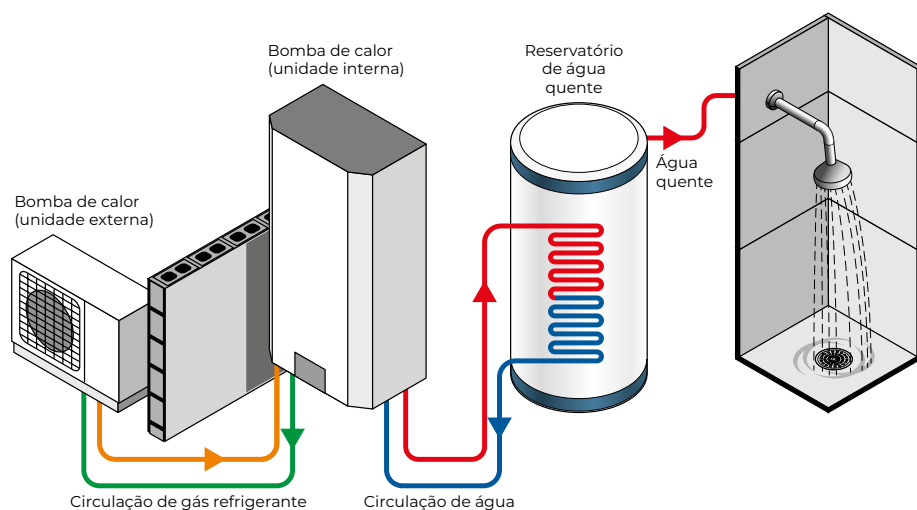
SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA



Bombas de Calor para Aquecimento de Água

As bombas de calor para aquecimento de água representam uma das soluções mais eficientes do ponto de vista energético, especialmente em substituição aos sistemas de aquecimento por resistência elétrica. Esse tipo de equipamento utiliza o calor do ar ambiente, ou outras fontes térmicas (água, geotérmico) para aquecer a água, operando com um Coeficiente de Performance (COP) superior a 3,5, o que significa que, para cada unidade de energia elétrica consumida, mais de três unidades de energia térmica são geradas. Essa alta eficiência resulta em uma economia de até 65% no consumo de energia elétrica em comparação aos sistemas convencionais.

O uso de bombas de calor é mais indicado para regiões com temperaturas médias acima de 15°C, como no litoral do Sudeste e em grande parte das regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil. Existem diferentes tipos de bombas de calor para aquecimento de água, sendo os modelos mono-bloco mais utilizados em aplicações coletivas e centrais, e os modelos compactos ideais para sistemas individuais, como em residências unifamiliares. Em edificações multifamiliares ou comerciais, o sistema pode ser centralizado, com reservatório térmico coletivo, permitindo maior controle e economia de escala.



É importante considerar o espaço disponível para instalação e garantir ventilação adequada, uma vez que o equipamento precisa trocar calor com o ambiente externo. Além disso, a escolha correta do equipamento deve levar em conta o volume de água a ser aquecido e o perfil de consumo da edificação, assegurando que o sistema opere com alto desempenho durante todo o ano.

BOMBAS DE CALOR

Custo de implantação



Savings



Redução de Carbono Operacional



Zonas Bioclimáticas

Temp. externa > 15° C

Tipologia

Todas



Referências Bibliográficas

- ASHRAE Advanced Energy Design Guide for Multifamily Buildings Achieving: Zero Energy (2022)
- ASHRAE Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings: Zero Energy (2019)
- ASHRAE Standard 90.1-2016, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise
- PROCEL Edifica (2017). Manual de Eficiência Energética para Edificações. Eletrobras/Procel.
- ABNT NBR 15569:2022 – Projeto e instalação de sistemas de aquecimento solar de água.
- ASHRAE Handbook – HVAC Applications (2023).
- IEA Solar Heating and Cooling Programme – Task 60: Solutions for Cost Effective Domestic Hot Water.

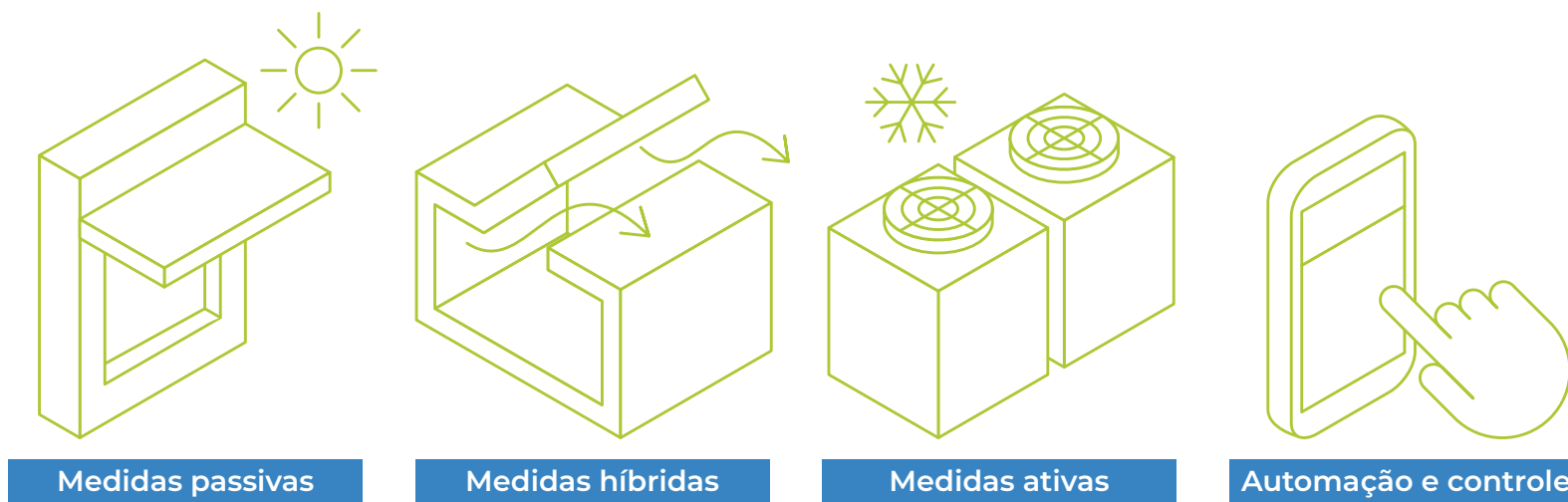


SISTEMA DE AR-CONDICIONADO



O consumo de energia para climatização em edificações residenciais, comerciais e industriais representa uma das maiores parcelas da demanda energética no Brasil, especialmente em climas quentes e úmidos, onde a necessidade de resfriamento é constante. Os sistemas de HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*) têm como objetivo central proporcionar conforto térmico e qualidade do ar interno, ajustando as condições ambientais sempre que o clima externo se encontra fora da faixa de conforto. Em ocupações residenciais, o controle geralmente é feito de forma direta pelo usuário, permitindo maior flexibilidade. Já em edificações de uso coletivo, como escritórios e escolas, o desafio é maior, pois o sistema deve atender a padrões de conforto homogêneos para um grande número de pessoas.

Um projeto de climatização eficiente nasce da arquitetura: é mais econômico e inteligente reduzir as cargas térmicas por meio de estratégias passivas de projeto, como ventilação natural, orientação solar adequada, sombreamento e materiais de alta performance, do que depender exclusivamente de equipamentos mais sofisticados. A partir dessa base, podem ser incorporadas soluções híbridas (como ventilação natural assistida por ar-condicionado e *free cooling*), seguidas de tecnologias ativas (equipamentos de alta eficiência, VRF, chillers) e, por fim, sistemas de automação e controle (BMS, IoT, termostatos inteligentes), formando um caminho evolutivo de maior eficiência e sustentabilidade.



Este capítulo apresenta uma visão integrada sobre os sistemas de climatização mais utilizados no Brasil, suas aplicações ideais, as estratégias de eficiência energética que podem ser aplicadas em diferentes contextos, além de discutir os aspectos regulatórios e ambientais relacionados ao uso de fluidos refrigerantes e à prevenção de vazamentos.



Sistemas de Ar-Condicionado Mais Utilizados

Sistema Split

O sistema Split é composto por uma unidade interna e outra externa, sendo um dos modelos mais comuns em residências e pequenos escritórios. Sua aplicação é adequada tanto para climas quentes quanto frios, podendo ser utilizado em todas as regiões do país. O custo de aquisição varia entre R\$ 2.500 e R\$ 4.000 por unidade, normalmente com capacidade de 9.000 a 12.000 BTU/h. Entre as principais vantagens estão a facilidade de instalação e o controle independente por ambiente, o que permite maior flexibilidade de operação. Frequentemente utilizado para climatização de pequenas áreas ou áreas mais remotas. No entanto, apresenta baixa eficiência em projetos de grande porte, pois a climatização de áreas maiores exige a instalação de múltiplas unidades, aumentando custos de aquisição, manutenção e consumo energético. Outra desvantagem é a dificuldade de incorporar a unidade externa, condensadora a arquitetura, exigindo a locação de áreas técnicas adequadas para sua instalação.

VOCÊ SABIA?

As evaporadoras dos sistemas Split, Multi-Split e VRF realizam apenas a recirculação e a filtragem do ar interno. Para garantir a renovação do ar, é necessário prever um sistema dedicado, que pode ser integrado à caixa de mistura de alguns tipos de evaporadoras, como os modelos dutados e cassete. A renovação de ar é essencial para assegurar a qualidade do ar interno, diluindo contaminantes e proporcionando ambientes mais saudáveis e confortáveis. No Brasil, a Resolução Anvisa RE-09 determina a renovação de ar em ambientes públicos, enquanto a NBR 16401 estabelece as diretrizes mínimas de qualidade do ar em espaços fechados.

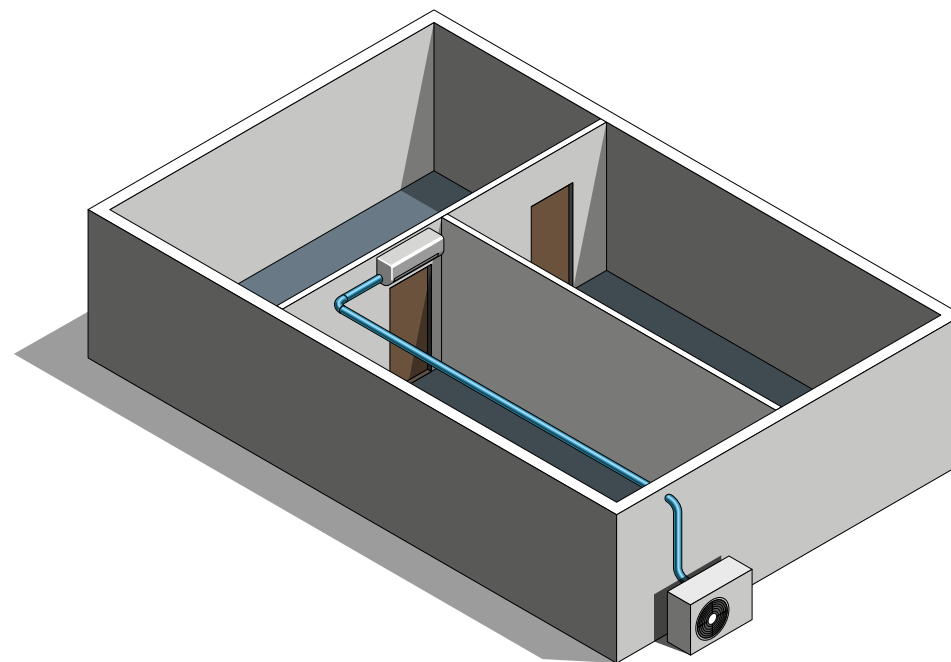


Imagem adaptada: Sistema Split (unidade interna, evaporadora, conectado a unidade externa, condensadora) - <https://unisarcondicionado.com.br/sistemas-split-inverter/>.



Sistemas Multi-Split

Os sistemas Multi-Split consistem em uma única unidade externa conectada a múltiplas evaporadoras internas, permitindo climatizar diversos ambientes de forma simultânea. São especialmente aplicados em edificações residenciais com 2 a 5 ambientes, oferecendo praticidade e racionalização do espaço físico destinado às condensadoras. O custo de aquisição varia entre R\$ 6.000 e R\$ 12.000 por sistema, dependendo da capacidade e da quantidade de evaporadoras instaladas. Entre as principais vantagens destacam-se a otimização do espaço externo e a simplificação da instalação em comparação a múltiplos sistemas individuais. Por outro lado, apresentam como desvantagem a menor flexibilidade para expansões futuras, já que a capacidade do sistema é limitada pela unidade externa escolhida.

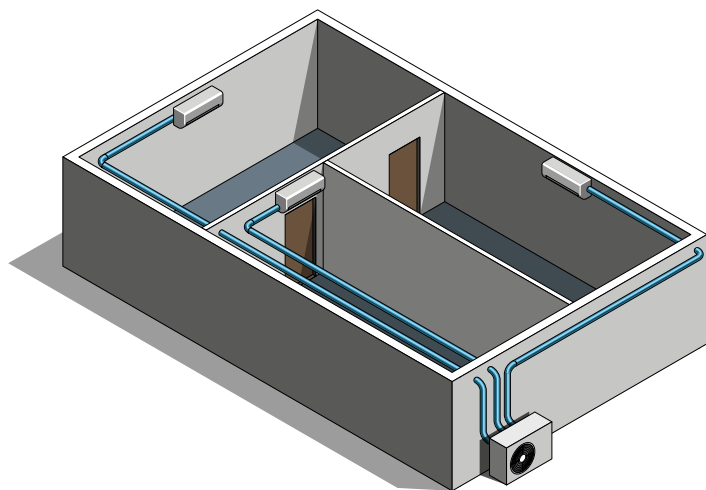


Imagem referência: Sistema Mult split (3 a 5 unidades internas, evaporadora, conectado a uma unidade externa, condensadora).

VRF/VRV (Fluxo de Refrigerante Variável)

Os sistemas VRF utilizam uma unidade externa capaz de controlar o fluxo de refrigerante que alimenta diversas unidades internas de forma variável, proporcionando climatização simultânea e independente em múltiplos ambientes. São amplamente aplicados em edificações comerciais de médio e grande porte, como escritórios, hotéis e hospitais, ou residenciais de alto padrão, onde há demanda por conforto térmico aliado à flexibilidade operacional. O custo de implantação é mais elevado em comparação a sistemas individuais, podendo variar de acordo com a capacidade e a complexidade do projeto, mas geralmente se situa em uma faixa superior à de sistemas Multi-Split. Entre as principais vantagens estão a alta eficiência energética, a possibilidade de controle individual por ambiente e a redução de consumo em cargas parciais, características que garantem conforto e economia. Como desvantagem, destacam-se o custo inicial elevado, a necessidade de mão de obra especializada para instalação e manutenção.

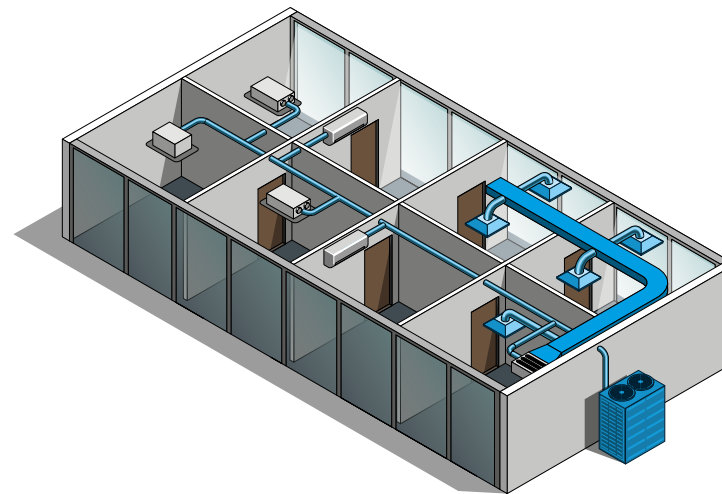
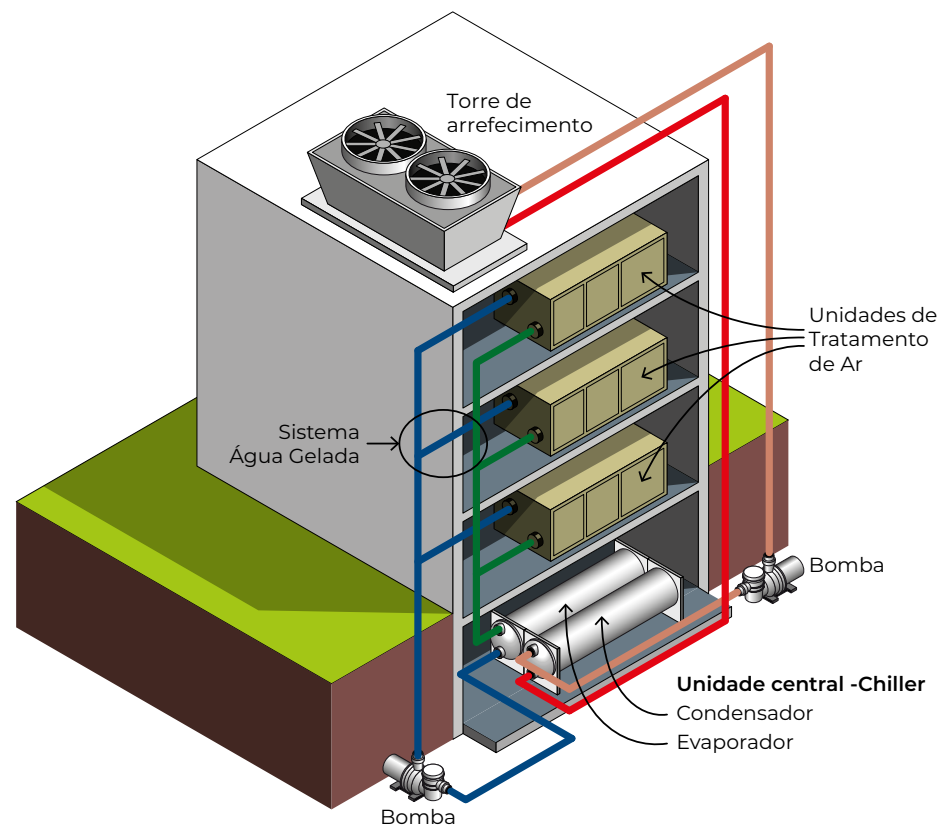


Imagem referência: Sistema VRF (várias unidades internas, evaporadora (diversidade de tipos: cassete, dutado, hi-wall), conectado a uma unidade externa, condensadora).



Sistemas de Água Gelada

Os chillers são sistemas de climatização que utilizam água gelada como fluido de resfriamento, distribuída por uma rede de tubulações para climatizar diferentes ambientes. São aplicados principalmente em edificações de grande porte, como shoppings, hospitais, indústrias e centros comerciais, onde há elevada carga térmica e necessidade de operação contínua. O investimento inicial é alto, variando conforme a capacidade instalada e a tecnologia empregada (parafuso, centrífugo ou absorção), mas apresenta boa relação custo-benefício em empreendimentos de grande escala. Entre as vantagens destacam-se a eficiência energética em larga escala, a centralização da produção de frio, a longa vida útil e a possibilidade de integração com sistemas de automação predial. Como desvantagens, sobressaem o alto custo de aquisição e manutenção, a complexidade do projeto e da operação e a necessidade de equipe técnica especializada para gestão e operação contínua.



Fonte: imagem de referência Sistema de água gelada.



Rooftops, Self-Contained e Splitões

As Rooftop Units são sistemas de climatização compactos instalados, em geral, na cobertura das edificações, integrando em um único equipamento as funções de resfriamento, ventilação e, em alguns casos, aquecimento. Já os sistemas Self-Contained seguem o mesmo princípio de integração, mas são instalados em áreas técnicas internas ou no pavimento térreo, dispensando longas tubulações de fluido refrigerante. Os Splitões (ou Package Split), por sua vez, são similares em conceito, mas posicionados em áreas externas ao nível do solo ou em casas de máquinas, sendo conectados a uma rede de dutos para insuflar o ar nos ambientes.

A aplicação dessas soluções é comum em galpões industriais, supermercados, lojas de grande porte, auditórios e shoppings, onde a centralização do sistema simplifica a instalação e a manutenção. O custo varia conforme a capacidade e a configuração do equipamento, mas tende a ser competitivo quando comparado a sistemas de mesma escala.

Entre as principais vantagens estão a instalação simplificada, a facilidade de manutenção devido ao acesso externo (Rooftop e Splitão) ou interno (Self-Contained), a robustez do sistema e a capacidade de climatizar grandes áreas de forma uniforme. Como desvantagens, destacam-se a menor eficiência em cargas parciais, o nível de ruído mais elevado em alguns modelos e a limitação de flexibilidade para o controle individualizado por ambiente.

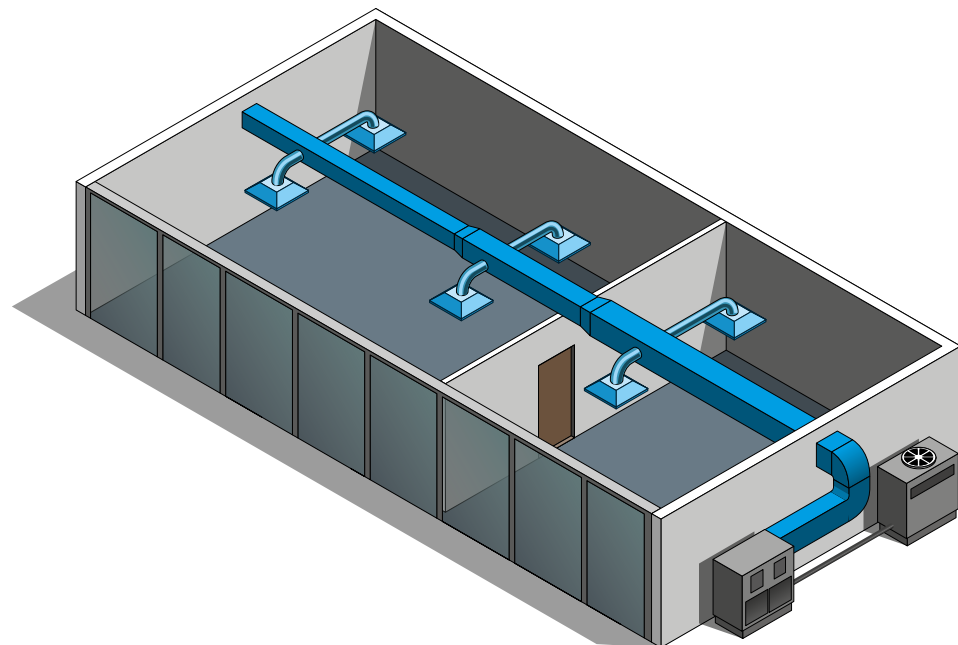


Imagem referência: Sistema Splitão (uma unidade externa dutada, evaporadora, conectada a uma unidade externa, condensadora).

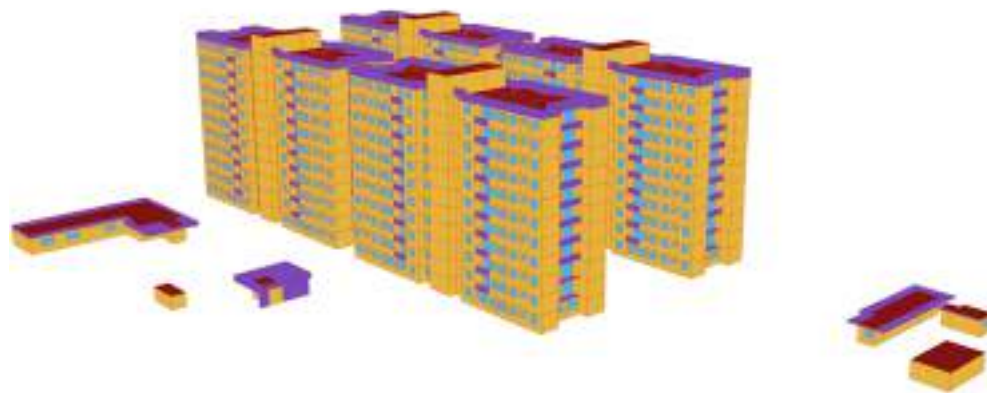


Estratégias de Redução de Consumo de Energia

Correto Dimensionamento da Carga Térmica

O correto dimensionamento da carga térmica evita o superdimensionamento dos equipamentos, prática comum que gera ciclos curtos, maior consumo de energia e redução da vida útil do sistema. O cálculo deve ser realizado com softwares de simulação como o EnergyPlus ou o HAP, de acordo com a NBR 16401. Essa medida é válida para todas as regiões, garantindo a seleção adequada dos sistemas, o uso racional da energia e o melhor desempenho operacional.

Ferramentas de simulação permitem a análise detalhada de variáveis como envelopes térmicos, sombreamento, ventilação natural e cargas internas dinâmicas. Além disso, já existem plataformas em nuvem, que facilitam o compartilhamento de dados entre arquitetos e engenheiros, agilizando decisões no projeto e reduzindo erros.



CORRETO DIMENSIONAMENTO

Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	🌱 🌱 🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas

Modelo EnergyPlus. Fonte: Banco de dados Studio Symbios



Equipamentos com Alta Eficiência (SEER / IDRS / COP)

A adoção de equipamentos de alta eficiência é uma das medidas mais relevantes para reduzir o consumo de energia em climatização. Sistemas com SEER superior a 16 ou IDRS acima de 5,5 podem gerar economia de até 40% em comparação com equipamentos padrão. Apesar de representarem um custo adicional de 10 a 20% no valor de aquisição, o retorno financeiro é rápido devido à redução significativa no consumo. Essa prática é aplicável em todas as regiões e é respaldada por normas como o PROCEL e a ASHRAE 90.1.

Entre as tecnologias disponíveis, destaca-se o uso de equipamentos do tipo *Inverter*, que utilizam compressores de velocidade variável. Diferentemente dos modelos convencionais, que ligam e desligam em ciclos para manter a temperatura, os sistemas *Inverter* ajustam continuamente a rotação do compressor conforme a demanda térmica. Isso garante maior eficiência energética, redução de picos de corrente elétrica, menor desgaste dos componentes e níveis de ruído mais baixos. Além disso, proporcionam conforto térmico superior, uma vez que a variação de temperatura no ambiente é mínima.

VOCÊ SABIA?

O SEER (*Seasonal Energy Efficiency Ratio*), o IDRS (Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal, adotado no Brasil) e o COP (*Coefficient of Performance*) são indicadores que medem a eficiência de sistemas de climatização, expressando a relação entre a energia térmica fornecida (frio ou calor) e a energia elétrica consumida. Esses valores podem ser maiores que 1 porque os equipamentos não “criam” frio ou calor a partir da eletricidade, mas sim transferem calor de um meio para outro; assim, com 1 kWh de energia elétrica, é possível entregar de 3 a 5 kWh de energia térmica, dependendo da tecnologia utilizada.

EQUIPAMENTOS EFICIENTES




Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	🌱 🌱 🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas



Controle Inteligente (Automação)

O uso de controles inteligentes, como sistemas de automação e termostatos programáveis, é recomendado em climas com grande variação térmica ao longo do dia. Esses recursos ajustam automaticamente a operação dos sistemas de climatização de acordo com a ocupação e as condições ambientais. O investimento varia entre R\$ 300 e R\$ 800 por zona e pode proporcionar economia de 15 a 30%, tornando-se uma solução acessível e eficiente.

Com o avanço da tecnologia, esses controles estão cada vez mais integrados a sistemas IoT (*Internet of Things*) e a plataformas de gestão predial (BMS). Isso permite monitoramento remoto, ajuste via aplicativos, aprendizado de padrões de uso com inteligência artificial e integração com sensores de presença, umidade e luminosidade, aumentando ainda mais a eficiência e o conforto.

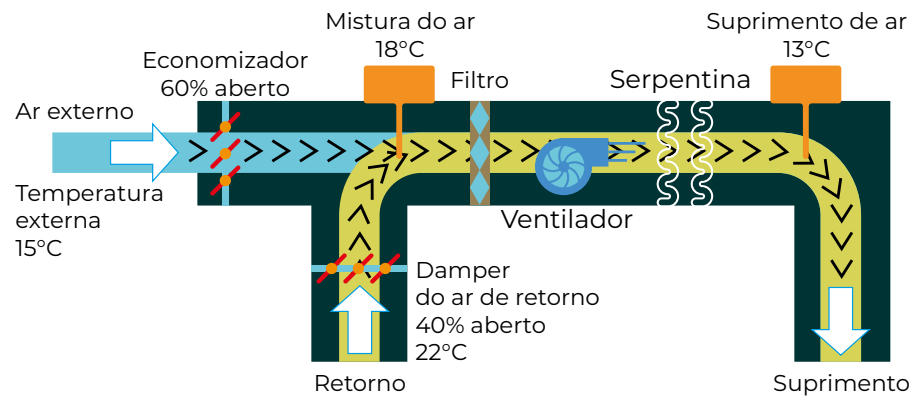
AUTOMAÇÃO	
Custo de implantação	
Savings	
Redução de Carbono Operacional	
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas



Free Cooling

O *free cooling* é indicado para regiões com noites frias e baixa umidade. A medida utiliza sistemas com dutos projetados para priorizar a entrada de ar externo em condições favoráveis, reduzindo a dependência do resfriamento mecânico. Quando bem aplicada, essa estratégia pode gerar economia de até 50% durante os meses mais amenos, representando um dos recursos de maior impacto energético em determinadas localidades.

Atualmente, já existem sistemas automáticos de dampers e sensores de qualidade do ar externo que avaliam continuamente temperatura, umidade e concentração de CO₂, decidindo em tempo real quando ativar o modo *free cooling*. Essa automação garante o aproveitamento máximo da ventilação natural sem comprometer a qualidade do ar interno.



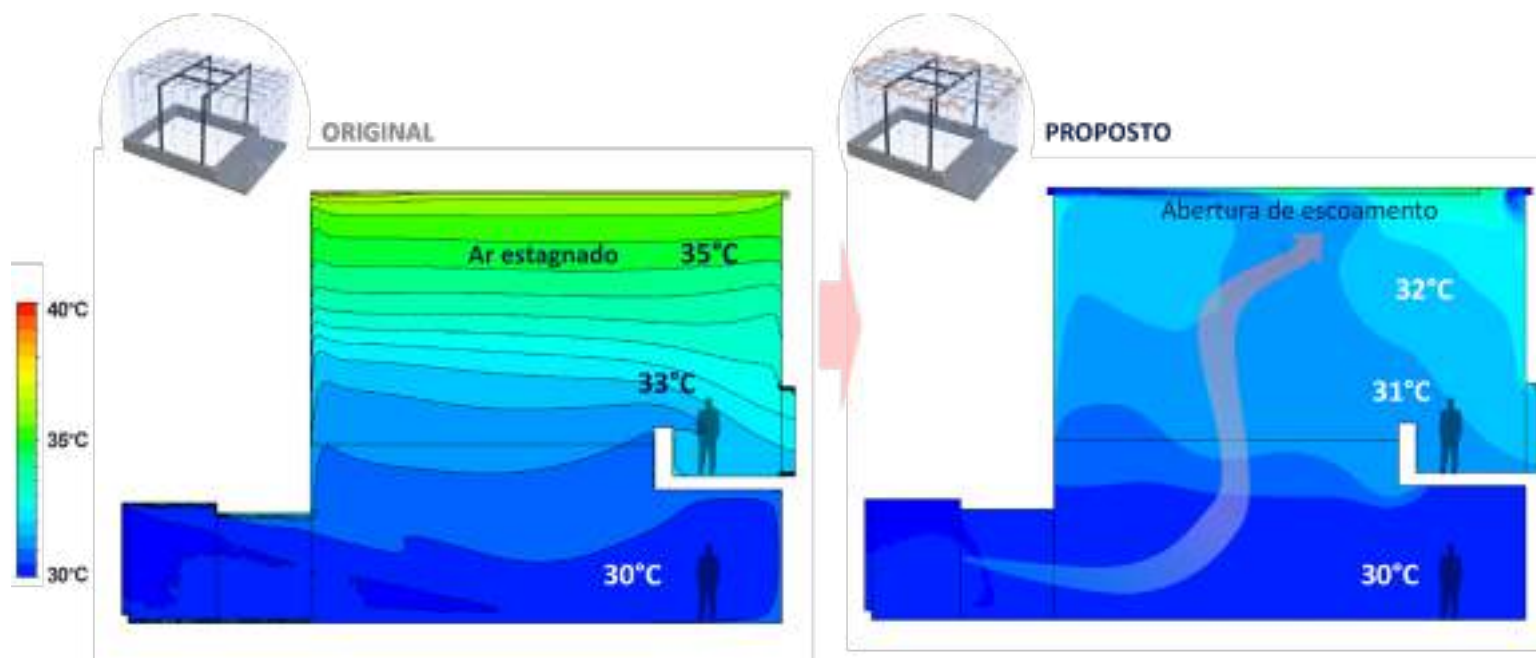
AUTOMAÇÃO	
Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	🌱 🌱 🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Sul e Sudeste
Tipologia	Grandes Sist. HVAC



Ventilação Natural

A ventilação natural consiste no aproveitamento de aberturas arquitetônicas, janelas, shafts e elementos construtivos como cobogós e brises para promover a circulação de ar. Mais detalhes sobre esses tipos de soluções podem ser encontrados no Capítulo 8 | Envoltória. É especialmente eficaz em regiões tropicais úmidas e subtropicais, como o litoral nordestino, o Sul e parte do Sudeste, onde a amplitude térmica diária e os ventos permitem o resfriamento natural. Além de contribuir para o conforto térmico, essa medida melhora a qualidade do ar interno e reduz de forma significativa a necessidade de climatização artificial.

Nos projetos mais atuais, a ventilação natural é frequentemente combinada a modelagens CFD (*Computational Fluid Dynamics*), que permitem prever o comportamento do ar nos ambientes e otimizar o posicionamento de janelas e elementos construtivos. Essa abordagem garante desempenho mais confiável e integrado ao projeto arquitetônico.



Estudo de abertura superior com ventilação natural, para um Foyer envidraçado, em simulação CFD. Fonte: Studio Symbios.



Uma tendência crescente é o uso da ventilação natural de forma híbrida com sistemas de ar-condicionado, criando soluções mais flexíveis e eficientes. Nesse modelo, o projeto deve prever sistemas de controle automatizado capazes de decidir em tempo real quando utilizar o ar externo e quando acionar o resfriamento mecânico. Esse controle geralmente envolve:

- Sensores de temperatura e umidade interna e externa, que verificam se o ar externo pode ser usado para garantir conforto térmico.
- Sensores de CO₂ ou qualidade do ar para assegurar que a renovação de ar atenda às normas de salubridade.
- Dampers motorizados e janelas automatizadas, que se abrem ou fecham conforme a estratégia definida.
- Integração com o sistema de ar-condicionado (BMS ou controle dedicado), de forma a desligar ou reduzir a operação mecânica sempre que a ventilação natural for suficiente.

Esse tipo de operação, conhecido como modo misto ou híbrido, permite ganhos expressivos de eficiência, pois prioriza o uso da ventilação natural em condições favoráveis e utiliza o ar-condicionado apenas quando necessário. Dessa forma, é possível reduzir substancialmente o tempo anual de operação dos equipamentos mecânicos, aumentando a vida útil dos sistemas e diminuindo os custos de energia.

VENTILAÇÃO NATURAL	
Custo de implantação	3 ícones de dólar (\$)
Savings	3 ícones de seta verde apontando para cima
Redução de Carbono Operacional	3 ícones de CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Tropicais úmidas e Subtropicais
Tipologia	Todas



Ventilação Mecânica com Aumento da Velocidade do Ar

A ventilação mecânica por meio de ventiladores de teto ou parede é uma solução de baixo custo energético que amplia o conforto térmico em ambientes climatizados ou não climatizados. O aumento da velocidade do ar sobre o corpo humano permite elevar o setpoint de resfriamento em até 1–2 °C, gerando economia de 6 a 8% no consumo para cada grau ajustado. Além disso, reduz a carga sobre os equipamentos de climatização, prolongando sua vida útil e proporcionando maior eficiência operacional.

Novas soluções incorporam ventiladores de alto rendimento com motores EC (*Electronically Commutated*), que consomem até 30% menos energia que motores convencionais. Além disso, é possível integrá-los a sensores inteligentes que modulam a velocidade automaticamente conforme a presença de ocupantes e as condições internas, otimizando ainda mais a eficiência.



Fonte: ASHRAE Headquarters Google.

VENTILAÇÃO NATURAL

Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	🌱 🌱 🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas

SISTEMA DE AR-CONDICIONADO



Zoneamento dos Ambientes

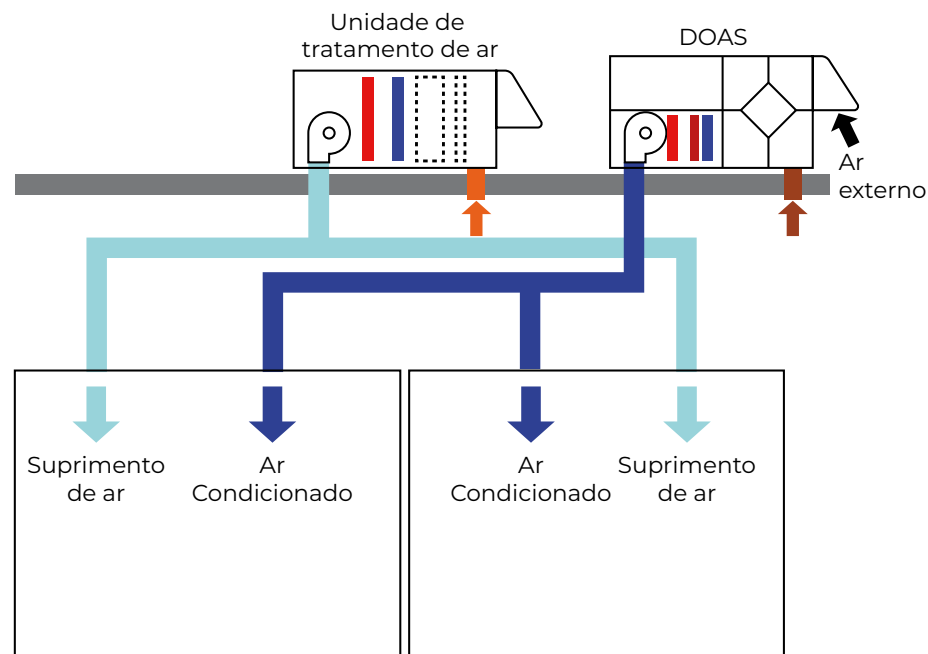
A zoneamento dos ambientes consiste em dividir a edificação em áreas independentes, cada uma com controle próprio de climatização. Essa prática garante que apenas os ambientes ocupados sejam climatizados, evitando desperdícios de energia. Além de melhorar a eficiência, o zoneamento aumenta a flexibilidade operacional e o conforto dos usuários, adaptando-se às necessidades reais de ocupação dos espaços.

ZONEAMENTO	
Custo de implantação	\$\$\$
Savings	\$\$\$
Redução de Carbono Operacional	\$\$\$
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas

Sistemas DOAS (Dedicated Outdoor Air System)

Os sistemas DOAS (*Dedicated Outdoor Air System*) são projetados para tratar exclusivamente o ar externo destinado à renovação em edificações, separando essa função da climatização principal. Essa estratégia garante melhor controle de umidade, melhora a qualidade do ar interno e permite que sistemas como VRF, chillers com fan coils ou Self-Contained sejam dedicados apenas ao resfriamento ou aquecimento do ar recirculado, aumentando sua eficiência. A aplicação é especialmente vantajosa em climas quentes e úmidos, como no litoral brasileiro e na

região Norte/Nordeste, onde a carga latente é elevada, mas também apresenta bons resultados em climas frios e secos quando integrada a recuperadores de energia que aproveitam o calor do ar exaurido para pré-condicionar o ar externo.





Entre as vantagens do DOAS estão o maior controle da umidade, a possibilidade de atender às normas de ventilação e qualidade do ar, a flexibilidade de projeto e a redução da carga térmica nos sistemas principais. Como desvantagens, destacam-se o custo inicial mais alto, que pode representar entre 15 e 25% a mais no investimento em HVAC, a necessidade de espaço físico para instalação de dutos exclusivos e a maior complexidade de operação e manutenção. Apesar disso, o potencial de economia varia de 10 a 25%, especialmente quando associado a tecnologias de recuperação de energia e sistemas híbridos, consolidando o DOAS como uma solução de alta eficiência para edificações que demandam conforto e qualidade do ar em níveis superiores.

DOAS	
Custo de implantação	\$\$\$
Savings	●●●
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Quente e úmida
Tipologia	Sistemas grandes e médios

Ventilação Sob Demanda (*Demand-Controlled Ventilation – DCV*)

A ventilação sob demanda (DCV) é uma estratégia que ajusta automaticamente a taxa de renovação do ar conforme a ocupação real dos ambientes, utilizando sensores de poluentes, presença, temperatura ou umidade. Diferente dos sistemas convencionais, que mantêm uma vazão constante de ar externo independentemente do uso, o DCV reduz o fornecimento quando os espaços estão parcialmente ocupados e aumenta a renovação apenas quando necessário, garantindo qualidade do ar interno com menor consumo energético. Essa medida é aplicável em todas as regiões, mas gera maior impacto em climas quentes e úmidos, onde o ar externo precisa ser desumidificado, e em regiões frias, onde o aquecimento do ar externo representa grande parcela do consumo.

Entre as principais vantagens do DCV estão o ajuste dinâmico à demanda real, a economia de 20 a 40% em comparação a sistemas de vazão fixa, a melhoria contínua da qualidade do ar interno e a redução do desgaste dos equipamentos, que operam menos tempo em plena carga. Como desvantagens, destacam-se o custo inicial mais elevado, devido à necessidade de sensores e sistemas de automação, e a complexidade de manutenção, já que sensores de poluentes exigem calibração periódica. Além disso, a plena eficiência do sistema depende de integração adequada com um sistema de automação predial (BMS).

O investimento adicional em DCV gira em torno de 10 a 20% sobre o valor de um sistema convencional de ventilação mecânica, considerando sensores e controles. Apesar disso, o potencial de economia é significativo, com reduções de 20 a 40% no consumo de energia associado ao tratamento do ar externo, especialmente em áreas de alta ocupação e com ocupação variável, como 4refeitórios, shoppings e auditórios.



VOCÊ SABIA?

O controle de ventilação pela concentração de CO₂ é eficiente, mas não garante a qualidade total do ar interno. Outros poluentes nocivos, como COVs, partículas finas e formaldeído, podem se acumular mesmo quando o CO₂ está dentro dos limites aceitáveis. A recomendação é combinar o DCV com sensores adicionais ou manter uma taxa mínima fixa de renovação de ar, assegurando eficiência energética sem comprometer a saúde dos ocupantes.

DCV

Custo de implantação



Savings



Redução de Carbono Operacional



Zonas Bioclimáticas

Quente e úmida

Tipologia

Sistema grandes e médios



Fluídos Refrigerantes e Vazamentos

Escolha do Fluido Refrigerante

A seleção adequada do fluido refrigerante é um dos aspectos mais relevantes na busca por eficiência energética e sustentabilidade em sistemas de climatização. Tradicionalmente, fluídos como o R-22 foram amplamente utilizados, mas seu elevado Potencial de Depleção da Camada de Ozônio (ODP) levou à proibição gradual pelo Protocolo de Montreal. Atualmente, a atenção está voltada ao Potencial de Aquecimento Global (GWP), indicador que mede o impacto dos gases de efeito estufa em comparação ao CO₂. Muitos dos fluídos sintéticos mais comuns, como o R-134a ou o R-410A, possuem valores elevados de GWP, contribuindo de forma significativa para o aquecimento global quando emitidos por vazamentos ou descarte inadequado.

O movimento global de descarbonização pressiona a substituição de fluídos de alto impacto por alternativas de menor GWP, alinhadas com compromissos internacionais como a Emenda de Kigali (2016), que definiu cronogramas para a redução gradual do uso de HFCs (hidrofluorcarbonetos) em mais de 150 países. O Brasil aderiu à Kigali em 2019, comprometendo-se a reduzir em 85% o consumo de HFCs até 2045, seguindo metas intermediárias de congelamento e cortes progressivos. Esse processo já está em andamento e vem sendo acompanhado pelo Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, em conjunto com o Protocolo de Montreal. Entre as alternativas atuais de menor impacto, destacam-se fluídos como o R-32, que possui cerca de um terço do GWP do R-410A, além de apresentar maior eficiência energética.

1987**Protocolo de Montreal**

Estabeleceu a eliminação gradual de substâncias que destroem a camada de ozônio, como os CFCs (R-11, R-12) e os HCFCs (R-22). No Brasil, a produção e importação de CFCs foram totalmente proibidas em 2010, e o Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH) prevê o banimento do R-22 até 2040.

1997**Protocolo de Kyoto**

Introduziu pela primeira vez os HFCs (como R-134a, R-404A, R-410A) na lista de gases de efeito estufa controlados, devido ao seu alto GWP. Embora não causem danos à camada de ozônio, esses fluídos passaram a ser vistos como contribuintes significativos para o aquecimento global.

2016**Emenda de Kigali**

Alterou o Protocolo de Montreal para incluir os HFCs no cronograma de redução. O Brasil aderiu oficialmente em 2019, comprometendo-se a congelar o consumo de HFCs em 2024 e reduzir em 85% até 2045, com metas intermediárias de corte em 2029, 2035 e 2040.



Fluído	ODP	GWP (100 anos)	Status no Brasil
R-22	0.05	1810	HCFC em eliminação até 2040
R-134a	0	1430	Permitido, mas com restrições futuras
R-410A	0	2088	Amplamente usado, mas será substituído
R-32	0	675	Recomendado como substituto do R-410A
R-290 (Propano)	0	3	Uso crescente em refrigeração comercial
R-600a (Isobutano)	0	3	Usado em refrigeradores domésticos
R-744 (CO ₂)	0	1	Uso crescente em refrigeração industrial e comercial

O R-410A, embora ainda amplamente utilizado, vem sendo substituído gradualmente em sistemas de pequeno e médio porte. Em paralelo, cresce o interesse por fluídos naturais, como o propano (R-290), o isobutano (R-600a) e o dióxido de carbono (R-744), que apresentam GWP extremamente baixo ou nulo. Esses fluídos, no entanto, trazem desafios adicionais de aplicação, como inflamabilidade no caso dos hidrocarbonetos e altas pressões operacionais no caso do CO₂, exigindo desenvolvimento tecnológico e mão de obra especializada para garantir segurança e confiabilidade.

A recomendação atual é priorizar R-32, R-410A (em aplicações onde ainda é aceito) ou alternativas de menor GWP, ao mesmo tempo em que se acompanha a evolução de soluções baseadas em fluídos naturais. A adoção de fluídos mais limpos contribui não apenas para a redução do impacto climático, mas também para estratégias corporativas de ESG, metas de neutralidade de carbono e adequação às regulações internacionais, como o Regulamento F-Gas da União Europeia e os compromissos assumidos pelo Brasil na Emenda de Kigali.



Prevenção de Vazamentos

A prevenção de vazamentos de fluídos refrigerantes é uma das práticas mais importantes para reduzir o impacto ambiental e preservar a eficiência dos sistemas de climatização. Vazamentos comprometem diretamente o desempenho dos equipamentos, elevam o consumo de energia e liberam para a atmosfera substâncias de elevado Potencial de Aquecimento Global (GWP), agravando o efeito estufa. Em muitos casos, o impacto ambiental de um pequeno vazamento pode superar o consumo elétrico do próprio sistema ao longo de anos de operação, tornando essa medida crítica tanto sob o ponto de vista técnico quanto regulatório.

As melhores práticas envolvem etapas desde a instalação até a operação contínua. No comissionamento, recomenda-se a realização de testes de estanqueidade com nitrogênio seco sob pressão, antes da carga de fluído refrigerante, para garantir a integridade das conexões. Durante a operação, a manutenção preventiva deve incluir inspeções visuais, medições de pressão e temperatura e uso de detetores eletrônicos de vazamentos. Em sistemas de maior porte, é recomendável integrar sensores fixos de detecção de gases refrigerantes conectados ao sistema de automação predial (BMS), permitindo alarmes e desligamentos automáticos em caso de fuga. Outro ponto crítico é a qualidade da instalação, com uso de soldas adequadas, tubulações corretamente isoladas e torque controlado em conexões flangeadas.

O impacto da prevenção de vazamentos é significativo. Estudos mostram que perdas de 10 a 15% do fluído por ano podem gerar quedas de eficiência de até 20%, aumentando diretamente o consumo de energia elétrica.

VOCÊ SABIA?

Cada quilograma de refrigerante de alto GWP que escapa equivale a uma tonelada de CO₂ emitidas na atmosfera.



Referências Bibliográficas

- ASHRAE Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings: Zero Energy (2019)
- ASHRAE Advanced Energy Design Guide for Multifamily Buildings Achieving: Zero Energy (2022)
- ASHRAE 90.1-2016. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential.
- NBR 16401: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários.
- EPE (2023). Balanço Energético Nacional.
- INMETRO. Requisitos de Eficiência Energética para Equipamentos de Ar-Condicionado.
- U.S. Department of Energy (DOE). Energy Efficiency Trends in Residential and Commercial HVAC Systems.



ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL



A iluminação artificial em edificações vai muito além de atender a requisitos mínimos de iluminância: ela influencia o consumo energético, o conforto visual, a saúde e até a valorização dos empreendimentos. Um bom projeto deve ser concebido como parte de um sistema integrado que combina luz natural, iluminação artificial e controles inteligentes, garantindo luz na medida certa, no local certo e no momento certo, com o menor consumo possível de energia. Para construtoras e incorporadoras, essa abordagem representa menor CAPEX (menos luminárias), menor OPEX (menor consumo), além de proporcionar uma experiência superior aos usuários.

Correto dimensionamento

O correto dimensionamento da iluminação artificial deve sempre partir da análise detalhada do programa de usos e tarefas de cada ambiente, considerando não apenas a quantidade de luz necessária, mas também o controle de ofuscamento (UGR) e a integração com a iluminação natural disponível. A norma NBR/ISO 8995-1 estabelece os níveis mínimos aceitáveis de iluminância em ambientes internos, garantindo conforto visual, segurança e desempenho adequado às atividades realizadas. Projetos que respeitam esses parâmetros evitam “sobras” de iluminância, excesso de luz que não traz benefícios práticos e apenas eleva custos de investimento (CAPEX) e de operação (OPEX).

Para alcançar esse equilíbrio, é fundamental promover uma coordenação interdisciplinar, integrando desde as fases iniciais de projeto até a operação diferentes agentes, como arquitetura, elétrica, luminotécnica, interiores, paisagismo, integradores de controles, TI e manutenção. A compatibilização entre disciplinas é fundamental para identificar oportunidades de otimização em sinergia com outros sistemas.

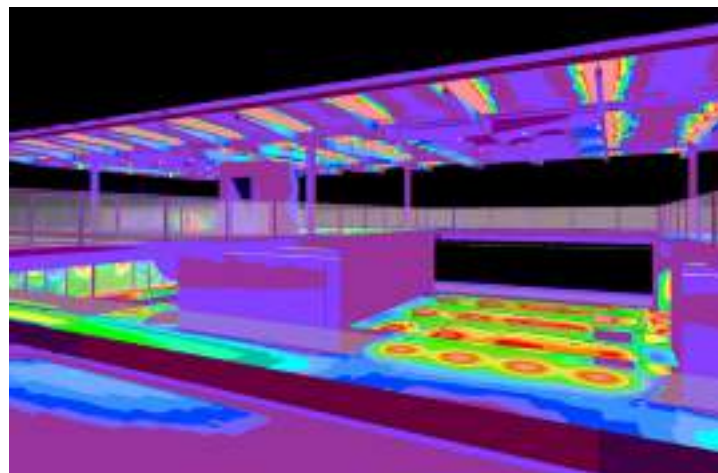
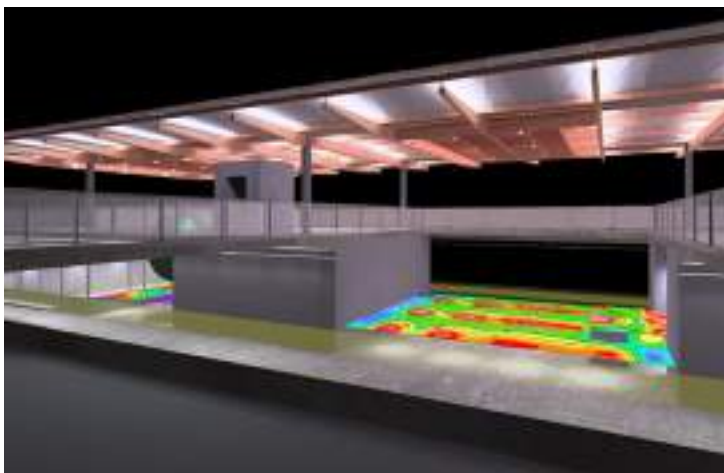
Outro ponto crucial é a adoção de projetos em camadas, iluminação de ambiente, de tarefa e de destaque que, associados a sistemas de controle e dimerização, permitem adaptar a cena luminosa às necessidades reais de cada espaço e horário. Essa abordagem resulta em sistemas mais enxutos, flexíveis e de maior qualidade, promovendo eficiência energética sem comprometer o conforto.

Além dos aspectos técnicos do sistema de iluminação, é fundamental considerar as características das superfícies internas do ambiente. Superfícies claras ajudam a reduzir potência e elevar a uniformidade. O uso de cores claras em paredes, pisos e tetos aumenta a refletância, reduzindo a necessidade de potência instalada e permitindo que níveis adequados de iluminância sejam atingidos com menor número de luminárias. Essa prática simples potencializa a eficiência do projeto, contribui para a uniformidade da luz e reduz a demanda energética ao longo da vida útil da edificação.

Com relação a iluminação externa, é importante considerar a poluição luminosa. Esta não afeta apenas a observação do céu noturno, ela também compromete os ecossistemas, desorienta aves e insetos, altera o ciclo natural da fauna e pode prejudicar o nosso próprio sono e bem-estar. Grande parte desse problema vem de projetos de iluminação mal dimensionados, que utilizam potências excessivas, cores inadequadas e luminárias que direcionam luz para onde não é necessário. Um bom projeto de iluminação pode mitigar esses efeitos, adotando luminárias com corte de ofuscamento, temperatura de cor adequada (preferência por tons quentes em áreas externas), controles automáticos e o direcionamento preciso da luz apenas para o espaço que realmente precisa ser iluminado.



Por fim, a utilização de ferramentas de simulação luminotécnica, como Dialux ou Relux, é indispensável no processo de projeto. Essas plataformas permitem avaliar diferentes cenários de distribuição da luz, quantificar níveis de iluminância conforme a NBR/ISO 8995-1 e ABNT NBR 15575-1: 2013; conseguindo assim otimizar a disposição das luminárias, garantindo a precisão dos cálculos e maior confiabilidade na etapa executiva. Com isso, é possível alcançar soluções mais assertivas, alinhando desempenho técnico, conforto visual e eficiência energética.



Simulação Luminotécnica. Fonte: Arquivos Studio Symbios.



CORRETO DIMENSIONAMENTO

Custo de implantação



Savings



Redução de Carbono Operacional



Zonas Bioclimáticas

Todas

Tipologia

Todas



VOCÊ SABIA?

A iluminação artificial pode influenciar diretamente o nosso ciclo circadiano, o relógio biológico que regula sono, vigília, disposição e até funções metabólicas. Luzes com intensidade e temperatura de cor inadequadas, especialmente no período da noite, podem inibir a produção de melatonina, dificultando o descanso e afetando a saúde a longo prazo.

Por outro lado, projetos de iluminação que consideram a dinâmica natural da luz do dia utilizando luz mais fria e intensa durante a manhã e à tarde, e mais quente e suave no período noturno ajudam a manter o equilíbrio do organismo, promovendo bem-estar, produtividade e qualidade de vida. Incorporar esse conceito, conhecido como *human centric lighting*, é cada vez mais valorizado em edificações modernas, tanto residenciais quanto corporativas.

Variação na temperatura de cor da luz do dia



Imagem de temperatura de cor. Fonte: Insta Arts (<https://instaarts.com/fotografia/o-que-e-a-temperatura-da-cor/>)



Potência Instalada

A tecnologia LED passou por saltos de eficácia e qualidade que hoje permitem cumprir metas de iluminância com menos potência e melhor reprodução de cor.

- **Difusão inicial (≈2005–2012):** luminárias típicas em ~60–90 lm/W, variação de qualidade de cor.
- **Maturidade (≈2013–2019):** ganhos ópticos/eletrônicos levam a ~90–120 lm/W, CRI ≥80 difundido e drivers dimerizáveis como padrão.
- **Geração atual (2020+):** otimizações fotométricas/eletrônicas elevam a ~120–160 lm/W (casos técnicos >180 lm/W), CRI 80/90 amplo e melhor manutenção de fluxo ao longo da vida útil.

Como as tecnologias de iluminação se desenvolvem rápido durante os anos, é muito importante acompanhar seu desenvolvimento e sempre buscar a solução mais atual, ideal para o seu projeto. Adotar a mesma solução que se utiliza a anos atrás, pode trazer uma perda de oportunidade de otimizar eficiência e custos.

VOCÊ SABIA?

Que na prática, para o mesmo nível de iluminância e qualidade de luz, usa-se menos potência do que há uma década; combinando refletâncias altas (teto/paredes/piso) e fotometria adequada, reduz-se LPD e consequentemente a carga térmica interna, aliviando o HVAC e o custo operacional.

LED DE ALTA EFICIÊNCIA

Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	✓ ✓ ✓
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas



Controle e Automação

Controles bem especificados e comissionados fazem a luz operar só quando e quanto precisa, aumentando economia, conforto e confiabilidade. Se-que abaixo algumas estratégias de controle para determinadas funcionalidades.

Sensores de presença/vacância

- **Lógica:**
Vacância (manual-ON/auto-OFF) para ambientes de uso intermitente (banheiros, salas de reunião, depósitos, lavanderias); Ocupação (auto-ON/auto-OFF) para halls, escadas, garagens e acessos.
- **Tecnologias:**
PIR (baixo custo), ultrassom (micro-movimentos), dupla tecnologia (PIR+ultrassom) para reduzir falsos ON/OFF; embutidos na luminária (LLLC).
- **Ajustes típicos:**
atraso de 5–10 min (passagem) / 10–15 min (trabalho), sensibilidade média/alta e cobertura sem obstruções.

Fotosensores e temporização (iluminação natural + horários)

- **Controle por luz natural:**
controle em degraus ou contínuo para manter setpoint (lux) em fileiras perimetrais; pode ser utilizado também em garagens acima do solo.
- **Externo: fotocélula + timer:**
liga ao escurecer, adapta ao nascer/pôr do sol e tem capacidade de programar um desligamento noturno ou dimerização noturna com preempção por presença.



Dimerização, cenas e high-end trim

- **Cenas por camadas:**
ambiente/tarefa/destaque adaptam uso e horário; em residências, rotinas simples (“acordar”, “jantar”, “noite”).
- **High-end trim:**
limitar fluxo máximo (p.ex., 80%) elimina “excesso crônico” da curva de depreciação da iluminância com pouca perda visual.

Automação e integração

- **Comercial (BMS):**
integração via 0–10 V, DALI/KNX, detecção de falhas e resposta à demanda.
- **Residencial:**
Áreas comuns com a mesma lógica dos comerciais;
Unidades com automação simples (apps/voz, Zigbee) para cenas e agendas.

CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Custo de implantação	\$	\$	\$
Savings	🌱	🌱	🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂	CO ₂	CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas		
Tipologia	Todas		

VOCÊ SABIA?

Que além de economizar energia, os controles aumentam conforto e produtividade ao permitir ajustes finos de quantidade, distribuição e, quando aplicável, espectro ao longo do dia. Em ambientes de trabalho, estudos associam maior controle individual a ganhos de satisfação e desempenho, enquanto a operação automatizada evita que áreas sejam iluminadas além do necessário.



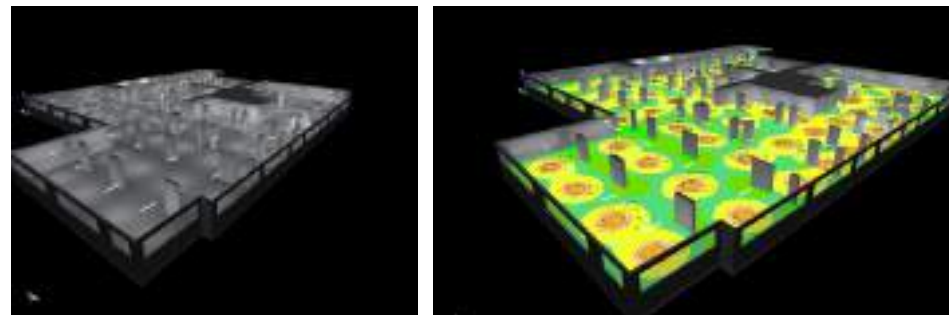
Taxonomia – Otimização do Sistema de Iluminação das Garagens

No estudo de avaliação da proposta de Taxonomia Sustentável Brasileira, foram avaliadas edificações que já adotam estratégias sustentáveis. Uma das análises do estudo avaliou oportunidades de eficiência energética para a iluminação artificial das garagens (4 pavimentos) de uma edificação multifamiliar. A iluminação aparece como o segundo maior consumo do empreendimento, respondendo por 18% da energia total. Desse montante, estacionamentos/garagens concentram 32% do consumo de iluminação, configurando-se como foco prioritário de intervenção.

Estratégias propostas:

- 1. Luminárias:** Otimização de quantidade, distribuição fotométrica e especificação (eficácia da luminária em lm/W), garantindo atendimento normativo sem alterar substancialmente o projeto original. Objetivo: atingir os níveis de iluminância requeridos com menor LPD (*Lighting Power Density*) e maior uniformidade.
- 2. Sensoriamento e zoneamento:** Adoção de sensores de presença e acionamento por zonas, conforme diretrizes da EN 12464-1:2021, para ligar/dimerizar apenas quando e onde necessário, reduzindo horas de operação sem comprometer segurança e conforto visual.
- 3. Iluminação natural (pavimentos sobressolo):** Inserção de aberturas com ~50% de permeabilidade, permitindo luz natural nas áreas de circulação; fotosensores realizam a calibração automática para manter a iluminância mínima conforme norma, dimerizando ou desligando a iluminação artificial quando possível.

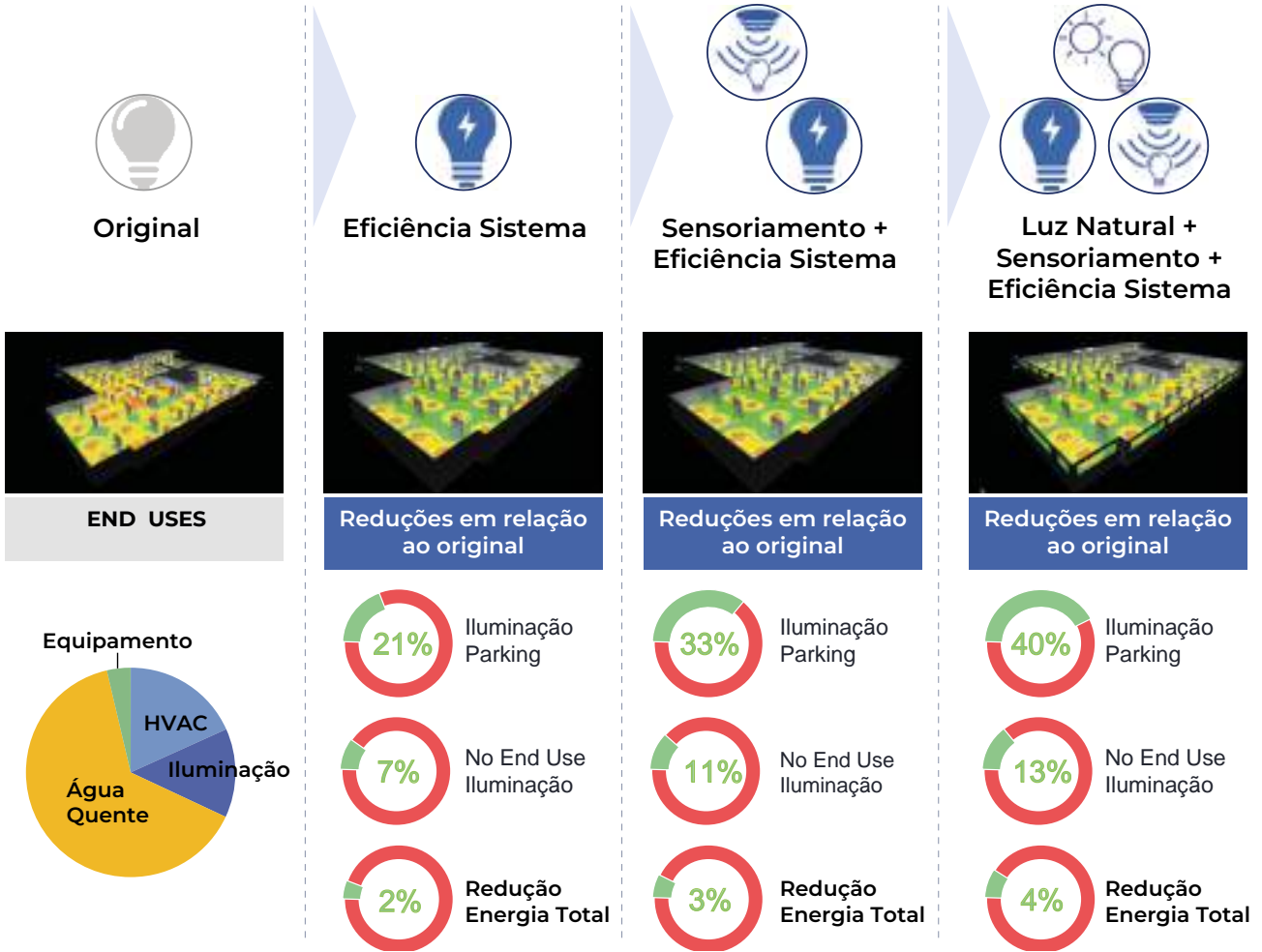
Resultados: No melhor cenário avaliado, obteve-se redução de 13% no consumo total de iluminação da edificação. Considerando que a iluminação das áreas comuns representa 57% de todo o consumo de iluminação, a replicação das medidas para todas as áreas comuns tende a ampliar significativamente o impacto global. Em todas as simulações, as melhorias de eficiência foram alcançadas sem prejuízo da qualidade luminosa (níveis, uniformidade e ofuscamento).



Resultado do estudos a Taxonomia Sustentável Brasileira desenvolvida para ABRAINIC pelo Studio Symbios. Simulação de luminotécnica, ilustrando a distribuição e níveis de lux alcançados na leitura de cores falsas. Fonte: Studio Symbios.



ESTACIONAMENTO | Eficiência do Sistema de Iluminação Artificial

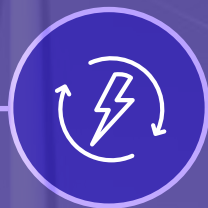


Resultado obtidos no estudo de aderência a Taxonomia Sustentável Brasileira, desenvolvida para ABRAINC pelo Studio Symbios. Fonte: Studio Symbios.



Referências Bibliográficas

- ASHRAE Advanced Energy Design Guide for Multifamily Buildings (2022)
- ASHRAE Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings: Zero Energy (2014)
- CIE S 017/E:2020. *International Lighting Vocabulary (ILV)*. Vienna: CIE, 2020.
- CIE 15:2018. *Colorimetry (4th ed.)*. Vienna: CIE, 2018.
- CIE 13.3:1995. *Method of Measuring and Specifying Colour Rendering of Light Sources*. Vienna: CIE, 1995.
- ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013. *Iluminação de ambientes de trabalho — Parte 1: Interiores*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. CIE 190:2010. *Calculation and Presentation of Unified Glare Rating (UGR)*. Vienna: CIE, 2010. ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2016. *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta/New York: ASHRAE/IES, 2016. *(LPD por edifício/por espaço e controles obrigatórios)*
- IES LM-80-15 (ou LM-80-20). *Measuring Lumen Maintenance of LED Packages, Arrays, and Modules*. New York: IES, 2015/2020.
- IES TM-21-19. *Projecting Long-Term Lumen Maintenance of LED Light Sources*. New York: IES, 2019.
- IEC 62722-2-1:2014. *Luminaire performance — Part 2-1: Particular requirements for LED luminaires*. Geneva: IEC, 2014.



GERAÇÃO ENERGIA RENOVÁVEL



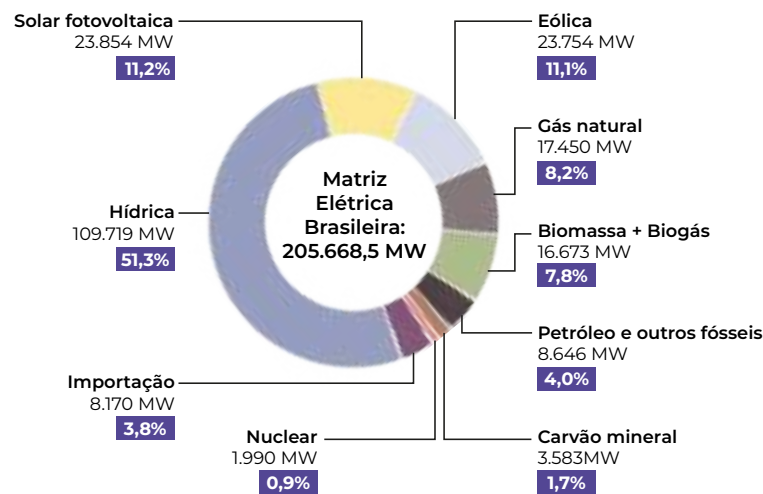
Introdução

O Brasil possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, com cerca de 83% da eletricidade gerada a partir de fontes renováveis (hidrelétrica, solar, eólica e biomassa), enquanto a média global está próxima de 30%. Apesar desse cenário positivo, os desafios futuros de aumento da demanda de energia, impulsionados pelo crescimento urbano, pela eletrificação da frota veicular e pelo avanço de tecnologias de alto consumo, exigem que as edificações sejam planejadas para incorporar soluções de geração renovável de forma cada vez mais estruturada. A construção civil, nesse contexto, desempenha papel fundamental para garantir que os novos empreendimentos contribuam com a descarbonização do setor energético e estejam preparados para o futuro.

Além da geração própria por meio de sistemas instalados no empreendimento, como painéis fotovoltaicos, há também a possibilidade de contratação de energia renovável no mercado livre de energia, o que permite às construtoras, incorporadores e condomínios acessar tarifas competitivas e certificados de origem renovável (I-RECs). Outra alternativa em crescimento é a geração distribuída (GD), regulamentada pela Lei 14.300/2022, que viabiliza modelos de autoconsumo remoto e consórcios de consumidores, ampliando o acesso à energia solar e eólica mesmo para empreendimentos localizados em áreas urbanas densas, com menor disponibilidade de espaço físico para instalação própria.

Mais do que uma tendência, a adoção de energia renovável no setor imobiliário já se tornou um diferencial competitivo. Empreendimentos que integram soluções renováveis desde a fase de projeto conseguem reduzir custos operacionais, aumentar o valor de mercado dos imóveis, atender às crescentes exigências de certificações ambientais e atrair investidores atentos às práticas de ESG.

Potência instalada em operação no país



Fonte: ABSOLAR

VOCÊ SABIA?

A Resolução CVM nº 193/2023 determinou que, a partir de 1º de janeiro de 2026, todas as companhias abertas (incluindo as listadas na B3), além de fundos de investimento e companhias securitizadoras, deverão elaborar e divulgar relatórios financeiros relacionados à sustentabilidade. Esses relatórios seguirão as normas IFRS S1 e S2, que integram às demonstrações contábeis informações sobre sustentabilidade e riscos climáticos, promovendo mais transparência, comparabilidade e credibilidade nas práticas de mercado.



A integração de sistemas de geração de energia renovável em empreendimentos imobiliários vai além da redução de custos operacionais: trata-se de um diferencial competitivo que agrega valor ao ativo, aumenta sua atratividade no mercado e fortalece o posicionamento da construtora ou incorporadora como referência em inovação e sustentabilidade.

Neste capítulo, serão apresentadas as principais tecnologias de geração de energia renovável aplicáveis à construção civil, suas vantagens, desafios e oportunidades, além de aspectos regulatórios e modelos de negócio que tornam viável a transição para uma matriz ainda mais sustentável no setor.

Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a fonte renovável que mais cresce no Brasil e no mundo, destacando-se pela facilidade de integração em empreendimentos imobiliários. No país, já representa mais de **15% da matriz elétrica**, com forte expansão em sistemas de geração distribuída (GD), tanto em áreas urbanas quanto rurais. Para construtoras e incorporadores, trata-se da solução renovável mais acessível e de maior impacto imediato na redução de custos de operação de condomínios e edificações comerciais.

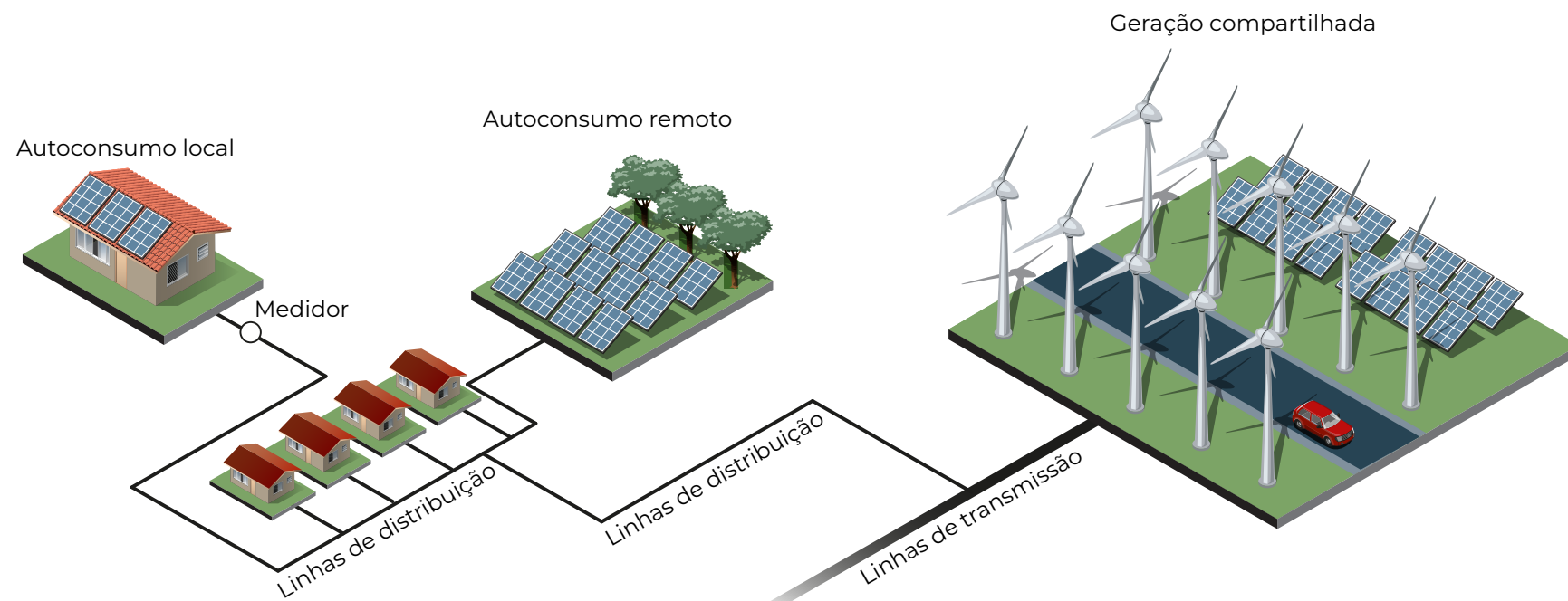
Aplicações em Empreendimentos

Nos condomínios residenciais e comerciais, os sistemas fotovoltaicos podem ser aplicados para suprir a demanda das áreas comuns, reduzindo significativamente os custos de energia do condomínio. Além disso, há alternativas de integração arquitetônica, como painéis em coberturas e estacionamentos solares, que agregam valor estético e funcional, ampliando a atratividade do empreendimento. Outra possibilidade relevante é o uso de autoconsumo remoto, onde a energia gerada em uma usina solar é compensada em diferentes unidades consumidoras, permitindo que construtoras ou administradoras de condomínios escalem projetos de energia limpa para múltiplos empreendimentos.

Modelos de Negócio

Com a Lei 14.300/2022 e o marco da geração distribuída, os empreendimentos podem adotar diferentes modelos:

- **Geração individual:** sistema fotovoltaico instalado na própria edificação para consumo local.
- **Geração compartilhada (consórcios ou cooperativas):** mais de um condomínio ou empresa compartilha a geração de uma mesma usina.
- **Autoconsumo remoto:** a energia produzida em uma usina é compensada em outros empreendimentos da mesma incorporadora ou administradora.





Benefícios para Construtoras e Incorporadores

A adoção da energia solar fotovoltaica nos projetos imobiliários garante:

- Redução de custos operacionais em áreas comuns, aliviando a taxa condominial.
- Maior valorização dos imóveis e diferencial competitivo de mercado.
- Atendimento a critérios de certificações ambientais (LEED, AQUA, EDGE).
- Aumento da atratividade para investidores e compradores, com ênfase em sustentabilidade e ESG.
- Retorno sobre o investimento (ROI) que, em empreendimentos multifamiliares e comerciais, geralmente ocorre entre 3 a 7 anos, dependendo da escala do projeto e da localidade.

Desafios

Apesar dos avanços regulatórios e da redução nos custos das tecnologias renováveis, ainda existem desafios relevantes para a ampla adoção em empreendimentos imobiliários. Conhecer essas barreiras é fundamental para construtoras e incorporadores planejarem projetos realistas e com viabilidade econômico-financeira de longo prazo.

Custos Iniciais de Implantação

Embora o custo do kWp solar fotovoltaico tenha caído mais de 80% na última década, o investimento inicial ainda pode ser visto como um entrave, especialmente em empreendimentos de baixo e médio padrão. A percepção de que o retorno ocorre apenas no médio prazo pode dificultar a decisão de construtoras e compradores quando não há clareza sobre os ganhos futuros em economia e valorização.

Questões Regulatórias e Tributárias

A complexidade das regras de compensação de energia (Lei 14.300/2022), as diferenças de isenção de ICMS entre estados e a cobrança progressiva da TUSD fio B geram incertezas para investidores e incorporadores. A constante atualização regulatória exige acompanhamento técnico especializado.



Manutenção e Operação

Embora sejam sistemas de baixa manutenção, a operação inadequada pode reduzir significativamente a eficiência. A falta de cultura de monitoramento contínuo em condomínios é uma barreira, já que perdas de geração não detectadas comprometem o *payback*. Além disso, é necessário prever mão de obra especializada para inspeções periódicas.

Espaço e Integração Arquitetônica

Em empreendimentos verticais densos, a área de cobertura disponível nem sempre é suficiente para gerar toda a energia necessária. Isso exige soluções de autoconsumo remoto ou geração compartilhada.

Energia Solar Térmica

O aquecimento solar de água é uma das tecnologias renováveis mais consolidadas no Brasil, especialmente em edificações multifamiliares de médio e alto padrão, hotéis, hospitais e empreendimentos que buscam certificações ambientais. Trata-se de um sistema no qual coletores solares, instalados na cobertura, aquecem a água que é armazenada em reservatórios térmicos e distribuída até os pontos de consumo. Essa solução pode gerar reduções superiores a 70% no consumo anual de energia destinada ao aquecimento de água, tornando-se uma alternativa altamente eficiente em termos energéticos e ambientais.

O tema já foi explorado em profundidade no capítulo Eficiência Energética no Sistema de Água Quente, onde são detalhadas estratégias de dimensionamento, tipologias de sistemas e medidas complementares, como restritores de vazão, isolamento térmico e recuperação de calor. No entanto, no contexto dos empreendimentos imobiliários, vale ressaltar alguns aspectos estratégicos: a necessidade de previsão de áreas técnicas para instalação dos coletores (cerca de 1,2 m² por unidade habitacional em média), a integração arquitetônica com coberturas e fachadas, a importância de considerar sistemas de apoio térmico (gás ou eletricidade) para garantir disponibilidade em dias nublados, e os ganhos em valorização do empreendimento e diferenciação de mercado frente a concorrentes.

Do ponto de vista dos incorporadores, os sistemas solares térmicos agregam valor não apenas pela economia direta nas contas de energia dos usuários, mas também por reforçarem a imagem do empreendimento como sustentável, moderno e alinhado às práticas de ESG. Além disso, reduzem custos condominiais em edificações coletivas e contribuem diretamente para certificações ambientais como LEED, AQUA e EDGE, cada vez mais valorizadas por investidores e compradores.



Energia Eólica em Pequena Escala

A energia eólica é uma das fontes renováveis mais promissoras no Brasil, especialmente no Nordeste e no Sul, regiões onde a velocidade e a constância dos ventos garantem elevado fator de capacidade. Embora a maior parte da geração eólica no país esteja concentrada em grandes usinas, a tecnologia de micro e minigeração eólica tem avançado e pode ser considerada em empreendimentos imobiliários específicos.

Para construtoras e incorporadores, a eólica em pequena escala é aplicável principalmente em condomínios horizontais, resorts, empreendimentos no litoral ou em áreas abertas, onde as condições de vento são favoráveis e a implantação de aerogeradores não gera conflitos com o entorno. A integração com a rede elétrica funciona de forma semelhante à geração fotovoltaica, permitindo compensação de créditos de energia via sistema de geração distribuída.

Entre os benefícios estão a possibilidade de diversificar a matriz de geração renovável no empreendimento, reduzir custos condominiais e destacar o projeto como referência em inovação e sustentabilidade. No entanto, os desafios ainda são significativos: os custos iniciais são relativamente altos em comparação ao solar fotovoltaico, os aerogeradores podem gerar impactos visuais e acústicos, e a viabilidade depende fortemente da análise técnica do potencial eólico local. Além disso, em áreas urbanas densas, a turbulência do vento reduz a eficiência e torna a aplicação limitada.

Assim, a energia eólica em pequena escala deve ser vista como uma solução complementar, aplicável em contextos específicos, especialmente quando há abundância de ventos constantes. Sua presença em empreendimentos pode reforçar o posicionamento do projeto como pioneiro e sustentável, agregando valor de marketing e inovação para construtoras e incorporadores que buscam diferenciação.



Fonte: Istock (ID: 186856292)



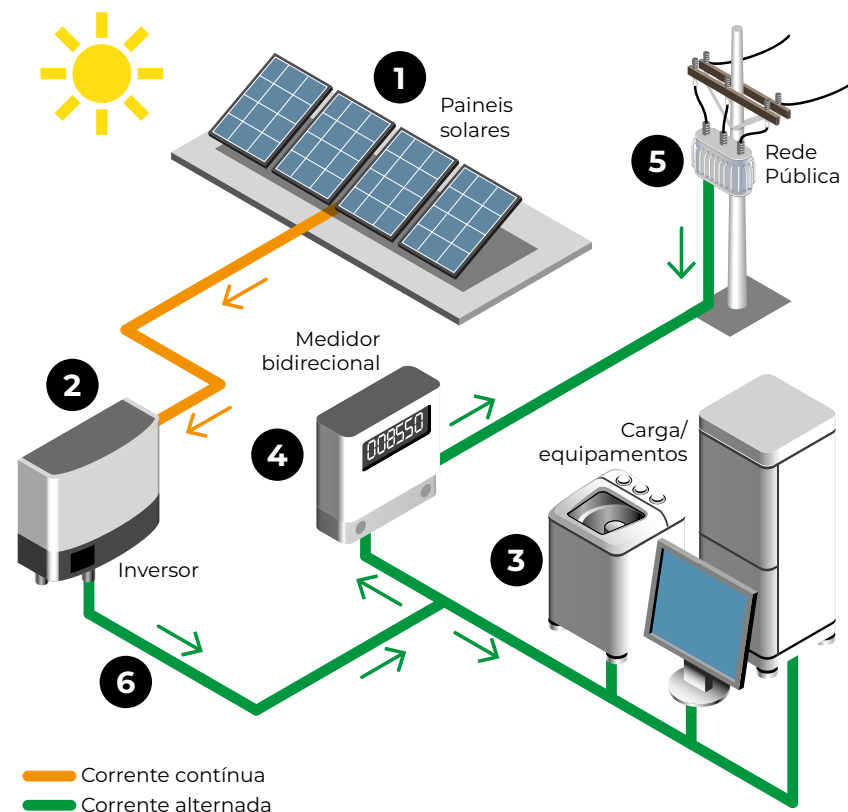
Integração da Geração Renovável ao Projeto

A incorporação de sistemas de geração renovável em empreendimentos imobiliários depende de um fator essencial: o planejamento desde a concepção arquitetônica. Prever a infraestrutura adequada, como áreas técnicas para inversores e reservatórios, espaços de cobertura para painéis solares, shafts e dutos preparados para futuras conexões, é sempre mais econômico e eficiente do que realizar retrofits após a entrega do empreendimento. Essa antecipação evita custos elevados de adaptação e garante que o sistema opere em sua máxima capacidade desde o início.

A integração deve ser pensada em sinergia com os demais sistemas prediais. Em áreas comuns, soluções como garagens solares com pontos de recarga para veículos elétricos ou sistemas de geração dedicados para iluminação e piscinas reforçam a funcionalidade e a imagem sustentável do empreendimento.

Regras Práticas de Dimensionamento

- **Solar Fotovoltaico:** cada 1 kWp instalado gera, em média, 120 a 180 kWh/mês, dependendo da região do Brasil.
- **Área necessária:** cerca de 6 a 8 m² de cobertura por kWp instalado em painéis convencionais.
- **Peso (carga permanente) de PV:** módulos cristalinos ~10–13 kg/m²; com estrutura e fixações, geralmente é considerado ~15–20 kg/m² no dimensionamento estrutura
- **Inclinação/Orientação:** maximize produção com orientação para Norte e inclinação próxima à latitude local, evite sombreamentos.
- **Infraestrutura elétrica:** prever dutos e eletrocalhas desde o projeto estrutural, evitando problemas de compatibilização.



Componentes principais de uma instalação fotovoltaica (Painel, Inversor, Medidor bidirecional, Rede Pública e Carga – Equipamentos).



Potencial de Geração pelo Brasil

O Brasil possui excelente irradiação solar em praticamente todo o território, mas existem diferenças regionais relevantes:

- **Melhores regiões:** Nordeste e Centro-Oeste, com coeficientes de geração próximos a 180 kWh/mês por kWp instalado (ex.: Petrolina/PE, Palmas/TO).
- **Regiões médias:** Sudeste e Sul do interior, com valores entre 140 e 160 kWh/mês por kWp (ex.: Belo Horizonte, São Paulo, Florianópolis).
- **Piores regiões:** Litoral Sul e áreas de alta nebulosidade, com valores em torno de 120 kWh/mês por kWp (ex.: Curitiba, litoral de Santa

Mesmo os piores cenários brasileiros superam países de referência em energia solar, como a Alemanha (média de 100 kWh/mês por kWp). Isso demonstra o enorme potencial de geração distribuída no Brasil, reforçando a atratividade para empreendimentos imobiliários.



Fonte: World Bank Group, ESMAP, Solargis, 2025 (<https://globalsolaratlas.info/download>).



Aspectos Regulatórios e Incentivos

A adoção de energia renovável em empreendimentos imobiliários está fortemente vinculada ao marco regulatório e aos incentivos disponíveis no Brasil. A principal referência é a Lei 14.300/2022, que instituiu o Marco Legal da Geração Distribuída (GD), regulamentando sistemas fotovoltaicos, eólicos, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas em até 5 MW conectados à rede. Para construtoras e incorporadores, essa lei abriu espaço para modelos como autoconsumo remoto e geração compartilhada, permitindo que empreendimentos em áreas urbanas densas possam compensar sua energia a partir de usinas localizadas em terrenos ou áreas disponíveis em outras localidades.

A regulação da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) também estabelece regras para conexão, compensação e tarifação da energia. É importante destacar que, com a transição prevista pela Lei 14.300, consumidores que protocolaram seus projetos até janeiro de 2023 mantêm o direito à compensação integral de energia até 2045. Já novos projetos seguirão regras de transição com cobrança progressiva de encargos, o que torna mais desafiadora a viabilidade financeira e reforça a necessidade de planejamento estratégico desde a fase de projeto.

Além da geração própria, uma alternativa cada vez mais adotada é a aquisição de energia renovável por meio de geração compartilhada. Nesse modelo, um grupo de consumidores, como condomínios residenciais, edificações corporativas ou redes de empreendimentos de uma mesma incorporadora, se associa em cooperativas ou consórcios para compartilhar a produção de uma usina de energia solar ou eólica. Essa modalidade é especialmente atrativa quando não há espaço físico

disponível no empreendimento para instalar os painéis, mas ainda se deseja acessar os benefícios da energia limpa e da redução de custos na conta de luz.

Existe também a alternativa do mercado livre de energia, que permite a contratação de energia renovável certificada (I-RECs) a preços competitivos, especialmente interessante para empreendimentos comerciais de maior porte.

No campo dos incentivos financeiros, o Brasil conta com linhas específicas de financiamento para energia renovável, disponíveis em bancos como BNDES, Banco do Brasil, Caixa Econômica Federal, Banco do Nordeste e cooperativas de crédito regionais. Além disso, em alguns estados e municípios existem isenções de ICMS sobre a energia compensada (TUSD e TE) via GD, o que pode melhorar o retorno sobre o investimento.

Para construtoras e incorporadores, conhecer e aplicar esses instrumentos regulatórios e financeiros é essencial para viabilizar projetos de geração renovável com segurança jurídica e previsibilidade de retorno. Incorporar a análise regulatória já no business plan do empreendimento aumenta a competitividade do projeto e garante aos compradores e investidores a percepção de longo prazo em sustentabilidade e economia.



Futuro da Geração Renovável na Construção Civil

O futuro da construção civil está intrinsecamente ligado à transição energética. As edificações deixarão de ser apenas consumidoras para se tornarem ativos energéticos, capazes de gerar, armazenar e até comercializar energia renovável. Essa mudança já é visível em iniciativas de *Net Zero Energy Buildings* (NZEBS), onde a soma anual de geração própria iguala ou supera o consumo total da edificação.

A tendência aponta para uma integração crescente entre geração renovável, eficiência energética e mobilidade elétrica. Garagens solares com pontos de recarga para veículos elétricos já começam a ser um diferencial em empreendimentos residenciais e corporativos, reforçando a sinergia entre conforto, economia e sustentabilidade. Além disso, a evolução dos sistemas de armazenamento em baterias (BESS) permitirá maior autonomia e estabilidade, reduzindo a dependência da rede em horários de pico.

No horizonte, a construção civil também será protagonista na criação de cidades inteligentes, nas quais edificações se conectam em microrredes urbanas capazes de compartilhar excedentes de energia. Tecnologias como fachadas fotovoltaicas integradas (BIPV), telhados verdes com painéis híbridos (elétricos + térmicos) e até o uso de hidrogênio verde como vetor de armazenamento começarão a ganhar espaço.

Para construtoras e incorporadores, isso significa que os próximos empreendimentos precisarão estar preparados não apenas para reduzir custos, mas para operar como hubs de energia limpa, gerando novos modelos de negócio, atraindo investidores e garantindo relevância em um mercado cada vez mais orientado por critérios de sustentabilidade e inovação.



Ilustração futurista de uma cidade com as edificações com fachadas fotovoltaicas (BIPV), telhados verdes híbridos e uso de hidrogênio verde.



Pontos principais de uma edificação do futuro (Eficiência Energética, Passive Design, 100% elétrico, Geração Renovável, Sistemas de Baterias e Flexibilidade do Grid).



Referências Bibliográficas

- ASHRAE Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings: Zero Energy (2019)
- ASHRAE 90.1-2016. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential.
- ANEEL. Resolução Normativa nº 482/2012 e nº 687/2015: Geração Distribuída.
- Brasil. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Marco Legal da Geração Distribuída.
- EPE (2023). Balanço Energético Nacional – Ano base 2022.
- ABRADDEE (2022). Cartilha de Geração Distribuída.
- IEA (2023). World Energy Outlook. International Energy Agency.
- IRENA (2023). Renewable Energy Statistics. International Renewable Energy Agency.
- ABGD (2025). Panorama da Geração Distribuída no Brasil.
- Greener (2025). Estudos de Mercado de Geração Distribuída Solar Fotovoltaica no Brasil.



EQUIPAMENTOS



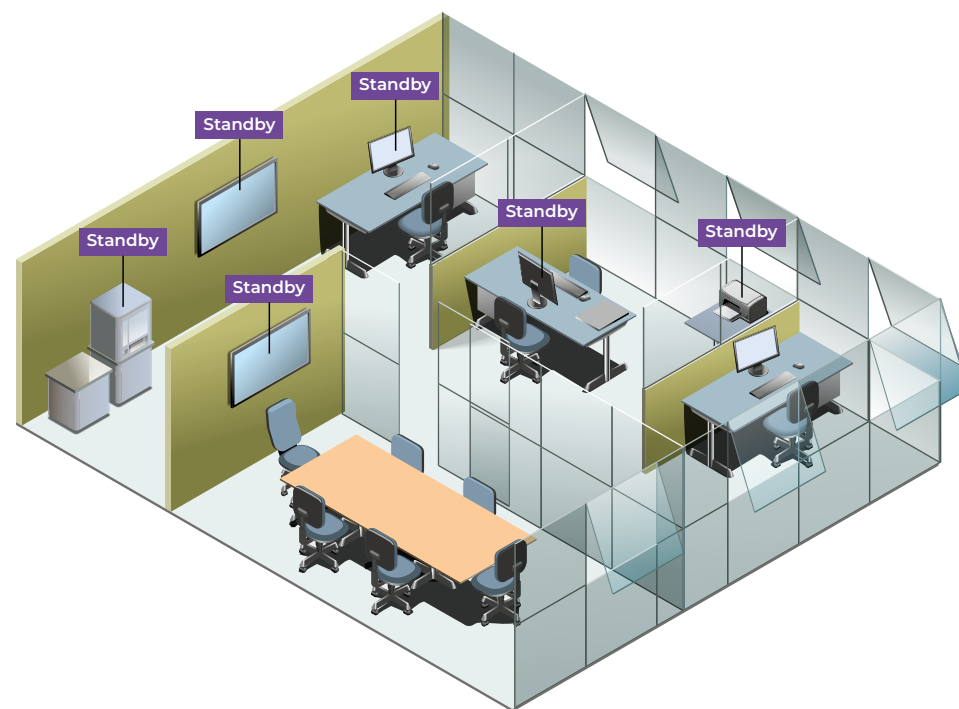
Introdução

O consumo de energia em edificações não está restrito apenas a sistemas de climatização e iluminação. Outros equipamentos, conhecidos como cargas específicas ou equipamentos auxiliares, representam uma parcela significativa do uso energético em empreendimentos residenciais e comerciais, podendo chegar até 30% do seu consumo. Entre eles, destacam-se as cargas de tomada (*plug loads*) e os elevadores, que juntos podem impactar de forma relevante o custo operacional de uma edificação. Para construtoras e incorporadores, compreender e aplicar medidas de eficiência nesses sistemas significa não apenas reduzir o OPEX (custos de operação e manutenção), mas também aumentar a atratividade e valorização dos empreendimentos, com benefícios diretos para taxas condominiais e percepção de sustentabilidade.

Abaixo iremos explorar medidas de eficiência energética que podem ser adotadas nas escolhas e configurações dos equipamentos de edificações.

Plug Loads (Cargas de Tomada)

As cargas de tomada incluem desde computadores, impressoras e eletrodomésticos até equipamentos de apoio como câmeras e roteadores. Em edificações corporativas, podem chegar a representar até 30% do consumo elétrico, enquanto em residenciais aparecem de forma mais difusa, mas ainda significativa.





Tomadas Inteligentes

As tomadas inteligentes são dispositivos projetados para cortar automaticamente a alimentação de equipamentos em standby ou fora do horário de uso, evitando o consumo desnecessário de energia. Sua aplicação é especialmente vantajosa em áreas comuns de condomínios, como salões de festas, academias e *coworkings*, além de escritórios corporativos, onde há grande quantidade de equipamentos de apoio conectados. Trata-se de uma solução relevante em todo o Brasil.

O custo médio de implantação é relativamente baixo, variando entre R\$ 100 e R\$ 200 por unidade, com potencial de gerar uma economia de até 10% no consumo das cargas controladas. Além do retorno financeiro, a medida contribui para a redução do desperdício em equipamentos pouco utilizados e pode ser rapidamente implementada sem grandes adaptações na infraestrutura. Entre os principais desafios, destacam-se a necessidade de conscientização dos usuários para o uso adequado e a realização de uma manutenção mínima, garantindo o pleno funcionamento dos dispositivos ao longo do tempo.

VOCÊ SABIA?

Muitas vezes as cargas de tomada são superestimadas para fins de projeto. Isso é comum quando os inquilinos estão negociando contratos de locação em edificações de escritórios. Estudos mostram que os inquilinos frequentemente solicitam cargas de tomada na faixa de 50 a 100 W/m², mas, após ocuparem a edificação, suas cargas reais medem menos de 6,5 W/m² (Sheppy et al., 2014).



TOMADAS INTELIGENTES

Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	🌱 🌱 🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas



Sensores de Presença Integrados a Tomadas e Circuitos

Os sensores de presença integrados a tomadas e circuitos representam uma solução eficiente para eliminar desperdícios de energia em ambientes de uso intermitente, pois desligam automaticamente os equipamentos quando não detectam ocupação. Essa tecnologia é particularmente eficaz em salas de reunião, áreas de apoio técnico e escritórios compartilhados, onde a permanência de pessoas é variável e muitas vezes os equipamentos permanecem ligados sem necessidade.

Embora possa ser aplicada em todas as regiões do Brasil, sua relevância é ainda maior em edificações corporativas urbanas, que concentram grande volume de cargas de tomada. O custo de implantação varia entre R\$ 250 e R\$ 500 por ponto, mas o potencial de retorno é significativo, com economia estimada entre 15% e 20% em ambientes de baixa ocupação. Entre os benefícios, destaca-se o fato de ser uma solução de economia automática, dispensando a ação direta dos usuários. Os principais desafios, por outro lado, envolvem a instalação inicial e os ajustes de sensibilidade dos sensores, que precisam ser calibrados para evitar acionamentos desnecessários ou desligamentos inadequados.

SENSORES DE PRESENÇA	
Custo de implantação	
Savings	
Redução de Carbono Operacional	
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Corporativo

Especificação de Equipamentos Eficientes (Selo Procel A)

A especificação de equipamentos eficientes, identificados pelo Selo Procel A, *Energy Star* ou certificações equivalentes, é uma medida fundamental para reduzir o consumo de energia em edificações. Essa prática consiste na escolha de equipamentos de escritório e eletrodomésticos de alto desempenho energético, garantindo menor gasto de eletricidade durante toda a sua vida útil. É uma estratégia especialmente relevante em empreendimentos corporativos e em áreas comuns residenciais, como salões de festas, academias e lavanderias compartilhadas.

Por se tratar de uma medida de caráter universal, sua aplicação é recomendada em todo o território nacional, sem restrição geográfica. O custo inicial tende a ser de 5% a 10% superior ao de equipamentos convencionais, mas esse valor é compensado por uma economia de 15% a 30% no consumo, resultando em retorno consistente no longo prazo. Entre os principais benefícios, destacam-se a redução contínua dos custos operacionais, a valorização do imóvel e a contribuição para certificações ambientais. Como desafios, ainda existem a barreira do custo inicial mais elevado e a necessidade de promover uma cultura de compra eficiente, estimulando incorporadores, síndicos e usuários a priorizarem equipamentos de maior desempenho energético.

EQUIPAMENTOS EFICIENTES	
Custo de implantação	
Savings	
Redução de Carbono Operacional	
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas



Bombas de Água

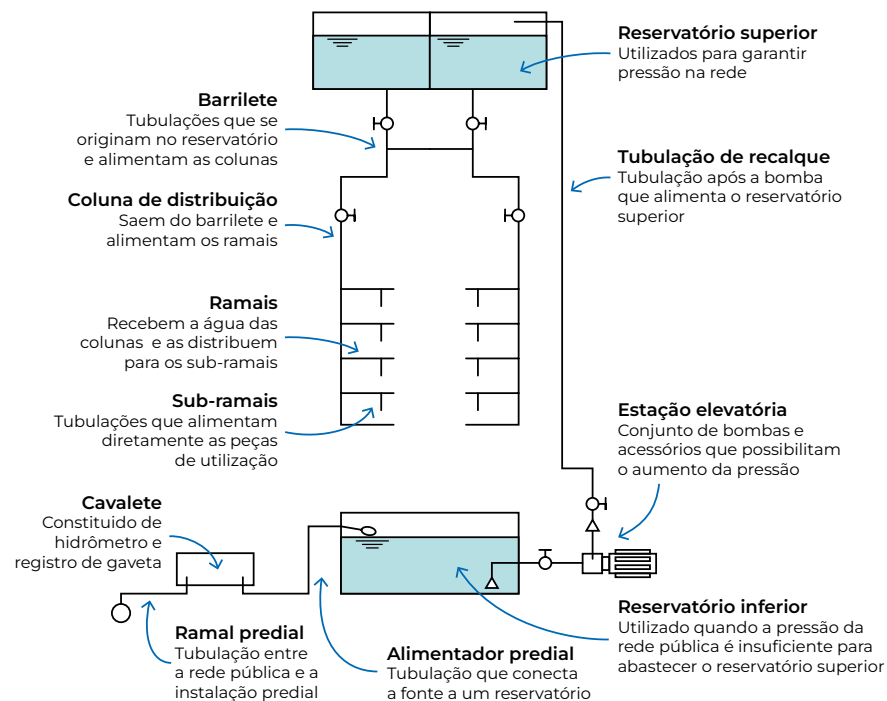
As bombas de água são elementos fundamentais nos sistemas prediais de abastecimento, recalque e pressurização, mas também estão entre os principais responsáveis pelo consumo de energia em edificações residenciais e comerciais. O uso de soluções de eficiência nesse componente pode reduzir significativamente os custos operacionais e aumentar a confiabilidade dos sistemas hidráulicos. Estratégias como o dimensionamento correto, a aplicação de motores de alto rendimento, o uso de inversores de frequência e a integração a sistemas de automação permitem adequar a operação à demanda real, reduzir perdas e prolongar a vida útil dos equipamentos.

Dimensionamento Correto da Bomba

Dimensionamento correto das bombas é uma medida essencial para garantir eficiência energética e prolongar a vida útil do sistema. Evitar o sobredimensionamento, que aumenta tanto o consumo de energia quanto o desgaste prematuro dos equipamentos, é fundamental. Para isso, o projeto deve ser elaborado com base em curvas de vazão/pressão e apoiado por simulações hidráulicas que representem fielmente o comportamento do sistema em diferentes condições de operação.

Essa abordagem pode resultar em redução de até 15% no consumo energético em comparação com sistemas superdimensionados, além de assegurar maior conforto hidráulico para os usuários. O principal desafio, entretanto, é a necessidade de integração entre os projetistas hidráulico e elétrico, garantindo que as bombas sejam especificadas de forma precisa e alinhada às condições reais de operação.

Componentes de um sistema hidráulico predial



EQUIPAMENTOS EFICIENTES

Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	🌱 🌱 🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas



Motores de Alto Rendimento

Os motores de alto rendimento representam uma alternativa importante para aumentar a eficiência energética em sistemas de bombeamento. Essa medida consiste na substituição de motores convencionais por modelos certificados pelo INMETRO/PROCEL, que apresentam melhor desempenho. Sua aplicação é recomendada principalmente em edificações residenciais e comerciais de médio e grande porte, onde o consumo de água é mais significativo e o impacto energético é maior. Trata-se de uma solução válida em todo o Brasil, mas especialmente vantajosa em cidades com tarifas de energia mais elevadas, onde a economia se reflete de forma mais expressiva nos custos operacionais.

A adoção desses motores pode gerar uma redução de até 10% no consumo em comparação com equipamentos padrão, trazendo ganhos consistentes ao longo do tempo. Como principal desafio, destaca-se o custo inicial mais elevado, o que pode retardar a decisão de investimento quando a análise não considera o ciclo de vida do equipamento.

Faixa de Potência (kW)	Eficiência Motor Padrão (%)	Eficiência Motor Alto Rendimento (%)
1,5 – 3 kW	82 – 85%	87 – 89%
4 – 7,5 kW	85 – 87%	89 – 91%
11 – 22 kW	88 – 90%	91 – 93%
30 – 75 kW	90 – 91%	93 – 95%

* Os valores são médios, baseados nos níveis de eficiência estabelecidos pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (INMETRO/PROCEL).

MOTORES EFICIENTES

Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	☑ ☑ ☑
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas



Inversores de Frequência (VFD – Variable Frequency Drives)

Os inversores de frequência (VFD – Variable Frequency Drives) permitem que a bomba opere com variação de rotação, ajustando o consumo de energia à demanda real de água. Essa tecnologia é amplamente aplicada em sistemas de pressurização predial, recalque de reservatórios e piscinas, trazendo maior flexibilidade operacional. Sua utilização é recomendada em todo o território nacional, mas apresenta impacto ainda mais significativo em edificações com ocupação variável, onde a demanda por água oscila ao longo do dia. Entre os principais benefícios está a possibilidade de reduzir o consumo de energia em 20% a 40%, dependendo do perfil de uso. Como desafios, destacam-se o investimento inicial mais elevado e a necessidade de manutenção especializada, fatores que exigem planejamento adequado na fase de projeto e operação.

INVERSORES DE FREQUÊNCIA	
Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	🌱 🌱 🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas

Automação e Monitoramento

A integração das bombas ao BMS (*Building Management System*) permite o monitoramento em tempo real de parâmetros como horas de operação, ocorrência de falhas e consumo energético. Essa solução é mais aplicada em empreendimentos corporativos, shopping centers e condomínios de grande porte, onde a complexidade operacional exige maior controle. Entre os principais benefícios estão a detecção precoce de falhas, que reduz o risco de paradas inesperadas, a diminuição dos custos de manutenção e a otimização do consumo de energia por meio de ajustes mais precisos na operação. O principal desafio, no entanto, está no investimento inicial em sistemas de automação, que requer infraestrutura dedicada e gestão especializada para garantir o melhor aproveitamento.

AUTOMAÇÃO	
Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	🌱 🌱 🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Grande porte

VOCÊ SABIA?

Um VFD bem ajustado pode dobrar a vida útil dos rolamentos e reduzir ruídos de operação.



Elevadores

Os elevadores estão entre os principais consumidores de energia em edificações de múltiplos pavimentos e, ao mesmo tempo, representam uma oportunidade relevante de ganhos de eficiência. A modernização tecnológica dos sistemas de tração, a recuperação de energia nas frenagens, o controle inteligente de tráfego e a incorporação de recursos simples como iluminação LED e modos de espera são estratégias que reduzem custos operacionais, aumentam o conforto dos usuários e contribuem para a sustentabilidade dos empreendimentos.

Motores Eficientes

Os motores de ímã permanente e os motores gearless representam soluções modernas e de alto rendimento para sistemas de elevação, trazendo ganhos expressivos em eficiência energética e desempenho quando comparados aos motores convencionais de indução com caixa de engrenagens. Os modelos de ímã permanente oferecem maior eficiência elétrica e dimensões mais compactas, enquanto os sistemas gearless eliminam a necessidade de engrenagens, reduzindo perdas mecânicas, ruído e vibrações, além de proporcionarem maior conforto aos usuários. A aplicação dessas tecnologias é mais comum em edificações residenciais de médio e alto padrão e em empreendimentos comerciais de múltiplos pavimentos, sendo viável em qualquer região do país, sem restrições. Embora o custo inicial seja de 15% a 20% superior ao de sistemas tradicionais, a diferença é compensada por uma economia de até 30% no consumo de energia ao longo da operação. Entre os principais benefícios, além da eficiência elevada, destacam-se a redução da necessidade de espaço físico para a casa de máquinas e a maior confiabilidade operacional. O desafio para sua adoção em maior escala continua sendo o investimento inicial mais alto, que exige análise de viabilidade considerando o ciclo de vida completo do equipamento.

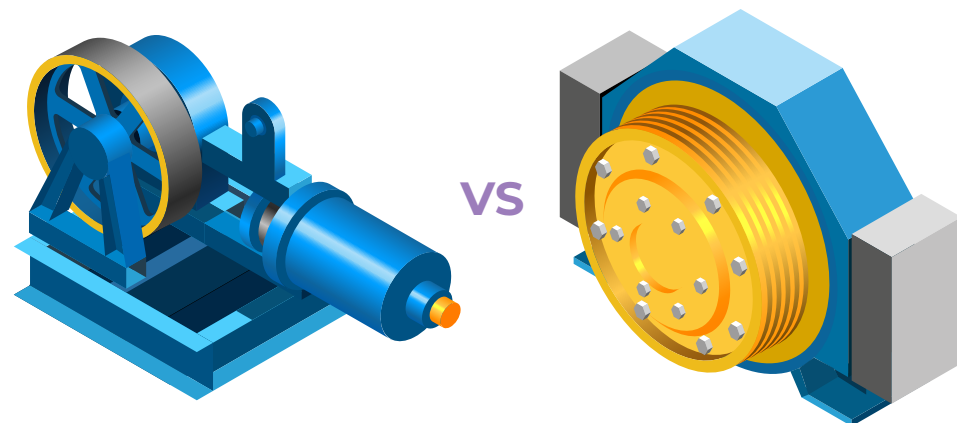


Ilustração do lado esquerdo - motor tradicional, do lado direito - motores gearless.

MOTORES EFICIENTES

Custo de implantação	\$ \$ \$
Savings	🌱 🌱 🌱
Redução de Carbono Operacional	CO ₂ CO ₂ CO ₂
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Grande porte



Sistemas Regenerativos

Os sistemas regenerativos aplicados a elevadores consistem em tecnologias que reaproveitam a energia gerada durante a frenagem, devolvendo-a para a rede interna da edificação em vez de dissipá-la em forma de calor. Essa solução é especialmente adequada para edificações corporativas e comerciais de grande porte, onde há tráfego intenso de passageiros. O investimento costuma representar um acréscimo de 15% a 25% em relação a sistemas tradicionais, mas pode gerar uma economia de 20% a 40% no consumo de energia, dependendo do perfil de uso. Além da redução de custos operacionais, a tecnologia contribui para os objetivos de sustentabilidade dos empreendimentos. No entanto, seu uso só se mostra realmente vantajoso em prédios com elevado fluxo de passageiros, onde os ganhos energéticos compensam o custo adicional de implantação.

REGENERATIVO	
Custo de implantação	
Savings	
Redução de Carbono Operacional	
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Comercial / Corporativo

Controle Inteligente de Tráfego

O controle inteligente de tráfego em elevadores utiliza algoritmos capazes de agrupar chamadas e otimizar rotas, reduzindo o número de viagens desnecessárias e melhorando o desempenho geral do sistema. Essa tecnologia é considerada essencial em torres comerciais e edificações de uso misto, especialmente em regiões metropolitanas com alta circulação de pessoas. Embora implique um custo adicional de cerca de 10% no sistema de controle, pode gerar uma economia de 10% a 15% no consumo de energia, além de oferecer benefícios significativos como maior conforto aos usuários e redução do tempo de espera. O principal desafio está na complexidade da programação inicial, que exige ajustes criteriosos para garantir o melhor desempenho do sistema no contexto específico de cada empreendimento.

CONTROLE DE TRÁFEGO	
Custo de implantação	
Savings	
Redução de Carbono Operacional	
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Comercial / Corporativo

VOCÊ SABIA?

O controle inteligente de tráfego pode reduzir em até 30% o tempo médio de espera dos usuários.



Cabines Eficientes e Stand-by

O uso de iluminação LED e modos de espera em elevadores é uma medida simples e eficaz para reduzir o consumo de energia quando o equipamento não está em operação. Essa solução pode ser aplicada em qualquer tipologia de edificação e em todas as regiões do país, representando um custo adicional marginal em relação ao valor total do elevador. Nas edificações residenciais, a economia estimada varia de 5% a 10%, contribuindo para a redução do OPEX (custos operacionais). Entre os benefícios, destacam-se o baixo custo de implementação e o retorno rápido do investimento. O principal desafio, contudo, é a dependência da atualização tecnológica por parte do fabricante, já que a disponibilidade desses recursos pode variar conforme o modelo e a marca do equipamento.

CABINES EFICIENTES	
Custo de implantação	
Savings	
Redução de Carbono Operacional	
Zonas Bioclimáticas	Todas
Tipologia	Todas



Referências Bibliográficas

- ASHRAE Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings: Zero Energy (2019)
- ASHRAE Advanced Energy Design Guide for Multifamily Buildings Achieving: Zero Energy (2022)
- ASHRAE 90.1-2016. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential.
- INMETRO. Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Requisitos de Eficiência Energética para Motores Elétricos e Equipamentos Eletrodomésticos.
- PROCEL. Selo Procel de Economia de Energia.
- U.S. Department of Energy (DOE). Energy Efficiency & Renewable Energy: Energy-Efficient Elevators and Escalators.
- SHEPPY, M. et al. Plug Load Behavioral Field Study. National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2014.



MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA



Introdução

A medição de consumo em edificações é um elemento-chave para a gestão eficiente da energia. Prever e implementar soluções de submedição, sistemas de gestão de energia e medidores bidirecionais significa não apenas atender a requisitos regulatórios e certificações ambientais, mas também proporcionar maior transparência, reduzir custos operacionais e oferecer diferenciais competitivos ao mercado. A capacidade de medir de forma detalhada e inteligente transforma dados em informação estratégica, permitindo decisões mais assertivas e acelerando a transição para edificações sustentáveis, eficientes e preparados para o futuro

Submedição de Energia

A submedição de energia consiste na instalação de medidores adicionais que permitem monitorar o consumo de energia de forma segmentada, seja por unidade, pavimento ou sistema específico. Diferente da medição geral, que apresenta apenas o valor consolidado do consumo da edificação, a submedição traz transparência e detalhamento, possibilitando que cada usuário ou área seja responsabilizado pelo seu gasto real de energia. Essa prática promove maior conscientização dos ocupantes e fornece informações essenciais para uma gestão energética mais eficiente.



Fonte: AdobeStock (ID 789040898).

MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA



No contexto residencial, a submedição é frequentemente aplicada para a individualização do consumo em apartamentos, permitindo que cada morador pague apenas pela energia que consome. Essa medida elimina subsídios cruzados comuns em sistemas coletivos e estimula hábitos de consumo mais responsáveis. Já em empreendimentos comerciais, a submedição pode ser utilizada para o rateio do consumo por salas, andares ou sistemas de apoio, como iluminação, climatização, elevadores e bombas, recomenda-se medir qualquer uso final com representatividade maior do que 10% do consumo total. Dessa forma, administradores e incorporadores conseguem identificar quais áreas ou equipamentos concentram maior gasto energético, facilitando a implementação de ações corretivas.

Entre os benefícios mais relevantes da submedição estão a justiça no rateio dos custos de energia, o incentivo à redução do consumo e a identificação rápida de desperdícios, permitindo ações de manutenção preventiva ou substituição de equipamentos ineficientes. No entanto, também existem desafios associados, como o custo inicial de implantação, que podem ser elevados em projetos existentes, a integração com sistemas já instalados e a necessidade de manutenção periódica para garantir a precisão das medições. Ainda assim, quando considerada desde a fase de projeto, a submedição representa uma das medidas mais eficazes para promover eficiência energética e valorizar os empreendimentos.

Sistemas de Gestão de Energia (EMS – Energy Management Systems)

Os sistemas de gestão de energia (EMS – Energy Management Systems) são ferramentas cada vez mais utilizadas em empreendimentos modernos, pois permitem monitorar em tempo real o consumo de

energia, identificar padrões de uso e atuar preventivamente sobre ineficiências. Entre suas principais funcionalidades destacam-se a visualização instantânea do consumo elétrico, a detecção de picos de demanda, que podem gerar custos adicionais relevantes na fatura de energia, e a emissão de relatórios periódicos de desempenho, que auxiliam gestores a compreender melhor o comportamento da edificação. Além disso, esses sistemas podem emitir alertas de anomalias, como consumos fora do padrão ou falhas em equipamentos, permitindo respostas rápidas e assertivas.



Dashboard de gestão de energia. Fonte: (<https://www.slideteam.net/power-management-dashboard-with-energy-unlocking-potential-of-aiot-iot-ss.html>).

MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA



As aplicações de EMS são mais evidentes em condomínios corporativos de grande porte, onde o consumo é elevado e pulverizado em diversos sistemas, tornando difícil o controle manual. Também se mostram altamente eficazes em shopping centers e hospitais, que operam 24 horas por dia, exigindo confiabilidade na gestão de energia para evitar interrupções em serviços críticos. Nos empreendimentos residenciais de alto padrão, a aplicação do EMS está associada tanto à redução de custos condominiais quanto ao aumento da valorização do imóvel, visto que empreendimentos com tecnologia embarcada são cada vez mais demandados pelo mercado imobiliário.

Entre os principais benefícios da adoção dos sistemas de gestão de energia estão a redução dos custos operacionais, já que permitem identificar e corrigir rapidamente desperdícios, e o suporte a certificações ambientais, como LEED, AQUA e EDGE, que valorizam a eficiência energética e a transparência no uso de recursos. No entanto, ainda existem desafios importantes a serem superados, como o investimento inicial elevado para instalação da infraestrutura de medição e software, e a necessidade de contar com uma equipe qualificada capaz de interpretar corretamente os dados coletados e transformá-los em ações práticas de eficiência. Quando bem implementados, os EMS se consolidam como uma das ferramentas mais eficazes para transformar dados em decisões estratégicas, apoiando construtoras, incorporadores e gestores na busca por empreendimentos mais sustentáveis e competitivos.

VOCÊ SABIA?

Na União Europeia, a instalação de sistemas de gestão e automação de energia já é obrigatória para determinados tipos de edificações:

Em edificações não residenciais com potência térmica instalada acima de 290 kW, é exigida a implementação de BACS/BMS (*Building Automation and Control Systems*), conforme a Diretiva EPBD.

Para grandes consumidores industriais, a Diretiva de Eficiência Energética (EED) determina que empresas com consumo superior a 23,6 GWh/ano implementem um Sistema de Gestão de Energia (EMS/EnMS) até 2027.

Empresas com consumo entre 2,8 GWh e 23,6 GWh/ano devem realizar auditorias energéticas até 2026, podendo evoluir para EMS conforme necessidade.

Essas medidas reforçam como a gestão inteligente da energia vem se tornando um requisito regulatório, e não apenas uma prática voluntária, acelerando a transição para edificações mais sustentáveis.



Medidores Bidirecionais e Geração Distribuída

Os medidores bidirecionais são equipamentos essenciais para empreendimentos que integram sistemas de geração de energia renovável, como fotovoltaicos ou de biomassa. Diferente dos medidores convencionais, que registram apenas a energia consumida da rede, esses dispositivos contabilizam tanto a energia recebida da concessionária quanto a energia excedente injetada na rede pelo sistema de geração próprio da edificação. Dessa forma, permitem calcular o consumo líquido, garantindo que os usuários sejam creditados pela energia produzida e não consumida localmente. Esse mecanismo é indispensável em sistemas de geração distribuída, onde há fluxo de energia nos dois sentidos.

No Brasil, a aplicação dos medidores bidirecionais segue as regras da ANEEL para o sistema de compensação de energia elétrica, anteriormente definido pela Resolução Normativa nº 482/2012 e atualmente atualizado pela Lei 14.300/2022 (Marco Legal da Geração Distribuída). De acordo com a regulação, a energia excedente gerada e injetada na rede pode ser compensada em períodos subsequentes, reduzindo o valor da fatura de energia. Essa prática tem sido cada vez mais comum em condomínios residenciais horizontais e verticais, que adotam usinas solares coletivas para reduzir o custo condominial, assim como em edificações comerciais de grande porte, que utilizam a geração fotovoltaica como estratégia de redução de OPEX e valorização do empreendimento.

É importante destacar que, por se tratar de parte do sistema de medição oficial, os medidores bidirecionais são fornecidos, instalados e homologados pela concessionária de energia, garantindo a conformidade

com os padrões da ANEEL. O custo do equipamento e da instalação, entretanto, pode ser repassado ao proprietário do imóvel ou ao condomínio. Já os demais componentes do sistema de geração (como placas solares, inversores, proteções e cabeamento) são de responsabilidade do proprietário ou do integrador contratado.

Dicas de como ler a conta de um medidor bidirecional:

1. Identifique os campos principais na fatura

- o Energia Consumida da Rede (kWh) → total de energia que o imóvel puxou da concessionária.
- o Energia Injetada na Rede (kWh) → excedente de energia gerado e enviado para a distribuidora.
- o Energia Compensada (kWh) → quantidade de energia injetada que foi abatida do consumo da rede.
- o Energia Líquida (kWh) → diferença entre consumo da rede e compensação de créditos.

2. Confira os créditos de energia

- o Caso tenha gerado mais do que consumiu, o excedente vira crédito de energia.
- o Esse crédito pode ser usado em meses seguintes (até 60 meses) ou em outras unidades consumidoras vinculadas ao mesmo CPF/CNPJ, conforme regras da ANEEL.

MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA



3. Observe os custos fixos obrigatórios

- o Mesmo com geração própria, sempre haverá cobrança da taxa mínima de disponibilidade (3 kWh multiplicado pela tarifa vigente para consumidores monofásicos, 30 kWh para trifásicos).
- o Também podem existir tarifas de iluminação pública (COSIP) e encargos setoriais.

4. Analise a tarifa aplicada

- o A fatura mostrará o valor da energia líquida faturada, calculada após a compensação dos créditos.
- o Se a geração for menor que o consumo, paga-se a diferença.
- o Se a geração for maior que o consumo, paga-se apenas os custos fixos, e o excedente vai para créditos futuros.

5. Verifique os detalhes do histórico

- o Muitas concessionárias apresentam na fatura um gráfico ou tabela com histórico mensal de consumo, geração, energia injetada e créditos acumulados.
- o Esse histórico ajuda a identificar padrões sazonais (ex.: geração maior no verão, menor em meses chuvosos).

6. Confirme se os números batem

- o Compare a leitura do medidor bidirecional com os dados da fatura (consumo e injeção).
- o Caso note inconsistências, solicite revisão junto à concessionária, apresentando os registros do sistema de monitoramento fotovoltaico (quando disponível).



Exemplo de leitura de fatura

Dados do Faturamento		Faturado (kWh)	Tarifa (R\$)	Valor (R\$)
Consumo TUSD	Consumo de Energia	150	0,2734	41,01
Consumo TUSD		348	0,325431	113,25
Consumo TE		150	0,304133	45,62
Consumo TE		348	0,362069	126
Energia Injetada TUSD	Energia injetada na rede pela usina geradora	-10	0,238	-2,38
Energia Injetada TUSD		-286	0,238217	-68,13
Energia Injetada TE		-10	0,304	-3,04
Energia Injetada TE	Créditos de Energia consumidos para complementar consumo	-286	0,362028	-103,54
Energia Inj. Muc Mpt TUSD		-140	0,238143	-33,34
Energia Inj. Muc Mpt TE		-140	0,304071	-42,57
Adicional Band. Amarela				5,21
Adicional Band. Amarela				2,47
Energia Inj. Band. Amarela TE				-4,18
Energia Inj. Band. Amarela TE				-2,47
Subtotal (R\$)				73,91

As linhas Consumo TUSD e Consumo TE indicam a energia utilizada da rede da distribuidora, geralmente em períodos noturnos ou em horários em que o sistema fotovoltaico não está ativo.

As linhas Energia Injetada TUSD e Energia Injetada TE correspondem à energia excedente gerada pela usina fotovoltaica que, após suprir parte do consumo do próprio imóvel, foi automaticamente injetada na rede da distribuidora.

O campo TE (Tarifa de Energia) representa o custo direto da energia paga pelo consumidor, enquanto TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição) se refere ao custo pelo uso da infraestrutura da distribuidora para levar a energia até a unidade consumidora.

Já as linhas Energia Injetada MUC MPT TUSD e Energia Injetada MUC MPT TE indicam o uso de créditos de energia além da geração própria do período. Esse saldo adicional é utilizado quando o consumo do imóvel é maior do que a energia gerada na mesma unidade. Essa informação pode variar conforme a forma de utilização dos créditos, por exemplo:


- **Energia Injetada mUC mPT:** energia gerada e compensada na mesma unidade consumidora (ex.: gerador instalado no telhado do imóvel).
- **Energia Injetada oUC mPT:** energia gerada em outra unidade consumidora vinculada (ex.: gerador em uma segunda propriedade).

Na fatura exemplificada também aparece um item de Adicional de Bandeira Amarela, porém esse custo foi totalmente compensado pela geração fotovoltaica, identificado na linha Energia Injetada Band. Amarela.



Referências Bibliográficas

- ASHRAE 90.1-2016. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482/2012: Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída.
- Lei nº 14.300/2022. Institui o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída e o Sistema de Compensação de Energia Elétrica.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 1000/2021: Consolidação das regras aplicáveis às distribuidoras de energia elétrica.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14565: Redes de Distribuição Interna de Energia Elétrica em Edificações.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 50001: Sistemas de Gestão de Energia – Requisitos com orientação para uso.
- European Commission. Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), revisada em 2018 e 2023.
- European Commission. Energy Efficiency Directive (EED), 2023: requisitos para auditorias energéticas e implementação de sistemas de gestão de energia.
- US DOE – Department of Energy. *Submetering of Building Energy and Water Usage: Analysis and Recommendations of the Subcommittee on Buildings Technology Research and Development*. 2011.

The background of the image is a blue-tinted aerial photograph of a city skyline, showing numerous skyscrapers and buildings. The text is centered over this background.

ABRAINC

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
INCORPORADORAS IMOBILIÁRIAS

abrainc.org.br