



WRI BRASIL

# SUSTENTABILIDADE EM HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

*Benefícios e custos de medidas para  
eficiência no consumo de água e energia*

---

LARA SCHMITT CACCIA, HENRIQUE EVERS,  
CAMILA SCHLATTER FERNANDES, LUANA PRISCILA BETTI

---

WRICIDADES.ORG



**PROJETO GRÁFICO**

Carolina Fillmann, por Design de Maria

Este guia foi desenvolvido com o apoio financeiro da Children's Investment Fund Foundation (CIFF).

Dezembro de 2017 – 1ª Edição



# ÍNDICE

- 1 **Prefácio**
- 3 **Sumário executivo**
- 11 **Introdução**
- 15 **Capítulo 1: Oportunidades para edificações mais eficientes**
- 25 **Capítulo 2: Etapas da pesquisa desenvolvida**
- 29 **Capítulo 3: Desempenho individual das medidas de eficiência**
- 37 **Capítulo 4: Desempenho do conjunto de medidas de eficiência - por região**
- 47 **Capítulo 5: Considerações e recomendações**
- 53 **Apêndice A: Notas metodológicas**
- 61 **Apêndice B: Resultados das simulações por regiões**
- 63 **Apêndice C: Tarifa de energia elétrica e água**
- 65 **Apêndice D: Premissas adotadas no modelo de simulação de linha de base**
- 66 **Referências**
- 68 **Notas de fim**
- 70 **Agradecimentos**



# PREFÁCIO

O rápido crescimento dos grandes centros urbanos no Brasil trouxe desafios econômicos, sociais e ambientais para os governos e sociedade. Dentre eles, está o déficit habitacional, potencializado pela insuficiência de planejamento e investimentos necessários para vencer esse grande obstáculo. O maior programa habitacional de interesse social já desenvolvido no Brasil, o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), proporcionou moradia para milhões de famílias. Mas também contribuiu para levar uma parte da população para longe das áreas urbanizadas, exigindo mais recursos do governo federal e dos municípios para ofertar infraestrutura e equipamentos a locais distantes e dispersos.

O desenvolvimento sustentável precisa ser prioridade na agenda dos governos no Brasil, que busca cumprir acordos climáticos internacionais para garantir um futuro com qualidade de vida à população. Mesmo assim, práticas para eficiência em edificações ainda são pouco exploradas no país, desconsiderando possibilidades de economia de recursos e mitigação de emissões de gases de efeito estufa, por exemplo.

Avançar na eficiência das edificações é um grande passo para cumprir as metas estabelecidas no Acordo de Paris e nas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC). Neles, o Brasil se comprometeu a alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030 e a atender os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), definidos pela Agenda 2030 das Nações Unidas.

Programas em larga escala, como o PMCMV, oferecem uma oportunidade de incorporar exigências e medidas viáveis para eficiência em edificações, que trazem diversos ganhos aos moradores, à administração pública e à sociedade em geral. Governos e lideranças locais têm um papel fundamental: promover projetos concebidos com essa visão e fomentar incentivos

para a superação das barreiras institucionais, técnicas e de mercado para a implementação da eficiência em edificações.

Esta publicação analisa os benefícios, custos e barreiras da adoção de medidas de sustentabilidade em empreendimentos habitacionais de interesse social. As principais medidas examinadas são, em sua maioria, ações e tecnologias simples e de baixo custo, relacionadas a redução de consumo de água e energia elétrica nas edificações.

Ainda, para auxiliar os gestores no planejamento e implementação de políticas, programas e projetos que impulsionem a eficiência nas construções nas cidades, o WRI Ross Center for Sustainable Cities, em conjunto com a Johnson Controls e outros parceiros, lançou o guia *“Accelerating Building Efficiency: Eight Actions For Urban Leaders”*. No país, o WRI Brasil identificou as seguintes ações prioritárias para acelerar a eficiência: informações e certificações de desempenho; incentivos e financiamentos; liderança governamental pelo exemplo.

O presente estudo se enquadra no esforço de ampliar e promover o conhecimento sobre o tema nas cidades brasileiras. A disseminação destes é uma contribuição do WRI Brasil para a mudança de pensamento no país e um estímulo à produção de moradias mais eficientes, que contribuam para o desenvolvimento sustentável.



**Luis Antonio Lindau**  
Diretor do Programa de  
Cidades do WRI Brasil



Heliotek

Heliotek

Programa de Eficiência Energética  
CEB  
AMEL

# SUMÁRIO EXECUTIVO

Investir em eficiência das edificações apresenta oportunidades econômicas, sociais e ambientais. Edificações eficientes são um dos principais fatores para a criação de cidades sustentáveis e para o cumprimento das metas de desenvolvimento sustentável acordadas pelos governos sejam cumpridas (WRI, 2016).

## PRINCIPAIS DESTAQUES

---

- O Brasil conta hoje com um déficit habitacional de mais de 6 milhões de unidades habitacionais (FJP, 2016). Habitações de interesse social mais eficientes têm o potencial de gerar benefícios ambientais, sociais e econômicos para o país.
- Incorporar medidas para eficiência do uso de energia elétrica e água em habitações pode acarretar em economias dos investimentos iniciais de construção e durante a uso. A adoção de medidas para o aumento da eficiência em edificações apresenta também ganhos e economias para os moradores, além de gerar externalidades positivas para sociedade em geral, como a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a economia de recursos naturais.
- O potencial de redução média no consumo de água para as 13 medidas simuladas é de 45,5%, independentemente da região político-administrativa do Brasil considerada, para dois tipos de edificações existentes (multifamiliares e unifamiliares). Já a potencial de redução média no consumo de energia elétrica é de 18,9% para o conjunto de regiões analisadas, considerando os dois tipos de edificações.
- A economia média mensal de despesas por família pode ser de até R\$ 54,22, em habitações uni e multifamiliares, levando em conta as reduções no consumo de água e energia elétrica somadas.
- A produção e disseminação de conhecimento, dados e análises de desempenho são essenciais para que gestores públicos, incorporadores, construtores, proprietários, administradores e moradores tomem decisões assertivas para a incorporação de medidas que proporcionem uma maior eficiência das edificações brasileiras.

**A questão da sustentabilidade ganha cada vez mais destaque na agenda do governo brasileiro.** Nos acordos e convenções internacionais, dos quais o Brasil é signatário, os países assumem responsabilidades para a construção de cidades mais sustentáveis. Assim, busca-se promover melhor qualidade de vida para a população ao mesmo tempo em que enfrentam o desafio das mudanças climáticas.

**Diversas políticas nacionais instituídas no âmbito das cidades colocam a sustentabilidade como diretriz básica das ações a serem tomadas.** Entre essas políticas encontram-se o Estatuto da Cidade, a Política Nacional de Habitação e a Política Nacional de Mobilidade Urbana (BRASIL, 2001a; 2004a; 2004b). O principal desafio consiste em uma efetiva aplicação de ações locais, que promovam a sustentabilidade e atinjam as metas definidas por essas políticas.

**O Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) é o maior programa habitacional de interesse social já desenvolvido no Brasil.** Moradias populares são financiadas e promovidas pelo governo federal desde 1964 por diferentes programas e políticas. A partir de 2009, o PMCMV buscou reduzir o déficit habitacional brasileiro, que representava na época 10,2% dos domicílios (FJP, 2012), ao subsidiar a construção de moradias para famílias de baixa renda em larga escala. Em 2014, após cinco anos do Programa, o déficit habitacional brasileiro correspondia a 9%, ou 6,068 milhões de domicílios, 1,2% a menos em relação a 2009 (FJP, 2016).

**A maior parte dos projetos de Habitação de Interesse Social (HIS) produzidos no Brasil seguem soluções padronizadas, tanto para habitações unifamiliares como para multifamiliares, com o objetivo de minimizar os custos de projeto e construção.** Como resultado, a qualidade das habitações, as diferenças climáticas e as necessidades dos usuários não são levadas em consideração, com habitações sendo concebidas sob a perspectiva de curto prazo da economia de investimentos de construção.

## Sobre este relatório

### **O estudo, desenvolvido em parceria com a Mitsidi Projetos, analisa os benefícios e os custos da adoção de medidas de eficiência para empreendimentos de HIS.**

As 13 medidas de eficiência para edificações, selecionadas a partir de uma revisão bibliográfica foram submetidas a uma simulação de desempenho para 13 medidas de eficiência para as edificações, a fim de identificar os custos e potenciais benefícios de cada uma individualmente. Após essa etapa, foram definidos e simulados cinco cenários de conjuntos de medidas de eficiência para cada uma das cinco regiões político-administrativas brasileiras, com o intuito de avaliar o impacto regional e climático no potencial de desempenho das medidas de eficiência.

**O objetivo principal é analisar o desempenho de medidas de eficiência possíveis de serem adotadas e avaliar a potencial redução de GEE, os custos e os benefícios para a qualidade de vida da população e as barreiras relacionadas à sua implementação.** A proposta é promover um debate acerca de desempenhos e potencialidades das medidas de eficiência para as edificações, possibilidades de regionalização de soluções, bem como de superação das barreiras para sua implementação. Pretende-se, com isso, demonstrar a viabilidade e os ganhos de se incorporar medidas de sustentabilidade para edificações à agenda habitacional, em especial de interesse social, auxiliando técnicos e gestores no desenvolvimento e na implantação de políticas públicas.

**O relatório está estruturado em cinco capítulos.** O primeiro capítulo traz o panorama da eficiência em edificações no Brasil, seu contexto e oportunidades, a partir dos acordos internacionais, políticas nacionais, estudos e marcos regulatórios. O segundo capítulo apresenta brevemente a metodologia e as etapas de pesquisa.

**O terceiro capítulo realiza uma análise de custos e benefícios para medidas de eficiência, estimando indicadores de impacto.** Uma lista contendo 13 medidas de

sustentabilidade foi definida e simulada em uma cidade de referência, Londrina, no Paraná, que foi escolhida em virtude de seu equilíbrio das horas de conforto e de desconforto por calor e frio ao longo do ano. As medidas de eficiência em edificações adotadas foram: (i) vaso sanitário com caixa acoplada e fluxo duplo; (ii) arejador nas torneiras; (iii) captação de água de chuva; (iv) medidor individualizado de água nas edificações multifamiliares; (v) sistema de aquecimento solar nas edificações multifamiliares; (vi) lâmpadas de LED nas áreas privadas; (vii) lâmpadas de LED e sensor de presença nas escadas das edificações multifamiliares; (viii) geração distribuída fotovoltaica; (ix) orientação da edificação; (x) tamanho e abertura dos caixilhos; (xi) cor da tinta das paredes externas; (xii) materiais para vedações externas; e (xiii) materiais para cobertura.

**No quarto capítulo, a partir da análise dos custos e dos benefícios anteriores, foram desenvolvidos diferentes conjuntos de medidas de eficiência para cada uma das cinco regiões políticas brasileiras.** A regionalização é importante, pois permite uma comparação adequada dos hábitos culturais e das necessidades dos moradores em cada região, respeitando também as diferenças climáticas. Já a simulação do conjunto de medidas de eficiência, incorporando as 13 medidas de sustentabilidade, possibilita compreender como elas interagem entre si e potencializam seus resultados quando aplicadas em conjunto. Cada região foi representada por uma cidade de referência, são elas: (i) Porto Alegre - Sul; (ii) São Paulo - Sudeste; (iii) Brasília - Centro-Oeste; (iv) Fortaleza - Nordeste; e (v) Manaus - Norte.

**No quinto capítulo, são realizadas considerações sobre o relatório e recomendações a partir de seus resultados.** Foram identificadas as barreiras à adoção das medidas de sustentabilidade em maior escala e indicadas formas de superá-las. E, por fim, nos apêndices, são descritas as notas metodológicas e detalhados todos os parâmetros utilizados na simulação desenvolvida e aplicada neste relatório.

**Este relatório foi desenvolvido tendo como base a realidade brasileira e é dirigido para governos municipais, estaduais e nacional, técnicos e desenvolvedores de políticas públicas de habitação, iniciativa privada, acadêmicos, movimentos sociais e sociedade civil.**

O relatório produz e dissemina informações capazes de influenciar políticas públicas e/ou tomadores de decisão a adotarem medidas de eficiência nas edificações, especialmente as que requerem menores investimentos, comprovando por meio de dados os custos e os benefícios de tais medidas. Este documento também mensura os potenciais de redução de emissões de GEE de forma regionalizada, considerando os diferentes contextos climáticos brasileiros.

**O WRI Brasil é uma organização focada em pesquisa e aplicação de metodologias, estratégias e ferramentas voltadas às áreas de clima, florestas e cidades.** Sem fins lucrativos, atua em estreita colaboração com as lideranças locais para proteger o meio ambiente e criar soluções que contribuam para a prosperidade do país, de forma inclusiva e sustentável. A área de eficiência em edificações no WRI está incorporada ao programa de cidades

e conta com uma rede global de especialistas no tema. Em 2016, foi lançada a publicação *Accelerating Building Efficiency: eight actions for urban leaders* (WRI, 2016) e a *Building Efficiency Initiative* (Iniciativa de Eficiência das Edificações), que une a produção de conhecimento com o trabalho prático para criar cidades mais prósperas e habitáveis.

## Conclusões

**Os ganhos das medidas de sustentabilidade para edificações se manifestam em diferentes escalas, seja na economia de renda das famílias, na economia de energia e de recursos hídricos dos municípios e/ou na redução das emissões de GEE do país.** Entender sobre quem incidem os benefícios e os custos da implementação das medidas é fundamental para avaliar corretamente a pertinência e a viabilidade do investimento adicional para implantá-las.

**A adoção de determinadas medidas não requer investimentos adicionais.** A maior parte das medidas de arquitetura passiva, que são estratégias bioclimáticas para atingir o nível de conforto adequado em uma edificação, demonstrou ter um baixo custo ou até mesmo



custo zero. Assim, com pouco ou nenhum investimento adicional, pode-se adotar uma medida de sustentabilidade ao trocar uma solução de baixa eficiência por uma com maior desempenho.

**A regionalização das soluções é condição relevante para o planejamento de políticas públicas para eficiência em HIS.** Investimentos em sustentabilidade terão um impacto diferente conforme cada região em função de suas especificidades climáticas e culturais e das condições necessárias para estabelecer maior desempenho e conforto térmico. Assim, em regiões mais quentes, por exemplo, o impacto em escala será maior uma vez que a necessidade de resfriamento é alta e, conseqüentemente, a redução de consumo de energia elétrica terá um maior potencial.

**O investimento adicional em medidas de sustentabilidade e a falta de informações sobre seus custos e benefícios são as principais limitações para incorporação de eficiência em edificações.** Muitas medidas apresentam custos adicionais, sendo uma barreira importante dado que há um limite no orçamento do governo para financiamento de HIS e que o agente que realiza o investimento inicial não é, geralmente, o mesmo que se beneficia. Entretanto, ainda que o custo não seja zero, o retorno dos investimentos em medidas de eficiência ocorre em pouco tempo, seja pela redução das emissões poluentes, seja pela queda do consumo e conseqüente economia nas despesas familiares com água e energia.

## Recomendações

**Regionalizar as medidas de eficiência para as edificações.** As características climáticas e culturais de cada região precisam ser consideradas nas políticas habitacionais e de sustentabilidade ambiental a fim de aumentar os ganhos potenciais em termos de redução de consumo de energia, água e emissão de GEE, além dos ganhos sociais. Assim, aumenta-se, também, a eficiência do investimento adicional necessário e maximizam-se esses benefícios secundários.

## **Incorporar os benefícios secundários das medidas no cálculo do subsídio estatal.**

A viabilidade financeira das construções mais sustentáveis precisa considerar o potencial futuro das medidas de sustentabilidade. As economias advindas de menor consumo residencial com água e energia elétrica podem ajudar a diminuir a inadimplência das famílias em relação à prestação das HIS e ao pagamento das tarifas sociais de água e energia, por exemplo.

**Buscar verbas alternativas em outros Ministérios, órgãos públicos e bancos de desenvolvimento bi e multilaterais para projetos sustentáveis.** Os benefícios secundários das estratégias para eficiência em edificações, como as reduções das emissões de GEE e de consumo de água e luz, podem possibilitar a obtenção de verbas alternativas. Instituições como o Ministério do Meio Ambiente, de Minas e Energia, Caixa e Banco de Desenvolvimento da América Latina (CAF) financiam projetos com diretrizes de desenvolvimento e sustentabilidade.

**Medidas com zero custo devem ser incorporadas em requisitos mínimos para a construção de HIS.** Tendo em vista que as HIS não requerem subsídios adicionais do governo para a sua adoção, medidas de arquitetura passiva, por exemplo, podem ser incorporadas em especificações mínimas de programas que incentivem a produção de HIS, tais como o PMCMV e programas municipais, permitindo ganhos imediatos.

## **Programas de educação dos moradores em relação às medidas e seu funcionamento devem ser promovidos.**

Uma maior educação sobre o uso das medidas, bem como conscientização da importância das soluções sustentáveis, pode maximizar os resultados esperados de sua adoção. Esse processo pode ocorrer por meio do desenvolvimento de cartilhas explicativas e educativas sobre o uso e a manutenção de medidas como sistema de aquecimento solar de água e de captação de água da chuva, vaso sanitário com fluxo duplo, lâmpadas de LED, etc. As equipes responsáveis pelo trabalho



técnico social do PMCMV e as secretarias de desenvolvimento social, nacional ou municipais, devem desenvolver atividades de caráter socioeducativo com os beneficiários, promovendo ações informativas, mobilização e a capacitação da população atendida a respeito das moradias, dos espaços comuns e da organização condominial.

**O governo federal e as administrações municipais devem reforçar e fiscalizar a necessidade de cumprimento das exigências de sustentabilidade vigentes.**

Tendo em vista os avanços já alcançados pelas regulamentações existentes, a exemplo das normas técnicas e especificações mínimas já vigentes no PMCMV, deve-se ter cuidado de não desconsiderar os avanços proporcionados por essas medidas.

**Projetos-piloto de moradias eficientes devem ser promovidos pelo setor público com engajamento da iniciativa privada.** Tais projetos são essenciais para provar a viabilidade e funcionalidade das ações e aumentar a escala de iniciativas de sustentabilidade em habitação e a conscientização acerca da importância dessas soluções. No caso do PMCMV, estados e municípios podem arcar com o custo adicional das medidas de eficiência por meio de projetos-piloto, aportando subsídios e/ou contrapartidas.

**Em programas de escala nacional, devem-se implementar especificações regionalizadas de modo a potencializar o custo-benefício do investimento em medidas de sustentabilidade.** O investimento para aquecedores solares em regiões quentes, por exemplo, onde o consumo de aquecimento de água para banho é mínimo, pode ser direcionado para outras medidas, como instalação de lâmpadas LED, captação de água da chuva e/ou medidas de arquitetura passiva.

## Definição de termos-chave

**Arquitetura passiva:** aproveitamento de estratégias bioclimáticas para atingir o nível de conforto adequado em uma edificação. As estratégias podem ser relacionadas a orientação solar, materiais utilizados na envoltória, ventilação e iluminação natural, resfriamento evaporativo, entre outros.

**Conforto térmico:** sensação de satisfação e bem-estar com o ambiente térmico da edificação.

**Eficiência energética:** melhoria de desempenho pela redução na utilização de recursos energéticos para proporcionar serviços, como iluminação, abastecimento de água ou resfriamento/aquecimento do ambiente construído para conforto térmico.

**Eficiência do uso da água:** melhoria de desempenho pelo uso racional de água para proporcionar serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, captação de águas pluviais, etc.

**Gases de efeito estufa (GEE):** gases existentes na atmosfera, responsáveis por compor a camada que cobre a superfície terrestre, mantendo-a aquecida (efeito estufa). Muitas atividades humanas emitem uma grande quantidade desses gases, tornando essa camada cada vez mais espessa e potencializando o efeito estufa, levando, assim, ao aquecimento global. Os principais gases de efeito estufa são: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e vapor d'água.

**Habitação de Interesse Social (HIS):** produção habitacional subsidiada pelo Estado destinada à população de baixa renda com o objetivo de prover moradias adequadas e regularizadas, respondendo aos problemas sociais de interesse de toda a sociedade. A habitação pode ser unifamiliar, casa onde mora apenas uma família, ou multifamiliar, edificação onde residem diversas famílias.

**Medidas de eficiência:** alterações no projeto, construção ou operação de uma edificação que podem ser incorporadas para aumentar a eficiência energética ou reduzir o consumo de água durante sua operação.

**Modelo termoenergético:** modelo computacional que representa interações de fatores que influenciam na transferência de calor, no conforto e no consumo de energia de uma edificação, tais como: o ambiente externo (incidência solar, umidade, precipitação, direção dos ventos, etc.), o ambiente interno (quantidade de moradores, atividades desenvolvidas, tipos e potência de equipamentos, hábitos de consumo, etc.) e as características construtivas da edificação (forma, disposição e função de cada ambiente, dimensão das aberturas, etc.).

**Regionalização:** diferenciação de áreas de um território segundo critérios ou características previamente estabelecidas, como político-administrativas, bioclimáticas, hidrográficas, entre outras, definidas conforme os aspectos a serem evidenciados. No caso deste relatório, a regionalização adotada é a político-administrativa do Brasil, composta pelas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul.

**Tipologias construtivas:** tipo e padrão de construção das edificações e suas características.



# INTRODUÇÃO

A sustentabilidade em habitação é um tema que vem sendo cada vez mais debatido no Brasil, dada a relevância do déficit habitacional e a necessidade de produção de moradias adequadas. Habitações de interesse social mais eficientes, portanto, têm o potencial de gerar benefícios ambientais, sociais e econômicos para a sociedade.

Em geral, as edificações de Habitação de Interesse Social (HIS) apresentam uma taxa relativamente elevada de problemas (e patologias) de construção, quando comparadas com obras de alto padrão, o que pode aumentar o impacto ambiental do processo construtivo – requerendo mais consumo de matéria-prima e recursos para refazer obras e serviços mal-executados (UNEP, 2010a).

O Brasil possui hoje um grande déficit habitacional combinado com níveis significativos de pobreza, de modo que parte de sua população ainda vive em moradias que não atendem às suas necessidades básicas. Conceitualmente, entende-se o déficit habitacional como a falta de oferta de novas moradias para atender à demanda habitacional da população em dado momento, seja por incremento (devido à coabitação familiar forçada, por exemplo) ou por reposição do estoque nacional (no caso de condições precárias de habitação). O déficit habitacional no ano de 2014 correspondeu a 6,068 milhões de domicílios, representando 9% dos domicílios do país (FJP, 2016).

A habitação é um dos temas centrais quando se trata de desenvolvimento sustentável e é parte fundamental das relações entre a sociedade e o meio ambiente. A construção e a manutenção de moradias consomem enormes quantidades de recursos naturais, como água, energia e materiais, enquanto produzem lixo e poluição da água e do ar (UN-HABITAT, 2012). Edificações são estruturas com um ciclo de vida longo, portanto as decisões tomadas hoje impactarão os serviços urbanos nas cidades por décadas. A

adoção de medidas isoladas de sustentabilidade pode até fortalecer a eficiência em edificações no país, entretanto elas devem fazer parte de um conjunto de políticas integradas e de ações planejadas em diversas escalas para resultados mais efetivos.

No Brasil, muitas vezes as questões ambientais são apresentadas como um obstáculo ao desenvolvimento econômico e à superação do desemprego e da pobreza. A acentuada desigualdade social traz para o discurso desenvolvimentista uma maior tolerância quanto aos impactos decorrentes da urbanização, em função da necessidade de responder questões tidas como prioritárias, como a carência de habitação, empregos e receitas públicas. Nesse processo, geralmente, são utilizadas práticas poluentes e executadas ações danosas ou com impactos ambientais significativos que devem ser revertidos.

Políticas públicas e projetos liderados pelo Estado têm um potencial de criarem demandas e aceitação para o tema por parte do mercado e da sociedade. No caso dos programas habitacionais em larga escala no Brasil, é preciso fomentar a superação das barreiras para projetos que qualifiquem a eficiência operacional das moradias, trazendo ganhos para os beneficiários, para a cidade e a sociedade em geral.

Exemplos bem-sucedidos de projetos-piloto sustentáveis implementados podem ser encontrados no país, entretanto ainda há falta de informações e certificações de desempenho que permitiriam, por exemplo, o estabelecimento de



políticas públicas e instrumentos regulatórios baseados em metas e níveis mínimos de eficiência comprovada dos projetos. Para tal, é preciso mensurar e demonstrar os custos e os benefícios de se aplicar medidas de eficiência, no caso em HIS, de forma a permitir que os gestores públicos e construtores tomem melhores decisões, fundamentadas em dados e resultados confiáveis. Esse tipo de informação é necessário também para permitir o acompanhamento do desempenho das medidas aplicadas após sua implementação.

Em termos metodológicos, foi realizada uma revisão bibliográfica visando compilar as principais referências, informações teóricas e legais sobre o tema, bem como embasar a escolha das medidas de sustentabilidade a terem seu desempenho avaliado. Escolheram-se 13 medidas de eficiência que foram simuladas e comparadas com um modelo de linha de base que foi definido a partir das tipologias mais comumente executadas no país. Para essa análise comparativa, foi criado um modelo com perfis de uso e potências internas para os equipamentos residenciais, definido de acordo com a revisão de literatura, e os parâmetros determinados para simulação pela metodologia do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE Edifica). O modelo termoenergético, desenvolvido e simulado no software *DesignBuilder* (versão 4.3), interface gráfica para o *EnergyPlus* (versão 8.3), considera todas as interações de fatores que atuam no consumo de energia de uma edificação, como o ambiente externo, o ambiente interno e as características construtivas<sup>1</sup>.

Os dados apresentados são resultados das simulações de desempenho dessas medidas, tanto para habitações unifamiliares quanto para as multifamiliares, analisadas inicialmente de forma individual para uma cidade de referência. Posteriormente, realizaram-se simulações para cinco conjuntos de medidas, correspondentes às cinco regiões político-administrativas do país, de forma a analisar a potencialização do desempenho a partir das interações entre as medidas, em diferentes contextos climáticos<sup>2</sup>. Ao final, foram identificadas algumas barreiras para a implementação dessas medidas, bem como realizadas recomendações para impulsionar a eficiência das HIS no Brasil.

O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de sustentabilidade através da análise do desempenho e dos custos e benefícios de medidas de eficiência para HIS, considerando a redução do consumo de água e de energia. A proposta é promover um debate acerca de desempenhos e potencialidades das medidas de eficiência para as edificações, de possibilidades de regionalização de soluções, bem como de superação das barreiras para sua implementação. Não são apresentadas soluções prontas, pois todas devem ser avaliadas conforme o contexto local, nem orientações para implementação de políticas para HIS de forma completa. São demonstrados os potenciais técnicos e econômicos viáveis, a partir das tecnologias disponíveis no mercado e já utilizadas no país. O setor da construção civil e de eficiência energética é bastante dinâmico e, como a pesquisa se desenvolveu ao longo do ano de 2016, desde então ocorreram algumas mudanças, inclusive de normativas, que foram incorporadas na medida do possível.





## CAPÍTULO 1

# OPORTUNIDADES PARA EDIFICAÇÕES MAIS EFICIENTES

A sustentabilidade integra atualmente a agenda do Brasil, signatário de acordos firmados em convenções internacionais<sup>3</sup>, como o Acordo de Paris (Conferência das Partes - COP 21)<sup>4</sup> e a Agenda 2030, na qual foram definidos os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)<sup>5</sup>.

Diversas políticas nacionais instituídas no âmbito das cidades - Estatuto da Cidade, a Política Nacional de Habitação e a Política Nacional de Mobilidade Urbana (BRASIL, 2001a; 2004a; 2004b) - já consideram a sustentabilidade como diretriz de planejamento e de ações a serem implementadas. O principal desafio, no entanto, reside na necessidade de uma efetiva aplicação de ações que promovam a sustentabilidade e atinjam as metas estabelecidas por essas políticas, de forma integrada e articulada entre diversos setores, visando melhorar a qualidade de vida da população, reduzir as emissões poluentes e enfrentar as mudanças climáticas.

Ainda no âmbito dos acordos firmados, em 2016 a comunidade internacional progrediu no debate de seus compromissos especificamente em relação ao tema da moradia na Terceira Conferência das Nações Unidas (ONU) sobre Moradia e Desenvolvimento Urbano Sustentável, ou Habitat III<sup>6</sup>, em Quito, no Equador. Durante a Conferência, os Estados-membros da ONU adotaram a Nova Agenda Urbana<sup>7</sup> a fim de orientar suas ações pela urbanização sustentável durante os próximos 20 anos, reforçando o papel dos governos locais na liderança e cumprimento de suas metas. O documento firmado na Habitat III pode ser considerado um avanço em relação aos ODS, especificamente do Objetivo 11 “*Cidades e Comunidades Sustentáveis: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis*”. A Nova Agenda Urbana almeja, até 2030, garantir o acesso de todos a habitações seguras, adequadas e com preços acessíveis, além de “aumentar substancialmente o número de cidades e assentamentos humanos adotando e implementando políticas e planos integrados para a inclusão de eficiência dos recursos, mitigação e adaptação às mudanças climáticas”<sup>8</sup>.

Todos esses acordos e convenções direcionam as ações para a construção de cidades mais sustentáveis e inclusivas, que ofereçam energia limpa e acessível. No âmbito do Acordo de Paris, as metas de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) do Brasil foram definidas em suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC)<sup>9</sup>, nas quais o país se comprometeu em reduzir em 37% suas emissões até 2025, e em 43% até 2030, em relação aos parâmetros de 2005. Para o setor de energia, o governo federal pretende alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis, para além da energia

hídrica, na composição da matriz energética até 2030. Foi definida a necessidade de expandir as fontes de energia não fóssil no uso doméstico e alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030. Também foi determinada a promoção do setor industrial com novos padrões de tecnologias limpas e a disseminação de medidas de eficiência energética e de infraestrutura de baixo carbono.

Dentro desse contexto de enfrentamento às mudanças climáticas e de necessidade de avanços concretos na mitigação das externalidades negativas das altas taxas de emissões de GEE, é necessária a institucionalização de estratégias de eficiência em diferentes escalas de governo e da administração pública, além do envolvimento do setor privado. As edificações, e o potencial de eficiência energética que elas representam, podem ter um papel fundamental nessa transformação urbana sustentável necessária, que deve equacionar os aspectos ambientais, mas também sociais e econômicos.

Segundo o *New Climate Economy* (NCE), o potencial de ganhos econômicos para as cidades a partir da eficiência das edificações é de US\$ 6 trilhões até 2050 (NCE, 2014), sendo que 60% das edificações previstas para o ano de 2030 sequer foram construídas e a maioria vai se localizar em países em desenvolvimento, como a China e a Índia (IEA, 2013). O consumo energético tem crescido sistematicamente no mundo, sendo que as edificações representam 40% do uso global de energia e respondem por 30% das emissões de CO<sub>2</sub> induzidas por seres humanos (UNEP, 2015), além de a eficiência das edificações ter o maior potencial de mitigação das emissões de GEE com o menor custo (WRI, 2016)<sup>10</sup>. Esses dados revelam uma excelente oportunidade, especialmente para os países em desenvolvimento, de explorar, incentivar e subsidiar as soluções de eficiência para as edificações.

Da perspectiva ambiental, o aumento da eficiência das edificações proporciona, além da redução das emissões de GEE, uma economia de recursos naturais e com ela uma possibilidade de mitigar efeitos da escassez de recursos nos países, como crises hídricas ou quedas de abastecimento de energia elétrica. Melhorar a qualidade do ar e o conforto térmico por maiores períodos ao longo do ano também são consequências do aumento da eficiência das edificações, especialmente importantes em regiões com climas mais extremos. A economia

de recursos também pode trazer benefícios sociais: ao aumentar a eficiência do consumo energético da edificação, as despesas mensais das famílias com água e energia tendem a diminuir, caso pertençam à rede formal de distribuição. No caso de desvios/furtos de água e energia elétrica, os chamados “gatos”, essa economia potencial não se aplica. E, por fim, da perspectiva econômica, existe um potencial de retorno financeiro, seja pela economia de recursos e diminuição do crescimento da demanda ou pela maior eficiência na geração e distribuição de energia.

Muitas vezes, unir o desenvolvimento urbano à resolução dos problemas ambientais esbarra nos entraves políticos, na falta de recursos e de articulação entre as esferas de governo, na dificuldade de gestão e capacidade de administração dos municípios. Um dos desafios consiste na necessidade de acelerar a produção habitacional, em especial a de interesse social e, ao mesmo tempo, alterar o padrão vigente de ocupações dispersas, distantes e desconectadas, e seus impactos à sustentabilidade, para um modelo de urbanização compacta, coordenada e conectada.

### Edificações mais eficientes em habitação de interesse social

A produção de habitações de interesse social tem uma história longa no Brasil. Ela iniciou no período do Estado Novo, governado por Getúlio Vargas, quando foram construídas 175 mil unidades entre os anos de 1930 e o início do regime militar em 1964. Com a criação do Banco Nacional da Habitação (BNH), em 1964, o governo passou a estruturar uma política nacional de habitação e a financiar em maior escala as habitações de interesse social. Em seus 22 anos de existência, o BNH financiou 4,3 milhões de residências, até ser extinto em 1986, quando sua função de financiador desse tipo de empreendimento foi repassada à Caixa Econômica Federal. O período entre 1986 (extinção do BNH) e 2003 (criação do Ministério das Cidades) se caracterizou por uma ausência de política habitacional federal, porém muito fértil para os movimentos sociais e surgimento de programas municipais e estaduais de habitação (BONDUKI, 2014).

Mais recentemente, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) se tornou o maior programa habitacional de interesse social já desenvolvido no Brasil. Criado pelo governo federal em 2009, o Programa tem o objetivo

de reduzir o déficit habitacional, subsidiar moradia para as famílias de baixa renda, bem como estimular a construção civil e o mercado imobiliário. A expansão urbana ainda é um fenômeno em curso no país, com a construção de numerosos empreendimentos imobiliários, sejam novos loteamentos, formais e informais, sejam conjuntos habitacionais. Nesse sentido, o PMCMV é de especial interesse e preocupação, tanto pela quantidade de moradias produzidas, pela qualidade urbanística dos empreendimentos, quanto pelo impacto que a ocupação urbana causa à população, às cidades e ao meio ambiente.

O governo federal, através da inserção do sistema de aquecimento solar (SAS)<sup>11</sup> na Faixa 1 (as habitações para a menor faixa de renda) da Fase 2 do PMCMV, assumiu custos adicionais para inserção de sustentabilidade nas moradias populares ao aumentar o subsídio por unidade habitacional (UH) para incorporação da tecnologia. Apesar do surgimento de iniciativas que visam à sustentabilidade, ainda é necessário encontrar o melhor caminho para aumentar a escala dessas ações. Determinar uma tecnologia, sem permitir adaptações de projeto para atender às especificidades regionais, de modo a aplicar melhor o recurso disponível, pode ser considerado uma barreira à implementação. Um exemplo interessante é a recente exclusão da obrigatoriedade de incluir aquecedores solares de água nas regiões Norte e Nordeste, por exemplo, onde o consumo de água quente para banho é baixo. O investimento previsto pode ser direcionado para outras medidas, como instalação de lâmpadas LED e/ou arejadores de torneira, etc.

O fato de o PMCMV ser um programa federal representa uma oportunidade para o estabelecimento de códigos e normas para eficiência das edificações, através de ferramentas regulatórias que passem a exigir algum nível de eficiência ou a incorporação de medidas para projetos de HIS. Além disso, por ser um programa de larga escala, permite a criação de um mercado para auxiliar na superação das barreiras econômicas e da falta de incentivos para projetos mais sustentáveis. Oferecer subsídios extras, descontos, prioridades de aprovação de projetos e linhas de créditos dedicadas pode ajudar a impulsionar a eficiência nas edificações e auxiliar o Brasil no cumprimento de suas metas de redução de emissões de GEE, firmadas

internacionalmente. A iniciativa privada pode contribuir no enfrentamento das mudanças climáticas caso seja engajada e receba incentivos e/ou vislumbre a possibilidade de retornos financeiros; o engajamento e os incentivos e/ou retornos financeiros são formas de multiplicar a atuação desse setor. Portanto, a liderança e o exemplo do governo federal são fundamentais para criar maior demanda e condições ideais para o crescimento de edificações eficientes no mercado. Já existem no país exemplos de projetos-piloto implementados e bem-sucedidos (Box 1.1) com potencial de serem replicados e de fortalecerem a elaboração de políticas públicas.

Até hoje, habitações sustentáveis são muitas vezes consideradas apenas sob uma perspectiva de economia de recursos, sendo chamadas de construções “verdes”. Em realidade, o conceito mais amplo de sustentabilidade em habitações se dá através de uma perspectiva integral que considera a melhoria na dimensão social, no desempenho ambiental e na viabilidade financeira inserida no contexto dos sistemas urbanos (UN-HABITAT, 2012). Assim sendo, um passivo habitacional de milhões de unidades representa uma oportunidade para aliar preservação ambiental, transformação social e viabilidade econômica.

### BOX 1.1 | PROGRAMA MORAR CARIOCA VERDE

A Secretaria Municipal de Habitação do Rio de Janeiro desenvolveu o Programa Morar Carioca Verde e, no ano de 2010, entregou um projeto-piloto de caráter multidisciplinar para o desenvolvimento sustentável em favelas. Dentre as iniciativas sustentáveis aplicadas no local, a de maior desafio foi a construção de HIS com projeto certificado com o Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal para construções sustentáveis<sup>12</sup>. O empreendimento foi entregue em 2012 no morro da Babilônia, sendo um edifício multifamiliar com 16 unidades habitacionais conhecido como HAB 2. Ele atendeu a 33 itens - entre livres e obrigatórios - dentro do processo de certificação, obtendo o Selo Ouro.

Nessa perspectiva, é muito importante considerar todas as fases do ciclo de vida material no planejamento de projeto de habitações, principalmente em HIS. O Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (UN-HABITAT, sigla em inglês) define seis fases do ciclo de vida de habitações. O Quadro 1.1 apresenta considerações de sustentabilidade ambiental que podem ser feitas em cada uma das fases.

Apesar da existência dessas seis fases do ciclo de vida das habitações, definidos pela UN-HABITAT (2012), este relatório foca sua análise das etapas de projeto e de operação não adentrando em questões referentes ao contexto urbano em que o empreendimento está inserido ou àquelas relacionadas à gestão dos resíduos da construção, por exemplo. A metodologia e as etapas desenvolvidas na pesquisa são apresentadas no próximo capítulo.

Quando se trata da elaboração de projetos de HIS em países em desenvolvimento, como o Brasil, os impactos econômicos da adoção de medidas de sustentabilidade são ainda mais críticos do que a adoção em outras tipologias de edificação, pois existem implicações sociais e políticas. Em uma primeira análise, quanto maior o custo de construção por UH, menor será o número de famílias atendidas por conta da limitação de recursos destinados para os programas sociais. Portanto, é importante o desenvolvimento de projetos que possam superar essa limitação através de uma distribuição dos custos e dos benefícios entre as partes envolvidas no planejamento, na construção e na operação das unidades, visando encontrar a solução mais adequada ao orçamento do projeto e à redução de custos operacionais (UNEP, 2010a), conforme exemplo apresentado no Box 1.2.

Todas as fases de vida útil identificadas no Quadro 1.1 têm impactos sobre consumo de energia e emissões de GEE. Porém, a grande maioria das economias é possível nas fases de projeto e operação; são nessas fases, também, que as intervenções em edifícios no Brasil devem ser concentradas (ICS, 2017). Dessa forma, a metodologia deste estudo foca nas questões de projeto e operação, com modelagem

## Quadro 1.1 | Matriz guia para avaliação da sustentabilidade ambiental

FASES DO CICLO DE VIDA	EXEMPLOS DE CONSIDERAÇÕES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL
<b>Planejamento</b>	Impacto do empreendimento no meio ambiente local; relações com a cidade; qualidade do ambiente construído local; uso do solo e densidade de ocupação; infraestrutura; transporte público; áreas verdes; impactos ambientais.
<b>Projeto</b>	Energia embutida nos materiais e consumo de recursos; projetos que permitam o uso eficiente de água e energia; integração com resfriamento/aquecimento distrital e microgeração de energia (Box 1.2); gestão de resíduos; telhados verdes; robustez e resiliência; possibilidade de melhoria; aderência ao estilo de vida.
<b>Construção</b>	Segurança, desempenho ambiental e disponibilidade local de materiais e mão de obra; minimização do impacto ambiental das atividades de construção.
<b>Operação</b>	Desempenho energético; ar-condicionado e qualidade do ar; poluição local; gestão do uso da água; reuso de água; higiene e conforto; qualidade e eficiência da infraestrutura local; manutenção e gerenciamento da habitação; reciclagem de resíduos.
<b>Reforma</b>	Escolha dos materiais de reforma; projeto eficiente; gerenciamento dos resíduos de construção.
<b>Fim de vida</b>	Demolição ou reuso; reciclagem de componentes prediais; gerenciamento dos resíduos de construção.

Fonte: UN-HABITAT, 2012.

### BOX 1.2 | PROGRAMAS HABITACIONAIS E A GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

**Microusinas solar em Juazeiro, Bahia:** uma parceria entre a empresa Brasil Solair e o Fundo Socioambiental da Caixa Econômica Federal inaugurou a microusinas fotovoltaica, atualmente a maior construída sobre telhados de residências do Brasil. O empreendimento se localiza em Juazeiro, na Bahia, e atende mil famílias dos condomínios populares vizinhos Morada do Salitre e Praia do Rodeadouro,

com potência instalada de 2,1 MWp. O sistema conta com 9.144 painéis fotovoltaicos nos telhados dos prédios com quatro ou seis apartamentos, sendo o investimento realizado de R\$ 7 milhões. O acordo de cooperação financeira para o investimento com recursos não reembolsáveis foi assinado em 2012, e a geração da microusinas foi regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica

(ANEEL) em outubro de 2013. O sistema fotovoltaico é conectado à rede da Coelba (distribuidora local) e tem contrato com os condomínios para comercializar a energia gerada no mercado livre. Da receita total, 60% são destinados às famílias, 30% vão para um fundo para melhorias e benefícios do uso comum, e os outros 10% cobrem as despesas de manutenção do condomínio (CAIXA, 2014).

da operação e uso das edificações, sendo utilizada para avaliar e direcionar intervenções. Depois da operação, o segundo maior impacto está na escolha de materiais, porém esse aspecto não é considerado aqui por dois motivos: (i) a troca de materiais não impacta nas contas do morador, sendo mais difícil justificá-lo do ponto de vista de um programa social; e (ii) não existem bancos de dados suficientemente maduros para que essa avaliação seja feita de forma robusta e útil, com custo acessível. Por outro lado, essa área é identificada como prioritária para estudos e pesquisas, que devem ser utilizados para orientar futuros programas de sustentabilidade no setor da construção civil (CBCS, 2014).

Existem muitas soluções de desenho sustentável que podem ser realizadas sem ou com poucos impactos significativos no custo de construção, como medidas de projeto e de gerenciamento do uso de equipamentos de baixo custo ou, então, mais baratos que os tradicionais. Algumas dessas soluções para melhorar o desempenho das edificações residenciais já são aplicadas no Brasil e no mundo, e muitas inovações nessa área vêm sendo desenvolvidas nos últimos anos. A seguir, listam-se os principais elementos do desenho sustentável quanto ao desempenho ambiental, suas soluções e o que é encontrado no mercado brasileiro (Quadro 1.2).

A melhoria do desempenho de edificações de HIS inclui, segundo Kats (2010), a redução do consumo de energia e de água, maior durabilidade construtiva e melhoria da saúde dos residentes. Entretanto, a adoção de medidas de sustentabilidade em edificações ainda enfrenta a resistência das construtoras

quanto à viabilidade financeira e às vantagens do negócio. A visão de rentabilidade de um projeto, considerando apenas a etapa de construção, como é prática comum no mercado imobiliário, acaba enfatizando apenas o investimento inicial necessário para execução (KOSWOSKI et al., 2012). A partir de uma visão integral do ciclo de vida de uma habitação, entretanto, fica mais fácil enxergar os ganhos mensuráveis e não mensuráveis da adoção de medidas de sustentabilidade, como a redução do consumo de energia e de água na operação das habitações, a redução da necessidade de reformas, a redução na taxa de inadimplência e a possível redução dos subsídios do governo com as chamadas tarifas sociais.

A diminuição da taxa de inadimplência e da quantidade de subsídios nas tarifas sociais é uma importante justificativa que pode viabilizar a adoção de medidas de sustentabilidade em HIS, mesmo quando elas requerem um investimento adicional por parte do governo para sua viabilização. Koswoski et al. (2012) destacam alguns estudos das últimas décadas os quais comprovam que o conceito de sustentabilidade proporciona benefícios socioambientais e econômicos. Os aspectos ambientais são compensados quase que imediatamente após a adoção de medidas de design sustentável, e os aspectos econômicos são compensados dentro de um período de operação da habitação. A análise de três empreendimentos, sendo dois com certificação sustentável e um com sistemas construtivos convencionais, mostrou que, para os projetos que implantaram medidas de sustentabilidade, houve um aumento dos custos iniciais de 10%, que retornou em sete anos aos proprietários (NAGALI, 2012).



89



Quadro 1.2 | **Elementos de design sustentável quanto ao desempenho ambiental nas etapas de construção e operação**

ELEMENTO DE DESIGN SUSTENTÁVEL	SOLUÇÕES
<b>Eficiência energética e redução de emissões de GEE</b>	Planejamento e otimização da orientação solar e inter-relação da edificação com seu entorno, buscando utilizar soluções passivas de aquecimento, resfriamento, iluminação e sombreamento.
	Adoção de pé-direito elevado, uso de forro isolante e de cobertura com baixa absorção solar.
	Melhoria do isolamento de paredes, janelas, portas, telhados.
	Utilização de janelas com maior abertura efetiva, privilegiando a circulação de ar e a iluminação natural, bem como a ventilação cruzada entre os ambientes.
	Instalação de equipamentos consumidores de energia com altos níveis de eficiência - aquecimento, resfriamento, cocção, iluminação e ventilação.
	Aproveitamento de potenciais de geração de energias renováveis – microgeração distribuída.
	Redução do consumo de materiais com alto nível de energia embutida e tecnologias energointensivos.  Incentivo e capacitação dos usuários sobre a importância da economia do consumo através de atividades de conscientização, medição e faturamento de energia.
<b>Uso eficiente de água</b>	Minimização de perdas e vazamentos.
	Sistemas de captação de água de chuva para usos não potáveis.
	Pavimentos permeáveis.
	Sistemas de reuso para usos não potáveis.
	Instalações hidráulicas eficientes e sistemas economizadores.
<b>Uso consciente de materiais</b>	Redução das perdas de materiais de construção (no Brasil, essas perdas podem significar até 5% do custo da habitação).
	Segregação dos resíduos da construção no local de sua geração, com destinação adequada e com reciclagem da fração mineral no próprio canteiro de obras.
	Uso de cimento com menor teor de clínquer ou concretos formulados com baixo consumo de cimento.

Fonte: adaptado de UNEP, 2010a; 2010b; UN-HABITAT, 2012.

## BOX 1.3 | CÓDIGOS E NORMAS DE EFICIÊNCIA DAS EDIFICAÇÕES

O crescimento da conscientização sobre as questões ambientais de edificações tem se refletido em um conjunto de normas técnicas, legislações, selos e etiquetas ao redor do mundo. Este box sistematiza importantes regulamentações referentes à sustentabilidade e à construção de HIS no Brasil.

A Lei 10.295, de outubro de 2001 (BRASIL, 2001b), dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e visa à alocação eficiente de recursos energéticos e à preservação do meio ambiente através do estabelecimento de níveis máximos de consumo ou mínimos de eficiência energética, com base em indicadores. O Decreto 4.059, de dezembro de 2001, regulamenta a Lei 10.295 e dá outras providências (BRASIL, 2001c).

Uma das principais normas brasileiras relativas aos princípios da construção civil sustentável é a Norma de Desempenho Térmico de Edificações ABNT NBR 15220 (ABNT, 2003), que recomenda métodos padronizados para cálculo de variáveis arquitetônicas, procedimentos para tratamento de dados climáticos, estratégias bioclimáticas a serem consideradas nas edificações e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

A ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013), por sua vez, representa um marco e uma grande conquista para a sociedade e para o mercado habitacional brasileiro. Essa norma propõe uma nova maneira de especificação e de elaboração de projetos e rompe paradigmas da cultura brasileira da construção habitacional, ao inserir questionamentos como a expectativa de vida útil, o desempenho, a eficiência, a sustentabilidade e a manutenção das edificações (AsBEA, 2013; ANDRÉ, 2014).

Além das normas técnicas, destaca-se o PBE Edifica, uma etiqueta desenvolvida pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) em parceria com a Eletrobras/ PROCEL Edifica (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel). O Programa PBE Edifica define níveis de eficiência energética em edificações residenciais, públicas e de serviço através da Instrução Normativa 02/2014<sup>13</sup>. Apesar de sua adoção pelo mercado ser ainda voluntária, desde sua instituição, os edifícios públicos federais com área superior a 500m<sup>2</sup>, novos ou que passam por reforma, devem obrigatoriamente atender ao nível máximo de exigência.

O Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) é um instrumento do governo federal, dentro do Ministério das

Cidades, que visa organizar o setor da construção civil em torno da melhoria da qualidade do habitat e da modernização produtiva.

Em janeiro de 2017, foi aprovada e publicada pela ABNT a norma brasileira NBR ISO 37120:2017, *Desenvolvimento sustentável de comunidades – Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida*<sup>14</sup> (ABNT, 2017), que define 100 indicadores de sustentabilidade urbana para diferentes setores da sociedade, como economia, educação, energia, resíduos, água, transportes, planejamento urbano, etc. Os indicadores têm a função de medir e orientar o desempenho de serviços urbanos e a melhoria da qualidade de vida.

Por fim, em março de 2017, foi publicada a Portaria 269 (BRASIL, 2017), que dispõe sobre as novas diretrizes para elaboração de projetos para a terceira fase do PMCMV, regulamenta as especificações técnicas para as UH e as especificações urbanísticas para o empreendimento. A Portaria torna obrigatória algumas medidas de eficiência, como vaso sanitário com sistema de duplo acionamento e sensor de presença para acionamento de lâmpadas em áreas comuns de permanência temporária<sup>15</sup>.



## CAPÍTULO 2

# ETAPAS DA PESQUISA DESENVOLVIDA

Este relatório apresenta a análise dos custos e dos benefícios da adoção de medidas de sustentabilidade em empreendimentos de HIS. Foram realizadas simulações para identificar o potencial de desempenho e eficiência de uma série de medidas para redução de consumo de água e energia elétrica em habitações.

O detalhamento da metodologia adotada, as fontes de dados, os parâmetros e as referências utilizadas para as simulações se encontram no Apêndice A - *Notas Metodológicas*. A sequência das etapas desenvolvidas está representada na Figura 2.1.

Figura 2.1 | **Etapas de pesquisa**



Fonte: elaborado pelos autores.

Primeiro foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema, especialmente sobre sua aplicação no Brasil e sobre iniciativas de sustentabilidade em HIS. Essa revisão bibliográfica deu subsídios para a identificação e seleção de 13 medidas de eficiência para edificações, aplicáveis às habitações.

A escolha das 13 medidas está pautada nas discussões introduzidas no capítulo anterior, onde foi explorado um panorama da produção de HIS no Brasil. As medidas foram selecionadas com base na revisão bibliográfica em diversas pesquisas realizadas no âmbito do PMCMV, que envolveram estudos de simulação, estudos de caso na implementação de medidas de sustentabilidade e avaliação pós-ocupação de residências em uso (ANDRÉ, 2014; CBCS, 2014; ELETROBRAS, 2009; GIZ, 2013; GIZ, 2015; iCS, 2017; MITSIDI, 2015).

Inicialmente, foram avaliadas as possibilidades de modificações na envoltória das edificações, de forma a melhor relacionar as trocas de calor com o ambiente externo e os ganhos solares. Dessa análise, surgem medidas relativas a vedações, aberturas, pintura e composições de cobertura. Em um segundo momento, foram avaliadas opções tecnológicas para os sistemas elétricos e hidráulicos, que contribuam para melhorar as condições do morador de alcançar bons níveis de economia. Dessa avaliação, surgem as medidas de troca de lâmpadas, válvulas de descarga ou mesmo a inclusão de novos sistemas como a captação de água da chuva.

De forma geral, as medidas procuram refletir opções acessíveis, do ponto de vista tecnológico e comercial, em todo o país; o foco não são necessariamente inovações, mas alternativas existentes que poderiam ser mais bem aproveitadas para uma dada localidade. A partir de características construtivas comuns à tipologia e ao impacto que cada uma gera no consumo de água e energia, é possível estudar alternativas de maior eficiência para serem implementadas. Tais medidas estão relacionadas com o conforto térmico e com a sustentabilidade ambiental (consumo de água e luz) das edificações.

Na etapa seguinte do trabalho, foram realizadas simulações individuais de desempenho das 13 medidas de eficiência escolhidas. O desempenho dessas medidas é analisado de forma comparativa em relação a uma HIS típica, sem nenhuma medida de sustentabilidade incorporada - o chamado modelo de linha de base<sup>16</sup> - que também foi simulado. Mensurar o potencial de desempenho individual de cada medida para redução do consumo de água e energia elétrica propicia a análise dos custos e dos benefícios dessas medidas e permite avaliar a viabilidade da implementação das soluções de eficiência.

Para a simulação das medidas de eficiência, foram considerados:

- definição de 13 medidas de sustentabilidade a partir da revisão bibliográfica e identificação daquelas que representam os maiores potenciais de desempenho a partir das características construtivas, segundo as especificidades da região;
- definição da tipologia construtiva padrão mais reproduzida para HIS unifamiliares e multifamiliares no país;
- escolha do município de Londrina, no estado do Paraná, como cidade de referência para os parâmetros climáticos estabelecidos no modelo de simulação;
- levantamento dos custos operacionais baseados no consumo de água e de energia elétrica, convertidos em reais a partir das tarifas vigentes para esses serviços.

A simulação individualizada permite demonstrar os resultados de desempenho e o custo de cada medida selecionada de forma isolada, cujas informações desagregadas favorecem a escolha de algumas medidas específicas e/ou a criação de um modelo eficiente, conforme as necessidades ou possibilidades financeiras de cada projeto. Os resultados são apresentados a partir de diferentes parâmetros que se baseiam em três pilares da sustentabilidade: (i) social: a partir do impacto nas despesas familiares; (ii) ambiental: através dos índices de redução de emissões de GEE e de consumo de água; e (iii) econômico: a partir do custo financeiro de cada medida e do seu tempo de retorno (ou *payback*)<sup>17</sup>.

Avaliou-se, também, o impacto dessas medidas quando aplicadas em conjunto, permitindo considerar as sinergias existentes entre elas. A avaliação conjunta foi adotada para mensurar o impacto somado das medidas, uma vez que seu uso associado pode potencializar os benefícios comparando-se ao seu uso individualmente. Para tanto, foram construídos cinco modelos sustentáveis<sup>18</sup> regionalizados, que consideram:

- escolha da regionalização com base nas diferenças climáticas e culturais das cinco regiões político-administrativas do país: Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste;
- definição dos cinco conjuntos de medidas de eficiência em edificações, um para cada região político-administrativa do Brasil, a partir dos resultados da simulação individualizada<sup>19</sup>;
- estabelecimento de uma cidade de referência para cada região a fim de obter os dados climáticos e de custos. São elas: (i) Porto Alegre - Sul; (ii) São Paulo - Sudeste; (iii) Brasília - Centro-Oeste; (iv) Fortaleza - Nordeste; e (v) Manaus - Norte.

As variações climáticas nas diferentes regiões do país alteram os desempenhos e os benefícios de determinadas medidas, sobretudo na área de conforto térmico, que impacta diretamente o consumo de energia. Após a simulação desses cinco conjuntos regionalizados, foi feita a análise dos resultados, comparando um modelo tradicional de linha de base, para cada região, com os modelos sustentáveis. As simulações realizadas consideraram o investimento inicial (quando existente) a ser realizado para incorporar a medida de eficiência na HIS, a redução nos custos operacionais que ela propicia e os benefícios sociais e ambientais.

Apesar de as medidas de sustentabilidade poderem ser aplicadas em todas as fases do ciclo de vida de uma edificação, este trabalho foca sua análise na etapa de projeto (arquitetura passiva) e na operação (medidas de redução de consumo de água e energia elétrica), não adentrando em questões referentes à construção e ao fim de vida dos materiais, por exemplo. Além disso, teve-se o cuidado de trabalhar com medidas de eficiência de baixo custo inicial e/ou rápido retorno econômico, uma vez que este relatório tem como foco a HIS e a população vulnerável. Esse cenário transforma a redução de despesas familiares com serviços em um significativo impacto na vida dessas pessoas.



## CAPÍTULO 3

# DESEMPENHO INDIVIDUAL DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA

Mensurar o desempenho individual de cada medida de eficiência para as HIS é importante para que possamos identificar os custos e os benefícios de cada tecnologia utilizada para a prestação de serviços domiciliares.

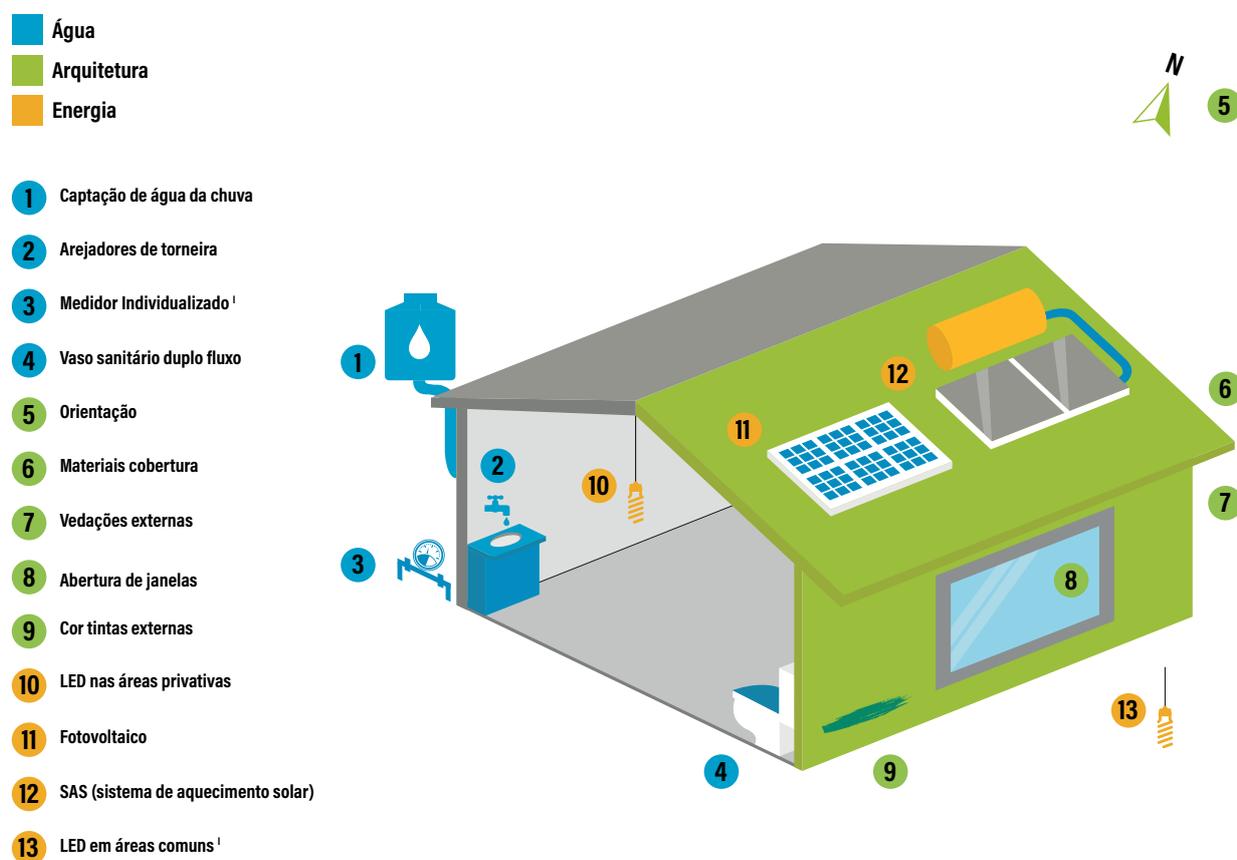
O conhecimento desses resultados pode auxiliar na escolha e na adoção de medidas de eficiência com maior segurança por parte dos incorporadores e tomadores de decisão. As medidas podem ser aplicadas tanto para HIS como para qualquer outro tipo de empreendimento habitacional onde se queira racionalizar o uso de água e energia. Conhecer o potencial de desempenho das medidas também permite o acompanhamento de metas de mitigação definidas e contribui para o estabelecimento de políticas públicas e de exigências mínimas de níveis de desempenho para programas governamentais e/ou para a iniciativa privada.

## Medidas de sustentabilidade simuladas

A partir da revisão bibliográfica e dos dados de usos finais para os consumos de energia elétrica e de água<sup>20</sup>, foram definidas as medidas de eficiência a serem simuladas e divididas em três categorias: (i) consumo de água, (ii) consumo de energia elétrica, e (iii) arquitetura passiva (Figura 3.1).

O consumo de água e de energia elétrica representa o maior impacto ambiental ocorrente em uma residência. As medidas de arquitetura passiva estão relacionadas aos níveis de conforto térmico interno e, conseqüentemente, ao consumo de energia elétrica para condicionamento de ar. Sua influência no modelo é estimada com base no consumo de energia para resfriamento ou aquecimento da moradia. O consumo de gás de cozinha não foi considerado, uma vez que não foram identificadas medidas significativas para sua redução.

Figura 3.1 | Medidas de sustentabilidade definidas e simuladas individualmente



Fonte: elaborado pelos autores.

Nota: 1. Simulado somente para as habitações multifamiliares.

Outras medidas foram elencadas, porém a complexidade de instalação e/ou operação para sua realização em HIS inviabilizaram seus testes. São elas: (i) reuso de água – complexidade elevada do sistema de filtragem; (ii) medição individualizada de gás – ausência de distribuição de gás de rua na maioria das cidades com empreendimentos do PMCMV; (iii) fogões mais eficientes – dependem da decisão e renda do morador; (iv) geladeiras mais eficientes – dependem da decisão e da renda do morador; (v) bombas de água mais eficientes – nem todos os empreendimentos multifamiliares requerem o uso de bomba; e (vi) pé direito elevado – o aumento do pé direito para melhoria do conforto interno exige alturas maiores do que os padrões utilizados para HIS.

### Resultados por medida de eficiência

Para avaliar os resultados por medida de eficiência, foram realizadas simulações em uma cidade brasileira de referência, escolhida pelo critério de apresentar horas de conforto e desconforto, por frio e por calor, equilibradas ao longo do ano. Com essa paridade, a demanda por resfriamento e aquecimento tende a ser similar, o que permite uma análise das medidas de forma mais equânime, o que não ocorreria em cidades com climas mais extremos, onde um dos dois consumos - aquecimento ou resfriamento - seria maior em relação ao outro. Diferentes possibilidades de cidades foram levantadas, sendo selecionada a cidade de Londrina, no Paraná, que possui níveis equilibrados de horas de conforto e de desconforto ao longo do ano: 31% em conforto; 34,3% de desconforto por frio; e 34,7% de desconforto por calor (LabEEE, 2014).

Indicadores foram escolhidos para representar o impacto das medidas de sustentabilidade em relação a diferentes aspectos, avaliados por UH: a redução do consumo de água e energia que beneficia diretamente os moradores; o investimento adicional que afeta diretamente os custos das construtoras que executam os empreendimentos; a redução do gasto de água por ano que impacta no consumo e na rede de distribuição sob responsabilidade dos governos locais; e a redução de emissões de GEE que influencia positivamente os níveis globais de emissões.

Os resultados obtidos nas simulações e nas estimativas realizadas foram contabilizados em quatro indicadores:

- **Economia nas despesas mensais por família:** revela o quanto cada família terá de redução em seu consumo de água e de energia elétrica total anual a partir de cada medida de sustentabilidade simulada, o que afetará diretamente as tarifas pagas pelos moradores por esses serviços.
- **Investimento adicional em reais por UH:** informa o quanto seria necessário investir para implementar a medida de sustentabilidade simulada<sup>21</sup>.
- **Redução do consumo de água ou energia por ano por UH:** apresenta o quanto a redução percentual do consumo se traduz em litros de água ou em kWh de energia elétrica por ano.
- **Redução anual de emissões de GEE:** apresenta quantos quilos de emissões de GEE deixarão de ser emitidos por ano, em virtude da redução de consumo de energia elétrica.

Os resultados, apresentados na Tabela 3.1, referem-se às medidas de eficiência que tiveram melhores desempenhos na simulação para Londrina. Foram testadas diferentes configurações de materiais e de orientações para as edificações unifamiliares e multifamiliares, e as selecionadas foram:

UH Unifamiliares:

- uso de cores claras nas paredes externas;
- uso de bloco cerâmico para as vedações;
- uso de telha cerâmica com forro para a cobertura;
- orientação solar Oeste para as fachadas dos dormitórios.

UH Multifamiliar:

- uso de cor clara nas paredes externas nas unidades orientadas a Norte/Noroeste/Nordeste, e cor escura nas unidades orientadas a Sul/Sudoeste/Sudeste;
- uso de bloco de concreto para as vedações.

Tabela 3.1 | Resultados para as medidas de sustentabilidade analisadas individualmente para a cidade de Londrina

MEDIDA DE SUSTENTABILIDADE		UNIFAMILIAR <sup>I</sup>				
		REDUÇÃO DO CONSUMO POR UH [%]	INVESTIMENTO ADICIONAL [R\$/UH] <sup>II</sup>	ECONOMIA DE ÁGUA OU ENERGIA POR UH [ANO]	REDUÇÃO EMISSÕES GEE [KG/ANO]	
Medida para eficiência de consumo de água	1	Vaso sanitário com fluxo duplo	15,6%	<b>-R\$ 18,30</b>	27.000 litros	-
	2	Arejador nas torneiras	6,7%	R\$ 25,30	11.491 litros	-
	3	Captação de água de chuva	10,0%	R\$ 409,30	17.280 litros	-
	4	Medidor individualizado				
Medida para eficiência de consumo de energia elétrica	5	Sistema de aquecimento solar				
	6	LED nas áreas privadas	4,5%	R\$ 17,00	89 kWh	55,4
	7	LED e sensor de presença nas escadas e <i>halls</i>				
	8	Geração distribuída fotovoltaica	93,8%	R\$ 7.850,00	1.492 kWh	928,6
	9	Orientação: dormitórios para Oeste	0,4%	Sem custo adicional	8 kWh	4,7
	10	Tamanho e abertura dos caixilhos maiores	0,1%	R\$ 1.571,70	1 kWh	0,7
	11	Cor da tinta das paredes externas	1,5%	Sem custo adicional	29 kWh	18,1
	12	Materiais para vedações externas	3,4%	<b>-R\$ 1.115,10</b>	67 kWh	41,5
	13	Materiais para cobertura	3,6%	<b>-R\$ 1.471,40</b>	70 kWh	43,4

Fonte: elaborado pelos autores.

Notas: I. As linhas sem resultados representam medidas que não se aplicam em edificação unifamiliar ou multifamiliar. Medidor individualizado já consta no modelo de linha de base no unifamiliar; LED em áreas comuns não se aplica no unifamiliar; orientação em um prédio depende da forma e da orientação do edifício (pode existir um mesmo cômodo em todas as orientações); materiais de cobertura não foram utilizados, pois impactam apenas no último andar, não podendo ser atribuídos a todas as UH de uma edificação multifamiliar.

II. Os resultados em negrito significam que a simulação apresentou custos mais baratos em relação ao cenário de linha de base.

III. Este valor não foi simulado diretamente, pois depende inteiramente de comportamento individual. Por esse motivo, foi realizada uma estimativa com base em estudos da implantação de medidores individualizados em residências, com medição dos resultados. Existem muitas referências sobre redução de consumo, mas com valores muito variáveis: a Sabesp fala em 35%; reportagens em geral falam de 20-40% (G1 SP, 2015; COELHO e MAYNARD, 1999).

MULTIFAMILIAR <sup>1</sup>			
REDUÇÃO DO CONSUMO POR UH [%]	INVESTIMENTO ADICIONAL [R\$/UH] <sup>II</sup>	ECONOMIA DE ÁGUA OU ENERGIA POR UH [ANO]	REDUÇÃO EMISSÕES GEE [KG/ANO]
15,6%	<b>-R\$ 18,30</b>	26.438 litros	-
6,7%	R\$ 25,30	11.252 litros	-
8,3%	R\$ 106,80	14.018 litros	-
30,0% <sup>III</sup>	R\$ 261,10	50.760 litros	-
17,0%	R\$ 2.053,00	270 kWh	-
6,6%	R\$ 17,00	107 kWh	66,6
1,5%	R\$ 50,00	24 kWh	14,8
92,6%	R\$ 7.850,00	1.492 kWh	928,6
0,7%	R\$ 1.171,20	4 kWh	2,3
2,3%	Sem custo adicional	45 kWh	28,1
0,1%	<b>-R\$ 1.121,2</b>	1 kWh	0,7

Os resultados obtidos (Tabela 3.1) mostram o potencial das medidas de sustentabilidade escolhidas, simuladas e analisadas individualmente. As medidas que apresentaram **maior potencial de redução de consumo de água e eletricidade** são: a adoção do medidor individualizado de água por UH nas edificações multifamiliares e do sistema fotovoltaico.

O **medidor individualizado** nas edificações multifamiliares apresentou uma redução de 30% no consumo de água. Nas unidades unifamiliares, essa medida não apresentou resultados por já ser obrigatória atualmente e, portanto, já é considerada no modelo de linha de base. A adoção dessa medida nas edificações multifamiliares é importante, pois, apesar de ter um custo mais elevado que as demais medidas para a redução de água, seu potencial de desempenho também é maior e bastante significativo. O medidor de consumo individualizado também tem um papel de conscientização importante, uma vez que a família consegue saber exatamente o seu consumo e sua respectiva variação, permitindo um maior controle de seus gastos. Quando medido conjuntamente, é difícil perceber os efeitos de economia e de redução de consumo por UH.

A adoção do **sistema fotovoltaico** traz uma redução estimada de consumo de energia elétrica de 93,8% no unifamiliar e de 92,6% no multifamiliar. No entanto, o custo elevado dessa medida, de R\$ 7.850,00, exige maiores subsídios ou o barateamento da tecnologia através da criação/estímulo de demanda e de um mercado. A geração distribuída tem grandes impactos na conta final dos moradores, além de ter altos potenciais de redução de GEE em áreas que utilizam geração térmica na hora de ponta (desde que a hora de ponta seja na parte da tarde, novo padrão para o Brasil no verão (CBCS, 2014)). Essa ação pode, ainda, reduzir perdas no sistema de transmissão e distribuição. Esse grande potencial a médio e longo prazo pode justificar o elevado investimento financeiro, em muitos casos. Esse custo é superior à soma de todas as outras medidas juntas e tem um tempo de retorno simples (*payback*) de aproximadamente 12 anos. Ou seja, esse é o tempo necessário para que a economia no consumo proporcionada pela implementação da geração de energia fotovoltaica compense o valor investido.

Entre as demais medidas simuladas, algumas apresentam **resultados a zero ou a baixo custo**, podendo ser adotadas sem investimentos adicionais significativos de construção. Esse é o caso do vaso sanitário com fluxo duplo e dos materiais para vedações externas e para cobertura, que não apresentam custos adicionais na troca; da orientação dos dormitórios e da cor da tinta das paredes externas, que são medidas de zero custo; e dos arejadores nas torneiras e das lâmpadas de LED nas edificações, escadas e *halls*, medidas de baixo custo.

O **vaso sanitário com fluxo duplo** é a segunda medida com maior potencial de redução de consumo de água para as edificações, com uma redução de 15,6%, tanto para a edificação unifamiliar como para multifamiliar. Essa medida é relevante, pois o investimento para a sua adoção é inferior à opção tradicionalmente escolhida e seu potencial de desempenho é bastante significativo, sendo passível de ser adotado/exigido para qualquer edificação. Seu acionamento permite despejar três ou seis litros de água no vaso sanitário, conforme a necessidade. As válvulas comuns podem gastar até 10-12 litros por descarga, de acordo com a tecnologia de caixa acoplada ou de parede, mas as normas brasileiras já obrigam valores mais baixos para caixas acopladas (ABNT, 2011). Entretanto, para o bom aproveitamento dessa solução, é fundamental a orientação dos moradores sobre o uso desse sistema, de forma a garantir o potencial de redução de consumo.

Outras medidas que apresentaram custos inferiores ao do modelo de linha de base foram as opções de **materiais para vedação externas e materiais para cobertura**. Essas medidas, entretanto, são as que exibem uma variação maior de resultados entre as edificações unifamiliares e multifamiliares. No caso da cobertura, somente é aplicável para a moradia unifamiliar, que apresenta um potencial de redução de consumo de 3,6%, uma vez que em edificações multifamiliares teria impacto apenas nas unidades do último andar, não podendo ser considerada para o modelo. Em relação à vedação, a edificação unifamiliar apresenta quatro faces externas, enquanto a multifamiliar apenas duas, por

conta do tipo de construção. Dessa forma, os resultados apresentam uma variação de 0,10% de redução das despesas com energia elétrica no multifamiliar, e de 3,6% no unifamiliar.

Os resultados reforçam a importância da adoção de soluções de menor custo e que apresentem melhores benefícios de acordo com o contexto de cada região. Esse impacto é importante, pois reforça a necessidade de se reconsiderar o uso em todo o país da parede de concreto moldado in loco que contribui para índices altos de desconforto interno. O melhor resultado para a simulação individual foi a utilização de alvenaria de bloco cerâmico que reduziu a necessidade de aquecimento. Já na edificação multifamiliar, o impacto do bloco cerâmico foi negativo, aumentando o consumo de eletricidade das unidades; por conta disso, recomenda-se o uso do bloco de concreto.

Entre as medidas que apresentam resultados positivos a zero custo, a **cor da tinta para as paredes externas e a orientação** dos dormitórios a Oeste apresentam uma redução de gastos com consumo de energia elétrica de 2,3% no multifamiliar e 1,5% no unifamiliar (cor da tinta) e de 0,4% no unifamiliar (orientação). Não há resultados referentes à orientação para as UH multifamiliares, pois dependem da forma e da orientação da edificação, já que pode existir um mesmo cômodo em todas as orientações. Da mesma forma, essas medidas podem ser colocadas em prática imediatamente, adaptando, da melhor maneira possível, a orientação e a escolha das cores das paredes em virtude da necessidade de conforto de cada caso/região. Para a simulação individualizada, por exemplo, recomenda-se o uso da cor clara para a edificação unifamiliar, e de um misto de cores claras nas fachadas orientadas a N/NO/NE e de cores escuras nas fachadas S/SU/SE nas edificações multifamiliares. As demais fachadas podem receber outros tons de tinta, agregando, inclusive, qualidade estética de cores para o empreendimento.

Entre as soluções de baixo custo e fáceis de serem implementadas estão os **arejadores de torneiras e as lâmpadas LED**. A adoção do arejador das torneiras também é importante para a conscientização dos moradores, apesar da sua redução de consumo de água (6,7%) ser menor do que as demais medidas de água. No mesmo sentido, o uso das lâmpadas de LED no interior das habitações, em escadas e *halls* (nas edificações multifamiliares), apesar de apresentar uma redução de consumo de energia pequena (1,5%), é uma medida que, se associada a uma orientação aos moradores, pode trazer um aumento de consciência sobre o uso de energia, bem como uma economia de recursos, já que as lâmpadas de LED têm uma vida útil maior que as lâmpadas fluorescentes.

Das medidas que apresentam custos, a **captação de água da chuva** apresenta um potencial de redução de consumo de água de 10% em habitações unifamiliares e 8,3% em multifamiliares. Seu custo de instalação por UH é mais caro no unifamiliar do que no multifamiliar em virtude do rateio dos custos no último. Dependendo da tecnologia utilizada, a captação de água de chuva pode exigir manutenção e limpeza; em todos os casos, será necessário conscientizar ou treinar os usuários. Ainda assim, apesar do custo elevado, a adoção de sistemas de captação de água da chuva deve ser avaliada considerando, para além de seus custos e benefícios, a região climática onde ela será colocada em prática, não só pela redução estimada ser influenciada pela precipitação da região, mas principalmente por essa ser uma medida especialmente pertinente em locais em que existem períodos de seca, por seu potencial de gerar reserva de água.

Assim como a captação de água da chuva, o **sistema de aquecimento solar (SAS)** deve ser avaliado regionalmente: sua efetividade pode variar com as condições climáticas da região e pela demanda dos moradores. Em

regiões mais quentes, como o Norte e Nordeste, assume-se que a demanda por água quente é menor por conta do clima, tornando o uso do SAS menos efetivo em termos de redução do consumo de energia elétrica para esse fim. Dessa forma, sua adoção deve ser analisada de acordo com cada projeto e região, considerando que o investimento necessário de R\$ 2.053,00 poderia ser investido em outras medidas mais eficientes. O SAS é a segunda medida de maior impacto em termos de diminuição de consumo de eletricidade, com uma redução de 17%, nas edificações multifamiliares. Da mesma forma que o medidor individualizado, o SAS não foi considerado em edificações unifamiliares por já ser uma medida obrigatória. Até março de 2017, essa medida era obrigatória para todas as regiões do país, sendo agora, por conta da Portaria 267 de 2017, opcional para as regiões Norte e Nordeste.

Por fim, a adoção de maior **tamanho e a abertura das janelas** não apresentou reduções significativas, o que se justifica pela escolha da cidade. O tamanho dos caixilhos impacta diretamente no balanço de consumo entre aquecimento e resfriamento, sendo, portanto, mais indicado em regiões mais quentes. Apesar de seu custo-benefício não ser tão significativo, essa medida é muito importante para o bem-estar e para o conforto interno dos moradores.

A partir dos resultados pontuais, é possível observar que determinadas medidas de sustentabilidade são mais ou menos viáveis, de acordo com a região, com o clima e com as características culturais de cada localidade. Muitas medidas podem ser facilmente aplicadas em qualquer tipo de edificação. A inviabilidade de uma medida em uma região quente não significa necessariamente que seu uso não será efetivo em uma região fria. Em função disso, uma análise mais ampla das medidas em escala nacional, na qual tais especificidades sejam abordadas, mostra-se necessária.



## CAPÍTULO 4

# DESEMPENHO DO CONJUNTO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA – POR REGIÃO

A análise do capítulo anterior identificou os custos e os benefícios das medidas simuladas isoladamente e seus resultados indicaram o potencial individual de cada medida.

Contudo, tanto os custos quanto os benefícios de cada medida tendem a ser diferentes conforme a região do país, em virtude dos condicionantes ambientais (influenciados pelo regime de chuvas, ventos, variação térmica, etc.) e mercadológicos (variações de tarifas de luz e água, custo de materiais, etc.).

Outro aspecto a ser destacado se refere à não incorporação da geração de energia fotovoltaica ao modelo que simulou os conjuntos de medidas de sustentabilidade. O custo individual dessa tecnologia é muito elevado em comparação aos demais, o que diminuiria o custo-benefício geral do conjunto de medidas em todos os cenários de simulação regionalizada, dificultando a análise dos resultados de outras medidas de menor custo e impacto. Os resultados da simulação por região do potencial de geração de energia, de economia em reais por ano e do *payback* simples estão apresentados no Apêndice A.

Além da variação conforme o contexto regional, ao se simular um conjunto de medidas de forma integrada, elas têm seu potencial de desempenho ampliado devido às interações que ocorrem entre si, como a redução da potência das lâmpadas que também reduz a energia necessária para o resfriamento do ambiente. Por esses motivos, optou-se por realizar uma análise regionalizada da aplicação das medidas. Para evitar uma quantidade exagerada de dados e simulações, foram montados cinco conjuntos de medidas, um para cada região do país. Esses conjuntos representam modelos otimizados para cada região, com base nos resultados das simulações realizadas para o clima de Londrina no capítulo anterior. Enquanto a maioria das medidas fica igual em todos os cenários, as especificações de algumas delas são adaptadas para melhorar ou otimizar o desempenho no local, considerando o clima e as práticas de utilização das residências.

A Figura 4.1 apresenta algumas características regionais brasileiras para auxiliar no entendimento dos resultados de desempenho das medidas e nas considerações e recomendações feitas.

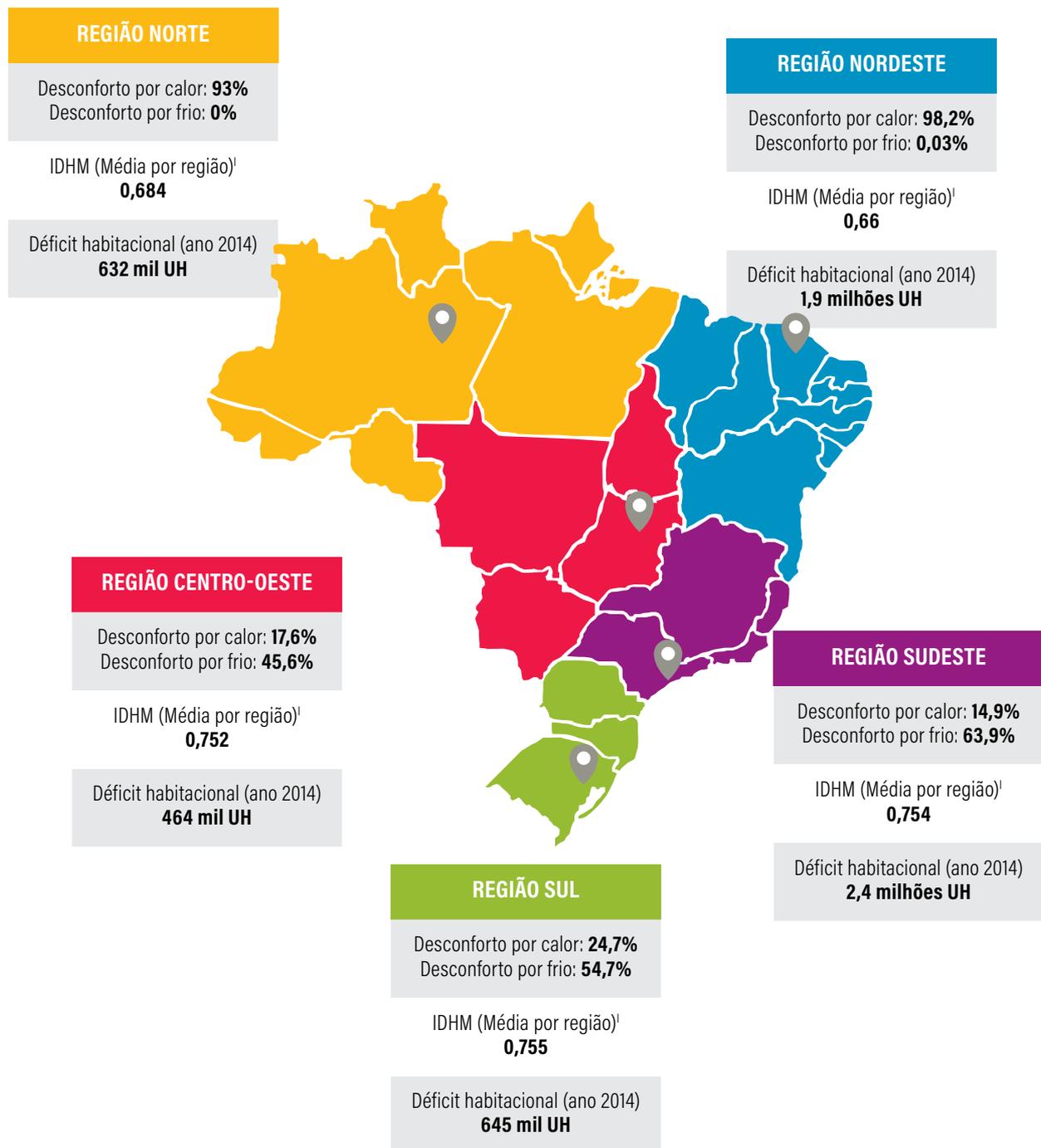
## Conjunto de medidas de eficiência em habitação para as regiões

A necessidade de diferenciar as especificações de cada medida conforme a região é explicada pelas variações climáticas e pelos contextos socioeconômicos de cada local. Muitas medidas estão presentes na mesma configuração para todos os cenários, como o caso do vaso sanitário de fluxo duplo, dos arejadores de torneiras, da captação de água da chuva, das lâmpadas de LED nas áreas privativas e dos tamanhos das aberturas das janelas, pois apresentam bom potencial em qualquer configuração.

Outras medidas estão presentes apenas nas unidades multifamiliares, como o SAS, o medidor individualizado e o LED e os sensores de presença nas áreas comuns, por já estarem presentes no modelo de linha de base unifamiliar ou por não existirem áreas comuns nas habitações unifamiliares. O SAS, além de estar incorporado apenas nas edificações multifamiliares, também não está presente no conjunto de medidas das regiões Norte e Nordeste, devido à menor demanda por água quente em residências em função das altas médias de temperaturas ao longo de todo ano nessas regiões. Por fim, algumas medidas apresentam características diferentes conforme a região, como o caso da orientação, da cor da tinta das paredes externas, dos materiais para as vedações externas e para a cobertura. Elas apresentam essa diferenciação porque são medidas cujo desempenho é relacionado às características climáticas ou ao custo dos materiais.

Os custos dos insumos foram utilizados para balizar a realidade econômica de cada região, identificando soluções que podem ser mais viáveis em uma localidade que em outra. Esses custos são determinantes para definir quais materiais e tecnologias serão empregados e eles estão diretamente relacionados com o contexto socioeconômico de cada região.

Figura 4.1 | Características das regiões brasileiras



Fonte: elaborado pelos autores com base em Projeteee (<http://projeteee.mma.gov.br/>); PNUD, 2013; FJP, 2016.

Nota: 1. Média simples calculada a partir do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) dos estados. Porcentagem de desconforto por calor e por frio no período de um ano para as cidades de referência por região.

Dos materiais utilizados, apenas a parede de concreto moldada no local apresenta custo maior que as demais vedações em alvenaria com bloco de concreto e alvenaria com bloco cerâmico. No entanto, essa diferença pontual é reduzida quando se calcula o custo global da obra. A parede moldada permite um ganho de tempo e um menor desperdício, apesar de ter um custo fixo maior. Para contornar essa questão foi utilizado um fator de correção de 25% no custo, de forma a ponderar esse efeito global da tecnologia. O fator de correção adotado é baseado em Tabela PINI de Composição e Preços para Orçamento.

Cada tipo de medida de sustentabilidade foi avaliado de acordo com sua natureza,

sua interação com outras medidas e sua forma de entrada e saída de dados. Medidas relacionadas ao consumo de água, aquecimento solar e iluminação das áreas comuns foram calculadas por meio de modelos matemáticos. Demais medidas foram simuladas em modelo termoenergético capaz de considerar as devidas interações entre elas.

Considerando os aspectos climáticos e os custos, foram estabelecidos diferentes conjuntos de medidas de sustentabilidade para cada região, a fim de atingir os melhores custos e os melhores benefícios em termos de investimento adicional e de redução de consumo. O Quadro 4.1 agrupa as medidas por tipo e apresenta a variação definida para cada região.



Quadro 4.1 | **Conjunto de medidas de eficiência por região**

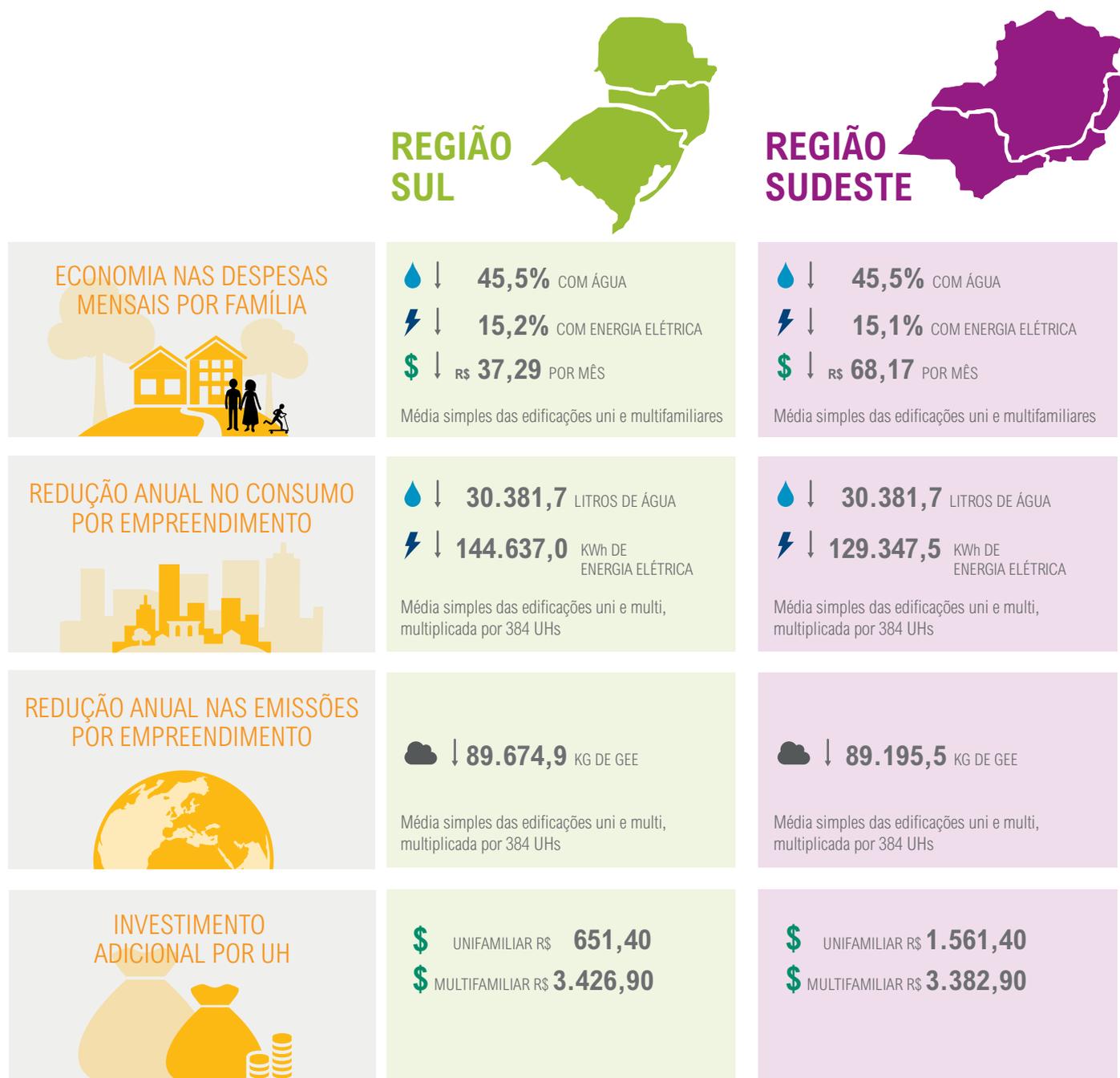
	SUL	SUDESTE	CENTRO-OESTE	NORDESTE	NORTE
<b>Vaso sanitário</b>	Vaso sanitário com acionamento de duplo fluxo				
<b>Torneiras</b>	Arejadores nas torneiras				
<b>Captação de água de chuva</b>	Aproveitamento pluvial para usos não potáveis				
<b>Medição de água</b>	Medição individualizada (multifamiliar)				
<b>Sistema de aquecimento de água</b>	Aquecimento solar de água (multifamiliar)	Aquecimento solar de água (multifamiliar)	Aquecimento solar de água (multifamiliar)	---	---
<b>Iluminação nas áreas privativas</b>	LED nas áreas privativas				
<b>Iluminação nas escadas e halls</b>	LED nas áreas comuns (multifamiliar)				
<b>Orientação solar para fachada dos quartos</b>	Oeste	Sul/Oeste	Leste	Leste	Leste
<b>Tamanho e abertura dos caixilhos</b>	Janela maior (1,15 m x 1,50 m) com abertura de 100%				
<b>Cor da tinta das paredes externas</b>	Cor média (absortância de 50%)	Cor clara (absortância de 30%)	Cor clara (absortância de 30%)	Cor clara (absortância de 30%)	Cor clara (absortância de 30%)
<b>Materiais para vedações externas</b>	Parede externa em bloco cerâmico (espessura total 19 cm)	Parede externa em bloco concreto (espessura total 19 cm)	Parede externa em bloco concreto (espessura total 19 cm)	Parede externa em bloco concreto (espessura total 19 cm)	Parede externa em bloco concreto (espessura total 19 cm)
<b>Materiais para cobertura</b>	Cobertura em laje com telha de fibrocimento	Cobertura em laje com telha de fibrocimento	Cobertura em laje com telha de fibrocimento (multifamiliar) / Cobertura em telha cerâmica e forro de gesso (unifamiliar)	Cobertura em laje com telha de fibrocimento (multifamiliar) / Cobertura em telha cerâmica e forro de gesso (unifamiliar)	Cobertura em laje com telha de fibrocimento (multifamiliar) / Cobertura em telha cerâmica e forro de gesso (unifamiliar)

Fonte: elaborado pelos autores.

## Resultados de desempenho para o conjunto de medidas de eficiência por região

Os resultados obtidos nas simulações dos conjuntos regionalizados de medidas de eficiência são apresentados a partir de uma média simples das reduções de consumo estimadas para as edificações unifamiliares e multifamiliares e um agrupamento por região, conforme a Figura 4.2.

Figura 4.2 | Resumo dos resultados para o conjunto de medidas de eficiência por região



Fonte: elaborado pelos autores.

## REGIÃO CENTRO-OESTE



↓ 45,5% COM ÁGUA  
↓ 16,3% COM ENERGIA ELÉTRICA  
↓ R\$ 45,66 POR MÊS

Média simples das edificações uni e multifamiliares

↓ 30.381,7 LITROS DE ÁGUA  
↓ 132.725,3 KWh DE ENERGIA ELÉTRICA

Média simples das edificações uni e multi, multiplicada por 384 UHs

↓ 82.289,7 KG DE GEE

Média simples das edificações uni e multi, multiplicada por 384 UHs

UNIFAMILIAR R\$ 1.517,30

MULTIFAMILIAR R\$ 3.485,90

## REGIÃO NORDESTE



↓ 45,5% COM ÁGUA  
↓ 22,4% COM ENERGIA ELÉTRICA  
↓ R\$ 71,92 POR MÊS

Média simples das edificações uni e multifamiliares

↓ 30.381,7 LITROS DE ÁGUA  
↓ 243.029,3 KWh DE ENERGIA ELÉTRICA

Média simples das edificações uni e multi, multiplicada por 384 UHs

↓ 150.678,2 KG DE GEE

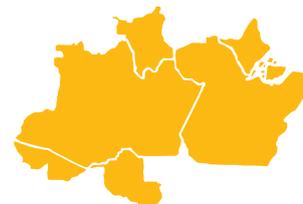
Média simples das edificações uni e multi, multiplicada por 384 UHs

UNIFAMILIAR R\$ -2.927,40<sup>I</sup>

MULTIFAMILIAR R\$ 515,50

I. O custo negativo ocorre devido à substituição da laje de concreto pela cobertura de telha cerâmica e forro, que possui um custo melhor em Fortaleza.

## REGIÃO NORTE



↓ 45,5% COM ÁGUA  
↓ 25,7% COM ENERGIA ELÉTRICA  
↓ R\$ 48,08 POR MÊS

Média simples das edificações uni e multifamiliares

↓ 30.381,7 LITROS DE ÁGUA  
↓ 301.956,5 KWh DE ENERGIA ELÉTRICA

Média simples das edificações uni e multi, multiplicada por 384 UHs

↓ 187.213,0 KG DE GEE

Média simples das edificações uni e multi, multiplicada por 384 UHs

UNIFAMILIAR R\$ -1.389,10<sup>I</sup>

MULTIFAMILIAR R\$ 436,40

I. O custo negativo ocorre devido à substituição da laje de concreto pela cobertura de telha cerâmica e forro, que possui um custo melhor em Manaus.

## Redução anual no consumo por empreendimento

A **redução de consumo de água por empreendimento**<sup>22</sup>, 30.381,7 litros de água por ano, é a mesma para todas as regiões uma vez que essa categoria de impacto não sofre influência da variação climática (há diferenças entre os índices pluviométricos, que exigem verificação do dimensionamento do sistema de captação de água da chuva)<sup>23</sup>. Os valores e o custo para a instalação das medidas por UH, unifamiliar e multifamiliar, desagregados e por região, podem ser encontrados no Apêndice A. A redução do consumo de água é menor nas edificações unifamiliares (32%) do que nas multifamiliares (59%). Isso ocorre devido à instalação dos medidores individuais apenas no multifamiliar, que contribuem significativamente para a diferença de percentuais entre as duas tipologias.

Os investimentos por UH para a adoção das medidas de redução de consumo de água, tanto entre as regiões quanto entre tipos de UH, são muito similares por região (Tabela A2.3 do Apêndice B). A diferença desses valores de investimentos adicionais é explicada pelos custos dos equipamentos que mudam conforme a região. Os custos para a instalação dessas medidas variam de R\$ 214,00 no Nordeste (unidades multifamiliares) até R\$ 336,07 no Centro-Oeste (unidades unifamiliares). Já o principal fator para a semelhança de custos totais das medidas de redução de consumo de água entre as UH uni e multifamiliares é a diferença no preço de dois equipamentos: o medidor individualizado e o captador de água da chuva. O primeiro é a medida de maior investimento na edificação multifamiliar, porém inexistente no unifamiliar. Por outro lado, a captação de água da chuva apresenta um custo mais acessível na edificação multifamiliar por conta do rateio do investimento entre apartamentos, sendo três vezes mais caro na edificação unifamiliar. Na média, os custos se equivalem.

A **redução de consumo de energia por empreendimento**<sup>24</sup>, por sua vez, apresenta grande diferença entre as regiões, variando de 129.347,5 KWh por ano no Sudeste, a 301.956,5 KWh por ano no Norte. Mensalmente essa medida representa uma média de redução de 15,1% no Sudeste a 25,7% no Norte.

Nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, a redução no consumo de energia é decorrente da redução

do consumo nos edifícios multifamiliares, cerca de 22% para os três casos, enquanto a redução no unifamiliar é de 8,1% no Sudeste, 8,8% no Sul e 10,4% no Centro-Oeste (Tabela A2.2 do Apêndice B). A instalação do SAS nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste é o principal responsável pelo menor consumo energético entre os tipos de UH, não considerada no unifamiliar por já estar presente no modelo de linha de base. Já no Norte e Nordeste, essa relação se inverte, já que, nessas regiões, a redução no consumo de energia pode ser atribuída principalmente às edificações unifamiliares. A diferença ocorre devido à característica construtiva das edificações em formato H, em que dois apartamentos estão orientados para condições mais equilibradas e dois orientados para condições mais críticas, e à falta do SAS nas edificações multifamiliares nessas regiões.

Pelos resultados, nota-se que o potencial de redução é maior nas regiões mais quentes, Norte e Nordeste, onde há maiores índices de desconforto por calor, e o ar-condicionado tem uma frequência de utilização maior ao longo do ano em relação às outras localidades. Como consequência, as medidas de redução de consumo de energia são potencializadas. Ainda assim, as medidas sugeridas terão resultado para o conforto dos moradores, independentemente do uso do ar-condicionado. Considerando a Região Nordeste, por exemplo, onde se localiza a cidade com maior índice de desconforto por calor ao longo do ano (98,2% das horas), a arquitetura passiva permite uma redução de 32,2% nas horas de desconforto, sem o uso do ar-condicionado.

## Redução anual das emissões de GEE por empreendimento

Como resultado, a **redução nas emissões de GEE**<sup>25</sup> decorrentes do menor consumo de energia elétrica apresentou valores entre 80,2 t/ano na Região Sudeste e 187,2 t/ano na Região Norte. As emissões estão diretamente vinculadas ao consumo de eletricidade, portanto, suas variações entre as diferentes cidades ocorrem proporcionalmente às reduções de consumo de energia elétrica, apresentadas no item anterior.

## Investimento adicional por UH

Como resultado, o **investimento** para a adoção do conjunto de medidas de eficiência é maior na edificação multifamiliar, em todas as regiões. Como destacado anteriormente, um dos motivos

é a instalação do medidor individual, já presente no modelo de linha de base das edificações unifamiliares. Nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, o investimento é mais elevado também devido à instalação do SAS, ausente nas demais regiões.

Nas edificações unifamiliares, o custo negativo nas regiões Norte e Nordeste significa que o conjunto de medidas de eficiência apresenta custo inferior ao do modelo de linha de base, o que revela novamente a importância de se analisar o custo dos materiais em cada região e de se promover especificações e diretrizes regionalizadas. Os valores mais baratos ou negativos de investimento ocorrem devido à substituição da laje de concreto pela cobertura de telha de cerâmica e forro, que possui um custo menor nessas regiões, mas que também pode levar a outras questões tecnológicas e estruturais que fogem ao escopo dessa pesquisa. Em ambas as regiões, por exemplo, o custo da telha cerâmica é muito menor que nas demais, o que favorece o uso dessa solução. Nesses casos, se essa troca em particular fosse ignorada, o investimento adicional seria de R\$ 483,50 no Nordeste e de R\$ 315,30 no Norte.

## Economia nas despesas mensais por família

As medidas também refletem em **economia nas despesas mensais das famílias**<sup>26</sup>. Na média, a redução das despesas das famílias por mês oscila entre R\$ 37,29 na Região Sul e R\$ 71,92 no Nordeste. Nas demais regiões, a economia é de R\$ 45,66/mês na Região Centro-Oeste, R\$ 48,08/mês na Região Norte e R\$ 68,17/mês na Região Sudeste. As diferenças são explicadas pelo tipo de edificação e pelo valor das tarifas, principalmente de água (Apêndice C).

Considerando as reduções do consumo de água e de energia elétrica, o impacto na economia das famílias em relação à renda máxima é considerável, variando de 1,3% na edificação unifamiliar no Sul a 5,1% na edificação multifamiliar no Sudeste. As regiões Sudeste e Nordeste se destacam por apresentarem o maior percentual de economia frente à renda. No Sudeste, a economia mensal é de 2,5% no unifamiliar (R\$ 44,64) e de 5,1% no multifamiliar (R\$ 91,70). Já no Nordeste, a economia é de 3,3% no unifamiliar (R\$ 60,07) e de 4,7% no multifamiliar (R\$ 83,77). Nos demais casos, a economia oscila entre 1,3% e 3,4% (Tabela A2.4 do Apêndice B).

O resultado bruto da economia indica verdadeiramente o potencial financeiro do conjunto de medidas de eficiência: com exceção das edificações unifamiliares no Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Norte, todas as outras apresentaram valores potenciais de redução superiores a R\$ 50,00 por mês, o que equivale ao valor da mensalidade que as famílias devem pagar ao governo pelo imóvel desde a Fase 2 do PMCMV. Considerando a média simples de todos os resultados, a redução potencial é de R\$ 54,22 por família, por mês.

Os resultados para as simulações do conjunto de medidas de eficiência por região, em comparação ao modelo de linha de base, demonstraram o enorme potencial existente na sua incorporação em empreendimentos de HIS. A redução média do consumo de água foi de 32% nas edificações unifamiliares e de 59% nas edificações multifamiliares, independentemente da região do país. Já a redução de energia elétrica, mais associada ao clima por conta do aquecimento solar e das medidas de arquitetura passiva, apresentou resultados diferentes para cada uma das cinco regiões, porém com uma redução média de 18,9% considerando os dois tipos de edificações em todas as regiões.

As reduções obtidas não levaram em conta o potencial da geração fotovoltaica, analisado de forma separada, em virtude dos altos custos de instalação. Os resultados para a geração fotovoltaica demonstraram que o potencial de economia para os moradores é enorme, inclusive superando o consumo mensal de energia elétrica das famílias na região Centro-Oeste, onde a geração é maior devido às condições climáticas (ver Apêndice A). Apesar desse potencial, o custo orçado de R\$ 7.850,00 para a geração fotovoltaica por UH é superior a duas vezes o valor necessário para investir em todas as demais medidas somadas.

Por fim, a simulação do conjunto de medidas de eficiência para cada uma das cinco regiões político-administrativas brasileiras destaca a possibilidade de potencializar os impactos das medidas individuais ao aplicá-las de maneira associada, ainda mais se forem regionalizadas. Os resultados para as regiões Norte e Nordeste, que em média apresentaram os melhores custos e benefícios para as medidas de eficiência, reforçam a importância da regionalização, inclusive no que se refere às especificações da Caixa Econômica Federal para os empreendimentos de HIS.



## CAPÍTULO 5

# CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir das simulações realizadas, da análise de custos e benefícios e da verificação dos potenciais dos conjuntos de medidas de eficiência para HIS por região brasileira, é possível observar que existem ganhos em diferentes escalas, seja na economia das despesas das famílias, seja na redução do consumo hídrico dos municípios ou na redução das emissões de GEE do país.

Esses ganhos e externalidades positivas precisam ser examinados no momento de avaliar corretamente o investimento adicional necessário, a fim de que as medidas de sustentabilidade nas edificações sejam consideradas viáveis também pela perspectiva econômica.

Nesse sentido, algumas observações se destacam: a existência de medidas de baixo custo ou que não requerem custos adicionais e a importância da regionalização das soluções de sustentabilidade para as edificações. A avaliação individualizada das medidas de sustentabilidade demonstrou o resultado potencial de cada uma delas e como o uso de tecnologias pode auxiliar na redução do consumo de água e de energia elétrica sem necessariamente requerer um grande investimento adicional.

**Características climáticas e culturais** de cada região também precisam ser consideradas nas políticas voltadas à HIS, de forma a aumentar os ganhos potenciais e sociais em todo país. As regiões Norte e Nordeste apresentam com o menor IDHM<sup>27</sup> (0,660 e 0,684, respectivamente), com elevados índices de desconforto térmico por calor (93% e 98,2%, respectivamente) e, juntas, exibem um déficit habitacional de aproximadamente 2,5 milhões de UH (Quadro 4.1). Investimentos em medidas de eficiência para as edificações dessas regiões terão benefícios ambientais e sociais maiores em escala. Ambiental, devido ao maior potencial de redução de consumo de energia elétrica, uma vez que são as regiões mais quentes e que demandam mais condicionamento térmico para atingir um nível mínimo de conforto. E social pelo potencial de economia das despesas mensais das famílias com maior grau de vulnerabilidade econômica.

No entanto, apesar de existirem medidas que não geram custos adicionais em relação ao modelo de linha de base, a maioria requer investimentos adicionais. A **viabilidade financeira** de construções mais sustentáveis passa pela revisão do potencial de economia para as famílias que, com a redução de gastos com serviços de água e energia elétrica, teriam mais renda para honrar a mensalidade obrigatória, podendo levar a uma diminuição dos índices de inadimplência. Ao se avaliar o potencial total das medidas de sustentabilidade, a redução do subsídio nas tarifas sociais de água e energia elétrica, bem como da taxa de inadimplência das famílias

em relação à prestação das HIS, são fatores que devem ser estudados.

Apesar de as medidas simuladas apresentarem custos e benefícios atrativos, elas não são suficientes para incentivar a sua adoção pelos incorporadores de empreendimentos HIS, uma vez que o agente que realiza o investimento não é o mesmo que se beneficia. Como resultado, o investimento adicional em medidas de sustentabilidade torna-se o principal fator limitante à sua adoção. Nesse sentido, o **papel das administrações públicas** para o fortalecimento dessas políticas é essencial. Definir responsabilidades dentro dos governos, fornecer subsídios adicionais para edificações mais sustentáveis, exigir níveis mínimos de eficiência, priorizar a tramitação de projetos com medidas de sustentabilidade, promover ações e projetos liderados pelos governos para criar maior demanda e aceitação de edificações eficientes no mercado e priorizar a tramitação e as licenças para projetos sustentáveis são iniciativas necessárias.

**A redução das emissões de GEE**, como consequência da adoção das medidas, pode ser uma justificativa importante para aumentar o subsídio das HIS, tanto em programas nacionais, como estaduais e municipais. A possibilidade de obtenção de verbas em outros Ministérios e órgãos públicos de todas as esferas, como o do Meio Ambiente e o de Minas e Energia, deve ser considerada já que os benefícios a serem alcançados não se refletem apenas no âmbito do Ministério das Cidades.

Esse **investimento adicional** poderia também ser financiado por contrapartidas ou programas estaduais e/ou municipais, uma vez que o percentual de incremento no valor total da obra é relativamente pequeno. Os projetos-piloto sustentáveis identificados na revisão de literatura também demonstram que os estados e municípios, mesmo que em menor escala, também estão dispostos a investir em sustentabilidade e eficiência nas edificações. É necessário encontrar o melhor caminho para aumentar a escala dessas iniciativas, bem como identificar as diferenças regionais existentes, que impactam as medidas de sustentabilidade avaliadas. O subsídio do Estado, tanto em nível federal, quanto em níveis estadual e municipal, deve levar em conta as externalidades positivas das medidas, como a economia de água e as reduções das emissões de GEE.

Ainda, a adoção de medidas de **arquitetura passiva**, por exemplo com zero custo, pode ser incorporada nas especificações mínimas dos programas de HIS, permitindo ganhos imediatos sem requerer uma discussão longa sobre financiamento ou subsídio. **Desestímulos ao uso de técnicas convencionais** pouco sustentáveis podem ser também uma forma de acelerar o processo, evitando a utilização de medidas de baixo custo com impactos negativos aos moradores e ao meio ambiente. O investimento obrigatório em aquecedores solares em regiões quentes (Norte e Nordeste), por exemplo, onde o consumo de água quente para banho é pequeno, já foi revisto pelo PMCMV (PORTARIA 267, 2017) e agora é considerado opcional. A verba adicional para o SAS nessas regiões poderia ser revertida para a compra de lâmpadas de LED, medidas de arquitetura passiva e/ou captação de água da chuva, por exemplo. Também é importante reforçar que as medidas de sustentabilidade vigentes atualmente, apesar de poucas, devem ter seus benefícios mensurados, de forma a validar e reforçar seus ganhos através de dados e informações confiáveis.

Nesse aspecto, reforça-se também a importância da **regionalização das medidas de eficiência**, que permita alterar os sistemas e as tecnologias adotadas nas diferentes cidades, visando aumentar a eficiência do investimento adicional necessário, maximizando os benefícios com as reduções no consumo de água e energia elétrica, bem como com a redução nos custos operacionais e nas emissões de GEE. A simulação do consumo pode ser uma importante ferramenta de decisão de projeto.

Apesar de os critérios mínimos para HIS serem iguais para todo o território nacional, em programas federais, os valores máximos por UH apresentam diferenciações relacionadas ao porte e à localização dos municípios. A Portaria 267, de 2017, estabelece valores para os projetos MCMV que atendam a todas as especificações mínimas definidas pelo Ministério das Cidades. Os valores variam de R\$ 59.000,00 para habitações unifamiliares em alguns municípios de pequeno porte do Norte e Nordeste, até R\$ 96.000,00 para empreendimentos multifamiliares em capitais classificadas como metrópoles pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para o Distrito Federal e os estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Os critérios para definição da regionalização não estão descritos

na Portaria, porém estão divididos em quatro grupos: (i) DF, RJ e SP, (ii) Região Sul, Espírito Santo e Minas Gerais, (iii) Centro-Oeste (Exceto DF) e (iv) Norte e Nordeste<sup>28</sup>.

O estabelecimento de uma diferenciação regional e de recortes territoriais para valores pressupõe o entendimento de que os custos, sejam referentes à terra, à mão-de-obra ou a materiais, são diferentes conforme a localização e o porte do município. Inclusive uma mesma tecnologia pode variar significativamente de preço de uma região para a outra. Avaliar os custos locais de cada medida pode indicar sua viabilidade em uma região em vez de outra, independentemente do seu potencial de desempenho. Essa constatação é importante para evitar distorções em relação aos valores adicionais para a incorporação de alternativas sustentáveis para as edificações. Os custos regionais de cada medida devem ser correlacionados aos seus impactos para, então, identificar as medidas com maior custo-benefício e viabilidade local.

O fato de já existir uma regionalização para custos indica que seria possível estabelecer diferentes critérios, medidas e especificações mínimas para as UH. A Figura 5.1 demonstra os resultados médios em relação à economia nas despesas familiares e à redução das emissões de GEE, obtidos por este estudo, para habitações uni e multifamiliares. Incentivar e viabilizar economicamente medidas que trazem ganhos sociais e ambientais é muito importante para se atingir a sustentabilidade. As regiões Norte e Nordeste apresentam os menores IDHM e os maiores potenciais de redução de GEE, ou seja, têm maior potencial de promover desenvolvimento social de forma mais sustentável. Em relação à redução das despesas familiares, elas são maiores justamente nas regiões Nordeste e Sudeste, onde o déficit habitacional é maior, ou seja, o local de maior demanda por habitação é o que tem o potencial de beneficiar mais pessoas proporcionalmente, em relação às outras regiões.

O modelo simulou medidas para habitações de interesse social, porém seus resultados e recomendações podem ser extrapolados para qualquer tipo de moradia. A simulação individualizada demonstrou o potencial de cada medida para que os gestores ou incorporadores adotem as medidas que considerarem adequadas, conforme o tipo de edificação. Se o padrão da habitação fosse outro, o potencial de diversas

Figura 5.1 | Principais resultados de economia nas despesas por família e de redução das emissões por empreendimento<sup>1</sup>





As regiões com famílias em situação de renda mais crítica – Norte/Nordeste – são as que apresentam **maior potencial de redução de GEE.**



As regiões com maior potencial de economia para as famílias – Sudeste/Nordeste – são justamente as que possuem **maior déficit habitacional.**

Fonte: elaborado pelos autores.

Nota: I.Os resultados sínteses são uma média simples entre as edificações uni e multifamiliares. Os resultados desagregados podem ser consultados no Apêndice B.

medidas não se alteraria significativamente, como as cores das tintas e a captação da água da chuva, que são mais relacionadas com as questões climáticas locais do que com condições e dimensões internas da edificação. O incentivo à adoção de alternativas sustentáveis para as edificações pode servir como uma medida local de combate a problemas relacionados à escassez de abastecimento de água ou a quedas na distribuição de energia, seja por capacidade de infraestrutura, seja por variações das condições climáticas.

### Barreiras identificadas e recomendações para impulsionar a eficiência em edificações habitacionais de interesse social no Brasil

As barreiras consistem em problemas mercadológicos, financeiros, técnicos, institucionais e relacionados à conscientização, que podem dificultar ou impedir que as pessoas façam investimentos em eficiência. O Quadro 5.1 sintetiza as principais barreiras encontradas na revisão de literatura para a introdução e adoção de medidas de sustentabilidade em HIS no Brasil e em países em desenvolvimento e traça algumas recomendações para enfrentá-las.

BARREIRA	DESCRIÇÃO	RECOMENDAÇÕES
<b>Custo de construção</b>	Em boa parte dos casos, os custos de implantação e de manutenção das soluções sustentáveis são maiores do que as tecnologias convencionais utilizadas em HIS.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programas de incentivo e subsídios para viabilização de medidas de eficiência para HIS (setor público).</li> <li>Desenvolvimento de políticas integradas com outros Ministérios/Secretarias, relacionadas ao meio ambiente e à energia (setor público).</li> </ul>
<b>Falta de capacitação técnica</b>	Falta de profissionais qualificados para desenvolvimento, implantação e manutenção das soluções sustentáveis.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Criação de mercados locais/regionais para medidas que envolvam tecnologias, como SAS e captação de água da chuva (setor público e privado).</li> <li>Existência de assistências técnicas autorizadas (setor privado).</li> </ul>
<b>Falta de treinamento educacional do usuário</b>	Falta de conscientização e treinamento do usuário final (moradores) para a preservação física e dos níveis de desempenho das soluções sustentáveis.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programas de conscientização e de orientação sobre o uso das tecnologias, técnico sociais pré e pós-ocupação (setor público).</li> </ul>
<b>Falta de política institucional integrada de sustentabilidade</b>	A falta de uma política integrada faz com que as soluções sejam departamentalizadas em vez de serem consideradas processos matriciais.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desenvolvimento de políticas públicas integradas (setor público).</li> <li>Compreensão das metas e dos acordos internacionais firmados como uma oportunidade para desenvolver a eficiência das edificações no país (setor público).</li> <li>Criação de leis, códigos e normas que exijam níveis mínimos de eficiências (setor público).</li> </ul>
<b>Desenvolvimento de soluções padronizadas</b>	Existe uma tendência de desenvolvimento de soluções padronizadas nacionalmente, de modo que os projetos acabam não considerando aspectos particulares de cada região e empreendimento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regionalização das soluções de sustentabilidade (setor público).</li> <li>Consideração dos benefícios e das externalidades positivas, mas também dos custos de determinadas tecnologias que variam conforme a região do país (setor público).</li> </ul>
<b>Foco em planejamento de curto prazo</b>	Existe uma tendência de os governos realizarem planejamentos e ações de curto prazo, que tenham resultados no período de mandato eleitoral, que dura quatro anos. Novos governos também resistem a dar continuidade a projetos desenvolvidos por governos anteriores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consideração do tempo de retorno dos investimentos para viabilidade econômica (setor público).</li> <li>Consideração das externalidades positivas para diferentes agentes impactados e para a sociedade em geral (setor público).</li> </ul>
<b>Falta de integração de todos os agentes envolvidos</b>	Falta de integração dos diferentes participantes no projeto, na construção e no uso das residências, perdendo-se, assim, oportunidades cruzadas de melhoria do desempenho.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Promoção da governança e do engajamento dos atores sociais envolvidos no projeto (setor público, investidores, construtoras, beneficiários, sociedade em geral).</li> </ul>
<b>Falta de integração dos empreendimentos ao meio urbano</b>	Ainda existe a necessidade de uma maior integração dos conjuntos habitacionais ao ambiente urbano, provendo, assim, suporte às necessidades diárias das famílias.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Promoção de empreendimentos bem inseridos no meio urbano (setor público e privado).</li> <li>Otimização da infraestrutura urbana já existente e priorização da ocupação dos vazios urbanos (setor público e privado).</li> <li>Criação de bairros e de comunidades em vez de condomínios fechados (setor público e privado).</li> </ul>
<b>Falta de conscientização da importância, dos benefícios e da necessidade de uma cultura de sustentabilidade</b>	Existe uma necessidade de incentivos à mudança de cultura e fomento de projetos que adotem a sustentabilidade como premissa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Promoção de uma mudança de cultura por meio da execução de projetos-piloto, disseminação de informações, incentivos e liderança governamental através do exemplo, começando pelos prédios públicos (setor público).</li> </ul>

Fonte: adaptado de UNEP, 2010a.

Uma das barreiras a ser superada é a conscientização dos moradores em relação ao uso das medidas de sustentabilidade entregues nas habitações, cujo potencial de benefícios pode ser reduzido. Por exemplo, o uso do vaso sanitário com fluxo duplo e a manutenção do sistema de captação de água de chuva não são intuitivos e precisam ser explicados. A conscientização sobre o consumo de água e de energia também é fundamental para mostrar a importância das medidas aos moradores, que podem se sentir encorajados a usar os recursos de forma mais consciente, uma vez que já existem medidas de economia instaladas. Uma alternativa para superar essa barreira é a promoção de programas de conscientização da população em geral, através do trabalho técnico social ou por equipes de assistência social, não só em relação ao melhor uso das medidas, como no caso acima, mas especialmente voltados a difundir os seus benefícios.

Nesse sentido, a operação eficiente e sustentável é tão importante quanto a medida de sustentabilidade em si. A manutenção dos sistemas e das tecnologias e a disponibilidade de mão de obra capacitada para realizar essa manutenção também são barreiras importantes a serem apontadas, ainda mais considerando toda a extensão do país. O uso dos sistemas solares de aquecimento, que possuem garantia de apenas cinco anos, na Fase 2 do PMCMV, por exemplo, apresentou muitos problemas pós-ocupação por falta de manutenção, tanto por parte dos moradores, que não conheciam esse tipo de sistema, quanto pela falta de empresas especializadas nesse tipo de serviço. Sistemas tradicionais, como o chuveiro elétrico, já têm seu uso enraizado na cultura da sociedade, o que facilita sua manutenção.

A instalação do sistema fotovoltaico apresenta um problema similar, pela impossibilidade de manutenção por parte dos próprios moradores ou das construtoras ou em virtude da ausência de empresas de manutenção e reparos. No entanto, a falta de assistência técnica não pode ser usada como justificativa para inviabilizar a adoção das medidas, uma vez que ela só existe devido à falta de demanda pelo serviço; assim que as tecnologias estiverem mais disseminadas, empresas de manutenção surgirão para atender aos novos serviços.

As próprias recomendações apresentam, por sua vez, barreiras a sua implementação. Programas de incentivos e subsídios estatais, assim como os programas de conscientização e o desenvolvimento de políticas públicas integradas, encontra como empecilhos os limites orçamentários e os interesses políticos e privados. O último ainda esbarra na questão da dificuldade do estabelecimento de uma governança efetiva dentro do setor público. A criação de mercados locais para medidas que envolvam tecnologia depende da dinâmica de cada cidade. Já a regionalização também passa pela escolha de um parâmetro único para a toda região, que pode ser muito heterogênea.

O governo federal necessita de uma estratégia clara de como atingir as metas e cumprir os compromissos dos acordos globais e, especialmente, de como fomentar e subsidiar ações no âmbito municipal. Os governos locais, por sua vez, precisam de informações e políticas públicas específicas para alavancar iniciativas de eficiência em edificações e seus benefícios, além de compreender o seu importante papel nos processos de metas de sustentabilidade globais. Por fim, os investidores e líderes do setor privado precisam ser convencidos com argumentos sólidos e quantificáveis para investir em infraestrutura urbana sustentável em grande escala de forma sistêmica.

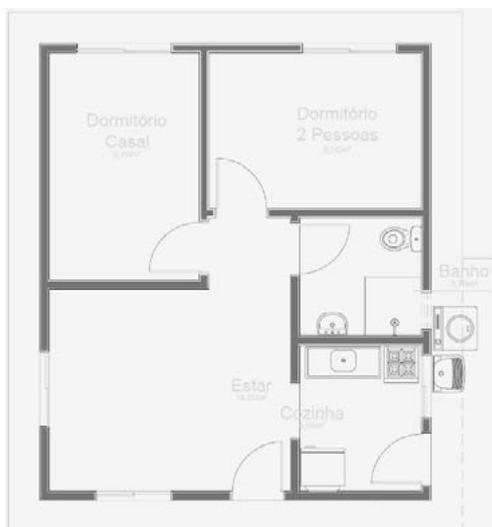
Este relatório foca na qualificação de projetos de HIS, entretanto seus resultados podem ser utilizados para demais edificações, mesmo que não façam parte de políticas públicas habitacionais. Tais medidas apresentam retorno e externalidades positivas para os moradores e a sociedade em geral, portanto sua adoção não pode ser baseada apenas em seu custo de implantação e padronização em larga escala. A produção e disseminação de informações sobre os impactos, tal como este relatório, são importantes para o planejamento e a incorporação de medidas de eficiência em edificações e para a consolidação de políticas públicas que estimulem a construção de edificações mais sustentáveis e eficientes.

## APÊNDICE A: NOTAS METODOLÓGICAS

Nesta seção estão especificadas as metodologias utilizadas, as fontes dos dados, primários e secundários, as premissas e os parâmetros adotados. O detalhamento metodológico é essencial para a confiabilidade da pesquisa, mas também por ser uma referência que auxiliará estudos futuros na área. São apresentadas a seguir informações sobre: (i) tipologias; (ii) consumo; (iii) investimento, custo operacional e tarifas; (iv) indicadores financeiros e ambientais; (v) metodologia de simulação; (vi) modelo de linha de base; (vii) modelo termoenergético; e (viii) geração fotovoltaica.

Para cada região político-administrativa do país, foram escolhidas cinco cidades como parâmetro: (i) Sul: Porto Alegre; (ii) Sudeste: São Paulo; (iii) Centro-Oeste: Brasília; (iv) Nordeste: Fortaleza; e (v) Norte: Manaus. Essas cidades foram selecionadas como referência em relação aos dados a serem coletados para caracterização do modelo a ser simulado. Buscou-se adotar cidades com condições diferentes de temperatura, umidade e vento ao longo do ano, variando do clima quente e úmido do Norte, ao inverno frio e seco do Sul.

Figura A1.1 | **Planta de uma edificação unifamiliar típica**



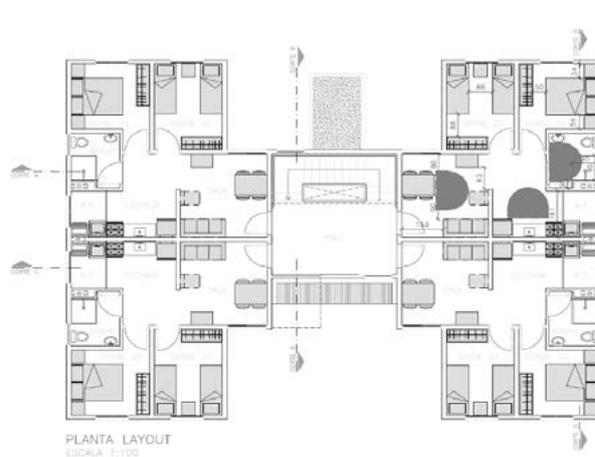
Fonte: André, 2014; GIZ, 2013.

## Tipologias construtivas convencionais

Nos últimos 40 anos, a maior parte dos projetos de HIS no Brasil tem sido produzida seguindo soluções padronizadas para casas unifamiliares ou edifícios multifamiliares, objetivando, assim, minimizar os custos de projeto e construção. Essa padronização faz com que as diferenças climáticas e as necessidades dos usuários não sejam levadas em consideração (UNEP, 2010a).

As tipologias construtivas de empreendimentos uni e multifamiliares do PMCMV utilizadas neste relatório foram identificadas entre as construtoras responsáveis pela maioria dos empreendimentos construídos e contratados até dezembro de 2014. Para a Faixa 1, modalidade Empresas, o padrão mais reproduzido para as edificações unifamiliares é representado por uma casa térrea com dois dormitórios, uma cozinha, uma sala e um banheiro, totalizando 39,6 m<sup>2</sup> de área útil (Figura A1.1). Para as edificações multifamiliares, a principal tipologia identificada é o edifício em formato "H" com cinco pavimentos, quatro apartamentos por andar, cada apartamento com dois dormitórios, uma sala, cozinha e um banheiro, com 45,6 m<sup>2</sup> de área útil (Figura A1.2).

Figura A1.2 | **Planta de uma edificação multifamiliar típica**



Fonte: André, 2014; GIZ, 2013.

Apesar de as plantas-padrão de cada tipo de edifício serem semelhantes, os sistemas construtivos podem diferir de acordo com o projeto e a construtora responsável pelo empreendimento. Foram identificadas quatro categorias predominantes para os materiais construtivos empregados: (i) alvenaria estrutural com bloco de concreto, (ii) estrutura de concreto com vedação em bloco de concreto, (iii) estrutura de concreto com vedação em bloco cerâmico, e (iv) parede de concreto moldada in loco. Foram identificados, também, três tipos diferentes de telhado: (i) cobertura com telha cerâmica, (ii) cobertura com telha de fibrocimento, e (iii) cobertura com telha de concreto (MCidades, 2015). Essas categorias e materiais foram considerados no momento da escolha das medidas a serem incorporadas e simuladas em cada conjunto de medidas sustentáveis, conforme apresentado no Quadro 4.1.

## Descrição das medidas de sustentabilidade simuladas

As medidas escolhidas são apresentadas em três categorias: (i) consumo de água, (ii) consumo de energia elétrica, e (iii) arquitetura passiva. Um resumo das medidas adotadas foi apresentado na Figura 3.1. O Quadro A1.1 detalha as medidas, apresentando a descrição das medidas de sustentabilidade simuladas, bem como os parâmetros utilizados em cada simulação.

Para seleção das 13 medidas de sustentabilidade, foi realizado um processo de levantamento de informações em quatro partes:

1. Uma revisão bibliográfica, levantando as principais fontes e estudos recentes sobre edificações eficientes e habitação de interesse social sustentável, no Brasil (ICS 2017; GIZ, 2015; MITSIDI, 2015).
2. Avaliação dos principais programas, ferramentas e sistemas de certificação de sustentabilidade que se aplicam à HIS no Brasil, e dos critérios considerados nesses programas. Os programas analisados são PBE Edifica, EDGE, Programa AQUA, Referencial GBC Casa e Selo Casa Azul (CAIXA, 2010; CBCS, 2014; IFC, 2017).
3. Consideração da experiência prática dos autores nas áreas de projeto, planejamento, simulação, acompanhamento de obras, comissionamento e avaliação pós-ocupação de residências unifamiliares e multifamiliares no Brasil, incluindo habitação privada e projetos de HIS dentro e fora do PMCMV.
4. Levantamentos do estoque de HIS construído no Brasil e entrevistas não estruturadas com representantes de empresas do setor imobiliário, organizações que representam o setor e atores do setor público que trabalham na área de HIS.

Esses levantamentos foram utilizados para definir a lista de medidas a ser considerada. Os critérios para inclusão na lista de medidas a ser simulada são:

- a medida deve estar disponível no mercado e, assim, viável para adoção em larga escala;
- a medida pode ser aplicada nas principais tipologias de HIS;
- a medida não pode gerar interferências significativas nas modalidades de operação e manutenção das residências;
- a medida tem se demonstrado viável em aplicação prática;
- a medida pode trazer benefícios de sustentabilidade em termos de consumo de energia, uso de água ou conforto dentro da residência.

O alto nível de padronização do setor de construção de HIS, junto à baixa complexidade dos sistemas prediais adotados nessas edificações, torna possível a elaboração de uma lista geral de medidas para representar as principais oportunidades para aumento dos níveis de sustentabilidade em HIS no país em larga escala. Essas medidas são descritas no Quadro A1.1.

As especificações detalhadas das medidas foram desenvolvidas com base nas quatro fontes citadas acima. Para tanto, foram adotados, sobretudo, materiais e sistemas construtivos disponíveis no mercado brasileiro de construção civil, seguindo as melhores práticas de projeto de sistemas prediais.

É claro que essa não é uma lista exaustiva de medidas e que, nos próximos anos, esforços importantes de pesquisa e de desenvolvimento devem focar na concepção de novas e melhores soluções (por exemplo, bombas de calor para aquecimento de água). Porém, dentro dos orçamentos tipicamente disponíveis de HIS, essas medidas representam as principais oportunidades para melhoria de sustentabilidade na tipologia.

Quadro A1.1 | **Descrição das medidas de sustentabilidade simuladas**

CATEGORIA	MEDIDA DE SUSTENTABILIDADE	DESCRIÇÃO
<b>Consumo de água</b>	Vaso sanitário com caixa acoplada e fluxo duplo	Reduz o consumo de água por descarga de 12 litros para 6 litros (acionamento máximo) e 3 litros (acionamento mínimo).
	Arejador de torneiras	Mantém a sensação de fluxo de água normal, porém com menor consumo. Os arejadores serão instalados em três torneiras na habitação unifamiliar (cozinha, banheiro e tanque) e duas no multifamiliar (cozinha e banheiro).
	Captação de água de chuva	Instalação de cisterna de 500 litros nas edificações unifamiliares e duas de 1000 litros nas edificações multifamiliares por edificação.
	Medidor individualizado	Instalação na edificação multifamiliar <sup>1</sup> .
<b>Redução de consumo de energia elétrica</b>	Sistema de aquecimento solar	Instalação na edificação multifamiliar, com economia variável de acordo com a Fração Solar (FS) do sistema. Para a edificação unifamiliar, a instalação já é obrigatória.
	LED nas áreas privadas	Substituição das lâmpadas fluorescentes de 23 W por lâmpadas LED com potência de 12 W (modelos comercialmente disponíveis, com a mesma quantidade de lumens). O uso das lâmpadas incandescentes foi descartado, pois a sua comercialização está proibida.
	LED e sensor de presença nas escadas dos multifamiliares	Substituição das lâmpadas fluorescentes de 23 W das escadas e dos halls por lâmpadas de LED de 12 W. Inclusão de sensor de presença para acionamento temporizado de 2 minutos.
	Geração distribuída fotovoltaica	Instalação de painéis fotovoltaicos. Potência total de 1,0 kWp para a edificação unifamiliar e de 1,0 kWp para cada apartamento da edificação multifamiliar (20 kWp no total por edifício). Potências estimadas a partir do consumo mensal médio das famílias.
<b>Arquitetura passiva</b>	Orientação	Considerada a melhor orientação para cada região de acordo com Eletrobras (2009) para a edificação unifamiliar. Para a edificação multifamiliar, a análise foi desprezada, uma vez que o formato "H" do edifício apresentaria, na média, os mesmos resultados.
	Tamanho e abertura dos caixilhos	Substituição dos caixilhos atuais (1,44 m <sup>2</sup> nos quartos e 2,0 m <sup>2</sup> na sala) com abertura de 45% por caixilhos maiores (1,72 m <sup>2</sup> nos quartos e 2,0 m <sup>2</sup> na sala) com abertura de 100%.
	Cor da tinta das paredes externas	Utilização de cores com absorvância solar indicada por região (cores claras para regiões quentes e escuras para regiões frias).
	Materiais para vedações externas	Substituição da vedação em concreto moldado in loco com 10 cm de espessura por alvenaria de bloco cerâmico (19 cm externo e 14 cm interno) e por alvenaria de bloco de concreto (19 cm externo e 14 cm interno).
	Materiais para cobertura	Substituição da telha de fibrocimento com laje de concreto por telha cerâmica com forro de gesso na edificação unifamiliar. O uso da laje é essencial na edificação multifamiliar e a substituição da telha tem baixo impacto.

Fonte: elaborado pelos autores.

Nota: 1. No período em que foi realizada a simulação, o medidor individualizado era obrigatório somente para as unidades unifamiliares, portanto foi inserido como uma medida de sustentabilidade para habitações multifamiliares. Atualmente esse item já é considerado uma exigência para ambos os tipos de HIS.

Neste relatório, avaliou-se o desempenho operacional do setor residencial brasileiro de HIS, considerando o consumo de água e de energia. O consumo médio per capita de água em 2014 no Brasil foi de 162 litros/hab.dia, valor que representa a média diária, por indivíduo, dos volumes utilizados para satisfazer os consumos doméstico, comercial, público e industrial (BRASIL, 2015). No cenário nacional de consumo de água, a Região Sudeste é a que mais se destaca com elevada demanda: 187,9 l/hab.dia, 15,9% de consumo per capita acima da média nacional (Tabela A1.1).

**Tabela A1.1 | Valores do consumo médio per capita de água**

REGIÃO	CONSUMO PER CAPITA EM 2014 (L/HAB.DIA)
Norte	154,2
Nordeste	118,9
Centro-Oeste	158,8
Sudeste	187,9
Sul	153,6
Total Brasil	162,0

Fonte: BRASIL, 2015.

Em relação à energia, o consumo no setor residencial correspondeu a 9,6% de toda a energia gerada e a 25,1% da energia elétrica do país em 2015. As principais fontes de energia utilizadas em habitações são energia elétrica (45,2%), Gás Liquefeito de Petróleo (26,2%) e lenha (25,4%) (EPE, 2016). As variações climáticas e o perfil de renda são fatores que impactam diretamente o consumo energético de uma região: quanto maior a variação térmica e o nível de renda da população, mais energia se gasta para amenizar condições de desconforto ambiental. As regiões Sul e Sudeste são as que apresentam maiores índices de consumo, e as regiões Centro-Oeste e Norte apresentaram a maior taxa de crescimento de consumo nos últimos três anos, comparado com 2014, evidenciando, assim, o vetor de desenvolvimento socioeconômico do país (Tabela A1.2).

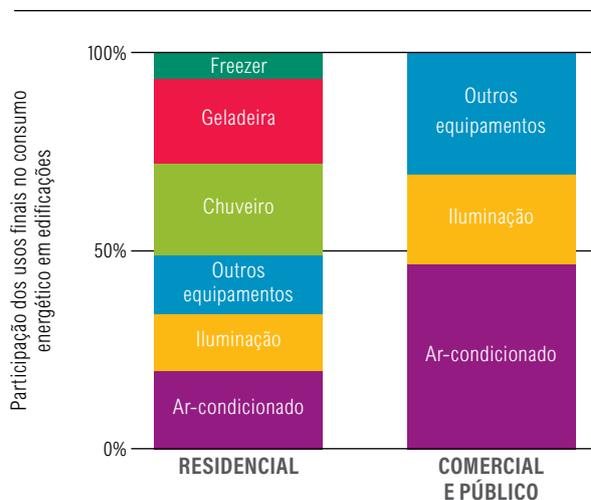
**Tabela A1.2 | Consumo de energia elétrica per capita**

REGIÃO	MÉDIA DE CONSUMO DOS ÚLTIMOS 3 ANOS (KWH/HAB)	CONSUMO PER CAPITA EM 2014 (KWH/HAB)	VARIÇÃO MÉDIA/2014
Norte	1.721,0	1.865,0	+8,4%
Nordeste	1.362,0	1.432,0	+5,1%
Centro-Oeste	2.053,0	2.243,0	+9,2%
Sudeste	2.797,3	2.846,0	+1,7%
Sul	2.700,0	2.912,0	+7,8%
Total Brasil	2.238,6	2.335,0	+4,3%

Fonte: EPE, 2015.

A Figura A1.3 apresenta os usos energéticos finais em residências e em edificações comerciais.

**Figura A1.3 | Consumos energéticos em edificações por uso final**



Fonte: CBCS, 2014 com dados de Eletrobras, 2007.

O consumo de energia elétrica em HIS também é um tema ainda pouco estudado na literatura brasileira. Em um estudo de emissões de GEE nas HIS, realizado pela Mitsidi para o Ministério das Cidades, o consumo de energia elétrica foi estimado por simulação em 138,65 kWh/mês, valor abaixo da média de consumo divulgada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para o setor residencial – 165 kWh/mês – (EPE, 2014) e abaixo do valor disponível no Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo (SINPHA, 1999), de 159 kWh/mês. Em outro estudo realizado pela Mitsidi, também para o Ministério das Cidades, o consumo de energia elétrica pelos moradores de um conjunto do PMCMV foi levantado, mostrando que, em apartamentos com ocupação de até quatro pessoas, o consumo de energia elétrica ficou entre 100 e 150 kWh/mês, já nos apartamentos com maior ocupação, o consumo variou entre 150 a 250 kWh/mês (GIZ, 2015). Esses valores foram utilizados para validar os dados de saída das simulações utilizadas para calcular consumo de energia nas residências.

## Investimento, custo operacional e tarifas

O investimento inicial para a implantação de sistemas de abastecimento de água e energia elétrica foi avaliado com base em preços do mercado das Tabelas de Composições de Preços para Orçamento (TCPO), principal ferramenta para composição de orçamentos. Foram consultados o Banco de Dados para Construção (PINI)<sup>29</sup> e o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI<sup>30</sup>), no período de outubro e novembro de 2016.

Os custos operacionais foram estimados com base nas simulações energéticas para o consumo de energia elétrica e em estimativas de mercado para o consumo de água. Para as tarifas de água e de energia elétrica, foram adotados os valores médios, calculados a partir das tarifas das três principais concessionárias de água e de energia elétrica que atuam em cada região, classificadas pelo número total de clientes atendidos.

As tarifas adotadas consideram os impostos em cada concessionária no dia 13/09/2016 e estão disponíveis para consulta no Apêndice C. Especificamente para a energia elétrica, foi considerada a tarifa social com subsídios (B1 – baixa renda), equivalente ao consumo mensal de 100 a 220 kWh, conforme a Lei 12.212, de 2010, que dispõe sobre a tarifa social de energia elétrica. Para a água, foi considerada a tarifa social fixa para cobrança de até 10 m<sup>3</sup>/mês e a tarifa comum por m<sup>3</sup> para consumos de 11 a 20 m<sup>3</sup> (procedimento adotado em diversas concessionárias no país).

## Indicadores financeiros e ambientais

Como indicador financeiro, foi adotado o tempo de retorno simples (*payback*), apenas para mostrar que a maioria das medidas de sustentabilidade possui retorno financeiro e que, portanto, elas não se justificam apenas pelos benefícios ambientais que promovem. O tempo de retorno foi calculado dividindo a economia nos custos operacionais mensais (água e energia elétrica) pelo investimento inicial. O resultado é apresentado em meses ou anos.

Apesar da simplicidade do indicador financeiro adotado, outros indicadores mais complexos e robustos não serão suficientes para determinar o benefício econômico, uma vez que o agente que realizará o investimento inicial não é o mesmo que se beneficiará diretamente da redução nos custos operacionais.

Dessa forma, o estudo concentra-se em indicar o percentual extra necessário para execução e para entrega das medidas de sustentabilidade, com o argumento de que os benefícios advindos da economia aos moradores retornarão indiretamente ao Estado, seja pela redução da taxa de inadimplência nas prestações para aquisição da moradia, seja pela redução do montante gasto com a provisão das tarifas sociais (subsidiadas pelo governo através de fundos nacionais). Outras possíveis externalidades positivas são a redução dos custos de geração de energia e água, a redução dos custos de saúde derivados da diminuição de emissões de GEE, e o aumento da qualidade de vida da população de baixa renda.

A redução do consumo de água foi calculada a partir da redução por UH multiplicada pelo número de unidades construídas em

média em um conjunto do PMCMV até dezembro de 2014: 384 UH (MCidades, 2015). Para a redução do consumo de energia elétrica, foi realizada a conversão em toneladas mitigadas de GEE, estimadas a partir da multiplicação dos kWh economizados por ano pelo fator de emissões da margem de operação da matriz de energia elétrica brasileira, divulgado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (0,5317 tCO<sub>2</sub>/MWh em 2015<sup>32</sup>), multiplicado também pelo número de HIS médio por conjunto (384UH).

## Metodologia de simulação

Para a análise de custos e benefícios, foi desenvolvido um modelo computacional das edificações uni e multifamiliares. O objetivo do modelo é avaliar as mesmas condições de contorno nas diferentes regiões brasileiras, sem a intervenção de variáveis que não estão diretamente relacionadas às medidas de sustentabilidade.

Um modelo de linha de base foi definido a partir da geometria das tipologias construtivas descritas anteriormente no item *Tipologias construtivas convencionais*, com perfis de uso e potências internas para os equipamentos, definidas de acordo com a revisão de literatura e com os parâmetros indicados para simulação pela metodologia do PBE Edifica.

Todas as variáveis e os valores adotados para a simulação estão disponíveis para consulta no Apêndice D. O modelo foi desenvolvido no software *DesignBuilder* (versão 4.3), plataforma gráfica para o *EnergyPlus*<sup>33</sup> (versão 8.3). O modelo, chamado de termoenergético, considera todas as interações de fatores que atuam no consumo de energia de uma edificação, mostradas de forma resumida no Quadro A1.2.

Para a elaboração dos cálculos em uma mesma base comparativa, as medidas de arquitetura passiva foram analisadas em relação a reduções do consumo de um sistema de climatização artificial. O sistema considerado foi: (i) aquecedor de 1500 W no quarto principal<sup>33</sup>, operando durante as noites, *setpoint* de 18°C e acionado apenas quando a temperatura interna atinge níveis de desconforto por frio, e (ii) ar-condicionado *Split* de 12.000 BTUs no quarto principal, operando durante as noites, *setpoint* de 25°C e acionado apenas quando a temperatura interna atinge níveis de desconforto por calor. O consumo de energia elétrica para aquecimento e resfriamento foi somado e apresentado em uma única célula na tabela.

### Quadro A1.2 | Variáveis consideradas na simulação energética computacional

VARIÁVEL	ASPECTOS CONSIDERADOS	FONTE
Ambiente externo	Radiação solar, umidade, precipitação, força e direção dos ventos, quantidade de nuvens, entre outros.	Arquivo climático com médias anuais.
Ambiente interno	Quantidade de pessoas, atividades desenvolvidas, quantidade de roupas, uso e potência dos equipamentos internos, hábitos de consumo, entre outros.	Avaliação pós-consumo, PBE Edifica, estudos anteriores.
Características construtivas	Forma da edificação, orientação, materiais, função de cada ambiente, hábitos de uso (abertura de janelas e portas), entre outros.	Tipologias construtivas típicas adotadas no país para HIS.

Fonte: elaborado pelos autores.

## Modelo de linha de base

O modelo de linha de base foi desenvolvido a partir das tipologias construtivas mais comuns no país. O nome linha de base é comumente adotado para esse tipo de modelo e reflete o consumo padrão, caso nenhuma medida de sustentabilidade seja adotada. Os materiais e as especificações adotados para este estudo foram levantados com algumas das principais construtoras do PMCMV: Bairro Novo, Cury, De Marco, Direcional, Emccamp, MRV, Tecverde e Tenda.

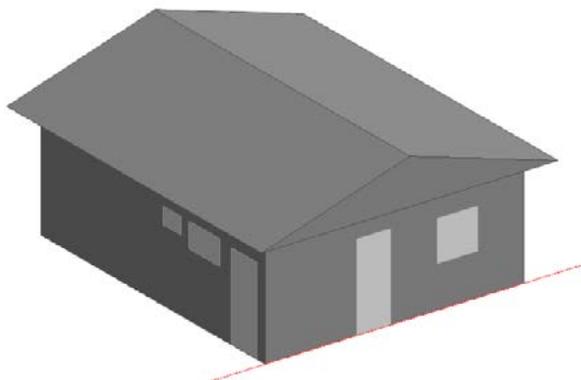
O modelo de linha de base conta com os seguintes equipamentos: chuveiro comum elétrico, hidrômetro coletivo, lâmpadas fluorescentes, janelas com dimensões de 1,20m x 1,20m nos quartos e 1,0m x 2,0m na sala. Já os materiais adotados são: parede de concreto armado moldada<sup>34</sup> no local e cobertura de laje e telha de fibrocimento. No Apêndice D, está disponível uma tabela completa com todas as premissas adotadas no modelo de simulação.

O consumo total de energia do modelo foi calibrado a partir dos consumos mensais em HIS, o que significa que refletem o consumo típico de energia elétrica e água de uma família com renda mensal de até R\$ 1.800,00.

### HIS Unifamiliar

A Figura A1.4 apresenta o modelo termoenergético 3D elaborado para o estudo, em que as cores cinza representam as superfícies opacas (paredes e cobertura) e as cores cinza claras representam as aberturas (portas e janelas).

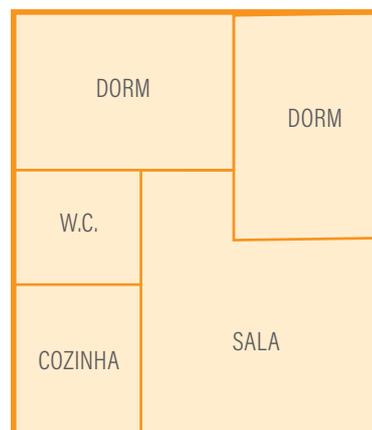
Figura A1.4 | Modelo termoenergético representado em 3D para a edificação unifamiliar (vista geral)



Fonte: elaborado pelos autores.

Os ambientes internos foram divididos de acordo com o item *Tipologias construtivas convencionais* e são apresentados na Figura A1.5.

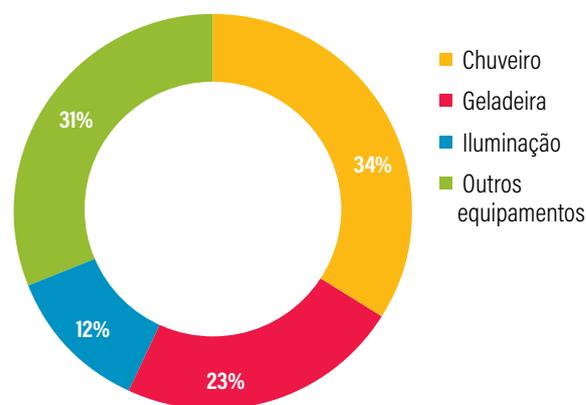
Figura A1.5 | Divisão dos ambientes internos na edificação unifamiliar (vista superior)



Fonte: elaborado pelos autores.

O consumo de energia elétrica simulado para a edificação unifamiliar foi de 1.590,3 kWh/ano ou 132,5 kWh/mês. Esse consumo equivale a R\$ 58,46 na Região Sudeste, onde a média da tarifa elétrica é mais cara, e a R\$ 47,15 na Região Nordeste, onde a média é menor. A divisão do consumo simulado por usos finais é apresentada na Figura A1.6.

Figura A1.6 | Consumo de energia elétrica mensal por usos finais - edificação unifamiliar

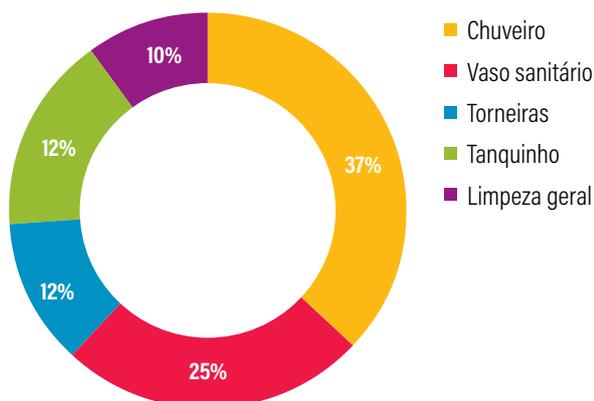


Fonte: elaborado pelos autores.

O consumo equivale a uma residência ocupada por quatro pessoas, sendo que, na simulação, foi considerada uma geladeira de uma porta com congelador interno e capacidade de 280 litros, um chuveiro elétrico de 4.500 W na posição verão ao longo do ano<sup>35</sup>, iluminação fluorescente compacta e o consumo de outros equipamentos elétricos, como televisão, ferro de passar, carregadores de celular e tanquinho.

Em relação ao consumo de água mensal, utilizou-se a média por pessoa de 120 litros/dia para residências populares (Bohn, 2008), o que equivale a 14,4 m<sup>3</sup>/mês para a edificação unifamiliar em estudo. Esse consumo representa R\$ 60,12 na região com a média da tarifa mais cara (Centro-Oeste) e R\$ 32,75 na região com a média da tarifa mais barata (Sul). Os usos finais para esse consumo são apresentados na Figura A1.7

Figura A1.7 | Consumo de água mensal por usos finais - edificação unifamiliar



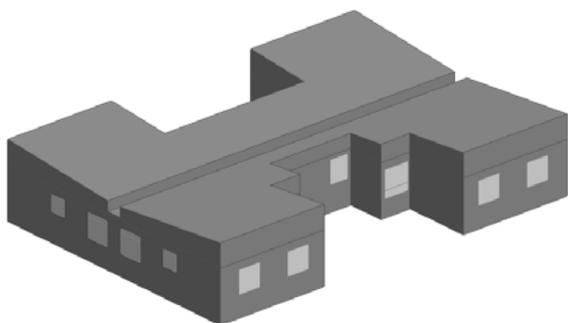
Fonte: elaborado pelos autores.

Para a estimativa do uso de água, manteve-se a mesma família de quatro pessoas, considerando-se como equipamentos: uma descarga convencional de 12 litros, chuveiro elétrico com vazão de 4,5 litros por minuto, torneiras comuns sem arejador e tanquinho com consumo de 170 litros por lavagem.

### HIS Multifamiliar

O modelo da edificação multifamiliar é apresentado na Figura A1.8. Destaca-se que apenas o último andar foi simulado, uma vez que representa a zona mais crítica da edificação, já que possui uma área maior exposta ao ambiente externo e, portanto, abriga os moradores mais prejudicados pelos altos níveis de desconforto térmico do projeto. A laje de piso do andar foi configurada como adiabática, ou seja, não troca calor com o ambiente externo. Esse fator foi definido para descartar erros provenientes da ausência dos andares inferiores no desenho do modelo a ser simulado.

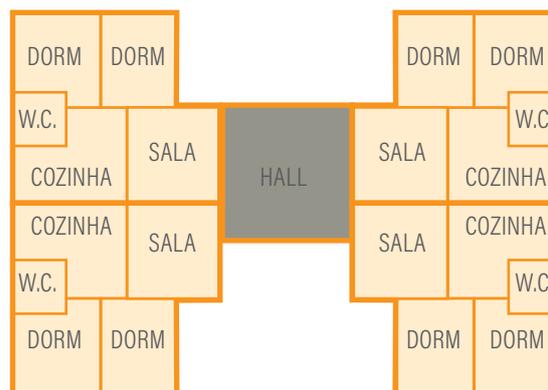
Figura A1.8 | Modelo termoenergético 3D para a edificação multifamiliar (vista geral, piso da cobertura)



Fonte: elaborado pelos autores.

Os ambientes internos foram divididos de acordo com a planta apresentada no item *Tipologias construtivas convencionais* e são apresentados na Figura A1.9 para os quatro apartamentos existentes por andar.

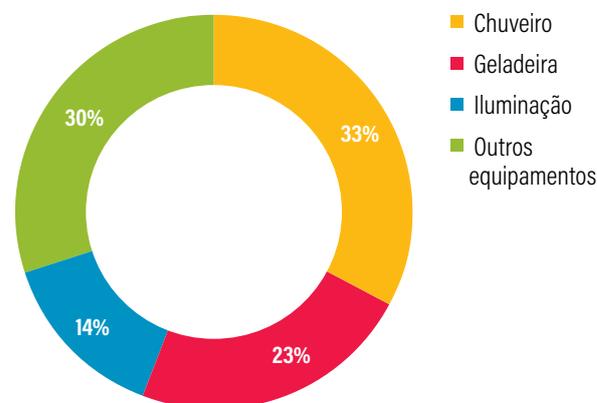
Figura A1.9 | Divisão dos ambientes internos na edificação multifamiliar (vista superior)



Fonte: elaborado pelos autores.

O consumo de energia elétrica simulado para a edificação multifamiliar foi de 1.611,1 kWh/ano ou 134,2 kWh/mês. Esse consumo equivale a R\$ 59,22 na Região Sudeste, onde a média da tarifa elétrica é mais cara, e a R\$ 47,76 na Região Nordeste, onde a média é menor. A divisão do consumo por usos finais é apresentada na Figura A1.10.

Figura A1.10 | Consumo de energia elétrica mensal por usos finais - edificação multifamiliar



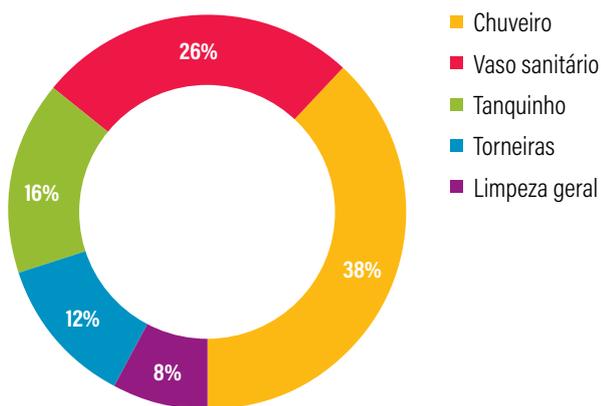
Fonte: elaborado pelos autores.

O consumo equivale a um apartamento ocupado por quatro pessoas, sendo que, na simulação do edifício multifamiliar, foram considerados os mesmos equipamentos da edificação unifamiliar: uma geladeira de uma porta com congelador interno e capacidade de 280 litros, chuveiro elétrico de 4.500 W na posição verão ao longo do ano<sup>36</sup>, iluminação fluorescente compacta e o consumo de outros equipamentos elétricos, como televisão, ferro de passar, carregadores de celular e tanquinho (Anexo 4).

Nota-se que o percentual da iluminação é dois pontos percentuais maior que o da edificação unifamiliar. Isso ocorre, pois o formato da cozinha do apartamento multifamiliar exige a instalação de duas lâmpadas para garantir um nível de iluminação adequado, enquanto na casa unifamiliar apenas uma lâmpada é suficiente.

Em relação ao consumo de água mensal, utilizou-se a média por pessoa de 120 litros/dia (Bohn, 2008), porém com um pequeno desconto no consumo de água para limpeza geral, uma vez que as áreas externas no edifício multifamiliar são menores por UH, em relação à edificação unifamiliar. Na média, o consumo equivale a 14,1 m<sup>3</sup>, o que representa R\$ 58,58 na região com a tarifa mais cara (Centro-Oeste) e R\$ 31,65 na região com a tarifa mais barata (Sul). Os usos finais para esse consumo são apresentados na Figura A1.11.

Figura A1.11 | **Consumo de água mensal por usos finais - edificação multifamiliar**



Fonte: elaborado pelos autores.

Para a estimativa do uso de água, manteve-se a mesma família de quatro pessoas e foram considerados os seguintes equipamentos: uma descarga convencional de 12 litros, um chuveiro elétrico com vazão de 4,5 litros por minuto, torneiras comuns sem arejador e um tanquinho com consumo de 170 litros por lavagem.

## Geração fotovoltaica

A geração fotovoltaica foi avaliada de forma separada das demais medidas de sustentabilidade uma vez que, como os resultados pontuais das simulações demonstraram, seu impacto e seu custo são bem maiores que as outras medidas somadas.

A simulação realizada para as edificações uni e multifamiliares de cada cidade considerou o mesmo sistema e a mesma potência instalada, sendo alterados apenas os dados climáticos das diferentes regiões, de acordo com as premissas anteriores adotadas para o sistema simulado na cidade de Londrina. Os resultados são apresentados na Tabela A1.3.

Os resultados mostram que o maior potencial de economia para os moradores é através do uso da tecnologia fotovoltaica; inclusive no Centro-Oeste, onde a geração de energia elétrica é maior devido às características climáticas, o sistema proposto supera o consumo estimado dos moradores.

Em termos de tempo de retorno do investimento, o *payback* simples calculado mostra que são necessários pelo menos dez anos para o valor adicionado à construção ser recuperado. Além disso, o custo do sistema, orçado em R\$ 7.850,00 por UH, supera em mais de duas vezes o investimento necessário para implantação de todas as outras medidas de sustentabilidade propostas no estudo. Para o cálculo do *payback* simples, foram ignorados os custos de manutenção ao longo dos anos, que, apesar de menores em relação ao investimento adicional, prejudicariam ainda mais o tempo de retorno.

Tabela A1.3 | **Resultados para a geração fotovoltaica nas cinco regiões**

GERAÇÃO FOTOVOLTAICA					
TIPO UH	REGIÃO	GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA [KWP/ANO/UH]	GERAÇÃO [%]	ECONOMIA [R\$/ANO]	PAYBACK SIMPLES [ANOS]
<b>Unifamiliar</b>	Sul	1.496,0	79,3%	629,17	12,5
	Sudeste	1.637,4	80,3%	580,27	13,5
	Centro-Oeste	1.752,0	114,7%	709,51	11,1
	Nordeste	1.622,0	74,2%	577,22	13,6
	Norte	1.446,0	60,9%	627,10	12,5
<b>Multifamiliar</b>	Sul	1.870,0	77,9%	786,46	11,1
	Sudeste	1.643,8	77,3%	725,34	12,1
	Centro-Oeste	2.190,0	107,0%	886,88	9,9
	Nordeste	2.027,5	75,1%	721,52	12,1
	Norte	1.807,5	64,6%	783,87	11,2

Fonte: elaborado pelos autores.

## APÊNDICE B: RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES POR REGIÕES

Tabela A2.1 | Resultados para a simulação do consumo de água nas cinco regiões

ÁGUA				
TIPO UH	REGIÃO	REDUÇÃO ÁGUA [LITROS/ANO]	REDUÇÃO CONSUMO ANUAL [%]	INVESTIMENTO [R\$/UH]
<b>Unifamiliar</b>	Sul	55.771	32%	R\$ 255,55
	Sudeste			R\$ 266,91
	Centro-Oeste			R\$ 336,07
	Nordeste			R\$ 254,48
	Norte			R\$ 271,05
<b>Multifamiliar</b>	Sul	102.467	59%	R\$ 264,37
	Sudeste			R\$ 247,47
	Centro-Oeste			R\$ 277,48
	Nordeste			R\$ 213,52
	Norte			R\$ 266,96

Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela A2.2 | Resultados para a simulação do consumo energia elétrica nas cinco regiões

ENERGIA ELÉTRICA					
TIPO UH	REGIÃO	REDUÇÃO ENERGIA ELÉTRICA [KWH/ANO]	REDUÇÃO EMISSÕES GEE [KG/ANO]	REDUÇÃO CONSUMO ANUAL [%]	INVESTIMENTO [R\$/UH]
<b>Unifamiliar</b>	Sul	181,4	112,5	8,8%	R\$ 395,87
	Sudeste	144,6	89,6	8,1%	R\$ 1.225,32
	Centro-Oeste	176,9	109,7	10,4%	R\$ 1.246,26
	Nordeste	762,1	472,5	25,8%	-R\$ 3.174,83
	Norte	863,9	535,6	26,7%	-R\$ 1.602,58
<b>Multifamiliar</b>	Sul	571,9	354,6	21,6%	R\$ 3.159,98
	Sudeste	529,1	328,1	22,1%	R\$ 3.128,43
	Centro-Oeste	514,3	318,9	22,2%	R\$ 3.221,54
	Nordeste	503,7	312,3	18,9%	R\$ 238,05
	Norte	708,8	439,4	24,7%	R\$ 169,46

Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela A2.3 | Investimento adicional por UH para medidas de água e energia elétrica nas cinco regiões

INVESTIMENTO		
TIPO UH	REGIÃO	INVESTIMENTO [R\$/UH]
<b>Unifamiliar</b>	Sul	R\$ 651,42
	Sudeste	R\$ 1.561,39
	Centro-Oeste	R\$ 1.517,31
	Nordeste	-R\$ 2.927,36 <sup>1</sup>
	Norte	-R\$ 1.389,06 <sup>1</sup>
<b>Multifamiliar</b>	Sul	R\$ 3.426,89
	Sudeste	R\$ 3.382,91
	Centro-Oeste	R\$ 3.485,91
	Nordeste	R\$ 515,53
	Norte	R\$ 436,42

Fonte: elaborado pelos autores.

Nota: 1. Por conta do custo menor da solução para cobertura nessas regiões, em relação à linha de base. Ignorando essa troca, os valores seriam R\$ 483,50 e R\$ 315,30.

Tabela A2.4 | Resultados de economia na despesa mensal das famílias para cada região

ECONOMIA			
TIPO UH	REGIÃO	REDUÇÃO COM ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA POR MÊS [R\$/UH]	ECONOMIA EM RELAÇÃO A UMA RENDA DE R\$ 1.800,00 [%]
<b>Unifamiliar</b>	Sul	R\$ 23,33	1,3%
	Sudeste	R\$ 44,64	2,5%
	Centro-Oeste	R\$ 29,94	1,7%
	Nordeste	R\$ 60,07	3,3%
	Norte	R\$ 45,08	2,5%
<b>Multifamiliar</b>	Sul	R\$ 51,24	2,8%
	Sudeste	R\$ 91,70	5,1%
	Centro-Oeste	R\$ 61,39	3,4%
	Nordeste	R\$ 83,77	4,7%
	Norte	R\$ 51,08	2,8%

Fonte: elaborado pelos autores.

## APÊNDICE C: TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA E ÁGUA

Para as análises de custos e benefícios, as tarifas médias de água e de energia elétrica foram calculadas para as cinco regiões do país, considerando para isso as três principais concessionárias de água e de energia elétrica que atuam em

cada região, a partir do número total de clientes atendidos. As tarifas foram levantadas com impostos em cada concessionária no dia 13/09/2016 e são apresentadas nas tabelas abaixo.

Tabela A3.1 | Tarifas médias de energia elétrica por região do país

ENERGIA ELÉTRICA				
TARIFAS POR REGIÃO PARA AS PRINCIPAIS CONCESSIONÁRIAS POR NÚMERO DE INSTALAÇÕES	CONCESSIONÁRIA	B1 - RESIDENCIAL	B1 - RESIDENCIAL BAIXA RENDA	MÉDIA POR KWH (100 A 220 KWH)
<b>Sul</b>	PR	Copel	R\$ 0,4923	R\$ 0,4378
	SC	Celesc	R\$ 0,4444	R\$ 0,3946
	RS	CEEE	R\$ 0,4832	R\$ 0,4293
<b>Sudeste</b>	SP	Eletropaulo	R\$ 0,4361	R\$ 0,3869
	RJ	Light	R\$ 0,5435	R\$ 0,4838
	MG	Cemig	R\$ 0,5097	R\$ 0,4531
<b>Centro-Oeste</b>	DF	CEB	R\$ 0,4368	R\$ 0,3873
	GO	CELG	R\$ 0,4666	R\$ 0,4147
	MT	EMT	R\$ 0,4652	R\$ 0,4130
<b>Nordeste</b>	BA	Coelba	R\$ 0,3884	R\$ 0,3448
	PE	Celpe	R\$ 0,3952	R\$ 0,3511
	CE	Coelce	R\$ 0,4180	R\$ 0,3717
<b>Norte</b>	PA	Celpa	R\$ 0,5254	R\$ 0,4677
	AM	AmE	R\$ 0,4453	R\$ 0,3958
	RO	Ceron	R\$ 0,4924	R\$ 0,4375

Fonte: elaborado pelos autores, com base nos valores vigentes em cada concessionária em 13/09/2016.

Tabela A3.2 | Tarifas médias de água e esgoto por região do país

ÁGUA								
TARIFAS POR REGIÃO PARA AS PRINCIPAIS CONCESSIONÁRIAS POR NÚMERO DE INSTALAÇÕES	CONCESSIONÁRIA	ÁGUA (VALOR PARA 10 M <sup>3</sup> )	ESGOTO (VALOR PARA 10 M <sup>3</sup> )	ÁGUA (ADICIONAL POR M <sup>3</sup> )	ESGOTO (ADICIONAL POR M <sup>3</sup> )	MÉDIA (CONSUMO DE 10 M <sup>3</sup> )	MÉDIA POR M <sup>3</sup> (11 A 20 M <sup>3</sup> )	
<b>Sul</b>	PR	Sanepar	R\$ 8,86	R\$ 4,43	R\$ 0,89	R\$ 0,44	R\$ 16,68	R\$ 3,65
	SC	Casan	R\$ 7,46	R\$ 7,46	R\$ 2,09	R\$ 2,09		
	RS	Dmae	R\$ 12,12	R\$ 9,70	R\$ 3,03	R\$ 2,42		
<b>Sudeste</b>	SP	Sabesp	R\$ 7,59	R\$ 7,59	R\$ 1,31	R\$ 1,31	R\$ 22,45	R\$ 8,46
	RJ	Cedae	R\$ 13,41	R\$ 13,41	R\$ 6,39	R\$ 6,39		
	MG	Copasa	R\$ 13,35	R\$ 11,99	R\$ 5,26	R\$ 4,73		
<b>Centro-Oeste</b>	DF	Caesb	R\$ 21,40	R\$ 21,40	R\$ 4,01	R\$ 4,01	R\$ 37,43	R\$ 5,16
	GO	Saneago	R\$ 19,10	R\$ 19,10	R\$ 2,16	R\$ 2,16		
	MT	Águas Guariroba	R\$ 18,40	R\$ 12,90	R\$ 1,84	R\$ 1,29		
<b>Nordeste</b>	BA	Embasa	R\$ 11,30	R\$ 9,04	R\$ 4,98	R\$ 3,98	R\$ 18,56	R\$ 8,06
	PE	Compesa	R\$ 7,97	R\$ 7,97	R\$ 4,27	R\$ 4,27		
	CE	Cagece	R\$ 9,70	R\$ 9,70	R\$ 3,34	R\$ 3,34		
<b>Norte</b>	PA	Cosanpa	R\$ 16,80	R\$ 10,10	R\$ 2,40	R\$ 1,44	R\$ 21,21	R\$ 2,98
	AM	Manaus Ambiental	R\$ 7,64	R\$ 7,64	R\$ 1,48	R\$ 1,48		
	RO	Caerd	R\$ 15,00	R\$ 6,45	R\$ 1,50	R\$ 0,65		

Fonte: elaborado pelos autores, com base nos valores vigentes em cada concessionária em 13/09/2016.

## APÊNDICE D: PREMISSAS ADOTADAS NO MODELO DE SIMULAÇÃO DE LINHA DE BASE

Tabela A4.1 | **Premissas adotadas no modelo de simulação de linha de base**

PREMISSA	UNIFAMILIAR	MULTIFAMILIAR
<b>Ocupação</b>	sala: 04 pessoas; cozinha: 02 pessoas; quarto 1: 02 pessoas; quarto 2: 02 pessoas; banheiro: 01 pessoa	
<b>Iluminação privativa</b>	Uma lâmpada por ambiente	Uma lâmpada por ambiente; cozinha com 03 lâmpadas
<b>Iluminação áreas comuns</b>	-	02 lâmpadas por hall/andar
<b>Equipamentos elétricos</b>	sala: 1,5W/m <sup>2</sup> ; cozinha: 45W/m <sup>2</sup> ; quartos: 3W/m <sup>2</sup> ; banheiro: 830W/m <sup>2</sup>	
<b>Ventilação natural</b>	Possibilidade de abertura entre 07 - 22 horas Portas fechadas	
<b>Resistência à infiltração</b>	Qualidade construtiva uito baixa ( <i>crack template</i> do Design Builder).	
<b>Materiais construtivos</b>	Piso: laje maciça de concreto de 9 cm (solo)	Piso: laje maciça de concreto de 9 cm (pavimentos)
	Cobertura: telha fibrocimento sobre laje maciça de concreto de 9 cm ou cerâmica sobre forro	Cobertura: telha fibrocimento ou cerâmica sobre laje maciça de concreto de 9 cm
	Vedações: parede de concreto moldado (10 cm) ou alvenaria de bloco de concreto com acabamento (19 cm) ou alvenaria de bloco de cerâmico com acabamento (19 cm)	Vedações: parede de concreto moldado (10 cm) ou alvenaria de bloco de concreto com acabamento (19 cm) ou alvenaria de bloco de cerâmico com acabamento (19 cm)
<b>Janelas e caixilhos</b>	Vidro comum incolor de 4 mm de espessura. Duas folhas de correr com veneziana. 1,44 m <sup>2</sup> nos quartos e 2,00 m <sup>2</sup> na sala	
<b>Pintura externa</b>	Cor média (absortância 0,50)	
<b>Setpoint AC</b>	24°C equipamento split de 2,2 kW	
<b>Setpoint Aquecedor</b>	18°C equipamento portátil de 1.500 W	

Fonte: elaborado pelos autores.

## REFERÊNCIAS

ANDRÉ, MAÍRA. **A avaliação do conforto térmico pela NBR 15575 - Edificações habitacionais: Desempenho**. Universidade de São Paulo/SP, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220:2003 Desempenho térmico de edificações - Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social**. Rio de Janeiro/RJ, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575:2013 Edificações habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho**. Rio de Janeiro/RJ, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15857:2011 - Válvula de descarga para limpeza de bacias sanitárias - Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro/RJ, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISSO 37120:2017 Desenvolvimento sustentável de comunidades - Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida**. Rio de Janeiro/RJ, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA (AsBEA). **Guia para arquitetos na aplicação da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575**. São Paulo/SP, AsBEA/CAU, 2013.

BOHN, ADOLAR RICARDO. **Instalação predial de água fria**. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2008. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15805/material/APOSTILA-%C3%81GUA%20FRIA.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2017.

BONDUKI, NABIL. **Os pioneiros da habitação social no Brasil - v.1: cem anos de construção de política pública no Brasil**. São Paulo/SP; Ed. UNESP; Ed. SESC São Paulo, 2014.

BRASIL. **Estatuto da Cidade: Lei 10.257/2001, de 10 julho de 2001**. Diário Oficial da União. Brasília/DF, p.1, 11 de julho de 2001a.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília/DF, p.1, 18 out. 2001b.

BRASIL. **Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília/DF, p.5, 20 dez. 2001c.

BRASIL. **Política Nacional de Habitação**. Cadernos MCidades Mobilidade Urbana, n. 4. Ministério das Cidades. Brasília/DF, Brasil, 2004a.

BRASIL. **Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável**. Cadernos MCidades Mobilidade Urbana, n. 6. Ministério das Cidades. Brasília/DF, Brasil, 2004b.

BRASIL. **Características das UHs contratadas até dezembro de 2014**. Ministério das Cidades Brasília, planilha de abril de 2015.

BRASIL. **Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnósticos dos serviços de água e esgotos - 2014**. Brasília: SNSA/MCidades, 2015.

BRASIL. **Morar Carioca**. Portal Oficial do Governo Federal sobre os Jogos Olímpicos e Paraolímpicos de 2016. Rio de Janeiro/RJ, 2016. Disponível em: <http://www.brasil2016.gov.br/pt-br/legado/morar-carioca>. Acesso em: 25 de jun. 2017.

BRASIL. **Portaria 269, de 22 de março de 2017**. Diário Oficial da União. Brasília/DF, 24 de março de 2017, p. 119.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Selo Casa Azul - Boas práticas para habitação mais sustentável**. Caixa Econômica Federal, São Paulo 2010.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Condomínio popular vira microssina solar no sertão baiano**. Outubro/2014. Disponível em: <http://www20.caixa.gov.br/Paginas/Noticias/Noticia/Default.aspx?newsID=1450>. Acesso em: 31 jul. 2017.

COELHO, A. C. e MAYNARD, J. C. B.. **Medição individualizada de água em apartamentos**. Recife: Editora Comunicarte, 1999.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). **Aspectos da construção sustentável no Brasil e promoção de políticas públicas: Subsídios para a promoção da construção civil sustentável**. CBCS/PNUMA/MMA, 2014.

ELETRÓBRAS. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - ano-base 2005**. Rio de Janeiro/RJ, 2007.

\_\_\_\_\_. **Desempenho térmico de habitações de interesse social para seis cidades brasileiras - Baseado no projeto de pesquisa "Avaliação de projetos de habitação popular da Caixa Econômica Federal"**. Natal: Eletrobras/Procel Edifica/Coelba/UFRN, UNIFACS, 2009.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco energético nacional 2016: ano-base 2015**. Rio de Janeiro/RJ, 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/default.aspx>. Acesso em: 19 ago. 2016.

\_\_\_\_\_. **Anuário estatístico de energia elétrica 2015**. Rio de Janeiro/RJ, 2015.

\_\_\_\_\_. **Série Estudos da demanda de energia. Nota Técnica DEA 13/14: demanda de energia 2050. Plano Nacional de Energia 2050**. Rio de Janeiro/RJ, 2014.

FOREIGN & COMMONWEALTH OFFICE (FCO). **Heliopolis case study**. UK, 2015.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP). **Déficit habitacional no Brasil 2009**. Centro de Estatística e Informações (CEI): Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/deficit-habitacional/185-deficit-habitacional-2009/file>. Acesso em: 21 jun. 2017.

\_\_\_\_\_. **Déficit habitacional no Brasil 2013: Resultados preliminares**. Centro de Estatística e Informações (CEI): Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/produtos-e-servicos/2742-deficit-habitacional-no-brasil-3>. Acesso em: 02 ago. 2016.

\_\_\_\_\_. **Déficit habitacional no Brasil 2013-2014.** Centro de Estatística e Informações/CEI: Belo Horizonte/MG, 2016. Disponível em: <<http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/informativos-cei-eventuais/634-deficit-habitacional-06-09-2016/file>>. Acesso em: 02 ago. 2016.

G1 SÃO PAULO. **Como economizar instalando arejador na torneira.** Julho/2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/blog/como-economizar-agua/post/como-economizar-instalando-arejador-na-torneira.html>>. Acesso em: 22 set. 2016.

G1 SÃO PAULO. **Procura por medição individualizada de água cresce 40% em prédios de SP.** Julho/2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/blog/como-economizar-agua/assunto/hidrometro-individual/>>. Acesso em: 22 Set. 2016.

GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ). **Benefícios para aplicação do Selo Casa Azul.** Programa Fontes Renováveis e Eficiência Energética, Rio de Janeiro/RJ. 2013.

\_\_\_\_\_. **Avaliação de custo benefício de itens de sustentabilidade do edifício HAB 2,** Babilônia, Rio de Janeiro. Programa Fontes Renováveis e Eficiência Energética, Rio de Janeiro, 2015.

GRIGOLETTI, G.C.; SATTLER, M.A. **Método de avaliação global de desempenho higrotérmico de habitações de interesse social para Porto Alegre - RS - Brasil.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.10, n.2, p.101-114, 2010.

INSTITUTO CLIMA E SOCIEDADE (ICS). **Edifícios de baixo carbono no Brasil - Aspectos e subsídios para políticas nacionais.** Mitsidi Projetos, São Paulo, Agosto 2017. Disponível em: <[http://mitsidi.com/wp-content/uploads/2017/08/2017-08-10\\_Relat%C3%B3rio\\_NetZero\\_final-1.pdf](http://mitsidi.com/wp-content/uploads/2017/08/2017-08-10_Relat%C3%B3rio_NetZero_final-1.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Transition to sustainable buildings: Strategies and opportunities to 2050.** Paris/França, 2013. Disponível em: <[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Building2013\\_free.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Building2013_free.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2017.

INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION (IFC). **Excellence in design for greater efficiency - EDGE programme for green building.** Disponível em <<http://www.edgebuildings.com>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).** (Dados de 2013). Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 19 ago. 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Genebra, Suíça, 2007. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_full_report.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2017.

KATS, G. **Tornando nosso ambiente construído mais sustentável: custos, benefícios e estratégias.** São Paulo/SP, 2010.

KOSWOSKI, J.S. et al. **Comparação de custos de empreendimentos habitacionais: um mais sustentável e outro convencional ao longo de etapas do ciclo de vida.** XIV

ENTAC, Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: Juiz de Fora/MG, 2012.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LabEEE). **ProjetEEE - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes.** Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis/SC, 2014.

MITSIDI PROJETOS. **Linha de base e potencial de redução de emissões de gases de efeito estufa no setor de Habitações de Interesse Social no Brasil.** 2015. Estudo não publicado.

NAGALI, A. **Comparativo técnico e econômico entre obras comerciais com características sustentáveis e convencionais.** In: Revista Téchné. Ed.: 179. 20 de fevereiro de 2012, p.60-78.

NCE (NEW CLIMATE ECONOMY). **Better growth, better climate: the new climate economy report.** Chapter two, Cities. The Global commission on the economy and climate: Washington, 2014. Disponível em: <<http://newclimateeconomy.report/2014/cities/>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

PINI. **Tabela de Composições e Preços para Orçamentos (TCPO).** Disponível em <<http://tcpoweb.pini.com.br/home/home.aspx>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro.** Brasília/DF, Brasil - PNUD, Ipea, FJP, 2013.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE POSSES DE ELETRODOMÉSTICOS E HÁBITOS DE CONSUMO (SINPHA). **Pesquisa de Posse e Hábitos do Consumo de Energia.** Procel, Rio de Janeiro/RJ, 1999

THE GLOBAL COMMISSION ON THE ECONOMY AND CLIMATE. **Better growth better climate: The new climate economy report.** Washington/DC, EUA. Setembro de 2014. Disponível em: <[http://2014.newclimateeconomy.report/wp-content/uploads/2014/08/NCE-Global-Report\\_web.pdf](http://2014.newclimateeconomy.report/wp-content/uploads/2014/08/NCE-Global-Report_web.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2017.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Mapeamento dos principais interessados e dos processos que afetam a seleção de soluções (tecnologias e materiais) para projetos de habitação social.** UNEP/SUSHI/CBCS/CDHU, São Paulo/SP, 2010a.

\_\_\_\_\_. **Avaliação das tecnologias existentes no mercado e soluções para melhorar a eficiência energética e o uso racional da água em Habitação de Interesse Social no Brasil.** UNEP/SUSHI/CBCS/CDHU, São Paulo/SP, 2010b.

\_\_\_\_\_. **The Emissions Gap Report 2015.** Nairobi/Quênia, 2015. Disponível em: <<http://www.unep.org/emissionsgapreport2015/>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-Habitat). **Sustainable housing for sustainable cities: a policy framework for developing countries.** Nairobi/Quênia, 2012.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). **Accelerating building efficiency: Eight actions for urban leaders.** Washington D.C./EUA, 2016. Disponível em: <<http://www.wri.org/publication/accelerating-building-efficiency-actions-city-leaders>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

## NOTAS DE FIM

1. *EnergyPlus* é um software que permite a construção de modelos de edificações e realiza simulações do desempenho térmico e energético de edificações, além de ser usado para modelar o consumo de energia e de água em diferentes condições ambientais e operacionais. O *DesignBuilder* é a primeira interface gráfica do *EnergyPlus*, que permite a modelação de edifícios em 3D, tornando o conteúdo visual. Com as simulações, é possível identificar o consumo de energia, além de testar diversas soluções em relação aos materiais, sombreamentos, orientação, diferentes contextos climáticos, permitindo análises de custo e benefícios e avaliação de desempenho de medidas de eficiência. É um software difundido entre projetistas e auxilia na tomada de decisões de projetos. Para maiores informações, acesse: <https://energyplus.net/>; <https://www.designbuilder.co.uk/>.
2. A escolha pela regionalização político-administrativa em detrimento da regionalização bioclimática se deu pelo fato de as políticas públicas em geral serem planejadas a partir da divisão política do território. O zoneamento bioclimático brasileiro, proposto pela NBR 15220-3 (ABNT, 2003) resulta do cruzamento de três tipos de informações (dados climáticos, zonas de conforto térmico humano, mecanismos de projeto e construção), enquanto a regionalização proposta por este estudo leva em conta as variáveis climáticas e a divisão político-administrativa brasileira.
3. Destas, a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (ou UNFCCC na sigla em inglês: <http://newsroom.unfccc.int/>) é a que possui maior visibilidade no cenário internacional e originou um grupo de acompanhamento conhecido como Conferência das Partes (COP). Para maiores informações sobre o histórico das convenções relacionadas às mudanças climáticas, consultar o site do Ministério do Meio Ambiente: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas>.
4. A 21ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP21), ocorrida em 2015 na cidade de Paris, teve como principal objetivo firmar um novo acordo internacional, que ficou conhecido como Acordo de Paris, visando à redução das emissões dos gases de efeito estufa, ao desenvolvimento sustentável e ao combate às mudanças climáticas. Esse acordo substitui o Protocolo de Quioto (firmado na COP3 em 1999 no Japão), que apenas entrou em vigor em 2005 após a adesão da Rússia.
5. A Agenda 2030 é uma agenda universal firmada por diversas nações visando ao desenvolvimento sustentável, com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas que serão fomentados até 2030. A Agenda trata-se de um plano de ação e é complementada por grupo de indicadores para monitoramento do alcance ou não das metas. Para maiores informações, consultar: <http://www.agenda2030.com.br>.
6. Para maiores informações sobre a Habitat III, acesse: <https://habitat3.org/>.
7. Diferentemente do Acordo de Paris, a Nova Agenda Urbana não é um acordo internacional, e sim uma série de orientações para que os atores envolvidos consigam desenvolver seus planos de ação para atingir os ODS e alcançar as metas estabelecidas na COP21. O documento pode ser acessado na íntegra: <https://www2.habitat3.org/bitcache/97ced11dcecef-85d41f74043195e5472836f6291?vid=588897&disposition=inline&op=view>.
8. Para maiores informações sobre o Objetivo 11, *Cidades e Comunidades Sustentáveis*, e suas metas, consultar a página web das Nações Unidas: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods11/>.
9. A Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, na sigla em inglês) é o documento que registra os compromissos e contribuições propostos pelos governos para cumprir os acordos climáticos firmados. Para maiores informações sobre a NDC do governo brasileiro, consultar a página do Ministério do Meio Ambiente: <http://www.mma.gov.br/comunicacao/item/10570-indc-contribu%C3%A7%C3%A3o-nacionalmente-determinada>.
10. O guia *Accelerating Building Efficiency: Eight actions for urban leaders* (WRI, 2016) traz uma série de dados e recomendações que demonstram que edifícios eficientes são um dos principais fatores para criar cidades sustentáveis e contribuir para que as metas de desenvolvimento sustentável sejam atingidas. Esse guia é voltado para os gestores e líderes urbanos planejarem e implementarem políticas, programas e projetos que impulsionem a eficiência em edifícios. As ações propostas conjugam oportunidades econômicas, sociais e ambientais que, juntas, são conhecidas como os pilares da sustentabilidade. As oito ações propostas pelo guia são: (i) Códigos e normas de eficiência em edificações (são ferramentas regulatórias que requerem das ações um nível mínimo de eficiência para edificações, sejam públicas ou privadas); (ii) Metas de melhoria de eficiência; (iii) Informações e certificações de desempenho (permitem tomar decisões com maior propriedade, além de medir, acompanhar e comparar o desempenho das edificações para ter certeza dos resultados); (iv) Incentivos e financiamento (ajudam na superação de barreiras econômicas – concessões, descontos, incentivos fiscais, prioridades de licenças, subsídios, linhas de créditos dedicadas, compartilhamento de riscos, etc.); (v) Liderança governamental pelo exemplo (políticas e projetos assumidos pelo próprio governo para criar demanda e aceitação no mercado); (vi) Engajamento de proprietários, gestores e ocupantes de edifícios privados; (vii) Envolvimento de prestadores de serviços técnicos e financeiros (desenvolvimento de capacitações e modelos de negócios para atender à demanda por eficiência e acelerá-la); e (viii) Trabalho com concessionárias de energia (melhorar o acesso aos dados de consumo e pensar em programas para tornar os clientes mais eficientes).
11. O sistema de aquecimento solar passou a ser exigido para edificações unifamiliares pela Portaria 465, de 2011, do Ministério das Cidades, que também passou a exigir medição individualizada de água e gás, além de redutor de consumo de água. A Portaria 267, de 2017, tornou, posteriormente, o SAS opcional para as regiões Norte e Nordeste.

12. O Selo Casa Azul é o primeiro sistema de certificação de sustentabilidade para projetos de construção habitacional brasileiro. São 53 critérios de avaliação, divididos em seis categorias (qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos materiais, gestão da água, práticas sociais), que têm como objetivo reconhecer projetos que adotam soluções eficientes na construção, uso, ocupação e manutenção das edificações. Para maiores informações, consultar o site da Caixa: <http://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/produtos-servicos/selo-casa-azul/Paginas/default.aspx>.
13. O processo de etiquetagem de edificações no Brasil ocorre de forma distinta para edifícios comerciais, de serviços e públicos e para edifícios residenciais. A metodologia para a classificação do nível de eficiência energética dos primeiros foi publicada em 2009 e revisada em 2010, ano em que foi publicada a metodologia para classificação dos edifícios residenciais. Os requisitos são definidos pelos regulamentos conhecidos como Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Para maiores informações, consultar o site da PBE Edifica: <http://www.pbeedifica.com.br/>.
14. A norma, que é a primeira no país sobre desenvolvimento sustentável, segue os princípios estabelecidos pelo ISO 37101, norma internacional. Para maiores informações, consultar o site da ABNT: <http://www.abnt.org.br/imprensa/releases/5284-comunidades-sustentaveis>.
15. Medidas como arejadores de torneira, vaso sanitário com acionamento duplo, cores diferentes para a pintura das paredes externas conforme as zonas bioclimáticas e sensor de presença para acionamento de lâmpadas passaram a ser obrigatórias após a Portaria 269, de 2017, publicada após as simulações realizadas por este estudo. Dessa forma, tais medidas não constam no modelo de linha de base, porém seus potenciais resultados estão presentes nas simulações de medidas sustentáveis e podem ser analisados na perspectiva do impacto positivo que essas medidas terão no futuro do PMCMV.
16. O modelo de linha de base foi desenvolvido a partir das tipologias construtivas mais comuns no país, identificadas na revisão bibliográfica. O nome linha de base é comumente adotado para esse tipo de modelo e reflete o consumo padrão, caso nenhuma medida de sustentabilidade seja adotada.
17. Define-se como payback, o cálculo estimado do tempo necessário para que se tenha o retorno sobre o investimento em um projeto. A partir do momento do payback, o projeto passa a ser vantajoso do ponto de vista financeiro.
18. Incorpora diferentes medidas de sustentabilidade em uma única simulação, potencializando seu uso, uma vez que muitas medidas atuam em conjunto e, se analisadas individualmente, apresentam resultados menos significativos.
19. A metodologia para avaliar as medidas procurou reduzir o número de simulações. Dessa forma, a partir de um clima potencialmente equilibrado exemplificado pela cidade de Londrina, foram realizadas simulações para todas as medidas e suas variações. A partir dos resultados para essa cidade foi possível inferir as relações das características testadas com os resultados de consumo obtidos. Essa comparação permitiu identificar quais medidas trabalham a favor da economia de cada tipo de consumo e de acordo com o clima. Por exemplo: a cobertura cerâmica e forro de gesso proporcionou redução de consumo com ar-condicionado em Londrina, mas gerou geraram aumento de consumo com aquecimento; ou seja, conclui-se que, para as condições do modelo, a cobertura cerâmica é mais vantajosa em climas quentes e seu uso em climas frios proporciona aumento de consumo. De forma geral, os dados confirmaram o que era esperado a partir das características dos materiais e recomendações para cada tipo de clima. Para os casos em que essa relação não foi clara e conclusiva, realizaram-se simulações complementares nas quais foram baseadas a escolha. Esse foi o caso de Brasília, onde a cobertura cerâmica se mostrou mais vantajosa via simulação, e a opção por fibrocimento foi descartada.
20. Usos finais de energia e água são os serviços para os quais a energia e a água são utilizados, tal como iluminação, ar-condicionado, chuveiros, torneiras, etc.
21. Todos os valores em reais apresentados nesta publicação referem-se a preços correntes de 2016.
22. Média simples das edificações uni e multifamiliares, multiplicada por 384 UH, que é o número de unidades construídas em média em um conjunto do PMCMV modalidade Empresas até dezembro de 2014 (MCidades, 2015).
23. Dados de consumo de água para HIS apresentam muitas variações nos resultados por se tratarem de avaliações pós-ocupação. Portanto, optou-se por considerar o valor de referência para dimensionamento de instalações de água fria para residências populares: 120l/dia por pessoa. Esse dado é mais comumente utilizado por projetistas.
24. Média simples das edificações uni e multifamiliares, multiplicada por 384 UH, que é o número de unidades construídas em média em um conjunto do PMCMV modalidade Empresas até dezembro de 2014: 384 UH (MCidades, 2015).
25. Idem.
26. A redução do consumo de água e de energia elétrica foi multiplicada pela tarifa de cada região e comparada mensalmente à renda máxima para a Faixa 1 do PMCMV (R\$ 1.800,00).
27. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é uma medida composta de indicadores – longevidade, educação e renda. O índice varia de 0 a 1 e, quanto mais próximo de 1 for o resultado, maior é o desenvolvimento humano no local. O IDHM brasileiro considera as mesmas dimensões do IDH Global, porém adapta a metodologia ao contexto brasileiro e à disponibilidade de dados nacionais. Para maiores informações, acesse o site do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento no Brasil: <http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/conceitos/o-que-e-o-idhm.html>.

28. A partir dessa regionalização, existem seis faixas de valores relacionadas a um recorte territorial: (i) capitais classificadas pelo IBGE como metrópoles; (ii) demais capitais estaduais, municípios das Regiões Metropolitanas (RM) das capitais estaduais, de Campinas, da Baixada Santista e Região Integrada de Desenvolvimento (RIDE) de Capital com população maior ou igual a 100 mil habitantes, capitais regionais, classificadas pelo IBGE, como população maior ou igual a 250 mil habitantes; (iii) municípios com população igual ou maior que 250 mil habitantes e municípios das RM das capitais estaduais, de Campinas, da Baixada Santista e das RIDE de Capital com população menor que 100 mil habitantes e capitais regionais, classificadas pelo IBGE, com população menor que 250 mil habitantes; (iv) municípios com população maior ou igual a 50 mil habitantes e menor que 250 mil habitantes; (v) municípios com população entre 20 e 50 mil habitantes; e (vi) demais municípios.
29. Disponível em <http://tcpoweb.pini.com.br/home/home.aspx>.
30. Disponível em <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>.
31. Disponível em <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/363726.html>.
32. O EnergyPlus, em desenvolvimento desde a década de 1970, é o principal software internacional de simulação, produzido pelo Departamento de Energia Americano.
33. O aquecedor com resistência foi considerado, pois é uma alternativa mais barata e, portanto, mais comum, em relação a um equipamento de ar-condicionado com sistemas de aquecimento e resfriamento.
34. Durante a realização do estudo observou-se que as paredes de vedação feitas de concreto moldado in loco possuíam um valor mais alto que os blocos de vedação, mas seu custo era menor ao longo da obra para as construtoras (devido a fatores como fôrmas e moldes, que podem ser utilizados em dezenas de obras, bem como redução do tempo de obra). De forma a considerar esses fatores na avaliação, um valor de ponderação foi adotado.
35. A posição verão foi definida para considerar a média de uso ao longo do ano, já que em muitas cidades quentes a resistência é desligada, enquanto em cidades frias a chave é posicionada na posição inverno.
36. Idem.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem nossos parceiros estratégicos institucionais, que viabilizam a infraestrutura do WRI: Ministério das Relações Exteriores dos Países Baixos, Ministério das Relações Exteriores da Dinamarca e Agência Sueca de Cooperação Internacional.

À Children's Investment Fund Foundation (CIFF) pelo apoio estratégico na realização e difusão desta publicação. À equipe da Mitsidi Projetos pela parceria no desenvolvimento desta pesquisa: Arthur Cursino, Braúlio Souza, Edward Borgstein, Isabela Issa.

Aos seguintes especialistas por suas relevantes contribuições como revisores da publicação: Francielle Dall'Agnol, Márcio Rosa D'Avila, Roberto Lamberts, Tatiana Araújo.

Os autores também agradecem às seguintes pessoas por suas valiosas orientações e contribuições: Nívea Opperman, Robin King, Viviane Romeiro, Marco Villalobo, Shannon Hilsey, Renata Marson, Caroline Donatti, Mariana Gil, Daniel Hunter, Luciana Grimm.

## AUTORES

### LARA SCHMITT CACCIA

Especialista de Desenvolvimento Urbano do WRI Brasil

### HENRIQUE EVERS

Coordenador de Desenvolvimento Urbano do WRI Brasil

### CAMILA SCHLATTER FERNANDES

Assistente de Desenvolvimento Urbano do WRI Brasil

### LUANA PRISCILA BETTI

Especialista em Economia Urbana do WRI Brasil

### MITSIDI PROJETOS

Consultoria de Eficiência Energética

## SOBRE O WRI BRASIL

O WRI Brasil é uma organização focada em pesquisa e aplicação de metodologias, estratégias e ferramentas voltadas às áreas de clima, florestas e cidades. É uma organização sem fins lucrativos e atua em estreita colaboração com as lideranças locais, para proteger o meio ambiente e criar soluções que contribuam para a prosperidade do Brasil de forma inclusiva e sustentável. O WRI Brasil faz parte do World Resources Institute, organização internacional que promove caminhos inovadores para um planeta sustentável, através de um trabalho transparente, comprometido e independente em seis grandes áreas: clima, florestas, cidades, água, energia e alimentos. O trabalho do WRI se estende por mais de 50 países, com escritórios no Brasil, China, Estados Unidos, México, Índia, Indonésia, Europa e África.



