

NOTA TÉCNICA N° IDB-TN-3025

# Transformando a construção na América Latina e no Caribe

Digitalização, inovação e sustentabilidade como chaves do futuro

Belén Baptista

Nayib Tala

Sandra López

Pauline Henriquez

Wilhelm Dalaison

Camilo Saldías

Banco Interamericano de Desenvolvimento  
Divisão de Competitividade, Tecnologia e Inovação  
Setor de Instituições para o Desenvolvimento  
Setor de Infraestrutura e Energia

Novembro 2024



# Transformando a construção na América Latina e no Caribe

Digitalização, inovação e sustentabilidade como chaves do futuro

Belén Baptista

Nayib Tala

Sandra López

Pauline Henriquez

Wilhelm Dalaison

Camilo Saldías

Banco Interamericano de Desenvolvimento  
Divisão de Competitividade, Tecnologia e Inovação  
Setor de Instituições para o Desenvolvimento  
Setor de Infraestrutura e Energia

Novembro 2024

**Códigos JEL:** L74, L78, O14, O32, O33, O38, Q50, Q56, Q58

**Palavras-chave:** Construção, Desenvolvimento Económico, Inovação, Mudança Tecnológica e Crescimento, Escolha Tecnológica, Gestão da Inovação Tecnológica e da Investigação e Desenvolvimento, Sustentabilidade, Adaptação às Alterações Climáticas, Políticas Públicas, Economia Ambiental

<https://www.iadb.org>

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desenvolvimento. Esta obra está licenciada sob uma licença Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Os termos e condições indicados no link URL devem ser atendidos e o respectivo reconhecimento deve ser concedido ao BID.

Além da seção 8 da licença acima, qualquer mediação relacionada a disputas decorrentes de tal licença deve ser conduzida de acordo com as Regras de Mediação da OMPI. Qualquer controvérsia relacionada ao uso das obras do BID que não possa ser resolvida amigavelmente deverá ser submetida à arbitragem de acordo com as regras da Comissão das Nações Unidas sobre Direito Comercial Internacional (UNCITRAL). O uso do nome do BID para qualquer finalidade que não seja atribuição e o uso do logotipo do BID estarão sujeitos a um contrato de licença por escrito separado entre o BID e o usuário e não está autorizado como parte desta licença.

Observe que o link da URL inclui termos e condições que são parte integrante desta licença.

As opiniões expressas nesta publicação são de responsabilidade dos autores e não refletem necessariamente a posição do Banco Interamericano de Desenvolvimento, de sua Diretoria Executiva, ou dos países que eles representam.



# TRANSFORMANDO A CONSTRUÇÃO

NA AMÉRICA LATINA E NO CARIBE

Digitalização, inovação e sustentabilidade  
**como chaves do futuro**

Belén Baptista, Nayib Tala, Sandra López, Pauline Henriquez, Wilhelm Dalaison e Camilo Saldías



# ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>4</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>43</b>
<b>SIGLAS E ACRÔNIMOS</b>	<b>5</b>	<b>ANEXO I. LISTA DE PESSOAS ENTREVISTADAS</b>	<b>48</b>
<b>RESUMO EXECUTIVO</b>	<b>6</b>	<b>ANEXO II. DIRETRIZES DAS ENTREVISTAS</b>	<b>49</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>	<b>ANEXO III. INICIATIVAS IDENTIFICADAS POR PAÍS</b>	<b>55</b>
<b>2. SOLUÇÕES FACILITADORAS PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL</b>	<b>11</b>	<b>ANEXO IV. TIPOS DE SOLUÇÕES PROMOVIDAS POR PAÍS</b>	<b>62</b>
2.1. TECNOLOGIAS DIGITAIS AVANÇADAS	12	<b>ANEXO V. GERAÇÃO DE CONHECIMENTO SOBRE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL</b>	<b>66</b>
2.2. PROJETO COM ENFOQUE SUSTENTÁVEL	16		
2.3. MATERIAIS SUSTENTÁVEIS	17		
2.4. SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA	20		
2.5. MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL	24		
2.6. ABORDAGENS DE GESTÃO EFICIENTES	26		
2.7. INTER-RELAÇÃO DE SOLUÇÕES PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	28		
2.8. GERAÇÃO DE CONHECIMENTO SOBRE TIPOS DE SOLUÇÕES	31		
<b>3. EXPERIÊNCIAS, OBJETIVOS E OPORTUNIDADES PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL NA AMÉRICA LATINA E NO CARIBE</b>	<b>32</b>		
3.1. INICIATIVAS QUE CONTRIBUEM PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	33		
3.2. TIPOS DE SOLUÇÕES PROMOVIDAS	34		
3.3. OBSTÁCULOS E DESAFIOS	36		
3.4. FATORES QUE PROMOVEM A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	38		
3.5. IDENTIFICAÇÃO DE BOAS PRÁTICAS	39		
<b>4. CHAVES PARA O FUTURO NA TRANSFORMAÇÃO DO SETOR</b>	<b>41</b>		

## ÍNDICE DE QUADROS INFORMATIVOS

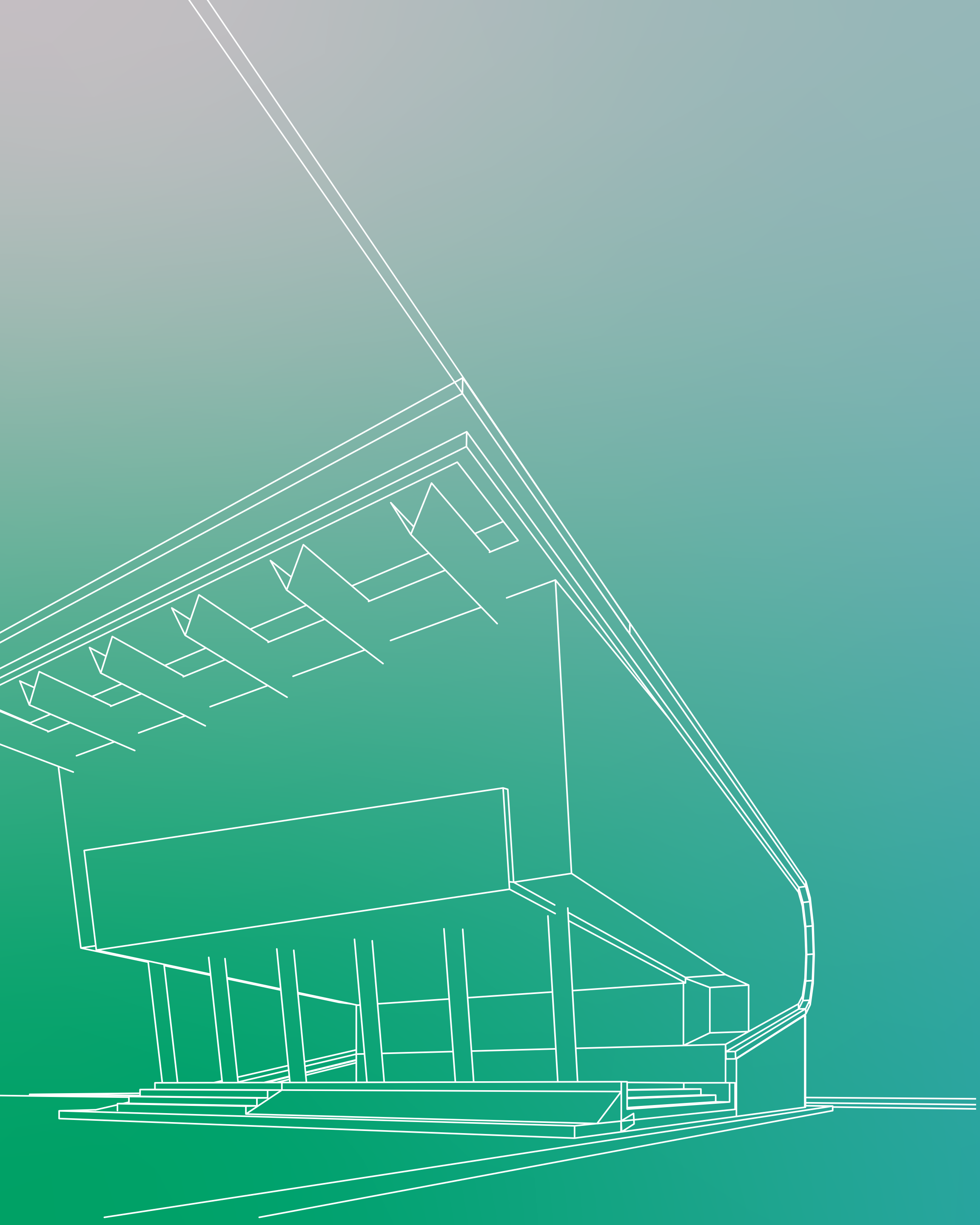
Quadro Informativo 1. Construção sustentável	9
Quadro Informativo 2. Metodologia do estudo “Mapeamento de ferramentas digitais e métodos construtivos inovadores para um setor de construção sustentável”	10
Quadro Informativo 3. Exemplo de integração de soluções <i>Building Information Modeling</i> e <i>LEAN Construction</i> : avaliação de impactos do Projeto CAIF Aeroparque no Uruguai	14
Quadro Informativo 4. Métodos modernos de construção no Reino Unido	22
Quadro Informativo 5. Normativa de construtibilidade e construção volumétrica pré-fabricada e pré-acabada em Singapura	23
Quadro Informativo 6. Metodologias de cálculo de pegada de carbono	25

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Categorias de soluções para a construção sustentável	12
Gráfico 2. Exemplos de inter-relação entre tipos de soluções para a construção sustentável	28
Gráfico 3. Exemplos de inter-relação entre tipos de soluções para a construção sustentável e a resiliência climática, bem como a desastres naturais	30
Gráfico 4. Publicações científico-tecnológicas em Scopus e segundo o tipo de solução para a construção sustentável (2004-23)	31
Gráfico 5. Número de iniciativas identificadas que contribuem para a construção sustentável	33
Gráfico 6. Iniciativas identificadas segundo tipo de solução	34
Gráfico A5.1. Publicações científicas e tecnológicas sobre construção sustentável em nível global, período 2003-2022.	66
Gráfico A5.2. Publicações científicas e tecnológicas sobre construção sustentável. Países com maior produção global. Produção total, 2017-2022	67
Gráfico A5.3. Publicações científicas e tecnológicas sobre construção sustentável na América Latina e no Caribe, período 2003-2022.	68
Gráfico A5.4. Publicações científicas e tecnológicas sobre construção sustentável em países da América Latina e no Caribe. Produção total, 2018-2022	68

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Distribuição das organizações analisadas segundo tipo e país	32
Quadro 2. Inter-relação entre os diferentes tipos de soluções e as iniciativas identificadas em Brasil, Chile, Costa Rica e Uruguai	35
Quadro A1.1. Lista de pessoas entrevistadas	48
Quadro A3.1. Brasil: iniciativas que contribuem para a construção sustentável	56
Quadro A3.2. Chile: iniciativas que contribuem para a construção sustentável	58
Quadro A3.3. Costa Rica: iniciativas que contribuem para a construção sustentável	59
Quadro A3.4. Uruguai: iniciativas que contribuem para a construção sustentável	60
Quadro A4.1. Brasil: iniciativas identificadas de acordo com o tipo de solução	62
Quadro A4.2. Chile: iniciativas identificadas de acordo com o tipo de solução	63
Quadro A4.3. Costa Rica: iniciativas identificadas de acordo com o tipo de solução	64
Quadro A4.4. Uruguai: iniciativas identificadas de acordo com o tipo de solução	65



# AGRADECIMENTOS

A presente nota técnica reúne as conclusões do estudo “Mapeamento de ferramentas digitais e métodos construtivos inovadores para um setor de construção sustentável”<sup>1</sup>, encomendado pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e financiado pela Cooperação Técnica Regional: Criação da Rede *Building Information Modeling* (BIM) de Governos Latino-Americanos (RG-T3547). A estratégia metodológica desenvolvida pelo estudo combinou atividades de identificação, sistematização, processamento e análise de diversas fontes de informação secundárias, além do desenho, execução e análise de um levantamento qualitativo de informação primária. Agradece-se a valiosa contribuição das pessoas entrevistadas durante o referido estudo, bem como as que participaram e realizaram aportes nos workshops de apresentação e validação dos avanços do estudo, realizados em março de 2024. Para o desenvolvimento desta Nota Técnica, agradece-se a contribuição, participação, comentários construtivos e feedback de Alexandra Alvear, Juan del Barrio, Carlos Díaz, Ana Avendaño, Livia Minoja, Adriana Salazar, Matteo Grazzi, Philip Keefer, Federico Brusa, Felipe Vera e Paula Cruz.

Palavras-chave: sustentabilidade, digitalização, construção sustentável, materiais sustentáveis, industrialização, tecnologias digitais avançadas, *building information modeling*, mudança climática, resiliência.

<sup>1</sup> Desenvolvido por Belén Baptista (2024).

# SIGLAS E ACRÔNIMOS

<b>ALC</b>	América Latina e no Caribe
<b>ANDE</b>	Agência Nacional de Desenvolvimento (Uruguai)
<b>ANII</b>	Agência Nacional de Pesquisa e Inovação (Uruguai)
<b>ASCC</b>	Agência de Sustentabilidade e Mudança Climática (Chile)
<b>BANHVI</b>	Banco Hipotecário de Habitação (Costa Rica)
<b>BID</b>	Banco Interamericano de Desenvolvimento
<b>BIM</b>	<i>Building Information Modeling</i>
<b>BIM Gov Latam</b>	Rede BIM de Governos Latino-americanos
<b>BAECS</b>	Bandeira Azul Ecológica de Construção Sustentável
<b>CAIF</b>	Centro de Atenção à Infância e à Família (Uruguai)
<b>CBCS</b>	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (Brasil)
<b>CBIC</b>	Câmara Brasileira da Indústria e Construção (Brasil)
<b>CCI</b>	Conselho de Construção Industrializada (Chile)
<b>CCC</b>	Câmara de Construção de Costa Rica (Costa Rica)
<b>CDT</b>	Corporação de Desenvolvimento Tecnológico (Chile)
<b>CII-BIM</b>	Comissão Interinstitucional para a Implementação BIM (Costa Rica)
<b>CIPYCS</b>	Centro Interdisciplinar de Produtividade e Construção Sustentável (Chile)
<b>CND</b>	Cooperação Nacional para o Desenvolvimento (Uruguai)
<b>CORFO</b>	Corporação de Fomento da Produção (Chile)
<b>CChC</b>	Câmara Chilena da Construção (Chile)
<b>CCU</b>	Câmara da Construção do Uruguai (Uruguai)
<b>CFIA</b>	Colégio Federado Engenheiros e Arquitetos (Costa Rica)
<b>CTEC</b>	Centro Tecnológico para a Inovação na Construção (Chile)
<b>DEO</b>	Desempenho Energético Operacional de Edifícios
<b>FIIC</b>	Federação Interamericana da Indústria da Construção

<b>GEI</b>	gases de efeito estufa
<b>IC</b>	Instituto da Construção (Chile)
<b>INA</b>	Instituto Nacional de Aprendizagem (Costa Rica)
<b>INAU</b>	Instituto da Criança e do Adolescente do Uruguai (Uruguai)
<b>INVU</b>	Instituto Nacional de Habitação e Urbanismo (Costa Rica)
<b>MA</b>	Ministério de Ambiente (Uruguai)
<b>MDICS</b>	Ministério de Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (Brasil)
<b>MDR</b>	Ministério de Desenvolvimento Regional (Brasil)
<b>MIDEPLAN</b>	Ministério de Planejamento Nacional e Política Econômica (Costa Rica)
<b>MIEM</b>	Ministério de Indústrias, Energia e Mineração (Uruguai)
<b>MINAE</b>	Ministério de Ambiente e Energia (Costa Rica)
<b>MINVU</b>	Ministério de Habitação e Urbanismo (Chile)
<b>MIVAH</b>	Ministério de Habitação e Assentamentos Humanos (Costa Rica)
<b>MMA</b>	Ministério de Meio Ambiente (Chile)
<b>MME</b>	Ministério de Minas e Energia (Brasil)
<b>MOP</b>	Ministério de Obras Públicas (Chile)
<b>MVOT</b>	Ministério de Habitação e Ordenamento Territorial (Uruguai)
<b>NDC</b>	contribuições determinadas a nível nacional (pela sigla em inglês)
<b>RCD</b>	resíduos de construção e demolição
<b>RECEPETI</b>	Rede Catarinense de inovação (Brasil)
<b>RESET</b>	Requisitos para Edifícios Sustentáveis no Trópico
<b>RELAMAD</b>	Rede Latino-americana de Madeira Estrutural
<b>SC</b>	Secretaria de Cidades (Brasil)
<b>SIDAC</b>	Sistema de Informação de Desempenho Ambiental da Construção
<b>VIUS</b>	Modelo de Habitação Urbana Inclusiva e Sustentável

# RESUMO EXECUTIVO

A América Latina e no Caribe (ALC) avançaram significativamente na incorporação de medidas de sustentabilidade em projetos de infraestrutura. Existem exemplos notáveis em alguns países que demonstram que o setor de construção, assim como os setores público e acadêmico, têm o potencial e o interesse em avançar para uma construção mais sustentável. No entanto, as iniciativas ainda são incipientes e necessitam de um maior impulso para alcançar escalabilidade e transformar o setor. A digitalização da indústria da construção é uma ferramenta chave para potencializar essa transformação. Embora existam iniciativas, e a indústria também avance na incorporação de mais ferramentas digitais, é necessário um maior estímulo por parte do setor público. À medida que essas iniciativas se prolonguem de forma coordenada e complementar, a região poderá se encaminhar para uma construção sustentável de maneira mais ampla, impulsionada pelas ferramentas digitais. Esta Nota Técnica se concentra em estabelecer como a digi-

talização e os métodos construtivos inovadores representam uma oportunidade para promover a construção sustentável na ALC.

O documento está organizado em quatro seções principais. Após a introdução, a segunda seção categoriza diferentes tipos de soluções atuais que facilitam e promovem a construção sustentável. A terceira seção analisa as iniciativas, os desafios, os obstáculos e os fatores que promovem boas práticas na construção sustentável no Brasil, Chile, Costa Rica e Uruguai, com base em entrevistas com atores-chave do setor. Por fim, a quarta seção apresenta uma série de conclusões e recomendações para que essas oportunidades viabilizem e facilitem a transformação do setor de construção da ALC em um setor sustentável, digitalizado e resiliente.

## I. Tipos de soluções facilitadoras<sup>2</sup> para a construção sustentável

As diferentes iniciativas são classificadas em seis categorias:

- ◆ **Tecnologias digitais avançadas:** Metodologias e tecnologias como *Building Information Modeling* (BIM), inteligência artificial, análise de dados, realidade estendida, internet das coisas e blockchain, que otimizam a eficiência dos recursos, minimizam os resíduos e facilitam a tomada de decisões informadas. BIM é um exemplo-chave e a porta de entrada para outras oportunidades de digitalização.
- ◆ **Design com enfoque sustentável:** Também conhecido como ecodesign, tem como objetivo desenvolver projetos eficientes no uso de recursos e energia, adaptados às condições climáticas, com baixo impacto ambiental e saudáveis para os usuários. Tem impacto ao longo de toda a vida útil da infraestrutura.
- ◆ **Materiais sustentáveis:** São aqueles que geram menor impacto ambiental durante todo seu ciclo de vida. Incluem materiais com baixas emissões de carbono, recicláveis e reutilizáveis, e materiais locais para minimizar as emissões de transporte, entre outros.
- ◆ **Sistemas de construção industrializada:** Alternativas aos sistemas tradicionais que incluem pré-fabricação, construção leve, construção modular e sistemas de impressão 3D, entre outras, permitindo reduzir o tempo de construção, os entulhos e o impacto ambiental, além de facilitar a circularidade.
- ◆ **Medição e verificação do impacto ambiental:** Envolve a quantificação e certificação do impacto ambiental dos ativos de construção por meio de ferramentas como a medição da pegada de carbono e certificações sustentáveis, como *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), *Excellence in Design for Greater Efficiencies* (EDGE) e *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), entre outras.

<sup>2</sup> Neste contexto, as soluções facilitadoras serão entendidas como metodologias, sistemas, produtos ou serviços que aceleram, facilitam, promovem e/ou entregam a capacidade, a habilidade ou os meios para alcançar um fim específico; neste caso, facilitar a construção sustentável.

- ◆ **Enfoques de gestão eficientes:** Métodos de gestão que melhoram a eficiência na construção, reduzem os atrasos e minimizam o impacto ambiental, incluindo a gestão de resíduos e a adoção de enfoques como *LEAN Construction* ou *Advance Work Packaging*.

## II. Experiências, desafios e oportunidades para a construção sustentável na América Latina e no Caribe

Por meio de entrevistas com atores-chave no Brasil, Chile, Costa Rica e Uruguai, foram identificadas 44 iniciativas em desenvolvimento orientadas para a construção sustentável, dois terços delas lideradas pelo setor governamental. Essas iniciativas surgiram de forma contínua desde 2015, ano que coincide com a assinatura do Acordo de Paris.

Entre as semelhanças destacadas, está o impulso governamental para implementar políticas de habitação sustentável e a adoção de tecnologias digitais avançadas, como BIM. No entanto, observa-se uma baixa integração dessas soluções voltadas para a construção sustentável, o que sugere importantes oportunidades de melhoria.

- ◆ **Obstáculos e desafios:** Foram apontadas lacunas cognitivas e barreiras significativas, assim como fragilidades institucionais e a percepção de incompatibilidade entre sustentabilidade ambiental e econômica. Além disso, foram identificados desafios na articulação e sinergia de iniciativas, demanda limitada por infraestruturas sustentáveis e informalidade no setor da construção.

- ◆ **Fatores que promovem:** Destacou-se o impacto positivo da pandemia de COVID-19 e das mudanças climáticas na visibilidade da importância da construção sustentável. Também foram mencionados os compromissos climáticos nacionais e o apoio técnico e financeiro de organizações internacionais.

- ◆ **Boas práticas:** Foram identificadas boas práticas, como o desenvolvimento de estratégias de *benchmarking* internacional, cooperação técnica, criação de comunidades de prática, capacitação de equipes técnicas e formalização de mecanismos de articulação interinstitucional. Além disso, destacaram-se mecanismos de fomento, como a compra pública inovadora e o desenho de incentivos financeiros e não financeiros.

## III. Chaves para o futuro na transformação do setor

Esta nota técnica identifica os aspectos-chave para promover a digitalização e o uso de sistemas construtivos e materiais inovadores para avançar rumo à construção sustentável no contexto social, econômico e climático da ALC.

Considera-se crucial o papel de liderança do setor público a longo prazo para impulsionar a digitalização e a produtividade, integrando e promovendo a construção sustentável na ALC. Para isso, é indispensável envolver todas as partes interessadas por meio de uma estratégia consensual e um plano de ação detalhado com objetivos claros e mecanismos de medição do progresso para alcançar a transformação do setor. Uma comunicação eficaz e ampla da estratégia e do plano de ação é essencial para gerar conscientização e apoio a longo prazo.

Além disso, é fundamental fortalecer a colaboração entre os setores público, privado e acadêmico, estabelecendo estruturas de trabalho colaborativas que facilitem a implementação da digitalização e de soluções inovadoras para a construção sustentável.

É necessário estabelecer incentivos financeiros e não financeiros para que as empresas do setor adotem práticas sustentáveis e invistam na digitalização e em métodos de construção eficientes e inovadores. A compra pública estratégica, incluindo a compra pública de inovação e a compra pública verde, é um catalisador importante para impulsionar a demanda por tecnologias e materiais sustentáveis para transformar o setor.

Impulsionar a digitalização é um fator-chave, pois otimiza e integra os processos ao longo de todo o ciclo de vida da construção, melhorando a transparência, a eficiência e a produtividade do setor. Além disso, implementar métodos de construção eficientes e sustentáveis, e garantir sua adoção generalizada, deve ser uma prioridade.

Essas ações permitem acelerar os processos para avançar rumo à uma indústria da construção sustentável, resiliente e competitiva, capaz de responder aos desafios ambientais e sociais da região.

# 1

## INTRODUÇÃO

O setor de construção é responsável, a nível global, por 13% do produto interno bruto (PIB) (McKinsey & Company, 2020) e por 7,7% dos empregos (250 milhões). Na América Latina e no Caribe (ALC)<sup>3</sup> tem um papel crucial na economia: representa 6% do PIB regional, equivalente a US\$ 300 bilhões, e gera mais de 20 milhões de postos de trabalho.

No entanto, enfrenta lacunas significativas de produtividade e digitalização em comparação a outros setores da economia. Segundo um relatório da McKinsey & Company (2017), a produtividade na construção cresceu apenas 1% ao ano nas últimas duas décadas, em comparação com 3,6% na ma-

<sup>3</sup> Apresentação da Federação Interamericana da Indústria da Construção (FIIC) com base nos dados da Câmara Mexicana da Indústria da Construção (CMIC), do Fundo Monetário Internacional (FMI) e da Comissão Econômica para a América Latina e no Caribe (CEPAL).

nufatura e 2,8% na agricultura; contudo, a adoção de novas tecnologias está começando a transformar o setor de construção. Metodologias como *Building Information Modeling* (BIM), drones, internet das coisas (IoT) e inteligência artificial estão melhorando a eficiência, reduzindo custos e aumentando a precisão nos projetos. Segundo o relatório da Deloitte (2021), as empresas de construção que adotam tecnologias avançadas registraram um aumento de 10% a 15% na produtividade e uma redução de 5% a 10% nos custos operacionais.

Além disso, o setor de construção é um dos maiores emissores de gases de efeito estufa (GEI) e um dos maiores consumidores de recursos naturais. De acordo com os últimos dados fornecidos pelo *World Green Building Council* (WGBC) (2023), o setor de construção consome 50% dos recursos extraídos globalmente para materiais e 15% da

água doce utilizada, sendo responsável por 37% das emissões globais de CO<sub>2</sub> relacionadas à energia, e 34% da energia mundial é consumida pelos edifícios durante sua operação. Além disso, 35% dos resíduos sólidos gerados anualmente a nível mundial provêm de materiais de construção (Mene-gaki et al., 2018). Adicionalmente, projeta-se um forte crescimento do setor a nível global nos próximos anos. Para infraestrutura vertical, estima-se que ainda falta construir 60% dos edifícios projetados até 2050, e que 20% das estruturas já existentes devem passar por renovação para atingir o objetivo de zero emissões líquidas até 2030 (UNEP & GLOBAL ABC, 2024).

Para enfrentar esses tipos de desafios e alcançar a transformação do setor de construção, considera-se fundamental a adoção de uma série de medidas que promovam a implementação de novas me-

metodologias digitais e soluções inovadoras que permitam alcançar a construção sustentável e a mitigação e adaptação às mudanças climáticas (ver quadro informativo 1), em linha com o Acordo de Paris. Isso implica ações governamentais, empresariais e da sociedade civil, como a definição de estratégias e planos de ação para desenvolver capacidades e facilitadores para a digitalização, além de sistemas e materiais inovadores para a construção sustentável que contribuam para construções com baixas emissões de carbono e resilientes às mudanças climáticas; a adoção de metodologias e tecnologias digitais eficientes; o fortalecimento das competências e capacidades digitais das equipes envolvidas; a incorporação de sistemas construtivos eficientes e materiais sustentáveis; a especificação de padrões de construção sustentável e a implementação de políticas para a circularidade, descarbonização e resiliência climática do setor, entre outras.

## Quadro informativo 1. Construção sustentável

A sustentabilidade no setor da construção vem sendo abordada há três décadas, por meio de diversas definições que evoluíram com o tempo. Em 1993, o World Wildlife Fund (WWF) introduziu uma das primeiras definições, que incluía não apenas os edifícios, mas também seu entorno e seu impacto na configuração das cidades (Alavedra et al., 1997). No ano seguinte, na Primeira Conferência Internacional sobre Construção Sustentável, Charles Kibert<sup>a</sup> definiu a construção sustentável como uma responsabilidade ambiental durante todas as etapas do processo construtivo, com o objetivo de minimizar o esgotamento de recursos e proporcionar um ambiente saudável.

Desde então, várias definições de construção sustentável foram propostas, sem que se chegasse a um consenso global (Gordano, Torchia e Corazza, 2023; Liu et al., 2022). Essas definições podem variar em seu enfoque, desde aspectos gerais até considerações específicas sobre energia, recursos e qualidade de vida. Em 2019, o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) estabeleceu que “a infraestrutura sustentável refere-se a projetos de infraestrutura que são planejados, projetados, construídos, operados

e desconstruídos, garantindo a sustentabilidade econômica e financeira, social, ambiental (incluindo a resiliência climática) e institucional ao longo de todo o ciclo de vida do projeto”. Esta definição integra duas afirmações principais: i) que a sustentabilidade da infraestrutura deve considerar todo o ciclo de vida do projeto e ii) que a sustentabilidade da infraestrutura deve levar em conta quatro dimensões relevantes: ambiental, econômico/financeira, social e institucional<sup>b</sup>. Além disso, detalha os atributos que constituem cada uma das quatro dimensões da sustentabilidade da infraestrutura (Bhattacharya, 2019). A presente Nota Técnica foca na dimensão ambiental, que inclui quatro subdimensões principais: i) uso sustentável e eficiente dos recursos naturais (energia, água, materiais, etc.); ii) preservação do meio ambiente natural (biodiversidade, capital natural, manejo de solos, conectividade ecológica e serviços ambientais, entre outros); iii) baixo nível de poluição (água, ar, solo, materiais perigosos); e iv) resiliência a desastres naturais e mudanças climáticas.

Por razões de simplificação, neste documento será utilizado o conceito de “construção sustentável” para se referir à infraestrutura sustentável em sua dimensão ambiental, incluindo a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEI) e a resiliência a desastres naturais e mudanças climáticas.

Neste contexto, para esta Nota Técnica, entende-se por resiliência (tanto às mudanças climáticas quanto aos desastres naturais) a capacidade dos sistemas e ambientes naturais de enfrentar e absorver perturbações sem alterar significativamente suas características estruturais e funcionais, e de recuperar seu estado original<sup>c</sup>. Da mesma forma, o termo “construção” abrange atividades como planejamento, projeto, construção, renovação, operação, manutenção e demolição de habitações, edifícios e obras de engenharia civil (transporte, água, saneamento e energia, entre outras).

<sup>a</sup> Charles Kibert — organizador da Primeira Conferência Internacional sobre Construção Sustentável — foi diretor do Centro de Construção e Meio Ambiente da Universidade da Flórida e coordenador do grupo de trabalho internacional 16 do Conseil International du Batiment (CIB) sobre construção sustentável e, posteriormente, do grupo de trabalho 39 sobre desconstrução.

<sup>b</sup> Embora várias definições de sustentabilidade da construção/infraestrutura integrem as dimensões ambiental, econômico/financeira e social, a publicação do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) de 2019 adiciona a dimensão da sustentabilidade institucional, dada sua importância para as outras três dimensões e para a efetividade e o impacto a longo prazo dos projetos.

<sup>c</sup> Segundo o Centro para Soluções Climáticas e Energéticas (C2ES), a resiliência climática implica a capacidade de se adaptar às mudanças e se recuperar rapidamente de eventos extremos relacionados ao clima, mantendo a funcionalidade do sistema. Ver <https://www.c2es.org/content/climate-resilience-overview/>.

Nesse sentido, o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) está colaborando com instituições públicas na ALC para promover políticas de transformação digital no setor da construção, incluindo a adoção de metodologias como BIM e a melhoria da qualidade da informação sobre emissões dos processos construtivos. Além disso, deve-se considerar que, nos últimos vinte anos, houve um crescimento sustentado da produção científico-tecnológica em nível global relacionada às soluções capacitadoras para a construção sustentável. Entre 2005 e 2022, a produção de artigos sobre o tema na região teve uma taxa média anual de 23%, embora represente apenas 3,6% da produção anual em nível global (Baptista, 2024).

Esta Nota Técnica baseia-se em uma consultoria encomendada pelo BID (ver quadro informativo 2) e busca estabelecer relações entre as aplicações, ferramentas digitais e sistemas construtivos e materiais inovadores como uma plataforma capacitadora para a construção sustentável na ALC. Está organizada em quatro seções: (i) introdução; (ii) soluções capacitadoras para a construção sustentável, incluindo uma seção sobre a geração de conhecimento científico-tecnológico; (iii) análise de experiências, desafios e oportunidades dos principais resultados do levantamento

qualitativo realizado no Brasil, Chile, Costa Rica e Uruguai<sup>4</sup>, e (iv) chaves para o futuro na transformação do setor de construção. Além disso, apresenta cinco anexos (anexo I: Lista de pessoas entrevistadas; anexo II: Diretrizes de entrevistas; anexo III: Iniciativas identificadas por país; anexo IV: Tipos de soluções promovidas por país; e anexo V: Geração de conhecimento sobre construção sustentável). O exposto permite identificar iniciativas, desafios e boas práticas associadas ao desenvolvimento sustentável do setor de construção na região.

<sup>4</sup> Esses países foram selecionados para o estudo devido à identificação de iniciativas em desenvolvimento e à sua capacidade de acesso à informação durante o período em que o estudo foi realizado.

## Quadro Informativo 2. Metodologia do estudo “Mapeamento de ferramentas digitais e métodos construtivos inovadores para um setor de construção sustentável”

Este documento resume os resultados da consultoria encomendada pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), “Mapeamento de ferramentas digitais e métodos construtivos inovadores para um setor de construção sustentável”. Sua metodologia combinou a identificação, sistematização, processamento e análise de diversas fontes secundárias, junto com um levantamento qualitativo baseado em entrevistas semiestruturadas com atores relevantes do setor na região.

O processo de sistematização de informações secundárias incluiu a revisão e análise de fontes documentais e estatísticas relevantes relacionadas a metodologias e ferramentas digitais e construtivas para melhorar a sustentabilidade no setor de construção. Esse processo permitiu identificar tendências globais, boas práticas e as tecnologias mais avançadas no desenvolvimento de soluções sustentáveis para a construção.

A coleta de informações primárias foi realizada por meio de entrevistas semiestruturadas com atores relevantes em quatro países da América Latina e do Caribe (ALC): Brasil, Chile, Costa Rica e Uruguai. Foram identificados e entrevistados representantes de organizações governamentais, empresariais, acadêmicas e profissionais vinculadas ao setor de construção. No total, foram realizadas 20 entrevistas entre dezembro de 2023 e janeiro de 2024, com o objetivo de coletar percepções, enfoques, iniciativas, desafios e boas práticas associadas à implementação de soluções sustentáveis no setor de construção na região.

# 2

## SOLUÇÕES FACILITADORAS PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

**A** análise realizada permitiu identificar seis categorias de soluções e metodologias que contribuem para o desenvolvimento da construção sustentável: i) tecnologias digitais avançadas; ii) design com enfoque sustentável; iii) materiais sustentáveis; iv) sistemas construtivos industrializados; v) medição e verificação do impacto ambiental das construções; e vi) enfoques de gestão eficientes (gráfico 1). Em particular, as tecnologias digitais avançadas são o fator comum que atua como uma solução facilitadora robusta nas diferentes categorias identificadas, potencializando a transformação do setor rumo à construção sustentável.

Nesse sentido, distinguem-se dois grupos de facilitadores. O primeiro, os **facilitadores digitais** que, por meio de metodologias, padrões e uso de plataformas e ferramentas digitais, facilitam a tomada de decisões e tornam a gestão e o desempenho dos projetos para a construção sustentável mais eficientes. Além disso, permitem integrar e obter maior benefício do segundo grupo, os **facilitadores técnicos**, que envolvem materiais, sistemas construtivos, critérios de design e metodologias de gestão.

Gráfico 1. Categorias de soluções para a construção sustentável



Fonte: Relatório final de consultoria do BID, “Mapeamento de ferramentas digitais e métodos construtivos inovadores para um setor de construção sustentável” (Baptista, 2024).

A seguir, descreve-se cada categoria e como a América Latina e no Caribe (ALC) têm avançado na geração de conhecimento científico-tecnológico associado a cada uma delas nos últimos anos.

## 2.1. TECNOLOGIAS DIGITAIS AVANÇADAS

As tecnologias digitais avançadas, classificadas no grupo de tecnologias facilitadoras para a transformação do setor rumo à construção sustentável, ao longo de toda a sua cadeia de valor, permitem, entre outras coisas, organizar e estruturar dados para obter informações transparentes, rastreáveis, confiáveis e precisas; otimizar a tomada de decisões, a gestão de ativos e projetos; desenvolver simulações de diferentes cenários; facilitar a medição de indicadores; potencializar o uso dos recursos; contribuir para a minimização de resíduos de construção; e reduzir o tempo de obra. Em geral, as tecnologias digitais avançadas constituem uma solução facilitadora para cada um dos diferentes tipos de soluções apresentadas, permitindo maximizar os benefícios e multiplicar as possibilidades de eficiência operacional, aumento da produtividade e transformação do setor rumo à uma indústria de construção mais sustentável.

Nesta seção, são apresentadas algumas das principais tecnologias facilitadoras para a construção sustentável, por exemplo: (i) a metodologia Building Information Modeling (BIM) facilita e permite integrar e avaliar de forma eficiente diferentes soluções com enfoque sustentável; (ii) a inteligência artificial (IA) pode contribuir para a gestão inteligente ao longo de todo o ciclo de vida do ativo; (iii) a tecnologia blockchain pode ser utilizada para verificar certificações de sustentabilidade ambiental; (iv) a realidade virtual (RV) e a realidade aumentada (RA) contribuem para a visualização e análise de alternativas para o design com enfoque sustentável; e (v) materiais recicláveis ou reciclados podem ser incorporados na obra por meio da fabricação digital ou aditiva. Adicionalmente, a simulação por meio da IA permite avaliar a resiliência e a adaptação da infraestrutura aos efeitos das mudanças climáticas. Além disso, o uso de ferramentas digitais avançadas permite examinar ameaças e riscos e orientar a tomada de decisões em relação à seleção de locais de construção<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Algumas ferramentas digitais desse tipo são *Think Hazard*, *Climate Change Knowledge Portal*, *GeoNode*, *Building Resilience*, *VIGEA* e o *Observatório de Ameaças e Recursos Naturais* (Fischel et al., 2023).

Essas tecnologias digitais avançadas facilitam e promovem a implementação de metodologias e ferramentas para impulsionar a construção com enfoque sustentável.

### 2.1.1. Metodologia *Building Information Modeling*

A metodologia BIM<sup>6</sup> é um conjunto de metodologias, tecnologias e padrões que permitem projetar, construir e operar um ativo de forma colaborativa em um espaço virtual<sup>7</sup>. BIM possibilita organizar, estruturar, definir e capturar dados e informações (geométricas e alfanuméricas) valiosas, que podem ser gerenciadas pelas partes interessadas ao longo do ciclo de vida do projeto. A metodologia BIM pode ser aplicada a projetos de diferentes tipologias, independentemente de sua complexidade e envergadura. No entanto, deve ser implementada de maneira proporcional e adaptada à escala e à complexidade do ativo ou projeto<sup>8</sup>.

Por meio do manuseio e da gestão de modelos paramétricos tridimensionais e da incorporação de múltiplos dados (como tempo, custos, consumo de energia, condições ambientais, pegada de carbono, entre outros), permite aos usuários gerenciar a informação de maneira eficiente e centralizada, possibilitando automatizar processos e tarefas para o planejamento, design conceitual, simulação e análise, documentação, fabricação, logística de construção, operação, manutenção, reformas e/ou demolição do ativo, entre outros. Um exemplo disso é a iniciativa Passaporte de Materiais<sup>9</sup>, uma plataforma digital que, por meio da integração de modelos 3D paramétricos (BIM) com dados e funcionalidades, permite o registro, rastreabilidade, caracterização, verificação e validação de informações técnicas, de sustentabilidade, toxicidade e circularidade dos diferentes materiais e produtos utilizados na construção.

Por sua vez, os modelos tridimensionais digitais permitem gerenciar as características físicas e funcionais do ativo, além de possibilitar a integração e colaboração de profissionais, técnicos e partes interessadas na definição de um projeto preciso e detalhado, o que reduz a necessidade de

ajustes e/ou retrabalhos durante a fase de obra.

A metodologia BIM, por estar baseada em padrões, permite e facilita o compartilhamento de informações de forma estruturada e organizada entre os diferentes atores envolvidos no projeto, promovendo assim o trabalho colaborativo.

BIM é um facilitador-chave para a aplicação de tecnologias digitais avançadas no setor da construção (WEF, 2016). Ao ser integrada com outras tecnologias digitais avançadas apresentadas, BIM constitui uma plataforma digital poderosa e muito valiosa para planejar, projetar, construir e operar infraestruturas com menor impacto ambiental. Estudos mostram que a metodologia BIM permite aumentar a produtividade em 13%, reduzir em 4% os custos e prazos e diminuir em 6% as necessidades de informações em obra (Dodge Data & Analytics, 2017), além de contribuir para a sustentabilidade ambiental ao longo de todo o ciclo de vida da infraestrutura.

6 Representação digital compartilhada de um ativo construído (artigo, coisa ou entidade que tem valor potencial ou real para uma organização) para facilitar os processos de projeto, construção e operação, formando uma base confiável para as decisões, com base na ISO 19650-1 (2018).

7 Com base no Padrão BIM para projetos públicos, Planbim da CORFO (2019).

8 Com base em ISO 19650-1 (2018).

9 Na seção 3, ponto 3.1, são apresentados mais pormenores sobre esta ferramenta.

### Quadro Informativo 3. Exemplo de integração de soluções *Building Information Modeling* e *LEAN Construction*: avaliação de impactos do Projeto CAIF Aeroparque no Uruguai

A Corporação Nacional de Desenvolvimento (CND) do Uruguai, por meio do fundo fiduciário do Instituto da Criança e Adolescente do Uruguai (INAU), gerenciou, entre 2019 e 2021, um projeto piloto para a construção do CAIF Aeroparque utilizando a metodologia *Building Information Modeling* (BIM) nas etapas de projeto e construção, juntamente com a metodologia *LEAN Construction* durante a gestão. Esse projeto destacou-se pela integração de ambas as metodologias, com o objetivo de melhorar a eficiência e reduzir custos e prazos de execução.

A avaliação dos resultados do projeto piloto, baseada em técnicas de pesquisa quantitativas e qualitativas, mostrou uma maior eficiência no processo construtivo do CAIF Aeroparque em comparação com cinco grupos de controle. Em termos de tempo, o projeto exibiu um melhor desempenho nos indicadores de prazo de obra e de resposta a observações de obra, destacando-se especialmente em relação ao grupo de obras construídas durante a pandemia de COVID-19. Esse desempenho superior sugere que o CAIF Aeroparque possuía

melhores condições organizativas e operacionais para enfrentar os contratemplos decorrentes da emergência sanitária. O projeto piloto também mostrou tempos de resposta significativamente melhores frente a incidentes de obra, com variações de aproximadamente 50% em relação à média dos controles, e um desempenho superior ao menos no grupo de controle de centros CAIF com orçamento similar.

Em termos de custos, o projeto piloto registrou um sobrecusto 63% menor que o de obras similares executadas durante a pandemia, situando-se a mais de três desvios padrão da média. Esse resultado evidencia o impacto significativo da pandemia sobre os custos de construção e destaca o sucesso relativo do enfoque BIM-*LEAN Construction* para mitigar os efeitos negativos do contexto de crise no orçamento. A análise dos custos associados a imprevistos em relação ao custo total do contrato mostrou variações da ordem de 90% em comparação com a média dos cinco grupos de controle, confirmando um desempenho superior do projeto piloto na prevenção de erros e modificações críticas do orçamento.

Em resumo, as evidências sugerem que a integração das metodologias BIM e *LEAN Construction* no projeto piloto CAIF Aeroparque foi eficaz para reduzir tanto os prazos quanto os custos relativos de execução da obra. Um menor tempo de construção e menos imprevistos implicam uma redução do consumo de energia e um uso mais preciso de materiais, o que pode levar a emissões comparativamente mais baixas. Os resultados quantitativos e qualitativos, assim como as entrevistas com os protagonistas do projeto, reforçam esses achados e destacam a eficácia dessas metodologias para melhorar a eficiência e a gestão de projetos no setor da construção.

#### 2.1.2. Inteligência artificial

A IA<sup>10</sup> aplicada na gestão da construção pode contribuir para a sustentabilidade nas diferentes etapas do ciclo de vida dos projetos. Durante o planejamento e o design, auxilia na definição de designs sustentáveis, na análise de múltiplas propostas e na iteração de forma mais ágil, no desenvolvimento de simulações e análises complexas (eficiência energética, orientação solar, consumo de energia, pegada de carbono, desempenho de materiais, comportamento em condições climáticas extremas) e na obtenção de uma melhor resposta às mudanças climáticas e/ou aos desastres naturais.

Durante a construção, a IA facilita o planejamento do local e a logística da obra para otimizar áreas de trabalho, a sequência construtiva e as rotas de transporte eficientes, reduzindo o uso de recursos e o tempo de obra. Além disso, pode apoiar a gestão de resíduos ao identificar oportunidades para reciclar e reduzir resíduos, contribuindo para o cálculo da pegada de carbono da obra e identificando áreas de melhoria e redução de emissões de gases de efeito estufa (GEI).

<sup>10</sup> Segundo a definição da Real Academia Espanhola (RAE), "disciplina científica que se ocupa de criar programas informáticos que executam operações comparáveis às que realiza a mente humana, como o aprendizado ou o raciocínio lógico".

Na operação e manutenção, a IA pode contribuir para a gestão de energia vinculada à internet das coisas (IoT) e monitorar e controlar sistemas (aquecimento, ventilação, ar condicionado, iluminação e outros sistemas de energia) em tempo real para otimizar o consumo. Isso também pode facilitar a manutenção e aprimorar a análise de dados de sensores e sistemas de monitoramento, identificando potenciais falhas e priorizando atividades de manutenção. O funcionamento ótimo prolonga a vida útil e resulta em menor impacto ambiental. Por exemplo, utilizam-se metamodelos de redes neurais artificiais (ANN) para desenvolver simulações de desempenho do consumo de energia de edifícios, o que aprimora a definição do projeto, uma vez que o nível de precisão das simulações é altamente confiável e a relação entre a precisão obtida e o custo computacional é muito favorável (Roman et al., 2020).

### 2.1.3. Análise de dados massivos

A análise de dados massivos<sup>11</sup> ou *big data*<sup>12</sup> é uma ferramenta digital capaz de processar grandes volumes de dados para

<sup>11</sup> Provém originalmente do campo das ciências da computação e refere-se a um conjunto de dados cujo tamanho excede o que pode ser manipulado pelo software e hardware padrão (Rodríguez et al., 2017). Veja <http://dx.doi.org/10.18235/0000893>.

<sup>12</sup> Sua tecnologia foi desenvolvida com base em cinco pilares: volume, velocidade, variedade, veracidade e valor, e pode ser aplicada tanto a dados estruturados quanto não estruturados.

encontrar padrões, tendências e relações úteis por meio de técnicas estatísticas e matemáticas avançadas. A análise de dados aplicada à construção não só permite tomar decisões com mais informação, mas também contribui para a otimização contínua e para a melhoria do desempenho ambiental ao longo do tempo. A análise de dados massivos<sup>13</sup> e a IA são complementares, permitindo aumentar a eficiência no processamento de dados estruturados e não estruturados e a identificação de padrões, tendências e relações, o que pode ser de grande valor para definir a localização de projetos e para sua operação e manutenção.

### 2.1.4. Realidade virtual e realidade aumentada

A realidade aumentada permite aos profissionais e a todas as partes interessadas uma melhor visualização e compreensão dos projetos, facilitando a tomada de decisão e a comunicação. Simplifica a interação com os clientes e usuários do projeto, identifica

<sup>13</sup> A análise de dados massivos frequentemente exige técnicas e tecnologias para processar grandes volumes de dados de maneira eficiente, e a inteligência artificial (IA), especialmente no campo do processamento de linguagem natural, pode contribuir para aumentar a eficiência no processamento de conjuntos de dados não estruturados. Por sua vez, os algoritmos de aprendizado de máquina – ramo da IA – baseiam-se na análise de dados para se treinarem e melhorarem seu desempenho no processo de identificação de padrões, tendências e relações.

ajustes prévios à construção, o que diminui a possibilidade de retrabalhos e, conseqüentemente, reduz o impacto ambiental da construção. Além disso, a vinculação de realidade virtual<sup>14</sup> (RV), realidade aumentada<sup>15</sup> (RA) e IA facilita a geração de gêmeos digitais<sup>16</sup>, bem como a colaboração e tomada de decisões à distância, reduzindo a necessidade de deslocamentos e emissões. Na fase de operação, pode ser utilizada para a gestão contínua do ativo construído, melhorando a eficiência operacional, a gestão energética e o uso de recursos, aumentando sua vida útil e diminuindo as emissões.

### 2.1.5. Internet das coisas

A IoT<sup>17</sup> implica a conexão de sensores e dispositivos por meio da Internet para coletar dados em tempo real sobre o estado, uso e desempenho do ativo construído. Isso facilita o monitoramento e o controle automatizado de sistemas e melhora a eficiência energética e a segurança. Por exemplo, o uso de dispositivos e sensores

<sup>14</sup> Sistema informático que gera em tempo real representações da realidade.

<sup>15</sup> Tecnologia que utiliza a combinação de elementos virtuais com o ambiente físico para a visualização de informações.

<sup>16</sup> Implica replicar um edifício ou infraestrutura física em um ambiente digital.

<sup>17</sup> Termo que descreve a rede de objetos físicos que possuem sensores, software e outras tecnologias para se conectar e trocar dados com outros dispositivos e sistemas através da Internet.

IoT para monitorar e controlar o consumo de energia e a temperatura ambiental, os sistemas de iluminação e os sensores de ocupação. Esses dispositivos permitem ajustes automáticos para otimizar o uso e reduzir o desperdício de energia.

### 2.1.6. Blockchain

*Blockchain*<sup>18</sup> pode contribuir para a rastreabilidade da cadeia de suprimentos, acompanhar sua procedência e garantir que provenha de fontes sustentáveis. Além disso, permite manter um registro do conteúdo de carbono dos materiais, facilitando a tomada de decisões informadas. Também pode ser utilizado para armazenar e verificar certificações de sustentabilidade, como o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) ou o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), bem como para otimizar a gestão de resíduos, rastreando a quantidade e o destino dos resíduos de construção e demolição (RCD).

<sup>18</sup> *Blockchain* ou cadeia de blocos é uma base de dados compartilhada ou distribuída, onde as informações são armazenadas em blocos, ligados entre si e validados de forma descentralizada através de um protocolo comum.

### 2.1.7. Gestão de projetos na nuvem

Essa tecnologia oferece eficiência, colaboração e acesso a dados em tempo real; permite que as equipes e as partes interessadas colaborem de maneira eficaz em tempo real; reduz deslocamentos e reuniões presenciais, diminuindo as emissões associadas a esses deslocamentos. Também promove o uso de documentos eletrônicos em vez de cópias impressas, o que reduz o consumo de papel e tintas, além da necessidade de descartar resíduos. A documentação e os dados armazenados na nuvem facilitam a acessibilidade a longo prazo, melhoram a rastreabilidade e a transparência da informação e facilitam a gestão sustentável durante as fases do ciclo de vida do ativo.

### 2.1.8. Robótica avançada

Os robôs podem desempenhar um papel significativo na melhoria da sustentabilidade em projetos de construção durante todo o ciclo de vida. Na fase de obra, robôs de construção ou robôs escaladores podem acelerar o processo de construção, diminuindo o tempo de obra e o consumo de energia. Além disso, podem executar tarefas de maneira precisa e repetitiva, minimizando erros e reduzindo a necessidade de correções. Robôs autônomos e veículos não tripulados também são ca-

pazes de otimizar a logística e o transporte de materiais, com consequente mitigação do impacto ambiental, consumo de combustível e emissões de carbono. Durante a demolição, robôs especializados podem desmontar estruturas de forma seletiva, recuperando materiais e minimizando os resíduos de demolição. Eles também estão preparados para realizar tarefas perigosas, como trabalhar em ambientes contaminados ou em condições extremas, sem expor os trabalhadores a riscos, o que melhora a segurança e a sustentabilidade no local de trabalho.

### 2.1.9. Fabricação digital/aditiva (impressão 3D)

A impressão 3D é utilizada para fabricar componentes de construção diretamente no local da obra ou na fábrica. Isso acelera a construção, reduz o consumo de energia e a quantidade de desperdício em comparação a métodos tradicionais. Além disso, ao possibilitar a produção de componentes no local da construção ou em locais próximos, reduz a necessidade de transporte e as emissões de carbono associadas. Outro benefício é que pode incorporar materiais reciclados ou recicláveis, promovendo a sustentabilidade ao reduzir a demanda por novos recursos.

## 2.2. PROJETO COM ENFOQUE SUSTENTÁVEL

O projeto sustentável, também conhecido como ecodesign, leva em consideração o impacto ambiental desde a concepção de um produto, de forma a melhorar o desempenho ambiental ao longo de todo seu ciclo de vida. No contexto da construção, o projeto sustentável foca-se em criar edifícios e estruturas eficientes no uso de recursos naturais e energia, adaptados às condições climáticas e com mínimo impacto ambiental e emissões de GEI. Para alcançar a sustentabilidade, além do cumprimento dos códigos de construção e das normas técnicas locais, é crucial incorporar características como o uso eficiente de energia e água, a integração de energias renováveis, a redução de poluição e resíduos, a qualidade do ar interno, o uso de materiais sustentáveis e não tóxicos, a consideração do entorno no projeto, construção e operação, a melhoria da qualidade de vida dos ocupantes e a adaptação a um ambiente em constante mudança (Alvear et al., 2022)<sup>19</sup>. Esses enfoques de projeto sustentável são complementares e contribuem para criar ambientes construídos de forma mais res-

<sup>19</sup> Embora inicialmente o projeto sustentável tenha sido associado às edificações (projeto arquitetônico), gradualmente esse tipo de consideração também foi transferido para o projeto de infraestruturas em geral.

ponsáveis ambientalmente. A seguir, são apresentados alguns enfoques de projeto sustentável.

### 2.2.1. Projeto bioclimático

O projeto bioclimático, também conhecido como ecoarquitetura ou projeto verde, centra-se em tirar proveito das condições ambientais, climáticas e do entorno em benefício dos usuários, utilizando recursos locais disponíveis e buscando conforto com mínimo consumo energético e impacto ambiental. Uma variante desse tipo de projeto são os edifícios "passivos"<sup>20</sup>, que contam com critérios de eficiência energética<sup>21</sup> e buscam uma baixa demanda de energia para aquecimento e refrigeração, de forma que possam ser condicionados "passivamente" (Feist, 1993)<sup>22</sup>, reduzindo a necessidade de sistemas ativos. Baseiam-se em estratégias como o isolamento térmico, ventilação com recuperação de

<sup>20</sup> O conceito de "casa passiva" se popularizou nas escolas de arquitetura no início da década de 1980, a partir da publicação do livro *The Passive Solar House: Climate and Energy Conservation*, do Instituto de Arquitetura dos Estados Unidos (*The American Institute of Architects*).

<sup>21</sup> A eficiência energética permite a otimização do desempenho energético dos edifícios ao longo de seu ciclo de vida por meio da redução da demanda de energia, em comparação com edificações convencionais; isso se traduz em uma economia de recursos econômicos, entre outros benefícios associados (Fischel et al., 2023).

<sup>22</sup> Para serem consideradas "passivas", as construções devem seguir padrões rigorosos, como o do *Passive House Institute*, que é apresentado na seção 3.4.

calor ou resfriamento e a orientação para aproveitar condições ambientais externas. Outros elementos relevantes incluem a volumetria do edifício, a proteção solar e soluções naturais, como hortas urbanas e coberturas verdes (Fischel et al., 2023), que contribuem para reduzir o efeito de ilha de calor, melhorar o controle do escoamento, diminuir a poluição e o consumo de energia, e restaurar o habitat e o bem-estar das pessoas e dos ecossistemas<sup>23</sup>.

### 2.2.2. Eficiência e geração energética

Em adição às medidas de projeto bioclimático, é possível trabalhar na melhoria da eficiência energética do edifício. Isso permite otimizar o desempenho energético ao longo do ciclo de vida por meio da redução da demanda de energia, em comparação com edificações convencionais, o que resulta em economia de recursos econômicos, entre outros benefícios associados (Alvear et al., 2022).

Nesse sentido, diversas técnicas são aplicadas para reduzir as necessidades energéticas e aumentar a capacidade de absorção, armazenamento e geração de energia própria. Essas técnicas incluem a instalação de sistemas de climatização de alta eficiência, o uso de equipamentos eficien-

<sup>23</sup> Ver <https://www.minvu.gob.cl/ditec/infraestructura-verde-y-espacios-publicos-sustentables/>.

tes e sistemas de iluminação Light Emitting Diode (LED), além da incorporação de tecnologias de geração de energias renováveis, como painéis solares fotovoltaicos. A combinação dessas medidas pode fazer com que um edifício seja neutro em carbono ou até mesmo um edifício positivo, se a energia renovável gerada exceder a consumida (Fischel et al., 2023).

### 2.2.3. Projeto arquitetônico flexível

O projeto arquitetônico flexível é concebido para se adaptar às mudanças, incorporando componentes móveis e interativos que reagem a estímulos externos e modificam sua configuração. Esse enfoque permite evitar o sobredimensionamento de espaços e torna possível que os edifícios se adaptem a diferentes usos e necessidades ao longo do tempo. A flexibilidade no projeto pode reduzir a necessidade de demolir e construir novos edifícios, contribuindo para a sustentabilidade e a economia de energia. Exemplos atuais incluem o uso combinado de espaços para moradia e trabalho, o que apresenta novas oportunidades e desafios para o projeto flexível.

### 2.2.4. Projeto de construção resiliente

O projeto de construção resiliente combina materiais resistentes e métodos de construção orientados a aumentar a solidez dos ativos, especialmente em áreas

propensas a ameaças, como ventanias de furacões e inundações, entre outras. Isso inclui melhorias nas fundações, lajes, telhados, paredes externas e internas, caixilhos de janelas, fixações de telhados e conexões reforçadas em revestimentos, com critérios que devem ser adaptados conforme as características de cada local. A nível urbano, a resiliência se estende a infraestruturas como escoamento, sistema de esgoto, diques e muros de contenção, e sistemas de estabilização de encostas para reduzir o risco de inundações, erosão e desmoronamentos (Nações Unidas, 2012). Essas medidas são cruciais em áreas de alto risco, como as afetadas por furacões (Bailey et al., 2021) ou outros desastres naturais.

## 2.3. MATERIAIS SUSTENTÁVEIS

Diversos estudos demonstraram que o uso de materiais sustentáveis pode reduzir significativamente o impacto ambiental da construção. Thormark (2006) mostrou que uma seleção adequada de materiais pode diminuir a energia incorporada de 40% para 17% na demanda energética total de um edifício ao longo de 50 anos<sup>24</sup>. No Chile, aproximadamente um terço das emissões de carbono de um edifício residencial

<sup>24</sup> Existe uma relação direta entre a energia incorporada nos materiais e as emissões de CO<sub>2</sub> durante o seu processo de produção. De acordo com Cabeza et al. (2013), a pegada de carbono é aproximadamente 0,08 vezes o consumo de energia.

provêm dos materiais de construção<sup>25</sup>, e o concreto representa mais da metade (54%) dessas emissões (GBC Chile, 2023).

Os materiais de construção processados industrialmente têm um alto impacto ambiental devido à energia necessária para sua produção. Por exemplo, produzir um metro cúbico de concreto requer 100 vezes mais energia do que produzir a mesma quantidade de tijolos de terra compactada<sup>26</sup>, e um metro cúbico de asfalto requer de duas a quatro vezes mais energia para sua produção do que o concreto<sup>27</sup>. A produção de cimento consome muita energia em processos de queima, pulverização, embalagem e transporte, enquanto os tijolos de terra exigem menos energia e transporte (Houben, 1994).

Além dos custos energéticos, a extração de recursos minerais e a disposição de resíduos<sup>28</sup> de construção e demolição repre-

<sup>25</sup> Para o edifício avaliado, 12% do total de emissões de carbono no ciclo de vida da obra é explicado pelo transporte dos materiais.

<sup>26</sup> A produção de um metro cúbico de concreto consome entre 400 e 800 kWh, enquanto que para a produção de tijolos de terra são necessários apenas até 5 kWh por metro cúbico (Houben, 1994).

<sup>27</sup> Dados de avaliação do ciclo de vida (LCA).

<sup>28</sup> Os resíduos de construção são os resíduos gerados no processo de construção, manutenção e demolição de edifícios. De acordo com a sua procedência, os resíduos de construção podem ser divididos em cinco categorias: resíduos de escavação de terrenos; de remoção de rodovias; de demolição de edifícios antigos; de obras de construção; e da produção de materiais de construção (Kong e Ma, 2020).

sentam importantes impactos ambientais. Anualmente, mais de 10 bilhões de toneladas de resíduos de construção são geradas em todo o mundo (Chen et al., 2021), e mais de 80% desses resíduos são compostos por concreto, tijolos e elementos de decoração, entre outros materiais (Kong e Ma, 2020).

Para minimizar os danos associados ao uso de materiais de construção, podem-se seguir três estratégias principais: (i) conservação de materiais, uso de menos materiais e de materiais reciclados; (ii) emprego de materiais com baixa pegada de carbono e sustentáveis; e (iii) gestão eficiente para a redução de resíduos durante a construção, o funcionamento e a demolição do edifício (Fischel et al., 2023).

Os materiais sustentáveis são aqueles que provêm de recursos renováveis, têm baixas emissões de carbono, são duráveis e projetados para a resiliência climática, geram poucos resíduos e são recicláveis ou reutilizáveis. Além disso, o uso de materiais locais pode minimizar o consumo energético associado ao transporte. A seguir, apresenta-se uma breve síntese de alguns materiais sustentáveis disponíveis atualmente.

### 2.3.1. Madeira certificada

A madeira certificada é um dos materiais sustentáveis que podem ser utilizados na construção devido a seus múltiplos benefí-

cios ambientais e estruturais. Proveniente de florestas geridas de forma sustentável, a madeira absorve carbono, é renovável, gera menos emissões de GEI durante sua industrialização, e seu processo de construção é mais rápido<sup>29</sup> e de menor impacto ambiental. Além disso, possui alta capacidade isolante, exigindo menor consumo energético durante a operação<sup>30</sup>, gera menos resíduos e é reciclável. A pegada de carbono da madeira é muito baixa ou até mesmo negativa<sup>31</sup>.

Em termos de resiliência a desastres naturais, a madeira é benéfica devido ao seu bom comportamento antissísmico e sua flexibilidade, característica que a torna menos propensa a colapsos estruturais (Gallardo, 2020). Além disso, estudos recentes destacaram a sensação de aconchego e bem-estar que a madeira proporciona em ambientes construídos (Lowe, 2020).

29 O edifício Stadthaus, em Londres, com nove andares, foi construído em 49 semanas, e estima-se que a obra tenha demorado menos cinco meses em comparação com a construção em betão (TRADA Technology 2009, citado por Gallardo, 2020).

30 A madeira contribui para a eficiência energética devido à sua capacidade de condução de calor. Esta característica torna-a um isolante superior a outros materiais. É 400 vezes melhor do que o aço e 15 vezes melhor do que o betão (Gallardo, 2020).

31 A produção de uma tonelada de madeira absorve 1,8 toneladas de CO<sub>2</sub>eq, em contraste com as emissões de 0,9 toneladas de CO<sub>2</sub>eq e 1,24 toneladas de CO<sub>2</sub>eq resultantes da produção de uma tonelada de betão e aço, respetivamente (MVOT e BID, 2022).

A inovação em produtos de madeira engenheirada<sup>32</sup> permitiu seu uso em construções de grande altura, apresentando-se como uma alternativa aos materiais tradicionais para enfrentar o déficit habitacional e mitigar as mudanças climáticas. A construção baseada em produtos de madeira engenheirada implica uma mudança não só de material, mas de sistema construtivo, já que o processo está fundamentado em um sistema modular de construção.

### 2.3.2. Bambu

O bambu, especialmente popular em zonas tropicais, é um material natural de alta resistência e ecológico. É renovável e tem um impacto ambiental limitado devido ao seu rápido crescimento. Oferece benefícios ecológicos ao capturar dióxido de carbono e possui propriedades estruturais similares às das barras de aço no concreto (Hernández-Zamora, Jiménez-Martinez e Sánchez-Monge, 2021), o que o torna um material robusto e versátil.

32 Os produtos de madeira engenheirada para a construção podem ser classificados em duas categorias principais: os que são fabricados com madeira serrada, denominados madeira maciça ou *Mass Timber*, e os de madeira composta estrutural (*SCL*), fabricados unindo camadas de lâminas ou cavacos com a ajuda de adesivo, pressão e temperaturas. Ver <https://www.naturallywood.com/topics/mass-timber/>.

### 2.3.3. Materiais de isolamento natural

Os materiais de isolamento natural, como cortiça, lã, celulose e cânhamo, são opções sustentáveis na construção. Esses materiais são renováveis, recicláveis e biodegradáveis, e ajudam a reduzir o consumo de energia nos edifícios, diminuindo assim as emissões de GEI.

A cortiça, utilizada como isolante térmico e acústico, é biodegradável e reciclável, e requer pouca energia para sua transformação. Além disso, suas propriedades de isolamento térmico são competitivas em relação aos materiais isolantes modernos (Yay et al., 2024). No entanto, para garantir sua sustentabilidade, deve ser proveniente de florestas geridas de forma responsável. A celulose, com baixa condutividade térmica, é um excelente isolante acústico e pode ser tratada para ter propriedades ignífugas, inseticidas e antifúngicas. O cânhamo, utilizado para fabricar blocos de construção (Cannabric), não requer pesticidas e seu cultivo tem baixo impacto ambiental. Além disso, é poroso, facilita a ventilação, regula a umidade e purifica o ar; é reciclável e não contribui para as emissões de GEI durante sua fabricação, uma vez que consome quantidades muito baixas de energia (Hernández-Zamora, Jiménez-Martinez e Sánchez-Monge, 2021).

### 2.3.4. Terra

A terra, utilizada em forma de adobe e terra comprimida ou compactada, é um material abundante e ecológico. O adobe, feito de terra crua e secado ao sol, não contém substâncias tóxicas, é reciclável e tem uma baixa pegada de carbono devido à sua obtenção local e baixo consumo energético<sup>33</sup>. Além disso, possui grande capacidade como isolante, tanto térmico quanto acústico, favorece a regulação da umidade dos ambientes, é um material não inflamável e economicamente acessível, além de possibilitar a autoconstrução. No entanto, apresenta limitações em construções de grande altura e é vulnerável à água e a terremotos (CDT, 2022); além disso, podem existir certas barreiras nos códigos de construção da região (Alvear et al., 2023).

A terra cozida, utilizada para tijolos, telhas, blocos, lajes e revestimentos, é reciclável e sua obtenção consome menos energia que outros materiais. Graças ao seu processo de produção à base de argila aquecida abaixo de 950 °C, conserva suas propriedades de higroscopicidade, isolamento, baixa radioatividade e boa inércia térmica. Os

<sup>33</sup> O adobe requer uma energia de 2000 BTU para ser fabricado (na maioria das vezes, completamente de origem renovável, limpa e natural), enquanto o tijolo necessita de 15 vezes mais energia (30.000 BTU) e, além de sua fabricação, exige a queima de combustíveis que emitem CO<sub>2</sub> (CDT, 2022).

blocos de terra comprimida estabilizados são alternativas ecológicas e energeticamente eficientes aos tijolos cozidos, economizando até 70% da energia utilizada em sua produção (Reddy, 2009) e podendo armazenar resíduos industriais, como pó de pedreira, cinzas volantes, entre outros.

### 2.3.5. Pétreos

A pedra natural é um material durável e de baixa manutenção, com boas propriedades isolantes e uma baixa pegada de carbono em comparação com outros materiais. No entanto, as emissões de carbono associadas ao seu uso dependem da proximidade de sua origem ao local da construção. A produção de granito gera 93 kgCO<sub>2</sub> incorporado por tonelada, a produção de cimento, 830 kgCO<sub>2</sub>, e a de barras de aço, 1.710 kgCO<sub>2</sub> (Crishna, Banfill e Goodsir, 2011). No entanto, devido ao seu peso e volume e à energia consumida no transporte, as emissões de carbono só serão menores que as de outros materiais de construção quando sua origem estiver próxima ao local da obra (Crishna, Banfill e Goodsir, 2011)<sup>34</sup>.

<sup>34</sup> Por exemplo, de acordo com Crishna, Banfill e Goodsir (2011), no caso da pedra do Reino Unido entregue no país, a pegada de carbono do arenito, do granito e da ardósia é de 77, 107 e 251 kgCO<sub>2</sub>eq por tonelada, respectivamente. No entanto, quando é importada da Espanha, a pegada desde a extração até o destino aumenta de 134 a 318 kgCO<sub>2</sub>eq por tonelada.

### 2.3.6. Inovações na produção de concreto

O concreto tem um alto impacto ambiental devido ao clínquer utilizado no cimento, que libera uma tonelada de CO<sub>2</sub> por tonelada produzida. No entanto, estão sendo desenvolvidas abordagens para reduzir seu impacto ambiental (Cabeza et al., 2013)<sup>35</sup>, como a substituição do clínquer por materiais cimentantes complementares e subprodutos industriais, assim como o uso de agregados vegetais (arroz, milho ou girassol) (Grădinaru et al., 2019) e reciclados (resinas plásticas, poliestireno e borracha) (Bailey et al., 2021).

O concreto ecológico pode incluir cinzas volantes, fumaça de sílica e materiais reciclados, como plásticos e borracha, que melhoram seu desempenho térmico (Maddalena, Roberts e Hamilton, 2018) e reduzem as emissões de carbono entre 20% e 50%. A incorporação de biocarvão confere maior resistência e durabilidade, melhores propriedades térmicas e potencial de captura de carbono (Barbhuiya, Bhusan Das e Kanavaris., 2024).

Outras estratégias incluem a redução do volume necessário de concreto e o uso de componentes pré-fabricados que aumen-

<sup>35</sup> Esses autores estimaram que as emissões de CO<sub>2</sub> poderiam ser reduzidas em 15% se o nível de substituição do concreto fosse aumentado.

tem a eficiência da construção e minimizem os resíduos, como (i) uso de moldes ou preenchimentos para reduzir o volume de concreto; (ii) substituição de elementos por componentes pré-fabricados ou industrializados; e (iii) soluções compostas de concreto in loco, pré-fabricado e industrializado (Bailey et al., 2021). Outra alternativa é o desenvolvimento de concreto autorreparável, que prolonga a vida útil das estruturas e reduz a necessidade de intervenções externas, fundamental em termos de sustentabilidade e eficiência energética (Baque-Campozano, Pino-Tarragó e Delgado-Mendoza, 2023). Atualmente, existem quatro técnicas para promover a autocura no concreto: i) mistura com microcápsulas; ii) bactérias latentes; iii) polímeros com memória de forma; e iv) sistema vascular<sup>36</sup>, todas com grande potencial para enfrentar os desafios de sustentabilidade na construção. No entanto, há desafios importantes, como o treinamento no manuseio de materiais e técnicas de construção, e o desenvolvimento de padrões de segurança e protocolos de teste (Baque-Campozano, Pino-Tarragó e Delgado-Mendoza, 2023).

<sup>36</sup> Ver <https://www.dconstruccion.cl/?p=42273>.

### 2.3.7. Agregados

Os agregados podem ser reciclados, e, portanto, seu uso reduziria as emissões, a geração de entulho e o impacto ambiental. A utilização de agregados reciclados permite sua aplicação na restauração de áreas degradadas, estradas, drenagens e fabricação de argamassas e concretos.

A reciclagem de resíduos de construção é tecnicamente viável e amplamente utilizada em países desenvolvidos, como Espanha e Reino Unido. Vale destacar que Dinamarca, Países Baixos e Japão têm as taxas mais altas de reciclagem de resíduos de construção (Kong e Ma, 2020), o que contribui significativamente para uma construção sustentável.

## 2.4. SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA

Os sistemas construtivos são conjuntos coordenados de métodos, técnicas, materiais e processos utilizados na construção. Para serem sustentáveis, devem considerar alternativas responsáveis com o meio ambiente em todas as etapas. Existem sistemas avançados baseados na industrialização e padronização, como os métodos modernos de construção (MMC) (Reino Unido, Espanha) (ver quadro informativo 4); sistemas de construção industrializada (ISB), (Malásia, Tailândia); fabricação

fora do local (OSB) (Austrália); pré-fabricação, pré-montagem, modularização e fabricação fora do local (PPMOF) (Estados Unidos); construção fora do local (OSC) (China); construção volumétrica pré-fabricada e pré-acabada (PPVC) (Singapura) (ver quadro informativo 5); construção modular integrada (MIC) (Hong Kong); produção fora do local (OSP) (Alemanha); construção industrializada (Suécia, Finlândia, Dinamarca); habitação industrializada (Holanda); habitações pré-fabricadas (Japão, Filipinas), e construção modular (Canadá), entre outros (Sánchez-Garrido et al., 2023), que oferecem alternativas e podem contribuir para a sustentabilidade.

A industrialização da construção implica aplicar sistemas de produção industrial desde a concepção até a demolição. Isso inclui a produção industrial de elementos construtivos, um processo eficiente de execução em obra e a produção industrializada de unidades espaciais montadas em obra (Monjo Carrió, 2005). O critério fundamental é que da fábrica deve sair um sistema o mais acabado possível, com dimensões otimizadas e mínimas juntas, que facilite a rapidez de montagem e a solidez construtiva. O objetivo é obter conjuntos integrados e padronizados, mas que permitam certa personalização em acabamentos e dimensões (López, 2017).

A construção industrializada oferece múltiplos benefícios ambientais, incluindo a redução de resíduos de construção, favorecendo a recuperação e a reciclagem de materiais, e a redução do uso de recursos como energia e água. Além disso, utiliza menos mão de obra e reduz os tempos de execução. Estudos como o de Krug e Miles (2013) demonstraram reduções significativas (60%) nos movimentos de tráfego e diminuição no consumo de energia (80% consumida no local e 20% na construção), e o da Deloitte (2023) indica uma redução de 15% no custo da obra, de 70% nas emissões de CO<sub>2</sub> e de 40% nos prazos de entrega. Avaliações de ciclo de vida, como a realizada por Hernández, Ossio e Silva (2023) sobre o sistema<sup>37</sup>, revelam melhorias substanciais na produtividade laboral (47% maior), redução do consumo anual de energia (53%) e 51% a menos de emissões de carbono. Da mesma forma, ao aplicar a construção fora do local, observou-se uma diminuição de 68% dos resíduos de construção e uma redução de 49% e 54% nas emissões de energia e carbono associadas a esses resíduos, respectivamente. No entanto, a construção industrializada enfrenta desafios, como a falta de mão de obra

<sup>37</sup> O sistema Viga + Isolamento + Pilar (VAP) incorpora componentes de madeira, compensado e poliestireno expandido.

especializada, a escassez de suprimentos e a regulação existente (Rahman, 2014, citado por Yepes, 2020). Na região, as regulamentações desse tipo ainda são incipientes, embora se destaquem os avanços do Chile nessa área.

### 2.4.1. Pré-fabricação

A pré-fabricação é um sistema construtivo "fechado", no qual os componentes, como painéis de parede e tetos, são fabricados fora do local e montados no local da construção. Esse método racionaliza os processos ao modular os elementos e garante um alto nível de acabamento e qualidade final. A fabricação fora do local reduz os tempos de construção e minimiza os resíduos gerados, especialmente com materiais metálicos e de madeira, que possuem alta circularidade. Esses materiais se unem de forma simples e permitem estruturas limpas e facilmente recuperáveis, ideais para habitações reversíveis. A pré-fabricação também simplifica a manutenção, pois essa atividade se concentra nas junções entre os elementos. Além disso, é usada para uma resposta rápida diante de emergências climáticas ou desastres naturais.

### 2.4.2. Sistemas de construção leve

Os sistemas de construção leve e também a seco se baseiam no uso de perfis de aço galvanizado e são rápidos, econômicos e limpos devido ao planejamento de mon-

tagem. Esses sistemas utilizam materiais de baixo peso, como o aço leve, a madeira e painéis de gesso, que reduzem significativamente o peso por metro quadrado (18 kg por m<sup>2</sup>) em comparação com a construção convencional de concreto (300 kg por m<sup>2</sup>). Sua principal vantagem está na rapidez de montagem, podendo reduzir o tempo de construção em até 70% em comparação com métodos tradicionais. Essa eficiência também implica menor consumo de energia e recursos durante o processo e gera menos resíduos. Além disso, esses sistemas são caracterizados pela facilidade de transporte e manutenção, e seu impacto ambiental é menor em termos de emissões de CO<sub>2</sub> incorporadas nos materiais, de acordo com estudo de Hacker et al. (2008).

### 2.4.3. Construção modular

A construção modular envolve a fabricação de módulos em uma planta industrial e a montagem no local da construção, destacando-se entre os sistemas construtivos sustentáveis. Oferece vantagens como a redução dos prazos de construção, menor consumo de materiais e energia, diminuição de resíduos e alta eficiência energética. Os módulos pré-fabricados permitem uma economia de tempo de até

50%, por serem elaborados em condições controladas. Uma vez que chegam à obra, são montados e interrompem ao mínimo o andamento da construção, pois, em média, 80% da atividade de construção já foi realizada em outro local. Além disso, possibilitam a fabricação com tolerâncias rigorosas, reduzindo erros e melhorando a segurança. Apesar dos benefícios, a gestão adequada da cadeia de suprimentos e a redução das emissões de carbono permanecem como desafios importantes (Sanchez-Garrido, 2023).

### 2.4.4. Sistemas de impressão 3D

O sistema construtivo baseado em impressão 3D utiliza tecnologia de fabricação aditiva para criar componentes de construção camada por camada, tanto no local quanto fora da obra. É altamente versátil e permite a criação de uma ampla gama de componentes e estruturas complexas, como casas ou espaços habitacionais, escritórios, pontes, paredes, estruturas modulares, moldes de reforço e colunas, além de mobiliário urbano e elementos decorativos. Suas vantagens incluem a minimização de resíduos, a otimização do tempo de construção, maior segurança na obra e a personalização do projeto (Leles da Silva

et al., 2024)<sup>38</sup>. No entanto, enfrenta desafios importantes, como o custo das máquinas, a capacitação de pessoal (projetistas, operadores e equipe de manutenção) e a falta ou fragilidade de um marco regulatório adequado<sup>39</sup>.

38 Em um trabalho recente, Leles da Silva et al. (2024) desenvolveram e validaram um protótipo de impressora 3D em escala de bancada acoplada a um subsistema de bombeamento capaz de extrusar e suportar camadas sobrepostas, demonstrando a viabilidade de substituir os métodos tradicionais pela impressão 3D, bem como seus benefícios em termos de eficiência e redução de desperdícios.

39 Ver <https://www.cemexventures.com/es/impresion-3d-en-la-construccion/>.

## Quadro Informativo 4. Métodos modernos de construção no Reino Unido

As casas pré-fabricadas no Reino Unido foram utilizadas em períodos de alta demanda, como nos períodos pós-guerras mundiais; no entanto, devido a problemas com a qualidade dos materiais e a qualificação da mão de obra, gerou-se uma percepção negativa. Em 2003, diante de um déficit habitacional significativo, o governo do Reino Unido lançou o Plano de Comunidades Sustentáveis, centrado nos métodos modernos de construção (MMC). Esse plano pretendia transformar radicalmente a indústria da construção para produzir habitações na quantidade e qualidade requeridas (Lovell, 2012). A partir de 2004, um quarto das habitações sociais com fundos públicos deveriam utilizar os MMC. Essa iniciativa foi seguida por políticas públicas que incentivavam o uso de MMC, como programas de boas práticas, guias informativas, desenvolvimento de normas e fortalecimento de capacidades, entre outras<sup>a</sup>.

Os MMC englobam uma variedade de abordagens de construção que incluem pré-fabricação, melhorias de processos e aplicações tecnológicas, tanto fora do local quanto no próprio local da obra, e oferecem alternativas aos métodos tradicionais com potencial para melhorar significativamente a produtividade, a eficiência e a qualidade da indústria (Yepes, 2020). Em 2019, a Housing Corporation definiu os MMC em sete categorias (MHCLG MMC, 2019): i) módulos volumétricos 3D pré-fabricados; ii) painéis planos pré-fabricados; iii) componentes estruturais pré-fabricados; iv) manufatura aditiva (estrutural ou não estrutural); v) componentes não estruturais pré-fabricados; vi) uso de materiais de construção tradicionais aprimorados; e vii) processos no local que melhoram a produtividade, reduzem a mão de obra e aumentam a segurança.

Os benefícios da utilização dos MMC em comparação com a construção tradicional estão bem documentados em mais de 600 publicações realizadas até o momento sobre o tema<sup>b</sup>. Entre eles, destacam-se a melhoria nos prazos de entrega e na qualidade do produto final, maior produtividade e eficiência material, redução de riscos trabalhistas e menor impacto ambiental (tanto na redução da poluição do ar e sonora quanto na geração de resíduos). De acordo com o estudo recente de Sánchez-Garrido et al. (2023), a sustentabilidade é precisamente um dos impulsionadores do uso dos MMC.

a A política de promoção dos métodos modernos de construção (MMC) no Reino Unido continua até a atualidade e, segundo dados recentes, 7% do total de moradias desse país foram construídas utilizando os MMC (Sánchez-Garrido et al., 2023).

b Uma revisão sistemática da literatura utilizando-se *machine learning* pode ser encontrada em Sánchez-Garrido et al. (2023).

## Quadro Informativo 5. Normativa de construtibilidade e construção volumétrica pré-fabricada e pré-acabada em Singapura

Em 1999, o governo de Singapura estabeleceu a *Building and Construction Authority* (BCA) com o objetivo de desenvolver regulamentações para a construção, visando melhorar a produtividade do setor e reduzir o uso de mão de obra. Em 2001, a BCA introduziu a Pontuação Mínima de Projeto Construível (*Buildable Design Score* [BDS]), que avalia o projeto de um edifício no uso de mão de obra e promove a adoção de métodos de construção com componentes pré-fabricados, modulares e padronizados, além de processos eficientes de construção para projetos com mais de 5.000 m<sup>2</sup> (BCA, 2000).

Em 2019, a BCA aumentou as pontuações mínimas do BDS e incorporou uma nova norma, na qual se destaca o Projeto para a Fabricação e a Montagem (DfMA). Esse método implica projetar para fabricar fora do local, em um ambiente controlado antes da montagem na obra. O DfMA abrange diversas tecnologias e metodologias para a fa-

bricação externa, desde componentes pré-fabricados até montagens totalmente integradas nas diferentes disciplinas.

Um dos componentes do DfMA é a construção volumétrica pré-fabricada e pré-acabada (PPVC), a mais eficiente para melhorar a produtividade na construção (BCA, 2020). A PPVC consiste em fabricar módulos tridimensionais independentes com acabamentos completos, que são transportados e montados no local de construção. A PPVC é especialmente adequada para edifícios com múltiplos ambientes, como residências, instituições e hotéis, entre outros. Para a PPVC, são cruciais a coordenação precoce entre o fabricante e o empreiteiro principal durante o projeto, para incorporar soluções técnicas eficazes, e a logística para gerenciar o transporte dos módulos da fábrica ao local da construção.

O sistema PPVC, em comparação com métodos tradicionais, permite melhorar a produtividade da mão de obra em até 40% e economizar mais de 20% do tempo. Além disso, devido às atividades de fabricação fora do local, minimiza a contaminação, reduz os resíduos de construção e o impacto em bairros circundantes. A fabricação em um ambiente controlado também possibilita produtos mais confiáveis e de maior qualidade (BCA, 2020).

## 2.5. MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL

Medir, reportar e certificar o impacto ambiental dos ativos de construção é essencial para melhorar sua sustentabilidade. Isso implica gerar e monitorar informações ao longo do ciclo de vida dos ativos, utilizando a medição da pegada de carbono como uma ferramenta-chave. Os sistemas de certificação sustentáveis avaliam o desempenho ambiental no projeto, na construção e na operação, estabelecendo padrões e proporcionando uma estrutura para a melhoria contínua, o que contribui significativamente para a sustentabilidade do setor de construção.

### 2.5.1. Medição do impacto ambiental

A descarbonização da construção envolve compreender seus impactos, como o consumo de energia operacional e as emissões de carbono, por meio de uma contabilidade confiável (Peregalli, 2023; GBC Chile, 2023). Monitorar e analisar esses dados é essencial para identificar oportunidades de redução de emissões (GBC Chile, 2023). A pegada de carbono é crucial para medir esse impacto, mas a verificação é fundamental para garantir a precisão dos dados. Na América Latina e no Caribe, a falta de dados específicos do setor e a omissão no que diz respeito ao carbono incorporado e

operacional no ciclo de vida geram inconsistências (GBC Chile, 2023)<sup>40</sup>. Além disso, os fatores de emissão geralmente se baseiam em dados de países desenvolvidos, que não refletem a realidade da região (BID, 2023).

Existem várias metodologias para calcular a pegada de carbono que cobrem todas as etapas do ciclo de vida da construção, como as propostas pela *Royal Institution of Chartered Surveyors* (RICS, 2017), o *Carbon Leadership Forum* (CLF, 2018) e o *Building Research Establishment* (BRE), *Centre for Sustainable Products* (BRE, 2016). Além disso, há diversos programas, calculadoras online e ferramentas capazes de medir a pegada de carbono em edificações (GBC Chile, 2023) (veja o quadro 6).

De acordo com uma avaliação-piloto no Chile, um edifício residencial tradicional de 130 unidades emitiu 826,8 kg de CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> durante seu ciclo de vida (60 anos). Dessas emissões, 69% correspondem ao carbono incorporado e 31% ao carbono operacional.

<sup>40</sup> Embora as metodologias de cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> variem de um país para outro, o marco básico geralmente é o processo de avaliação do ciclo de vida. O ciclo de vida considera todas as etapas de um projeto de construção, desde o berço (extração de matérias-primas), a fabricação de produtos, o transporte e a instalação no local até a operação, manutenção e eventual descarte do material (a destinação final). Mais precisamente, as etapas do ciclo de vida são as seguintes: i) produção de matérias-primas; ii) construção do edifício; iii) operação do edifício; iv) fim de vida do edifício; e v) reutilização, reciclagem e recuperação de energia.

Aproximadamente um terço das emissões totais provém dos materiais utilizados, seguido pela energia operacional (31%), as substituições (18%), o transporte de materiais (12%) e o processamento de resíduos (4%) (GBC Chile, 2023).

## Quadro Informativo 6. Metodologias de cálculo de pegada de carbono

### *Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS, 2017)*

- ◆ **Desenvolvedor:** *Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS)*, uma organização internacional com sede no Reino Unido que estabelece padrões profissionais na gestão de propriedades, avaliação e construção.
- ◆ **Objetivo principal:** A metodologia da RICS se concentra em fornecer diretrizes claras e práticas para a medição da pegada de carbono de edifícios e ativos imobiliários. Busca facilitar a comparação e a melhoria do desempenho ambiental dos edifícios ao longo de seu ciclo de vida.
- ◆ **Características relevantes:** Destaca-se pelo foco na aplicabilidade prática e na integração com padrões internacionais de medição de carbono<sup>a</sup>. Fornece diretrizes detalhadas para a coleta de dados, cálculo de emissões e apresentação de resultados, adaptando-se a diversas escalas de projetos e tipos de edificações.

### *Carbon Leadership Forum (2018)*

- ◆ **Desenvolvedor:** *Carbon Leadership Forum*, uma rede de profissionais e acadêmicos dedicados a reduzir a pegada de carbono na indústria da construção, com sede nos Estados Unidos.
- ◆ **Objetivo principal:** Essa metodologia tem como objetivo promover práticas de construção mais sustentáveis, medindo e reduzindo as emissões de carbono associadas aos materiais e processos construtivos.
- ◆ **Características relevantes:** Destaca-se pelo enfoque na avaliação do ciclo de vida completo dos materiais de construção e sistemas estruturais. Incorpora ferramentas avançadas de modelagem e avaliação para quantificar as emissões ao longo de todo o ciclo de vida dos edifícios, desde a extração de matérias-primas até a demolição.

### *Building Research Establishment, Centre for Sustainable Products (BRE, 2016)*

- ◆ **Desenvolvedor:** *Building Research Establishment (BRE), Centre for Sustainable Products*, com sede no Reino Unido, um centro especializado em pesquisa e consultoria em sustentabilidade para a indústria da construção.
- ◆ **Objetivo principal:** Sua metodologia foca em analisar e melhorar a sustentabilidade dos produtos utilizados na construção, incluindo a medição da pegada de carbono como parte integral de suas avaliações de sustentabilidade.
- ◆ **Características relevantes:** Distingue-se pelo enfoque em pesquisa detalhada de produtos específicos utilizados na construção, aplicando metodologias de avaliação do ciclo de vida (LCA) para calcular as emissões de carbono associadas. Oferece ferramentas para a seleção de materiais mais sustentáveis e para a otimização de processos de fabricação.

Essas metodologias foram desenvolvidas para fornecer aos profissionais da construção instrumentos robustos para examinar e gerenciar as emissões de carbono, melhorar a transparência e a gestão ambiental no setor de construção, e facilitar a tomada de decisões informadas voltadas para a redução da pegada de carbono e para a promoção de práticas construtivas mais sustentáveis, contribuindo assim para a mitigação das mudanças climáticas no setor da construção em nível global.

a As etapas do ciclo de vida do projeto utilizam a estrutura modular proporcionada nas normas EN 15978, EN 17472, EN 15804, EN 15643, ISO 21931, partes 1 e 2, e ISO 21930.

### 2.5.2. Certificações e padrões

Os sistemas de verificação de padrões sustentáveis foram desenvolvidos em resposta aos desafios ambientais, estabelecendo critérios mínimos para características sustentáveis e atribuindo pontuações conforme seu cumprimento. Um selo indica a conformidade com determinados padrões, enquanto uma certificação resulta de um processo formal de avaliação independente. A certificação é mais valorizada quando um terceiro independente verifica e concede a conformidade (Alvear et al., 2023). Também é importante considerar que, geralmente, as certificações são voluntárias, sendo obrigatórias apenas quando o requerente assim o estabelece em suas condições de contratação. À medida que os órgãos estabelecem esses requisitos em suas contratações ou em sua regulamentação, e se definem critérios para sua exigência conforme tipologias ou valores dos projetos, o mercado será incentivado a acelerar sua adoção.

Entre as certificações internacionais de edifícios sustentáveis atualmente disponíveis, destacam-se as seguintes:

- ◆ LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), desenvolvida pelo Conselho de Construções Sustentáveis dos Estados Unidos (USGBC). Dispo-

nível para uma ampla gama de projetos, desde novas construções até operação e manutenção, avalia diferentes aspectos, como eficiência energética, gestão da água, seleção de materiais e qualidade ambiental interna (USGBC, 2020).

- ◆ EDGE (*Excellence in Design for Greater Efficiencies*), elaborada pela Corporação Financeira Internacional (IFC) do Banco Mundial. Foca na eficiência de recursos (energia, água e materiais), e exige pelo menos uma redução mínima de 20% no consumo de energia, água e energia incorporada nos materiais.
- ◆ BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), promovida pela BRE Global Ltd. do Reino Unido. Avalia o desempenho sustentável de qualquer tipo de edifício novo ou existente, considerando aspectos ambientais como uso do solo, transporte, energia, água, materiais, poluição e gestão de resíduos.
- ◆ *Green Globes*, semelhante ao LEED, foi implementada inicialmente no Canadá e é utilizada em vários países. Avalia aspectos como energia, água, emissões, materiais e gestão ambiental.
- ◆ *Passive House*, focada na extrema eficiência energética e no conforto interno.

Originou-se na Alemanha e busca minimizar o consumo de energia para aquecimento e resfriamento.

- ◆ WELL *Building Standard*, centrada na saúde e no bem-estar dos ocupantes do edifício, avalia a qualidade do ar interno, iluminação e conforto térmico, entre outros aspectos.
- ◆ *Green Star*, estabelecida pelo *Green Building Council* da Austrália (GBCA), avalia atributos sustentáveis em várias categorias, desde gestão e impacto no entorno até emissões.

Alguns países da ALC contam com selos e certificações sustentáveis nacionais, como AQUA-HQE, PROCEL EDIFICA-Eficiência Energética nas Edificações, Selo Casa Azul e Selo EDIF (Brasil), Certificação Edifício Sustentável e Certificação de Habitação Sustentável (Chile), Casa Colômbia (Colômbia), Requisitos para Edificações Sustentáveis no Trópico (RESET) (Costa Rica), Casa Guatemala (Guatemala) e Sisevive-Ecocasa (México), entre outros (Alvear et al., 2022).

Na ALC, os países com maior número de projetos de construção com certificação sustentável por milhão de habitantes são Costa Rica, Panamá, Chile, Peru, Colômbia e México, com valores superiores à média regional (Alvear, et al., 2023).

## 2.6. ABORDAGENS DE GESTÃO EFICIENTES

Projetos de construção frequentemente enfrentam atrasos que causam perda de tempo e recursos. De acordo com estimativas globais, 70% dos projetos têm sobrecustos e 61% sofrem atrasos (Barbosa et al., 2017). Esses problemas impactam negativamente na produtividade do setor e aumentam sua incidência ambiental, pois prolongam a fase de construção e geram maiores emissões de poluentes e de ruído, além de afetar negativamente os ecossistemas e a qualidade de vida local. Isso ressalta a necessidade de adotar métodos de gestão mais eficientes para reduzir o impacto ambiental.

Os componentes fundamentais na gestão de projetos de construção são (i) planejamento adequado; (ii) coordenação, colaboração e alinhamento das partes envolvidas; (iii) definição de papéis e responsabilidades; (iv) estabelecimento de indicadores-chave de desempenho; e (v) monitoramento e melhoria contínua dos processos. Existem abordagens específicas de gestão para a construção, como *LEAN Construction*, *Advanced Work Packaging* e *Design & Build*, que otimizam custos, prazos e qualidade, além de reduzir os impactos ambientais durante a execução dos projetos.

### 2.6.1. LEAN Construction

*LEAN Construction* é uma metodologia de gestão que busca a melhoria contínua, minimizar as perdas e maximizar o valor do produto final. Foca-se em eliminar trabalhos que não geram valor, reduzir desperdícios, gerir a variabilidade, manter o fluxo de trabalho constante e diminuir estoques, transporte e custos através de processos eficientes e adaptáveis. Algumas ineficiências nas quais o *LEAN Construction* se centra em reduzir incluem os tempos de espera por (i) escassez de equipamentos, ferramentas ou materiais; (ii) atividades incompletas ou mal realizadas; (iii) falta de instruções claras; (iv) acúmulo de inventário de materiais e pessoal; e (v) tarefas que não agregam valor ao projeto.

*Last Planner System* é uma ferramenta colaborativa de *LEAN Construction* que envolve os responsáveis de campo no planejamento de cada fase de trabalho, considerando as melhores alternativas disponíveis e gerindo as restrições para antecipar conflitos entre equipes e perdas de tempo.

Os resultados de aplicar o *LEAN Construction* incluem menores custos, maior qualidade, redução dos prazos de entrega e menor impacto ambiental devido à diminuição dos tempos de construção, ao uso eficiente de recursos e à redução de desperdícios.

### 2.6.2. Advanced Work Packaging

*Advanced Work Packaging (AWP)* é uma abordagem de gestão de projetos de construção que otimiza o planejamento e a execução de tarefas específicas ao longo do ciclo de vida do projeto. Definido pelo Instituto da Indústria da Construção (CII, 2021), o AWP organiza o processo em pacotes de trabalho de construção, engenharia e instalação, desde o planejamento inicial até o projeto detalhado e a execução. Esse método fornece um framework para uma construção produtiva e progressiva, garantindo um plano de execução da construção.

Os benefícios do AWP incluem um aumento de 25% na produtividade, uma redução de 10% nos tempos de construção e uma melhora na segurança durante o processo. Embora o AWP não se concentre diretamente na sustentabilidade, sua implementação pode contribuir para uma construção sustentável, graças à maior eficiência e à diminuição dos tempos de execução.

### 2.6.3. Design & Build

*Design & Build* é um método contratual que busca otimizar a execução e melhorar a qualidade dos projetos de construção ao integrar as etapas de projeto e construção sob uma única responsabilidade. Diferente do esquema tradicional de contratos sepa-

rados, no método *Design & Build* uma empresa assume tanto o desenvolvimento do projeto quanto a execução da construção como um pacote completo. Isso permite que os diferentes papéis no processo (contratante principal, projetista e construtor) colaborem desde a fase de projeto, propondo soluções técnicas, econômicas e de cronograma para atender às necessidades do contratante. As mudanças são geridas por essa equipe integrada, o que promove a colaboração e a inovação na execução do projeto. Esse método contrasta com o enfoque convencional, onde o projeto é realizado separado da construção, dificultando a integração da experiência construtiva nas fases iniciais e reduzindo a capacidade do empreiteiro de assumir responsabilidades em caso de deficiências no projeto.

O *Design & Build* oferece vantagens comparativas, como maior eficiência e velocidade de entrega, distribuição mais clara de responsabilidades, melhor gestão de riscos, controle de custos e orçamento, maior qualidade e satisfação do cliente, além de redução de conflitos e reclamações graças à colaboração antecipada e contínua entre as partes envolvidas. Essas vantagens estão diretamente relacionadas com o modelo contratual utilizado e a colaboração promovida entre as partes.

As oportunidades de melhoria na gestão da construção incluem não apenas as fases de projeto e execução, mas também a operação, como o monitoramento da infraestrutura e a manutenção corretiva, preventiva e preditiva, apoiada por tecnologias digitais avançadas. Isso também permite gerenciar de forma antecipada e eficiente o projeto, a logística e a montagem na construção, o que reduz resíduos, retrabalhos e atrasos e, por sua vez, diminui a demanda de energia e recursos, potencialmente reduzindo o volume de emissões.

Durante a construção e ao final da vida útil da infraestrutura (desconstrução), é possível reduzir o impacto ambiental por meio de uma gestão adequada dos resíduos de construção e demolição (RCD) e da promoção da reciclagem e reutilização de materiais. Atualmente, o aterro sanitário é o método principal para dispor esses resíduos, o que causa impactos ambientais, como o consumo de espaço terrestre e de recursos, o esgotamento de aterros e a contaminação do ar, da água e sonora (Akanbi et al., 2018, citado por Chen et al., 2021).

## 2.7. INTER-RELAÇÃO DE SOLUÇÕES PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Apresentadas as seis categorias de soluções que habilitam a construção sustentável, constata-se que elas podem se relacionar entre si, potencializando a capacidade de reduzir os impactos ambientais negativos de maneira geral. A digitalização, em seu conceito amplo, é identificada como a plataforma fundamental que permitirá integrar essas soluções de forma mais eficiente e eficaz, contribuindo para a transformação do setor rumo à uma construção mais sustentável. A seguir, no gráfico 2, são apresentados alguns exemplos e um esquema dessas relações entre diferentes tipos de soluções.

- ◆ A bioconstrução combina a abordagem de projeto sustentável e o uso de materiais ecológicos com baixo impacto ambiental. Os critérios de projeto bioclimático vinculados a modelos BIM e processos de medição e validação facilitam a verificação de padrões de eficiência energética e a obtenção de certificações.
- ◆ Os produtos de madeira engenheirada — como Mass Timber e Madeira Laminada (CLT ou GLULAM), entre outros — combinam materiais sustentáveis e construção industrializada. O uso de BIM é

essencial no processo de produção, pois facilita a comunicação de informações entre equipes de projeto, fornecedores e linhas de fabricação.

- ◆ A construção industrializada e BIM permitem o controle dos processos de fabricação, construção e montagem, simplificam a interação e oferecem flexibilidade durante o processo de design das soluções construtivas. Além disso, podem indicar guias ou códigos para um processo de montagem rápido, simples e sem erros.
- ◆ A aplicação de métodos de gestão eficientes, como *LEAN Construction*, juntamente com a incorporação de IA e aprendizado de máquina, permite desenvolver sistemas preditivos e de alerta antecipado de atrasos e desvios no cronograma, reduzindo os prazos de execução e a pegada de carbono das obras. A integração das metodologias *LEAN Construction* e BIM potencializa seus benefícios para melhorar a gestão, reduzir os tempos de execução das obras e diminuir o impacto ambiental.
- ◆ O uso de modelos BIM, a captura e coleta de dados por meios digitais (drones e scanners) e a análise por IA permitem a análise de comportamento e a verificação do andamento da obra, além de contribuir para o planejamento da ma-

Gráfico 2. Exemplos de inter-relação entre tipos de soluções para a construção sustentável



Fonte: Relatório final de consultoria do BID, “Mapeamento de ferramentas digitais e métodos construtivos inovadores para um setor de Construção Sustentável” (Baptista, 2024).

nutrição preditiva, o que melhora o desempenho e a vida útil do projeto ou ativo.

- ◆ O emprego da metodologia BIM para a análise do ciclo de vida permite calcular de forma ágil e eficiente a energia embutida e medir a pegada de carbono da construção.
- ◆ A fusão de modelos paramétricos digitais e critérios de circularidade permite estimar o potencial de redução do impacto dos projetos, vinculando a pegada de carbono e o uso de materiais sustentáveis, facilitando a gestão eficiente dos resíduos de construção.
- ◆ A integração do Passaporte de Materiais (ou iniciativas similares) de construção com tecnologias como BIM e IA, junto com métodos de gestão eficientes como LEAN Construction, facilitará a implementação de sistemas de gestão de resíduos em tempo quase real. Isso otimizará a segregação e o reciclagem de resíduos de construção, enfrentando um dos principais desafios da indústria: a ineficiência na segregação de materiais e a limitada capacidade de armazenamento de resíduos. Essa inovação não apenas melhorará as práticas de sustentabilidade, mas também promoverá uma economia circular dentro do setor.

Conforme indicado na introdução, no contexto desta Nota Técnica, o conceito de construção sustentável também incorpora as dimensões de adaptação e resiliência climática. Nesse sentido, as diferentes categorias identificadas contribuem para melhorar o desempenho da infraestrutura diante dos efeitos das mudanças climáticas e desastres naturais, e algumas delas, em particular, facilitam o acesso a informações melhores para definir e avaliar critérios de adaptação. Isso é especialmente importante na ALC, uma vez que os efeitos das mudanças climáticas estão provocando um aumento na frequência e intensidade de fenômenos climáticos extremos, que exacerbam outros eventos de grande impacto, como inundações, deslizamentos de terra, incêndios florestais e avalanches (Fischel et al., 2023). A seguir, são apresentados alguns exemplos e um esquema no gráfico 3.

- ◆ A análise de modelos paramétricos e a simulação de desempenho possibilita que os projetos possuam estruturas capazes de suportar e mitigar danos associados a eventos extremos (inundações, tempestades, furacões ou sismos) e garantam a segurança e a sustentabilidade a longo prazo da infraestrutura; ou seja, fortalecem sua resiliência climática.

- ◆ Alguns materiais de construção possuem propriedades físicas, mecânicas, térmicas e/ou ambientais que os tornam naturalmente resilientes às mudanças climáticas. Por exemplo, madeira maciça (Mass Timber) resistente ao fogo, isolantes como a celulose tratada, que possui propriedades térmicas e ignífugas, e concreto permeável com baixo carbono, que permite a drenagem de água no pavimento em casos de tempestades intensas, escoamentos e inundações.
- ◆ Sistemas construtivos que utilizam juntas e ancoragens estruturais para melhorar a capacidade de transferir as forças de elevação, provenientes de ventos e furacões, desde o telhado através da estrutura do edifício até a fundação (Bailey et al., 2021).
- ◆ Modelos digitais paramétricos (BIM) e IA para avaliar os riscos de localização da infraestrutura e o desenvolvimento urbano em relação às mudanças climáticas.

- ◆ Modelos digitais paramétricos (BIM) que permitem: (i) a simulação e o planejamento da gestão da infraestrutura em caso de riscos de emergência climática e/ou desastres naturais, e (ii) a simulação e avaliação de cenários para planejar a gestão de desastres e a recuperação pós-emergências.
- ◆ Teste e certificação do nível de capacidade adaptativa às mudanças climáticas, incluindo a avaliação do cumprimento de códigos e normas técnicas de construção existentes a nível internacional para enfrentar as ameaças que, segundo projeções, serão exacerbadas pelas mudanças climáticas; entre elas, ventos, furacões e inundações.

**Gráfico 3. Exemplos de inter-relação entre tipos de soluções para a construção sustentável e a resiliência climática, bem como a desastres naturais**

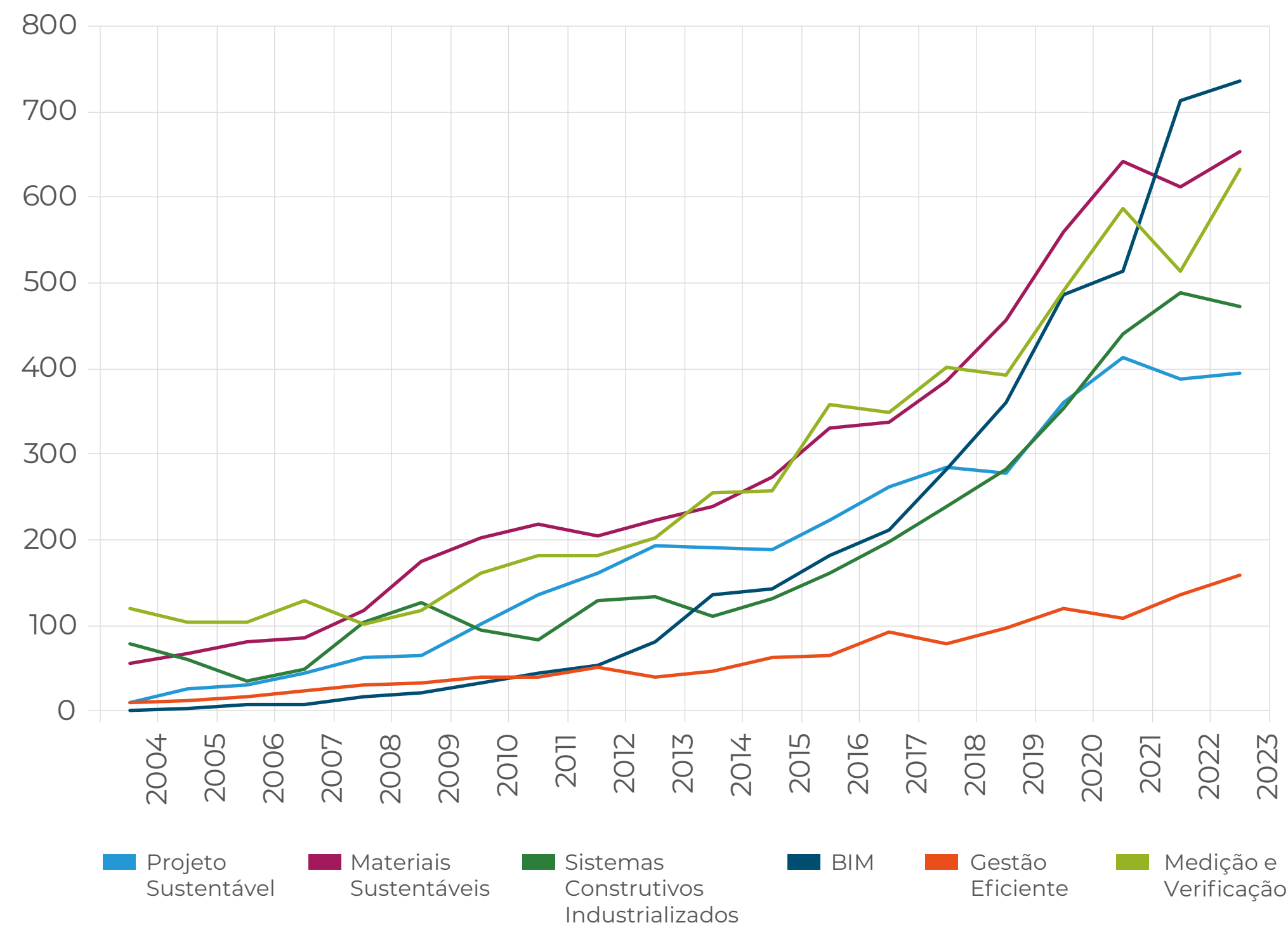


Fonte: Relatório final de consultoria do BID, “Mapeamento de ferramentas digitais e métodos construtivos inovadores para um setor da construção sustentável” (Baptista, 2024).

## 2.8. GERAÇÃO DE CONHECIMENTO SOBRE TIPOS DE SOLUÇÕES

Nos últimos vinte anos, houve um forte e sustentado crescimento da produção científico-tecnológica em nível global vinculada às categorias apresentadas, com taxas de crescimento médio anual entre 9% e 37% entre 2004 e 2023. A maior produção anual é registrada para as categorias de tecnologias digitais avançadas (BIM, com uma média de 37%), materiais de construção sustentáveis, medição e verificação do impacto ambiental das construções e sistemas construtivos industrializados, nessa ordem, conforme pode ser observado no gráfico 4. Na ALC (veja-se os gráficos A5.3 e A5.4 do anexo V), entre 2005 e 2022, a produção de artigos sobre essas temáticas teve uma média anual de 23%, embora represente apenas 3,6% da produção anual. No anexo V é apresentado um estudo da produção científico-tecnológica associada aos temas de construção sustentável em geral.

Gráfico 4. Publicações científico-tecnológicas em Scopus e segundo o tipo de solução para a construção sustentável (2004-23)



Fonte: Scopus (Portal Timbó, ANII), consultado em março de 2024.

# 3

## EXPERIÊNCIAS, OBJETIVOS E OPORTUNIDADES PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL NA AMÉRICA LATINA E NO CARIBE

No âmbito do presente estudo, foi realizada uma análise qualitativa por meio de entrevistas semiestruturadas com atores relevantes de organizações governamentais, empresariais e acadêmicas ou profissionais de quatro países da América Latina e no Caribe (ALC): Brasil, Chile, Costa Rica e Uruguai. O objetivo da coleta de dados foi reunir percepções, abordagens e evidências sobre iniciativas, obstáculos e desafios, os fatores promotores e as boas práticas para a implementação da digitalização e de soluções inovadoras para uma construção com foco sustentável na região. No quadro 1, apresenta-se uma síntese das organizações que participaram da coleta, classificadas por tipo de instituição e país.

Quadro 1. Distribuição das organizações analisadas segundo tipo e país

País	Tipo de organização		
	Governamental	Empresarial	Acadêmica/profissional
Brasil	Ministério das Cidades (MCIDADES)		Universidade Federal de Santa Catarina (UFCS) Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS)
Chile	Ministério de Obras Públicas (MOP) Construye2025	Câmara Chilena da Construção (CChC) Conselho de Construção Industrializada (CCI)	Centro Tecnológico para a Inovação na Construção (CTEC)
Costa Rica	Ministério de Ambiente e Energia (MINAE)		Instituto Nacional de Aprendizagem (INA) Colégio Federado de Engenheiros e Arquitetos (CFIA) Universidade Internacional das Américas (UIA)
Uruguai	Ministério de Habitação e Ordenamento Territorial Corporação Nacional para o Desenvolvimento (CND)	Câmara da Construção do Uruguai (CCU)	Universidade ORT
Regional	Rede BIM de Governos Latino-americanos (BIM Gov Latam)	Inconet - Federação Interamericana da Indústria da Construção (FIIC)	Rede Latino-americana de Madeira Estrutural (RELAMAD)

Fonte: Elaboração própria baseada na lista de entrevistados (anexo I).

Nas próximas seções, são apresentados os principais resultados das entrevistas realizadas, organizados conforme os diferentes eixos abordados na coleta de dados: i) iniciativas; ii) tipo de soluções promovidas; iii) obstáculos e desafios; iv) fatores promotores; e v) identificação de boas práticas.

### 3.1. INICIATIVAS QUE CONTRIBUEM PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

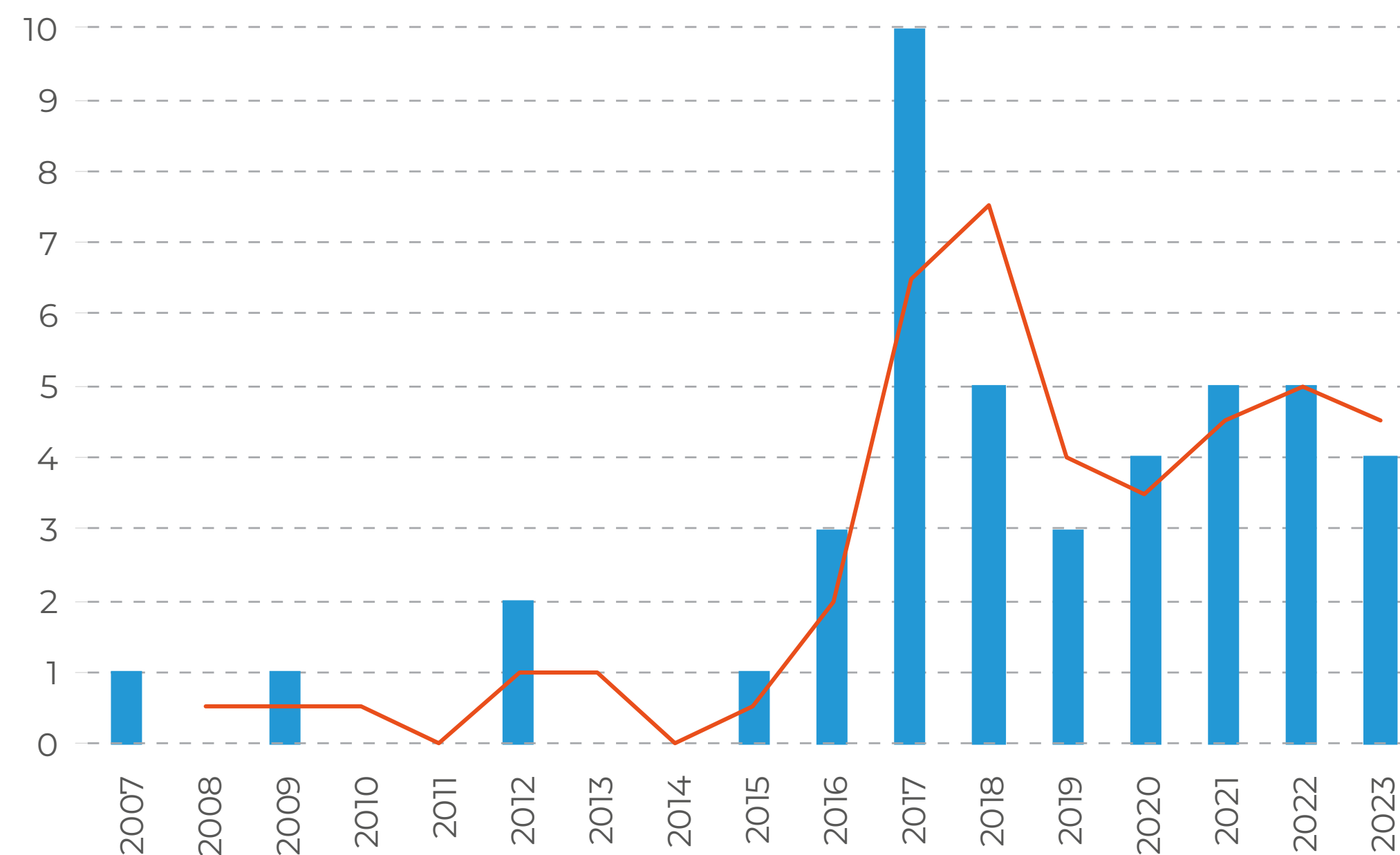
Nesta seção, sintetiza-se a informação sobre as principais iniciativas e/ou práticas que contribuem para o desenvolvimento de um setor de construção com foco sustentável no Brasil, Chile, Costa Rica e Uruguai, identificadas a partir das entrevistas realizadas. Ademais, analisa-se em que medida essas iniciativas envolveram ou envolvem diretamente organizações pertencentes a diferentes setores institucionais.

A partir das entrevistas, foi possível identificar pelo menos 44 iniciativas nos países analisados, que contribuem, direta ou indiretamente, para o desenvolvimento de um setor de construção sustentável. É importante mencionar que o levantamento realizado não foi exaustivo, e teve como objetivo uma aproximação às práticas relacionadas ao tema. Com essa consideração, o gráfico 5 apresenta a evolução temporal das iniciativas.

Desde 2015, surgiram de maneira contínua ações orientadas para promover a construção sustentável nos países analisados. Esse período coincide com a assinatura do Acordo de Paris da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática, que estabelece metas para a descarbonização da economia global e a resiliência climática para 2050, gerando um senso de urgência global sobre a sustentabilidade ambiental e a crise climática. A evolução das iniciativas, conforme mostrado no gráfico 5, reflete o surgimento e o posicionamento da construção sustentável como uma nova área de políticas em nível nacional ou institucional nos países analisados. No entanto, esse processo apresenta particularidades específicas em cada país.

No anexo III, “Iniciativas identificadas por país,” podem ser observados os quadros A3.1., A3.2., A3.3. e A3.4., que apresentam a lista de iniciativas identificadas a partir das entrevistas nos quatro países. Os quadros contêm informações sintéticas sobre as organizações que participaram dessas iniciativas e o setor institucional (governamental, empresarial ou acadêmico/profissional) da organização que assumiu o papel de liderança.

Gráfico 5. Número de iniciativas identificadas que contribuem para a construção sustentável



Fonte: Elaboração própria baseada nas entrevistas realizadas (2023-24).

#### 3.1.1. Síntese das iniciativas identificadas

O levantamento qualitativo identificou pelo menos 44 iniciativas voltadas para o desenvolvimento de um setor de construção sustentável, das quais dois terços são lideradas pelo setor governamental. A evolução temporal dessas iniciativas ganha impulso a partir de 2015, com um aumento notável em 2017, seguido por uma tendência homogênea entre 2018 e 2023, refletindo o crescente interesse e posicio-

namento da sustentabilidade nas políticas nacionais e institucionais.

Existe uma considerável heterogeneidade entre os países quanto às estratégias de articulação interinstitucional em dois níveis: i) entre organizações do setor governamental e ii) entre organizações governamentais, empresariais e pertencentes ao setor acadêmico ou profissional. No Chile, observa-se uma maior coordenação público-público, favorecida por um mecanismo

de cooperação precoce e uma estratégia deliberada de envolver o setor empresarial e acadêmico ou profissional. No Brasil e na Costa Rica, muitas iniciativas governamentais contam com forte apoio de organizações acadêmicas e profissionais. No Uruguai, o setor empresarial, principalmente a Câmara de Construção do Uruguai (CCU), participa frequentemente de iniciativas públicas, mas a participação do setor acadêmico ou profissional está mais limitada a projetos pontuais.

De maneira geral, foram identificadas algumas convergências entre os países:

1. Todos os países promoveram a construção sustentável focada em habitações para a população de baixa renda.
2. Os órgãos de construção dos quatro países incorporaram a sustentabilidade em sua agenda de trabalho<sup>41</sup>, abrangendo dimensões ambientais, econômico-financeiras e, em alguns casos, sociais.

<sup>41</sup> A institucionalização de linhas de trabalho específicas vinculadas à sustentabilidade ambiental na construção também é evidenciada em instituições dos setores governamental, acadêmico e profissional de vários dos países analisados.

3. O setor empresarial liderou iniciativas para incorporar tecnologias digitais avançadas, especialmente a metodologia BIM, com esforços de articulação público-privada tanto em nível nacional quanto regional.

### 3.2. TIPOS DE SOLUÇÕES PROMOVIDAS

Esta seção analisa a relação das iniciativas voltadas para a construção sustentável no Brasil, Chile, Costa Rica e Uruguai com as seis categorias de soluções apresentadas na seção 2 deste documento.

O gráfico 6 classifica as 44 iniciativas identificadas de acordo com o tipo de solução que promovem. Mais da metade dessas iniciativas estão relacionadas à medição e verificação da sustentabilidade da construção e a enfoques de gestão eficientes. Em seguida, identificam-se aquelas que incentivam estratégias de projeto sustentável. No entanto, é notavelmente menor o número das que promovem a adoção de sistemas construtivos industrializados e o uso de materiais sustentáveis.

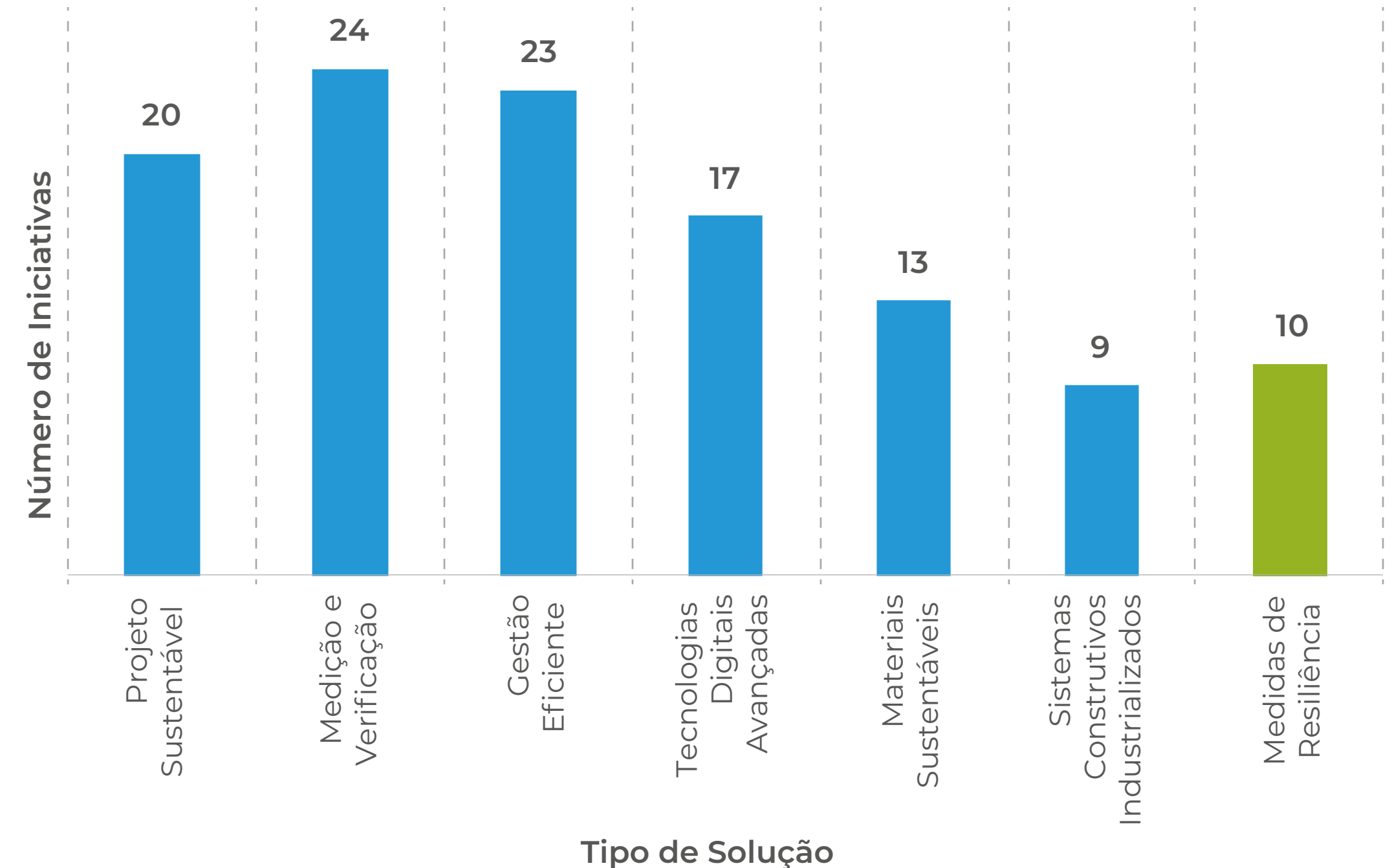
Esse último resultado é significativo porque países líderes em construção sustentável, como o Reino Unido ou Singapura, estão focando seus esforços precisamente em soluções vinculadas à construção industrializada e à incorporação de tecnologias

digitais avançadas como facilitadoras ao longo do ciclo de vida dos ativos. Também é importante esclarecer que a relação entre as iniciativas pode potencializar os resultados, e uma das que gera maior impacto é a das tecnologias digitais avançadas, pois permitem viabilizar processos mais eficientes e padronizados. Isso sugere que existem

importantes oportunidades para avançar nessas áreas nos países da região.

No anexo IV, "Tipos de soluções promovidas por país", são analisados os tipos de soluções promovidas nas iniciativas que contribuem para a construção sustentável, identificadas a partir de um levantamento qualitativo em cada país.

Gráfico 6. Iniciativas identificadas segundo tipo de solução



Fonte: Elaboração própria com base nas entrevistas realizadas (2023-24).  
Nota: consultar a seção 2 para mais informações sobre cada tipo de solução.

### 3.2.1. Análise integrada

O estudo revela uma integração limitada entre os diferentes tipos de soluções nas iniciativas que promovem a construção sustentável nos países analisados. Cerca de 34% dessas iniciativas focam em um único tipo de solução, enquanto aproximadamente um terço (32%) abrange duas categorias diferentes de soluções. O restante (34%) aborda três ou mais soluções, e apenas quatro iniciativas (9%) cobrem todas as soluções. Essa falta de integração indica oportunidades de aprimoramento no desenho de políticas de incentivo à construção sustentável na região (para mais detalhes, consulte os quadros A4.1., A4.2., A4.3. e A4.4. no anexo IV).

Ao examinar como os diferentes tipos de soluções são combinados nessas iniciativas, o quadro 2 revela uma associação significativa entre o incentivo ao design arquitetônico sustentável, a mensuração e verificação de sua sustentabilidade, e o uso de abordagens de gestão eficiente. As iniciativas que promovem o uso de materiais sustentáveis costumam integrar essas práticas e métodos. Aquelas que incentivam sistemas construtivos industrializados tendem a abranger todas as categorias de soluções propostas. No entanto,

Quadro 2. Inter-relação entre os diferentes tipos de soluções e as iniciativas identificadas em Brasil, Chile, Costa Rica e Uruguai

Tipo de Solução		Projeto Sustentável	Medição e Verificação de Impacto Ambiental	Abordagens de Gestão Eficiente	Tecnologias Digitais Avançadas	Materiais Sustentáveis	Sistemas Construtivos Industrializados	Resiliência
Projeto Sustentável	N	20	12	10	6	10	7	9
	%	100%	60%	50%	30%	50%	35%	45%
Medição e Verificação de Impacto Ambiental	N	12	24	17	7	11	5	4
	%	50%	100%	71%	29%	46%	21%	17%
Abordagens de Gestão Eficiente	N	10	17	23	9	10	6	5
	%	43%	74%	100%	39%	43%	26%	22%
Tecnologias Digitais Avançadas	N	6	7	9	17	5	6	2
	%	35%	41%	53%	100%	29%	35%	12%
Materiais Sustentáveis	N	10	11	10	5	13	6	4
	%	77%	85%	77%	38%	100%	46%	31%
Sistemas Construtivos Industrializados	N	7	5	6	6	6	9	1
	%	78%	56%	67%	67%	67%	100%	11%
Resiliência	N	9	4	5	2	4	1	10
	%	90%	40%	50%	20%	40%	10%	100%

Fonte: Elaboração própria com base nas entrevistas realizadas (2023-24).  
Nota: N=44.

as iniciativas para favorecer o uso de tecnologias digitais avançadas na construção

apresentam pouca integração com outras soluções para a construção sustentável<sup>42</sup>.

<sup>42</sup> De fato, salvo algumas exceções pontuais, as tecnologias digitais avançadas não são visualizadas espontaneamente pelos entrevistados como uma ferramenta que pode contribuir para a construção sustentável.

Nas entrevistas, alguns entrevistados expressaram interesse institucional em avançar em áreas específicas relacionadas à construção sustentável e à construção resiliente às mudanças climáticas. No caso do Uruguai, destacou-se o interesse na medição da pegada de carbono e na construção industrializada. Na Costa Rica, mencionou-se o compromisso de continuar desenvolvendo a iniciativa Bandeira Azul Ecológica de Construção Sustentável (BAECS)<sup>43</sup> e, eventualmente, compartilhar essa ferramenta com outros países da região, especialmente na América Central.

### 3.3. OBSTÁCULOS E DESAFIOS

No âmbito do levantamento qualitativo, foi solicitado aos entrevistados que indicassem quais consideravam os principais desafios associados à implementação de iniciativas de promoção da construção com enfoque sustentável em seus respectivos países, assim como os fatores que dificultaram a implementação dessas iniciativas. Os desafios mencionados com maior frequência estão relacionados a (i) a existência de lacunas de informação e conheci-

43 Desde 2017, a certificação Bandeira Azul Ecológica de Construção Sustentável (BAECS) reconhece as boas práticas ambientais, econômicas e sociais na concepção e construção de infraestruturas na Costa Rica. O Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) desenvolveu uma ferramenta que permite promover e implementar a contratação pública inovadora. Ver <https://innovationprocurementcompass.com/>.

mento; (ii) as fragilidades institucionais do setor governamental; e (iii) a percepção de incompatibilidade entre sustentabilidade ambiental e econômica. A seguir, aprofunda-se a análise desses desafios.

#### 3.3.1. Lacunas de informação e conhecimento

Entrevistados dos quatro países analisados apontaram a existência de lacunas cognitivas significativas que atuam como barreiras para impulsionar o desenvolvimento da construção sustentável na região. Essas lacunas de conhecimento e informação afetam diferentes agentes-chave do processo de construção e da cadeia de valor, incluindo trabalhadores da indústria, equipes técnicas, responsáveis por decisões nos setores empresarial e governamental, e a sociedade civil em seu papel de possível demandante de infraestruturas sustentáveis.

Entrevistados de todos os países e setores institucionais enfatizaram a necessidade de incorporar temas de sustentabilidade ambiental, resiliência da infraestrutura e soluções disponíveis nos planos de formação dos profissionais do setor, como arquitetos, engenheiros, construtores, projetistas e gerentes de projeto. Alguns entrevistados sugerem que só será possível avançar na construção sustentável

na região se essas matérias forem plenamente integradas nas universidades, não apenas como especialização, mas como conteúdos obrigatórios na formação profissional. Embora programas de formação e atualização técnica e profissional sobre construção sustentável tenham surgido nos últimos anos, a oferta ainda é limitada e não constitui uma parte central da capacitação profissional.

Além disso, vários entrevistados destacaram a necessidade de uma formação mais aprofundada em temas específicos, como a abordagem do ciclo de vida dos ativos. Atualmente, há um foco nos recursos e na energia consumidos durante a operação, mas é menos comum considerar a energia incorporada nos materiais de construção e ao longo de todo o ciclo de vida, até seu desmantelamento e disposição final. Essa abordagem também implica desafios em termos de formação na medição da pegada de carbono e no manuseio de sistemas de informação que abrangem desde a produção e o transporte até o potencial de reciclagem ou reutilização dos materiais de construção.

Outro requisito de capacitação específica que surgiu espontaneamente durante as entrevistas é o uso da metodologia BIM. Os entrevistados concordaram na necessi-

dade de uma formação universitária mais completa sobre BIM, que não apenas ensine modelagem e visualização 3D, mas também aprofunde na gestão de projetos de construção e em seu uso durante as fases de design, construção, operação e manutenção dos edifícios.

Além da formação profissional, alguns entrevistados destacaram a importância de capacitar todos os trabalhadores do setor (técnicos, operários e subcontratados) em construção sustentável e em diferentes tipos de soluções. A preparação da mão de obra em toda a cadeia de valor é especialmente crítica ao se trabalhar com soluções e materiais não convencionais, com sistemas construtivos industrializados e ao utilizar BIM ou abordagens de gestão eficientes.

Outro desafio importante é fechar as lacunas de informação entre os diferentes agentes do setor da construção e a sociedade em geral, para criar uma maior conscientização ambiental e derrubar mitos que inibem o avanço nessa área. Por exemplo, no Uruguai, a crença disseminada de que as habitações de madeira são de baixa qualidade é um obstáculo para o desenvolvimento da construção com esse material. Também há desinformação sobre as vantagens da madeira como mate-

rial de construção entre o público geral e os profissionais do setor.

Gerar uma maior conscientização ambiental é fundamental para que a sociedade demande edifícios e infraestrutura sustentáveis, o que contribuiria para aumentar a oferta desse tipo de construções na região.

Por fim, destacou-se a importância de criar comunidades de prática em nível nacional, regional e internacional para trocar conhecimentos, informações e experiências sobre construção sustentável, adaptação às mudanças climáticas e diferentes soluções disponíveis, como uma ação-chave para fechar as lacunas de informação e conhecimento.

### 3.3.2. Debilidades institucionais no setor governamental

O fomento à construção ambientalmente sustentável requer uma sólida capacidade de liderança e gestão por parte do setor governamental. Isso inclui (i) capacidade de mobilizar e coordenar esforços entre diversos atores, assumindo papéis estratégicos na articulação pública, público-privada e internacional; (ii) criar condições facilitadoras para o desenvolvimento da construção sustentável (tais como desenvolvimento de capacidades, normas, ferramentas operacionais, infraestrutura, certificações de materiais e processos, e

agilidade em trâmites e permissões); e (iii) estimular a demanda por construção sustentável por meio de compras públicas e compras públicas inovadoras.

A maioria dos entrevistados apontou fragilidades institucionais no nível governamental que apresentam desafios significativos para a promoção bem-sucedida da construção ambientalmente sustentável em seus respectivos países. Essas fragilidades afetam a sustentabilidade das políticas atualmente implementadas. As observações foram feitas por representantes dos setores empresarial, acadêmico, profissional e governamental.

Diversos entrevistados destacaram que, nas organizações estatais, muitas vezes há uma forte dependência do perfil pessoal e/ou profissional de alguns servidores públicos para impulsionar iniciativas de construção com foco sustentável e adotar soluções. Isso representa uma fraqueza considerável, especialmente devido à rotatividade das pessoas que compõem as equipes técnicas dessas organizações, agravada pela mudança de autoridades.

Além disso, alguns entrevistados apontaram que as intervenções públicas voltadas ao incentivo da construção sustentável tendem a depender dos ciclos políticos, o que gera um risco constante de descontinui-

dade ou inconsistência na implementação das iniciativas, reduzindo sua eficácia.

Outros entrevistados opinaram que as medidas e os recursos alocados pelo governo para promover a construção sustentável não parecem fazer parte de uma estratégia planejada e monitorada que permita cumprir os compromissos nacionais de descarbonização da economia. Pelo menos seis entrevistados mencionaram que, para avançar nessa linha, o Estado deveria passar de estratégias indicativas para estratégias vinculantes e desenvolver capacidades adequadas para sua fiscalização. Essa opinião é menos comum entre os representantes do setor empresarial.

### 3.3.3. Percepção de discrepância entre sustentabilidade ambiental e econômica

As opiniões coletadas sugerem que tanto as empresas quanto as organizações governamentais enfrentam uma curva de aprendizado ao se envolverem pela primeira vez em projetos de construção sustentável. Essa curva de aprendizado, junto com os investimentos necessários para adotar esse novo modelo de negócios, gera maiores custos iniciais para os diversos atores.

A maioria dos entrevistados concordou que esses custos iniciais são compensados no médio e longo prazo com ganhos em termos de produtividade, eficiência

e economia associada, mesmo sem considerar os benefícios sociais. Para que os agentes, públicos ou privados, decidam empreender esse tipo de projeto, é necessário que eles sejam avaliados a partir de uma perspectiva econômica de médio e longo prazo, contabilizando adequadamente os retornos e as externalidades associadas. Além disso, deve-se dispor do financiamento necessário para realizar os investimentos iniciais. Essa lógica também se aplica ao consumidor final, que poderia pagar mais por uma edificação com critérios de eficiência energética, embora a economia durante a operação compense o investimento inicial.

As entrevistas revelaram casos específicos, tanto no setor empresarial quanto no governamental, onde uma visão de curto prazo impede o desenvolvimento de projetos de construção sustentável. Pelo menos quatro entrevistados expressaram que construir de forma sustentável é percebido como mais caro, e destacaram uma aparente incompatibilidade entre sustentabilidade ambiental e sustentabilidade econômica.

Portanto, um dos desafios identificados é promover uma visão de longo prazo entre os agentes públicos e privados ao avaliar a relação custo-benefício da construção

sustentável. Além disso, é crucial facilitar o acesso a financiamento em condições favoráveis para realizar os investimentos iniciais necessários para esse tipo de projeto.

### 3.3.4. Outros desafios e obstáculos

Embora com menor frequência, os entrevistados mencionaram outros desafios e obstáculos para avançar no desenvolvimento da construção com um enfoque sustentável em seus respectivos países.

Entre esses desafios, destacam-se:

- ◆ **Reconhecimento e visibilização de casos de sucesso:** Desenvolver estratégias que permitam dar visibilidade aos projetos, tanto públicos quanto privados, que incorporem boas práticas na construção sustentável.
- ◆ **Demanda limitada:** a demanda final por infraestrutura sustentável do ponto de vista ambiental ainda é muito limitada ou incipiente nos países analisados.

Entre os obstáculos apontados, incluem-se:

- ◆ **Informalidade na construção:** A atividade informal no setor de construção gera uma concorrência desleal, permitindo custos significativamente mais baixos do que os da atividade formal. Isso desinforma o consumidor final sobre as características e a sustentabilidade ambiental do produto final e do processo construtivo.

- ◆ **Resistência à mudança:** Existe uma resistência à mudança tanto no setor empresarial, caracterizado por seu conservadorismo, quanto dentro do próprio Estado. Muitos entrevistados opinam que, sem incentivo, obrigatoriedade e fiscalização por parte do Estado para o desenvolvimento de práticas sustentáveis, é menos provável que os agentes saiam de sua zona de conforto e adotem voluntariamente a construção sustentável.

## 3.4. FATORES QUE PROMOVEM A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

No âmbito do levantamento, os entrevistados também foram consultados sobre os fatores que facilitam ou favorecem a implementação de ações voltadas para promover a construção sustentável. A seguir, apresentam-se os fatores identificados a nível geral e os específicos para cada país analisado.

### 3.4.1. Fatores gerais

- ◆ **Pandemia da COVID-19:** A paralisação da indústria da construção durante a pandemia evidenciou a necessidade de acelerar a digitalização do setor e aumentar o uso de componentes pré-fabricados. A digitalização permite que os projetos continuem em um ambiente virtual durante as fases de planejamento e design, enquanto os componentes pré-fabri-

cados demandam menos pessoal em obra, o que é vantajoso em contextos de distanciamento físico.

- ◆ **Mudança climática:** A crescente evidência da mudança climática na região gerou maior consciência socioambiental e favoreceu a implementação de medidas de incentivo à construção sustentável.
- ◆ **Compromissos climáticos:** Os compromissos climáticos de cada país e a necessidade de cumprir com as contribuições nacionalmente determinadas (NDC) impulsionaram iniciativas de promoção da construção sustentável pelo Estado.
- ◆ **Apoio internacional:** A existência de apoio técnico e financeiro de organizações internacionais, como o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e a Cooperação Técnica Alemã (GIZ), facilita o desenvolvimento de iniciativas em construção sustentável.
- ◆ **Cooperação técnica entre países:** A cooperação técnica entre países, baseada na identificação de boas práticas e lições aprendidas, é vista como um elemento de apoio importante. Alguns exemplos de colaboração incluem Japão, Canadá, Finlândia, Singapura, Inglaterra e Chile.

- ◆ **Novas gerações:** As novas gerações estão mais sensibilizadas com o cuidado ambiental, o que pode facilitar o avanço rumo à construção sustentável no futuro.

### 3.4.2. Fatores específicos por país

- ◆ **Brasil:** O grande déficit habitacional (UN-Habitat, 2015) e o poder de compra do Estado para a construção de habitações sociais são oportunidades importantes para promover a construção sustentável. O apoio técnico do setor acadêmico também é um fator favorável.
- ◆ **Chile:** O programa Construye2025 da Corporação de Fomento da Produção (CORFO) e o apoio à criação de centros tecnológicos têm sido fundamentais para promover a produtividade e a sustentabilidade do setor. O Chile também possui uma produção nacional de madeira de alta qualidade para a construção sustentável.
- ◆ **Costa Rica:** A alta sensibilidade dos cidadãos para temas ambientais e a demanda incipiente por habitações sustentáveis, especialmente entre famílias de alto poder aquisitivo em áreas costeiras, são fatores importantes.
- ◆ **Uruguai:** A produção nacional de madeira adequada para construção e o valor reputacional para empresas construtoras especializadas em sustentabi-

lidade facilitam o acesso a mercados internacionais. A demanda incipiente por edificações sustentáveis, associada a empresas multinacionais e estrangeiros de alto poder aquisitivo, também é um fator relevante.

Esses fatores e desafios refletem a complexidade e as oportunidades associadas ao desenvolvimento da construção sustentável na região e destacam a necessidade de implementar estratégias integradas e colaborativas para superar os obstáculos e aproveitar os cenários identificados.

### 3.5. IDENTIFICAÇÃO DE BOAS PRÁTICAS

A análise qualitativa desenvolvida neste estudo permitiu identificar boas práticas relacionadas ao fomento da construção sustentável na região. Algumas das que são implementadas nos países analisados são as seguintes:

#### i. **Benchmarking internacional e transferência de conhecimento:**

- **Estratégias:** Desenvolver estratégias de benchmarking internacional e mecanismos de transferência de conhecimento a partir de instituições e países de referência.

- **Cooperação técnica:** Estabelecer cooperação técnica entre países e criar comunidades de prática em nível nacional e internacional focadas na construção sustentável.

Essas ações ajudam a fechar lacunas de informação e conhecimento, além de acelerar os processos institucionais com base em experiências anteriores de outras organizações ou países.

#### ii. **Capacitação e fortalecimento de equipes técnicas:**

- **Capacitação:** Capacitar as equipes técnicas responsáveis por impulsionar e responder às iniciativas de construção sustentável.
- **Fortalecimento:** Incorporar novos perfis profissionais especializados para fortalecer essas equipes.

Isso melhora o entendimento e o alinhamento das equipes com os objetivos, além de permitir acelerar a adoção e a aplicação de critérios e soluções para a construção sustentável nos processos institucionais e melhorar a resposta do mercado às necessidades da construção sustentável.

#### iii. **Mecanismos de articulação interinstitucional:**

- **Âmbito público-público:** Formalizar mecanismos de articulação interinstitucional por meio de convênios ou estratégias conjuntas, definir papéis e responsabilidades e estabelecer a alocação de recursos específicos.
- **Âmbito público-privado:** Envolver ativamente o setor empresarial, acadêmico e profissional em iniciativas governamentais para alcançar maior comprometimento e eficácia na implementação dessas ações.

Assegurar a sustentabilidade e a articulação do ecossistema facilitará a coordenação interinstitucional e favorecerá o desenvolvimento de políticas de médio e longo prazo, bem como a implementação de estratégias nacionais de construção sustentável, tornando-as menos suscetíveis a mudanças de diretrizes políticas entre governos.

#### iv. **Promoção da inovação:**

- **Promoção:** Envolver organizações nacionais que promovem novas iniciativas de produtividade e competitividade para fomentar a digitalização e a inovação como facilitadores para a construção sustentável.

- **Setor acadêmico:** Impacta positivamente na criação de linhas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, bem como na adaptação de programas formativos relacionados à digitalização e inovação como facilitadores para a construção sustentável.

Isso permite gerar capacidades tecnológicas facilitadoras, promover iniciativas sustentáveis e eficientes e fomentar a colaboração em projetos concretos.

Essas boas práticas contribuem significativamente para o desenvolvimento do setor de construção sustentável e promovem um enfoque colaborativo baseado na digitalização, inovação e transferência de conhecimentos.

O levantamento também identificou estratégias governamentais eficazes para promover a construção sustentável, destacadas como boas práticas pelos próprios entrevistados. Essas estratégias incluem:

- i. Compra pública e compra pública inovadora<sup>44</sup>:** Utilizar a compra pública como um motor para a demanda de construção sustentável, incluindo a compra pública inovadora para abordar desafios tecnológicos, gerar protótipos demonstrativos e promover a compra pública verde (Salazar Cota, Fernández e Dalaison, 2018).
- ii. Incentivos financeiros:** Associar a obtenção de certificações de sustentabilidade com benefícios financeiros, como o acesso a linhas de crédito bancário com taxas de juros preferenciais.
- iii. Incentivos não financeiros:** Oferecer benefícios adicionais aos projetos de construção sustentável certificados, como o aumento dos metros quadrados de construção, altura ou densidade permitida.
- iv. Centros tecnológicos:** Fomentar a criação de centros tecnológicos que facilitem a inovação em construção sustentável e ofereçam infraestrutura, serviços de desenvolvimento de protótipos, validação de pilotos e assessoria especializada. Isso é especialmente relevante em regiões onde a produção

<sup>44</sup> O Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) desenvolveu uma ferramenta para promover e implementar compras públicas inovadoras. Veja <https://innovationprocurementcompass.com/>.

local de conhecimentos tecnológicos nessa área é limitada<sup>45</sup>.

Uma reflexão que deriva da análise das boas práticas identificadas a partir das entrevistas é que, para favorecer a implementação de intervenções mais eficazes de promoção da construção com enfoque sustentável nos países da região, é essencial que o setor governamental, com uma visão de longo prazo, assuma um papel de liderança em nível nacional nessa nova área de políticas e promova a articulação do ecossistema para colaboração.

Por fim, cabe destacar que, embora o presente estudo tenha se focado na dimensão ambiental da sustentabilidade, durante o curso da análise evidenciou-se uma forte inter-relação entre esta e as outras três dimensões definidas pelo BID (2019): econômico-financeira, institucional e social. Mais precisamente, constatou-se que estas últimas três dimensões podem atuar como limitantes ou facilitadoras do desenvolvimento da construção ambientalmente sustentável, enquanto a sustentabilidade ambiental, por sua vez, pode facilitar ou restringir o avanço nas outras dimensões da sustentabilidade da infraestrutura.

<sup>45</sup> Veja o quadro A3.2. no Anexo III, "Iniciativas identificadas por país" e o quadro A4.2. no Anexo IV, "Tipos de soluções promovidas".

# 4

## CHAVES PARA O FUTURO NA TRANSFORMAÇÃO DO SETOR

O estudo realizado permite detectar aspectos relevantes para impulsionar o desenvolvimento futuro de ações focadas em promover e incrementar a digitalização e os sistemas construtivos e materiais inovadores para a transformação do setor de construção na região, e assim potencializar as oportunidades da construção sustentável na ALC. Para tal fim e para alcançar os benefícios esperados, é fundamental abordar as limitações e barreiras existentes, identificadas por meio das entrevistas.

Nesse sentido, para promover a transformação da indústria da construção sustentável na ALC, é essencial um protagonismo público de longo prazo que seja capaz de contornar os ciclos políticos e que articule e comunique a urgência da transformação digital e da adoção de sistemas construtivos e materiais inovadores como facilitado-

res-chave para a construção sustentável, a descarbonização e a resiliência climática. Esse protagonismo deve estabelecer uma visão estratégica integral que reconheça os desafios ambientais e econômicos da região e impulsione uma transição para práticas mais sustentáveis e resilientes.

A comunicação eficaz da estratégia e sua linha de ação, bem como sua ampla difusão, é fundamental para gerar conscientização e obter o apoio necessário para construir um compromisso sólido entre os setores público, privado e acadêmico, o desenvolvimento de uma estratégia vinculante, clara e consensuada, e uma linha de ação flexível com objetivos e metas alcançáveis a curto e médio prazo.

Por outro lado, tanto a estratégia quanto sua linha de ação devem ser capazes de criar as condições e gerenciar as limitações detectadas. Nesse sentido, há quatro áreas

que devem ser abordadas em paralelo: (i) gerir o conhecimento, as capacidades e competências na cadeia de valor; (ii) estimular a oferta por meio da demanda e implementar instrumentos de compras públicas; (iii) atualizar a normatização e gerar incentivos; e (iv) medir e comunicar o desempenho e o progresso das iniciativas.

Para isso, é fundamental melhorar as capacidades, competências e ferramentas dos responsáveis pelas compras públicas para integrar critérios de sustentabilidade e digitalização nas contratações. Da mesma forma, é vital fortalecer as capacidades e competências das empresas, da mão de obra e dos operários para reforçar a oferta. Também é necessário colaborar com o setor acadêmico na atualização dos planos de formação técnica e profissional, bem como na educação continuada para o setor em toda a cadeia de valor. Para a transformação do setor rumo à construção

sustentável é fundamental incentivar a cooperação e o intercâmbio de conhecimentos, estabelecendo marcos colaborativos de trabalho, comunidades de prática e a disseminação de casos de sucesso que difundam o conhecimento, ajudem a derrubar mitos e facilitem a implementação da digitalização e das soluções inovadoras. Além disso, é necessário utilizar estrategicamente o poder das compras públicas como uma alavanca fundamental para acelerar a transformação digital e adotar sistemas construtivos, materiais inovadores e práticas sustentáveis no setor de construção. Isso implica usar a compra pública, especialmente a compra pública de inovação e a compra pública verde, como um motor para impulsionar e acelerar a adoção em larga escala por parte da indústria.

Promover a atualização de normativas e certificações para refletir as melhores práticas internacionais e impulsionar o desenvolvimento de subsídios e outros mecanismos de incentivos financeiros e não financeiros é essencial para motivar as empresas a adotarem essas práticas, oferecendo benefícios como incentivos fiscais e acesso a financiamento preferencial.

O sucesso dessas iniciativas deve ser monitorado por meio de mecanismos robustos de medição para avaliar o progresso na implementação das novas práticas e seu impacto real na redução da pegada de carbono, no aumento da resiliência climática e em outros indicadores-chave de sustentabilidade, e os resultados devem ser divulgados. Isso permitirá assegurar o compromisso de longo prazo e garantir que as políticas e estratégias adotadas estejam efetivamente contribuindo para uma construção mais sustentável e resiliente na região.

Impulsionar a digitalização não apenas otimizará e integrará os processos ao longo de todo o ciclo da construção, mas também melhorará a transparência, a eficiência e a produtividade do setor, e facilitará a implementação de métodos de construção eficientes e sustentáveis. Isso deve ser uma prioridade para garantir que as novas práticas sejam adotadas de maneira generalizada. Dessa forma, será possível transformar o setor em uma indústria de construção sustentável, resiliente e competitiva, capaz de responder aos desafios ambientais, sociais e econômicos da região.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Alavedra, P., J. Domínguez, E. Gonzalo, e J. Serra.** 1997. «La construcción sostenible: el estado de la cuestión» [A construção sustentável: o estado da questão]. *Informes de la Construcción* 49(451):41-47. <https://doi.org/10.3989/ic.1997.v49.i451.936>.

**Alvear, Alexandra., José Pedro Campos, Julia Ciancio, Wilhem Dalaison, Gabriela De Angelis, María Alejandra Escovar, Hernán Madrid, et al.** 2023. *Resiliencia y sostenibilidad en los códigos de construcción de América Latina y el Caribe: análisis regional comparativo y oportunidades de fortalecimiento* [Resiliência e sustentabilidade nos códigos de construção da América Latina e do Caribe: análise comparativa regional e oportunidades de fortalecimento]. Washington, D. C.: Banco Interamericano de Desenvolvimento. <http://dx.doi.org/10.18235/0005377>.

**Alvear, Alexandra, Maryam Esmaili, Esperanza González-Mahecha, Claudia Hernández e Livia Minoja.** 2022. *Edificios verdes: lineamientos para la incorporación y contabilización de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático* [Edifícios verdes: diretrizes para a incorporação e contabilização de medidas de mitigação

e adaptação às alterações climáticas]. Washington, D. C.: Banco Interamericano de Desenvolvimento. <http://dx.doi.org/10.18235/0004627>.

**Bailey, Jed, Paola Carvajal, Javier García, Christiaan Gischler, Claudia Henriquez e Livia Minoja.** 2021. *Building a More Resilient and Low-Carbon Caribbean - Report 2: Analysis of the Benefits from Resilient Building Materials and Construction Methods in the Caribbean* [Construindo um Caribe mais resiliente e com baixas emissões de carbono - Relatório 2: Análise dos benefícios de materiais de construção e métodos de construção resilientes no Caribe]. Washington, D. C.: Banco Interamericano de Desenvolvimento. <https://doi.org/10.18235/0003855>.

**Baptista, Belén.** 2024. *Mapeo de herramientas digitales y métodos constructivos innovadores para un sector de construcción sostenible. Informe final de consultoría del BID* [Mapeamento de ferramentas digitais e métodos construtivos inovadores para um setor de construção sustentável. Relatório final da consultoria do BID]. Washington, D. C.: Banco Interamericano de Desenvolvimento.

**Baque-Campozano, Byron P., Julio Cesar Pino-Tarragó e Kevin Alexander Delgado-Mendoza.** 2023. “Estructuras sostenibles y hormigón autorreparable”. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 12(6):2-8. <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/144>.

**Banco Interamericano de Desenvolvimento.** 2023. *Bien público regional para el desarrollo de información (incluyendo factores de emisión) y capacidad de su digitalización para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector de la construcción* [Bem público regional para o desenvolvimento de informações (incluindo fatores de emissão) e capacidade de digitalização para a estimativa das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor da construção civil] [Documento de cooperação técnica]. Washington, D. C.

**Barbhuiya, Salim, Bibhuti Bhusan Das e Fragkoulis Kanavaris.** 2024. “Biochar-concrete: A comprehensive review of properties, production and sustainability” [Concreto com biocarvão: uma análise abrangente das propriedades, produção e sustentabilidade]. *Case Studies in*

*Construction Materials* 20: e02859. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02859>.

**Barbosa, Filipe, Jonathan Woetzel, Jan Mischke, Maria João Ribeirinho, Mukund Sridhar, Matthew Parsons, et al.** 2017. *Reinventing Construction: A Route to higher productivity* [Reinventando a construção: um caminho para maior produtividade]. McKinsey Global Institute. <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/mgi-reinventing-construction-a-route-to-higher-productivity-full-report.pdf>.

**Bhattacharya, A., C. Contreras, M. Jeong, A.-L. Amin, G. Watkins, e M. Zuniga.** 2019. *Atributos e Marco para Infraestrutura Sustentável: Relatório de Consulta*. Washington, D. C.: Banco Interamericano de Desenvolvimento. <https://publications.iadb.org/es/atributos-y-marco-para-la-infraestructura-sostenible>.

**Building and Construction Authority.** 2000. *The Code of Practice on Buildable Design* [O Código de Práticas sobre Design Construível]. Singapur:

---. 2020 *Design for Manufacturing and Assembly (DfMA). Prefabricated Prefinished Volumetric Construction* [Design para Fabricação e Montagem (DfMA): Construção Volumétrica Pré-fabricada e Pré-acabada]. Singapur: BCA.

**Building Research Establishment.** 2016. *Assessing the Environmental Impacts of Construction. Understanding European Standards and their implications* [Assessing the Environmental Impacts of Construction. Understanding European Standards and their implications]. BRE Centre for Sustainable Products. <https://files.bregroup.com/bre-co-uk-file-library-copy//filelibrary/Briefing%20papers/98661-European-Standards-Briefing-Paper.pdf>.

**Cabeza, Luisa F., Camila Barreneche, Lara Miró, Josep M. Morera, Esther Bartolí e A. Inés Fernández.** 2013. "Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review" [Materiais com baixo teor de carbono e baixa energia incorporada em edifícios: uma revisão]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23: 536-542. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.017>.

**Carbon Leadership Forum.** 2018. *Life Cycle Assessment of Buildings: A Practice Guide* [Avaliação do ciclo de vida dos edifícios: um guia prático]. Washington, D. C. <https://www.lifecycletlab.org/lca-practice-guide/>.

**Chen, Kunyang, Jiayuan Wang, Bo Yu, Hunayu Wu e Jingrong Zhang.** 2021. "Critical evaluation of construction and demolition waste and associated environmental impacts: A scientometric analysis" [Avaliação crítica dos resíduos de construção e demolição e impactos ambientais associados: uma análise cienciométrica]. *Journal of Cleaner*

*Production* 287. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125071>.

**Corporación de Desarrollo Tecnológico.** 2022. *La construcción milenaria con tierra cruda: el adobe y la tapia* [A construção milenar com terra crua: o adobe e a tapia]. Santiago: Câmara Chilena da Construção.

**Crishna, N., P. F. G. Banfill e S. Goodsir.** 2011. "Embodied energy and CO<sub>2</sub> in UK dimension stone". *Resources, Conservation and Recycling* 55(12): 1265-1273. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.014>.

**Deloitte.** 2021. *2021 engineering and construction industry outlook*. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/energy-resources/us-2021-engineering-construction-industry-outlook.pdf>.

---. 2023. *Global Powers of Construction*. <https://www.deloitte.com/global/en/Industries/energy/perspectives/deloitte-global-powers-of-construction.html>.

**Dodge Data & Analytics.** 2015. *Measuring the Impact of BIM on Complex Buildings*. Bedford: Dodge Data & Analytics. <https://www.usa.skanska.com/4a3d4b/siteassets/what-we-deliver/services/bim--vdc/value-to-clients/measuring-the-impact-of-bim-on-complex-buildings-2015f.pdf>.

**Feist, W.** 1993. *Passive houses in Central Europe* [Casas passivas na Europa Central]. PhD dissertation, University of Kassel.

**Fischel, Eric, Alejandra Alvear, Livia Minoja, Liora Schwartz e Maria Soledad Bos.** 2023. *Escuelas verdes: lineamientos para el diseño de infraestructura escolar sostenible, baja en carbono y resiliente*. Washington, D. C.: Banco Interamericano de Desenvolvimento. <http://dx.doi.org/10.18235/0005366>.

**Gallardo, Cecilia.** 2020. *Productos de Ingeniería en Madera. Estudio Periódico de Temáticas de Madera N.º 4* [Produtos de Engenharia em Madeira. Estudo Periódico sobre Temáticas relacionadas com a Madeira N.º 4]. Documento de Divulgação N.º 51. Santiago: Instituto Forestal. <https://madera.uc.cl/images/recursos/productos-de-ingenieria-en-madera-de-infor-2020.pdf>.

**Green Building Council.** 2023. *Estrategias de medición, verificación y comunicación de impactos ambientales en el sector construcción* [Estratégias de medição, verificação e comunicação dos impactos ambientais no setor da construção civil]. Santiago: GBC Chile. <https://pasaportemateriales.cl/wp-content/uploads/2024/06/estrategias-impactos-ambientales.pdf>.

**Gordano, Silvia, Daniel Torchia e Laura Corazza.** 2023. "The Concept of Sustainable Infrastructure: A Content Analysis of Construction Companies Reports" [O conceito de infraestrutura sustentável: uma análise de conteúdo dos

relatórios das empresas de construção civil]. Em *Complexity and Sustainability in Megaprojects* 342, editado por E. Favari and F. Cantoni. Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-30879-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-30879-6_5).

**Grădinaru, Cătălina M., Adrian A. Șerbănoiu, Danut T. Babor et al.** 2019. "When Agricultural Waste Transforms into an Environmentally Friendly Material: The Case of Green Concrete as Alternative to Natural Resources Depletion" [Quando os resíduos agrícolas se transformam num material ecológico: o caso do betão verde como alternativa ao esgotamento dos recursos naturais]. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 32:77-93. <https://doi.org/10.1007/s10806-019-09768-1>.

**Hacker, Jacob N., Tom P. De Saulles, Andrew J. Minson e Michael J. Holmes.** 2008. "Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: A case study on the effects of thermal mass and climate change" [Emissões de dióxido de carbono incorporadas e operacionais provenientes de habitações: um estudo de caso sobre os efeitos da massa térmica e das alterações climáticas], *Energy and Buildings* 40(3): 375-384. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.005>.

**Hernández, Héctor, Felipe Ossio e Michael Silva.** 2023. "Assessment of Sustainability and Efficiency Metrics in Modern Methods of Construction: A Case Study Using a Life Cycle Assessment Approach" [Avaliação das

métricas de sustentabilidade e eficiência nos métodos modernos de construção: um estudo de caso utilizando uma abordagem de avaliação do ciclo de vida], *Sustainability* 15(7). <https://doi.org/10.3390/su15076267>.

**Hernández-Zamora, María Fernanda, Sebastián Jiménez-Martínez e Juan Ignacio. Sánchez-Monge.** 2021. "Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción" [Materiais alternativos como oportunidade para reduzir os impactos ambientais no setor da construção civil]. *Tecnología en Marcha* 34(2). <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v34i2.4831>.

**Houben, Hugo.** 1994. "Ecological and energy-saving advantages and benefits of building with Earth" [Vantagens e benefícios ecológicos e de economia de energia da construção com terra]. *Studies in Environmental Science* 60: 941-948. [https://doi.org/10.1016/S0166-1116\(08\)71527-9](https://doi.org/10.1016/S0166-1116(08)71527-9).

**Instituto da Indústria da Construção.** 2021. *AWP Education Primer*. CII Community for Business Advancement. <https://www.construction-institute.org/CII/media/Documents/AWP-Education-Primer.pdf>.

**Kibert, Charles J., ed.** 1994. *Sustainable construction: proceedings of the First International Conference of CIB TG 16*. Gainesville, FL: Center for Construction and Environment, M.E. Rinker Sr. School of Building Construction, College of Architecture, University of Florida.

**Kong, Lingji e Biao Ma.** 2020. "Evaluation of environmental impact of construction waste disposal based on fuzzy set analysis". *Environmental Technology & Innovation* 19. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100877>.

**Krug, Daniela e John Miles.** 2013. *Offsite Construction: Sustainability Characteristics*. Londres: Building Intellect. [https://www.buildoffsite.com/content/uploads/2015/03/BoS\\_offsiteconstruction\\_1307091.pdf](https://www.buildoffsite.com/content/uploads/2015/03/BoS_offsiteconstruction_1307091.pdf).

**Leles da Silva, Maicon D., Livia F. Silva, Berenice M. Toralles, Flávia A. Cardoso, Marla Corso e Luciana C. Soto.** 2024. "Building a sustainable future: The role of additive manufacturing in civil construction" [Construindo um futuro sustentável: O papel da manufatura aditiva na construção civil]. *Case Studies in Construction Materials* 20. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02976>.

**Liu, Tianqi, Lin Chen, Mingyun Yang, Malindu Sandanayake, Pengyun Miao, Yang Shi e Pow-Seng Yap.** 2022. "Sustainability Considerations of Green Buildings: A Detailed Overview on Current Advancements and Future Considerations". *Sustainability* 14(21). <https://doi.org/10.3390/su142114393>.

**López, Alejandro.** 2017. "Construcción modular en hormigón: una tendencia al alza" [Construção modular em betão: uma tendência em alta]. *Cemento Hormigón* 980:48-54.

**Lovell, Heather.** 2012. "Modern Methods of Construction" [Métodos modernos de construção]. Em *International Encyclopedia of Housing and Home*, vol. 4, editado por Smith, S., M. Elsinga, L. Fox O'Mahony, O. Seow Eng e S. Wachter, 312-316. Oxford: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047163-1.00588-9>.

**Lowe, Graham.** 2020. *Wood, Well-being and Performance: The Human and Organizational Benefits of Wood Buildings* [Madeira, bem-estar e desempenho: os benefícios humanos e organizacionais dos edifícios de madeira]. Vancouver, BC: Forestry Innovation Investment. [https://grahamlowe.ca/wp-content/uploads/2020/06/wood-well-being-and-performance\\_report\\_graham-lowel.pdf](https://grahamlowe.ca/wp-content/uploads/2020/06/wood-well-being-and-performance_report_graham-lowel.pdf).

**Maddalena, Riccardo, Jennifer J. Roberts e Andrea Hamilton.** 2018. "Can Portland cement be replaced by low-carbon alternative materials? A study on the thermal properties and carbon emissions of innovative cements" [O cimento Portland pode ser substituído por materiais alternativos com baixo teor de carbono? Um estudo sobre as propriedades térmicas e as emissões de carbono de cimentos inovadores]. *Journal of Cleaner Production* 186: 933-942. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.138>.

**Matrix Consulting.** 2020. *Estudio de productividad: Impulsar la productividad da industria de Construcción en Chile*

a estándares mundiales [Estudo de produtividade: Impulsionar a produtividade da indústria da construção no Chile para padrões mundiais] Trabalho realizado para a Câmara Chilena de Construção. [https://www.matrixconsulting.com/wp-content/uploads/2023/05/ResumenEjecutivo\\_Estudio\\_de\\_Productividad\\_Construccion\\_2020.pdf](https://www.matrixconsulting.com/wp-content/uploads/2023/05/ResumenEjecutivo_Estudio_de_Productividad_Construccion_2020.pdf).

**Menegaki, Maria e Dimitris Damigos.** 2018. "A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management". *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 13:8-15. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.02.010>.

**Ministry of Housing, Communities & Local Government.** 2019. *Modern Methods of Construction: Introducing the MMC Definition Framework*. [https://www.cast-consultancy.com/wp-content/uploads/2019/03/MMC-I-Pad-base-GOVUK-FINAL\\_SECURE.pdf](https://www.cast-consultancy.com/wp-content/uploads/2019/03/MMC-I-Pad-base-GOVUK-FINAL_SECURE.pdf).

**Monjo Carrió, Juan.** 2005. "La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. Procedimientos para su industrialización". *Informes de la Construcción* 57(499-500): 37-54. <https://doi.org/10.3989/ic.2005.v57.i499-500.481>.

**Ministério de Habitação e Ordenamiento Territorial, e Banco Interamericano de Desenvolvimento.** 2022. *Hoja de Ruta para la Construcción de Vivienda Social en Madera en Uruguay* [Hoja de Ruta para la Construção de Habitação

Social en Madera en Uruguay]. [https://www.gub.uy/ministerio-vivienda-ordenamiento-territorial/sites/ministerio-vivienda-ordenamiento-territorial/files/documentos/publicaciones/MVOT.%20%282022%29.%20Hoja%20de%20Ruta%20para%20la%20Construccion%20de%20Vivienda%20Social%20en%20Madera%20en%20Uruguay%20%281%29\\_compressed.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-vivienda-ordenamiento-territorial/sites/ministerio-vivienda-ordenamiento-territorial/files/documentos/publicaciones/MVOT.%20%282022%29.%20Hoja%20de%20Ruta%20para%20la%20Construccion%20de%20Vivienda%20Social%20en%20Madera%20en%20Uruguay%20%281%29_compressed.pdf).

**Nações Unidas.** 2012. *Cómo desarrollar ciudades más resilientes. Un Manual para líderes de los gobiernos locales* [Como desenvolver cidades mais resilientes. Um manual para líderes de governos locais]. Ginebra. [https://www.unisdr.org/files/26462\\_manualparalideresdelosgobiernosloca.pdf](https://www.unisdr.org/files/26462_manualparalideresdelosgobiernosloca.pdf).

**Peregalli, J. P.** 2023. *Consultoría para la elaboración de un diagnóstico y una propuesta de recomendaciones para mejorar la calidad da información sobre emisiones de los procesos constructivos sobre la base de los factores de emisión y para facilitar la medición de huella de carbono de los proyectos de construcción* [Consultoria para a elaboração de um diagnóstico e uma proposta de recomendações para melhorar a qualidade das informações sobre emissões dos processos de construção com base nos fatores de emissão e para facilitar a medição da pegada de carbono dos projetos de construção.] [Documento interno].

Washington, D. C.: Banco Interamericano de Desenvolvimento.

**Reddy, B. V. V.** 2009. "Sustainable materials for low carbon buildings". *International Journal of Low-Carbon Technologies* 4:175-81. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctp025>.

**Ribeirinho, Maria Joao, Jan Mischke, Gernot Strube, Erik Sjordin, Jose Luis Blanco, Rob Palter et al.** 2020. *The Next Normal in Construction: How Disruption is Reshaping the World's Largest Ecosystem* [O próximo normal na construção: como a disrupção está a remodelar o maior ecossistema do mundo]. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-next-normal-in-construction-how-disruption-is-reshaping-the-worlds-largest-ecosystem>.

**Royal Institution of Chartered Surveyors.** 2017. *Whole life carbon assessment for the built environment*. Londres: RICS. <https://www.rics.org/profession-standards/rics-standards-and-guidance/sector-standards/construction-standards/whole-life-carbon-assessment>.

**Roman, Nadia, Facundo Bre, Víctor D. Fachinotti e Roberto Lamberts.** 2020. *Application and characterization of metamodels based on artificial neural networks for building performance simulation: A systematic review* [Aplicação e caracterização de metamodelos baseados em redes neurais artificiais para

simulação do desempenho de edifícios: uma revisão sistemática]. *Energy and Buildings* 217. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109972>.

**Salazar Cota, Adriana, Luz Fernández e Wilhelm Dalaison.** 2018. *Comprando verde: ¿Cómo fomentar las compras verdes en los proyectos financiados por el BID?* [Aquisições ecológicas: ¿como incentivar práticas de aquisições ecológicas em projetos financiados pelo BID?]. Washington, D. C.: Banco Interamericano de Desenvolvimento. <http://dx.doi.org/10.18235/0010715>

**Sánchez-Garrido, Antonio, Ignacio Navarro, José García e Víctor Yepes.** 2023. "A systematic literature review on modern methods of construction in building: An integrated approach using machine learning" [Uma revisão sistemática da literatura sobre métodos modernos de construção civil: uma abordagem integrada utilizando aprendizagem automática]. *Journal of Building Engineering* 73. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106725>

**Thormark, C.** 2006. "The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building" [O efeito da escolha dos materiais na necessidade total de energia e no potencial de reciclagem de um edifício]. *Building and Environment* 41(8):1019-1026. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.026>.

**United Nations Environment Programme e Global Alliance for Buildings and Construction.** 2024. *2023 Global Status Report for Buildings and Construction - Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector* [Relatório sobre a situação global dos edifícios e da construção em 2023 - Além das fundações: integrar soluções sustentáveis para reduzir as emissões do setor dos edifícios]. UNEP e GLOBAL ABC. <https://securesustain.org/report/2023-global-status-report-for-buildings-and-construction>.

**United Nations Human Settlements Programme.** 2015. *Déficit habitacional en América Latina y el Caribe: una herramienta para el diagnóstico y el desarrollo de políticas efectivas de vivienda y hábitat* [Déficit habitacional na América Latina e no Caribe: uma ferramenta para o diagnóstico e o desenvolvimento de políticas eficazes de habitação e hábitat]. Nairobi: UN-Habitat. <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/D%C3%A9ficit%20habitacional.pdf>.

**World Economic Forum.** 2016. *Shaping the Future of Construction. A Breakthrough in Mindset and Technology* [Moldando o futuro da construção. Uma inovação em mentalidade e tecnologia]. Cologny/Geneva: WEF. <https://www.weforum.org/publications/shaping-the-future-of-construction-a-breakthrough-in-mindset-and-technology/>.

**World Green Building Council.** 2023. *How we are #BuildingTheTransition to support the Sustainable Development Goals* [Como estamos a #ConstruirATransição para apoiar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável] [Folheto]. <https://worldgbc.org/wp-content/uploads/2023/09/Buildings-SDG-graphic-1.pdf>

**World Wildlife Fund.** 1993. *The Built Environment Sector, Pre-Seminar Report* [Setor do Ambiente Construído, Relatório Pré-Seminário]. Council for Environmental Education WWF, Department of Environment. Leicester: Montfort University.

**Yay, Ömer, Mahdi Hasanzadeh, Seyid F. Diltemiz, Melih C. Kuşhan e Selim Gürgen.** 2024. "Thermal Insulation with Cork-Based Materials: Green Energy and Technology" [Isolamento térmico com materiais à base de cortiça: energia e tecnologia verdes]. Em *Green Energy and Technology*, 3-15. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-51564-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-51564-4_2).

**Yepes, Victor.** 2020. "Métodos modernos de construcción (MMC): fabricación modular" [Métodos modernos de construção (MMC): fabricação modular]. *Blog da Universidad Politécnica de Valencia*. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2020/10/02/metodos-modernos-de-construccion-mmc-fabricacion-modular/>.

# ANEXO I.

## LISTA DE PESSOAS ENTREVISTADAS

Quadro A1.1. Lista de pessoas entrevistadas

#	Nome	Organização	Cargo	País	Data da entrevista
1	Clarice Degani	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS)	Diretora Executiva	Brasil	20/12/23
2	Amanda Olalquiaga	Ministério das Cidades	Coordenadora-Geral de Assuntos Estratégicos	Brasil	12/12/23
3	Roberto Lambert	Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil	Professor a tempo inteiro	Brasil	13/12/23
4	Marcos Brito	Construye2025	Gerente	Chile	12/12/23
5	Conrad Von Igel	Câmara Chilena da Construção	Gerente de Inovação e Sustentabilidade	Chile	18/12/2023
6	Tatiana Martínez	Conselho de Construção Industrializada	Presidente	Chile	13/12/2023
7	Katherine Martínez / Marisol Cortez	Câmara Chilena da Construção (CChC) / Conselho de Construção Industrializada (CCI)	Secretária Executiva / Presidente da Comissão do Ambiente	Chile	11/12/2023
8	Carolina Briones	Centro Tecnológico para a Inovação na Construção	Diretora Executiva	Chile	27/12/2023
9	Daniel Bifani	Ministério de Obras Públicas	Chefe da Divisão de Infraestrutura Sustentável	Chile	19/12/2023
10	Silvia Campos Zárate	Instituto Nacional de Aprendizagem (INA)	Professora	Costa Rica	13/12/2023
11	Guillermo Carazo	Colégio Federado Engenheiros e Arquitetos (CFIA)	Diretor Executivo CFIA / Presidente do Colégio de Arquitetos	Costa Rica	14/12/2023
12	Rodrigo Martínez	Universidade Internacional das Américas	Diretor da Escola de Arquitetura	Costa Rica	8/12/2023
13	Daniel Viquez/Olman Mora	Ministério de Ambiente e Energia (MINAE)	Profissional de Direção de Gestão da Qualidade Ambiental/Coordenação de Projetos Socioambientais	Costa Rica	10/01/2024
14	Marcia Croci	Ministério de Habitação e Ordenamento Territorial (MVOT)	Assessora	Uruguai	14/12/2023
15	Florencia Seré	Câmara da Construção do Uruguai, Departamento de Estudos Económicos	Diretora Executiva	Uruguai	12/12/2023
16	Andrés Eliseom Cabrera	Universidade ORT	Coordenador da Especialização em Arquitetura Sustentável	Uruguai	12/12/2023
17	Rafael Laureiro	Cooperação Nacional para o Desenvolvimento (CND)	Gerente de Projetos	Uruguai	8/12/2023
18	Sebastian Orrego	INCONET - FIIC	Secretário Executivo	Regional	18/12/2023
19	Pablo Guidos	Rede Latino-americana de Madeira Estrutural (RELAMAD)	Ex-Presidente	Regional	4/01/2024
20	Andrea Paladin	Rede BIM de Governos Latino-americanos (BIM Gov Latam)	Coordenadora da RED	Regional	2/12/2023

# ANEXO II.

## DIRETRIZES DAS ENTREVISTAS

**A** seguir, apresentamos as diretrizes para as entrevistas realizadas durante o levantamento inicial de representantes de entidades públicas, do setor empresarial e/ou do setor acadêmico ou profissional, no âmbito da consultoria do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) intitulada “Mapeamento de ferramentas digitais e outros métodos inovadores de construção para um setor da construção mais sustentável”.

### I. Apresentação geral

Apresentar o objetivo do estudo e, em particular, das entrevistas.

- ◆ O objetivo das entrevistas é coletar percepções, abordagens e evidências de um grupo de participantes qualificados sobre práticas, interesses, requisitos, ofertas, lições aprendidas e desafios associados à implementação de metodologias e soluções digitais e de construção inovadoras no setor da construção civil, com foco em sustentabilidade. O objetivo final do estudo é gerar informações que contribuam para definir o posicionamento do BID sobre o tema.

- ◆ Faça algumas perguntas abertas sobre os principais tópicos de interesse. A duração máxima estimada é de 30 minutos.
- ◆ Deixe claro que a resposta é solicitada em caráter pessoal.
- ◆ Solicite que a entrevista seja gravada.

### II. Diretrizes para referentes de entidades públicas

1. Para começar, poderia me dizer quais são as principais atividades do setor da instituição onde você trabalha? (Esta pergunta visa compreender a perspectiva do respondente e fornece contexto à entrevista).
2. Como certamente já sabe, há ampla evidência de que a indústria da construção civil é altamente poluente. Com base em suas informações e conhecimento, poderia me falar sobre algumas metodologias, materiais e/ou soluções tecnológicas ou construtivas atualmente disponíveis que poderiam ajudar a reduzir o impacto ambiental do setor? (Esta pergunta avalia o nível de conhecimento do respondente sobre o tema e

identifica as atividades que ele associa ao conceito de construção sustentável).

3. A instituição implementou alguma ação para contribuir para o desenvolvimento de um setor da construção civil mais sustentável e/ou resiliente? Por favor, especifique.
4. Quais são as principais motivações para a implementação de ações de sustentabilidade no setor da construção civil no país? (Caso a resposta não surja espontaneamente, faça uma pergunta complementar, por exemplo, se a área de atuação está alinhada a algum Plano Nacional).
5. A organização desenvolveu alguma estratégia para gerar ou fortalecer competências institucionais e/ou sistêmicas relacionadas a essas questões, seja por meio de treinamento ou de conscientização? Em caso afirmativo, especifique quais estratégias e se elas envolveram a colaboração com outras partes interessadas.

6. Quais você considera que terem sido — ou serão — os principais desafios associados à implementação das ações mencionadas acima? (Se houver mais de um, faça uma resposta separada para cada um).
7. Você acredita que houve fatores que difícultaram a implementação das ações mencionadas acima? Em caso afirmativo, poderia listá-los e especificar quais e por quê? Somente se o entrevistado mencionar vários obstáculos: Se você tivesse que classificá-los, qual você considera o mais significativo durante o processo?
8. Por outro lado, você acredita que houve fatores que facilitaram ou favoreceram a implementação dessas ações? Em caso afirmativo, especifique quais e por quê.
9. Na sua opinião, e com base nas informações disponíveis, as ações tomadas tiveram algum efeito até o momento (positivo ou negativo)? Por favor, especifique.
10. Quais seriam, em sua opinião, as principais lições aprendidas e os processos de aprendizagem geral derivados desta(s) experiência(s)?
11. Você tem conhecimento de algum interesse institucional em avançar ou continuar a avançar as linhas de trabalho voltadas à promoção da construção sustentável no país? Em caso afirmativo, especifique quais linhas. (Caso isso não surja espontaneamente, pergunte especificamente sobre o interesse da instituição em promover: i) o uso do BIM, ii) a construção em madeira, e iii) o desenvolvimento de metodologias e/ou capacidades para mensurar a pegada de carbono na construção).
12. Somente se o assunto ainda não tiver sido abordado: Você tem conhecimento de outras organizações no país — públicas ou privadas — que estejam desenvolvendo iniciativas para avançar rumo a um setor da construção mais sustentável? Você articulou esforços com essas entidades? Em caso afirmativo, forneça exemplos específicos.
13. Quais são, em sua opinião, os principais desafios futuros para o avanço do desenvolvimento de um setor da construção civil mais sustentável e resiliente no país?

14. Caso não haja uma resposta imediata à pergunta anterior: Quais são, em sua opinião, os principais requisitos em termos de capacitação — nos níveis institucional e sistêmico —, para promover o crescimento da construção civil com uma abordagem mais sustentável?

15. Você tem outras ideias ou sugestões que, em sua opinião, possam contribuir para os objetivos deste estudo?

Antes do término da entrevista, será perguntado ao entrevistado se ele tem conhecimento de algum documento que contenha informações sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE) do setor da construção civil no país.

Muito obrigada(o) por sua colaboração!

Fim da entrevista

---

### III. Diretrizes para referentes do setor empresarial

A formulação das perguntas depende do entrevistado pertencer a uma câmara de comércio ou a uma empresa com experiência em alguma das práticas de interesse.

#### A. Para câmaras de comércio

1. Para começar, poderia me informar quantos membros a organização possui, os tipos de empresas que representa e suas principais atividades? (Esta pergunta visa compreender a perspectiva do entrevistado e fornece contexto à entrevista).
2. Como certamente sabe, há ampla evidência de que a indústria da construção civil é altamente poluente. Com base em seu conhecimento e compreensão, poderia sugerir algumas metodologias, materiais e/ou soluções tecnológicas ou construtivas atualmente disponíveis que ajudem a reduzir o impacto ambiental do setor? (Esta pergunta avalia o nível de conhecimento do entrevistado sobre o tema e quais atividades ele associa ao conceito de construção sustentável).

3. Com base nas informações que você possui, qual a abrangência da aplicação das práticas mencionadas no país? E entre os membros da organização em particular? (Concentre a pergunta em cada uma das práticas mencionadas pelo entrevistado em sua resposta à pergunta anterior.) Se possível, peça exemplos.
4. Em que medida essas iniciativas são demandadas no mercado? De onde vem principalmente a demanda? Como você percebe a relação entre oferta e demanda na construção sustentável?
5. A organização desenvolveu alguma ação com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento de um setor da construção civil mais sustentável e/ou resiliente? Por favor, especifique. Essas ações envolvem outras partes interessadas do sistema?
6. Somente se a resposta à pergunta anterior for sim: Quais são as principais motivações para a implementação de ações de sustentabilidade no setor?
7. Somente se o tema não tiver sido abordado anteriormente: Você tem conhecimento de alguma iniciativa pública ou projeto nacional voltado ao desenvolvimento do setor da construção civil, com uma abordagem sustentável no país?
8. A instituição desenvolveu alguma estratégia para gerar ou fortalecer competências institucionais e/ou de seus membros sobre esses temas, seja por meio de treinamento ou de conscientização? Em caso afirmativo, indique qual estratégia e se ela envolveu a colaboração de outras partes interessadas.
9. Você acredita que existem obstáculos ou limitações ao avanço do desenvolvimento do setor da construção civil com uma abordagem sustentável no país? Em caso afirmativo, especifique-os e indique quem poderia desenvolver ações para reduzi-los.
10. Por outro lado, você acredita que existem fatores que podem facilitar ou promover o progresso rumo ao desenvolvimento de um setor da construção civil sustentável? Em caso afirmativo, especifique quais e por quê.
11. Com base no seu conhecimento de experiências específicas na aplicação de práticas voltadas à construção sustentável (especifique quais), você identifica alguma lição aprendida com elas?
12. Além dos benefícios ambientais, você acredita que há benefícios para a empresa associados à participação em projetos de construção sustentável? Em caso afirmativo, especifique quais. (Caso essa questão não surja espontaneamente na resposta, pergunte sobre os benefícios econômicos e de imagem corporativa).
13. A organização tem interesse em avançar ou continuar avançando em linhas de trabalho voltadas à promoção da construção sustentável? Somente se a resposta for sim, especifique quais linhas. (Caso essa questão não surja espontaneamente, pergunte especificamente sobre o interesse da organização em avançar em i) o uso do BIM, ii) construção em madeira, e iii) desenvolvimento de metodologias e/ou capacidades para mensurar a pegada de carbono na construção).
14. Quais você considera os principais desafios futuros para o avanço do desenvolvimento de um setor da construção mais sustentável e resiliente no país?
15. Caso não surja espontaneamente da questão anterior: Quais são, em sua opinião, os principais requisitos em termos de desenvolvimento de competências — institucionais e sistêmicas — para promover a expansão da construção civil com uma abordagem mais sustentável e resiliente?
16. Você tem outras ideias ou sugestões que, em sua opinião, possam contribuir para os objetivos deste estudo?

Antes do término da entrevista, consultar se há conhecimento de algum documento com informações sobre as emissões de gases de efeito estufa do setor da construção civil no país.

Muito obrigada(o) por sua colaboração!

Fim da entrevista

---

**B. Para empresas**

1. Para começar, poderia me falar sobre as atividades comerciais da empresa, seu público-alvo e o número de colaboradores? (Esta pergunta visa compreender a perspectiva do entrevistado e fornece contexto à entrevista).
2. Como certamente sabe, há ampla evidência de que a indústria da construção civil é altamente poluente. Com base em suas informações e conhecimento, poderia sugerir algumas metodologias, materiais e/ou soluções tecnológicas ou construtivas atualmente disponíveis que ajudem a reduzir o impacto ambiental do setor? (Esta pergunta avalia o nível de conhecimento do entrevistado sobre o tema e quais atividades ele associa ao conceito de construção sustentável).
3. A empresa desenvolveu ou participou de algum projeto de construção que incorpore uma abordagem sustentável e/ou resiliente? Em caso afirmativo, forneça detalhes.
4. Em que medida essas iniciativas são demandadas? De onde vem a demanda principalmente? Como você percebe a relação entre oferta e demanda na construção sustentável?
5. A empresa desenvolveu alguma estratégia para desenvolver ou fortalecer as habilidades de seus funcionários nessas áreas? Em caso afirmativo, especifique quais foram essas estratégias e se envolveram colaboração com outras partes interessadas.
6. Quais foram, em sua opinião, os principais desafios associados à implementação dos projetos mencionados anteriormente? (Caso haja mais de um, forneça uma pergunta separada para cada um).
7. Você acredita que houve algum fator que tenha dificultado a implementação dos projetos mencionados anteriormente? Liste-os. Em caso afirmativo, especifique quais e por quê. (Apenas se você mencionar vários obstáculos: se tivesse que classificá-los, qual obstáculo você considera o mais significativo durante o processo?)
8. Por outro lado, você acredita que houve fatores que facilitaram ou favoreceram a implementação desses projetos? Em caso afirmativo, especifique quais e por quê.
9. Na sua opinião, e com base nas informações disponíveis, os projetos desenvolvidos tiveram algum efeito até o momento (positivo ou negativo)? Especifique.
10. Quais seriam as principais lições aprendidas e os processos de aprendizagem geral derivados desta(s) experiência(s)?
11. Além dos benefícios ambientais, quais são, em sua opinião, os principais benefícios para a empresa associados à sua participação em projetos de construção sustentável?
12. A empresa tem interesse em avançar ou continuar avançando no desenvolvimento e na implementação de projetos de construção sustentável? Em caso afirmativo, especifique o tipo de projeto. (Caso a resposta não surja espontaneamente, pergunte especificamente sobre o interesse da empresa em avançar em i) uso de BIM, ii) construção em madeira, e iii) aplicação de metodologias para mensuração da pegada de carbono ao longo do ciclo de vida do ativo e certificação de edifícios sustentáveis).
13. Caso o assunto ainda não tenha sido abordado: você tem conhecimento de alguma iniciativa pública ou projeto nacional voltado para o desenvolvimento do setor da construção civil com uma abordagem sustentável no país?
14. Quais são, em sua opinião, os principais desafios futuros para o avanço do desenvolvimento de um setor da construção civil mais sustentável e resiliente no país?
15. Caso a resposta não surja espontaneamente da pergunta anterior, quais são, em sua opinião, os principais requisitos em termos de desenvolvimento de competências — dentro da empresa e em nível sistêmico — para alcançar a expansão da construção civil com uma abordagem mais sustentável e resiliente?
16. Gostaria de fazer outras reflexões ou sugestões que considere relevantes para os objetivos deste estudo?

Muito obrigada(o) por sua colaboração!

Fim da entrevista

---

#### IV. Diretrizes para referentes do setor acadêmico ou associações profissionais

A formulação das perguntas depende do tipo de informante.

##### A. Para o setor acadêmico

1. Para começar, poderia me falar sobre o tipo de ofertas acadêmicas – cursos de capacitação e pesquisa – da instituição relacionadas ao setor da construção civil? (Esta pergunta visa compreender a perspectiva do entrevistado e fornece contexto à entrevista).
2. Como certamente sabe, há ampla evidência de que a atividade da construção civil é altamente poluente. Com base em suas informações e conhecimento, poderia sugerir algumas metodologias, materiais e/ou soluções tecnológicas ou construtivas atualmente disponíveis que ajudem a reduzir o impacto ambiental do setor? (Esta pergunta avalia o nível de conhecimento do entrevistado sobre o tema e quais atividades ele associa ao conceito de construção sustentável).
3. Sua instituição oferece programas de treinamento – incluindo disciplinas curriculares ou atividades de educação continuada – voltados ao desenvolvimento de um setor da

construção civil mais sustentável e/ou resiliente? Por favor, especifique. (Caso a resposta não esteja clara, pergunte especificamente sobre treinamentos no uso de BIM, construção em madeira e medição da pegada de carbono ao longo do ciclo de vida da construção).

4. Somente se a resposta à pergunta anterior for afirmativa: A partir de que ano vocês oferecem treinamentos sobre esses tópicos e qual o número aproximado de pessoas treinadas a cada ano?
5. Somente se aplicável: Qual foi a estratégia da instituição para desenvolver ou fortalecer suas próprias competências em construção sustentável e resiliente, seja por meio de treinamentos ou de conscientização? Em caso afirmativo, indique se isso envolveu colaboração com outras partes interessadas.
6. A instituição desenvolve linhas específicas de pesquisa sobre construção sustentável? (Caso isso não surja espontaneamente, pergunte sobre pesquisas relacionadas à resiliência climática, materiais sustentáveis, projetos sustentáveis, novos sistemas de construção, digitalização e avaliação e verificação de impactos ambientais).

7. Somente se o tópico não tiver sido abordado anteriormente: Vocês têm conhecimento de alguma iniciativa pública ou projeto nacional voltado ao desenvolvimento do setor da construção, com foco em sustentabilidade, no país?
8. Você acredita que existem obstáculos ou limitações ao avanço do desenvolvimento do setor da construção com foco em sustentabilidade no país? Em caso afirmativo, especifique-os.
9. Por outro lado, acredita que existem fatores que poderiam facilitar ou promover o progresso rumo ao desenvolvimento de um setor da construção civil com foco na sustentabilidade? Abordagem sustentável? Em caso afirmativo, especifique quais e por quê.
10. A organização tem interesse em avançar ou continuar a avançar na geração de programas de treinamento em construção sustentável? Somente em caso afirmativo: especifique em quais áreas. (Caso essa questão não surja espontaneamente, pergunte especificamente sobre o interesse da organização em avançar em i) o uso do BIM, ii) construção em madeira, e iii) o des-

envolvimento de metodologias e/ou capacidades para mensurar a pegada de carbono na construção civil).

11. Quais são, em sua opinião, os principais desafios futuros para promover o desenvolvimento de um setor da construção civil mais sustentável e resiliente no país?
12. Somente se essa questão não surgir espontaneamente da pergunta anterior: Quais são, em sua opinião, os principais requisitos, em termos de desenvolvimento de competências, para profissionais do setor, a fim de promover o crescimento da construção civil com uma abordagem mais sustentável e resiliente?
13. Tem alguma outra ideia ou sugestão que acredite que possa contribuir para os objetivos deste estudo?

Antes do término da entrevista, consultar se há conhecimento de algum documento com informações sobre as emissões de gases de efeito estufa do setor da construção civil no país.

Muito obrigada(o) por sua colaboração!

Fim da entrevista

---

## B. Para associações profissionais

1. Para começar, poderia me dizer quantos membros esta organização tem, o tipo de profissionais que reúne e quais são suas principais atividades? (Esta pergunta visa compreender a perspectiva do entrevistado e fornece contexto à entrevista).
2. Como certamente sabe, há ampla evidência de que a indústria da construção civil é altamente poluente. Com base em suas informações e conhecimento, poderia me falar sobre algumas metodologias, materiais e/ou soluções tecnológicas ou construtivas atualmente disponíveis que ajudem a reduzir o impacto ambiental do setor? (Esta pergunta avalia o nível de conhecimento do entrevistado sobre o tema e quais atividades ele associa ao conceito de construção sustentável).
3. Com base nas informações que você possui, qual a extensão da aplicação das práticas mencionadas no país? E entre os membros da organização em particular? (Concentre a pergunta em cada uma das práticas mencionadas pelo entrevistado na resposta à pergunta anterior). Se possível, forneça exemplos.
4. Em que medida essas iniciativas são demandadas no mercado? De onde vem principalmente a demanda? Como você percebe a relação entre oferta e demanda na construção sustentável?
5. Em que medida você acredita que os profissionais do setor possuem a formação e as habilidades necessárias para realizar atividades de construção com uma abordagem sustentável e resiliente?
6. A organização realizou alguma ação com o objetivo de desenvolver ou fortalecer as habilidades de seus membros em relação a essas questões, seja por meio de treinamento ou de conscientização? Em caso afirmativo, especifique quais foram essas ações e se houve colaboração com outras partes interessadas.
7. Somente se o tópico não tiver sido abordado anteriormente: Você tem conhecimento de alguma iniciativa pública ou projeto nacional voltado ao desenvolvimento do setor da construção, com uma abordagem sustentável no país?
8. Você acredita que existem obstáculos ou limitações ao avanço do desenvolvimento do setor da construção com uma abordagem sustentável no país? Em caso afirmativo, especifique-os.
9. Por outro lado, você acredita que existem fatores que poderiam facilitar ou promover o progresso rumo ao desenvolvimento de um setor da construção sustentável? Em caso afirmativo, especifique-os e explique o porquê.
10. Você tem conhecimento de alguma experiência específica na aplicação de práticas de construção sustentável no país? Por favor, especifique. Somente se sim: Você identifica alguma lição aprendida com essas experiências?
11. A organização tem interesse em avançar ou continuar avançando em linhas de trabalho voltadas à promoção da construção sustentável? Somente em caso afirmativo, especifique quais linhas. (Caso a resposta não surja espontaneamente, pergunte especificamente sobre o interesse da organização em avançar em i) o uso do BIM, ii) a construção em madeira, e iii) o desenvolvimento de metodologias e/ou capacidades para mensurar a pegada de carbono na construção.

12. Quais são, em sua opinião, os principais desafios futuros para promover o desenvolvimento de um setor da construção mais sustentável e resiliente no país?
13. Somente se a resposta não surgir espontaneamente da pergunta anterior: Quais são, em sua opinião, as principais necessidades em termos de capacitação — institucional e sistêmica — para promover o crescimento da construção com uma abordagem mais sustentável e resiliente?
14. Gostaria de fazer outras reflexões ou sugestões que, em sua opinião, possam contribuir para os objetivos deste estudo?

Antes do término da entrevista, consultar se há conhecimento de algum documento com informações sobre as emissões de gases de efeito estufa do setor da construção civil no país.

Muito obrigada(o) por sua colaboração!

Fim da entrevista

---

# ANEXO III.

## INICIATIVAS IDENTIFICADAS POR PAÍS

### I. Brasil

As entrevistas revelaram pelo menos nove iniciativas no Brasil voltadas ao desenvolvimento da construção sustentável. A primeira, em 2007, foi a criação do Conselho Brasileiro da Construção Sustentável (CBCS), uma organização técnica nacional que tem apoiado diversas iniciativas governamentais, como a Plataforma de Desempenho Energético Operacional de Edifícios (DEO) e o Projeto Cidades Eficientes, ambos criados em 2018, e o Sistema de Informação de Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC), criado em 2022.

Do setor governamental, foram identificadas duas principais linhas de intervenção:

**1. Promoção indireta por meio de licitações públicas:** Iniciativas lideradas pela Ministério das Cidades com forte apoio de instituições acadêmicas. Cabe destacar que o Brasil possui um dos maiores déficits habitacionais da América Latina. Um dos principais programas de habitação social é o Minha Casa Minha Vida

(2009), que visou construir 2 milhões de moradias em quatro anos, e o programa ProMorar (2023), em colaboração com o BID, que foca na reforma sustentável e resiliente de moradias para populações de baixa renda.

**2. Projeto Construa Brasil:** Lançado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDICS) e pela Rede Catarinense de Inovação (RECEPETI) em 2022, busca modernizar o setor da construção civil por meio de (i) convergência de normas de construção e aprimoramentos no processo de obtenção de alvarás de construção, (ii) disseminação do uso do BIM, e (iii) promoção da construção industrializada. O programa contribui para a melhoria da sustentabilidade ambiental do setor da construção civil, apoiando a inovação e aprimorando a eficiência dos diferentes processos envolvidos.

No setor privado, a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) lançou, em 2017, um projeto para mapear ações e práticas de sustentabilidade que gerem retorno financeiro positivo. Essa iniciativa ressalta a importância de vincular a sustentabilidade ambiental à sustentabilidade econômica e financeira.

O Fórum BIM, ativo desde 2017, promove a ampla adoção da metodologia BIM na indústria, envolvendo entidades empresariais, governamentais e acadêmicas. Além disso, grupos acadêmicos no Brasil dedicam-se à pesquisa e ao treinamento em áreas relacionadas à construção sustentável e à resiliência climática.

Quadro A3.1. Brasil: iniciativas que contribuem para a construção sustentável

Iniciativa	Ano de lançamento	Principais organizações envolvidas	Setor Institucional		
			Gov.	Emp.	Acad./Prof.
Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS)	2007	Academia, empresas e associações empresariais, representantes governamentais, profissionais			
Programa Minha Casa Minha Vida	2009	Ministério das Cidades (MCIDADES), Caixa, apoio de instituições financeiras			
BIM Forum Brasil	2017	Organizações empresariais, governamentais, acadêmicas e profissionais			
Mapeamento de Oportunidades de Negócios em Sustentabilidade	2017	Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC)			
Projeto Cidades Eficientes	2018	CBCS, Municípios			
Plataforma de Desempenho Energético Desempenho Operacional de Edifícios (DEO)	2018	CBCS, Eletrobras, entre outros			
Sistema de Informação de Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC)	2022	MME, CBCS, MDR, E. Pesquisa Energética, Eletrobras, Procel, GIZ, associações empresariais, entre outros			
Projeto Construa Brasil	2022	Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDICS), Rede Catarinense de Inovação (RECEPETI)			
Programa ProMorar Brasil	2023	CS, apoio de instituições acadêmicas, apoio financeiro BID			

Fonte: Elaborado pelos autores com base em entrevistas realizadas (2023-2024).

Nota: O setor institucional que lidera a iniciativa (governamental, empresarial ou acadêmico/profissional) está indicado em azul mais escuro.

## II. Chile

No Chile, foram identificadas pelo menos 18 iniciativas voltadas ao desenvolvimento da construção sustentável. Como pode ser observado no Quadro A3.2, destaca-se a liderança do setor público, estruturada em torno de duas abordagens principais:

**Iniciativas Interministeriais:** Desde a assinatura do Acordo Interministerial sobre Construção Sustentável em 2012, inicialmente firmado pelos Ministérios da Habitação e Desenvolvimento Urbano (MINVU), Obras Públicas (MOP) e Meio Ambiente (MMA), e posteriormente ampliado para incluir outros ministérios, diversas iniciativas-chave foram desenvolvidas: (i) Estratégia Nacional de Construção Sustentável (2013), (ii) Plano Nacional de Construção Sustentável 2050, (iii) Plano de Mudanças Climáticas para Infraestrutura e Edificações Públicas (2017), (iv) Roteiro para a Estratégia Nacional de Pegada de Carbono na Construção (2018), (v) Normas de Construção Sustentável (2018), (vi) Roteiro para Resíduos de Construção e Demolição e Economia Circular na Construção (2020), (vii) Certificação de Edificações (2014) e Habitação Sustentável (2020), e (viii) concursos de inovação, incluindo Habitação Industrializada (2022).

**Iniciativas da CORFO:** A Corporação de Fomento da Produção (CORFO) desempenhou um papel crucial, especialmente por meio do programa estratégico Construye2025, lançado em 2016. Este programa promoveu: (i) o PlanBIM (2016), (ii) o Conselho de Construção Industrializada (2017), (iii) o Roteiro para Resíduos de Construção e Demolição e a Economia Circular na Construção (2018), (iv) concursos públicos para o projeto de protótipos de habitações neutras em carbono (2023).

A CORFO também promoveu a criação de dois centros tecnológicos em 2017: o Centro Interdisciplinar de Produtividade e Construção Sustentável (CIPYCS) e o Centro Tecnológico de Inovação em Produtividade e Sustentabilidade na Construção (CTEC). Ambos oferecem serviços de prototipagem, monitoramento tecnológico, consultoria em BIM e Lean Construction, além de cursos de formação, entre outros. A CTEC desenvolveu a Plataforma Passaporte de Materiais (2023), uma ferramenta para registro e validação de informações sobre a sustentabilidade de materiais de construção.

O setor empresarial chileno tem desempenhado um papel ativo, especialmente na gestão de resíduos e na promoção do BIM. Exemplos notáveis incluem os Acordos de Produção Limpa e o Fórum BIM Chile. Além disso, a Câmara Chilena da Construção (CChC) promoveu o Compromisso e Selo PRO, que se concentra em um modelo de gestão empresarial sustentável que considera aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Por fim, o setor acadêmico no Chile também se envolveu em treinamento e pesquisa relacionados à construção sustentável e resiliente, complementando assim os esforços governamentais e empresariais.

Quadro A3.2. Chile: iniciativas que contribuem para a construção sustentável

Iniciativa	Ano de lançamento	Principais organizações envolvidas	Setor Institucional		
			Gov.	Emp.	Acad./Prof.
Estratégia Nacional de Construção Sustentável	2012	MINVU, MOP, MMA, Ministérios da Economia, Desenvolvimento e Turismo, Ministério do Desenvolvimento Social e da Família			
BIM Forum Chile	2015	CDT do CChC, organizações empresariais, governamentais, acadêmicas e profissionais			
Construye2025	2016	CORFO, CChC, MOP, Instituto Chileno da Construção (IC), universidades			
PlanBIM	2016	CORFO, com o apoio de instituições públicas, privadas e acadêmicas			
Conselho da Construção Industrializada	2017	Construye2025, CTEC, CChC			
Centros Tecnológicos de Inovação na Construção	2017	CORFO (financiadora), empresas, academia (implementadoras)			
Desenvolvimento e Atualizações Regulatórias	2017	Construye2025, Instituto Nacional de Normas, IC, MINVU			
Código Modelo Sismíco para a América Latina e no Caribe	2017	IC (Coordenador) MINVU, ACHISINA, AICE, SOCHIGE, organizações de 16 países da América Latina e no Caribe			
Normas de Construção Sustentável	2018	MINVU, outras agências públicas, setor empresarial, setor acadêmico			
Roteiro para a Estratégia Nacional sobre Pegada de Carbono na Construção	2018	MINVU e ministérios relacionados, IC, CChC, CTEC, universidades privadas, entre outros			
Acordos de Produção Limpa	2020	CChC, CORFO, MOP, Agência para a Sustentabilidade e Mudanças Climáticas (ASCC), governos regionais, entre outros			
Roteiro para Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e a Economia Circular na Construção	2020	Construye 2025, MINVU, MOP, MMA, IC, CChC			
Compromisso PRO	2021	CChC			
Desafio Net Zero	2023	Construye2025-CORFO, Associação Chilena de Arquitetos			
Certificação de Construção Sustentável	2014	MOP, CChC, IC, Conselho Chileno de Arquitetos, Innove Corfo			
Certificação de Habitação Sustentável (CVS)	2020	MINVU, MMA, Ministério da Energia, IC, CChC, Conselho Chileno de Arquitetos, CES, Associação de Incorporadoras Imobiliárias e CTEC			
Plataforma Passaporte de Materiais	2023	CTEC, Chile Green Building Council			
Concurso de Inovação: Habitação Industrializada no Chile	2022	CChC, MINVU, CTEC			
Plano de Mudanças Climáticas para Infraestrutura e Edifícios Públicos	2017	MOP, com o apoio do BID			

Fonte: Elaborado pelos autores com base em entrevistas realizadas (2023-2024).

Nota: O setor institucional que lidera a iniciativa (governamental, empresarial ou acadêmico/profissional) está indicado em azul mais escuro.

### III. Costa Rica

Na Costa Rica, foram identificadas pelo menos oito iniciativas voltadas para o desenvolvimento da construção sustentável, com a Federação das Associações de Engenheiros e Arquitetos (CFIA) desempenhando um papel de liderança. Desde 2017, a CFIA administra a Certificação Bandeira Azul Ecológica para Construção Sustentável (BAECS), que reconhece boas práticas ambientais, econômicas e sociais no projeto e construção de infraestrutura. Essa certificação está vinculada a incentivos financeiros, como linhas de crédito preferenciais do Banco da Costa Rica, e a benefícios não financeiros em alvarás de construção concedidos pelos municípios, permitindo um aumento de 30% na área de construção permitida.

A CFIA também apoia entidades governamentais em diversas iniciativas, como a norma Requisitos para Edifícios Sustentáveis nos Trópicos (RESET) (2020)<sup>46</sup>, o desenvolvimento da Metodologia de Avaliação de Risco Climático para Infraestrutura (MERCICR) (2023) e o Modelo de Habitação Urbana Inclusiva e Sustentável (VUIS) (2018).

O Ministério do Meio Ambiente e Energia (MINAE) publicou um Guia para Construção

<sup>46</sup> Norma desenvolvida em conformidade com os requisitos de nível 1 e nível 2 do *Standard Council of Canada (SCC)*, com base em um documento preparado pelo Instituto de Arquitetura Tropical.

Quadro A3.3. Costa Rica: iniciativas que contribuem para a construção sustentável

Iniciativa	Ano de lançamento	Principais organizações envolvidas	Setor Institucional		
			Gov.	Emp.	Acad./Prof.
BIM Forum Costa Rica	2017	Câmara Costarriquenha da Construção (CCC)			
Certificação Ecológica Bandeira Azul para Construção Sustentável	2017	CFIA			
Modelo de Habitação Urbana Inclusiva e Sustentável (VUIS)	2018	MIVAH, CFIA, INVU, Banhvi, outras instituições públicas e privadas			
Diretrizes para Construção Sustentável no Setor Público	2019	MINAE			
Norma RESET	2020	CFIA, Instituto Costarriquenho de Normas Técnicas (INTECO)			
Estratégia Nacional BIM Costa Rica	2020	MIDEPLAN, Comissão Interinstitucional para a Implementação da Metodologia BIM (CII-BIM)			
Agenda Nacional do Meio Ambiente Urbano	2021	Ministério da Habitação e Assentamentos Humanos (MIVAH), MINAE			
Metodologia para Avaliação de Risco Climático de Infraestrutura	2023	MINAE, CFIA, Ministério de Obras Públicas e Transportes, Instituto Nacional de Meteorologia (IMN)			

Fonte: Elaborado pelos autores com base em entrevistas realizadas (2023-2024).

Nota: O setor institucional que lidera a iniciativa (governamental, empresarial ou acadêmico/profissional) está indicado em azul mais escuro.

Sustentável no Setor Público (2019), que visa promover práticas de construção sustentável em edifícios públicos, com base em um documento orientador desenvolvido pela CFIA (Federação Costarriquenha de Engenheiros e Arquitetos). Além disso, o MINAE, em conjunto com o Ministério de Obras Públicas e Transportes (MOPT), desenvolveu a Metodologia de Avaliação de Risco Climático para Infraestrutura (MERCICR) e a Agenda Nacional Urbano-Ambiental (ANUA), que inclui um foco em descarbonização e construção sustentável.

A Diretoria de Habitação do Ministério da Habitação e Assentamentos Humanos (MIVAH), em coordenação com a CFIA, o Instituto Nacional de Habitação e Desenvolvimento Urbano (INVU), o Banco Nacional de Financiamento Imobiliário (BANHVI) e outras organizações, promoveu a Plataforma Única de Desenvolvimento Urbano e Sustentável (VUIS) por meio de um concurso nacional de propostas piloto para consolidar cidades resilientes e sustentáveis.

O Ministério do Planejamento Nacional e da Política Econômica (MIDEPLAN), com o

apoio do BID, desenvolveu a Estratégia Nacional BIM da Costa Rica e seu roteiro, bem como a Comissão Interinstitucional BIM, que promove a adoção da metodologia BIM no setor.

O setor empresarial também tem promovido a metodologia BIM por meio do Fórum BIM Costa Rica, coordenado pela Câmara da Construção da Costa Rica desde 2017, e diversas instituições acadêmicas passaram a oferecer treinamentos técnicos e profissionais em construção sustentável.

#### IV. Uruguai

No Uruguai, foram identificadas oito iniciativas voltadas para a construção sustentável, lideradas principalmente por instituições públicas, frequentemente em colaboração com o setor empresarial, especialmente a Câmara Uruguiaia da Construção (CCU).

Como pode ser observado no Quadro A3.4, diversas instituições públicas têm promovido iniciativas que incentivam, direta ou indiretamente, a construção sustentável no Uruguai, especialmente desde 2020. Essas iniciativas frequentemente envolvem outras organizações do setor público e, em pelo menos metade dos casos, contam com a participação do setor empresarial (particularmente a CCU).

**Plano Nacional de Eficiência Energética (2015-2024):** Promovido pelo Ministério das Indústrias, Energia e Minas (MIEM), este plano inclui o Sistema de Avaliação do Desempenho Energético de Edificações (2016) para aprimorar a eficiência energética em edifícios.

**Ministério da Habitação e Ordenamento do Território (MVOT):** Desde 2021, o MVOT tem promovido a construção de habitações sociais em madeira, lançando licitações públicas e desenvolvendo, com o

Quadro A3.4. Uruguai: iniciativas que contribuem para a construção sustentável

Iniciativa	Ano de lançamento	Principais organizações envolvidas	Setor Institucional		
			Gov.	Emp.	Acad./Prof.
Sistema de Avaliação do Desempenho Energético de Edifícios	2016	Ministério da Indústria, Energia e Minas (MIEM)	Gov.		
BIM Forum Uruguai	2017	CCU, CND, Universidade da República (UDELAR), Universidade ORT	Gov.	Emp.	Acad./Prof.
Projeto Piloto BIM CAIF Aeroparque	2019	CND, Instituto Nacional da Infância e Adolescência do Uruguai (INAU)	Gov.		
Circularidade no Diagnóstico da Construção	2020	CCU, Agência Nacional de Desenvolvimento Econômico (ANDE)	Gov.	Emp.	
Manual para Cálculo de Emissões de GEE em Projetos de Infraestrutura	2021	CND, CCU, Ministério do Meio Ambiente (MA), Green Climate Fund	Gov.	Emp.	
Plano Departamental de Montevideo para Gestão de Resíduos em Obras Cíveis	2021	Prefeitura de Montevideo, MA, CCU	Gov.	Emp.	
Roteiro para Construção de Habitações Sociais em Madeira	2022	MVOT, apoio do BID, participação dos setores empresarial e acadêmico	Gov.	Emp.	Acad./Prof.
Licitacoes Públicas para Construção em Madeira	2021	MVOT, Agência Nacional de Habitação (ANV), MEVIR	Gov.		

Fonte: Elaborado pelos autores com base em entrevistas realizadas (2023-2024).

Nota: O setor institucional que lidera a iniciativa (governamental, empresarial ou acadêmico/profissional) está indicado em azul mais escuro.

apoio do BID, o Roteiro para a Construção de Habitações Sociais em Madeira (2022).

**Corporação Nacional de Desenvolvimento (CND):** Em colaboração com o Ministério do Meio Ambiente (MA), a CCU (Corporação de Consumidores e Usuários) e o Fundo

Verde para o Clima, a CND desenvolveu o Manual para o Cálculo das Emissões de Gases de Efeito Estufa de Projetos de Infraestrutura (2023). A CND também desempenhou um papel fundamental na promoção da metodologia BIM em projetos de in-

fraestrutura pública. Entre 2019 e 2021, gerenciou o projeto piloto CAIF Aeroparque, que não só incorporou o BIM nas fases de projeto e construção, como também aplicou a metodologia Lean Construction em toda a sua gestão.

**Prefeitura de Montevideú:** Promoveu o Plano Departamental para a Gestão de Resíduos de Obras Civas (2021), em coordenação com o MA e a CCU.

**Câmara de Construção do Uruguai (CCU):** Além de participar das iniciativas mencionadas, a CCU desenvolveu uma avaliação da circularidade do setor da construção (2020) com o apoio da Agência Nacional de Desenvolvimento Econômico (ANDE). A CCU também coordena o Fórum BIM Uruguai, em conjunto com a Corporação Nacional de Desenvolvimento Econômico (CND) e universidades.

**Projetos acadêmicos:** Diversas instituições acadêmicas no Uruguai desenvolveram iniciativas e programas de formação profissional em construção sustentável.

Além das iniciativas mencionadas em cada um dos países analisados, foi criada, em 2019, a Rede Governamental BIM da América Latina (BIM Gov Latam). Brasil, Chile, Costa Rica e Uruguai participam dessa rede, juntamente com Argentina, Colômbia, México e Peru. Essa rede regional — criada com o apoio do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) — visa contribuir para a produtividade da indústria da construção por meio da transformação digital. Suas atividades se concentram na coordenação de iniciativas governamentais nacionais nessa área e na troca de conhecimentos e boas práticas relacionadas à promoção do uso do BIM na região.

# ANEXO IV.

## TIPOS DE SOLUÇÕES PROMOVIDAS POR PAÍS

### I. Brasil

O quadro A4.1 apresenta a categorização das iniciativas de construção sustentável no Brasil de acordo com o tipo de solução promovida. O Brasil desenvolveu iniciativas que abrangem todos os seis tipos de soluções identificados no estudo. No entanto, algumas soluções foram promovidas com mais frequência do que outras, refletindo

a tendência observada no Gráfico 6 para todos os países analisados.

No Brasil, as iniciativas mais comuns incluem medidas para melhorar a eficiência da gestão, a mensuração e verificação dos impactos ambientais, o uso de tecnologias digitais avançadas e o projeto com critérios de sustentabilidade. Menos frequentes são aquelas que promovem o uso de materiais

sustentáveis ou sistemas construtivos industrializados. Da mesma forma, poucas incorporam critérios de resiliência a desastres naturais e mudanças climáticas.

O quadro a seguir também revela que um terço das iniciativas identificadas no Brasil tende a se concentrar em um único tipo de solução, como a promoção de projetos sustentáveis ou o uso do BIM.

Quadro A4.1. Brasil: iniciativas identificadas de acordo com o tipo de solução

Iniciativa	Tipos de Soluções						Resiliência
	Design Sustentável	Medição e Verificação	Gestão Eficiente	Tecnologias Digitais Avançadas	Materiais Sustentáveis	Sistema de Construção Industrial	
Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS)							
Programa Minha Casa Minha Vida							
BIM Forum Brasil							
Mapeamento de Oportunidades de Negócios em Sustentabilidade							
Projeto Cidades Eficientes							
Plataforma de Desempenho Energético Operacional de Edifícios (DEO)							
Sistema de Informação de Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC)							
Projeto Construa Brasil							
Programa ProMorar Brasil							

Fonte: Elaborado pelos autores com base em entrevistas realizadas (2023-2024).

## II. Chile

O Quadro A4.2 apresenta a categorização das iniciativas de construção sustentável segundo o tipo de solução promovida no Chile. Este quadro mostra que, assim como no caso do Brasil, iniciativas que promovem a construção ambientalmente sustentável também foram desenvolvidas no Chile, fomentando os seis tipos de soluções identificados neste estudo.

No Chile, pelo menos metade das iniciativas está relacionada à mensuração e à verificação da sustentabilidade ambiental de edificações, a abordagens de gestão eficientes e a medidas de projeto arquitetônico sustentável. Em consonância com os resultados gerais, iniciativas que promovem sistemas construtivos industrializados e o uso de materiais sustentáveis também são menos frequentes no Chile, embora pelo menos cinco iniciativas distintas associadas a cada uma dessas soluções tenham sido identificadas no país.

Vale ressaltar que o levantamento qualitativo identificou diversas iniciativas governamentais no Chile que promovem todos os tipos de soluções de construção sustentável mapeadas neste estudo. É o caso, por exemplo, da criação do programa Construye2025 e dos Centros Tecnológicos de Inovação na Construção da Corporação

Quadro A4.2. Chile: iniciativas identificadas de acordo com o tipo de solução

Iniciativa	Tipos de Soluções						Resiliência
	Design Sustentável	Medição e Verificação	Gestão Eficiente	Tecnologias Digitais Avançadas	Materiais Sustentáveis	Sistema de Construção Industrial	
Estratégia Nacional de Construção Sustentável							
BIM Forum Chile							
Construye2025							
PlanBIM							
Conselho de Construção Industrializada							
Centros Tecnológicos de Inovação na Construção							
Desenvolvimento e Atualizações Regulatórias							
Código Sísmico Modelo para a América Latina e no Caribe							
Normas de Construção Sustentável							
Roteiro para a Estratégia Nacional sobre Pegada de Carbono na Construção							
Acordos de Construção Limpa							
Roteiro para Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e a Economia Circular na Construção							
Compromisso PRO							
Desafio Net Zero							
Certificação de Habitação/Edifícios Sustentáveis							
Plataforma Passaporte de Materiais							
Concurso de Inovação: Habitação Industrializada no Chile							
Plano de Mudanças Climáticas para Infraestrutura e Edifícios Públicos							

Fonte: Elaborado pelos autores com base em entrevistas realizadas (2023-2024).

de Fomento da Produção (CORFO), juntamente com suas respectivas linhas de trabalho.

### III. Costa Rica

O Quadro A4.3 categoriza as iniciativas de construção sustentável na Costa Rica conforme o tipo de solução adotada. De modo geral, as iniciativas identificadas abrangem todos os tipos de soluções categorizados no estudo, embora se observe um forte foco em medidas de projeto sustentável e de resiliência às mudanças climáticas ou a desastres naturais.

Em contrapartida, foi identificada apenas uma iniciativa relacionada à aplicação de sistemas construtivos industrializados, inserida no desenvolvimento das normas *Requisitos para Edificações Sustentáveis nos Trópicos (RESET)*. Além disso, as iniciativas na Costa Rica que envolvem o uso de tecnologias digitais avançadas na construção parecem pouco integradas a outras soluções que promovem a construção sustentável.

Quadro A4.3. Costa Rica: iniciativas identificadas de acordo com o tipo de solução

Iniciativa	Tipos de Soluções						Resiliência
	Design Sustentável	Medição e Verificação	Gestão Eficiente	Tecnologias Digitais Avançadas	Materiais Sustentáveis	Sistema de Construção Industrial	
BIM Forum Costa Rica							
Certificação Ecológica Bandeira Azul para Construção Sustentável							
Modelo de Habitação Urbana Inclusiva e Sustentável (VUIS)							
Diretrizes para Construção Sustentável no Setor Público							
Requisitos para Edifícios Sustentáveis nos Trópicos (RESET)							
Estratégia Nacional BIM Costa Rica							
Agenda Nacional Urbana e Ambiental							
Metodologia para Avaliação de Risco Climático de Infraestrutura							

Fonte: Elaborado pelos autores com base em entrevistas realizadas (2023-2024).

#### IV. Uruguai

O Quadro A4.4 apresenta a categorização das iniciativas que promovem a construção sustentável no Uruguai, segundo o tipo de solução. Pelo menos metade das iniciativas identificadas está relacionada a estratégias para medir e avaliar a sustentabilidade de edificações, bem como a abordagens de gestão eficiente nas fases de projeto, construção e operação.

Outro ponto a destacar é que as iniciativas que promovem sistemas de construção industrializados são menos frequentes e focam em licitações públicas para construção em madeira. É importante ressaltar que não foram identificadas iniciativas voltadas à adoção de critérios de resiliência climática ou de resiliência a desastres naturais na construção de infraestrutura no Uruguai.

Além disso, a maioria das iniciativas no Uruguai (6 de 8) integra, no máximo, dois tipos de soluções distintos, e nenhuma delas abrange todos os seis tipos de soluções mapeados no estudo.

Quadro A4.4. Uruguai: iniciativas identificadas de acordo com o tipo de solução

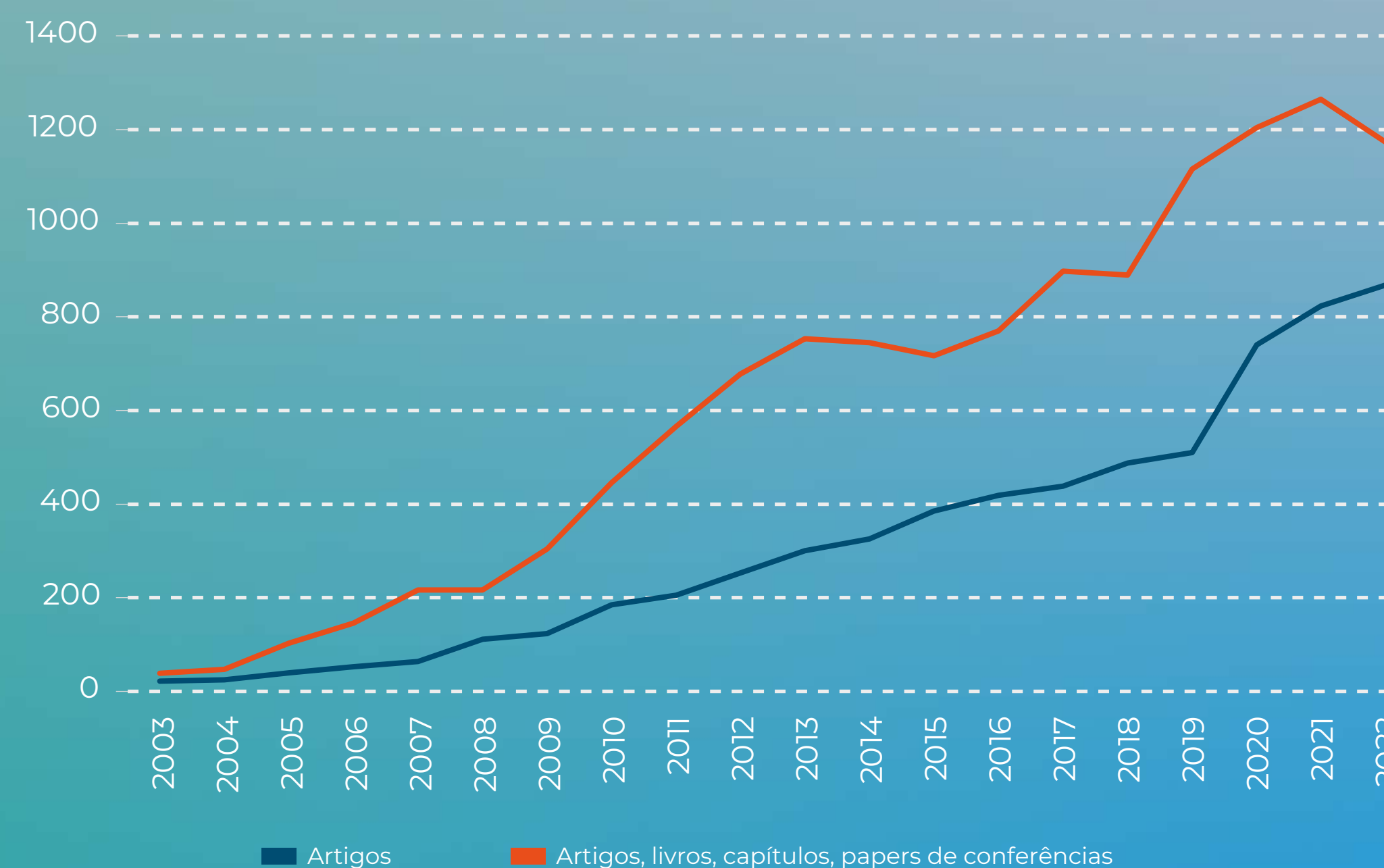
Iniciativa	Tipos de Soluções						Resiliência
	Design Sustentável	Medição e Verificação	Gestão Eficiente	Tecnologias Digitais Avançadas	Materiais Sustentáveis	Sistema de Construção Industrial	
Sistema de Avaliação do Desempenho Energético de Edifícios	■	■	■				
BIM Forum Uruguai				■			
Projeto Piloto BIM do CAIF Aeroparque			■	■			
Diagnóstico da Circularidade na Construção		■	■				
Manual para Cálculo de Emissões de GEE em Projetos de Infraestrutura		■					
Plano Departamental de Montevideu para Gestão de Resíduos em Obras Civas		■	■				
Roteiro para Construção de Habitações Sociais em Madeira		■			■		
Licitações Públicas para Construção em Madeira	■				■	■	

Fonte: Elaborado pelos autores com base em entrevistas realizadas (2023-2024).

# ANEXO V. GERAÇÃO DE CONHECIMENTO SOBRE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

**A**ssociado às crescentes preocupações com o impacto ambiental da construção, as últimas duas décadas testemunharam um forte e sustentado crescimento na produção científica e tecnológica global relacionada à construção sustentável (Gráfico A5.1). De fato, entre 2003 e 2022, tanto o número de artigos científicos quanto a produção bibliográfica em geral — artigos, livros, capítulos de livros e trabalhos apresentados em conferências — aumentaram a uma taxa média de 20% ao ano, segundo dados do repositório Scopus. Atualmente, são produzidos aproximadamente 900 artigos e 1.200 documentos científicos e tecnológicos sobre construção sustentável anualmente em todo o mundo.

Gráfico A5.1. Publicações científicas e tecnológicas sobre construção sustentável em nível global, período 2003-2022



Fonte: Scopus (Portal Timbó, ANII), acessado em novembro de 2023.

Nota: Inclui publicações que contenham qualquer uma das seguintes palavras-chave: green construction, sustainable construction, eco-friendly construction, environmentally responsible construction, green buildings, environmentally sustainable construction, low-impact building, sustainable building, carbon-neutral construction, zero-emission building, net-zero building, energy-efficient building.

A abordagem do tema da construção sustentável, sob uma perspectiva bibliográfica, abrange múltiplos campos do conhecimento, incluindo engenharia e arquitetura (66% das publicações científicas e tecnológicas), ciências ambientais (32%), energia (25%), ciências sociais (21%), ciência dos materiais (15%), gestão e negócios (12%) e ciência da computação (9%), entre outros (análise de publicações no Scopus [2023]).

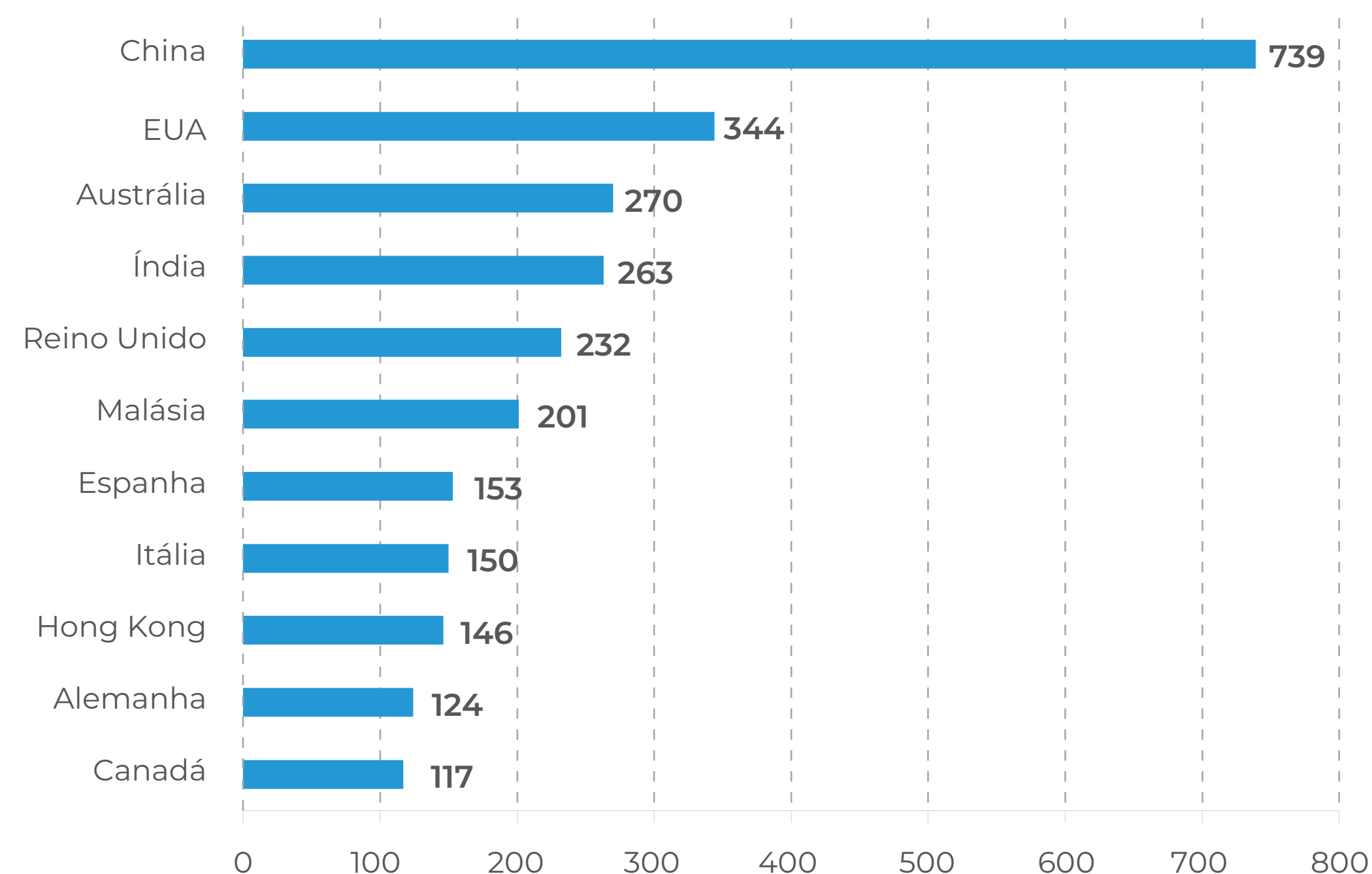
Globalmente, a China lidera a produção científica e tecnológica sobre construção sustentável, representando mais de um quinto (22%) da produção sobre o tema nos últimos cinco anos (2018-2022) (Gráfico A5.2). Em seguida, embora com um volume de produção significativamente menor, vêm os Estados Unidos, a Austrália, a Índia e o Reino Unido, seguidos por outros países desenvolvidos da Ásia, da Europa e da América do Norte. Em décimo quinto lugar, considerando o número de publicações, está um país fora dessas regiões: o Egito. E em 17º lugar, o primeiro país sul-americano: o Brasil.

As atividades de pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico que resultaram em publicações sobre construção sustentá-

tável nos últimos cinco anos receberam apoio de governos nacionais e/ou comunitários em mais da metade dos casos. Destacam-se as numerosas publicações apoiadas pela Fundação Nacional de Ciências Naturais da China, pelo Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento da China, pelo Conselho de Pesquisa Australiano, pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, pela Fundação Nacional de Ciências dos EUA, pela Comissão Europeia, pela Fundação Nacional de Pesquisa da Coreia, pelo Ministério da Educação Superior da Malásia e pelo Programa Horizonte 2020, entre outros (Scopus, 2023).

Em consonância com a tendência global, a América Latina e no Caribe (ALC) também têm apresentado crescimento na produção científica e tecnológica sobre temas relacionados à sustentabilidade da indústria da construção nas últimas décadas, embora esse desenvolvimento tenha começado mais tarde (a partir de 2005) e em uma escala significativamente menor (Gráfico A5.3). Entre 2005 e 2022, a produção de artigos sobre esse tema na região cresceu, em média, 23% ao ano, embora represente apenas 3,6% da produção anual total.

**Gráfico A5.2. Publicações científicas e tecnológicas sobre construção sustentável. Países com maior produção global. Produção total, 2017-2022**



Fonte: Scopus (Portal Timbó, ANII), acessado em novembro de 2023.

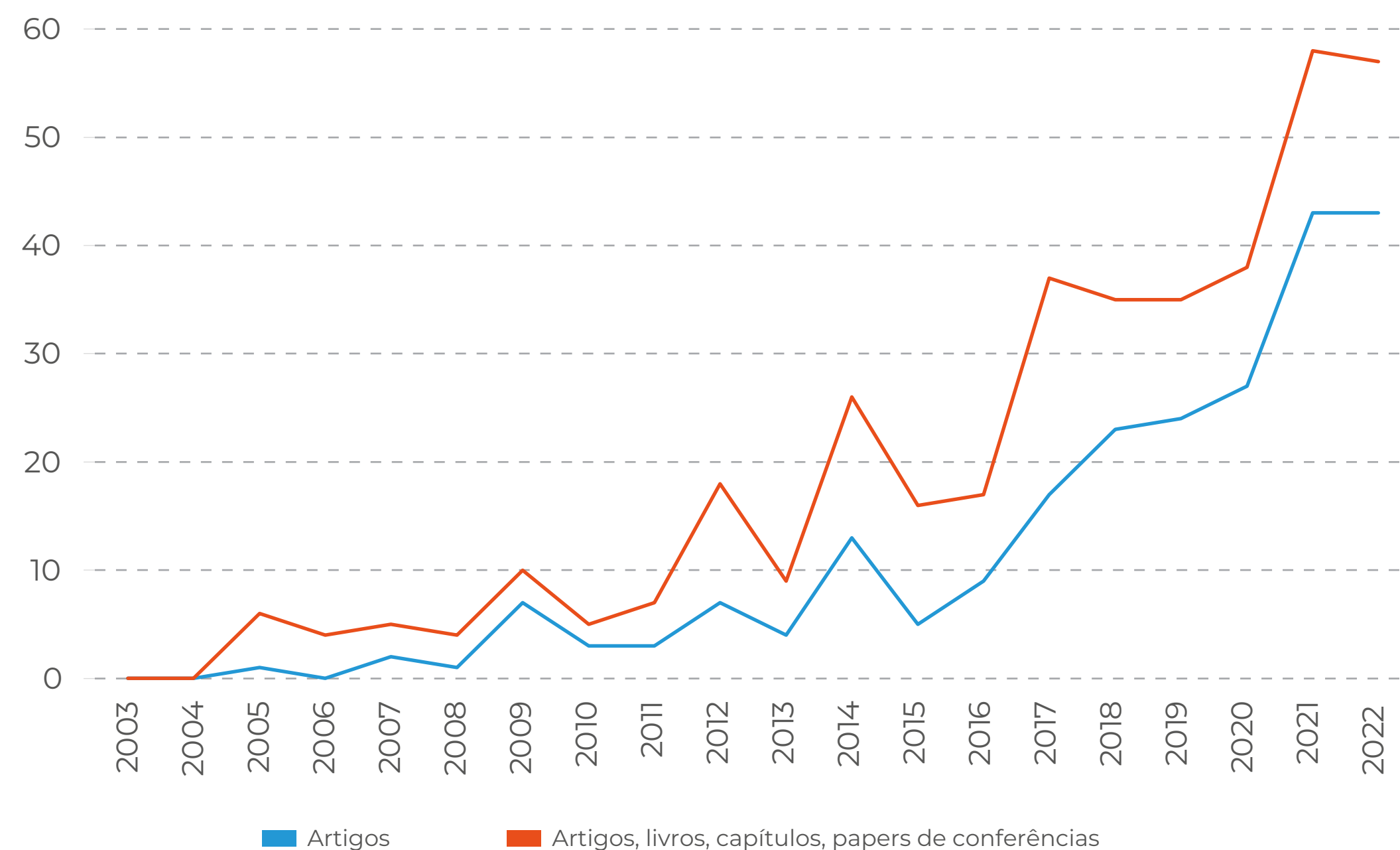
Nota: Isso se refere-se a publicações de autores com vínculo institucional em seus respectivos países.

A produção de conhecimento sobre construção sustentável na América Latina e no Caribe, além de ser marginal em relação à produção global, também se caracteriza por ser altamente concentrada geograficamente. O Brasil responde por praticamente metade (49%) dos artigos científicos e tecnológicos produzidos entre 2018 e 2022,

sendo um líder regional incontestável no tema (Gráfico A5.4).

Como pode ser observado no Gráfico A5.4, Chile, México e Colômbia ocupam o segundo lugar, representando entre 11% e 15% das publicações da região. Equador, Argentina e Peru produziram entre 6 e 10 publicações nos últimos cinco anos, enquanto outros países da América Latina e no Caribe (ALC)

**Gráfico A5.3. Publicações científicas e tecnológicas sobre construção sustentável na América Latina e no Caribe, período 2003-2022**



Fonte: Scopus (Portal Timbó, ANII), acessado em novembro de 2023.

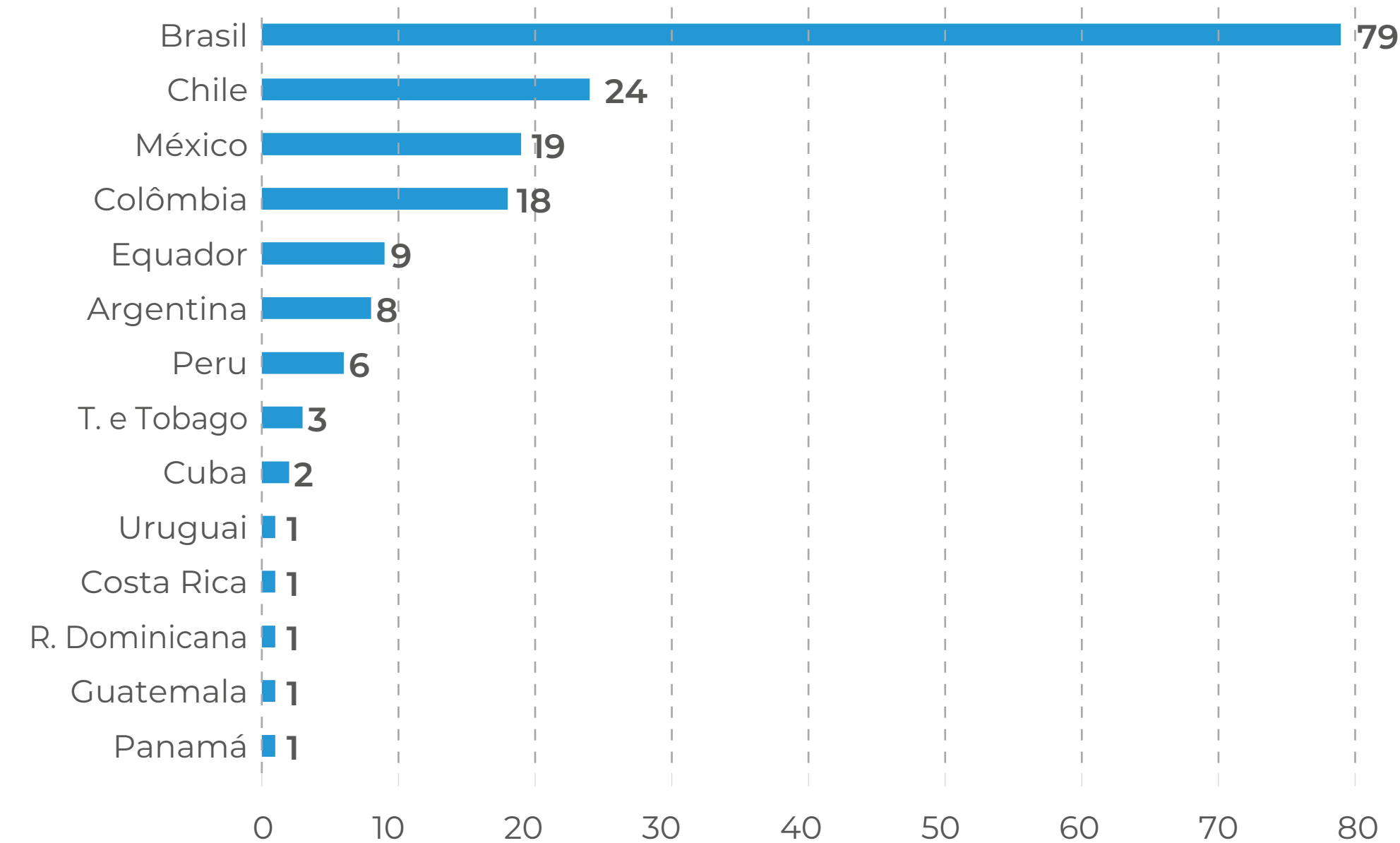
Nota: Refere-se a publicações de autores com vínculo institucional em países da região.

produziram apenas trabalhos científicos ocasionais, diretamente relacionados ao tema, ou nenhum. Para efeito de comparação, em 2022, autores afiliados a países da ALC publicaram um total de 43 artigos científicos sobre construção sustentável, menos de um quinto dos produzidos na China naquele mesmo ano e pouco mais da metade dos publicados na Índia e nos

Estados Unidos (81 e 72 artigos, respectivamente).

Esses resultados sugerem que, com exceção de alguns países, não há uma massa crítica de pesquisadores e/ou tecnólogos especializados em construção sustentável e que gerem conhecimento original sobre o assunto na região.

**Gráfico A5.4. Publicações científicas e tecnológicas sobre construção sustentável em países da América Latina e no Caribe. Produção total, 2018-2022**



Fonte: Scopus (Portal Timbó, ANII), acessado em novembro de 2023.

Nota: Refere-se a publicações de autores com vínculo institucional em seus respectivos países.



**BID**

Melhorando vidas