

Desafios e oportunidades no uso de tecnologias de Digital Twins e Blockchain na sustentabilidade de edificações

Uma análise comparativa do antes e depois da implementação dessas tecnologias na reabilitação e sustentabilidade de edificações

Prof. Assed N. Haddad

Professor Titular, Ph.D.

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil

CIRMARE2025

VII Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Reabilitação de Edifícios

**NOVOS DESAFIOS NA ADAPTAÇÃO
E PRESERVAÇÃO DO
PATRIMÓNIO EDIFICADO**

17-19.11.2025

Challenges and opportunities in the use of Digital Twin and Blockchain technologies in building sustainability.

A comparative analysis of the before and after of the implementation of these technologies in the rehabilitation and sustainability of buildings.

Prof. Assed N. Haddad

Professor Ph.D.

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil

CIRMARE2025

VII Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Reabilitação de Edifícios

**NOVOS DESAFIOS NA ADAPTAÇÃO
E PRESERVAÇÃO DO
PATRIMÓNIO EDIFICADO**

17-19.11.2025

O que seria um desenvolvimento sustentável?

“Desenvolvimento que propicia qualidade nas relações humanas com o ambiente natural, respondendo às necessidades da população atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras.”

(MONTIBELLER, 1993)



What would sustainable development be?

"Development that fosters quality in human relationships with the natural environment, meeting the needs of the current population without compromising the ability of future generations."

(MONTIBELLER, 1993)



Pilares da Sustentabilidade

[ECONOMIA]



[SOCIEDADE]



[MEIO AMBIENTE]



Pillars of Sustainability

[ECONOMY]



[SOCIETY]



[ENVIRONMENT]



Contexto Geral

- Existe uma forte associação entre a construção e os três principais pilares da sustentabilidade.
- O setor da construção civil é responsável pela geração de 2 a 3 bilhões de toneladas de resíduos de construção por ano, contribui com 5 a 7% do PIB total e com pelo menos 7% da população empregada na maioria dos países.
- O desenvolvimento de projetos de construção sustentável é uma tarefa vinculada a múltiplos critérios.
- Uma quantidade considerável de tempo é consumida nos estágios iniciais do projeto de construção comparando diferentes materiais, recursos e métodos de construção.
- Tradicionalmente, as decisões do projeto não são baseadas nos potenciais impactos da construção.
- As decisões do projeto geralmente são baseadas na satisfação apenas de requisitos técnicos ou limites econômicos, sem considerar profundamente os aspectos ambientais e sociais.

General Context

- There is a strong association between construction and the three main pillars of sustainability.
- The construction sector is responsible for generating 2 to 3 billion tons of construction waste per year, contributes 5 to 7% to total GDP, and employs at least 7% of the population in most countries.
- Developing sustainable construction projects is a task linked to multiple criteria.
- A considerable amount of time is consumed in the initial stages of construction design comparing different materials, resources, and construction methods.
- Traditionally, design decisions are not based on the potential impacts of construction.
- Design decisions are generally based solely on meeting technical requirements or economic constraints, without deeply considering environmental and social aspects.

Questões Ambientais

A indústria da construção está entre os setores com maior impacto ambiental global:

- **Consumo de recursos:** 40% dos materiais e 33% da energia global
- **Resíduos:** Produção de 35% dos resíduos sólidos mundiais
- **Emissões:** 38% das emissões de CO₂ relacionadas à construção e operação
- **Água:** Consumo de 12% da água potável mundial



ODS 2030: A construção sustentável está diretamente ligada a 9 dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

A digitalização do setor representa uma oportunidade para transformar estes desafios em soluções sustentáveis.

Environmental Issues

The construction industry is among the sectors with the greatest global environmental impact:

- **Resource consumption:** 40% of materials and 33% of global energy.
- **Waste:** Production of 35% of the world's solid waste.
- **Emissions:** 38% of CO₂ emissions related to construction and operation.
- **Water:** Consumption of 12% of the world's drinking water.

The digitalization of the sector represents an opportunity to transform these challenges into sustainable solutions.



SDGs 2030: Sustainable construction is directly linked to 9 of the 17 UN Sustainable Development Goals.

Cenário atual

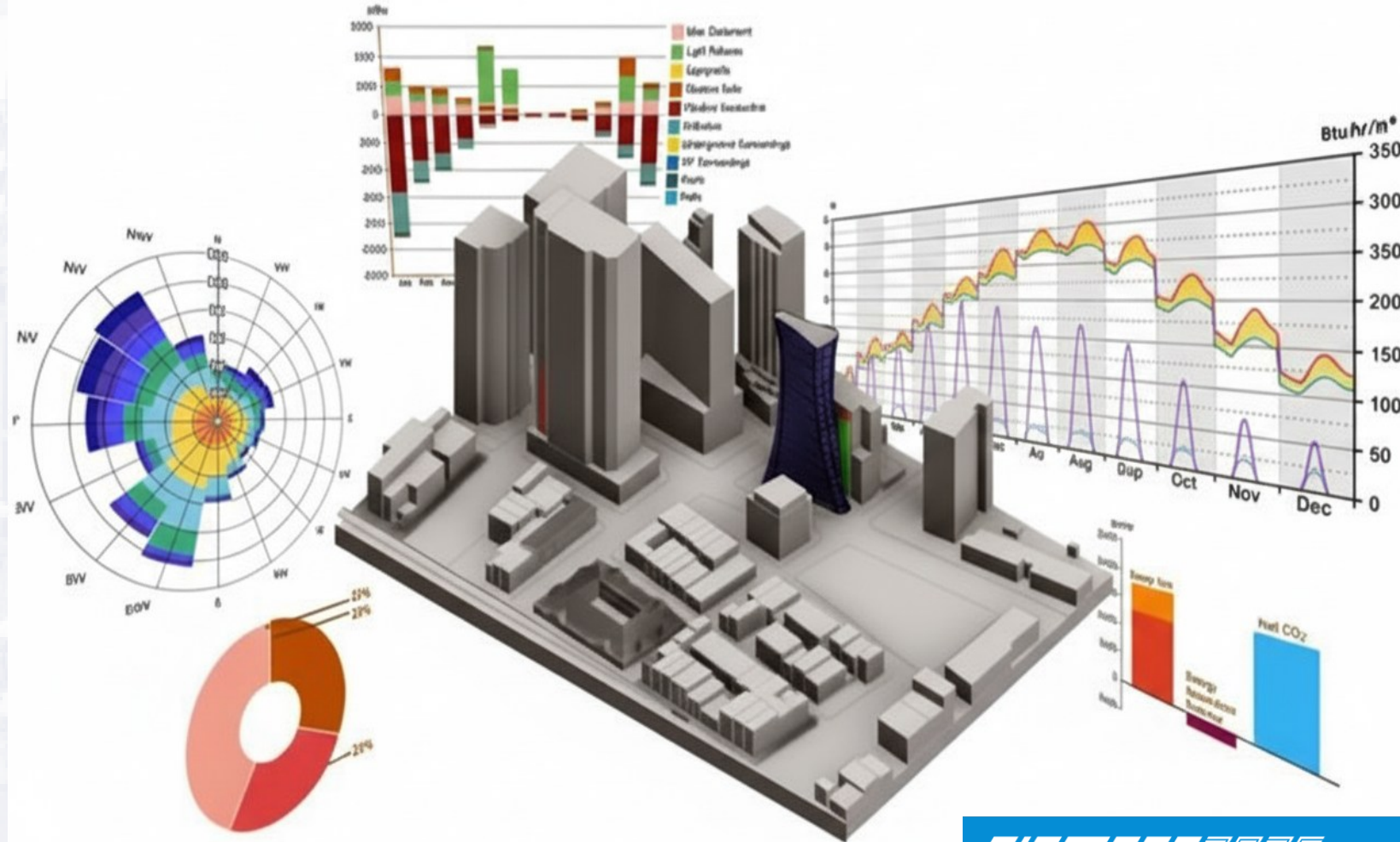
Current scenario



Building Information Modeling

METODOLOGIA BIM

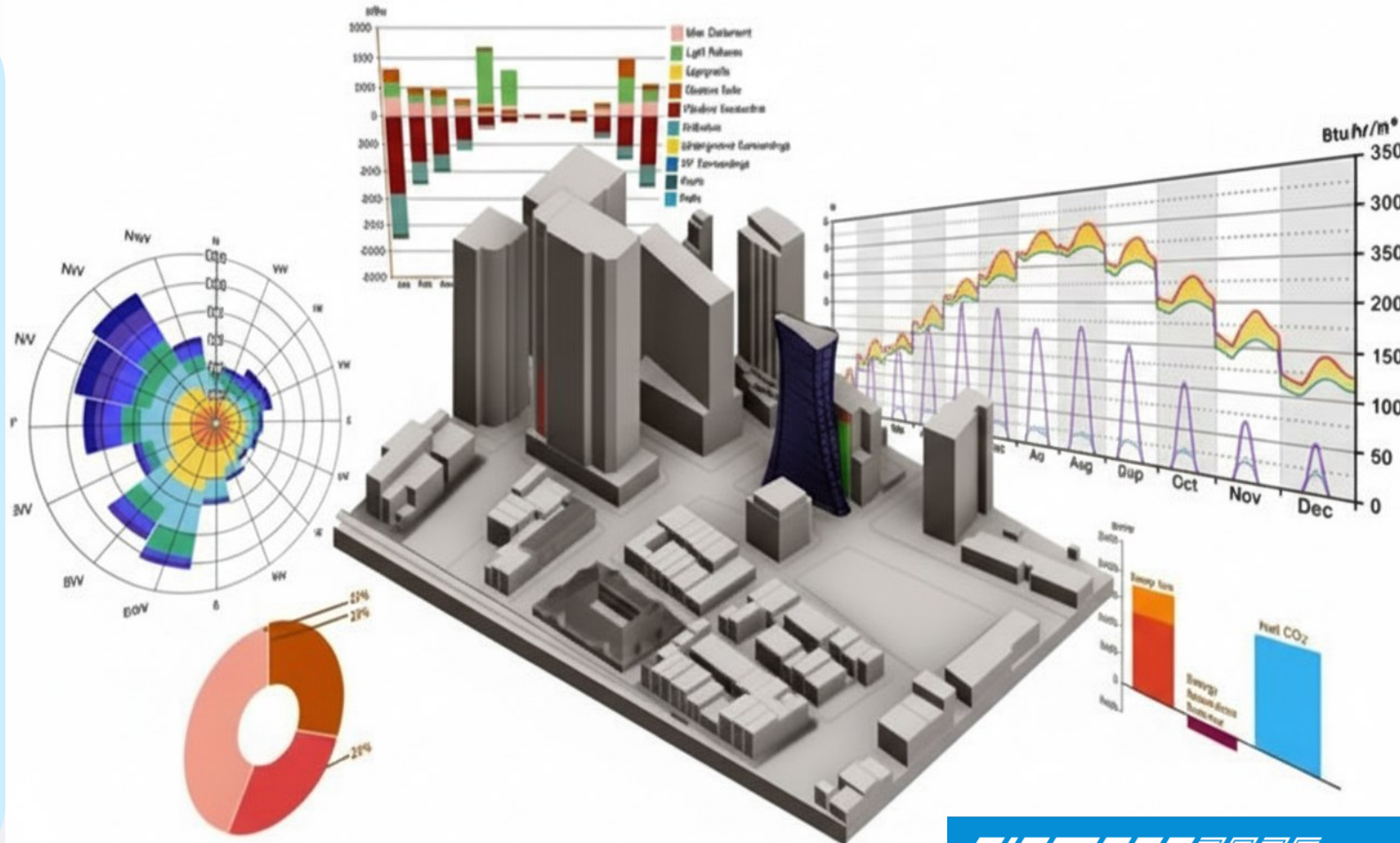
- A metodologia BIM revolucionou a forma como os projetos de construção são concebidos, desenvolvendo modelos virtuais 3D com elementos parametrizados.
- O modelo resultante é uma representação digital inteligente, paramétrica e rica em dados da edificação.
- BIM fornece aos profissionais as informações necessárias para realizar análises construtivas, reduzir custos, detectar erros de projeto e acompanhar os cronogramas de construção.



Building Information Modeling

BIM METHODOLOGY

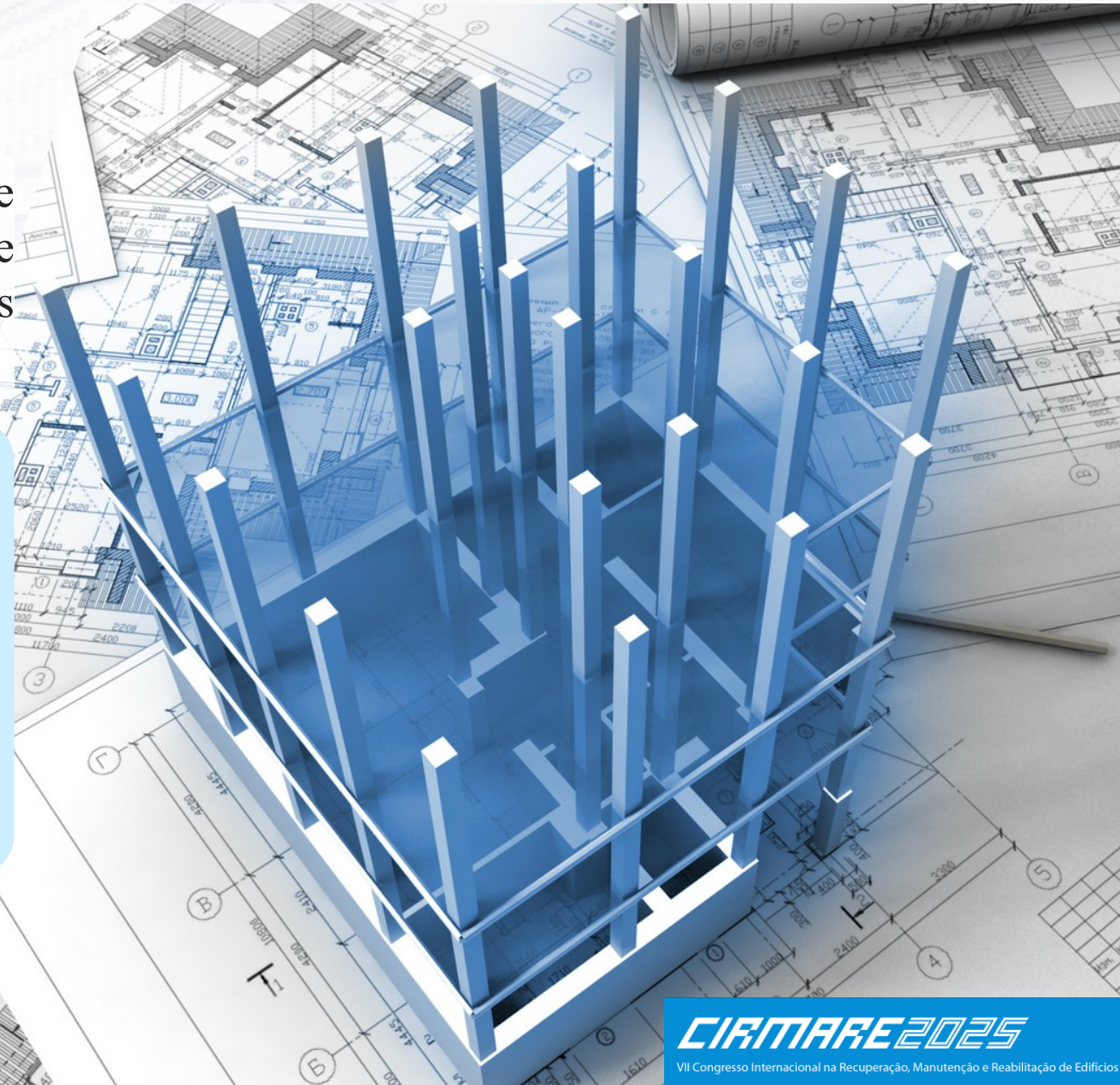
- **BIM methodology** has revolutionized the way construction projects are designed, developing 3D virtual models with parameterized elements.
- The **resulting model** is an intelligent, parametric, and data-rich digital representation of the building.
- **BIM provides professionals with the information needed to perform construction analyses, reduce costs, detect design errors, and monitor construction schedules.**



BIM e suas limitações

BIM já é amplamente discutido na literatura e consolidado como metodologia para modelagem e gestão de projetos. Entretanto, apresenta limitações importantes:

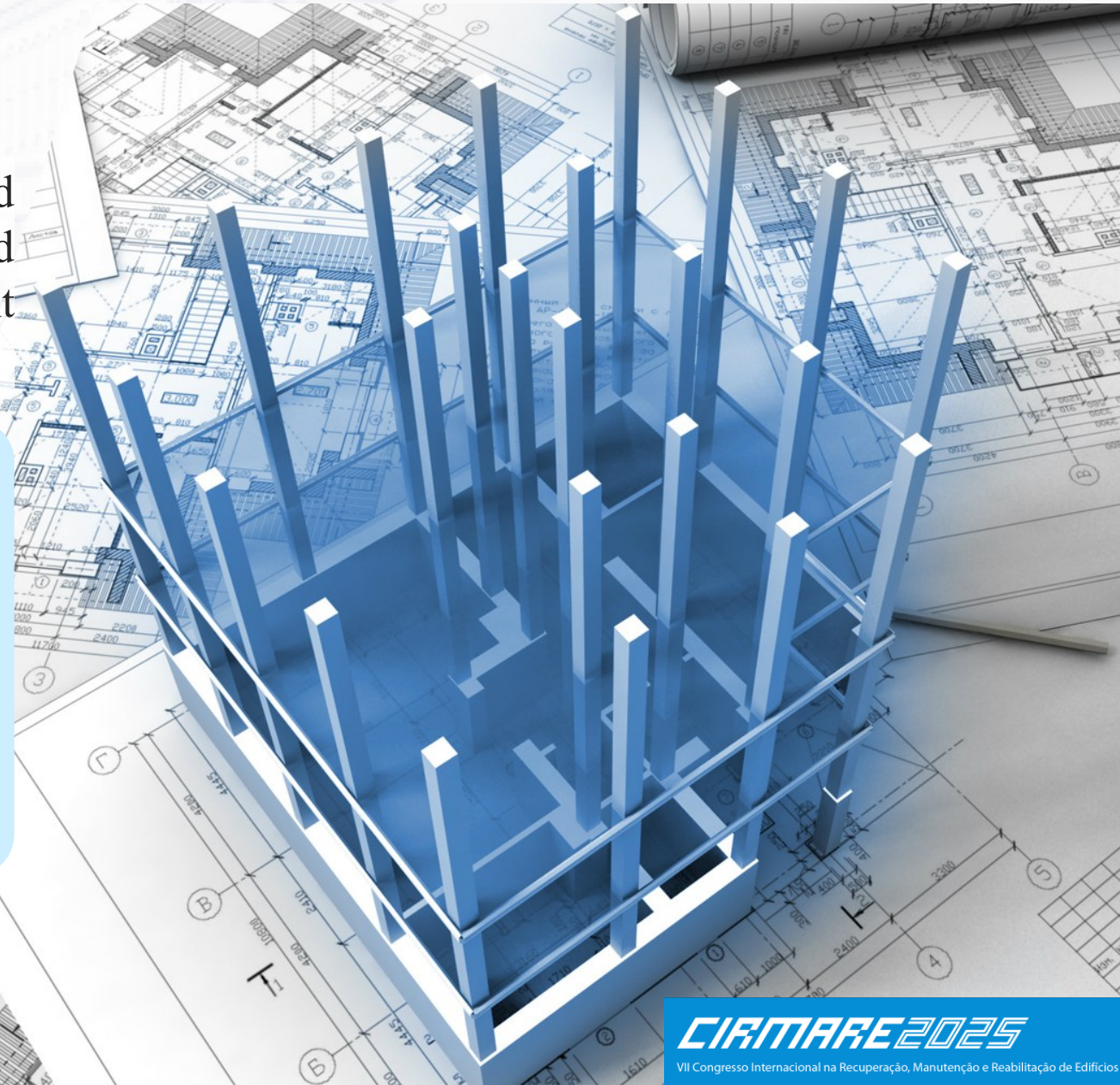
- Baseia-se em dados estáticos e históricos, sem atualização em tempo real.
- Não possui integração nativa com IoT e sensores inteligentes, restringindo análises dinâmicas.
- Dificuldade em capturar o desempenho operacional contínuo das edificações



BIM and limitations

BIM is already widely discussed in the literature and established as a methodology for modeling and managing projects. However, it has important limitations:

- It relies on static and historical data, without real-time updates.
- It lacks native integration with IoT and smart sensors, restricting dynamic analyses.
- Difficulty in capturing the continuous operational performance of buildings.



Pesquisa

Explorar o potencial de melhorar a sustentabilidade de edifícios por meio de abordagens baseadas em modelos e soluções orientadas por dados.



Research

To explore the potential for improving the sustainability of buildings through model-based approaches and data-driven solutions.



Digital Twin

Um Digital Twin é uma representação virtual dinâmica de um ativo físico, sistema ou processo, que se mantém constantemente atualizada por meio da integração com dados coletados em tempo real por sensores, dispositivos IoT e outras fontes digitais. Diferente do BIM, que trabalha com informações estáticas, o Digital Twin estabelece uma conexão bidirecional entre o mundo físico e o digital, permitindo monitorar, simular e prever o desempenho de edificações ao longo de todo o seu ciclo de vida. Essa abordagem possibilita análises preditivas, otimização de recursos e suporte a decisões estratégicas voltadas à eficiência, sustentabilidade e resiliência das construções.



Digital Twin

A Digital Twin is a dynamic virtual representation of a physical asset, system, or process that is constantly updated through integration with data collected in real time by sensors, IoT devices, and other digital sources. Unlike BIM, which works with static information, the Digital Twin establishes a bidirectional connection between the physical and digital worlds, allowing for the monitoring, simulation, and prediction of building performance throughout its entire lifecycle. This approach enables predictive analytics, resource optimization, and support for strategic decisions focused on the efficiency, sustainability, and resilience of buildings.



Blockchain

Blockchain refere-se à infraestrutura tecnológica e aos protocolos que permitem a transação de informações entre pares de forma descentralizada. Essa tecnologia consiste em um livro-razão digital e uma rede peer-to-peer distribuída que forma um banco de dados compartilhado. Blockchain se diferencia de outros sistemas de informação devido a quatro características presentes em sua aplicação: **descentralização, segurança, auditabilidade e execução inteligente.**



Blockchain

Blockchain refers to the technological infrastructure and protocols that enable the decentralized transaction of information between peers. This technology consists of a digital ledger and a distributed peer-to-peer network that forms a shared database. Blockchain differs from other information systems due to four characteristics present in its application: **decentralization, security, auditability, and intelligent execution.**



Fundamentos do Digital Twin

Digital Twin (Gêmeo Digital) é uma réplica virtual precisa e dinâmica de um ativo físico, atualizada em tempo real através de dados coletados por sensores e sistemas integrados.

- Características principais: Réplica virtual precisa, atualização em tempo real, interatividade, simulação de cenários
- Integração com BIM: Evolui do modelo estático para representação dinâmica conectada ao ambiente físico
- Coleta de dados: Sensores IoT, imagens em 360°, escaneamentos periódicos
- Ciclo de vida: Acompanha o ativo desde o projeto até operação e manutenção

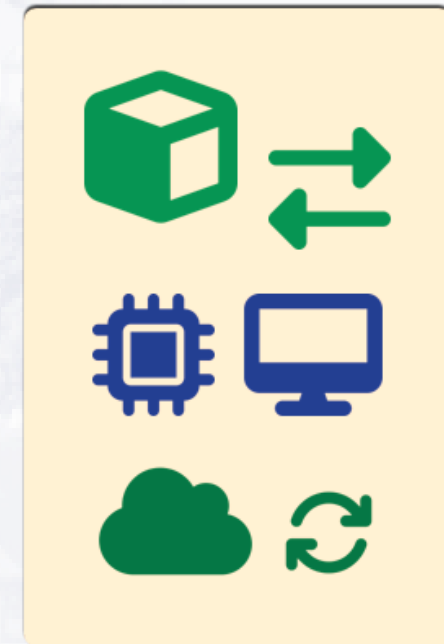


Diferentemente do BIM tradicional, o Digital Twin proporciona uma conexão bidirecional constante entre o modelo digital e o ativo físico, criando um sistema ciberfísico integrado

Fundamentals of the Digital Twin

A Digital Twin is a precise and dynamic virtual replica of a physical asset, updated in real time through data collected by sensors and integrated systems.

- Key features: Accurate virtual replica, real-time updates, interactivity, scenario simulation
- BIM integration: Evolves from a static model to a dynamic representation connected to the physical environment
- Data collection: IoT sensors, 360° images, periodic scans
- Lifecycle: Tracks the asset from design to operation and maintenance



Unlike traditional BIM, Digital Twin provides a constant bidirectional connection between the digital model and the physical asset, creating an integrated cyber-physical system.

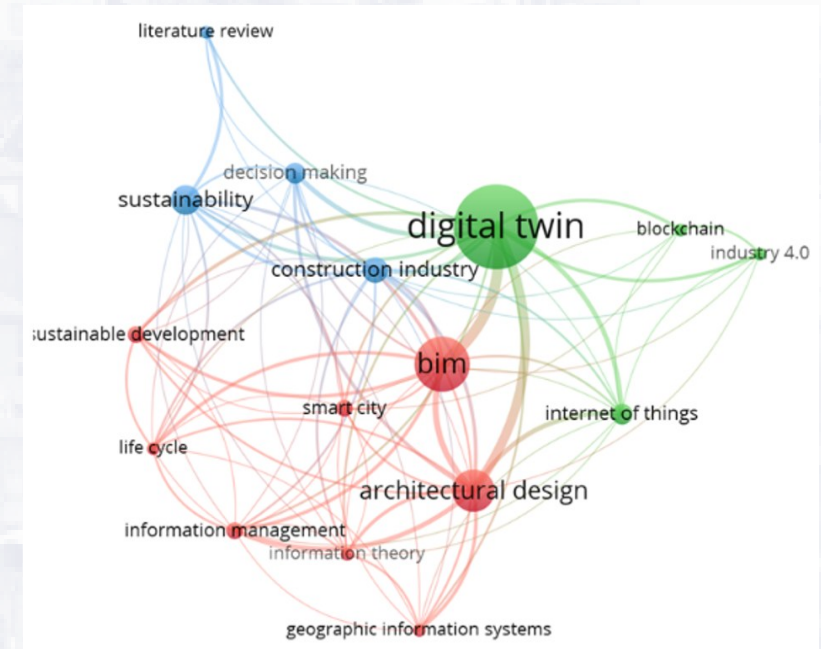
Literatura

Diversos artigos discutem o uso do Digital Twin, mas não apresentam uma explicação aprofundada sobre sua aplicação em projetos de construção.

Além disso, diversos artigos utilizam a expressão “Gêmeo Digital”, mas, na prática, não aplicam esse conceito, pois não utilizam dados em tempo real nem uma conexão real com o ativo físico, representando apenas uma sombra digital (“digital shadow”) da instalação e não um Gêmeo Digital.

Os termos BIM e Digital Twin não devem ser usados indistintamente, pois um modelo BIM puro envolve apenas dados estáticos relacionados à edificação.

No entanto, é inegável que criar um Gêmeo Digital de um ativo de construção se torna muito mais fácil quando se parte de um modelo BIM 3D, que já possui diversas informações geométricas e semânticas de forma centralizada.



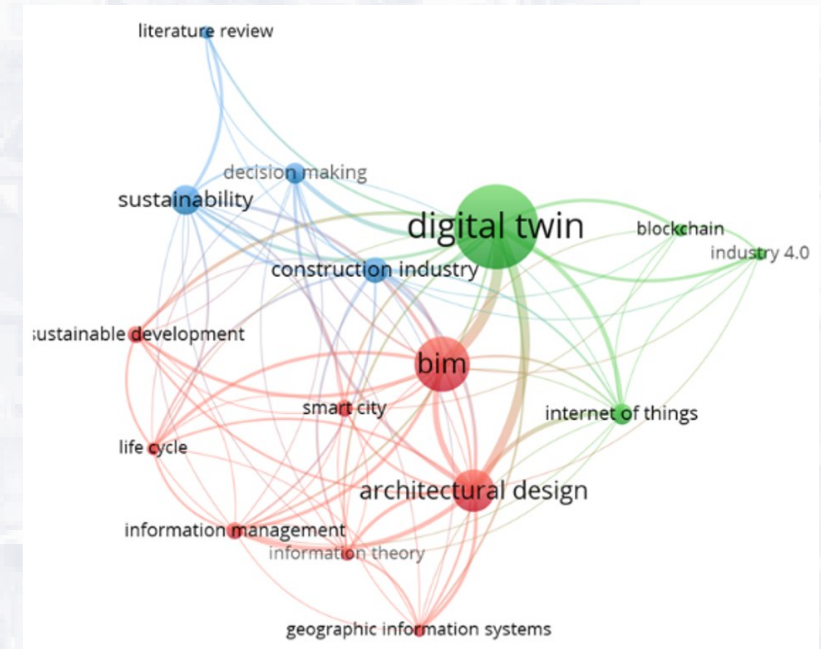
Literature

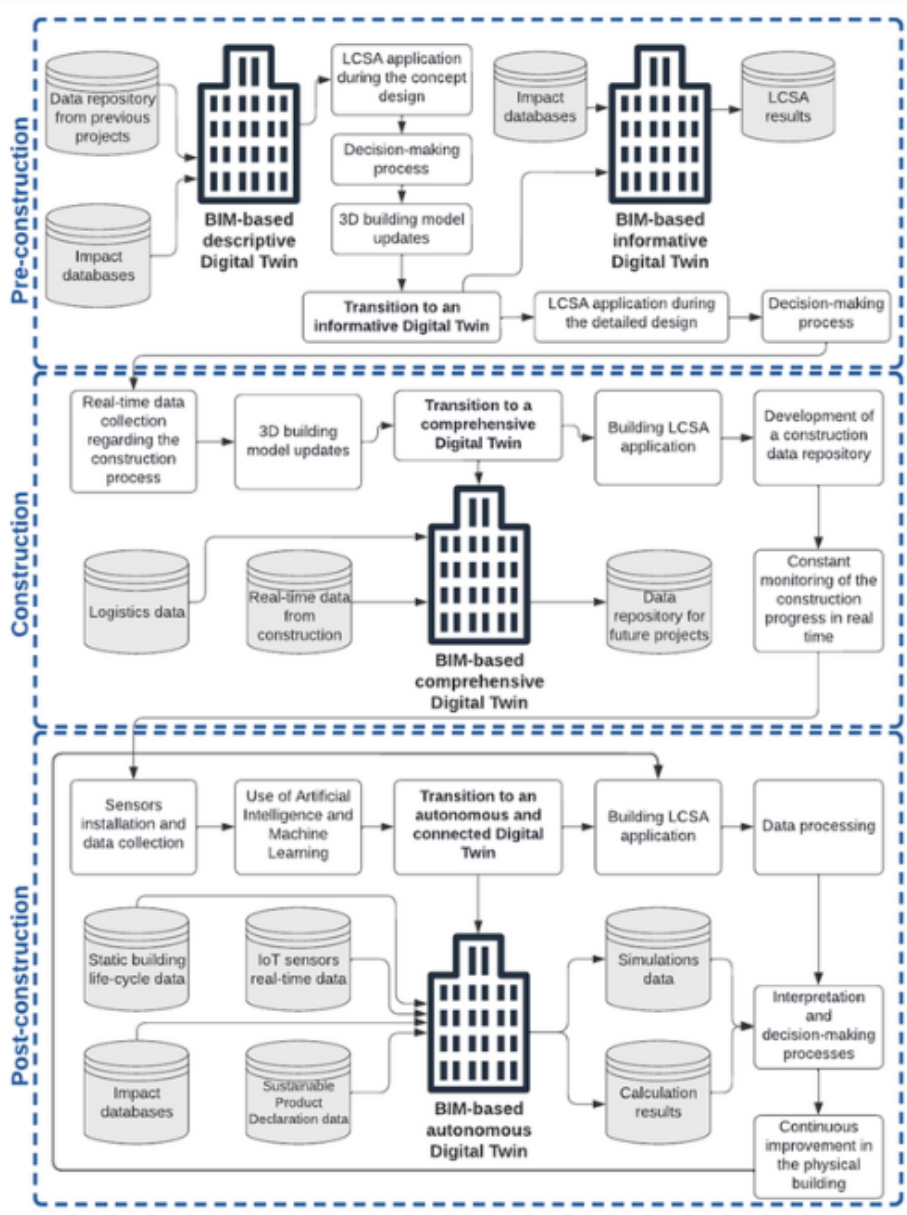
Several articles discuss the use of Digital Twin, but do not provide an in-depth explanation of its application in construction projects.

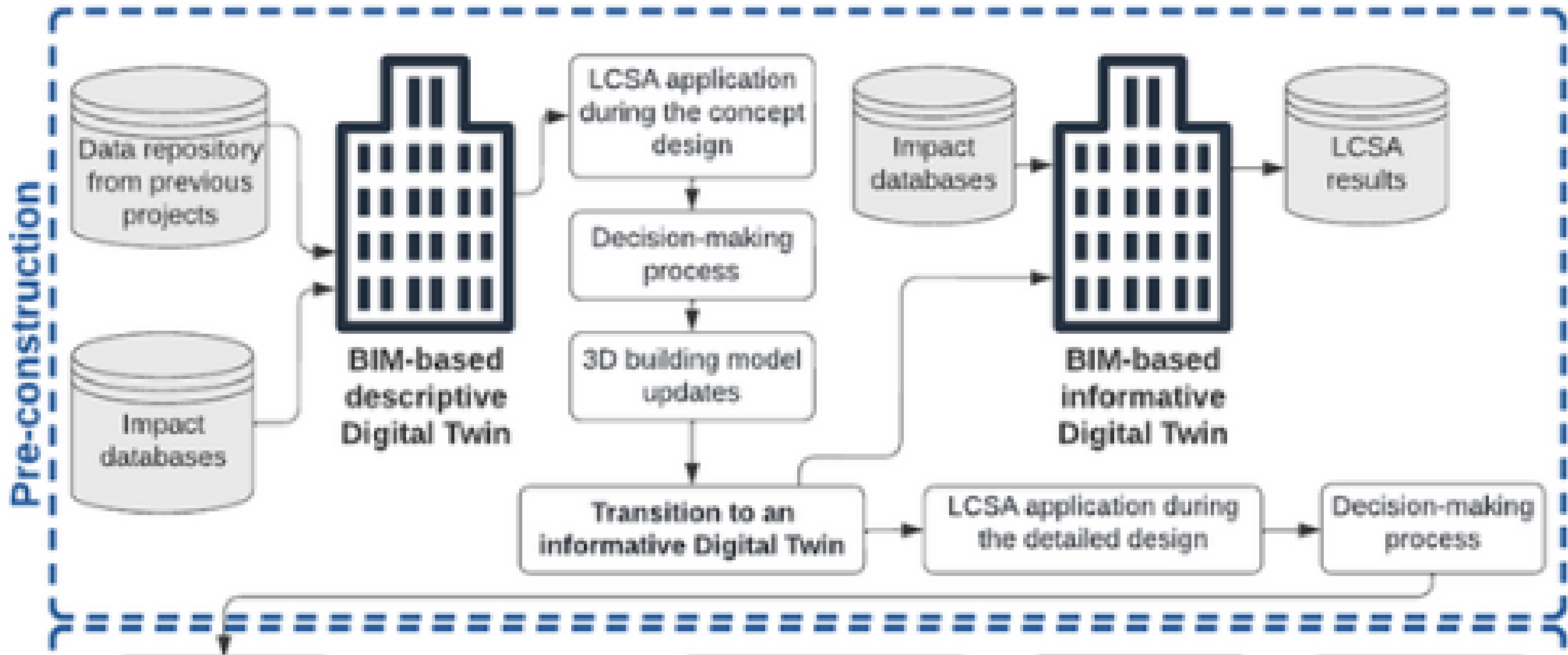
Furthermore, several articles use the expression "Digital Twin," but in practice, they do not apply this concept, as they do not use real-time data or a real connection to the physical asset, representing only a digital shadow of the installation and not a Digital Twin.

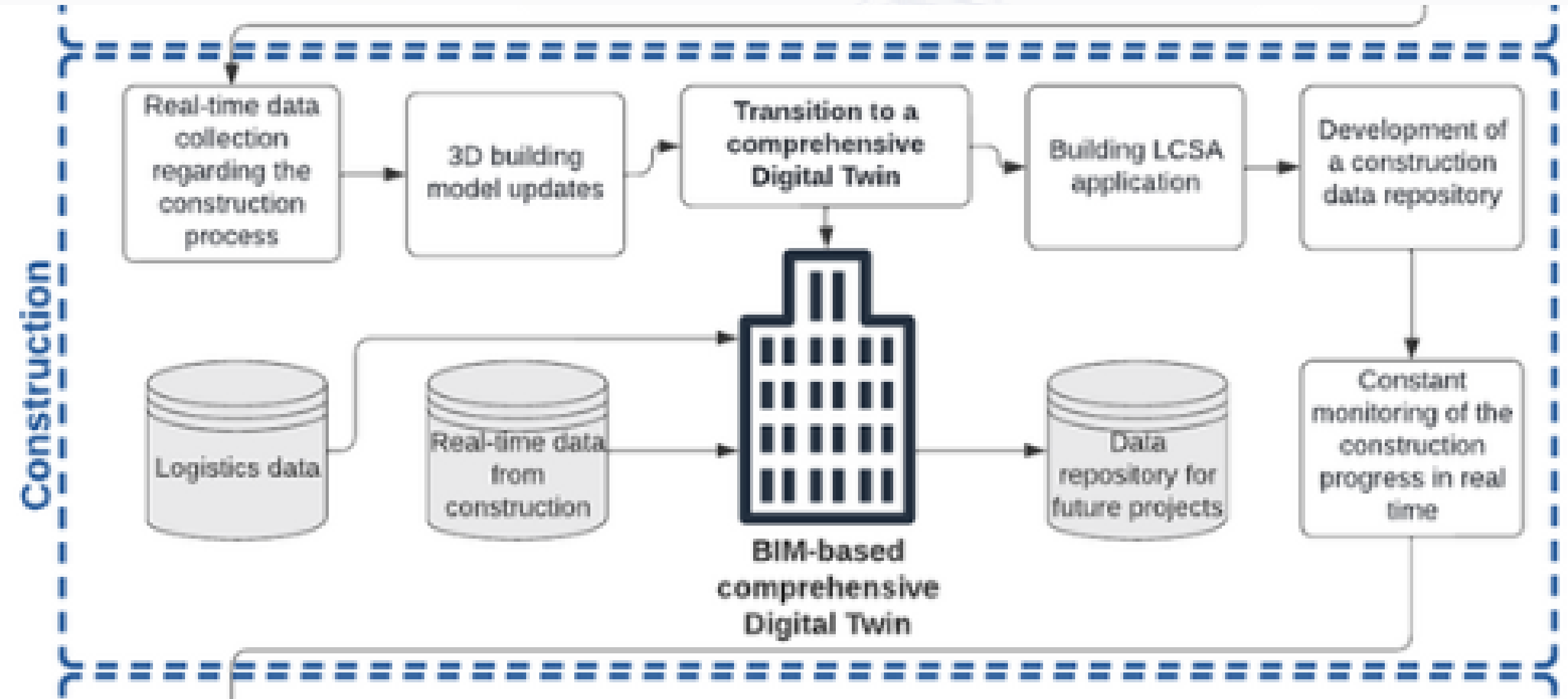
The terms BIM and Digital Twin should not be used interchangeably, as a pure BIM model involves only static data related to the building.

However, it is undeniable that creating a Digital Twin of a construction asset becomes much easier when starting from a 3D BIM model, which already has various geometric and semantic information in a centralized way..

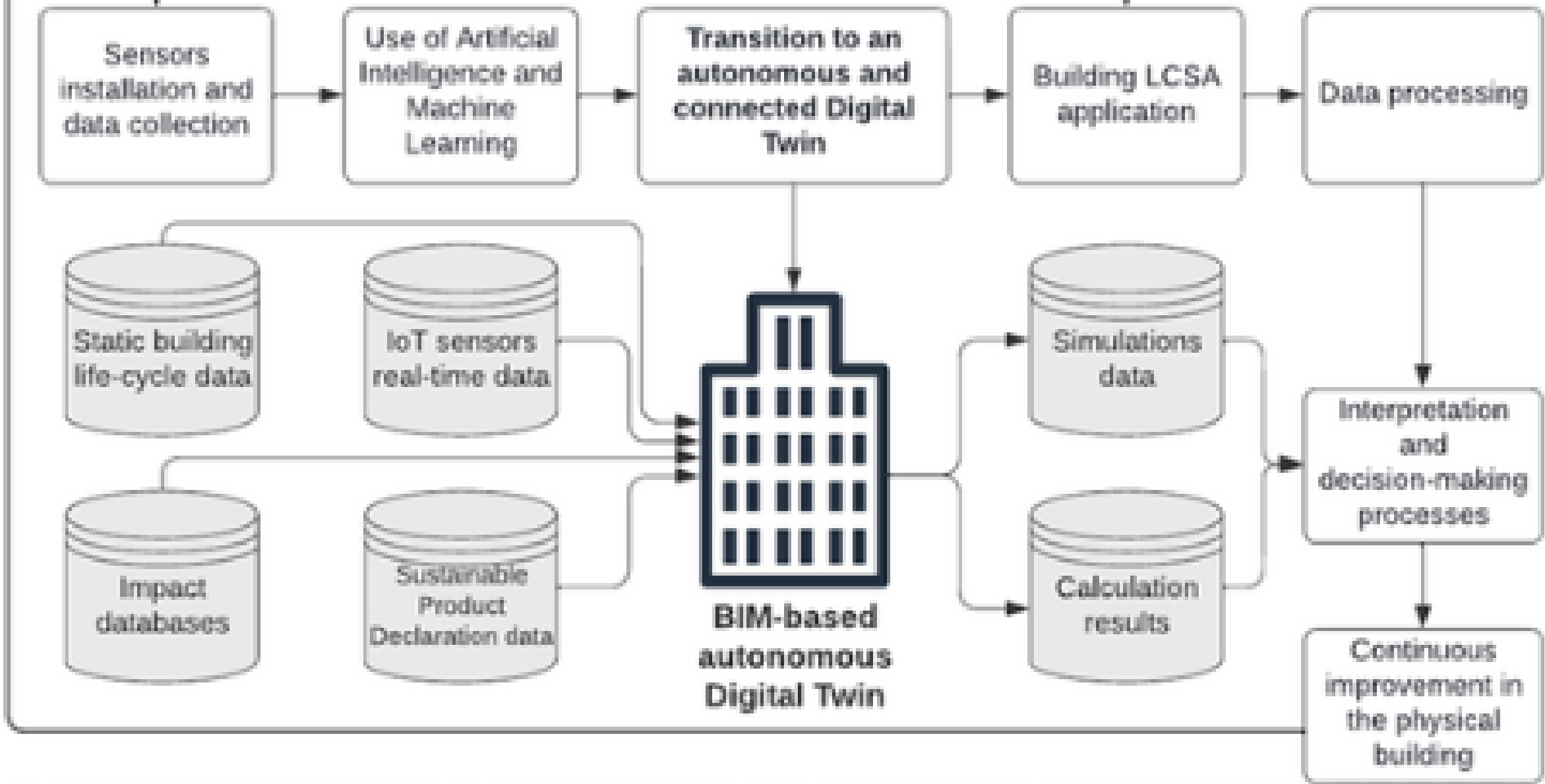








Post-construction



Fundamentos do Blockchain

O que é Blockchain? Tecnologia de registro distribuído que armazena dados em blocos encadeados de forma imutável e transparente, eliminando a necessidade de intermediários.

- Transparência: Registro permanente e verificável de todas as transações entre participantes
- Rastreabilidade: Histórico completo e imutável de materiais e processos
- Contratos Inteligentes: Acordos autoexecutáveis com regras pré-definidas
- Segurança: Criptografia avançada e consenso distribuído

Tipos de redes Blockchain na construção:

- Públicas: Abertas e transparentes, ideais para certificação de materiais.
- Privadas/Permissionadas: Acesso controlado para gerenciamento de cadeia de suprimentos e contratos.

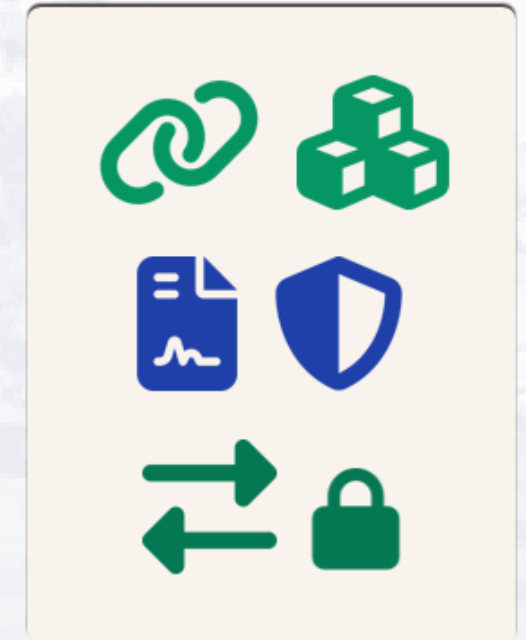


ODS 2030: A construção sustentável está diretamente ligada a 9 dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

Fundamentals of Blockchain

What is Blockchain? It's a distributed ledger technology that stores data in immutably and transparently linked blocks, eliminating the need for intermediaries.

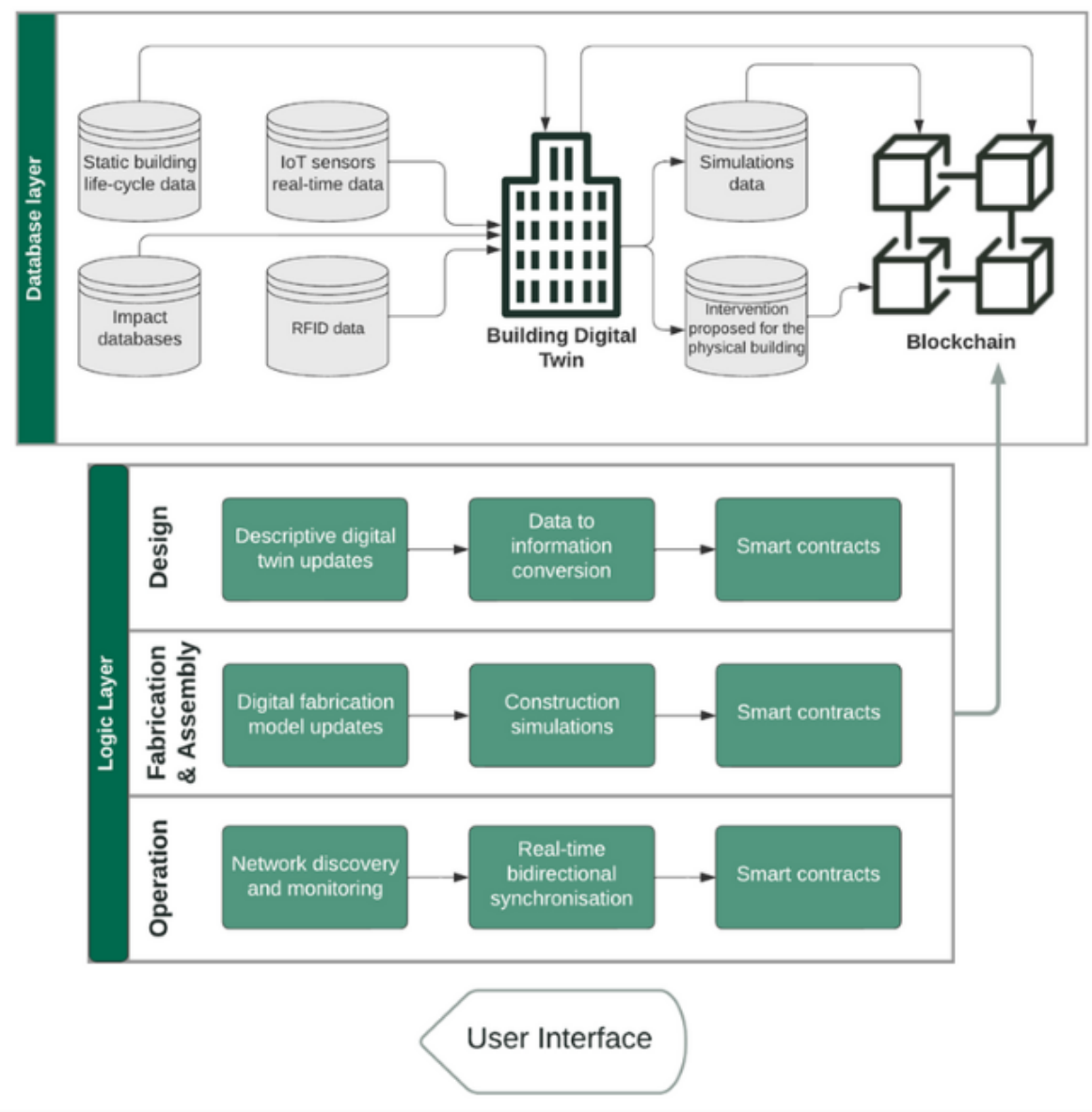
- Transparency: Permanent and verifiable record of all transactions between participants
- Traceability: Complete and immutable history of materials and processes
- Smart Contracts: Self-executing agreements with predefined rules
- Security: Advanced cryptography and distributed consensus

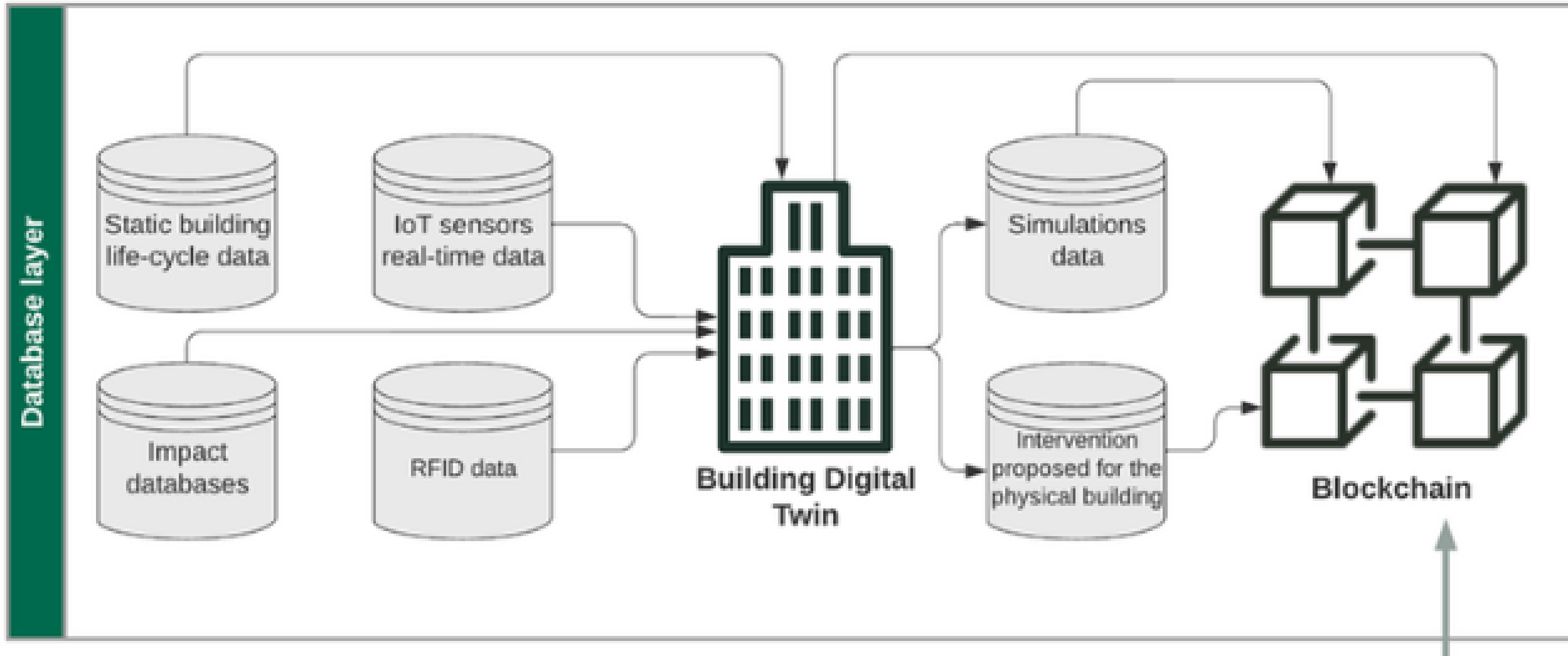


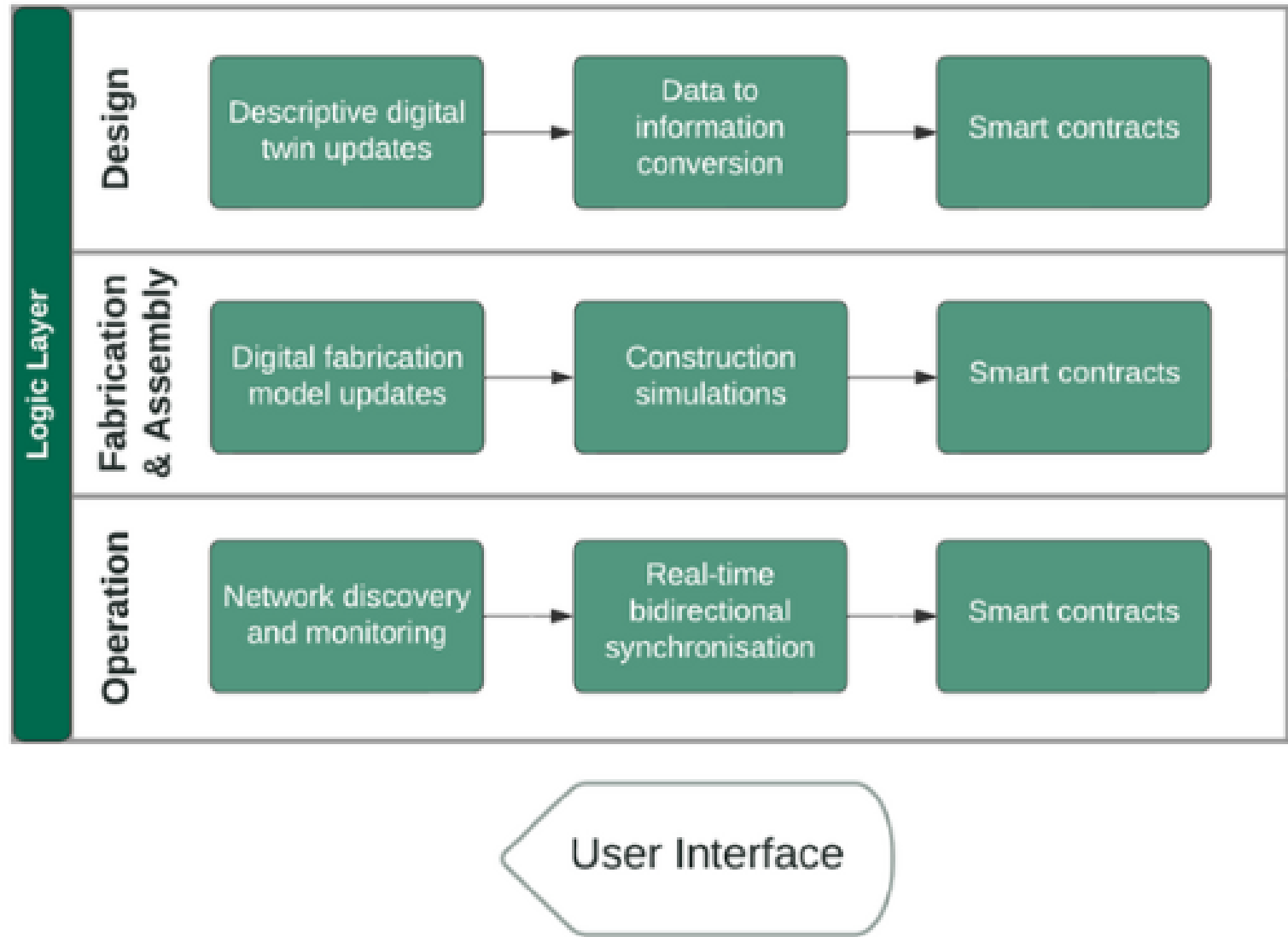
Types of Blockchain networks in construction:

- Public: Open and transparent, ideal for materials certification.
- Private/Permissioned: Controlled access for supply chain and contract management.

ODS 2030: A construção sustentável está diretamente ligada a 9 dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.















Antes e depois da implantação das tecnologias

ANTES: Processos Tradicionais

-  Documentação física
Projetos em papel, documentação fragmentada e dificuldade de rastreamento de informações
-  Desperdício de recursos
Alta geração de resíduos, retrabalho frequente e consumo excessivo de materiais
-  Manutenção reativa
Intervenções apenas após falhas, manutenções não planejadas e maior tempo de inatividade
-  Baixa transparência
Dificuldade em verificar origem de materiais e certificações ambientais confiáveis

DEPOIS: Digital Twins & Blockchain

-  Modelo digital integrado
Representação 3D completa, informações centralizadas e visualização em tempo real de todo o ciclo de vida
-  Otimização de recursos
Redução de desperdícios em 30%, simulações prévias de cenários e consumo otimizado de materiais
-  Manutenção preditiva
Monitoramento contínuo, previsão de falhas antes de ocorrerem e manutenção planejada eficiente
-  Rastreabilidade completa
Verificação da origem e certificação dos materiais com dados imutáveis registrados em Blockchain

Before and after the implementation of the technologies

BEFORE: Traditional Processes



Physical documentation

Paper-based projects, fragmented documentation, and difficulty tracking information



Resource waste

High generation of waste, frequent rework, and excessive consumption of materials



Reactive maintenance

Interventions only after failures, unplanned maintenance, and longer downtime



Low transparency

Difficulty verifying the origin of materials and obtaining reliable environmental certifications

AFTER: Digital Twins & Blockchain



Integrated digital model

Complete 3D representation, centralized information, and real-time visualization of the entire life cycle



Resource optimization

Waste reduction by 30%, prior scenario simulations, and optimize material consumption



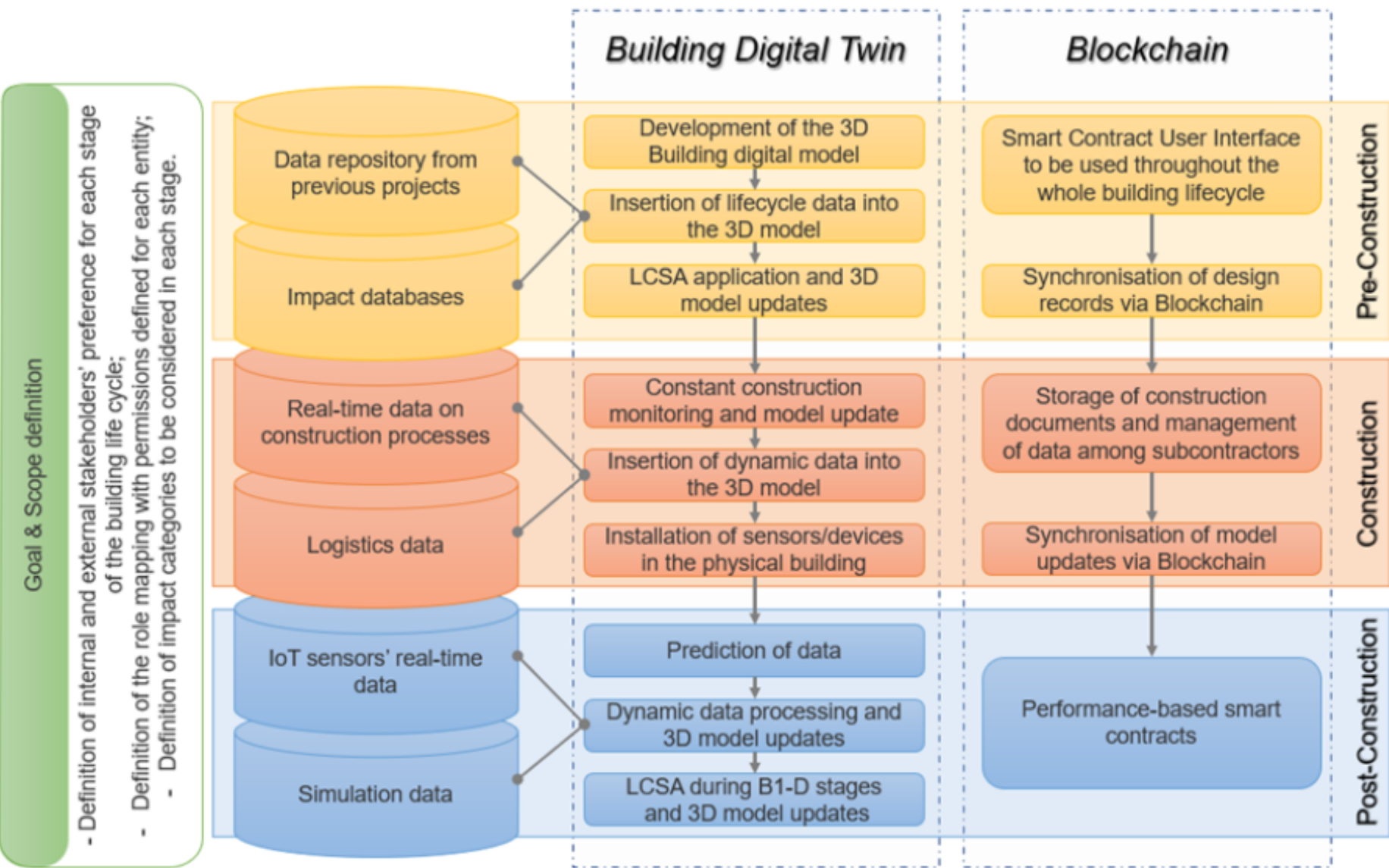
Predictive maintenance

Continuous monitoring, failure prediction before they occur, and efficient planned maintenance



Complete traceability

Verification of the origin and certification of materials with immutable data recorded on blockchain



Conclusões e Recomendações

Principais conclusões

- A integração de Digital Twins e Blockchain cria um ecossistema digital completo para gestão sustentável de edificações, reduzindo significativamente o impacto ambiental.
- Os benefícios ambientais incluem redução no consumo energético e na pegada de carbono em edificações reabilitadas com estas tecnologias.
- O retorno sobre investimento é alcançado em médio prazo, com ganhos crescentes em eficiência e valor patrimonial a longo prazo.



Recomendações para implementação

- Iniciar com projetos-piloto de menor escala para validar conceitos.
- Investir em capacitação técnica das equipes para garantir o uso eficiente das tecnologias.
- Estabelecer parcerias público-privadas para impulsionar a adoção de Digital Twins e Blockchain em projetos de reabilitação urbana sustentável.
- Desenvolver políticas públicas e incentivos fiscais para estimular a adoção destas tecnologias no setor da construção



Conclusions and Recommendations

Key findings

- The integration of Digital Twins and Blockchain creates a complete digital ecosystem for sustainable building management, significantly reducing environmental impact.
- Environmental benefits include reduced energy consumption and carbon footprint in buildings rehabilitated with these technologies.
- Return on investment is achieved in the medium term, with increasing gains in efficiency and asset value in the long term.



Recommendations for implementation

- Start with smaller-scale pilot projects to validate concepts.
- Invest in technical training for teams to ensure the efficient use of technologies.
- Establish public-private partnerships to boost the adoption of Digital Twins and Blockchain in sustainable urban rehabilitation projects.
- Develop public policies and tax incentives to encourage the adoption of these technologies in the construction sector.





INOVAÇÃO ACONTECE NAS INTERSEÇÕES

INNOVATION HAPPENS AT THE INTERSECTIONS

Muito Obrigado! Thank you!

Prof. Assed N. Haddad

Professor Titular, Ph.D.

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil



UFRJ
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO



CAPES



FAPERJ

Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo
à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro

- https://www.governanceinstitute.com.au/news_media/blockchain-in-construction-its-all-about-data-trust-and-productivity
- **Blockchain in construction — it's all about data, trust and productivity**
- <https://www.autodesk.com/blogs/construction/blockchain-in-construction>
- Blockchain in Construction: 4 Ways It Could Revolutionize the Industry
- <https://enstoa.com/blog/can-blockchain-fix-construction-industrys-productivity-problem>
- **Can Blockchain Fix The Construction Industry's Productivity Problem?**
- <https://www.buildingradar.com/construction-blog/how-blockchain-is-revolutionizing-construction-supply-chain-management#:~:text=Blockchain%20facilitates%20transparent%20and%20efficient,for%20maintaining%20supply%20chain%20integrity.>
- **How Blockchain is Revolutionizing Construction Supply Chain Management**

