



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**



Augusto Soares Cordeiro Silva

Visualização interativa em tempo real como ferramenta de experiência  
espacial e informação ambiental para uma arquitetura mais  
sustentável.

OURO PRETO  
2026.

Augusto Soares Cordeiro Silva

Visualização interativa em tempo real como ferramenta de experiência espacial e informação ambiental para uma arquitetura mais sustentável.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo. Orientador(a): Raíssa Pereira Cintra de Oliveira.

OURO PRETO

2026



## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S586v Silva, Augusto Soares Cordeiro.

Visualização interativa em tempo real como ferramenta de experiência espacial e informação ambiental para uma arquitetura mais sustentável.. [manuscrito] / Augusto Soares Cordeiro Silva. - 2026.  
70 f.

Orientadora: Profa. Raissa Pereira Cintra de Oliveira Oliveira.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Arquitetura e Urbanismo .

1. Arquitetura. 2. Sustentabilidade. 3. Representação arquitetônica. 4. Multímedia interativa. I. Oliveira, Raissa Pereira Cintra de Oliveira. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 72:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - CRB6/2322



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Augusto Soares Cordeiro**

Visualização interativa em tempo real como ferramenta de experiência espacial e informação ambiental para uma arquitetura mais sustentável

Monografia apresentada ao Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de graduação

Aprovada em 23 de fevereiro de 2026

### Membros da banca

Profa. Dra. Raíssa Pereira Cintra de Oliveira - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Profa. Ma. - Lara Melotti Tonsig (Universidade de São Paulo)  
Prof. Me Mauricio Leonard de Souza - (Universidade Federal de Ouro Preto))

Raíssa Pereira Cintra de Oliveira, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 09/03/2026



Documento assinado eletronicamente por **Raíssa Pereira Cintra de Oliveira, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/03/2026, às 17:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1071793** e o código CRC **FF3A83E2**.

## RESUMO

O trabalho investiga como a visualização interativa em tempo real pode ampliar a representação arquitetônica ao colocar informação ambiental dentro do momento em que o projeto é lido e decisões são tomadas. O estudo parte do problema de que plantas, cortes, modelos e imagens comunicam muito bem forma, organização dos espaços e aparência, mas costumam mostrar pouco sobre o “lado material” da construção: de onde vêm os materiais, como são produzidos, quanta energia e transporte exigem e que tipos de impactos podem gerar. Com isso, escolhas de materiais e sistemas acabam sendo definidas principalmente por critérios como estética, custo, disponibilidade e manutenção, enquanto a informação ambiental circula em relatórios, planilhas e selos que ficam fora da representação e, muitas vezes, aparecem quando o projeto já está encaminhado. Para enfrentar essa lacuna, o trabalho adota abordagem exploratória e experimental e descreve um modelo conceitual — não um software completo — organizado como um ambiente interativo previamente estruturado em motor gráfico. Nesse ambiente, um projeto importado pode ser explorado em escala humana, permitindo selecionar elementos construtivos, trocar materiais e visualizar respostas imediatas na tela. Para garantir controle e permitir comparação, o experimento delimita um ambiente interno do tipo apartamento e organiza a interação por categorias de elementos, com demonstração do piso como caso principal e referência às demais categorias, como parede, forro e esquadrias. O modelo solicita dimensões básicas para estimar a quantidade de material (por exemplo, área e espessura) e apresenta a informação ambiental em linguagem simples e comparativa, usando classificações qualitativas (baixo, médio e alto) associadas a indicadores como aquecimento global, acidificação, eutrofização, formação de ozônio troposférico e destruição da camada de ozônio, com foco principalmente nas etapas de produção e transporte. Os resultados mostram que a interatividade facilita comparar alternativas e torna mais visível a relação entre escolha material e consequência ambiental ainda na fase de concepção, sem substituir análises técnicas completas. Conclui-se que a visualização interativa em tempo real pode funcionar como ferramenta de apoio à decisão inicial em projeto, desde que seus limites, recortes e pressupostos sejam apresentados de forma explícita.

**Palavras-chave:** representação arquitetônica; visualização interativa; tempo real; informação ambiental; sustentabilidade.

## ABSTRACT

This study investigates how real-time interactive visualization can expand architectural representation by bringing environmental information into the moment when the design is read and decisions are made. The research starts from the problem that plans, sections, 3D models, and images communicate form, spatial organization, and appearance very clearly, but often show little about the material side of construction: where materials come from, how they are produced, how much energy and transport they require, and what kinds of impacts they may generate. As a result, material and system choices are often defined mainly by criteria such as aesthetics, cost, availability, and maintenance, while environmental information circulates in reports, spreadsheets, and labels that remain outside representation and frequently appears only after the design is already advanced. To address this gap, the study adopts an exploratory and experimental approach and describes a conceptual model—rather than a fully developed software tool—organized as an interactive environment previously structured in a real-time graphics engine. In this environment, an imported project can be explored at human scale, allowing users to select building elements, switch materials, and view immediate on-screen feedback. To ensure control and enable comparison, the experiment is limited to a domestic apartment interior and organizes interaction by element categories, using flooring as the main demonstration case and referring to other categories such as walls, ceilings, and frames. The model asks for basic dimensions to estimate material quantity (for example, area and thickness) and presents environmental information in a simple, comparative language, using qualitative ratings (low, medium, and high) associated with indicators such as global warming, acidification, eutrophication, photochemical ozone formation, and ozone layer depletion, focusing mainly on production and transport stages. The results show that interactivity makes it easier to compare alternatives and makes the link between material choice and environmental consequence more visible during early design, without replacing comprehensive technical assessments. The study concludes that real-time interactive visualization can serve as a decision-support tool in early design, provided that its limits, scope, and assumptions are stated explicitly.

**Keywords:** architectural representation; interactive visualization; real time; environmental information; sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 01 - Modelo de Representação Arquitetônica.                        | 8  |
| Figura 02 - Representação de Circulação de Ambientes.                     | 9  |
| Figura 03 - Representação Planta Baixa e Corte.                           | 10 |
| Figura 04 - Revit.                                                        | 11 |
| Figura 05 - Corte: Detalhes construtivos.                                 | 12 |
| Figura 06 - Certificação: Selo Casa Azul.                                 | 14 |
| Figura 07 - Imagem em Alta Qualidade: Estádio de Xi'an.                   | 15 |
| Figura 08 - Interatividade do Unreal Engine.                              | 16 |
| Figura 09 - Interatividade do Unreal Engine - Troca de Revestimento (1).  | 17 |
| Figura 10 - Interatividade do Unreal Engine - Troca de Revestimento (2).  | 17 |
| Figura 11 - Funções Interativas do Unreal Engine.                         | 18 |
| Figura 12 - Etapas de Extração de Recursos.                               | 20 |
| Figura 13 - Certificações de Construção Sustentável.                      | 21 |
| Figura 14 - Pirâmide de Materiais.                                        | 22 |
| Figura 15 - Representação Espacial do Modelo Conceitual.                  | 26 |
| Figura 16 - Modelo Conceitual: Seleção do Elemento Construtivo (Parede).  | 28 |
| Figura 17 - Modelo Conceitual: Troca do Elemento Construtivo (Parede).    | 29 |
| Figura 18 - Modelo Conceitual: Etapas de Seleção do Elemento (Parede).    | 30 |
| Figura 19 - Modelo Conceitual: Indicadores do Impacto Ambiental (Parede). | 32 |
| Figura 20 - Modelo Conceitual: Cálculo de Volume (Parede).                | 33 |
| Figura 21 - Modelo Conceitual: Cálculo de Área e Perímetro (Esquadrias).  | 34 |
| Figura 22 - Modelo Conceitual: Seleção do Elemento Construtivo (Piso).    | 36 |
| Figura 23 - Modelo Conceitual: Troca do Elemento Construtivo (Piso).      | 37 |
| Figura 24 - Modelo Conceitual: Cálculo do Elemento Construtivo (Piso).    | 38 |
| Figura 25 - Modelo Conceitual: Relatório Ambiental (Piso).                | 39 |
| Figura 26 - Modelo Conceitual: Seleção do Elemento Construtivo (Piso).    | 40 |
| Figura 27 - Modelo Conceitual: Troca do Elemento Construtivo (Piso).      | 41 |
| Figura 28 - Modelo Conceitual: Relatório do Elemento Construtivo (Piso).  | 41 |

## SUMÁRIO

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Introdução.....</b>                                         | <b>6</b>  |
| <b>2. Representação arquitetônica.....</b>                        | <b>8</b>  |
| 2.1 Alienação e cadeia produtiva.....                             | 12        |
| 2.2 Tecnologias digitais e sustentabilidade.....                  | 15        |
| 2.3 Pirâmide de Materiais.....                                    | 19        |
| 2.4 Síntese e passagem para o modelo conceitual.....              | 23        |
| <b>3. Delimitação metodológica e natureza do experimento.....</b> | <b>24</b> |
| 3.1 Estrutura do modelo conceitual.....                           | 27        |
| 3.2 Base informacional e parametrização.....                      | 31        |
| 3.3 Funcionamento do modelo conceitual.....                       | 35        |
| 3.3.1 Início da interação e seleção do elemento.....              | 35        |
| 3.3.2 Seleção de material e troca visual.....                     | 36        |
| 3.3.3 Inserção de parâmetros geométricos.....                     | 37        |
| 3.3.4 Visualização do relatório ambiental.....                    | 38        |
| 3.3.5 Troca de material e comparação entre alternativas.....      | 39        |
| 3.3.6 Extensão para outros elementos construtivos.....            | 42        |
| 3.3.7 Síntese do funcionamento.....                               | 42        |
| <b>4. Retomada do problema e do objetivo do trabalho.....</b>     | <b>42</b> |
| 4.1 Contribuições e reflexões a partir do modelo conceitual.....  | 44        |
| 4.2 Limitações e cuidados de interpretação.....                   | 46        |
| 4.3 Desdobramentos e possibilidades futuras.....                  | 47        |
| 4.4 Considerações finais.....                                     | 49        |
| <b>5. Referências bibliográficas.....</b>                         | <b>51</b> |

## 1. Introdução

A construção civil ocupa posição central nos debates contemporâneos sobre sustentabilidade, uma vez que envolve grandes fluxos de matéria, energia, transporte e trabalho para transformar recursos naturais em edifícios. Apesar disso, no cotidiano do projeto arquitetônico, essas dimensões materiais tendem a permanecer pouco visíveis. A arquitetura é concebida, discutida e decidida principalmente por meio de representações — desenhos, modelos e imagens — que são fundamentais para antecipar o espaço e organizar o processo construtivo, mas que nem sempre tornam legíveis as implicações socioambientais das escolhas realizadas.

Nesse contexto, é possível que um projeto esteja bem resolvido sob os aspectos espaciais e formais, enquanto as exigências materiais que viabilizam sua construção sejam tratadas como decisões posteriores ou secundárias. A consequência é um distanciamento entre a definição projetual e a compreensão de seus impactos.

A discussão contemporânea sobre sustentabilidade busca responder a esse descompasso por meio de métodos de avaliação, certificações e sistemas comparativos de desempenho ambiental. Embora relevantes, esses instrumentos frequentemente operam de modo paralelo à representação arquitetônica, organizando-se em relatórios, planilhas ou verificações posteriores. Assim, decisões sobre materiais e sistemas construtivos podem ser consolidadas antes que seis impactos ambientais sejam plenamente compreendidos de forma clara e acessível.

Ao mesmo tempo, as tecnologias digitais transformaram significativamente as formas de representar e experimentar projetos antes da obra. Motores gráficos inspirados em jogos digitais (*game engines*), como a Unreal Engine, permitem criar ambientes interativos exploráveis em tempo real e em escala humana. Essa característica não altera apenas a qualidade visual da apresentação, mas modifica a lógica de interação com o projeto, possibilitando selecionar elementos, testar alternativas e observar alterações em tempo real.

A hipótese que orienta esta pesquisa é que a visualização em tempo real pode integrar informação ambiental ao momento da escolha material, aproximando decisão projetual e consequência socioambiental dentro da própria experiência de representação.

Com base nessa hipótese, este Trabalho Final de Graduação propõe e descreve um modelo conceitual destinado a investigar o potencial das tecnologias de visualização interativa como suporte à leitura e decisão arquitetônica. O modelo organiza um ambiente previamente estruturado capaz de receber um projeto importado e conduzir uma sequência de interação: navegação, seleção de elementos, escolha de materiais, inserção de parâmetros geométricos básicos e visualização de informações ambientais.

A proposta não pretende substituir ferramentas técnicas consolidadas nem produzir resultados normativos equivalentes aos de análises completas de ciclo de vida. Trata-se de um experimento exploratório, com base informacional delimitada e caráter qualitativo, cujo objetivo é testar um deslocamento metodológico: explorar a representação como espaço de união entre projeto e impactos materiais.

O objetivo geral do trabalho é investigar o potencial de *game engines* como meio de representação informativa capaz de apoiar decisões ainda na fase de concepção. Como objetivos específicos, busca-se: (i) discutir por que a informação ambiental tende a permanecer dissociada da representação arquitetônica; (ii) estruturar um modelo conceitual de interação que incorpore informação ambiental de forma progressiva e contextual; (iii) organizar uma base comparativa de materiais traduzida em classificações qualitativas; e (iv) demonstrar o funcionamento do modelo por meio de experimento controlado, mantendo constante a geometria analisada.

A metodologia adotada é exploratória e experimental, com recorte em um ambiente interno do tipo apartamento, escolhido por controle e legibilidade. O modelo organiza a interação em quatro categorias de elementos — piso, parede, forro e esquadrias — com conjuntos restritos de materiais, para garantir comparabilidade. A base informacional é utilizada em caráter referencial e qualitativo, explicitando limites e pressupostos. O funcionamento é descrito em etapas, reforçando a relação entre ação do usuário, escolha de material e retorno informacional.

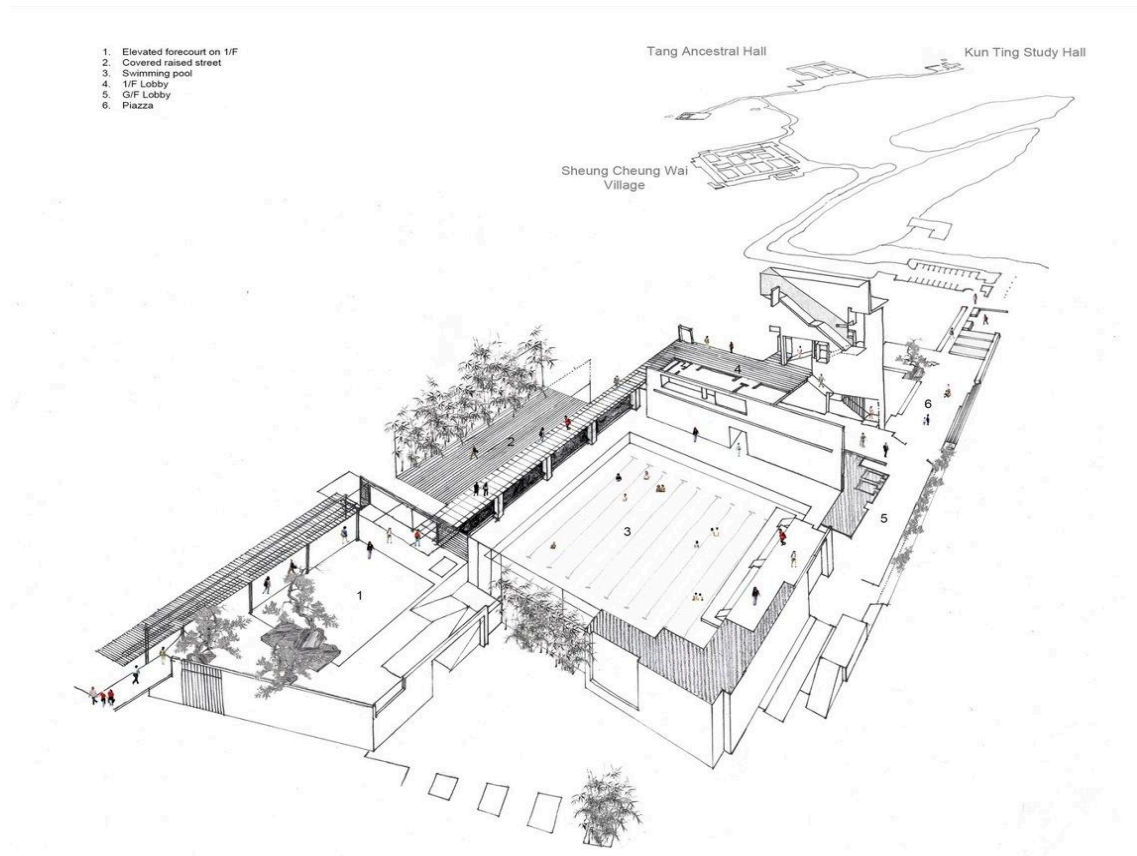
## **2. Representação arquitetônica**

Os meios de representação arquitetônica têm a função de antecipar situações, organizando tanto a forma final do edifício quanto os processos necessários à sua realização. Antes de existir como obra, o edifício existe como projeto: um conjunto de desenhos,



modelos, textos e imagens que permite discutir soluções, testar alternativas e orientar decisões. Representar, portanto, não significa apenas ilustrar uma ideia, mas transformar intenções em informações legíveis, verificáveis e executáveis.

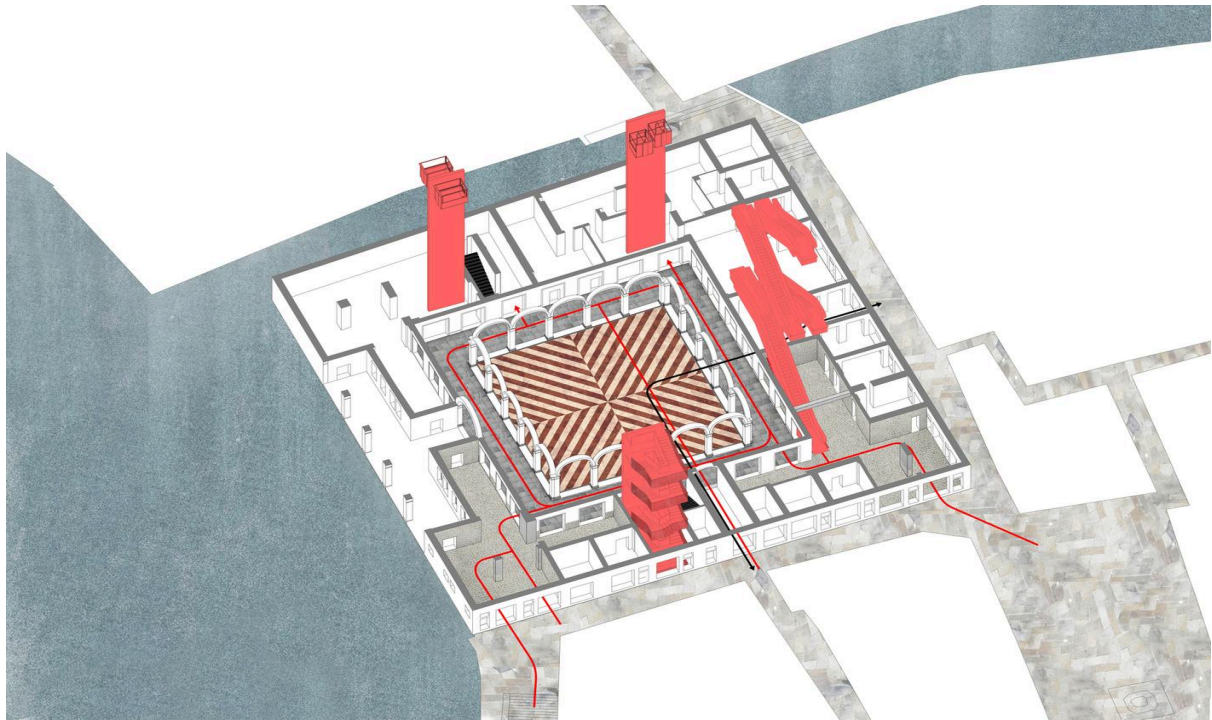
**Figura 01 - Modelo de Representação Arquitetônica.**



**Fonte - ArchDaily (2017).**

A representação cumpre duas funções fundamentais. Em primeiro lugar, funciona como ferramenta de projeto: por meio dela o arquiteto organiza ambientes, testa proporções, verifica circulações e identifica conflitos. Em segundo lugar, atua como ferramenta de comunicação, criando uma base comum de entendimento entre arquitetos, clientes, engenheiros e equipes de obra. É a representação que permite que o projeto seja discutido antes de ser construído.

**Figura 02 - Representação de Circulação de Ambientes.**



**Fonte - ArchDaily (2017).**

Os instrumentos clássicos de representação da arquitetura mostram essa leitura de maneira completa. A planta organiza a distribuição dos ambientes e suas relações de uso. O corte evidencia alturas, níveis e articulações verticais. A fachada apresenta a composição externa e o ritmo entre cheios e vazios. Perspectivas, maquetes e modelos tridimensionais aproximam a percepção da experiência espacial, permitindo compreender volume, escala e atmosfera.

**Figura 03 - Representação Planta Baixa e Corte.**

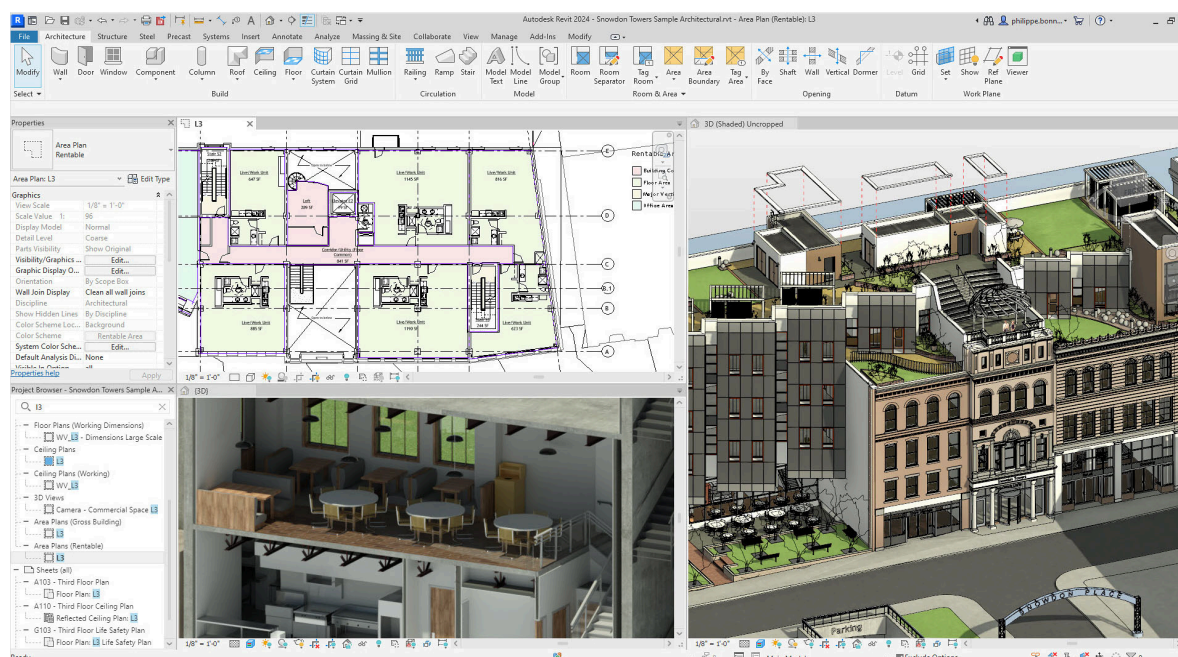


**Fonte - ArchDaily (2017).**

Com o avanço das tecnologias digitais, essa representação tornou-se mais precisa e integrada. Modelos tridimensionais e plataformas BIM ampliaram a capacidade de entregar informações, simular interferências e explorar o espaço em escala humana. A representação passa a incorporar maior quantidade de dados técnicos e a oferecer visualizações cada vez mais realistas.



**Figura 04 - Revit.**

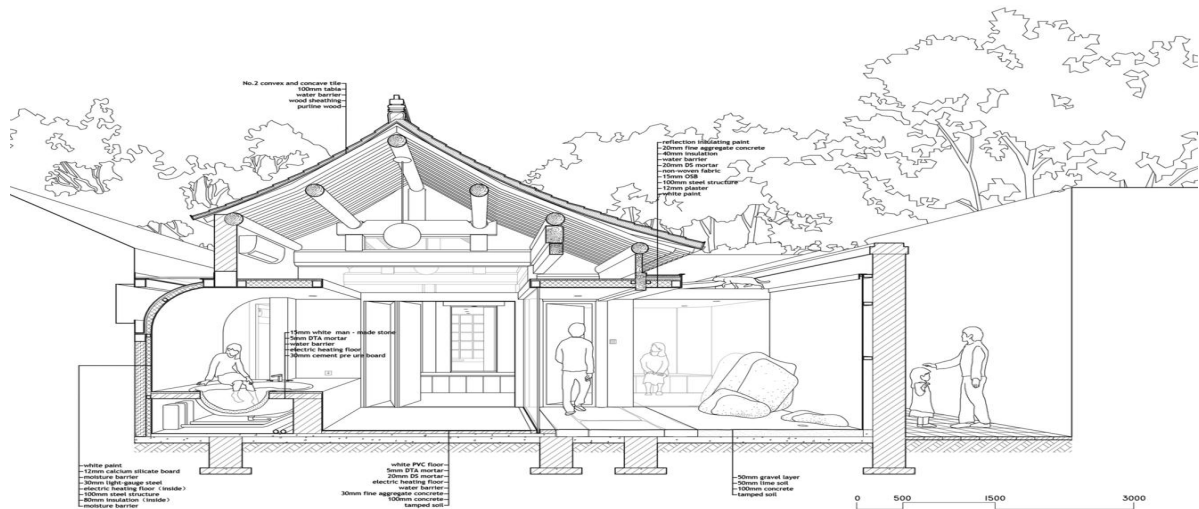


**Fonte - AutoDesk (2024).**

Entretanto, essa sofisticação não deve ser entendida como evolução neutra. Conforme aponta Pedro Fiori Arantes (2012), a qualidade técnica e visual do projeto pode coexistir com processos produtivos marcados por precarização e invisibilidade do trabalho. Mesmo quando a arquitetura opera com softwares avançados e imagens altamente controladas, as condições materiais e sociais que tornam a obra possível tendem a permanecer fora do campo visível da representação.

Esse aspecto revela um limite estrutural: toda representação opera por seleção. Ela comunica com clareza a forma, a organização espacial e a aparência do edifício, mas comunica menos sobre a cadeia produtiva que sustenta sua materialização. Elementos como estruturais aparecem no desenho como componentes espaciais descritos por espessuras, símbolos ou texturas. Essas informações são essenciais para execução e detalhamento, mas raramente tornam visível o percurso material que antecede o canteiro — extração de recursos, processos industriais, transporte, consumo energético e geração de resíduos.

**Figura 05 - Corte: Detalhes construtivos.**



**Fonte - ArchDaily (2017).**

Dessa forma, a representação arquitetônica pode ser compreendida também como um meio crítico: ela funciona como um filtro que destaca certas dimensões do edifício e deixa outras em segundo plano. Esse limite não implica excluir as formas tradicionais de representação, mas entender possibilidades de ampliação. Essa ampliação torna-se especialmente relevante quando se busca integrar à leitura do projeto informações sobre impactos materiais e ambientais ainda na fase de concepção — questão que será aprofundada nos próximos tópicos.

## **2.1 Alienação e cadeia produtiva**

Na arquitetura contemporânea, projetar e construir costumam acontecer em momentos diferentes e com agentes diferentes. O arquiteto desenvolve o projeto, organiza o desenho e define soluções; depois, a obra é executada por equipes e empresas que trabalham com prazos, orçamento, logística e condições reais do canteiro. Essa separação traz vantagens importantes para o planejamento e para o controle do processo. No entanto, ela altera a forma como o edifício passa a ser entendido: primeiro como desenho e imagem, e só depois como construção material.

É nesse contexto que este trabalho utiliza o termo alienação. Aqui, a alienação significa um distanciamento entre o projeto e as condições concretas que tornam o edifício possível. O termo é empregado no sentido crítico de apontar como a separação entre concepção e produção pode tornar menos visíveis aspectos materiais e sociais do construir.

Quando o edifício é discutido principalmente por meio de plantas, cortes, imagens renderizadas e modelos digitais, é comum que a atenção se concentre no que esses meios mostram com mais clareza — forma, espaço e aparência. Já aspectos como trabalho humano, origem dos materiais, processos de fabricação, transporte e desperdício tendem a ficar menos visíveis. Com isso, o projeto corre o risco de ser percebido como um resultado limpo e organizado, enquanto a produção aparece como um assunto separado da obra.

Ao retomar a crítica de Sérgio Ferro, Arantes (2012) argumenta que o desenho arquitetônico não é apenas um instrumento técnico neutro: ele participa da organização da produção ao reforçar a separação entre quem concebe e quem executa, contribuindo para a invisibilização do canteiro e das relações de trabalho.

A noção de cadeia produtiva torna esse distanciamento mais tangível. Todo material especificado no projeto percorre um percurso anterior à obra: extração de matéria-prima, processamento industrial, transporte, armazenamento, aplicação e descarte de resíduos. Cada uma dessas etapas envolve consumo energético, uso de recursos naturais, geração de impactos ambientais e mobilização de trabalho. Assim, ao escolher um material, o projeto não define apenas um acabamento, mas ativa uma sequência de processos produtivos.

Materiais diferentes implicam cadeias diferentes. Um piso cerâmico depende de processos industriais de alta temperatura e de transporte até o canteiro. O concreto envolve produção de cimento e movimentação de agregados em larga escala. Elementos metálicos exigem processos industriais complexos e cadeias logísticas extensas. A madeira, pode apresentar impactos variados conforme origem, manejo e beneficiamento. Esses exemplos evidenciam que a escolha material altera significativamente os processos mobilizados para viabilizar o edifício.

Entretanto, essas diferenças raramente são plenamente legíveis na representação arquitetônica. Nos desenhos técnicos, materiais são indicados por símbolos e especificações; dos modelos tridimensionais, aparecem como texturas e acabamentos. Essas formas de comunicação são adequadas para orientar execução e detalhamento, mas não tornam evidente

o percurso produtivo associado a cada alternativa. Duas soluções podem parecer semelhantes no projeto e, ainda assim, mobilizar cadeias produtivas muito diferentes.

Quando a cadeia produtiva não é mostrada no projeto, a tomada de decisão tende a se apoiar no que é mais fácil de comparar naquele momento: estética, custo inicial, manutenção, disponibilidade e preferência do cliente. Esses critérios são parte real do trabalho do arquiteto. O ponto crítico é que, sem informação acessível sobre produção e impacto, fica mais difícil comparar alternativas de modo completo. Com isso, decisões materiais podem ser tratadas como ajustes finais.

No campo da sustentabilidade, essa questão assume dimensão estratégica. Sistemas de avaliação ambiental — como LEED, BREEAM, EDGE, AQUA-HQE e o Selo Casa Azul — organizam critérios, parâmetros e níveis de desempenho, contribuindo para padronizar avaliações. Contudo, sua lógica baseada em requisitos e pontuações pode deslocar a discussão para o cumprimento de itens específicos, em vez de integrar de forma contínua a dimensão material ao raciocínio projetual. Assim, mesmo sendo instrumentos relevantes, existe o risco de que a sustentabilidade opere como verificação paralela, e não como componente da decisão desde a concepção.

**Figura 06 - Certificação: Selo Casa Azul.**



**Fonte - Caixa: Guia Selo Casa Azul (2020).**

Portanto, discutir alienação e cadeia produtiva significa reconhecer que o projeto não define apenas forma e organização espacial. Ele também direciona como matéria, energia e

trabalho serão mobilizados para construir o edifício. Tornar essa relação mais visível é um passo importante para aproximar o desenho das consequências reais das escolhas projetuais — questão que orienta o tópico seguinte, dedicado ao papel das tecnologias digitais nesse processo.

## 2.2 Tecnologias digitais e sustentabilidade

Nas últimas décadas, as tecnologias digitais passaram a ocupar um papel central no modo como a arquitetura é projetada, analisada e comunicada. Recursos como modelagem tridimensional, BIM, renderização e visualização em tempo real ampliaram a capacidade de antecipar o espaço antes da obra. Além de qualificarem a apresentação do projeto, essas ferramentas também alteraram rotinas de trabalho, pois permitem testar alternativas, simular cenários e identificar interferências com maior agilidade e controle informacional.

**Figura 07 - Imagem em Alta Qualidade: Estádio de Xi'an.**



**Fonte - Zaha Hadid Architecture (2020).**

Nesse conjunto de tecnologias, ganham destaque os motores gráficos inspirados em jogos digitais (game engines), como a Unreal Engine. De forma direta, um game engine pode ser entendido como um sistema que transforma um modelo digital em um ambiente



explorável, no qual o usuário interage em tempo real. Em vez de observar o projeto por imagens fixas, torna-se possível percorrer o espaço, experimentar diferentes pontos de vista e compreender o ambiente em escala humana. Essa característica modifica a relação com a representação arquitetônica, pois reduz a dependência exclusiva da leitura técnica e aproxima a compreensão do projeto de uma experiência espacial imediata.

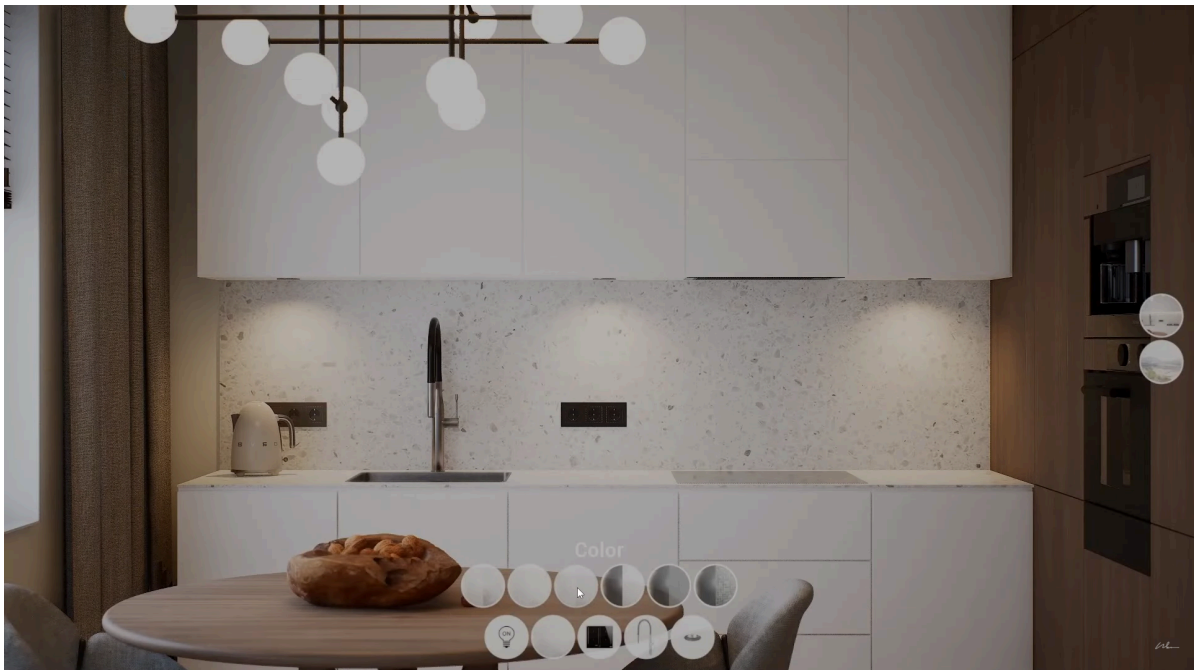
**Figura 08 - Interatividade do Unreal Engine.**



**Fonte - Canal Arch Viz Artist (2024).**

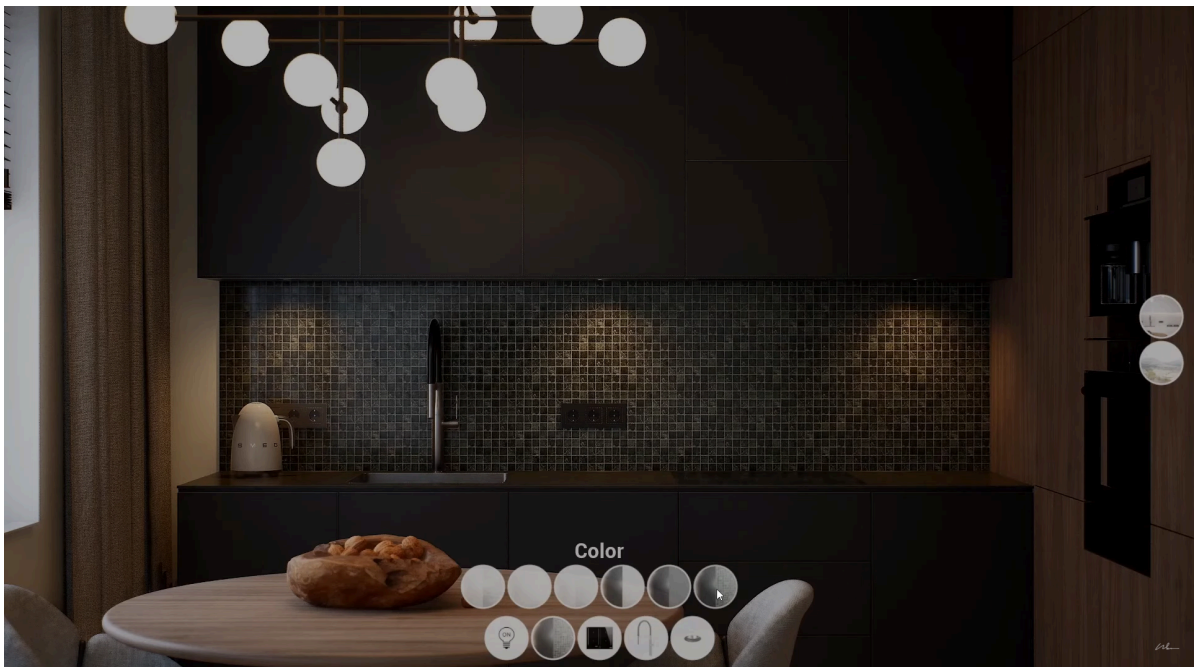
Além da navegação, esses ambientes permitem interações pouco comuns nos meios tradicionais de representação. Em um modelo interativo, o usuário pode selecionar elementos, alternar materiais, ativar camadas de informação e observar imediatamente os efeitos dessas escolhas no espaço representado. Essa atualização em tempo real estabelece uma relação direta entre decisão e resultado. Para clientes e usuários não especializados, isso tende a ampliar a clareza da proposta; para o arquiteto, facilita análises comparativas, já que alternativas podem ser testadas sem a necessidade de reconstruir toda a representação a cada modificação.

**Figura 09 - Interatividade do Unreal Engine - Troca de Revestimento (1).**



**Fonte - Canal Wessel Huizenga (2023).**

**Figura 10 - Interatividade do Unreal Engine - Troca de Revestimento (2).**

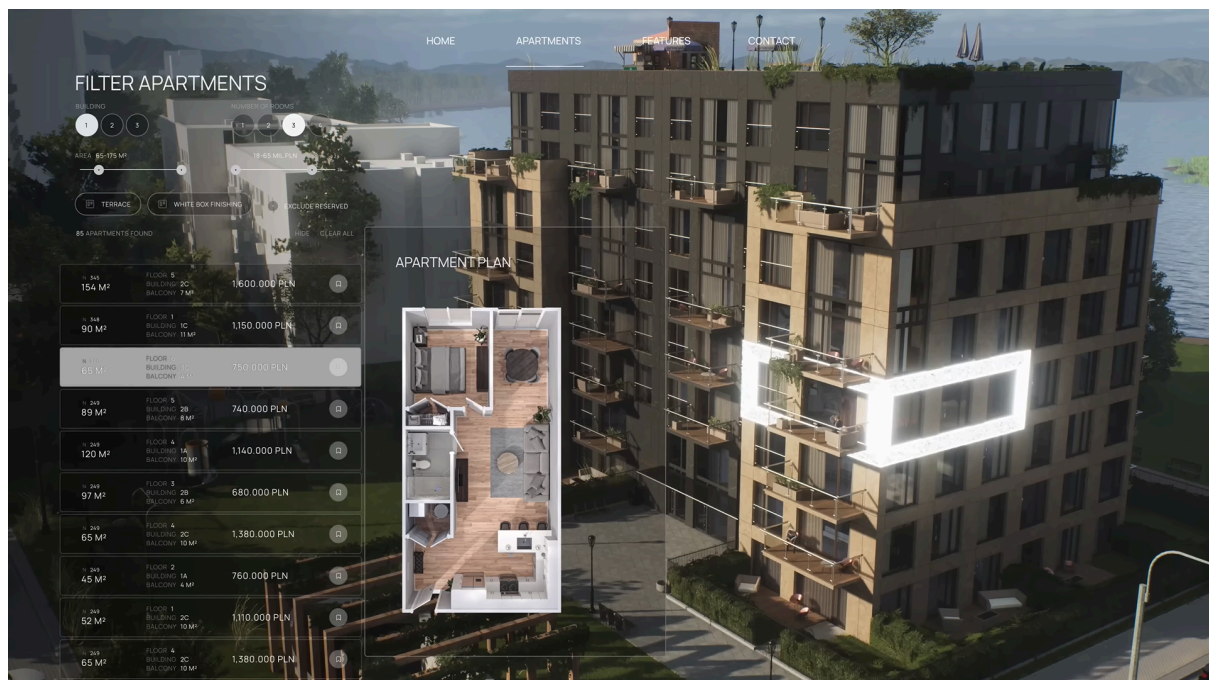


**Fonte - Canal Wessel Huizenga (2023).**

No entanto, quando se trata de sustentabilidade, a questão central não é apenas tornar a visualização mais realista e imersiva. O ponto decisivo é investigar se essas tecnologias podem integrar informação ambiental ao momento da escolha projetual, especialmente na definição de materiais. Em princípio, isso é viável porque game engines operam com variáveis e respostas dinâmicas do sistema: uma ação do usuário pode acionar não apenas alteração visual, mas também a apresentação de dados associados à decisão tomada. Ao substituir um material de piso, por exemplo, o ambiente pode atualizar simultaneamente a aparência do elemento e exibir uma síntese comparativa de impacto relacionada à alternativa escolhida. Nesse caso, a representação deixa de comunicar somente “como o espaço fica” e passa a comunicar também “o que essa escolha implica”, ainda que de forma qualitativa e simplificada.

Apesar desse potencial, o uso dessas tecnologias na arquitetura permanece predominantemente voltado à apresentação visual. Ambientes altamente realistas, com iluminação sofisticada e materiais detalhados, são amplamente empregados em apresentações comerciais e validação de projeto.

**Figura 11 - Funções Interativas do Unreal Engine.**



**Fonte - Canal: Prographers (2023).**

Assim, as tecnologias digitais podem operar em direções distintas. Quando utilizadas apenas como vitrine do projeto, podem reforçar a distância entre concepção e produção, criando imagens ainda mais controladas e aparentemente autônomas. Por outro lado, quando estruturadas para integrar dados e relações — como informações sobre materiais, cadeias produtivas e impactos ambientais —, podem funcionar como instrumentos de leitura crítica e comparação. Nessa perspectiva, o ambiente interativo deixa de ser apenas meio de visualização e passa a atuar como suporte à decisão.

As realidades imersivas, como realidade virtual, aumentada e mista, ampliam essa possibilidade ao intensificar a experiência espacial em escala real. Se, nesse ambiente imersivo, estiverem disponíveis também informações sobre materialidade e impacto, torna-se possível articular duas dimensões frequentemente dissociadas no processo de projeto: a vivência do espaço e a compreensão das consequências materiais das escolhas construtivas.

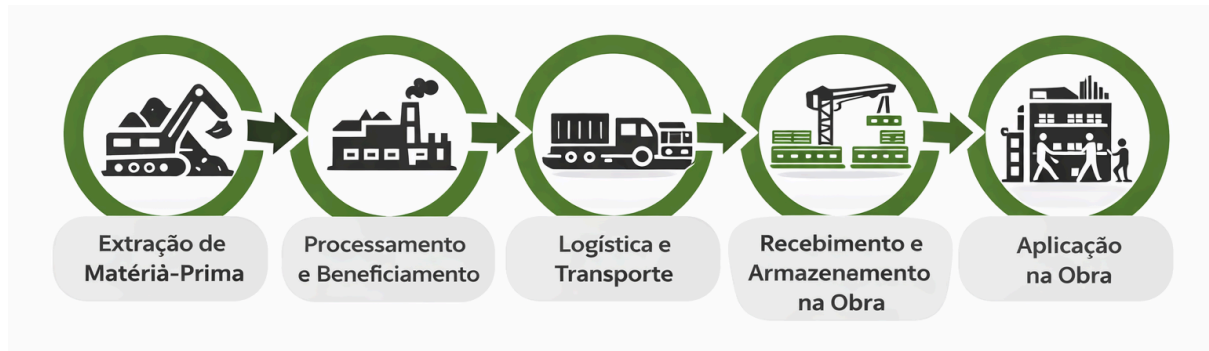
Dessa forma, o desafio não consiste apenas em adotar tecnologia digital, mas em definir quais etapas informacionais serão integradas à experiência de representação. Para contribuir com uma arquitetura mais consciente do ponto de vista ambiental, essas ferramentas precisam ir além do refinamento visual e incorporar mecanismos de comparação que tornem legíveis os efeitos das decisões projetuais. É a partir daí que esta pesquisa avança para o tópico seguinte, no qual se apresenta a base informacional utilizada para estruturar essa integração de forma experimental e delimitada.

## **2.3 Pirâmide de Materiais**

No campo da arquitetura, a sustentabilidade não se limita ao desempenho do edifício após sua ocupação. Ela também envolve decisões tomadas durante o projeto, especialmente aquelas relacionadas a materiais e sistemas construtivos. Isso ocorre porque parcela significativa dos impactos ambientais pode acontecer antes do uso do edifício, nas etapas de extração de recursos, produção industrial e transporte. A sustentabilidade no projeto, implica compreender o edifício não apenas como espaço de uso, mas como resultado de cadeias produtivas ativadas por escolhas materiais.



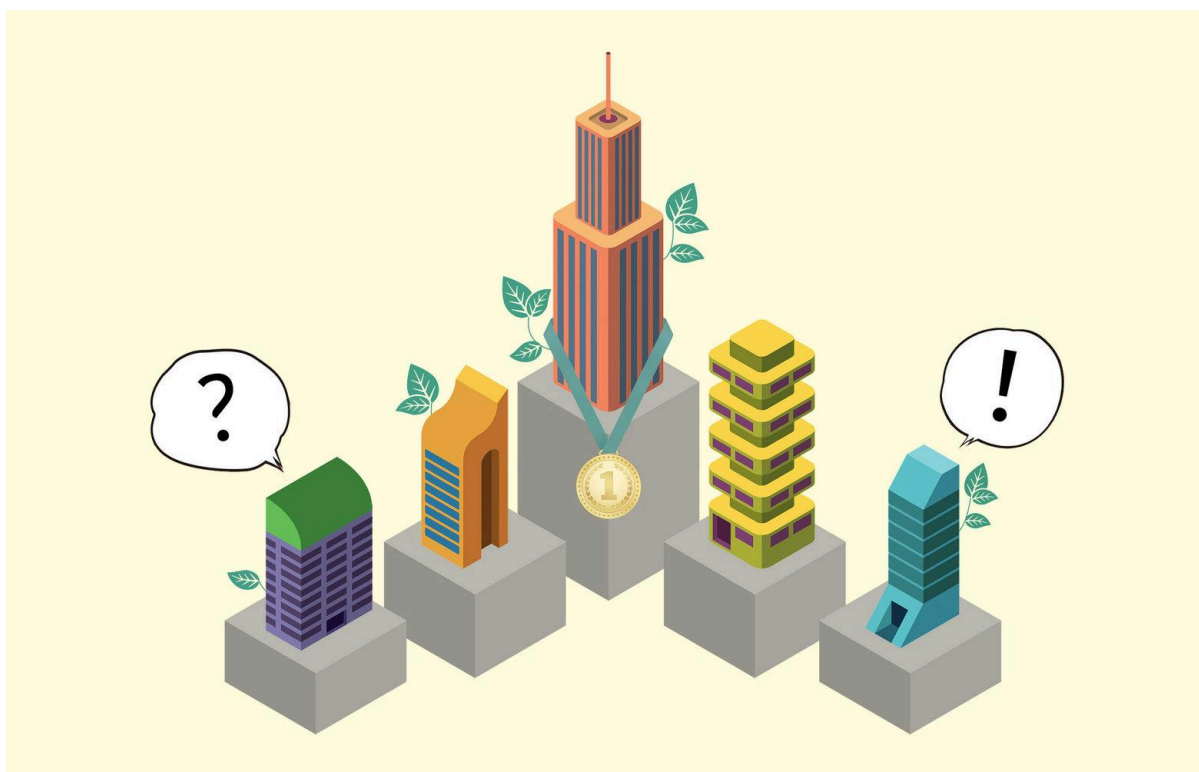
**Figura 12 - Etapas de Extração de Recursos.**



**Fonte - Imagem desenvolvida pelo autor e ajuda de IA (2026).**

Essa perspectiva é enfatizada por Tavares (2024), ao destacar a importância de tecnologias construtivas de baixo carbono como estratégia para reduzir emissões na construção. Ao discutir sustentabilidade na arquitetura e na construção, a autora evidencia que decisões tomadas nas fases iniciais — como definição de sistemas estruturais, vedações e acabamentos — podem influenciar de maneira significativa os impactos associados ao edifício. Isso reforça a necessidade de considerar a materialidade desde as fases iniciais. Ao mesmo tempo, parte relevante do debate contemporâneo é mediada por certificações e sistemas de avaliação ambiental. Esses instrumentos contribuem para organizar critérios e estabelecer parâmetros comparáveis. No entanto, como também discute Tavares (2024), muitos operam por meio de requisitos e sistemas de pontuação, o que pode colocar a discussão para o atendimento de critérios previamente definidos. Embora úteis para padronização e verificação, esses sistemas nem sempre tornam possível, no momento da escolha projetual, a diferença de impacto entre alternativas materiais específicas.

**Figura 13 - Certificações de Construção Sustentável.**



**Fonte - ArchDaily (2020).**

Diante desse cenário, torna-se pertinente investigar formas de organizar informação ambiental de maneira mais direta e comparativa, especialmente quando o objetivo é apoiar decisões durante a fase de concepção. É nesse contexto que a Pirâmide de Materiais, desenvolvida pelo CINARK, é adotada como referência para o experimento desta pesquisa.

A pirâmide propõe uma leitura hierárquica de materiais com base em indicadores ambientais amplamente utilizados em estudos de avaliação de impacto, como Potencial de Aquecimento Global (GWP), Acidificação (AP), Eutrofização (EP), Formação de Ozônio Troposférico (POCP) e Destruição da Camada de Ozônio (ODP). Esses indicadores concentram-se principalmente nas etapas de produção e transporte, permitindo comparar materiais a partir de parâmetros ambientais.

**Figura 14 - Pirâmide de Materiais.**



Fonte - ArchDaily (2022).

É importante esclarecer que, neste trabalho, a pirâmide não é utilizada como ferramenta normativa ou instrumento de certificação. A adoção da pirâmide tem caráter metodológico e experimental: ela funciona como base referencial para estruturar uma comparação qualitativa entre materiais dentro do modelo conceitual proposto.

Sua lógica é didática, materiais posicionados em níveis inferiores tendem a apresentar menores impactos relativos nos indicadores considerados, enquanto aqueles nos níveis superiores tendem a possuir maior energia e gerar maiores emissões nas etapas. Essa organização facilita a leitura comparativa, mesmo sem aprofundamento técnico nos métodos de cálculo.

Ao incorporar essa base informacional, é fundamental reconhecer seus limites. A pirâmide foi desenvolvida a partir de dados e contextos predominantemente europeus, o que implica variações quando transposta para outras realidades, como a brasileira. Além disso,

sua ênfase é principalmente sobre impactos associados à produção e transporte, não abrangendo integralmente todas as fases do ciclo de vida, como uso, manutenção, reuso ou descarte final.

No âmbito desta pesquisa, a pirâmide é utilizada como instrumento de tradução: ela permite converter indicadores técnicos em uma linguagem sintética e visualmente legível dentro do modelo conceitual. Ao selecionar um material no projeto, o usuário não visualiza apenas sua alteração estética, mas também sua posição relativa em termos de impacto. Assim, a representação passa a articular forma e consequência, ainda que de modo simplificado e qualitativo.

Dessa forma, a Pirâmide de Materiais atua como ponte entre o debate teórico sobre sustentabilidade e a proposta metodológica deste trabalho. Seu uso não encerra a discussão sobre cadeia produtiva, mas viabiliza um primeiro deslocamento: trazer parte da informação ambiental para dentro do momento de escolha projetual, preparando a transição para a estrutura do modelo conceitual apresentado a seguir.

## **2.4 Síntese e passagem para o modelo conceitual**

O percurso teórico desenvolvido neste capítulo permite afirmar que a representação arquitetônica não é apenas um meio de registrar o projeto, mas um dispositivo que orienta o próprio modo de compreender o edifício. Ao organizar a leitura por plantas, cortes, fachadas, imagens e modelos digitais, a representação torna comparáveis dimensões como forma, organização espacial, aparência e desempenho funcional. Ao mesmo tempo, tende a deixar em segundo plano aquilo que não se expressa facilmente nesses meios: a trajetória produtiva dos materiais, a energia e os recursos mobilizados, a logística, as perdas e as condições de trabalho envolvidas na construção. Assim, parte fundamental do edifício — aquilo que garante sua existência como matéria — pode permanecer pouco presente no momento da decisão projetual.

Como discute Pedro Fiori Arantes (2012), o desenho participa da organização da produção e pode contribuir para distanciar o canteiro do campo de decisão, reforçando a percepção da construção como etapa posterior e relativamente autônoma. Nesse cenário, em termos práticos, escolhas materiais podem ser conduzidas por critérios como estética, custo e manutenção sem que existam instrumentos simples que revelam os impactos dessas decisões.



No debate sobre sustentabilidade, assume forma específica. Certificações, selos e sistemas de avaliação exercem papel relevante ao estruturar parâmetros e incentivar boas práticas. Entretanto, frequentemente operam como sistemas paralelos ao ato de projetar, organizados por requisitos e pontuações. Como argumenta Tavares (2024), a sustentabilidade precisa estar conectada às escolhas construtivas ao longo do processo, e não apenas aparecer como validação posterior. O ponto central, portanto, não é rejeitar essas ferramentas, mas reconhecer que elas nem sempre produzem uma leitura imediata e integrada à representação arquitetônica.

Diante disso, entre o que a representação comunica com clareza e o que precisa ser tornado legível para qualificar a decisão, que se situa a proposta deste trabalho. Em vez de desenvolver um sistema normativo completo ou substituir métodos consolidados de avaliação, a pesquisa investiga a representação como campo experimental de integração informacional. A ideia central é que ambientes interativos inspirados em jogos digitais, com navegação em escala humana e atualização em tempo real, podem associar a escolha de materiais a um retorno informacional imediato, permitindo relacionar aparência, quantidade e consequência dentro do mesmo processo de leitura.

Para estruturar essa integração de maneira controlada, a Pirâmide de Materiais, desenvolvida pelo CINARK, é adotada como base referencial. Sua função no contexto desta pesquisa não é oferecer avaliação completa da sustentabilidade dos materiais, mas organizar uma comparação qualitativa que possa ser incorporada ao ambiente interativo.

A partir dessa síntese, o Capítulo 3 apresenta a delimitação metodológica e o modelo conceitual do experimento: a estrutura do ambiente interativo, o recorte adotado, e o fluxo de interação que propõe seleção de elementos, troca de materiais e visualização comparativa de impactos.

### **3. Delimitação metodológica e natureza do experimento**

O trabalho adota uma abordagem exploratória e experimental, voltada à construção de um modelo conceitual. O foco em investigar uma possibilidade: compreender de que maneira tecnologias de visualização interativa em tempo real podem ampliar o papel da representação arquitetônica, integrando informação ambiental ao momento de leitura e escolha do projeto.

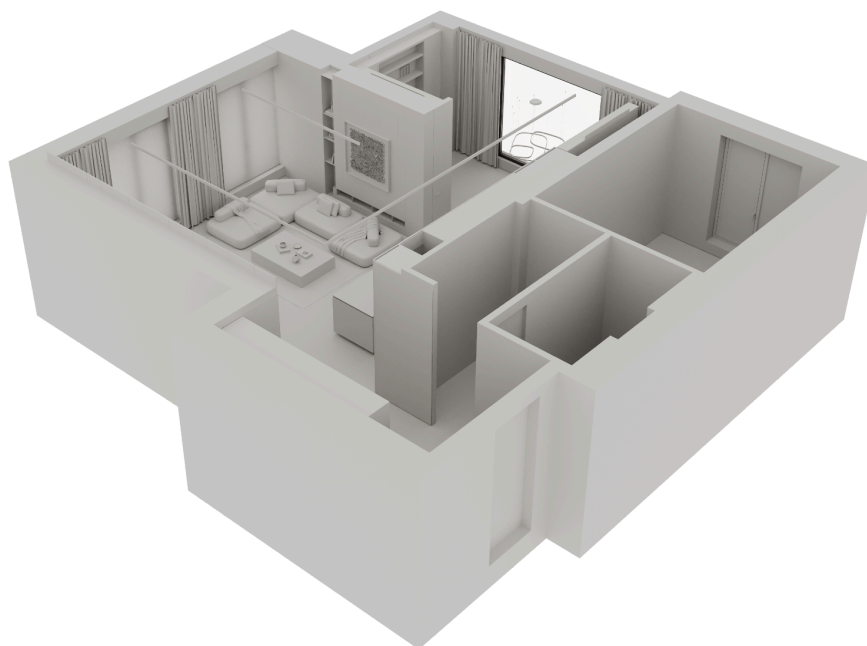
A ideia que orienta essa proposta é direta: quando o projeto pode ser explorado em escala humana, com interação e atualização em tempo real, torna-se mais fácil relacionar decisões projetuais a consequências associadas aos materiais. Nesse contexto, a representação deixa de funcionar apenas como imagem do espaço e passa a atuar como meio informativo, capaz de apoiar comparações e estimular uma leitura crítica do projeto. O objetivo, portanto, não é substituir ferramentas técnicas de avaliação ambiental, mas tornar mais legível, dentro da própria experiência de representação, o impacto relativo de escolhas materiais.

Para deixar clara a natureza do experimento, é importante definir o que este trabalho entende como resultado. O resultado principal não é um sistema plenamente implementado e pronto para uso, mas um artefato acadêmico: uma descrição organizada do funcionamento de um ambiente interativo, com regras, etapas e parâmetros explicitados. O rigor do experimento está na consistência dessa estrutura: o modelo precisa ser compreensível, replicável como ideia e coerente com as limitações assumidas. Em outras palavras, o trabalho descreve como o modelo operaria e como ele poderia ser estruturado, mesmo sem exigir uma implementação completa como produto final.

Do ponto de vista metodológico, a proposta busca aproximar duas dimensões que, na prática, costumam aparecer separadas. A primeira é a representação do espaço arquitetônico, voltada à compreensão formal, funcional e visual do projeto. A segunda é a leitura das consequências materiais e ambientais das escolhas feitas, que frequentemente aparecem em relatórios técnicos externos ou em etapas posteriores. O modelo conceitual proposto investiga como essas duas dimensões podem ser apresentadas juntas, no mesmo ambiente, de modo que a informação ambiental esteja disponível no momento em que o usuário explora o projeto e toma decisões.

Para garantir clareza e controle, o experimento adota um recorte espacial específico: um ambiente interno do tipo apartamento. Essa escolha tem uma função metodológica. Por ser um espaço amplamente reconhecível, o apartamento facilita a compreensão por parte do leitor e reduz a necessidade de explicações adicionais sobre programa e uso. Ao mesmo tempo, concentrar o experimento em um interior diminui a quantidade de variáveis envolvidas, o que torna mais evidente a relação entre troca de materiais e informação ambiental apresentada.

**Figura 15 - Representação Espacial do Modelo Conceitual.**



**Fonte - Imagem desenvolvida pelo autor (2026).**

Dentro desse recorte, o modelo se concentra em quatro categorias de elementos diretamente perceptíveis em ambientes internos: piso, parede, forro e esquadrias. Esses componentes foram escolhidos por serem recorrentes na prática projetual e por envolverem decisões materiais frequentes, muitas vezes tratadas como escolhas de acabamento. O modelo busca tornar explícito que essas decisões, embora pareçam pontuais, ativam consequências ambientais diferentes conforme o material escolhido e a quantidade aplicada.

Por fim, é necessário explicitar o alcance e os limites do estudo. O modelo não abrange todas as dimensões da sustentabilidade e não realiza avaliações técnicas completas. Não são considerados, por exemplo, sistema estrutural, instalações, fase de uso, manutenção e descarte. Os dados ambientais são utilizados de forma comparativa e qualitativa, com o objetivo de apoiar leitura e reflexão, e não de gerar validações normativas. Esses limites não são falhas do trabalho, mas escolhas coerentes com o objetivo do TFG: propor um modelo conceitual claro, didático e consistente, que demonstre como a representação interativa pode incorporar informação ambiental e apoiar decisões ainda na fase de concepção.

### 3.1 Estrutura do modelo conceitual

Para tornar esse funcionamento possível, o modelo é concebido a partir de um ambiente-base previamente estruturado em um motor gráfico, como a Unreal Engine. Esse ambiente-base funciona como a matriz do experimento: nele estão definidas a lógica de interação, as categorias de elementos, a biblioteca de materiais e os pontos em que a informação ambiental aparece. A adoção dessa estrutura tem um objetivo metodológico claro: reduzir variáveis, garantir consistência e facilitar a comparação entre alternativas. Dessa forma, o experimento mantém controle sobre o que muda e sobre o que permanece constante durante a interação.

O modelo pressupõe que o arquiteto traga para esse ambiente um projeto previamente modelado em software 3D ou BIM. Para que o ambiente interativo consiga operar, são necessários ajustes básicos relacionados à organização do modelo por categorias. Em termos simples, o projeto importado precisa estar minimamente separado em grupos reconhecíveis, como piso, parede, forro e esquadrias. Além disso, o modelo deve estar em escala correta e com identificação básica dos elementos. O objetivo desses ajustes não é exigir programação ou conhecimento técnico avançado, mas garantir que o ambiente reconheça sobre quais componentes o usuário irá interagir.

A interação no modelo é organizada como uma sequência clara de etapas. Inicialmente, o usuário — que pode ser o próprio arquiteto, um estudante ou um cliente, dependendo do contexto de uso — navega pelo espaço em escala humana, explorando o ambiente como uma representação do projeto. Em seguida, seleciona um elemento construtivo específico. A partir dessa seleção, o componente passa a ser tratado como elemento ativo, e o sistema torna isso explícito na interface. Essa explicitação é importante para evitar ambiguidades, permitindo que o usuário identifique com clareza qual elemento está sendo alterado e analisado naquele momento.

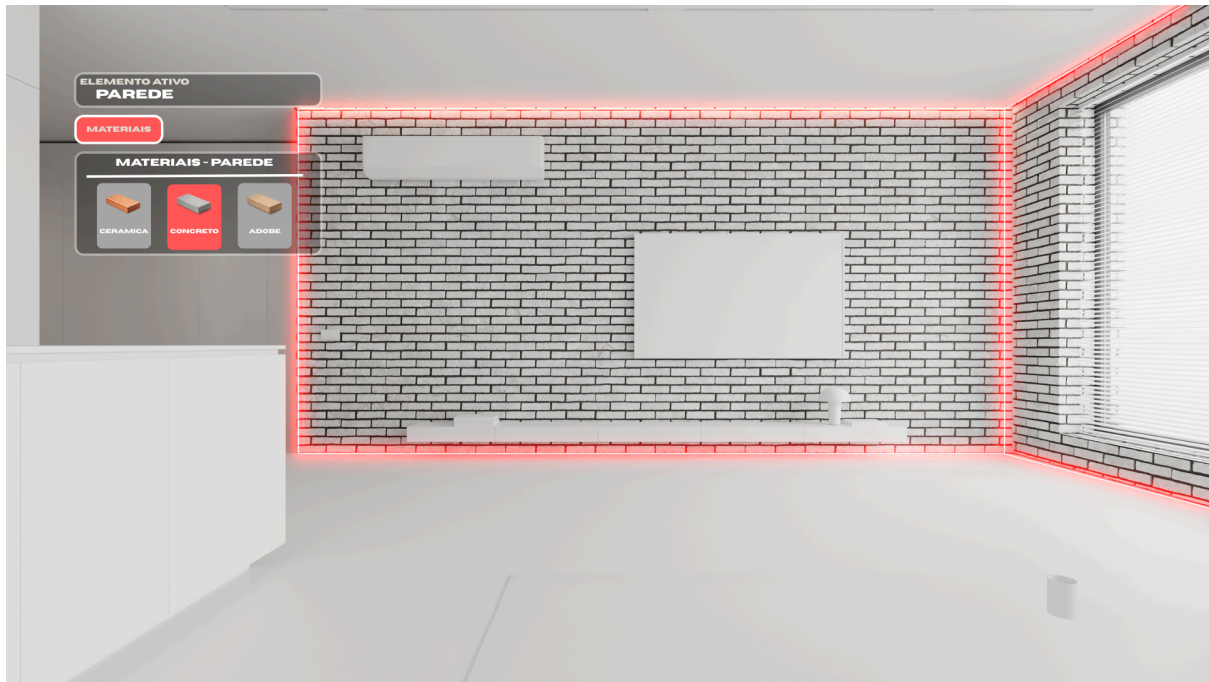
**Figura 16 - Modelo Conceitual: Seleção do Elemento Construtivo (Parede).**



**Fonte - Imagem desenvolvida pelo autor (2026).**

Após a seleção, o modelo libera o acesso a uma biblioteca de materiais associada à categoria escolhida. Essa biblioteca é previamente definida e funciona como um conjunto controlado de alternativas comparáveis. A intenção não é oferecer todas as opções disponíveis no mercado, mas trabalhar com um conjunto restrito de materiais coerente com o recorte do experimento. Essa delimitação evita comparações distorcidas e mantém o foco na leitura das consequências associadas a escolhas recorrentes na prática arquitetônica.

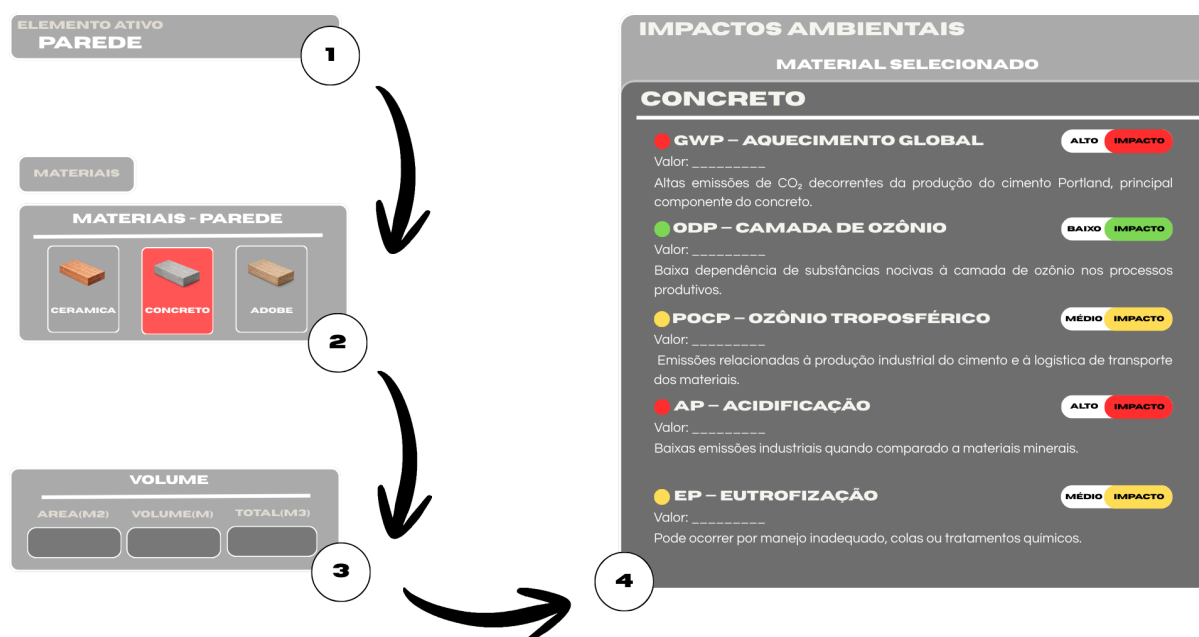
**Figura 17 - Modelo Conceitual: Troca do Elemento Construtivo (Parede).**



**Fonte - Imagem desenvolvida pelo autor (2026).**

Outro aspecto importante é a forma como a informação é apresentada ao longo da experiência. O modelo foi pensado para funcionar de maneira progressiva, evitando a apresentação simultânea de grande quantidade de dados. Assim, as etapas de seleção do elemento, escolha do material, inserção de parâmetros e visualização do relatório ambiental não aparecem todas ao mesmo tempo. Elas são ativadas conforme o usuário avança na interação. Essa organização tem um objetivo didático: reforçar a relação entre decisão e consequência, evidenciando que a informação ambiental apresentada decorre das escolhas realizadas dentro do próprio ambiente.

**Figura 18 - Modelo Conceitual: Etapas de Seleção do Elemento (Parede).**



Fonte - Imagem desenvolvida pelo autor (2026).

Também é importante destacar o papel do usuário dentro do modelo. O usuário não calcula impactos nem altera valores ambientais pré-estabelecidos. Sua interação consiste em escolher materiais e informar parâmetros geométricos básicos, necessários para estimar a quantidade aplicada. A informação ambiental, por sua vez, já está configurada no ambiente-base e aparece como retorno ao processo de escolha. Dessa forma, o ambiente funciona como um dispositivo de leitura do projeto, permitindo comparar alternativas e tornar suas consequências mais visíveis sem substituir análises técnicas detalhadas.

Por fim, a estrutura do modelo é deliberadamente seletiva. Ela não pretende representar toda a complexidade do processo construtivo nem abranger todos os sistemas de um edifício. O foco está em componentes diretamente perceptíveis e em decisões materiais frequentes, justamente porque essas escolhas costumam aparecer de forma limitada na representação tradicional. Ao organizar a interação em etapas claras e comparáveis, o modelo cria condições para que decisões aparentemente simples — como a escolha do material de um piso — possam ser compreendidas também como decisões com implicações ambientais.



### **3.2 Base informacional e parametrização**

A base informacional do modelo conceitual tem como objetivo relacionar escolhas de materiais a informações ambientais de forma clara e comparável dentro da própria experiência de leitura do projeto. Diferentemente de ferramentas técnicas de avaliação ambiental, o modelo não busca precisão normativa nem resultados quantitativos completos. Seu objetivo é organizar a informação de modo que o usuário consiga comparar alternativas e compreender, de forma imediata, que materiais diferentes envolvem consequências ambientais distintas.

Para isso, o trabalho adota como referência a Pirâmide de Materiais desenvolvida pelo CINARK (CINARK, 2019). Essa base organiza materiais a partir de indicadores ambientais amplamente utilizados em avaliações ambientais, como Potencial de Aquecimento Global (GWP), Acidificação (AP), Eutrofização (EP), Formação de Ozônio Troposférico (POCP) e Destruição da Camada de Ozônio (ODP). Esses indicadores também aparecem na explicação divulgada no ArchDaily Brasil, que ajuda a situar a pirâmide e sua lógica comparativa (Souza, 2022).

No modelo conceitual, esses indicadores não são apresentados como dados técnicos extensos. Em vez disso, são traduzidos em classificações qualitativas — baixo, médio e alto — acompanhadas de descrições curtas. Essa tradução busca manter a informação legível dentro do ambiente interativo, evitando que o excesso de dados técnicos dificulte a compreensão da comparação entre materiais.

**Figura 19 - Modelo Conceitual: Indicadores do Impacto Ambiental (Parede).**

**IMPACTOS AMBIENTAIS**

**MATERIAL SELECIONADO**

CONCRETO

---

●
GWP – AQUECIMENTO GLOBAL

Valor: \_\_\_\_\_

ALTO

IMPACTO

Altas emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes da produção do cimento, principal componente do concreto.

BAIXO

IMPACTO

●
ODP – CAMADA DE OZÔNIO

Valor: \_\_\_\_\_

BAIXO

IMPACTO

Baixa dependência de substâncias nocivas à camada de ozônio nos processos produtivos.

MÉDIO

IMPACTO

●
POCP – OZÔNIO TROPOSFÉRICO
Valor: \_\_\_\_\_

MÉDIO

IMPACTO

ALTO

IMPACTO

●
AP – ACIDIFICAÇÃO
Valor: \_\_\_\_\_

ALTO

IMPACTO

MÉDIO

IMPACTO

●
EP – EUTROFIZAÇÃO
Valor: \_\_\_\_\_

MÉDIO

IMPACTO

Fonte - Imagem desenvolvida pelo autor (2026).

Além disso, a pirâmide concentra-se principalmente nas etapas de extração, produção e transporte, não abrangendo integralmente outras fases do ciclo de vida dos materiais, como uso, manutenção ou descarte. Neste trabalho, esses limites são assumidos explicitamente porque o objetivo do modelo não é validar materiais, mas oferecer um instrumento de comparação e reflexão aplicado ao momento de decisão em projeto.

Além da base de dados, o modelo precisa de uma forma simples de relacionar material escolhido e quantidade aplicada. É nesse ponto que entra a parametrização. Para os elementos piso, parede e forro, o modelo utiliza dois parâmetros informados pelo usuário: área (m<sup>2</sup>) e espessura (m). A partir desses valores, é gerada uma estimativa volumétrica (m<sup>3</sup>). Essa estimativa não pretende reproduzir com rigor todos os cálculos construtivos, mas cumprir uma função didática: mostrar que o impacto associado a um material não depende apenas do tipo de material, mas também da quantidade empregada no projeto.

**Figura 20 - Modelo Conceitual: Cálculo de Volume (Parede).**

| VOLUME   |           |           |
|----------|-----------|-----------|
| AREA(M2) | VOLUME(M) | TOTAL(M3) |
|          |           |           |

**Fonte - Imagem desenvolvida pelo autor (2026).**

A escolha por uma parametrização simples possui também um objetivo metodológico. Caso o modelo exigisse dados mais complexos, ele perderia clareza e dificultaria a experiência de leitura do experimento. Ao trabalhar com área e espessura, a interação permanece acessível e, ao mesmo tempo, reforça um princípio importante: decisões de projeto têm escala material. Quando o usuário informa dimensões antes de acessar o relatório ambiental, torna-se mais evidente que a escolha de um material não é apenas uma decisão visual, mas uma decisão associada à quantidade e, portanto, a impacto.

No caso das esquadrias, o modelo reconhece que a lógica  $\text{área} \times \text{espessura}$  não se aplica diretamente, pois a quantidade de material não depende apenas de uma espessura associada a uma superfície. Por isso, a parametrização baseia-se nas dimensões do vão, assumido como retangular. O usuário informa a largura e altura da abertura, e o sistema calcula automaticamente a área ( $\text{m}^2$ ), utilizada como referência para o componente de vidro, e o perímetro (m), usado como aproximação da quantidade de perfis do caixilho.

O objetivo dessa parametrização não é aumentar a precisão técnica do cálculo, mas manter coerência conceitual e comparabilidade entre alternativas. Elementos diferentes exigem formas distintas de estimar quantidade, e essa adaptação permite manter a lógica comparativa do modelo sem perder clareza.

**Figura 21 - Modelo Conceitual: Cálculo de Área e Perímetro (Esquadrias).**

O diagrama apresenta duas seções principais, cada uma com um título centralizado e uma barra decorativa horizontal abaixo dele. A primeira seção, intitulada 'ÁREA(M2)', contém três campos de entrada rotulados 'LARGURA(M)', 'ALTURA(M)' e 'TOTAL(M2)'. A segunda seção, intitulada 'PERÍMETRO', contém três campos de entrada rotulados 'ÁREA(M2)', 'PERÍMETRO' e 'TOTAL(M2)'. Todos os campos de entrada são retângulos cinza escuro com bordas brancas.

**Fonte - Imagem desenvolvida pelo autor (2026).**

Um ponto central da estrutura é que os valores ambientais associados aos materiais permanecem pré-configurados no ambiente-base. O usuário não altera esses valores; ele apenas escolhe o material e informa parâmetros geométricos básicos. Essa decisão garante consistência interna, comparabilidade entre alternativas e controle metodológico do experimento. Ao mesmo tempo, mantém o foco do trabalho na leitura crítica e no papel informativo da representação, e não na construção de uma ferramenta técnica de cálculo.

Dessa forma, base informacional e parametrização funcionam como uma mediação entre projeto e informação ambiental. Em vez de apresentar impactos como dados externos ao processo de desenho, o modelo propõe que a informação apareça como resposta direta às escolhas realizadas dentro do ambiente de representação. Assim, a informação ambiental passa a integrar a experiência do projeto, apoiando comparações e estimulando decisões mais conscientes ainda na fase de concepção.

### **3.3 Funcionamento do modelo conceitual**

O funcionamento do modelo conceitual é organizado como uma sequência de interação que conecta, passo a passo, a exploração do projeto, a escolha de materiais e a visualização de informação ambiental. A proposta é que o usuário não receba dados de forma isolada ou fora de contexto. Em vez disso, a informação aparece como resultado direto das decisões realizadas dentro do ambiente interativo. Por esse motivo, o fluxo é progressivo: cada etapa depende da anterior, evitando excesso de informação simultânea e reforçando a relação entre escolha e consequência.

Para manter clareza e controle metodológico, o funcionamento do modelo é demonstrado a partir de um único elemento exemplar: o piso. Essa escolha não significa que o piso seja o componente mais importante do edifício, mas que ele permite apresentar a lógica de interação de maneira objetiva, sem a necessidade de repetir imagens e explicações para cada categoria de elemento. Parede, forro e esquadrias seguem a mesma estrutura de funcionamento, variando apenas o conjunto de materiais disponíveis e, no caso das esquadrias, a forma simplificada de parametrização utilizada.

#### **3.3.1 Início da interação e seleção do elemento**

A interação começa com a navegação em escala humana em um ambiente interno do tipo apartamento. Nesse estágio, o usuário explora o projeto como espaço, observando o ambiente por diferentes pontos de vista. Em seguida, ele seleciona um elemento construtivo específico. No caso demonstrado, o usuário seleciona o piso.

Ao selecionar o elemento, o modelo passa a tratá-lo como elemento ativo e deixa essa condição explícita na interface. Esse detalhe é importante porque evita ambiguidades: o usuário sabe qual componente está sendo analisado e alterado naquele momento. Essa etapa também marca a transição entre exploração livre e interação orientada, pois a partir da seleção o sistema passa a oferecer opções e informações específicas daquele componente.

**Figura 22 - Modelo Conceitual: Seleção do Elemento Construtivo (Piso).**



**Fonte - Imagem desenvolvida pelo autor (2026).**

### **3.3.2 Seleção de material e troca visual**

Com o piso definido como elemento ativo, o usuário acessa um painel de materiais correspondente à categoria piso. Nesse painel, ele escolhe um material dentro de um conjunto previamente definido para o experimento. Essa seleção é organizada com base no recorte adotado e na base informacional utilizada (CINARK, 2019), de modo a manter comparabilidade entre as alternativas.

Ao selecionar o material, ocorre imediatamente a troca visual no ambiente, permitindo perceber como a decisão altera a leitura do espaço representado.

Essa troca possui uma função didática importante: ela evidencia que a escolha do material é, ao mesmo tempo, uma decisão de aparência e uma decisão construtiva. No modelo, a seleção de materiais não é ilimitada; ela é organizada para permitir comparação entre alternativas recorrentes na prática arquitetônica, mantendo coerência e controle metodológico no experimento.

**Figura 23 - Modelo Conceitual: Troca do Elemento Construtivo (Piso).**



**Fonte - Imagem desenvolvida pelo autor (2026).**

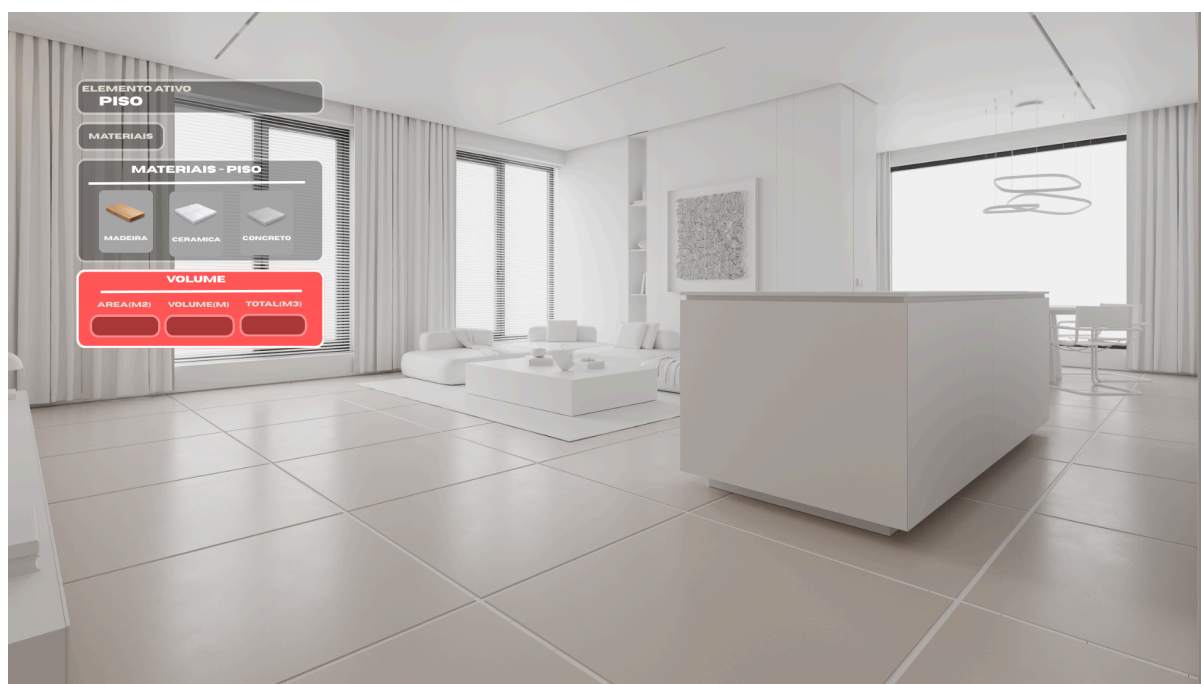
### **3.3.3 Inserção de parâmetros geométricos**

Depois de escolher o material, o modelo solicita a inserção de parâmetros geométricos básicos para estimar a quantidade aplicada. Para os elementos piso, parede e forro, o usuário informa dois valores: área ( $m^2$ ) e espessura (m). A partir desses parâmetros, o modelo gera uma estimativa de volume ( $m^3$ ). Essa etapa é necessária para dar continuidade ao fluxo de interação e permitir o acesso ao relatório ambiental.

O objetivo dessa operação não é produzir um cálculo técnico completo, mas reforçar um princípio simples: o impacto associado a um material depende também da quantidade utilizada. Ao solicitar que o usuário informe dimensões, o modelo evita que a informação ambiental apareça como um dado abstrato ou desconectado do projeto. A dimensão passa a fazer parte da decisão, e não a surgir como informação externa ao processo de escolha.



**Figura 24 - Modelo Conceitual: Cálculo do Elemento Construtivo (Piso).**



Fonte - Imagem desenvolvida pelo autor (2026).

### 3.3.4 Visualização do relatório ambiental

Com o material selecionado e os parâmetros informados, o modelo apresenta um relatório ambiental correspondente à combinação escolhida. Esse relatório organiza a informação a partir dos indicadores ambientais utilizados na base do CINARK (GWP, AP, EP, POCP e ODP), apresentados em classificações qualitativas — baixo, médio e alto — acompanhadas de descrições sintéticas. O objetivo do relatório não é gerar um resultado normativo, mas oferecer uma leitura comparativa que permita perceber diferenças entre alternativas materiais.

Ao surgir como consequência direta das escolhas do usuário, o relatório reforça a proposta central do modelo: integrar informação ambiental ao momento de leitura e decisão dentro da própria representação arquitetônica. O usuário não precisa buscar dados em relatórios externos ou em etapas posteriores; ele recebe um retorno imediato, relacionado ao elemento e ao material selecionado.

Figura 25 - Modelo Conceitual: Relatório Ambiental (Piso).



Fonte - Imagem desenvolvida pelo autor (2026).

### 3.3.5 Troca de material e comparação entre alternativas

Após visualizar o relatório, o usuário pode retornar ao painel de materiais e testar outras alternativas para o mesmo elemento, mantendo constantes a geometria e os parâmetros previamente inseridos. Essa repetição controlada constitui o núcleo do procedimento experimental: em condições constantes, a única variável alterada é o material. Dessa forma, torna-se possível comparar, em condições semelhantes, como cada alternativa se comporta em termos de classificação ambiental.

**Figura 26 - Modelo Conceitual: Seleção do Elemento Construtivo (Piso).**



**Fonte - Imagem desenvolvida pelo autor (2026).**

No exemplo do piso, o usuário substitui o material inicial por madeira e visualiza o relatório correspondente. Em seguida, pode testar outro material, como concreto, gerando um novo relatório ambiental. A comparação entre esses resultados evidencia que diferentes materiais podem apresentar classificações ambientais distintas mesmo quando aplicados ao mesmo espaço e à mesma quantidade.

Essa estrutura comparativa permite que a escolha material seja analisada de maneira mais informada, diretamente dentro do ambiente de representação, sem depender exclusivamente de relatórios externos ao processo de projeto.



Figura 27 - Modelo Conceitual: Troca do Elemento Construtivo (Piso).



Fonte - Imagem desenvolvida pelo autor (2026).

Figura 28 - Modelo Conceitual: Relatório do Elemento Construtivo (Piso).



Fonte - Imagem desenvolvida pelo autor (2026).

### **3.3.6 Extensão para outros elementos construtivos**

Embora a demonstração utilize o piso como exemplo, a lógica do modelo se aplica às demais categorias: parede, forro e esquadrias. Para cada elemento, o usuário segue o mesmo fluxo de interação: selecionar o componente, escolher o material, informar parâmetros básicos e visualizar o relatório ambiental.

A variação ocorre nos conjuntos de materiais disponíveis e nos parâmetros solicitados. No caso das esquadrias, que exigem uma lógica de estimativa diferente daquela utilizada para superfícies como piso, parede e forro, o usuário informa a largura e altura da abertura, e o sistema calcula automaticamente a área e o perímetro como referência para estimar os componentes de vidro e caixilho.

A opção por não repetir imagens e explicações para todos os elementos tem uma função de clareza metodológica. O piso funciona como um caso representativo de uma estrutura mais ampla, evitando repetição excessiva e mantendo o capítulo objetivo.

### **3.3.7 Síntese do funcionamento**

Em síntese, o modelo conceitual opera como um fluxo de interação simples e controlado, no qual cada etapa reforça a ligação entre decisão projetual e consequência ambiental. Ao integrar navegação espacial, escolha de materiais, parametrização e visualização de impactos no mesmo ambiente, o modelo amplia o papel da representação arquitetônica: ela deixa de funcionar apenas como descrição do espaço e passa a incorporar uma camada informacional capaz de apoiar comparação e leitura crítica ainda na fase de concepção do projeto.

## **4. Retomada do problema e do objetivo do trabalho**

Este trabalho parte da compreensão de que a representação arquitetônica é o principal instrumento utilizado para pensar, desenvolver e comunicar o projeto. É por meio de desenhos, modelos e imagens que o espaço é apresentado, discutido e validado. No entanto, como discutido ao longo do Capítulo 2, essas formas de representação tendem a privilegiar a forma, a organização espacial e a aparência do edifício, enquanto outras dimensões fundamentais — como a materialidade, os processos produtivos e os impactos ambientais — permanecem menos visíveis no momento do projeto.

Na prática cotidiana da arquitetura, decisões relacionadas a materiais são frequentemente tratadas como escolhas pontuais ou secundárias. A definição de um piso, de um tipo de parede, de um forro ou de uma esquadria costuma ser guiada por critérios como estética, custo, disponibilidade e manutenção. Embora essas escolhas tenham consequências diretas sobre o consumo de recursos, o uso de energia e a geração de impactos ambientais, tais informações raramente aparecem integradas à representação arquitetônica. Como resultado, o projeto comunica com clareza como o espaço será, mas comunica pouco sobre o que esse espaço exige em termos materiais e ambientais.

Ao mesmo tempo, a discussão sobre sustentabilidade na arquitetura tem sido frequentemente mediada por instrumentos externos ao processo de representação, como relatórios técnicos, certificações e sistemas de avaliação ambiental. Esses mecanismos desempenham papel relevante na definição de parâmetros e critérios, mas nem sempre dialogam com o momento em que as decisões projetuais são efetivamente tomadas. Muitas vezes, a informação ambiental aparece de forma posterior ou paralela ao projeto, o que dificulta sua incorporação como parte ativa do processo de concepção.

Diante desse cenário, o problema central que orienta este trabalho pode ser representado da seguinte forma: como tornar a informação ambiental mais presente no próprio processo de projetar e representar a arquitetura, sem depender exclusivamente de instrumentos externos ou de etapas posteriores? A pesquisa parte do entendimento de que essa questão não diz respeito apenas à disponibilidade de dados, mas também às formas de representação utilizadas e aos meios pelos quais a informação circula no processo projetual.

Com base nesse problema, o objetivo deste Trabalho Final de Graduação buscou-se compreender de que maneira ambientes interativos, com navegação em escala humana, seleção direta de elementos construtivos e troca de materiais em tempo real, podem integrar informação ambiental ao momento de leitura e escolha do projeto. A proposta não foi substituir ferramentas técnicas consolidadas, mas explorar a representação como espaço de articulação entre forma, materialidade e impacto ambiental.

Para isso, foi desenvolvido um modelo conceitual de funcionamento no qual a interação com o projeto arquitetônico é organizada de forma progressiva e controlada. Nesse modelo, o usuário seleciona elementos construtivos, escolhe materiais a partir de um conjunto previamente definido e acessa informações ambientais associadas a essas escolhas, sempre no

contexto da representação espacial. A hipótese que orienta essa investigação é que a interatividade e a atualização em tempo real podem aproximar decisão projetual e consequência ambiental, favorecendo uma leitura mais consciente das escolhas realizadas.

Dessa forma, este capítulo final retoma o problema que motivou a pesquisa e o objetivo que orientou seu desenvolvimento, preparando o terreno para a apresentação das contribuições derivadas do modelo conceitual, para a explicitação de suas limitações e para a indicação de possíveis desdobramentos da proposta no campo da arquitetura e da sustentabilidade.

#### **4.1 Contribuições e reflexões a partir do modelo conceitual**

O modelo conceitual desenvolvido neste trabalho permite levantar contribuições e reflexões sobre o papel da representação arquitetônica e sobre o uso de tecnologias de visualização interativa em tempo real no contexto da sustentabilidade. Ao organizar um ambiente interativo em que espaço, escolhas materiais e informação ambiental aparecem de forma integrada, a proposta reforça que a representação pode ir além da função descritiva, assumindo também um papel informativo e crítico no processo de projeto.

A primeira contribuição está na maneira como o modelo reorganiza a experiência de leitura do projeto. Em representações tradicionais, o projeto costuma ser percebido como um resultado estável: uma forma definida, com materiais sugeridos e soluções apresentadas para aprovação. No ambiente interativo proposto, a leitura passa a destacar o caráter processual do projeto. Selecionar um elemento, trocar um material e observar efeitos imediatos torna explícito que o edifício não é apenas um conjunto de formas, mas um conjunto de decisões. Esse deslocamento é relevante porque aproxima o usuário do processo projetual, reforçando que escolhas materiais não são detalhes finais, mas parte da lógica que constrói o edifício como matéria.

A segunda contribuição está na integração da informação ambiental ao próprio ambiente de representação. Em vez de aparecer como documento externo ou etapa posterior, a informação ambiental surge como consequência direta das escolhas feitas na interação. Isso altera o lugar que a sustentabilidade ocupa no processo de leitura do projeto. Em termos simples, o modelo sugere que sustentabilidade não precisa entrar apenas como requisito,



verificação ou certificação; ela pode aparecer como informação acessível durante a própria exploração do espaço, no momento em que alternativas estão sendo comparadas.

Outro aspecto importante é a escolha por uma linguagem qualitativa e comparativa. Ao mostrar indicadores ambientais em classificações como baixo, médio e alto, o modelo não pretende substituir análises técnicas detalhadas, mas oferecer um nível de informação adequado ao objetivo de leitura e decisão na fase inicial de projeto. Essa simplificação não elimina a complexidade do tema, mas permite que a informação circule com maior facilidade, especialmente em contextos em que usuários não dominam ferramentas de avaliação ambiental. O valor do modelo está em orientar comparação e reflexão: ele ajuda a perceber diferenças entre alternativas e a reconhecer que materiais visualmente semelhantes podem mobilizar impactos distintos.

Além disso, o modelo amplia o alcance da representação arquitetônica como ferramenta de comunicação. A navegação em escala humana e a resposta imediata às ações do usuário podem reduzir dificuldades comuns de interpretação, principalmente para clientes e usuários leigos. Ao mesmo tempo, essa ampliação não se limita à apresentação do projeto: ela também pode beneficiar o próprio arquiteto, oferecendo um ambiente em que escolhas podem ser testadas e discutidas de maneira mais direta, com retorno informacional associado ao ato de selecionar e comparar.

O modelo também aponta para uma possível reconfiguração do fluxo de trabalho em arquitetura. Ao inserir uma camada informacional ambiental no momento de representação e experimentação espacial, a proposta sugere que determinadas reflexões podem ocorrer mais cedo no processo de projeto, quando mudanças ainda são viáveis e comparações fazem sentido. Isso não elimina a importância de análises técnicas posteriores, mas pode funcionar como um primeiro nível de leitura crítica, contribuindo para decisões mais conscientes antes que o projeto se consolide.

Por fim, o trabalho reforça uma ideia central: a tecnologia, por si só, não garante uma prática mais sustentável. O potencial está na forma como ela é organizada e utilizada. Ao estruturar a interação de maneira progressiva, controlada e orientada à comparação, o modelo conceitual demonstra que tecnologias de visualização interativa em tempo real podem funcionar como instrumentos de reflexão, ajudando a aproximar projeto, materialidade e responsabilidade ambiental.

## 4.2 Limitações e cuidados de interpretação

A leitura das contribuições e reflexões apresentadas neste trabalho exige alguns cuidados de interpretação, principalmente por se tratar de um modelo conceitual e não de uma ferramenta técnica completa. O modelo proposto deve ser entendido como um dispositivo de representação e reflexão, voltado à articulação entre projeto arquitetônico, materialidade e informação ambiental. Ele não tem como finalidade produzir resultados normativos nem substituir métodos consolidados de avaliação ambiental.

Em primeiro lugar, é importante reconhecer que os dados ambientais utilizados possuem caráter referencial. A Pirâmide de Materiais, adotada como base informacional, organiza materiais a partir de indicadores amplamente utilizados em estudos ambientais, mas foi construída em contextos produtivos específicos. Isso significa que as classificações apresentadas não representam com exatidão variações regionais brasileiras, diferenças entre fornecedores, tecnologias construtivas locais ou mudanças relacionadas a transporte e disponibilidade. Além disso, a pirâmide mostra etapas como extração, produção e transporte. Dessa forma, os resultados do modelo devem ser compreendidos como indicativos e comparativos, e não como medições finais ou conclusivas.

Outro cuidado diz respeito à lógica de parametrização adotada. A relação entre área, espessura e volume foi utilizada como uma forma simplificada de explicitar a influência da quantidade de material nos impactos ambientais. Essa estratégia não pretende reproduzir cálculos técnicos complexos nem representar todas as variáveis que influenciam o desempenho ambiental de um sistema construtivo real. Sua ideia está em tornar visível um princípio que muitas vezes permanece escondido na representação arquitetônica: a escala material das decisões projetuais. Portanto, a parametrização deve ser compreendida como recurso didático e metodológico, adequado ao objetivo de comparação em fases iniciais do projeto.

Também é necessário considerar que o modelo foi demonstrado a partir de um elemento exemplar — o piso — para evitar repetição excessiva de imagens e descrições. Embora a lógica seja extensível a paredes, forros e esquadrias, esses elementos não são explorados graficamente com o mesmo nível de detalhamento. Essa escolha busca manter clareza e economia na exposição, mas exige que o leitor compreenda o piso como um caso

representativo de uma estrutura de funcionamento mais ampla, e não como foco exclusivo do problema ambiental.

Além disso, o modelo pressupõe a existência de um ambiente-base organizado em motor gráfico e de um projeto importado com condições mínimas de identificação e categorização dos elementos. O trabalho não aprofunda dificuldades técnicas associadas a diferentes fluxos de importação, níveis de detalhamento de modelos BIM ou limitações operacionais específicas de softwares. Esses aspectos são relevantes para uma aplicação futura mais ampla, mas extrapolam o escopo deste TFG, que se concentra na lógica conceitual e na experiência de representação.

Por fim, é fundamental reforçar que o modelo não define quais materiais são “corretos” ou “incorretos”, nem determinar decisões projetuais. Ele não funciona como certificação nem como ferramenta de validação. Seu papel é tornar visíveis relações que frequentemente aparecem de forma fragmentada no processo de projeto, oferecendo um meio para comparação, reflexão e discussão. Assim, os resultados devem ser compreendidos como uma contribuição ao campo da representação arquitetônica e à forma como a informação ambiental pode circular na fase de concepção.

Esses cuidados de interpretação não diminuem a relevância do trabalho. Pelo contrário: ao explicitar pressupostos, limites e alcances, a pesquisa situa sua proposta com maior precisão e reforça que a integração entre representação arquitetônica e informação ambiental constitui um campo aberto de investigação, que pode ser aprofundado por diferentes abordagens e níveis de detalhamento.

#### **4.3 Desdobramentos e possibilidades futuras**

A partir do modelo conceitual desenvolvido e das reflexões apresentadas neste trabalho, é possível indicar caminhos de aprofundamento e expansão da proposta. Como se trata de um estudo exploratório, o modelo funciona como um ponto de partida: ele organiza uma lógica de representação informativa que pode ser testada, refinada e adaptada a diferentes contextos, escalas e objetivos.

Um primeiro desdobramento envolve o aprimoramento da base informacional utilizada no modelo. Pesquisas futuras podem incorporar dados mais específicos e próximos do contexto brasileiro, considerando variações regionais, cadeias produtivas locais, diferentes

fornecedores e condições relacionadas a transporte e produção. A integração com bases nacionais ou com estudos de avaliação ambiental mais detalhados permitiria ampliar o alcance do modelo e melhorar sua adequação à realidade da construção no país. Nesse cenário, um desafio importante será equilibrar o aumento de precisão com a manutenção de clareza e legibilidade, para que a informação continue acessível dentro da experiência de representação.

Um segundo caminho diz respeito à ampliação do conjunto de elementos e sistemas construtivos abordados. Embora o modelo tenha se concentrado em piso, parede, forro e esquadrias, a lógica proposta pode ser estendida para outros componentes do projeto, como vedações externas, sistemas estruturais e soluções construtivas completas. Essa ampliação permitiria discutir impactos ambientais em diferentes escalas de decisão, desde escolhas de acabamento até definições de sistemas e tecnologias construtivas, mantendo a estrutura comparativa e a relação direta entre escolha e consequência.

Do ponto de vista tecnológico, o modelo conceitual também abre possibilidades de pesquisa sobre a integração entre softwares de modelagem, plataformas BIM e motores gráficos. Estudos futuros podem investigar procedimentos de importação mais automatizados, métodos de categorização de elementos, leitura direta de informações do modelo BIM e estratégias de atualização de parâmetros dentro do ambiente interativo. Esse tipo de investigação contribuiria para avaliar a viabilidade e as limitações dessa abordagem em contextos reais de projeto, sem perder de vista que a força do modelo está na organização da experiência de leitura e não apenas no desempenho técnico da ferramenta.

Há também um campo promissor de aplicação no ensino de arquitetura e urbanismo. O modelo pode ser explorado como ferramenta pedagógica para aproximar estudantes da relação entre projeto, materialidade e impactos ambientais. Ao associar escolhas visuais e espaciais a classificações ambientais, um ambiente interativo desse tipo pode favorecer processos de aprendizagem baseados em comparação e experimentação, estimulando uma percepção mais integrada entre forma, material e impacto desde as etapas iniciais da formação acadêmica. Além disso, pode apoiar disciplinas de tecnologia da construção, materiais e projetos, funcionando como interface entre conhecimento técnico e representação.

Outro desdobramento possível está ligado à comunicação e à crítica de projeto. Ambientes interativos com camadas informacionais podem ampliar a qualidade do diálogo

entre arquitetos, clientes e usuários, não apenas sobre forma e estética, mas também sobre as consequências materiais e ambientais das escolhas realizadas. Nesse sentido, a representação pode assumir um papel mais ativo no processo de tomada de decisão, ajudando a tornar critérios de sustentabilidade mais presentes e discutíveis de maneira transparente.

Por fim, o trabalho abre espaço para reflexões mais amplas sobre o papel da representação arquitetônica na contemporaneidade. Ao demonstrar que a representação pode incorporar camadas informacionais além da forma e do espaço, a pesquisa sugere possibilidades de reorientar a prática projetual para uma leitura mais consciente do edifício como processo material. Assim, os desdobramentos futuros não se limitam a avanços técnicos, mas incluem também transformações na forma de pensar, ensinar e comunicar a arquitetura, reforçando que projetar envolve imaginar espaços e, ao mesmo tempo, compreender as consequências das escolhas que os tornam possíveis.

#### **4.4 Considerações finais**

Este trabalho partiu da constatação de que a representação arquitetônica, embora central no processo de projeto, tende a comunicar prioritariamente forma, espaço e aparência, deixando em segundo plano as condições materiais, produtivas e ambientais que sustentam a arquitetura. Ao longo da pesquisa, buscou-se demonstrar que esse limite não é apenas técnico, mas também informacional: aquilo que é representado influencia diretamente aquilo que pode ser percebido, discutido e decidido no processo projetual.

A partir dessa leitura, o estudo investigou o potencial de tecnologias de visualização interativa em tempo real como meio de ampliar o papel da representação arquitetônica. Em vez de tratá-las apenas como ferramentas de visualização ou apresentação final, o trabalho propôs seu uso como ambientes interativos capazes de integrar, de forma acessível, informações ambientais ao momento da leitura e da escolha projetual. Essa integração foi explorada por meio da construção de um modelo conceitual, organizado como um experimento controlado, que articula navegação espacial, seleção de elementos, escolha de materiais, parametrização simplificada e visualização de impactos ambientais.

O modelo conceitual desenvolvido não se apresenta como uma solução fechada nem como uma ferramenta normativa. Ele deve ser entendido como uma estrutura de funcionamento e de reflexão, que demonstra como a representação pode incorporar uma

camada informacional voltada à comparação e à análise crítica. Ao apresentar, passo a passo, como a troca de materiais em um mesmo elemento construtivo pode produzir leituras ambientais distintas, o trabalho evidencia que decisões frequentemente tratadas como visuais ou secundárias carregam implicações materiais relevantes. Nesse sentido, a principal contribuição da pesquisa está em organizar uma lógica de representação informativa, capaz de aproximar escolha material e consequência ambiental ainda na fase de concepção.

Do ponto de vista metodológico, o trabalho buscou manter clareza e controle. A opção por um recorte espacial definido, a escolha de poucos elementos construtivos e o uso de classificações qualitativas permitiram apresentar a proposta sem sobrecarregar o leitor com dados técnicos extensos. Ao mesmo tempo, essa simplificação foi utilizada de forma consciente: ela não pretende reduzir a complexidade da sustentabilidade, mas tornar a informação legível dentro do objetivo específico do estudo, que é investigar a representação como meio de circulação de informação ambiental.

Assim, o trabalho contribui para o debate contemporâneo sobre arquitetura, tecnologia e sustentabilidade ao propor um deslocamento de enfoque: da representação como finalidade visual para a representação como instrumento de leitura crítica. Ao integrar espaço, materialidade e informação ambiental em um mesmo ambiente interativo, o modelo conceitual apresentado aponta para possibilidades de uma prática projetual mais consciente, na qual projetar envolve não apenas imaginar formas e espaços, mas também reconhecer as consequências das escolhas que tornam esses espaços possíveis.

Encerrando, este Trabalho Final de Graduação não pretende esgotar o tema nem oferecer respostas definitivas. Sua contribuição está em formular uma hipótese, estruturar um modelo conceitual coerente e demonstrar, de forma organizada, como tecnologias de visualização interativa em tempo real podem ampliar o campo da representação arquitetônica. A partir dessa base, abrem-se caminhos para novas investigações, experimentações e aplicações, reforçando a importância de pensar a arquitetura de modo integrado — como espaço, como matéria e como processo.

## 5. Referências bibliográficas

ARANTES, Pedro Fiori. Arquitetura na era digital-financeira: desenho, canteiro e renda da forma. São Paulo: Editora 34, 2012.

ARCH VIZ ARTIST. Como criar experiências interativas no Unreal Engine. YouTube, 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ceSyazUIbp0>. Acesso em: 3 jan. 2026.

ARCH VIZ ARTIST. Experiências Interativas 360 em Tempo Real no Unreal Engine 5.5. YouTube, 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Trxb57lcF9M>. Acesso em: 3 jan. 2026

CASTRO, Fernanda. Os melhores desenhos arquitetônicos de 2016. ArchDaily Brasil, 12 jan. 2017. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/802278/os-melhores-desenhos-arquitetonicos-de-2016>. Acesso em: 3 jan. 2026.

CINARK – CENTRE FOR INDUSTRIALISED ARCHITECTURE. Byggeriets Materialepyramide (The Construction Material Pyramid). Disponível em: <https://www.materialepyramiden.dk/>. Acesso em: 4 fev. 2026.

MOREIRA, Susanna. A representação da dimensão humana em 20 cortes de arquitetura. ArchDaily Brasil, 12 out. 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/949086/a-representacao-da-dimensao-humana-em-20-cortes-de-arquitetura> Acesso em: 3 jan. 2026.



SOUZA, Eduardo. Qual o impacto ambiental de cada material de construção? ArchDaily Brasil, 24 jul. 2022. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/984613/qual-o-impacto-de-cada-material-de-construcao>.

Acesso em: 4 fev. 2026.

TAVARES, Simone Fernandes. Tecnologias construtivas de baixo carbono – TCBC: a produção da arquitetura em discussão. São Paulo: Annablume, 2024.

ZAHA HADID ARCHITECTS. Xi'an International Football Centre. Londres, 2023. Disponível em: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/xian-international-football-centre/>

Acesso em: 3 jan. 2026.

## DECLARAÇÕES

### ANEXO I

Tipo de solicitação: **Geração de figuras/ilustrações.**

Plataforma utilizada: **ChatGPT**

Data e horário aproximados da utilização: –

Comandos (prompts) usados: Descreva resumidamente o que foi solicitado. Importante: Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo final. Todo output de IA deve ser criticamente revisado, validado e adaptado.

- **Fluxo do ciclo do material na construção: extração da matéria-prima → processamento/beneficiamento → logística e transporte → recebimento/armazenamento na obra → aplicação na obra. Paleta: cores neutras em verde, preto e branco.**
- **Adicionar linhas de contorno na imagem para indicar que a parede está selecionada, com efeito brilhante em tom vermelho.**
- **Adicionar linhas de contorno na imagem para indicar que o piso está selecionado, com efeito brilhante em tom vermelho.**

## **ANEXO II**

Declaração de *IAGen* e tecnologias assistidas por IAGen no processo de escrita científica: Documento no qual a pessoa autora deve especificar a ferramenta utilizada, o motivo e a forma de aplicação, evidenciando cada etapa da pesquisa que teve o uso de IAGen.

“Durante a preparação deste documento, eu: **Augusto Soares Cordeiro Silva**, estudante de **Arquitetura e Urbanismo** do curso **Universidade Federal de Ouro Preto** declaro o uso(s) de IAGen **Chat GPT** versão **5.2** para **agilizar a criação de imagens e esquemas, convertendo ideias e referências em representações claras e consistentes. Isso ajudou a testar opções visuais, economizar tempo e melhorar a comunicação do conteúdo, mantendo a autoria nas decisões e revisões finais.** Após o uso desta ferramenta/modelo/serviço, a pessoa autora revisou e orientou a pesquisa. Dessa forma, assumo total responsabilidade pelo conteúdo da publicação”.