

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ARQUITETURA E URBANISMO

KLEBER JOSÉ MOREIRA JUNIOR

METAMORFOSE PROJETUAL NA ERA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL
UMA ANÁLISE CRÍTICA DA PLATAFORMA HYPAR

OURO PRETO
2026

KLEBER JOSÉ MOREIRA JUNIOR

METAMORFOSE PROJETUAL NA ERA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL
UMA ANÁLISE CRÍTICA DA PLATAFORMA HYPAR

Trabalho Final de Graduação apresentado
ao curso de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade Federal de Ouro Preto como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Arquitetura e Urbanismo

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Mesquita
Silva Bomfim

OURO PRETO

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M838m Moreira Junior, Kleber José.

Metamorphose projetual na era da inteligência artificial [manuscrito]:
uma análise crítica da plataforma Hypar. / Kleber José Moreira Junior. -
2026.

79 f.: il.: color..

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Mesquita Silva Bomfim.

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

1. Arquitetura e tecnologia. 2. Projeto arquitetônico. 3. Inteligência
artificial. 4. Arquitetura- Projetos- Processamento de dados. I. Bomfim,
Alexandre Mesquita Silva. 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

Kleber José Moreira Junior

Metamorfose projetual na era da inteligência artificial: uma análise crítica da plataforma HyPar

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

Aprovada em 25 de fevereiro de 2026

Membros da banca

Prof. Dr. Alexandre Mesquita Silva Bomfim - (Orientador) Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Clécio Magalhães do Vale - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Phillipe Cunha da Costa - Universidade Federal do Rio de Janeiro

Alexandre Mesquita Silva Bomfim, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 06/03/2026



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Mesquita Silva Bomfim, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/03/2026, às 12:23, 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, informando o código verificador **1070540** e o código CRC **A0E2FB5C**.

RESUMO

A crescente integração da Inteligência Artificial (IA) e do Design Generativo no campo da Arquitetura impõe uma reavaliação fundamental do processo de projeto, fenômeno aqui denominado "Metamorfose Projetual". Este trabalho analisa criticamente essa transformação, investigando como plataformas emergentes, com destaque para a Hypar.io, respondem às limitações históricas da informatização do desenho. A metodologia articula uma Revisão Bibliográfica Crítica, fundamentada na filosofia da tecnologia de Andrew Feenberg, com um Experimento Prático de Prova de Conceito, simulando o desenvolvimento de um edifício multifuncional via algoritmos. Os resultados demonstram que a transição da geometria estática para a modelagem baseada em dados permite superar barreiras cognitivas tradicionais, como o "Paradoxo da Escolha" e o "Paradoxo da Origem", validando a eficácia da definição de restrições lógicas sobre a folha em branco. A análise evidencia que a verdadeira ruptura não reside na automação da forma, mas na capacidade de personalização da ferramenta através da programação ("Caixa Aberta"), o que devolve a agência técnica ao projetista. Conclui-se que a "Metamorfose Projetual" não aponta para a substituição do arquiteto, mas para a redefinição de seu papel: de desenhista manual para orquestrador de sistemas. O estudo aponta, por fim, que a emergência da programação em linguagem natural dissolverá as barreiras técnicas atuais, permitindo que a lógica do código sirva, sem entraves, à qualificação do espaço habitado e da experiência humana.

Palavras-chave: inteligência artificial; paradoxo da escolha; processo de projeto arquitetônico; design generativo; metamorfose projetual.

ABSTRACT

The metamorphosis of architectural design in the age of artificial intelligence:
a critical analysis of the Hypar platform

The growing integration of Artificial Intelligence (AI) and Generative Design in the field of Architecture imposes a fundamental reevaluation of the design process, a phenomenon herein termed "Design Metamorphosis". This work critically analyzes this transformation, investigating how emerging platforms, notably Hypar.io, respond to the historical limitations of the computerization of drafting. The methodology combines a critical literature review, grounded in Andrew Feenberg's philosophy of technology, with a practical proof of concept experiment, simulating the development of a multifunctional building via algorithms. The results demonstrate that the transition from static geometry to data-driven modeling overcomes traditional cognitive barriers, such as the "Paradox of Choice" and the "Paradox of Origin", validating the effectiveness of defining logical constraints over the blank canvas. The analysis highlights that the true disruption does not lie in the automation of form, but in the tool's customization capacity through programming ("Open Box"), which restores technical agency to the designer. It concludes that the "Design Metamorphosis" does not point to the replacement of the architect, but rather to the redefinition of their role: from a manual drafter to a systems orchestrator. Finally, the study points out that the emergence of natural language programming will dissolve current technical barriers, allowing the logic of code to serve, unhindered, the enhancement of the built environment and the human experience.

Keywords: artificial intelligence; generative design; paradox of choice; architectural design process; design metamorphosis.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
1.1	Apresentação e Relevância do Tema: A "Metamorfose Projetual" na Era da I.A.....	8
1.2	Problema de Pesquisa.....	11
1.3	Objetivos.....	12
1.3.1	Objetivo Geral.....	12
1.3.2	Objetivos Específicos.....	12
1.4	Metodologia.....	13
1.4.1	Revisão Bibliográfica Crítica.....	13
1.4.2	Estudo de Caso.....	14
1.5	Estrutura do Trabalho.....	15
2	O PARADIGMA DA IA NA ARQUITETURA: CONTEXTO, CRÍTICA E TEORIA.....	17
2.1	A Trajetória da Representação à Predição no Projeto Arquitetônico.....	17
2.1.1	Do Analógico ao Digital: A evolução de CAD e BIM como ferramentas de documentação.....	18
2.1.2	O "Interstício de Dados": A condição atual da prática arquitetônica segundo Phil Bernstein.....	19
2.1.3	A Ascensão das Ferramentas de Augmentação: Da exploração paramétrica à "alucinação de máquina".....	21
2.2	A Crítica ao Design Generativo: O Paradoxo da Escolha.....	23
2.2.1	A promessa da otimização e o risco da sobrecarga de opções inviáveis.....	24
2.2.2	O Processo Iterativo e Não-Linear do Design vs. a Lógica da Máquina.....	26
2.3	Lentes para uma Análise Crítica: Os Paradoxos da Tecnologia de Andrew Feenberg.....	28
2.3.1	A Co-construção da Ferramenta e do Usuário: O Paradoxo da Ação e o Paradoxo Democrático.....	29
2.3.2	Fatos, Valores e a História Esquecida: O Paradoxo de Valor e Fato e o Paradoxo da Origem.....	32

3	ESTUDO DE CASO: A HYPAR.IO COMO RESPOSTA AO PARADIGMA GENERATIVO.....	35
3.1	Análise da Plataforma: Filosofia e Estratégia.....	35
3.1.1	A Liderança e o Pivô Estratégico: Da "Caixa Preta" à Agência do Arquiteto.....	37
3.1.2	A Arquitetura de uma Plataforma Aberta: O núcleo Elements e a abordagem API-First.....	39
3.1.3	A Agência como Fato Técnico: O sistema de Overrides como resposta direta ao Paradoxo da Escolha.....	42
3.1.4	Posicionamento Competitivo: O "Ecossistema Aberto" vs. o "Jardim Murado".....	44
3.2	Aplicação Metodológica: O Projeto Prático.....	47
3.2.1	Definição do Escopo: Parâmetros e Restrições.....	47
3.2.2	A Racionalização do "Interstício de Dados" (Bernstein).....	50
3.2.3	Rompendo a Linearidade: A "Reflexão na Ação" (Schön).....	54
3.2.4	Da Unidade ao Edifício: Escalabilidade e Análise Visual.....	57
3.3	Discussão dos Resultados e a Infraestrutura de Plataforma.....	61
3.3.1	A Validação da Lógica de Dados e a Mitigação do Paradoxo da Escolha....	63
3.3.2	Além do Space Planning: Gestão da Complexidade Multidisciplinar.....	64
3.3.3	Da Edificação à Cidade: Análise de Desempenho e Contexto Urbano.....	66
3.3.4	A Agência Extrema: Da "Caixa Preta" à "Caixa Aberta".....	67
4	CONCLUSÃO: A METAMORFOSE PROJETUAL EM CURSO.....	69
4.1	Síntese da Validação: A Superação do Desenho Manual.....	70
4.2	Crítica à Ferramenta: Potencialidades vs. Barreiras Técnicas.....	71
4.3	A Redefinição do Papel: Do Autor ao Orquestrador.....	72
4.4	Horizontes em Aberto: O Início de uma Era, Não o Fim da História.....	73
	REFERÊNCIAS.....	76

1 INTRODUÇÃO

A contemporaneidade é definida pela onipresença e pela aceleração da Inteligência Artificial (IA), uma força tecnológica que transcende a mera automação de tarefas para reconfigurar as dinâmicas cognitivas e criativas em escala global. A arquitetura, disciplina que historicamente opera na convergência entre a técnica, a arte e a sociedade, situa-se no epicentro desta transformação. O campo profissional confronta-se, hoje, com ferramentas que não apenas otimizam a representação gráfica, mas que questionam a própria gênese do projeto e a natureza da autoria.

Diante deste cenário de ruptura, este capítulo estabelece os alicerces da investigação. Seu propósito é situar o leitor no contexto da mudança de paradigma tecnológico, delimitar o problema de pesquisa decorrente dos novos desafios digitais e apresentar os objetivos que estruturam o trabalho. A seguir, delineiam-se as bases para a compreensão do fenômeno que, ao longo deste estudo, será tratado como uma verdadeira metamorfose da prática arquitetônica.

1.1 Apresentação e Relevância do Tema: A "Metamorfose Projetual" na Era da I.A.

Nas últimas décadas, a Inteligência Artificial (IA) emergiu como uma força transformadora, permeando diversos setores da sociedade contemporânea e reconfigurando paradigmas em áreas que vão da medicina à manufatura (Matter; Gado, 2024). O campo da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), historicamente caracterizado por uma adoção mais lenta de inovações tecnológicas, encontra-se agora em um ponto de inflexão. O interesse acadêmico e prático na aplicação da IA ao ambiente construído tem crescido de forma exponencial, indicando que a disciplina está à beira de uma mudança paradigmática significativa (Darko *et al.*, 2020). Essa transformação, contudo, não se trata apenas da introdução de uma nova ferramenta no repertório do arquiteto, como ocorreu com a transição da prancheta para o Desenho Assistido por Computador (CAD); trata-se de uma reconfiguração fundamental do próprio processo de projetar. Este trabalho propõe o conceito de **"Metamorfose Projetual"** para descrever essa transição: uma evolução do método de projeto, que se afasta de um processo linear e

primariamente intuitivo para um *ciclo de **augmentação***¹, onde a cognição humana e a capacidade computacional da máquina atuam em simbiose.¹

A trajetória das ferramentas arquitetônicas pode ser compreendida como uma contínua busca por métodos mais eficazes de gerir a complexidade e comunicar a intenção de projeto. A era analógica, que perdurou por milênios, era fundamentada no desenho como principal tecnologia de representação (Bernstein, 2022). A primeira onda de digitalização, com o advento do CAD, traduziu este ofício para o meio virtual, resultando em ganhos de precisão e eficiência, mas mantendo o foco na produção de documentos, um design essencialmente descritivo (Serrano Sala, 2025). A segunda onda, impulsionada pela Modelagem da Informação da Construção (BIM), introduziu uma camada de inteligência ao associar dados aos elementos geométricos, permitindo um design *explicativo*, onde as relações entre os componentes do edifício são explicitadas (Serrano Sala, 2025). No entanto, ambas as tecnologias, embora revolucionárias, solidificaram-se primariamente como ferramentas de documentação e detalhamento de decisões de projeto já tomadas (Quesada, 2024).

Atualmente, a prática arquitetônica tradicional, que parte da separação entre concepção, produção e uso, vive o que o arquiteto e tecnólogo Phil Bernstein (2022) define como o "**Interstício de Dados**": um período de explosão digital caracterizado pela geração massiva de informações em formatos heterogêneos e desarticulados, desde modelos BIM e análises energéticas até scans de realidade e dados operacionais de edifícios. É nesse cenário de fragmentação e complexidade que a IA surge não apenas como mais uma ferramenta, mas como a infraestrutura cognitiva necessária para racionalizar esse caos informacional e extrair valor dele. As novas aplicações de IA, em especial o Design Generativo (GD, do inglês *Generative Design*), inauguram a era do **design preditivo**², onde os sistemas

¹ O termo "augmentação", neste contexto, refere-se ao conceito de *Intelligence Augmentation* (Inteligência Aumentada), que difere da simples automação. Enquanto a automação visa substituir uma tarefa humana por uma máquina, a augmentação foca em aprimorar e amplificar a capacidade cognitiva e criativa do profissional. Trata-se de uma parceria simbiótica na qual a tecnologia atua como uma extensão do intelecto humano para resolver problemas de forma mais eficaz, em vez de operar de forma totalmente autônoma (Bernstein, 2022).

² Fase emergente associada à IA. A ferramenta "prediz" desempenhos (energético, estrutural, custo) com base em dados, permitindo ao arquiteto tomar decisões informadas e explorar alternativas otimizadas (Serrano Sala, 2025).

podem explorar milhares de alternativas de projeto e prever seu desempenho com base em metas predefinidas (Serrano Sala, 2025).

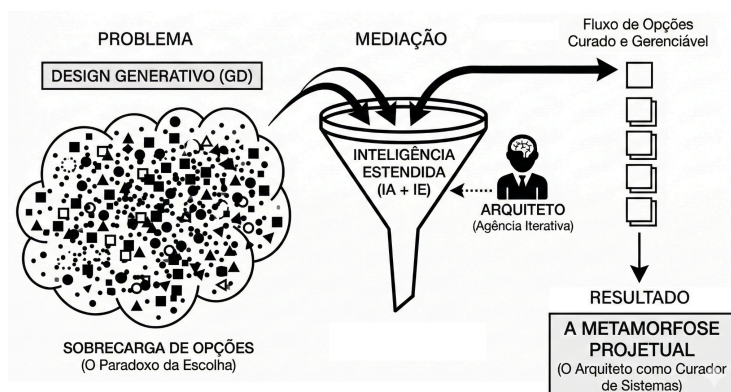
A relevância de investigar este tema reside no fato de que esta metamorfose transcende a mera automação de tarefas. Ela desafia o papel tradicional do arquiteto como o único autor e gerador da forma, deslocando seu valor da execução de uma visão para a **curadoria de um sistema complexo de inteligências** (Lukovich, 2023). Neste novo paradigma, o arquiteto atua como um "maestro", definindo os objetivos, as restrições, os valores e os critérios que irão guiar o processo generativo, para então avaliar, refinar e selecionar os resultados propostos pela máquina. Esta nova dinâmica suscita questões fundamentais sobre agência, criatividade e o futuro da profissão, tornando imperativa uma análise crítica e aprofundada.

Portanto, este trabalho se afasta da visão da IA como uma mera substituta de tarefas humanas para adotá-la sob a ótica da **"Inteligência Estendida (IE)"**. Esta perspectiva, articulada por pesquisadores como Neil Leach e Philip Yuan, vê a IA não como uma competidora, mas como uma "extensão protética para a imaginação humana" (Leach; Yuan, 2020), ou uma "sinergia" entre as duas inteligências (Leach, 2025). Esta abordagem da IE alinha-se diretamente ao conceito de "augmentação" ou "Inteligência Aumentada" (Bernstein, 2022), onde a tecnologia atua como uma extensão simbiótica do intelecto humano.

O diagrama conceitual (Figura 1) ilustra a hipótese central deste trabalho. Ele posiciona a Inteligência Artificial, quando enquadrada como "Inteligência Estendida", como a principal mediadora do conflito paradigmático atual. De um lado, o Design Generativo (GD) oferece uma 'Sobrecarga de Opções' que precipita o **Paradoxo da Escolha**, definido por Schwartz (2004) como o impasse psicológico e a paralisia decisória gerados pela profusão excessiva de alternativas. Do outro, o arquiteto opera em um 'Processo Iterativo' e não linear, incompatível com a seleção estática de resultados finais. A IA, nesse modelo evoluído, deixa de ser apenas a geradora do ruído para atuar como o funil analítico (Kotaira, 2020), permitindo ao arquiteto navegar e gerir essa complexidade sem sucumbir à estagnação do processo. O resultado desse processo mediado é a própria **"Metamorfose Projetual"**: a

transição do papel profissional da autoria direta da forma para a curadoria de sistemas inteligentes.

Figura 1: Diagrama Conceitual da Metamorfose Projetual



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

1.2 Problema de Pesquisa

A crescente integração da Inteligência Artificial no processo de projeto arquitetônico, embora promissora, revela uma tensão fundamental entre a capacidade computacional da tecnologia e a natureza intrínseca do trabalho criativo. A atual geração de ferramentas de IA, especialmente no âmbito do **Design Generativo**³ em arquitetura, é frequentemente apresentada como um processo de otimização no qual um algoritmo explora rapidamente milhares de soluções, cabendo ao arquiteto apenas a tarefa de selecionar o melhor resultado (Kotaira, 2020). Essa abordagem, no entanto, não apenas simplifica excessivamente o processo de design, que é caótico, iterativo e não linear (Kotaira, 2020), como também introduz um novo desafio: o "Paradoxo da Escolha". A sobrecarga de opções, muitas das quais inviáveis ou de baixa qualidade, pode levar à paralisia decisória e a uma satisfação menor com o resultado final, tornando a tarefa do arquiteto mais extenuante em vez de mais eficiente (Kotaira, 2020).

Além disso, muitas das aplicações atuais de IA focam na automação de tarefas de representação e exploração estética, operando como “**caixas-pretas**”⁴ que geram

³ Design Generativo (GD): Processo em que o arquiteto define metas e restrições (parâmetros), e o software de IA gera milhares de opções de design que atendem a esses critérios (Bernstein, 2022).

⁴ Caixa-Preta (*Black Box*) é um termo da computação e cibernética cujo processo interno de decisão é opaco. O usuário fornece um *input* (ex: um comando) e recebe um *output* (ex: uma imagem), sem compreender ou ter acesso à lógica que levou àquele resultado.

resultados sem revelar seu processo lógico (Bernstein, 2022). Essa falta de transparência e de integração com o fluxo cognitivo do arquiteto cria uma ruptura no processo de design, onde a tecnologia corre o risco de se tornar uma distração em vez de uma ferramenta de augmentação (Kotaira, 2020). Diante desse cenário, emerge o problema central desta pesquisa: a necessidade de uma análise crítica que transcenda a descrição técnica das ferramentas de IA e investigue como a sua arquitetura e filosofia de interação impactam e redefinem o método projetual, questionando se as plataformas emergentes são capazes de superar as limitações do Design Generativo tradicional e promover uma colaboração genuína e sinérgica com o arquiteto.

Simultaneamente, a alternativa à “Caixa Preta”, a personalização profunda através de scripts e algoritmos, impõe historicamente uma barreira técnica proibitiva: a exigência de letramento em linguagens de programação textual (como C# ou Python). Cria-se, assim, um impasse: ou o arquiteto aceita a automação passiva e limitada, ou precisa se transformar em um especialista em computação, desviando-se de sua competência central de design.

1.3 Objetivos

Para abordar a problemática delineada, esta pesquisa estabelece os seguintes objetivos:

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar criticamente o fenômeno da "Metamorfose Projetual", investigando, por meio de uma revisão bibliográfica aprofundada, como a arquitetura de plataforma da Hypar.io e seu foco na integração e na agência do usuário redefinem o método projetual tradicional e respondem aos desafios impostos pelo paradigma do Design Generativo.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, o trabalho se desdobrará nos seguintes objetivos específicos:

- Mapear, a partir da literatura, o panorama histórico e as críticas fundamentais às ferramentas de IA aplicadas à arquitetura, com foco no "Paradoxo da Escolha".
- Apresentar o arcabouço teórico da filosofia da tecnologia de Andrew Feenberg como lente para uma análise crítica da relação entre arquiteto e ferramenta.
- Dissecar a arquitetura técnica, a evolução estratégica e o posicionamento competitivo da plataforma Hypar.io, utilizando-a como um estudo de caso central.
- Confrontar a filosofia de "ecossistema aberto" da Hypar.io com as abordagens de "ecossistema fechado" e de "otimização de nicho" de seus principais concorrentes.
- Sintetizar a análise para propor inferências sobre o novo papel do arquiteto como 'orquestrador', avaliando como a evolução da IA para interfaces de linguagem natural impacta a necessidade de competências técnicas tradicionais.

1.4 Metodologia

Para investigar a reconfiguração do papel do arquiteto impulsionada pela Inteligência Artificial e pelo Design Generativo, este trabalho adota uma abordagem metodológica de natureza mista, estruturada em duas etapas inter-relacionadas. O percurso investigativo foi desenhado para articular a especulação filosófica com a experimentação técnica, garantindo que a análise da "Metamorfose Projetual" transcende o campo abstrato. Dessa forma, a pesquisa fundamenta-se, primeiramente, na consolidação de um referencial teórico crítico e, na sequência, desdobra-se na validação empírica desses conceitos por meio de um estudo de caso aplicado, conforme detalhado nas subseções a seguir.

1.4.1 Revisão Bibliográfica Crítica

O presente trabalho adota como metodologia a "revisão bibliográfica crítica". Essa abordagem foi selecionada por ser a mais adequada para atingir os objetivos propostos, que transcendem a simples compilação de informações e buscam, em vez disso, analisar, sintetizar e construir um argumento coeso a partir da literatura

existente. Diferentemente de uma revisão sistemática ou narrativa, a revisão crítica não se limita a descrever o estado da arte, mas o interroga, confrontando diferentes perspectivas teóricas e empíricas para identificar lacunas, contradições e direções para o avanço do conhecimento. O foco reside na profundidade da análise e na capacidade de tecer conexões entre diferentes domínios do saber para iluminar o problema de pesquisa. Para validar e tornar tangível a análise teórica, a metodologia será complementada, no Capítulo 3, por um estudo de caso prático focado na plataforma Hypar.io, documentando seu uso na aplicação em um pequeno objeto de estudo

A condução da pesquisa será fundamentada em um tripé teórico principal, que servirá como alicerce para toda a argumentação. Primeiramente, a obra de Phil Bernstein (2022) fornecerá o contexto histórico e a visão estratégica da prática profissional, traçando a evolução das tecnologias na arquitetura. Em segundo lugar, o trabalho de Keila Kotaira (2020) sobre o "Paradoxo da Escolha" será utilizado como o ponto de partida crítico, estabelecendo a problemática central do Design Generativo tradicional. Por fim, a filosofia da tecnologia de Andrew Feenberg, em particular seus "Dez Paradoxos da Tecnologia", será empregada como a principal lente analítica para desconstruir a relação entre arquiteto e ferramenta, revelando as dinâmicas de poder, valor e agência que subjazem à "Metamorfose Projetual".

1.4.2 Estudo de Caso

O objeto de estudo selecionado para esta pesquisa é a Hypar (hypar.io), uma plataforma de design generativo baseada na nuvem que representa uma ruptura com o modelo tradicional de software monolítico de arquitetura (CAD/BIM). Fundada em 2018 por Ian Keough (criador do Dynamo) e Anthony Hauck (ex-diretor de estratégia de Design Generativo da Autodesk), a ferramenta propõe substituir a modelagem manual geométrica pela composição lógica de sistemas.

Diferente de softwares convencionais onde o arquiteto desenha linhas ou superfícies, a Hypar opera através de "Funções" (*Functions*). Estes são pequenos scripts independentes, escritos em linguagens como C# ou Python, que resolvem problemas específicos (como gerar uma grelha estrutural, distribuir mobiliário ou

calcular rotas de fuga). O papel do usuário consiste em combinar essas funções em fluxos de trabalho (*workflows*) para gerar edifícios completos.

A relevância da Hypar para este trabalho reside, sobretudo, em sua recente evolução tecnológica que ilustra a metamorfose do setor:

- **A Versão 1.0 (2018-2023):** Focava na "programação visual" e na criação de algoritmos, exigindo do arquiteto um alto letramento em codificação (*coding literacy*). Funcionava como um repositório de lógica geométrica compartilhável (DAY, 2019).
- **A Versão 2.0 (2024-Presente):** Incorporou Grandes Modelos de Linguagem (LLMs) para permitir a criação de projetos através de descrições textuais (*Text-to-BIM*). Esta atualização, detalhada por Gadalla et al. (2025), marca a transição da ferramenta técnica para um "assistente inteligente", capaz de interpretar intenções projetuais vagas e oferecer soluções tangíveis, mitigando a barreira técnica da programação.

A plataforma foi escolhida por ser, atualmente, o único ambiente que integra a lógica determinística do BIM (necessária para a precisão técnica) com a lógica probabilística da Inteligência Artificial Generativa (necessária para a exploração criativa), situando-se no centro do debate sobre a nova agência do arquiteto.

Para a operacionalização deste estudo de caso empírico, a metodologia adota, de forma intencional e transparente, o uso de Inteligência Artificial Generativa como instrumento auxiliar na fase de preparação de dados (pré-projeto). A formulação do programa de necessidades e o dimensionamento paramétrico das tipologias foram co-criados utilizando o modelo de linguagem textual Gemini 3.0 Pro. Complementarmente, a ideação visual da planta baixa esquemática de referência foi gerada através do modelo de difusão de imagens Nano Banana 2 (Gemini 3 Flash Image). Esta decisão metodológica possui dupla função: primeiramente, garante a formulação de um escopo de complexidade controlada e lógica para alimentar o ecossistema da Hypar; em segundo lugar, reflete na própria condução prática da pesquisa a simbiose entre curadoria humana e ideação algorítmica que constitui o cerne da "Metamorfose Projetual" defendida neste trabalho.

1.5 Estrutura do Trabalho

Para desenvolver a argumentação de forma clara e progressiva, este trabalho está estruturado em quatro capítulos, incluindo esta introdução.

O **Capítulo 2** estabelece a fundamentação teórica, apresentando o panorama histórico da tecnologia na arquitetura e a crítica ao Design Generativo através dos conceitos de "Paradoxo da Escolha" e "Paradoxo da Origem". Além disso, constrói-se o arcabouço filosófico baseado na Teoria Crítica da Tecnologia de Andrew Feenberg, essencial para compreender a agência do arquiteto frente à automação.

O **Capítulo 3** constitui o núcleo empírico da pesquisa, apresentando o estudo de caso realizado na plataforma Hypar.io. Esta seção documenta a aplicação prática da metodologia, desde a importação de dados programáticos até a geração de volumetrias complexas, e promove a análise dos resultados obtidos. Discute-se aqui a validação da hipótese central, demonstrando como a "Metamorfose Projetual" ocorre na transição do desenho manual para a modelagem algorítmica.

Por fim, o **Capítulo 4** apresenta a conclusão do trabalho. Nesta etapa, sintetizam-se os achados da validação prática e discute-se o futuro da profissão diante da emergência da programação em linguagem natural, que promete democratizar radicalmente o acesso à construção de ferramentas digitais.

2 O PARADIGMA DA IA NA ARQUITETURA: CONTEXTO, CRÍTICA E TEORIA

A ascensão da Inteligência Artificial (IA) no campo da arquitetura representa um ponto de inflexão que desafia práticas e conceitos consolidados ao longo de séculos. Contudo, para compreender a magnitude e a natureza dessa transformação, é imperativo analisar a linhagem tecnológica da qual ela emerge. A história das ferramentas de projeto não é apenas uma sucessão de aparatos, mas uma evolução contínua dos métodos de abstração, representação e, mais recentemente, de predição, que definem a própria prática arquitetônica (Bernstein, 2022). Desde os primeiros desenhos até os complexos modelos digitais contemporâneos, a tecnologia tem atuado como um catalisador que redefine a relação entre a intenção do arquiteto e a materialização do artefato construído.

Este capítulo tem como objetivo construir o alicerce teórico e histórico para a análise da "Metamorfose Projetual" impulsionada pela IA. Primeiramente, será traçada a trajetória evolutiva das ferramentas de projeto, partindo do analógico e passando pelas sucessivas ondas de digitalização, CAD e BIM, que, embora revolucionárias, mantiveram o foco na documentação e na representação. Em seguida, será apresentada a crítica central ao Design Generativo tradicional, articulada em torno do "Paradoxo da Escolha", que evidencia as tensões entre a promessa de otimização e os desafios práticos de um processo de projeto intrinsecamente não linear. Finalmente, serão introduzidos os conceitos da filosofia da tecnologia de Andrew Feenberg como a lente crítica através da qual o impacto da IA na arquitetura será interpretado ao longo deste trabalho.

2.1 A Trajetória da Representação à Predição no Projeto Arquitetônico

A prática da arquitetura sempre esteve intrinsecamente ligada às suas tecnologias de representação. O avanço da disciplina pode ser mapeado através da evolução de seus instrumentos, que progressivamente ampliaram a capacidade do arquiteto de gerir a complexidade e comunicar suas intenções de projeto. Essa trajetória pode ser compreendida como uma transição gradual de um modo de trabalho puramente descritivo para um modo explicativo e, finalmente, para um modo preditivo, no qual a Inteligência Artificial desempenha um papel central (Serrano Sala, 2025).

2.1.1 Do Analógico ao Digital: A evolução de CAD e BIM como ferramentas de documentação

Por mais de quatro milênios, a representação arquitetônica foi um ofício analógico, fundamentado no desenho como principal meio de abstração e comunicação. A representação de um plano arquitetônico, evidenciado na estátua do governante mesopotâmico Gudea (c. 2150 a.C.) (Figura 2), marca o primeiro registro de uma ideia de projeto em desenho analógico (Bernstein, 2022). Phil Bernstein (2022) aponta que Mario Carpo ao fazer este mapeamento histórico, sugere que desenhos e notações alográficas, podem ser interpretados como um sistema de “processamento de dados” onde um simples conjunto de linhas no papel codificava a intenção de construir uma parede tridimensional, servindo como um memorial informacional de referência.

Figura 2: Gudea, com o desenho de uma planta em seu colo, C. 2150 A.C.



Fonte: Adaptado de Bernstein (2022, p. 3).

A primeira grande onda de digitalização, iniciada com a popularização do Desenho Assistido por Computador (CAD, do inglês *Computer Aided Design*) a partir da década de 1980, gerou ansiedades na profissão sobre a possível desvalorização da habilidade humana e a substituição do arquiteto (El Moussaoui, 2025). Contudo, na prática, o CAD representou mais uma tradução do processo de desenho existente para um meio virtual do que uma mudança fundamental no processo de projeto em si. A principal contribuição do CAD foi o aumento da precisão geométrica e da eficiência na produção de desenhos, mas o resultado final ainda era a representação

bidimensional ou, em alguns casos, modelos tridimensionais geometricamente "pobres" em informação. Essa fase pode ser classificada como a do **design descritivo**⁵, na qual as ferramentas computacionais se limitavam a representar as características geométricas e materiais do edifício, sem uma semântica computacional que o sistema pudesse compreender (Serrano Sala, 2025).

A segunda onda de transformação digital veio com a adoção da Modelagem da Informação da Construção (BIM, do inglês *Building Information Modelling*), que propôs uma mudança conceitual significativa. Em teoria, o BIM inverteu a lógica do CAD: em vez de o desenho ser o objeto primário, o arquiteto constrói uma réplica digital tridimensional do edifício, da qual os desenhos são extraídos como "relatórios" (Bernstein, 2022). Essa abordagem introduziu o que pode ser chamado de **design explicativo**⁶, pois os modelos BIM incorporam informações não geométricas e paramétricas que explicam como um projeto se comporta e como seus componentes se relacionam (Serrano Sala, 2025). Apesar de seu potencial, a adoção do BIM na prática muitas vezes se restringiu a uma ferramenta para a produção de documentação de construção mais coordenada e precisa, sem explorar plenamente seu valor como plataforma informacional integradora. As limitações do BIM, especialmente sua rigidez na representação de comportamentos complexos e sua baixa capacidade de apoiar a fase conceitual de forma fluida, deixaram uma lacuna que as tecnologias de Inteligência Artificial se propõem a preencher (Serrano Sala, 2025).

2.1.2 O "Interstício de Dados": A condição atual da prática arquitetônica segundo Phil Bernstein

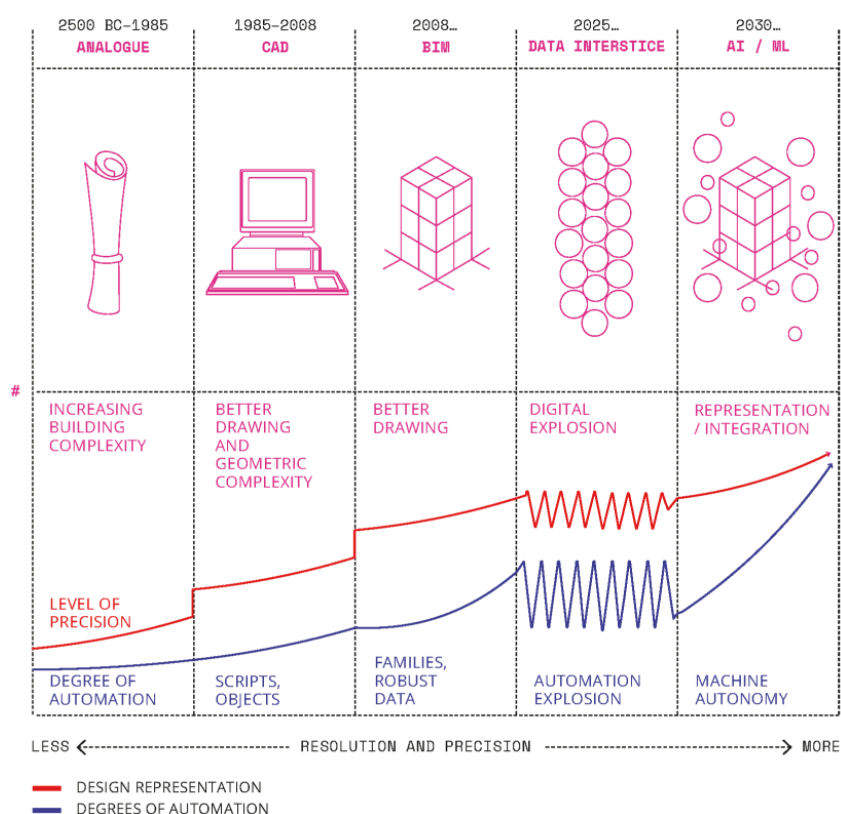
Apesar dos avanços representados pelo CAD e pelo BIM, a prática arquitetônica contemporânea encontra-se em um estado de transição complexo. O arquiteto e tecnólogo Phil Bernstein (2022) caracteriza este momento como o **"Interstício de Dados"** (*Data Interstice*), um período de explosão digital caracterizado pela geração massiva de informações em formatos heterogêneos e desarticulados. A ubiquidade

⁵ Fase da prática (analógica e CAD) focada na *representação* da geometria. A ferramenta apenas "descreve" a forma, sem entender seu significado ou comportamento (Serrano Sala, 2025)

⁶ Fase associada ao BIM. A ferramenta "explica" as relações entre os componentes. O modelo contém dados paramétricos e não geométricos (ex: "isto é uma parede", "esta porta pertence a esta parede"), permitindo uma documentação inteligente (Serrano Sala, 2025)

da computação em nuvem e a proliferação de ferramentas especializadas resultaram em um ecossistema onde dados são produzidos de forma massiva, porém fragmentada e desorganizada (Bernstein, 2022). AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação) gera um volume imenso de informações, tais como modelos BIM, análises de desempenho, scans de realidade, dados de sensores de edifícios em operação, que coexistem em formatos variados e frequentemente incompatíveis.

Figura 3: Relação de Tecnologias e Ferramentas ao Longo do Tempo



O diagrama de Bernstein ilustra a evolução das ferramentas de arquitetura. Ele identifica o período atual (c. 2025) como o **"Interstício de Dados"** (Data Interstice), um momento de "explosão digital" (linha vermelha) e "explosão de automação" (linha azul), caracterizado por dados robustos, porém fragmentados. Esta fase é a antessala da futura era da "IA/ML" (Machine Learning), que promete "Representação/Integração" e "Autonomia da Máquina".

Fonte: Adaptado de Bernstein (2022, p. 11).

Essa condição representa um paradoxo: embora a indústria da construção esteja mais digitalizada do que nunca, a falta de uma estrutura coerente para organizar e interligar esses dados impede que seu valor total seja realizado (Bernstein, 2022). O problema da interoperabilidade, que antes era uma questão técnica de compatibilidade de software, tornou-se uma questão estratégica de gestão do

conhecimento. A promessa de um fluxo de trabalho digital contínuo é frustrada pelo que Bernstein (2022) denomina “atomização da cadeia de valor”. Um exemplo concreto dessa ruptura ocorre na transição entre as fases de projeto e construção. Embora o arquiteto produza modelos ricos em dados (BIM), a transferência legal para a construtora frequentemente ocorre através de documentos bidimensionais estáticos ou formatos de dados simplificados. Nesse processo, a inteligência algorítmica e os metadados associados à geometria são perdidos, obrigando a etapa seguinte a reconstruir as informações do zero e gerando ineficiência sistêmica. Segundo Bernstein (2022), a indústria parece estar em um estado de “excitação e confusão”, adotando novas tecnologias de forma episódica sem uma teoria global para a troca de dados que substitua a simplicidade do antigo processo analógico baseado em papel.

É precisamente nesse cenário de “caos organizado” que a Inteligência Artificial encontra seu campo de atuação mais promissor. A principal limitação humana é a incapacidade de processar e identificar padrões em volumes de dados tão vastos e heterogêneos. As novas plataformas de IA, especialmente aquelas baseadas em *Machine Learning*, são projetadas para consumir, correlacionar e extrair *insights* desses “lagos de dados” (Bernstein, 2022). Portanto, a primeira e mais fundamental relevância da IA para a arquitetura, segundo a análise de Bernstein, não é necessariamente a de “desenhar edifícios”, mas sim a de **racionalizar o “Interstício de Dados”**. Ao atuar como uma “cola” computacional, a IA tem o potencial de conectar as ilhas de informação geradas ao longo do ciclo de vida de um projeto, criando uma plataforma informacional mais coerente a partir da qual sistemas mais inteligentes e, conseqüentemente, arquitetos mais bem informados podem evoluir.

2.1.3 A Ascensão das Ferramentas de Augmentação: Da exploração paramétrica à “alucinação de máquina”

A transição para além do BIM marca o surgimento de uma nova classe de ferramentas, cujo propósito não é apenas documentar ou explicar um projeto, mas sim aumentar a capacidade cognitiva do arquiteto, participando ativamente da exploração e geração de soluções. Essa evolução concretiza a distinção seminal proposta por Negroponte (1970) entre o “*Computer-Aided Design*” (onde a máquina é um escravo passivo que apenas obedece) e a “*Architecture Machine*” (onde a

máquina atua como um parceiro inteligente capaz de diálogo). Essa mudança de paradigma representa o verdadeiro início da “Metamorfose Projetual”.

A primeira manifestação dessa nova abordagem deu-se através do design paramétrico e da programação visual, com ferramentas como Grasshopper e Dynamo. Nelas, o arquiteto deixa de desenhar a forma final e passa a projetar o sistema de regras e parâmetros que a gera, um processo que Bernstein (2022) descreve como sendo os primórdios do design generativo. Contudo, esta primeira fase, que pode ser definida como exploração paramétrica, ainda se baseia em uma lógica explícita e de controle direto, na qual o arquiteto atua como o único autor do algoritmo, prescrevendo a lógica estrutural e as condicionantes do problema. Nesta fase, o domínio da sintaxe de programação ainda se impunha como uma barreira técnica, exigindo que o arquiteto traduzisse sua intenção diretamente para a linguagem da máquina.

A mais recente evolução, impulsionada pelo Machine Learning, inaugura uma abordagem fundamentalmente distinta. Em contraste com os sistemas baseados em regras (*Rule-Based Systems*), cuja lógica causal precisa ser explicitamente programada pelo arquiteto, os novos modelos operam de forma indutiva: eles processam vastos conjuntos de dados para inferir padrões latentes e correlações probabilísticas não codificadas diretamente, gerando resultados inéditos (Bernstein, 2022). O pesquisador Muhammad Hegazy descreve essa nova capacidade como **"alucinação de máquina"** (*machine hallucination*)⁷, um processo onde a IA não apenas explora as combinações dentro de um sistema de regras, mas "alucina" novas formas, estilos e soluções a partir de sua base de conhecimento estatístico, como visto em ferramentas de texto-para-imagem como Midjourney e DALL-E (Hegazy; Saleh, 2023). Essa transição da exploração paramétrica para a alucinação de máquina representa um salto na autonomia da ferramenta e um aprofundamento da "Metamorfose Projetual", levantando novas e complexas questões sobre criatividade, agência e o processo de design (Lukovich, 2023).

⁷ Alucinação de Máquina (Machine Hallucination): Termo de IA (Hegazy; Saleh, 2023) que descreve a capacidade dos modelos generativos (como Midjourney) de criar resultados novos, detalhados e plausíveis que não estavam explicitamente nos dados de treino. É uma forma de extrapolação criativa de padrões, e não um "erro".

2.2 A Crítica ao Design Generativo: O Paradoxo da Escolha

A ascensão das ferramentas generativas, com sua promessa de otimização e exploração de um vasto campo de possibilidades, não ocorreu sem o surgimento de desafios significativos. A visão de que a IA poderia automatizar grande parte do processo criativo rapidamente encontrou barreiras práticas e conceituais que questionam a eficácia e a aplicabilidade de sua primeira geração de ferramentas (Kotaira, 2020). A principal crítica a essa abordagem não reside em sua capacidade tecnológica, mas em sua aparente dissonância com a natureza fundamental do processo de projeto arquitetônico. A necessidade de reconsiderar um processo iterativo, que busca um único e bom artefato final, frente a um sistema que oferece múltiplas "ótimas" soluções, introduziu um novo conjunto de problemas (Kotaira, 2020). O desafio, portanto, migrou da dificuldade de **gerar** opções para a dificuldade de **gerir e escolher** entre elas, um fenômeno que pode ser compreendido através do conceito de "Paradoxo da Escolha" (Kotaira, 2020). Essa crítica inicial é fundamental para contextualizar a necessidade de plataformas mais sofisticadas, como a Hypar.io, que buscam ir além da simples geração de alternativas para propor uma integração mais profunda e sinérgica com o fluxo de trabalho do arquiteto. A estrutura desse processo generativo simplificado, que fundamenta a primeira geração de ferramentas de IA, é frequentemente visualizada em diagramas de fluxo, como o modelo "Três Passos para a Produtividade Aumentada por IA", proposto por Phil Bernstein (2022, p. 78) (Figura 4).

Este modelo representa uma matriz de evolução progressiva para um Sistema de Avaliação de Códigos (Code Evaluation System), que se desenvolve em três etapas sequenciais ao longo de dois eixos: capacidades cognitivas (Automatizar, Analisar, Prever) e abordagens metodológicas (Avaliar, Simular, Gerar):

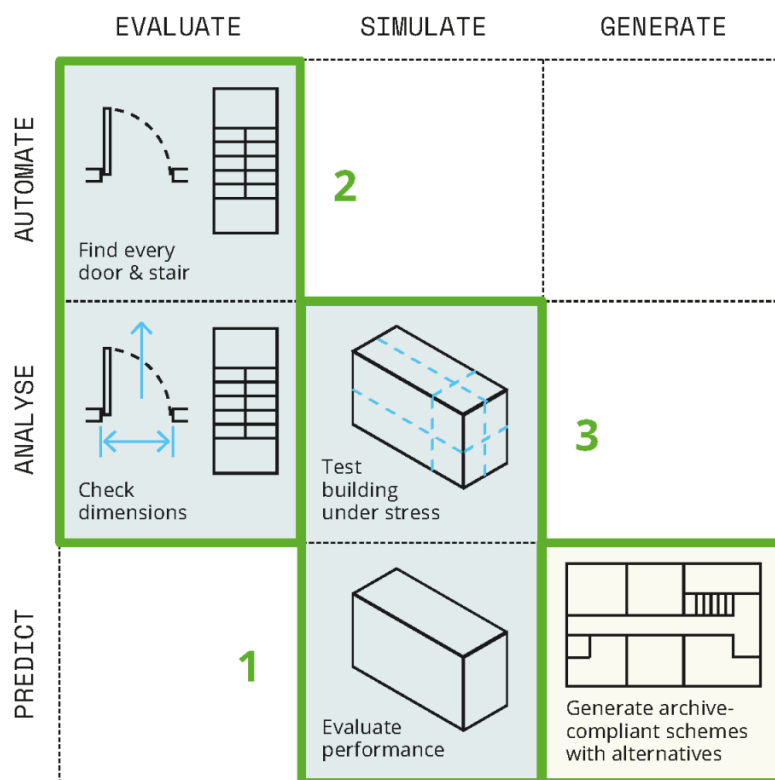
- **Etapla 1 (Avaliação de Componentes):** Foca em analisar o projeto existente. A IA primeiro **automatiza** a identificação de componentes (ex: "Encontrar cada porta e escada") e depois **analisa** se eles estão em conformidade individual (ex: "Verificar dimensões").
- **Etapla 2 (Simulação de Desempenho):** A IA avança para testar o sistema completo. Ela usa a **Análise** para "Testar o edifício sob estresse" (ex:

simulação de propagação de incêndio) e a **Previsão** para "Avaliar o desempenho" sistêmico abrangente.

- **Etapa 3 (Geração de Design):** Esta é a etapa final, o Design Generativo. A IA agora usa a **Previsão** para criar ativamente novos esquemas de design e propor alternativas otimizadas (ex: "Gerar... esquemas com alternativas").

É precisamente nesta Etapa 3 que a crítica ao GD se concentra. A lógica linear da máquina, que vê a geração de alternativas como a etapa final de um processo de otimização, colide frontalmente com o "Paradoxo da Escolha" (Kotaira, 2020) e com a natureza iterativa do design.

Figura 4: Três Passos para a Produtividade Aumentada por IA.



A progressão das capacidades da IA pelos eixos metodológicos [Evaluate, Simulate, Generate] e cognitivos [Automate, Analyse, Predict], evoluindo da avaliação de componentes (1) à simulação (2) e, finalmente, ao design generativo (3).

Fonte: Adaptado de Bernstein (2022, p. 78).

2.2.1 A promessa da otimização e o risco da sobrecarga de opções inviáveis

A proposta de valor central da primeira onda de ferramentas de Design Generativo (GD) baseava-se em um processo linear de três etapas: 1º) o arquiteto define as metas e restrições do projeto; 2º) o algoritmo gera uma vasta gama de soluções que

atendem a estes parâmetros; 3º) o arquiteto escolhe o melhor resultado (Kotaira, 2020). Em teoria, esta abordagem libertaria o profissional do trabalho repetitivo de ideação, permitindo que se concentrasse na tomada de decisão estratégica. Na prática, contudo, essa dinâmica expõe o arquiteto diretamente aos mecanismos psicológicos negativos descritos por Barry Schwartz (2004). Segundo Schwartz, a proliferação de escolhas, em vez de aumentar o bem-estar, tende a produzir paralisia e a diminuir a satisfação. Isso ocorre por três motivos principais: o aumento do arrependimento (tanto antecipado quanto posterior à escolha), a escalada das expectativas e os custos de oportunidade (a consciência de todas as alternativas descartadas) que diminui o valor percebido da opção escolhida (Schwartz, 2004).

O GD, ao apresentar centenas ou milhares de alternativas, força o arquiteto a assumir uma mentalidade de "**Maximizador**" (aquele que se esforça para tomar a melhor decisão possível) em oposição a um "**Satisfaciente**" (*Satisficer*), que busca uma opção que seja "boa o suficiente" (Schwartz, 2004). A busca incessante pela "melhor" opção em um mar de alternativas visualmente semelhantes, mas com pequenas variações de desempenho, é uma tarefa psicologicamente desgastante e muitas vezes infrutífera. Conforme aponta Kotaira (2020, p. 10), o problema é agravado pela baixa qualidade geral das opções geradas: "cem opções ruins não são iguais a uma única boa". Esta percepção é validada por estudos empíricos, que mostram que os resultados de design gerados por IA são percebidos como "incontroláveis" e "imprevisíveis", dificultando a extração de valor prático (Jin *et al.*, 2024).

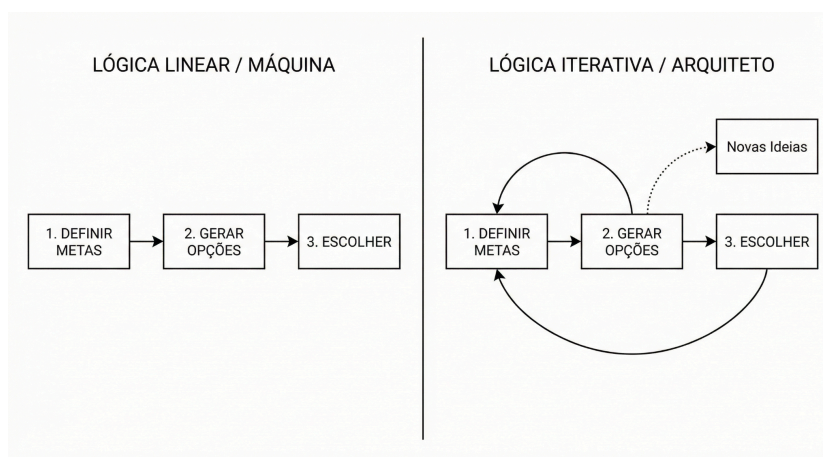
Indo além da psicologia da decisão, Hassen (2024) argumenta que a sobrecarga de escolhas se cruza com a **ansiedade existencial**. A promessa de liberdade total, oferecida pelo vasto espaço de soluções do GD, paradoxalmente lança uma "sombra de angústia, indecisão e descontentamento" sobre o projetista (Hassen, 2024, p. 75). A responsabilidade de navegar por um universo de possibilidades e a incerteza de ter feito a escolha "certa" podem minar a confiança criativa do arquiteto, transformando a ferramenta de um parceiro em uma fonte de ansiedade. Portanto, a crítica fundamental a essa primeira abordagem do GD não é apenas sua ineficiência prática, mas sua falha em reconhecer e se alinhar com os processos cognitivos e psicológicos do design. Uma ferramenta verdadeiramente eficaz, como conclui Kotaira (2020), deveria ser capaz de refinar a busca e apresentar *menos* opções, e

não mais, atuando como um filtro inteligente que eleva a qualidade em vez de apenas multiplicar a quantidade.

2.2.2 O Processo Iterativo e Não-Linear do Design vs. a Lógica da Máquina

A segunda crítica fundamental à primeira onda de ferramentas de Design Generativo reside na sua profunda desconexão com a natureza intrínseca do processo de projeto arquitetônico. A simplificação do design a uma sequência linear de *briefing*, ideação e decisão, conforme proposto por muitos sistemas de IA, ignora o fato de que o processo criativo é, por essência, "confuso e iterativo" (Cross, 2006 apud Kotaira, 2020). A prática arquitetônica não avança de forma linear, mas sim através de ciclos de exploração, nos quais o arquiteto alterna rapidamente entre escalas macro e micro, dos objetivos gerais do projeto aos detalhes específicos de uma solução, num processo que Andrew Heumann descreve como "caoticamente alinear" (Heumann, 2019, apud Kotaira, 2020). O diagrama da Figura 5 ilustra visualmente este conflito fundamental entre a lógica linear da máquina e o fluxo de trabalho iterativo do arquiteto.

Figura 5 – Contraste entre o Processo Linear (GD) e o Processo Iterativo (Arquiteto)



À esquerda, o fluxo unidirecional e linear do Design Generativo tradicional. À direita, o processo cíclico e não linear do design arquitetônico, que envolve iteração e retroalimentação (Kotaira, 2020).
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Esta natureza não-linear não é um defeito do processo, mas sim sua característica mais essencial, pois o design é uma atividade na qual a definição do problema e a formulação da solução evoluem em paralelo (Quesada, 2024, apud Andrade, Ruschel e Moreira, 2011).

Aprofundando na dimensão cognitiva, o processo de design pode ser entendido como um diálogo contínuo entre a mente do arquiteto e a representação externa do projeto. Este ciclo "*Cérebro-Esboço*" (*Brain-Sketch*) é uma conversação na qual cada traço serve tanto para registrar uma ideia quanto para provocar uma nova percepção que realimenta o processo de pensamento (El Gammal, 2024). Essa dinâmica valida o conceito clássico de "Reflexão na Ação" de Donald Schön (1983): o projeto é entendido como uma conversa reflexiva com a situação, onde o designer age, o material "responde" (*talks back*), e o profissional reflete sobre essa resposta imprevista para guiar seu próximo passo.

É nesta interação constante que a criatividade e a imaginação operam, capacidades que a IA, em sua forma atual, ainda luta para emular (El Gammal, 2024), uma vez que carece da cognição humana inerente a este ciclo. O arquiteto não está apenas a executar um plano, mas sim engajado em uma exploração heurística para resolver o que Bernstein (2022), citando Horst Rittel, classifica como um "**problema perverso**" (*wicked problem*)⁸. Tais problemas são caracterizados pela ausência de uma formulação definitiva, pela inexistência de uma solução "correta" única e pelo fato de que cada tentativa de solução revela novas facetas do problema, tornando a separação entre análise e síntese impossível (Bernstein, 2022).

As demonstrações de Design Generativo, por operarem em um vácuo sem os riscos e as contingências de um projeto real (como revisões de cliente, cortes de orçamento ou pareceres de consultores) falham em capturar esta realidade (Kotaira, 2020). Em um projeto real, as circunstâncias mudam constantemente, e a capacidade de retroceder, reavaliar e modificar decisões é crucial. Contudo, as primeiras ferramentas de GD eram fundamentalmente rígidas, pressupondo um avanço unidirecional. Conforme aponta Kotaira (2020), realizar uma revisão em muitos desses sistemas significava "resetar", ou seja, reiniciar todo o processo a partir do zero, redefinindo parâmetros e restrições. Esta limitação tornava a ferramenta impraticável para um fluxo de trabalho real, forçando o arquiteto a abandonar a plataforma generativa e retornar a métodos manuais assim que a primeira alteração significativa se fizesse necessária (Kotaira, 2020).

⁸ Conceito de Horst Rittel. Descreve problemas (como o design) que são impossíveis de definir completamente antes de serem resolvidos. Cada tentativa de solução revela novas facetas do problema, não há solução "correta" (apenas "boa" ou "ruim"), e não há um ponto de parada claro (Bernstein, 2022).

Essa rigidez processual revela uma falha de compreensão fundamental por parte dos desenvolvedores da tecnologia sobre o que os arquitetos e designers realmente fazem (Kotaira, 2020). A tentativa de impor uma lógica linear a uma atividade intrinsecamente dialógica representa um retrocesso conceitual, mesmo quando comparado a métodos analógicos. Desde o esboço à mão, a iteração sempre foi a principal estratégia do arquiteto para navegar na incerteza. A transição para o CAD já havia introduzido o risco da "fixação prematura do design", onde a precisão da ferramenta poderia inibir a exploração fluida das fases iniciais (Robertson; Radcliffe, 2009 apud El Moussaoui, 2025). O GD tradicional, ao exigir um compromisso inicial com um conjunto de regras e um "reset" para cada mudança, aguçam este problema, criando uma ferramenta que não "conversa" com a maneira como os arquitetos foram treinados a pensar. Portanto, a verdadeira inovação em ferramentas de IA para arquitetura não reside apenas na capacidade de gerar opções, mas na habilidade de se integrar a este ciclo iterativo e caótico, oferecendo suporte dinâmico sem impor uma lógica que é estranha à própria natureza do pensamento criativo e da resolução de "problemas perversos".

2.3 Lentes para uma Análise Crítica: Os Paradoxos da Tecnologia de Andrew Feenberg

Para transcender uma análise puramente técnica das ferramentas de IA e compreender as implicações mais profundas da "Metamorfose Projetual", é necessário adotar um referencial teórico que revele as dimensões sociais, políticas e existenciais da tecnologia. As críticas ao Design Generativo, como o "Paradoxo da Escolha" e a dissonância com o processo iterativo do design, apontam para uma realidade que não pode ser explicada apenas em termos de eficiência ou capacidade computacional. Elas revelam que a introdução de uma nova tecnologia é um evento complexo que reconfigura relações, redefine valores e transforma a identidade dos seus usuários (Feenberg, 2010). A maior parte das ideias do senso comum sobre a tecnologia está equivocada, pois tendemos a ver os artefatos técnicos como objetos neutros e autônomos, quando na verdade eles são profundamente sociais e co-construídos pelos significados que lhes atribuímos (Feenberg, 2010).

Nesse sentido, a filosofia da tecnologia de Andrew Feenberg, desenhada em seu artigo "Ten Paradoxes of Technology", oferece uma lente analítica poderosa. Feenberg (2010) propõe uma série de proposições contraintuitivas que desconstróem a visão instrumentalista da tecnologia, argumentando que todo artefato técnico é o resultado de uma história esquecida, de contingências e de conflitos de valores. Seu trabalho nos permite analisar a tecnologia não como um objeto externo que "impacta" a arquitetura, mas como um sistema ao qual os próprios arquitetos pertencem e que, ao ser modificado, modifica os próprios agentes da mudança. Ao adotar esta perspectiva, é possível ir além da superfície da discussão sobre automação e eficiência para investigar as dinâmicas de agência, poder e a co-construção mútua entre o arquiteto e as novas ferramentas inteligentes. As seções seguintes irão explorar os paradoxos mais pertinentes de Feenberg, utilizando-os para estruturar a análise crítica da Hypar.io e as implicações futuras para a profissão.

2.3.1 A Co-construção da Ferramenta e do Usuário: O Paradoxo da Ação e o Paradoxo Democrático

A relação entre o arquiteto e suas ferramentas nunca foi unilateral. Conforme argumenta Carpo (2011), cada tecnologia, do esquadro ao software BIM, transcende a função de mero instrumento; ela deixa de ser um meio passivo e passa a reconfigurar a estrutura cognitiva do profissional, moldando não apenas o resultado formal, mas o próprio modo de pensar e conceber o espaço. Com o advento da Inteligência Artificial, essa relação recíproca se intensifica, exigindo uma análise que reconheça a mútua constituição entre o agente humano e o artefato técnico. Andrew Feenberg (2010) oferece um arcabouço conceitual robusto para essa análise através de seus paradoxos, em especial o "Paradoxo da Ação" e o "Paradoxo Democrático", que descrevem a dinâmica de co-construção entre tecnologia e sociedade. Esta dinâmica é central para compreender a "Metamorfose Projetual", pois revela que a transformação não ocorre apenas no projeto, mas no próprio projetista.

O **Paradoxo da Ação** é formulado por Feenberg (2010) como uma consequência lógica da Terceira Lei de Newton: "ao agir, tornamo-nos o objeto da ação". Em um nível prático, isso significa que qualquer sistema sobre o qual agimos, por pertencermos a ele, age de volta sobre nós. A ação técnica, contudo, cria a "ilusão

da técnica", uma aparente independência onde o poder é focado para o exterior, protegendo o usuário da reação (Feenberg, 2010). Um martelo transforma a madeira, não o carpinteiro; uma arma fere a presa, não o caçador. No entanto, Feenberg argumenta que esta é uma visão restrita e que a reação sempre se manifesta de formas mais amplas e profundas: através de efeitos colaterais causais (como a poluição), da alteração do significado do nosso mundo (a tecnologia muda nossa percepção de distância, tempo e natureza) e, crucialmente, da transformação da nossa própria identidade. Conforme Feenberg (2010, p. 10) sucintamente coloca: "você é o que você faz".

Aplicado à arquitetura, o Paradoxo da Ação é a tradução filosófica da "Metamorfose Projetual". Quando um arquiteto utiliza uma plataforma como a Hypar.io para agir sobre o projeto, gerando layouts, explorando alternativas, definindo sistemas, a ferramenta age de volta sobre ele. Ela não apenas muda o projeto; ela muda o projetista. O papel do arquiteto se desloca de um "desenhista" que executa uma visão para um "curador de sistemas" ou "arquiteto de fluxos e ferramentas", que define a lógica de funcionamento da ferramenta, seja através de código direto ou, prospectivamente, através da instrução de comportamentos à máquina. A ferramenta, ao assumir tarefas procedurais, força o arquiteto a operar em um nível mais estratégico, focando no "porquê" em detrimento do "como" (Picon, 2020). A identidade profissional do arquiteto é, portanto, o "objeto da ação" de sua própria prática tecnologicamente mediada. Esta é a essência da co-construção no nível individual: a ferramenta redefine as competências e o valor do seu usuário. Contudo, essa redefinição não implica necessariamente na transformação do arquiteto em um cientista da computação, mas sim na aquisição de um pensamento computacional capaz de dialogar com a inteligência do sistema.

Expandindo essa dinâmica para o nível coletivo, Feenberg (2010) introduz o **Paradoxo Democrático**: "o público é constituído pelas tecnologias que o unem, mas, por sua vez, ele transforma as tecnologias que o constituem". Essa relação é descrita como um "**loop estranho**" (*strange loop*) ou uma "hierarquia emaranhada" (*entangled hierarchy*), similar à litografia "Mãos que Desenham" de M. C. Escher (Figura 6), na qual cada mão desenha e é desenhada pela outra (Feenberg, 2010). A tecnologia cria e une uma comunidade de usuários, mas essa mesma

comunidade, através de sua experiência, seus valores e suas reações, age de volta sobre a tecnologia, moldando sua trajetória futura.

Figura 6: Mãos que Desenham (1948) de M. C. Escher, como ilustração do conceito de co-construção.



Na "Metamorfose Projetual", o arquiteto (mão A) molda a ferramenta de IA através de seus valores e demandas, enquanto a ferramenta (mão B) molda a prática e a identidade do arquiteto.

Fonte: Adaptado de Feenberg (2010, p. 13).

A evolução da Hypar.io de sua versão 1.0 para a 2.0 é um caso exemplar e documentado deste paradoxo em ação. A Hypar 1.0, com sua abordagem de automação focada em desenvolvedores e no experimento "Text-to-BIM", constituiu um "público" inicial de arquitetos e designers computacionais. No entanto, este público, em sua experiência com a ferramenta, reagiu. A geração de edifícios via prompt de texto, embora tecnologicamente impressionante, foi percebida como uma "caixa preta" limitada que gerava mais desconfiança do que valor (BIM Pure, 2024). Os valores expressos por esta comunidade (a desconfiança, o desejo por controle, a necessidade de agência criativa para iterar sobre as soluções geradas) representaram uma intervenção direta sobre a tecnologia (BIM Pure, 2024).

A Hypar, para sobreviver e prosperar, precisou "ouvir" e se transformar. A resposta foi o pivô estratégico para a Hypar 2.0: uma plataforma redesenhada em torno da agência do usuário, com uma interface intuitiva e, crucialmente, com o sistema de "Overrides", a materialização técnica dessa resposta à demanda por controle (Hypar, [s.d.]). A comunidade de arquitetos, portanto, "desenhou" a ferramenta que a estava

"desenhando", fechando o "loop estranho" da co-construção. Este processo demonstra que a tecnologia arquitetônica não evolui em um vácuo puramente técnico, mas em um diálogo contínuo e emaranhado com os valores, as práticas e as resistências de seus usuários.

2.3.2 Fatos, Valores e a História Esquecida: O Paradoxo de Valor e Fato e o Paradoxo da Origem

A percepção comum trata a tecnologia como um artefato puramente racional não histórico, um conjunto de soluções otimizadas que emergem da lógica e da eficiência. Nessa visão, um software como a Hypar.io seria simplesmente o resultado inevitável do avanço computacional. A filosofia da tecnologia de Andrew Feenberg, contudo, desconstrói essa noção ao revelar que os artefatos técnicos são, na verdade, produtos de contingências históricas e da cristalização de valores sociais. Para realizar uma análise verdadeiramente crítica da "Metamorfose Projetual", é essencial empregar dois dos seus mais poderosos conceitos: o "Paradoxo da Origem" e o "Paradoxo de Valor e Fato". Juntos, eles nos permitem "escavar" a história por trás da aparente racionalidade das ferramentas de IA e entender como as demandas humanas moldam seu desenvolvimento.

O **Paradoxo da Origem** postula que "atrás de tudo que é racional, existe uma história esquecida" (Feenberg, 2010, p. 7). As tecnologias, ao serem aperfeiçoadas, apagam os vestígios de seu desenvolvimento, as alternativas descartadas, os conflitos e os acidentes que determinaram sua forma final. Feenberg (2010) ilustra este ponto com o exemplo dos sinais de saída e das portas que abrem para fora em teatros; hoje, parecem precauções lógicas e óbvias, mas sua implementação foi uma consequência direta do trágico incêndio do Iroquois Theatre em 1903, um evento histórico contingente que se instaurou na lógica do design arquitetônico.

Este paradoxo aplica-se com precisão cirúrgica à trajetória da Hypar.io. A interface intuitiva e a abordagem focada no *space planning* da Hypar 2.0 parecem ser uma solução puramente racional para um problema do mercado. No entanto, por trás dessa racionalidade reside uma "história esquecida": a da Hypar 1.0. A primeira versão da plataforma era focada em um nicho de desenvolvedores e especialistas em design computacional, e seu experimento mais notório, o "Text-to-BIM", embora

tecnologicamente avançado, expôs uma verdade crítica sobre o processo de design: a automação total, sem controle, gerava mais desconfiança do que valor (Day, 2023). A experiência com a Hypar 1.0 levou a equipe à conclusão de que a geração de edifícios via prompt de texto se comportava como uma "caixa preta" (BIM Pure, 2024). A forma atual e "racional" da Hypar 2.0 não pode ser compreendida sem essa história de aprendizado, que revelou que o problema mais urgente a ser resolvido não era a automação de ponta a ponta, mas a transição caótica da planilha de programa para um layout espacial viável (BIM Pure, 2024).

Complementar a esta visão histórica, o **Paradoxo de Valor e Fato** explica o mecanismo pelo qual essa história é escrita, afirmando que "valores são os fatos do futuro" (Feenberg, 2010, p. 12). Feenberg argumenta que as demandas da sociedade, por segurança, saúde, usabilidade ou, como no nosso caso, agência criativa, são inicialmente expressas como *valores* subjetivos. Com o tempo, através de debates, protestos ou reações do mercado, esses valores pressionam os especialistas a traduzi-los em novas especificações técnicas, tornando-se, assim, *fatos* incorporados no design da tecnologia.

O pivô da Hypar.io é, novamente, um exemplo paradigmático desta dinâmica. A reação da comunidade de arquitetos à Hypar 1.0 foi a expressão de um *valor*: o desejo por controle, por agência criativa e pela capacidade de iterar sobre as soluções geradas (BIM Pure, 2024). Os designers não queriam ser substituídos por um algoritmo; eles queriam manter sua posição como autores do processo. Este valor, manifestado através do feedback do mercado, foi internalizado pelos desenvolvedores da Hypar e traduzido em um *fato* técnico concreto na Hypar 2.0: o **sistema de "Overrides"**. Este sistema é a funcionalidade que permite ao usuário modificar manualmente qualquer propriedade de qualquer elemento gerado por uma função de automação (Hypar, [s.d.]). O sistema de "Overrides" não é apenas um recurso; ele é a cristalização de um valor humano em código, a resposta direta ao problema da "caixa preta" que aflige muitas ferramentas de IA (Hypar, [s.d.]).

Ao analisar em conjunto, estes dois paradoxos fornecem um arcabouço poderoso. O Paradoxo da Origem nos força a olhar para a história da ferramenta, enquanto o Paradoxo de Valor e Fato nos dá o mecanismo para entender *como* essa história é impulsionada pela interação entre as demandas humanas e as respostas técnicas. A

"Metamorfose Projetual", portanto, não é um destino tecnológico predeterminado imposto aos arquitetos. É um processo de negociação contínuo, no qual a forma futura das ferramentas de IA será o resultado direto dos valores que a comunidade de arquitetos conseguir articular e defender, transformando suas aspirações profissionais nos "fatos" técnicos de amanhã.

3 ESTUDO DE CASO: A HYPAR.IO COMO RESPOSTA AO PARADIGMA GENERATIVO

A análise crítica desenvolvida no capítulo anterior revelou uma dissonância fundamental na atual "Era da IA" na arquitetura. Se, por um lado, o "Interstício de Dados" descrito por Bernstein (2022) exige ferramentas capazes de orquestrar a explosão de informações fragmentadas, por outro, as primeiras aplicações de Design Generativo (GD) falharam em atender à natureza iterativa da prática projetual. Ao priorizarem a otimização linear e a geração massiva de alternativas, essas ferramentas precipitaram o arquiteto no "Paradoxo da Escolha" (Kotaira, 2020), oferecendo paralisia decisória em vez de agência criativa.

Para validar a hipótese da "Metamorfose Projetual", este capítulo adota uma abordagem mista. A primeira parte (**Seção 3.1**) dedica-se à análise técnica e estratégica da plataforma, investigando como sua arquitetura de sistema aberto e suas "Functions" respondem teoricamente às críticas de "caixa-preta" e falta de interoperabilidade. A segunda parte (**Seção 3.2**), atendendo à necessidade de tangibilizar a discussão teórica, apresenta um **experimento prático de design**. Através da documentação visual de um projeto piloto desenvolvido na plataforma, investiga-se empiricamente como a agência do arquiteto é preservada ou transformada no contato real com a "Inteligência Estendida".

3.1 Análise da Plataforma: Filosofia e Estratégia

Para compreender o posicionamento da Hypar, é necessário primeiro entender a lacuna que ela se propõe a preencher no ecossistema de software existente. A indústria da construção tem sido historicamente marcada por uma fragmentação crônica de conhecimento e ferramentas. Soluções de programação visual, como o *Dynamo* (para Revit) e o *Grasshopper* (para Rhino), permitiram que arquitetos especialistas criassem algoritmos complexos de automação. No entanto, essa lógica raramente era escalável: os scripts, sequências de instruções computacionais que automatizam tarefas de desenho, permaneciam confinados aos computadores locais de seus criadores ou atrelados a projetos específicos, perpetuando uma constante "reinvenção da roda" (Day, 2019).

A Hypar foi fundada em 2018 como uma resposta direta a esse problema de "**silos de conhecimento**"⁹. Seus fundadores, Ian Keough (criador do Dynamo) e Anthony Hauck (ex-diretor de estratégia de produto do Revit), partiram da premissa de que a expertise arquitetônica, como a lógica para gerar uma escada normativa ou distribuir mobiliário de escritório, deveria ser tratada não como um serviço manual repetitivo, mas como um produto codificado e reutilizável (Building Ventures, 2019).

A filosofia central da plataforma é a transição da "automação fragmentada" para um "ecossistema de expertise". Em vez de fornecer uma ferramenta monolítica e fechada que tenta fazer tudo (como os softwares BIM tradicionais), a Hypar opera como uma infraestrutura em nuvem que conecta lógicas de design díspares. A proposta é permitir que o arquiteto componha fluxos de trabalho complexos combinando pequenos blocos de lógica autônomos, denominados "Functions", de maneira análoga à montagem de componentes físicos pré-fabricados, mas no ambiente digital (Day, 2025).

Neste ecossistema, uma "Function" não é apenas um script de geometria; é uma unidade encapsulada de lógica que requer inputs (dados de entrada, que variam desde parâmetros numéricos ajustáveis, seleções em listas pré-definidas, até geometrias de contexto importadas via DXF, Revit ou arquivos JSON¹⁰) e gera outputs (dados de saída, como modelos 3D, relatórios de área e dados estruturados). A inovação reside na interoperabilidade radical: uma função de estrutura metálica desenvolvida por um engenheiro em Londres pode ser conectada instantaneamente a uma função de fachada criada por um arquiteto em São Paulo, desde que ambas compartilhem a mesma linguagem de dados.

Essa arquitetura sustenta-se sobre o **Elements**, o núcleo *open-source* da plataforma. Diferente dos **kernels proprietários**¹¹ e pesados de softwares legados,

⁹ Conceito utilizado na Gestão da Informação e aplicado à indústria AEC por Day (2019) para descrever o isolamento de dados e scripts em computadores locais ou departamentos específicos, impedindo o compartilhamento de inteligência e reutilização coletiva, gerando redundância de trabalho.

¹⁰ JSON (JavaScript Object Notation): Formato leve de intercâmbio de dados baseado em texto, legível tanto por humanos quanto por máquinas. Na Hypar, é utilizado para descrever a geometria e os metadados do edifício de forma não-proprietária, diferenciando-se dos arquivos binários pesados e fechados de softwares BIM tradicionais.

¹¹ Refere-se ao núcleo computacional central de um software (responsável pelo processamento matemático e geométrico), cujo código-fonte é fechado e protegido por segredo industrial. Em

o Elements foi concebido como o "menor BIM útil" (HYPAR, 2025): uma biblioteca leve, capaz de rodar na nuvem e no navegador, livre das amarras de licenciamento que historicamente limitaram a inovação no setor. Ao desacoplar a lógica de design da aplicação de autoria (como o Revit), a Hypar propõe uma mudança ontológica: o projeto deixa de ser um arquivo estático para se tornar um fluxo contínuo de dados computáveis.

3.1.1 A Liderança e o Pivô Estratégico: Da "Caixa Preta" à Agência do Arquiteto

A validade da Hypar como objeto central deste estudo de caso reside, em grande parte, na genealogia de sua liderança técnica e intelectual. A plataforma não surge como um produto de *startups* de tecnologia periféricas à realidade da construção, mas sim como o resultado de um diagnóstico profundo e autocrítico realizado por dois dos nomes mais influentes na digitalização da arquitetura nas últimas duas décadas: Ian Keough e Anthony Hauck.

Keough, mundialmente reconhecido como o criador do Dynamo (a ferramenta de programação visual que democratizou o design computacional para a base de usuários do Revit), e Hauck, ex-diretor de estratégia de produto para Design Generativo da Autodesk, vivenciaram em primeira mão as limitações sistêmicas das ferramentas que eles mesmos ajudaram a consolidar. Em entrevista à Architosh (2019), Keough aponta que, embora a programação visual tenha avançado, as aplicações resultantes permaneciam difíceis de implantar, manter e reutilizar em escala corporativa. Essa restrição técnica mantinha a inteligência projetual confinada aos desktops ('desktop-bound'), perpetuando, na prática, uma fragmentação do conhecimento: cada escritório precisava construir suas ferramentas do zero, gerando soluções isoladas e dificilmente escaláveis. A premissa fundadora da Hypar era, portanto, transformar esse conhecimento disperso em expertise codificada e reutilizável. Essa abordagem aproxima a prática projetual digital do conceito de "*Linguagem de Padrões*" (*Pattern Language*) de Christopher Alexander (1977): ao invés de reinventar soluções (scripts) para problemas recorrentes de design a cada

softwares BIM tradicionais, o acesso restrito a esse núcleo impede que desenvolvedores externos criem modificações profundas ou correções, gerando dependência tecnológica do fornecedor.

novo projeto, o arquiteto passa a combinar padrões algorítmicos já testados e validados pela comunidade.

No entanto, a trajetória da plataforma para resolver esse problema não foi linear. A evolução da Hypar ilustra vividamente o conflito entre o determinismo tecnológico e a cognição do designer. Em sua fase inicial, que podemos classificar analiticamente como "Hypar 1.0", a plataforma apostou agressivamente na exposição crua do poder computacional. O ambiente permitia a conexão de *scripts* complexos de C# e Grasshopper para gerar edifícios inteiros a partir de parâmetros matemáticos rigorosos, sob a promessa de uma eficiência sem precedentes.

Essa abordagem inicial revelou-se, contudo, psicologicamente exaustiva para o arquiteto comum. Andrew Heumann (2025), arquiteto e desenvolvedor de software da Hypar, descreve essa fase com franqueza em uma análise retrospectiva recente: "Havia um milhão de *sliders*, tabelas e botões. Nossos usuários ficavam frequentemente sobrecarregados". Segundo o diagnóstico estratégico da própria empresa, o sistema original apresentava uma barreira comercial: havia sido construído sob uma filosofia de "Automação Primeiro, Experiência de Design em Segundo Lugar" (*Automation First, Design Experience Second*) (Heumann, 2025). Ao tentar automatizar macrossistemas complexos sem uma interface que respeitasse o fluxo de pensamento do projetista, a ferramenta colidiu com o "Paradoxo da Escolha": a máquina oferecia poder infinito de variação, mas retirava a clareza e o controle, gerando resistência profissional ao invés de adoção.

Em resposta a esse impasse, a Hypar realizou um pivô estratégico fundamental, transitando para o que se consolidou entre 2023 e 2024 como a "Hypar 2.0". A liderança compreendeu que a barreira para a IA na arquitetura não era a falta de capacidade computacional, mas a ausência de uma interface que situasse o autor humano no centro do processo. O foco deslocou-se, portanto, da geração autônoma indiscriminada para o que Heumann (2025) define como uma abordagem **"Designer Primeiro"** (*Designer First*).

Nesta nova filosofia, a plataforma abandonou a pretensão de impor uma automação total ("apertar um botão e gerar o prédio") para se concentrar em "affordances integrais sutis", ou seja automações invisíveis que removem o atrito das tarefas

tediosas sem sequestrar a decisão projetual. Em vez de exigir que o arquiteto manipule vinte parâmetros abstratos para criar um espaço, a nova interface permite desenhar diretamente, enquanto a IA atua nos bastidores ajustando áreas, detectando padrões de grade ou sugerindo mobiliário apenas quando o contexto assim o exige.

Este movimento estratégico materializa o "Paradoxo Democrático" de Feenberg (2010): o público de arquitetos, através de sua rejeição à complexidade desnecessária e à perda de agência, transformou a tecnologia que o constituía. A Hypar deixou de tentar ser uma "máquina de criar edifícios" para se tornar uma infraestrutura de suporte à decisão, onde a automação serve para eliminar a tarefa repetitiva para que o arquiteto possa, conforme a promessa central da nova versão articulada por Heumann, permanecer "no banco do motorista" (*in the driver's seat*), exercendo a curadoria final sobre cada sugestão algorítmica. Contudo, embora Heumann (2025) defenda que essa nova interface resolva a rejeição profissional, é necessário notar que esta é uma visão interna da desenvolvedora. A validação real dessa "agência recuperada" depende da verificação empírica por usuários independentes, algo que este trabalho investigará no estudo de caso prático.

3.1.2 A Arquitetura de uma Plataforma Aberta: O núcleo **Elements** e a abordagem **API-First**

Se o pivô estratégico da Hypar resolveu a questão filosófica da agência do arquiteto, foi a sua arquitetura técnica que solucionou o problema prático da interoperabilidade. Tradicionalmente, o software de arquitetura opera sob uma lógica monolítica: grandes aplicações *desktop* (como Revit ou Archicad) que armazenam dados em formatos proprietários fechados (.rvt, .pln). Esse modelo cria o que Bernstein (2022) critica como "jardins murados", onde a inteligência do projeto fica aprisionada dentro do arquivo, inacessível a outros sistemas sem processos complexos e falhos de conversão.

A Hypar rompe com esse paradigma ao adotar uma filosofia radicalmente oposta, sustentada por dois pilares técnicos: o núcleo *open-source* denominado **Elements** e uma arquitetura **API-First**.

O *Elements* é a biblioteca central de geometria e dados da plataforma, desenvolvida em C#. Ao contrário dos *kernels* geométricos pesados e licenciados que impulsionam os CADs tradicionais, o *Elements* foi concebido para ser o "menor BIM útil" (Hypar-io, 2025). Ele é leve, transparente e, crucialmente, agnóstico em relação à plataforma. Isso significa que a definição matemática de uma "viga" ou de uma "parede" no *Elements* não depende de se ter uma licença de software instalada; é código puro que pode ser lido, escrito e executado em qualquer ambiente, desde um navegador web leve até um servidor na nuvem processando milhares de iterações por segundo.

Essa estruturação da plataforma em torno de componentes discretos e recombináveis valida a tese de Carpo (2011) sobre o retorno ao "paradigma alfabético" na era digital. Segundo o autor, diferentemente da lógica industrial que exigia padronização visual para obter economia de escala, a lógica computacional permite a variação infinita a partir de um conjunto finito de elementos genéricos (um "alfabeto"). Na Hypar, a biblioteca *Elements* atua como esse alfabeto, permitindo que a complexidade arquitetônica emergja da combinação algorítmica de partes simples.

Essa decisão de tornar o núcleo da linguagem de design *open-source* (disponível publicamente no GitHub¹²) inverte a lógica de poder do mercado. Enquanto fornecedores tradicionais protegem seus formatos de arquivo como segredos comerciais para reter clientes, a Hypar disponibiliza a "gramática" de sua plataforma gratuitamente. Isso permite que qualquer desenvolvedor ou escritório construa suas ferramentas sobre essa base sem os custos proibitivos de propriedade intelectual. Diferente dos softwares legados, que impõem barreiras de licenciamento onerosas apenas para o acesso ao ambiente de execução, a Hypar democratiza o uso através de um modelo *Freemium*¹³, onde a barreira de entrada é eliminada e a monetização incide apenas sobre a escala e a privacidade do uso, fomentando a transição da 'automação proprietária' para a 'automação comunitária' (Day, 2019)."

¹² Plataforma de hospedagem de código-fonte e arquivos baseada no sistema de controle de versão Git. É amplamente utilizada para desenvolvimento colaborativo, permitindo que programadores e arquitetos publiquem, compartilhem e aprimorem scripts e softwares de forma aberta (*open-source*) ou privada, servindo como um repositório centralizado que substitui o armazenamento local.

¹³ Modelo de Negócios: A plataforma oferece acesso gratuito para projetos públicos e de baixa complexidade computacional. A cobrança (atualmente US\$25 mensais por usuário) aplica-se exclusivamente a ambientes corporativos que demandam privacidade de dados (*Private Workflows*), infraestrutura de processamento dedicada e ferramentas de gestão de equipes.

Complementando o núcleo *open-source*, a segunda decisão arquitetural crítica foi a adoção de uma estratégia *API-First*. Enquanto softwares como o Revit foram construídos primariamente como interfaces gráficas para usuários humanos, onde a API (Interface de Programação de Aplicações) é uma camada secundária adicionada posteriormente, a Hypar foi concebida inversamente: ela é, antes de tudo, um conjunto de serviços web programáveis. A interface visual que o usuário acessa no navegador é apenas um dos muitos clientes possíveis para essa infraestrutura.

Essa arquitetura permite que a Hypar funcione através de microsserviços denominados "*Hypar Functions*". Uma *Function* é um script encapsulado (escrito em C# ou Python) que executa uma tarefa específica de design (como "gerar pilares estruturais" ou "calcular rotas de fuga") e que pode ser combinada com outras funções em uma cadeia lógica (*workflow*). Essa arquitetura modular materializa, tecnicamente, o conceito de decomposição de problemas proposto por Alexander (1964): a ideia de que a complexidade da forma arquitetônica só pode ser resolvida se dividida em subproblemas independentes e gerenciáveis, aqui traduzidos como "Functions".

O diferencial reside na modularidade radical: ao contrário de um *plugin* monolítico que exige a instalação de gigabytes de software, uma *Function* é executada na nuvem sob demanda, sem pesar na máquina local. Essa abordagem resolve um dos gargalos históricos identificados por Bernstein (2022): a falta de integração no "Interstício de Dados". Como a plataforma aceita e exporta dados estruturados (JSON) de forma nativa, ela atua como um "hub universal" de interoperabilidade. Um fluxo de trabalho típico na Hypar pode, por exemplo, receber uma planilha de Excel com o programa de necessidades, ingerir uma geometria de massa feita no Rhino, processar a distribuição de mobiliário através de uma função de IA na nuvem da Hypar e, finalmente, entregar o resultado como um arquivo nativo do Revit ou *IFC*¹⁴ (Day, 2023; SkyCiv, 2021).

¹⁴ IFC (Industry Foundation Classes): Padrão internacional aberto (ISO 16739) desenvolvido pela *buildingSMART* para a troca de dados neutra na indústria da construção. Diferente de formatos proprietários (como .RVT ou .PLN), o IFC não pertence a nenhum fabricante de software, garantindo a interoperabilidade e permitindo que o modelo gerado na Hypar seja lido corretamente por qualquer plataforma BIM (Revit, Archicad, Vectorworks, etc.).

Esse fluxo de geração automatizada alinha a plataforma à visão de Carpo (2017) sobre a "Segunda Virada Digital". Segundo o autor, a computação contemporânea marca a transição da lógica industrial de cópias idênticas para uma lógica de variações massivas e adaptáveis. Na Hypar, isso se concretiza quando um único script é capaz de gerar infinitas configurações de design baseadas em dados variáveis, superando a rigidez estática dos modelos BIM tradicionais.

Desta forma, a Hypar não tenta substituir as ferramentas de autoria existentes, mas sim conectá-las, transformando o processo de design de uma série de tarefas isoladas e manuais em um fluxo de dados contínuo e computável. A plataforma materializa, assim, a transição da *expertise como serviço* (o arquiteto desenhando cada mesa) para a *expertise como produto* (o arquiteto criando a função que desenha mesas), conforme previsto pelos fundadores (Building Ventures, 2019).

3.1.3 A Agência como Fato Técnico: O sistema de Overrides como resposta direta ao Paradoxo da Escolha

Se a arquitetura aberta do *Elements* e a estratégia *API-First* solucionaram o problema da fragmentação de dados, restava ainda enfrentar o desafio mais crítico apontado pela revisão bibliográfica deste trabalho: o "Paradoxo da Escolha" e a rejeição profissional às ferramentas de "caixa-preta". Como demonstrado no Capítulo 2, a falha fundamental das primeiras ferramentas de Design Generativo (GD) não residia na falta de capacidade computacional, mas na ausência de uma interface que permitisse a intervenção humana granular dentro da lógica algorítmica.

A Hypar aborda essa questão transformando uma demanda ética, a necessidade de agência do arquiteto, em funcionalidade de software. Este movimento ilustra precisamente o "Paradoxo de Valor e Fato" de Feenberg (2010): o valor social (a autoria e o controle) pressionou o desenvolvimento tecnológico até se cristalizar em um fato técnico. A resposta da plataforma evoluiu da simples geração de opções para um modelo híbrido que combina "Sugestões Contextuais" com um robusto sistema de *Overrides* (Sobreposições).

A justificativa da desenvolvedora para essa abordagem é pragmática. Andrew Heumann (2025), defendendo a arquitetura do sistema, argumenta que "à medida que a inteligência aumenta, cresce também a probabilidade de *outputs* inválidos ou

inúteis". Para mitigar o risco da "alucinação de máquina" sem perder a eficiência da automação, a filosofia da Hypar passou a ser "construir a inteligência de uma maneira que deixe o usuário no banco do motorista (*in the driver's seat*), capaz de facilmente ignorar, descartar ou consertar os resultados de qualquer escolha automática de design" (Heumann, 2025).

Na prática, isso se manifesta através de uma IA que observa as ações do arquiteto e propõe, em vez de impor. Diferente da "caixa-preta" que resulta em um edifício pronto, a Hypar implementou um sistema de "Sugestões Contextuais" (*Contextual Suggestions*). Se o usuário nomeia um espaço no programa de necessidades como "Sala de Exames", a plataforma reconhece a semântica e sugere proativamente um layout de mobiliário e equipamentos adequado àquela função (Heumann, 2025). A inovação crucial, contudo, não é a sugestão em si, mas a maleabilidade dela.

Em ferramentas tradicionais de design computacional, a "automação" frequentemente impõe uma escolha binária: ou o arquiteto aceita a geração algorítmica completa, ou ele "explode" o modelo para editar manualmente, perdendo toda a inteligência paramétrica no processo. A Hypar supera essa dicotomia através do mecanismo de *Overrides*. Tecnicamente, um *Override* funciona como uma regra de exceção que é armazenada como dado persistente. Se o arquiteto move manualmente uma parede sugerida pela IA, essa decisão não "quebra" o algoritmo; ela é gravada como uma restrição soberana que a função deve respeitar nas próximas iterações (Hypar, [s.d.]).

Isso permite um fluxo de trabalho de "colaboração assíncrona" entre humano e máquina. O algoritmo lida com a repetição massiva (ex: distribuir 500 estações de trabalho), enquanto o arquiteto aplica sua *expertise* tácita nas exceções (ex: ajustar a sala da diretoria para capturar uma vista específica). Heumann (2025) descreve esse comportamento como uma automação que "lembra suas escolhas de design": se o usuário altera um padrão, a IA aprende com essa intervenção local e adapta suas futuras sugestões para refletir a intenção do projetista.

Nesse sentido, o valor subjetivo da intuição arquitetônica foi traduzido em um fato técnico operacional. Assim, o arquiteto transcende a posição de mero consumidor de opções pré-fabricadas para assumir o papel de *Curador de Sistemas*.

É fundamental sublinhar que esta curadoria não se resume a uma seleção passiva de resultados (como escolher um item em um menu), mas constitui uma prática de intervenção ativa. Ao aplicar um *Override*, o profissional atua como um *editor de lógicas*, inserindo intencionalidade humana nas lacunas do algoritmo. A verdadeira "Metamorfose", portanto, reside na capacidade de negar a solução otimizada pela máquina quando a intuição projetual exige, reafirmando a agência humana através da gestão das exceções. A plataforma não substitui o projetista, mas concretiza a "Inteligência Estendida", onde a cognição humana se dedica à estratégia e à qualidade espacial, enquanto a máquina assume o fardo do cálculo repetitivo.

3.1.4 Posicionamento Competitivo: O "Ecossistema Aberto" vs. o "Jardim Murado"

A validação da Hypar como objeto de estudo exige situá-la dialeticamente no cenário competitivo atual, onde duas filosofias de inovação tecnológica colidem. O contraste central não reside apenas na capacidade de processamento geométrico, mas na oposição estrutural entre a estratégia de "*Ecossistema Aberto*" (*Open Ecosystem*), adotada pela Hypar, e a lógica de "*Jardim Murado*" (*Walled Garden*), historicamente predominante na indústria e exemplificada pelo Autodesk Forma¹⁵ (anteriormente Spacemaker).

O modelo de "Jardim Murado" prioriza a conveniência através da integração vertical. Plataformas como o Autodesk Forma oferecem uma experiência de usuário (UX) coesa, polida e imediatamente acessível, mas estritamente circunscrita às ferramentas analíticas e geradores que o próprio fornecedor decide desenvolver e manter. Neste paradigma, o arquiteto opera fundamentalmente como um *consumidor passivo* de funcionalidades pré-definidas. A limitação crítica deste modelo revela-se na fricção com a realidade local: se uma análise específica de microclima ou uma norma de zoneamento particular (como as especificidades de um Plano Diretor brasileiro) não estiver nativamente implementada no "cardápio" do software, o fluxo de automação é interrompido, forçando o retorno a processos manuais desconectados.

¹⁵ Autodesk Forma: Plataforma de planejamento baseada em nuvem para as fases iniciais de projeto, resultante da aquisição da startup norueguesa *Spacemaker AI* pela Autodesk em 2020. Diferente da Hypar, que permite a criação de ferramentas personalizadas por qualquer usuário, o Forma opera como um produto "caixa-preta", com funcionalidades pré-definidas e integração restrita ao ecossistema Revit.

Em contrapartida, a Hypar aposta na extensibilidade radical. A justificativa para essa abordagem transcende a ideologia do código aberto; ela é, acima de tudo, uma admissão de *humildade técnica* frente à vastidão da disciplina. Andrew Heumann (2025), em uma declaração que desafia a onipotência tradicionalmente projetada pelas grandes empresas de software, posiciona-se contra o modelo fechado, argumentando que este seria insustentável para a escala da construção global: "Nossa equipe sabe que não vamos nos tornar os maiores especialistas em cada tipologia de projeto e sistema construtivo sob o sol. A única maneira de a Hypar continuar a apoiar a automação inteligente na escala da nossa indústria complexa é abrindo a plataforma...". Enquanto o "Jardim Murado" tenta cercar todo o conhecimento sob uma curadoria centralizada, o "Ecossistema Aberto" admite sua incompletude e convida o usuário a preenchê-la, transformando o arquiteto de consumidor em *prossumidor* (produtor-consumidor) de ferramentas digitais.

Essa aposta estratégica contrapõe-se diretamente àquilo que Carpo (2011) identifica como o maior entrave à inovação digital: a tentativa de impor restrições de autoria e propriedade intelectual do mundo físico ao ambiente imaterial do código. Ao permitir que "Functions" sejam compartilhadas e remixadas livremente, a plataforma abraça a natureza intrinsecamente colaborativa e "não rival" da informação digital, potencializando uma inteligência coletiva que sistemas fechados (Jardins Murados) não conseguem replicar.

Essa distinção possui implicações éticas profundas para a "Metamorfose Projetual". Netser, Cochran-Hameen e Tang (2025) argumentam que a sustentabilidade social do design depende da transparência dos algoritmos, alertando para os riscos de sistemas que ocultam seus critérios de otimização. No modelo proprietário, o arquiteto enfrenta frequentemente o "Paradoxo da Origem" (Feenberg, 2010): os vieses, as escolhas políticas e as premissas simplificadoras embutidas nas ferramentas de análise (como um coeficiente de emissão de carbono europeu aplicado a um projeto no Brasil) permanecem ocultos, apresentando-se como fatos técnicos universais e indiscutíveis.

Ao expor o código de suas funções (muitas disponíveis no GitHub), a Hypar mitiga esse paradoxo ao permitir a *auditoria comunitária* da lógica. Se uma função de análise térmica utiliza premissas inadequadas, a comunidade pode inspecionar o

código, identificar o viés e propor uma versão corrigida. Desta forma, a plataforma democratiza não apenas o acesso à IA, mas também a responsabilidade sobre ela.

Este alinhamento entre abertura técnica e ética profissional aponta para o futuro da prática descrito por Heumann (2025): um cenário onde a barreira da programação diminui através do que ele chama de "*vibe coding*", o uso de LLMs para auxiliar arquitetos a escreverem seus próprios scripts de forma intuitiva. Assim, a ferramenta deixa de ser uma caixa-preta estática para se tornar um organismo vivo, co-construído e constantemente renegociado pelos seus usuários.

Entretanto, é imperativo reconhecer que a estratégia de "Ecossistema Aberto" carrega um risco estrutural: a dependência do *Efeito de Rede (Network Effect)*¹⁶. Enquanto o "Jardim Murado" oferece a conveniência imediata de um ambiente onde todas as ferramentas são garantidas pelo fornecedor, o modelo da Hypar aposta que a comunidade preencherá as lacunas específicas de cada mercado.

Esta aposta expõe o desafio da interoperabilidade radical: se a mobilização dos arquitetos para programar suas próprias soluções não ocorrer, a plataforma corre o risco de permanecer uma ferramenta de *excelência genérica*, mas carente de especificidade local.

No contexto brasileiro, por exemplo, se a comunidade não codificar as exigências da NBR 15575, norma que apresenta o padrão de desempenho de edifícios habitacionais, como *Functions*, a Hypar continua sendo poderosa para a concepção espacial, mas perde sua utilidade para a *conformidade legal automatizada*, forçando o arquiteto a retomar processos de verificação manual. Dessa maneira, a tecnologia só atinge seu potencial máximo de "Metamorfose" se o público a abraçar e a desenvolver ativamente para suas próprias realidades.

Em última análise, a transparência e a colaboração propostas pela Hypar aproximam a prática contemporânea da visão seminal de Negroponte (1970): a máquina deixa

¹⁶ Fenômeno econômico onde o valor de um serviço aumenta proporcionalmente ao número de usuários que o utilizam. O termo origina-se da lógica de telecomunicações (um telefone isolado é inútil; uma rede conectada gera valor). Para a Hypar, o desafio reside na interdependência da plataforma: ela necessita de desenvolvedores para criar ferramentas que atraiam arquitetos, mas requer uma base ativa de arquitetos para incentivar economicamente os desenvolvedores. Sem o crescimento simultâneo desses dois grupos, o ecossistema corre o risco de estagnação por falta de conteúdo útil.

de ser apenas uma ferramenta de desenho assistido para se tornar um parceiro de design, capaz de dialogar e propor soluções ativamente, concretizando a promessa de uma coautoria homem-máquina.

3.2 Aplicação Metodológica: O Projeto Prático

Para validar as hipóteses teóricas sobre a "Metamorfose Projetual" e a reconfiguração do papel do arquiteto, foi realizado um experimento controlado na plataforma Hypar.io. O objetivo central deste estudo de caso não foi a produção de um artefato arquitetônico executivo ou de alta complexidade construtiva, mas sim a documentação e análise crítica do *processo* de design assistido por algoritmos. Buscou-se investigar, na prática, os momentos de tensão e colaboração entre a agência humana e a automação da máquina.

É imperativo, contudo, estabelecer a delimitação técnica deste experimento. O exercício desenvolvido utilizou especificamente o módulo de *Space Planning* (Planejamento de Espaços), operando dentro das funcionalidades disponíveis no plano gratuito da plataforma. Esta escolha metodológica funciona como uma "Prova de Conceito" (*Proof of Concept*): ela isola a variável da lógica de dados e da organização espacial para testar a mitigação do "Paradoxo da Escolha" na fase de concepção, sem introduzir, nesta etapa inicial, a complexidade da programação de códigos personalizados.

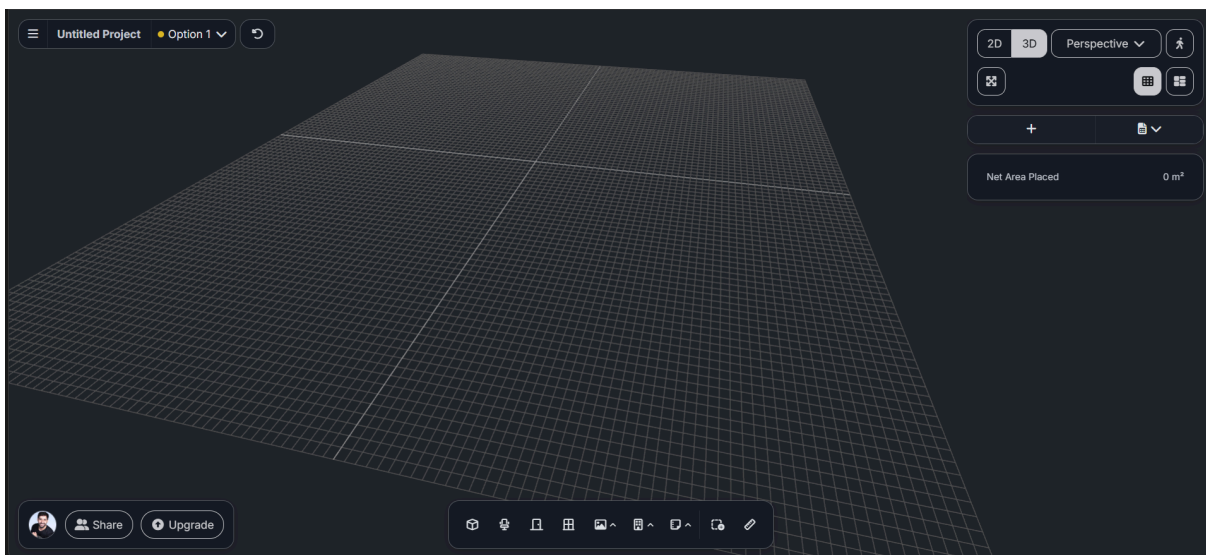
Ressalta-se, portanto, que a aplicação a seguir demonstra a acessibilidade imediata da ferramenta para a resolução de layouts e volumetrias. As limitações visuais ou de detalhamento construtivo inerentes a este módulo específico não refletem a totalidade da potência da plataforma, mas sim o recorte do experimento. O *Space Planning* atua aqui como a porta de entrada para a lógica computacional, enquanto a infraestrutura profunda de *Workflows* e *Functions* avançadas, capaz de superar estas restrições iniciais, será objeto de discussão específica na seção de resultados (Item 3.3).

3.2.1 Definição do Escopo: Parâmetros e Restrições

O processo iniciou-se com a ruptura imediata da lógica tradicional de representação. Ao acessar o ambiente de trabalho, o arquiteto depara-se não com uma prancheta

digital pronta para o desenho de linhas, mas com um vazio operante. Trata-se de uma *tabula rasa* que aguarda não traços, mas instruções lógicas (Figura 7).

Figura 7: Interface inicial vazia

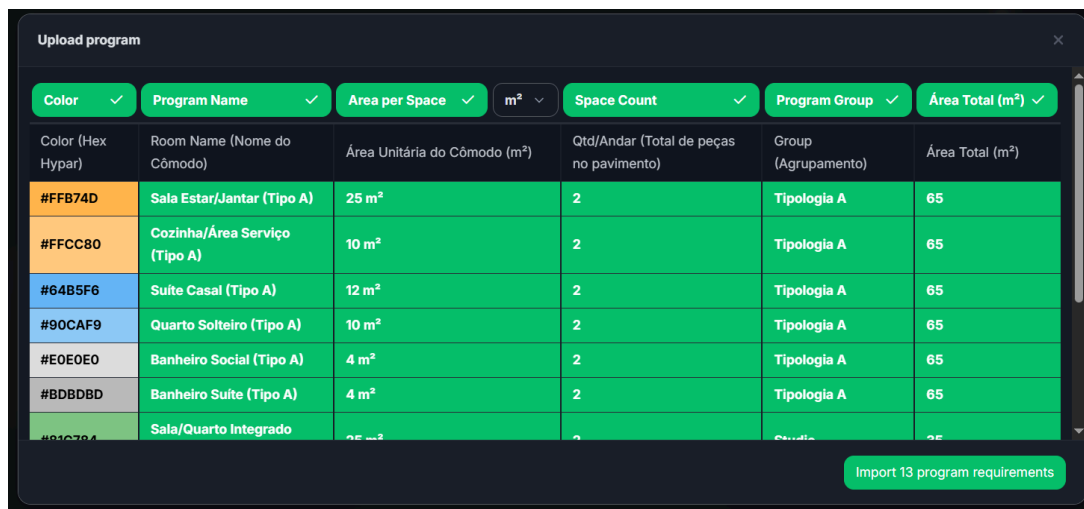


A interface inicial da plataforma HyPar.io. O ambiente de trabalho apresenta-se como um receptáculo neutro aguardando a composição de *Functions* e dados, em contraste com a tela de desenho tradicional que aguarda geometria.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Diferentemente do fluxo CAD/BIM convencional, onde a geometria precede a informação, na HyPar a informação precede a geometria. A definição do programa de necessidades foi realizada externamente, através de uma planilha estruturada (Excel) contendo os nomes dos ambientes, áreas ideais e agrupamentos tipológicos (Figura 8). Em consonância com a premissa de simbiose homem-máquina defendida nesta pesquisa, a própria estruturação desses dados operou como um microcosmo metodológico: o escopo foi desenvolvido em co-criação com ferramentas de Inteligência Artificial. Empregou-se o modelo de linguagem textual Gemini 3.0 Pro para o dimensionamento lógico e quantitativo das tipologias, enquanto o modelo de geração de imagens Nano Banana 2 (oficialmente denominado Gemini 3 Flash Image) foi utilizado para a ideação espacial esquemática da planta baixa de referência. Essa etapa demonstra a curadoria humana sobre os parâmetros antes mesmo de sua inserção no ambiente paramétrico (Figura 02).

Figura 8: Upload da tabela Excel



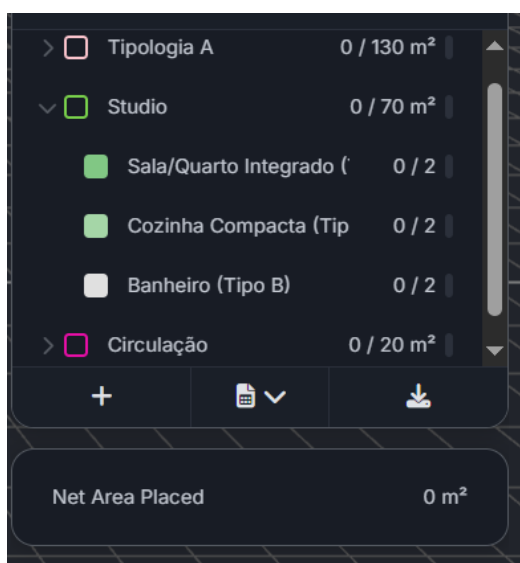
Color	Program Name	Area per Space	Space Count	Program Group	Área Total (m²)
#FFB74D	Sala Estar/Jantar (Tipo A)	25 m²	2	Tipologia A	65
#FFCC80	Cozinha/Área Serviço (Tipo A)	10 m²	2	Tipologia A	65
#64B5F6	Suite Casal (Tipo A)	12 m²	2	Tipologia A	65
#90CAF9	Quarto Solteiro (Tipo A)	10 m²	2	Tipologia A	65
#E0E0E0	Banheiro Social (Tipo A)	4 m²	2	Tipologia A	65
#BDBDBD	Banheiro Suite (Tipo A)	4 m²	2	Tipologia A	65
#81C784	Sala/Quarto Integrado	25 m²	2	Studio	70

Import 13 program requirements

Inserção de dados estruturados. O projeto nasce da definição semântica e quantitativa via planilha, estabelecendo as metas do programa antes de qualquer representação gráfica. Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Este procedimento valida a premissa de Bernstein (2022) sobre a evolução do design para um modelo orientado a dados. Ao importar estes requisitos, o sistema cria imediatamente um "inventário ativo" no menu lateral (Figura 9). Estabelece-se, desde o primeiro segundo, um sistema de metas a cumprir, indicado pelos contadores zerados (0/2 unidades). O projeto deixa de ser um exercício de desenho livre para se tornar um processo analítico de resolução de restrições.

Figura 9: Menu lateral com contadores



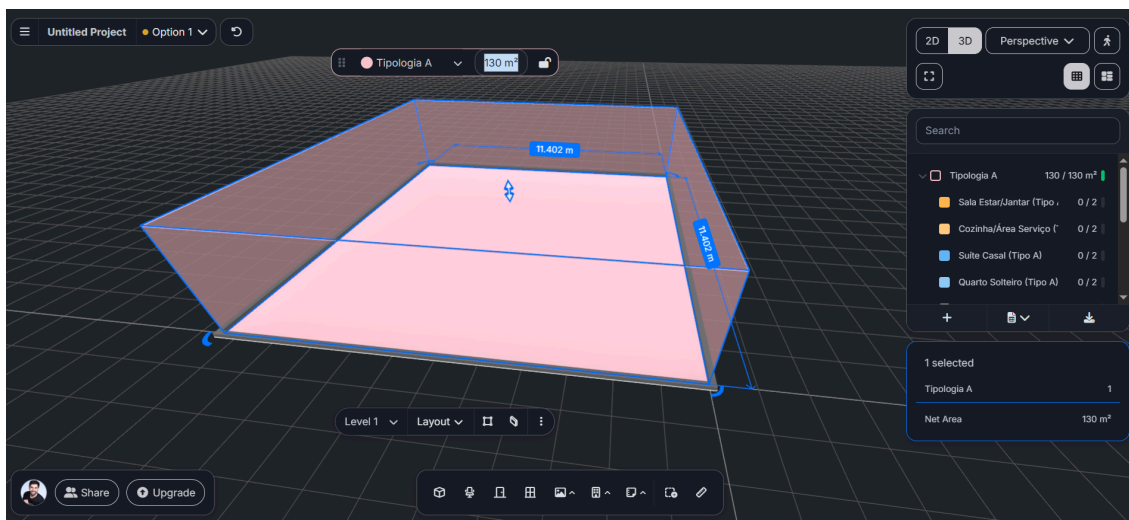
>	☐	Tipologia A	0 / 130 m²
✓	☒	Studio	0 / 70 m²
	☒	Sala/Quarto Integrado (	0 / 2
	☒	Cozinha Compacta (Tip	0 / 2
	☐	Banheiro (Tipo B)	0 / 2
>	☐	Circulação	0 / 20 m²

Net Area Placed 0 m²

O inventário ativo. A plataforma traduz a planilha em uma lista de tarefas monitorada em tempo real (ex: "0/2"), criando uma tensão projetual que exige resolução sistemática. Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A materialização desse escopo ocorre de forma automática e vinculada aos dados. O sistema processa a somatória das áreas listadas na planilha e gera um perímetro de restrição correspondente, traduzindo a abstração numérica em um volume espacial tangível (Figura 10).

Figura 10: Perímetro de uma tipologia importada



Geometria derivada de dados. O sistema calcula e materializa o perímetro necessário (130m²) baseando-se na soma aritmética dos requisitos programáticos, eliminando a desconexão entre o programa (texto) e o estudo de massa (forma).

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

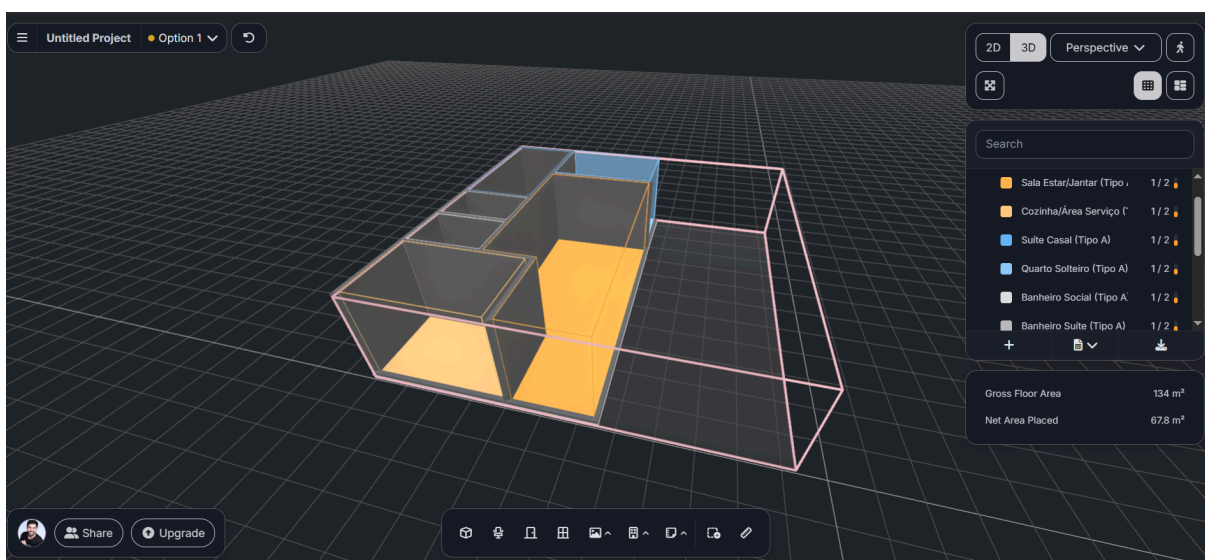
Dessa forma, a definição do escopo transcende a simples listagem de necessidades. O volume gerado atua como uma restrição ativa: ele não é apenas um desenho, mas a representação espacial da soma dos parâmetros. O arquiteto inicia o processo criativo com a garantia de que a viabilidade dimensional está assegurada, permitindo que o foco se desloque da verificação aritmética para a qualidade da composição espacial que ocorrerá dentro destes limites pré-estabelecidos.

3.2.2 A Racionalização do "Interstício de Dados" (Bernstein)

A transição da planilha para a manipulação espacial ilustra a capacidade da IA de racionalizar o "Interstício de Dados" descrito por Bernstein (2022). No método tradicional, a verificação da conformidade entre o programa desejado e o estudo de massa exigiria cálculos manuais repetitivos ou a modelagem de retângulos genéricos sem vínculo de dados. Na plataforma, essa conexão é imediata e dinâmica.

A etapa de *Space Planning* permite ao arquiteto manipular os blocos funcionais como peças de um sistema interconectado. A Figura 11 demonstra o momento de interação manual, onde o usuário posiciona os ambientes oriundos da planilha diretamente sobre o layout.

Figura 11: Blocos sendo organizados com menu lateral



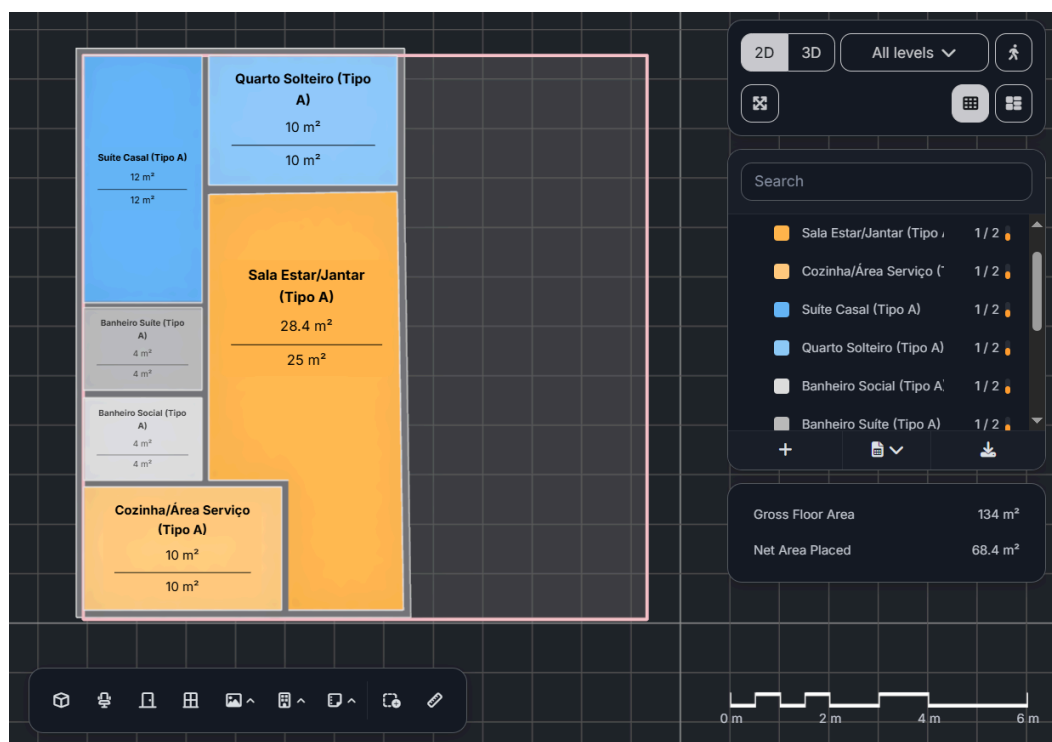
A modelagem assistida por metas. O arquiteto posiciona os blocos programáticos enquanto o menu lateral monitora o uso do "inventário" (de 0/2 para 1/2). O ícone de "cadeado" permite travar a área alvo (ex: 25m²), forçando o algoritmo a ajustar automaticamente as dimensões do cômodo para manter a metragem correta durante a manipulação da forma.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O destaque técnico desta etapa reside na funcionalidade de "travamento de restrições" (identificada pelo ícone de cadeado). Ela permite que o arquiteto fixe um parâmetro crítico, como a área, enquanto altera livremente a geometria do cômodo. O algoritmo ajusta as dimensões adjacentes em tempo real para manter a meta numérica, agindo como um parceiro colaborativo que preserva a integridade dos dados durante a exploração formal.

Essa colaboração se aprofunda na visualização bidimensional, que deixa de ser um mero desenho técnico para atuar como um painel de controle analítico (Figura 11).

Figura 11: Visão 2D com áreas sobrepostas

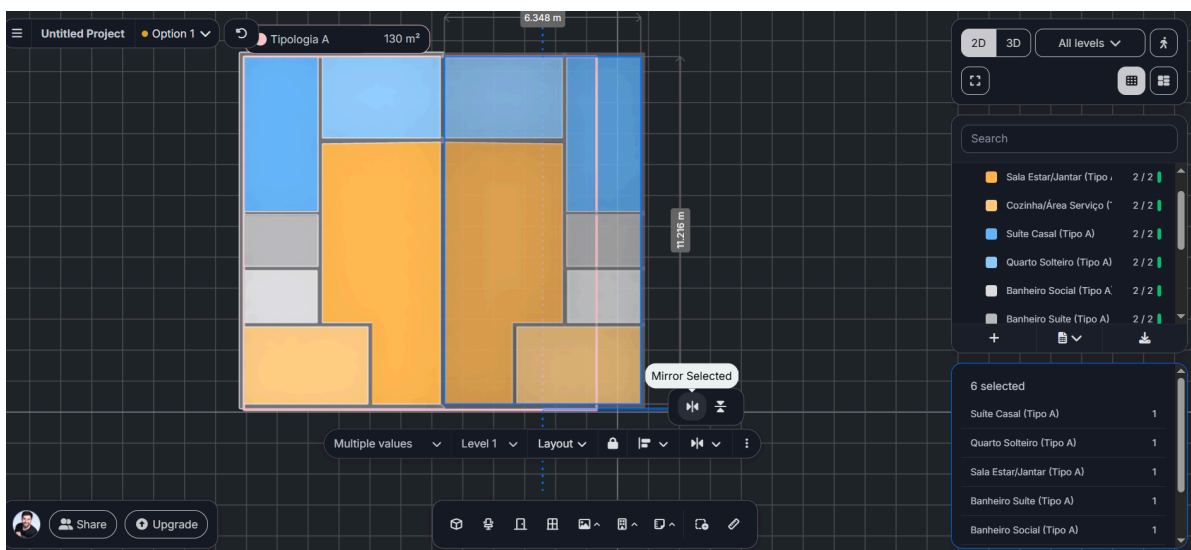


A interface de auditoria contínua. A visualização revela a discrepância entre a área programada (denominador) e a área modelada (numerador). O sistema atua como um mecanismo de feedback constante, permitindo ao arquiteto avaliar instantaneamente se suas decisões formais estão respeitando as restrições quantitativas do projeto.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A racionalização atinge seu ponto crítico na manipulação de sistemas repetitivos. No design tradicional, espelhar uma unidade habitacional envolve a duplicação geométrica de linhas e hachuras, muitas vezes dissociadas de seus metadados. Na plataforma, a operação de espelhamento (Mirror) atua sobre a lógica do agrupamento (Figura 12).

Figura 12: Cópia e espelhamento da Tipologia A



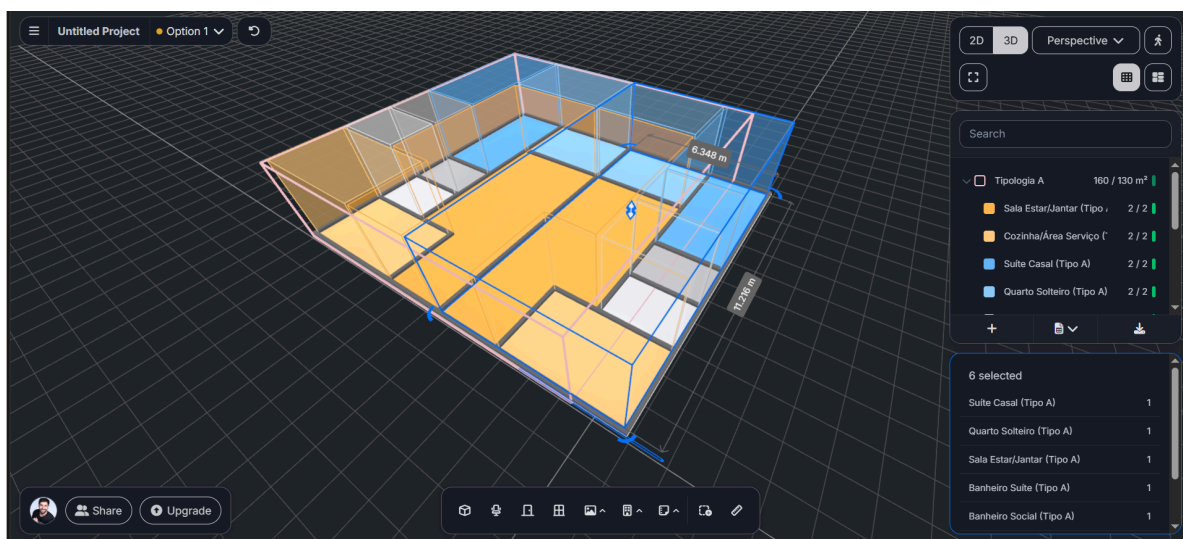
A replicação de sistemas lógicos. O comando de espelhamento não apenas duplica a geometria, mas atualiza instantaneamente o inventário de metas cumpridas no menu lateral (de 1/2 para 2/2), garantindo que a quantidade de cômodos projetados corresponda exatamente à demanda da planilha original.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Este processo evidencia a "inteligência" do sistema: ao duplicar o volume, a Hypar reconhece que a demanda programática para a "Tipologia A" foi satisfeita, atualizando os indicadores visuais para verde (concluído). O arquiteto foca na estratégia de implantação, enquanto o software gerencia a contabilidade dos espaços.

O ciclo desta primeira tipologia encerra-se com a validação volumétrica em três dimensões (Figura 13). Diferente de um modelo de "massa" estático, esta visualização representa um estado de "satisfação de restrições", onde a forma apresentada é a resultante direta das regras de área e adjacência impostas anteriormente.

Figura 13: Visualização 3D da Tipologia A completa



A consolidação volumétrica baseada em dados. Com as metas do programa atingidas (indicadores laterais preenchidos), o sistema apresenta a volumetria translúcida final da tipologia. A coincidência entre a geometria e os dados confirma a resolução do problema espacial proposto na etapa de definição de escopo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

É importante notar, contudo, a natureza esquemática desta representação. O módulo de *Space Planning*, aqui utilizado como prova de conceito, prioriza a agilidade da organização espacial e a integridade dos dados em detrimento do detalhamento construtivo realista. Esta abstração é intencional, permitindo a tomada de decisão rápida sem a sobrecarga visual de materiais ou espessuras de parede complexas nesta fase inicial.

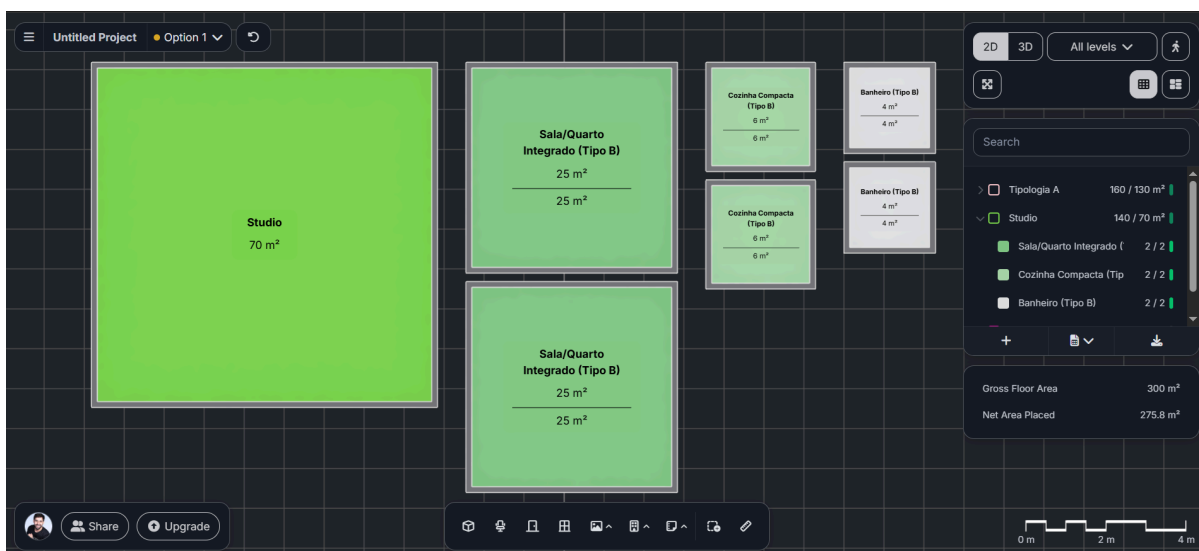
3.2.3 Rompendo a Linearidade: A "Reflexão na Ação" (Schön)

A crítica central ao Design Generativo tradicional reside na sua linearidade e rigidez. O experimento, contudo, demonstrou que a "Metamorfose Projetual" permite um fluxo não linear compatível com a "reflexão na ação" de Donald Schön (1983). Enquanto softwares convencionais exigem uma hierarquia estrita de modelagem, a plataforma mostrou-se flexível a diferentes estratégias cognitivas de projeto.

Para o desenvolvimento da Tipologia B (Studio), adotou-se deliberadamente uma abordagem metodológica distinta da anterior, que podemos classificar como "Conjunto de Peças". Em vez de construir e posicionar os ambientes sequencialmente, todos os componentes programáticos listados no Excel foram

inseridos simultaneamente na área de trabalho, gerando um inventário visual completo antes da organização espacial (Figura 14).

Figura 14: Abordagem "Conjunto de peças"

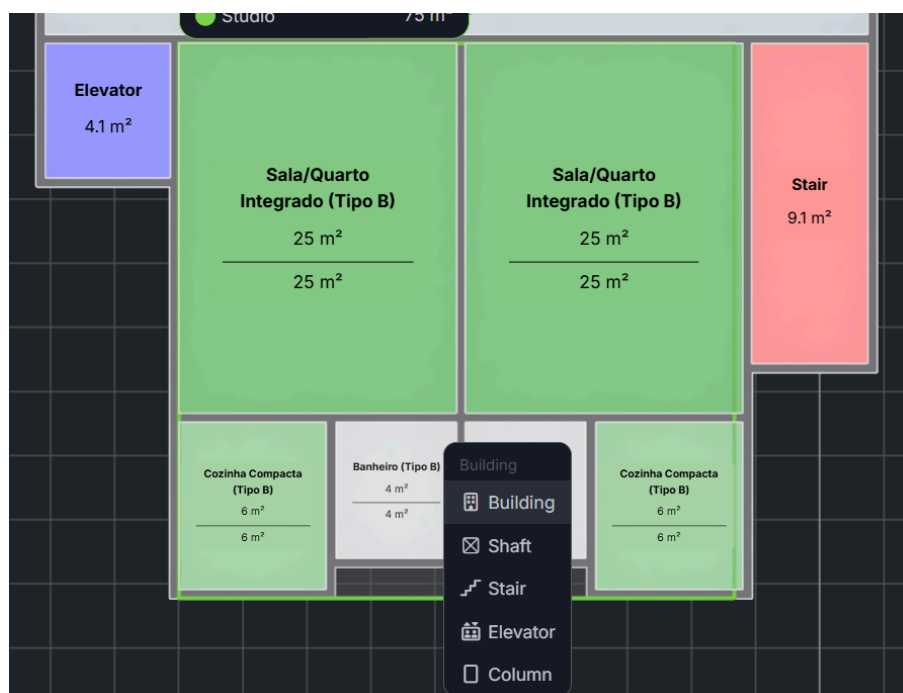


Visualização holística de todos os componentes do programa antes da organização espacial. Diferente da construção progressiva da Tipologia A, aqui o arquiteto visualiza a totalidade do problema (áreas e quantidades) como peças soltas, permitindo um planejamento estratégico do arranjo antes do encaixe.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A resolução deste "quebra-cabeça" espacial ocorre de maneira fluida. Diferente de um software BIM tradicional, onde a inserção de pilares e shafts exige a troca de ferramentas e famílias, na Hyper estes elementos de infraestrutura são integrados ao fluxo de *Space Planning*. A Figura 15 demonstra o arranjo final da Tipologia Studio, onde a organização dos blocos verdes (ambientes) convive com a definição do núcleo rígido (elevadores e shafts).

Figura 15: A integração de sistemas

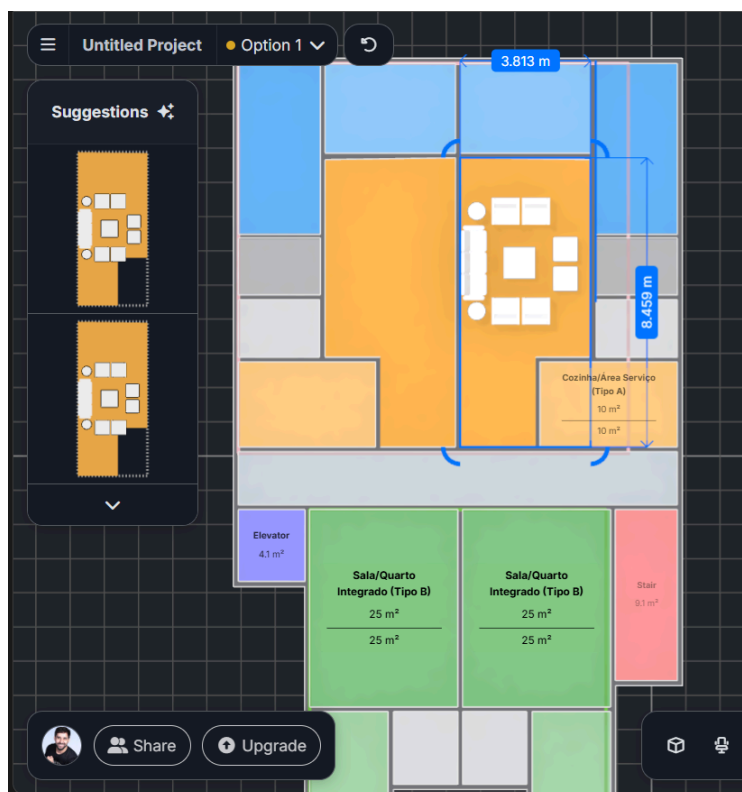


O layout da Tipologia B é resolvido através da organização das "peças" soltas. Nota-se a presença simultânea de elementos arquitetônicos (paredes/ambientes) e estruturais/infraestrutura (colunas, shafts e elevadores), demonstrando que a concepção espacial na plataforma já nasce informada pelas necessidades técnicas do edifício.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A "Reflexão na Ação" atinge seu ápice na etapa de detalhamento interno, onde a plataforma oferece uma resposta direta à crítica de Kotaira (2020) sobre o "Paradoxo da Escolha". Em vez de gerar milhares de opções aleatórias de layout, o sistema utiliza "Sugestões Contextuais". Ao selecionar um ambiente semanticamente definido (ex: "Sala de Estar"), a IA propõe um número reduzido e curado de configurações de mobiliário pertinentes àquela geometria específica (Figura 16).

Figura 16: A IA como filtro inteligente



O sistema reconhece a função do espaço e propõe layouts de mobiliário contextualizados (Sugestões), permitindo ao arquiteto escolher e refinar, em vez de criar do zero ou selecionar em uma lista infinita.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

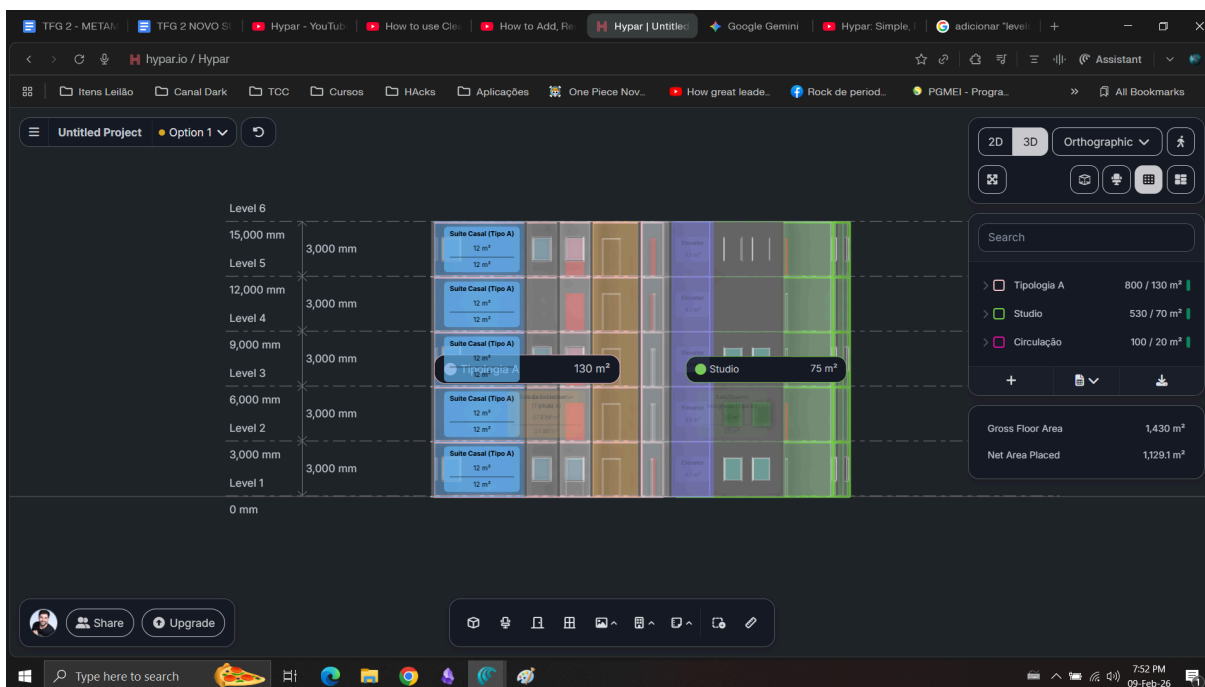
Isso demonstra que a "Inteligência Estendida" atua reduzindo o ruído, apresentando opções viáveis que respeitam as restrições impostas (o perímetro da sala, a posição das portas), permitindo que o arquiteto exerça sua agência na escolha final. O processo deixa de ser linear (gerar => escolher) para se tornar cíclico (sugerir => avaliar = ajustar), validando a hipótese de que a ferramenta pode se adaptar ao fluxo de pensamento iterativo do projetista.

3.2.4 Da Unidade ao Edifício: Escalabilidade e Análise Visual

A validação final do experimento no módulo de *Space Planning* reside na capacidade de transpor a lógica definida na escala da unidade para a escala do edifício completo. A "Metamorfose Projetual" se manifesta aqui na mudança do esforço: o arquiteto não precisa modelar cada pavimento individualmente, mas sim definir a regra de ocupação vertical.

A Figura 17 ilustra a definição de níveis (*Levels*). Ao estabelecer a repetição das tipologias resolvidas nos pavimentos superiores, a plataforma realiza a "extrusão" da inteligência projetual.

Figura 17: Escala e Verticalização

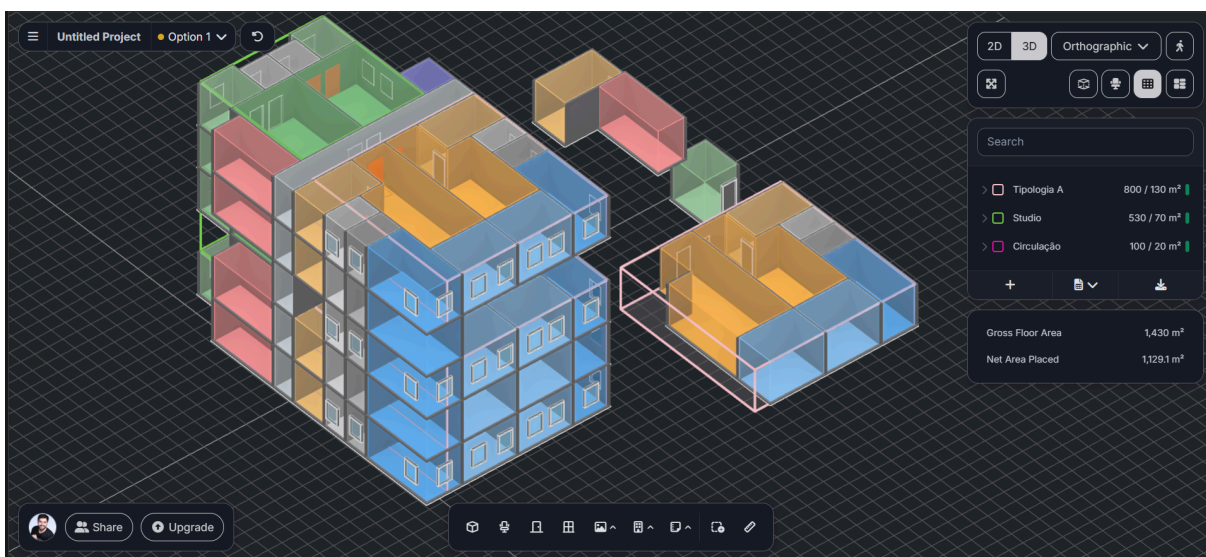


A definição de níveis permite a multiplicação vertical da lógica projetual. O sistema atualiza instantaneamente as métricas globais do edifício (*Gross Floor Area*), mantendo a consistência paramétrica entre todos os pavimentos sem a necessidade de modelagem manual repetitiva. Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Este processo comprova a escalabilidade do sistema: a gestão da complexidade de mais de 1.400 m² ocorre com a mesma fluidez da gestão de um único cômodo. Contudo, uma crítica comum à automação é a rigidez: a ideia de que, uma vez gerado o edifício, seria difícil alterar partes específicas sem quebrar o modelo todo.

O experimento refutou essa premissa através da manipulação livre de massas entre pavimentos. A Figura 18 demonstra a capacidade de mover unidades inteiras para fora do alinhamento ou entre andares, tratando o edifício não como um bloco monolítico, mas como um agregado de componentes editáveis.

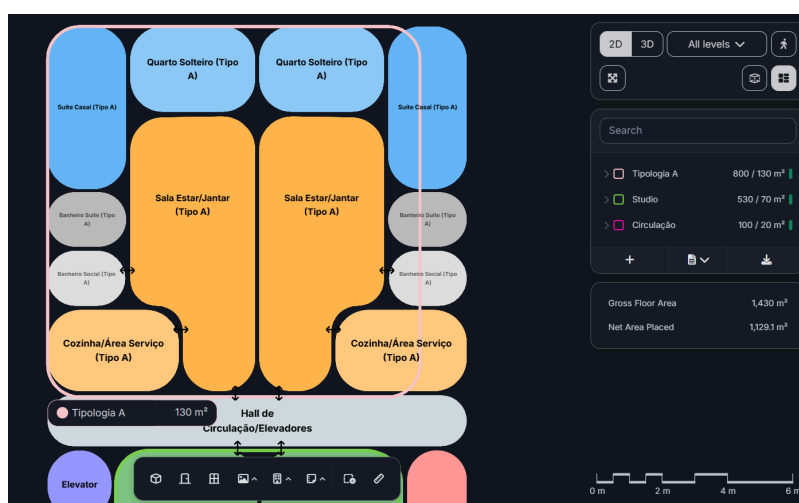
Figura 18: Agência na macroescala



A imagem demonstra a flexibilidade de manipulação do sistema, onde ambientes e tipologias inteiras podem ser arrastados entre níveis ou para fora da projeção principal. Isso prova que a verticalização automática não retira do arquiteto a liberdade de intervir na composição volumétrica global. Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A transparência do processo projetual é reforçada pela capacidade de alternar instantaneamente entre a representação material e a representação lógica. A Figura 19 apresenta o modo de visualização "Diagrama", que despe o projeto de suas paredes e lajes para revelar as conexões programáticas e as hierarquias de adjacência.

Figura 19: A abstração lógica sobreposta à forma



O modo de visualização diagramática permite ao arquiteto compreender as relações de vizinhança e a organização do partido arquitetônico sem a distração prematura dos acabamentos ou detalhes construtivos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Por fim, a integridade sistêmica do edifício gerado é verificada através da funcionalidade de "Vista Explodida" (Figura 20). Diferente de maquetes eletrônicas estáticas, este modo oferece um controle interativo sobre a densidade da informação, permitindo a dissecação tridimensional do volume para inspeção de elementos internos.

Figura 20: Dissecação do sistema construtivo



A vista explodida interativa permite a inspeção de elementos internos e a verificação da continuidade vertical dos sistemas (núcleos rígidos, escadas e *shafts*), transformando o modelo em uma ferramenta de análise diagnóstica imediata.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Em suma, a aplicação do módulo de *Space Planning* valida a primeira camada da Metamorfose Projetual: a transição do desenho manual para a gestão de regras lógicas. O experimento demonstrou que é possível gerar, organizar e auditar um edifício multifamiliar a partir de dados. No entanto, como ressaltado na delimitação do escopo, este ambiente opera com geometrias simplificadas. A superação destas

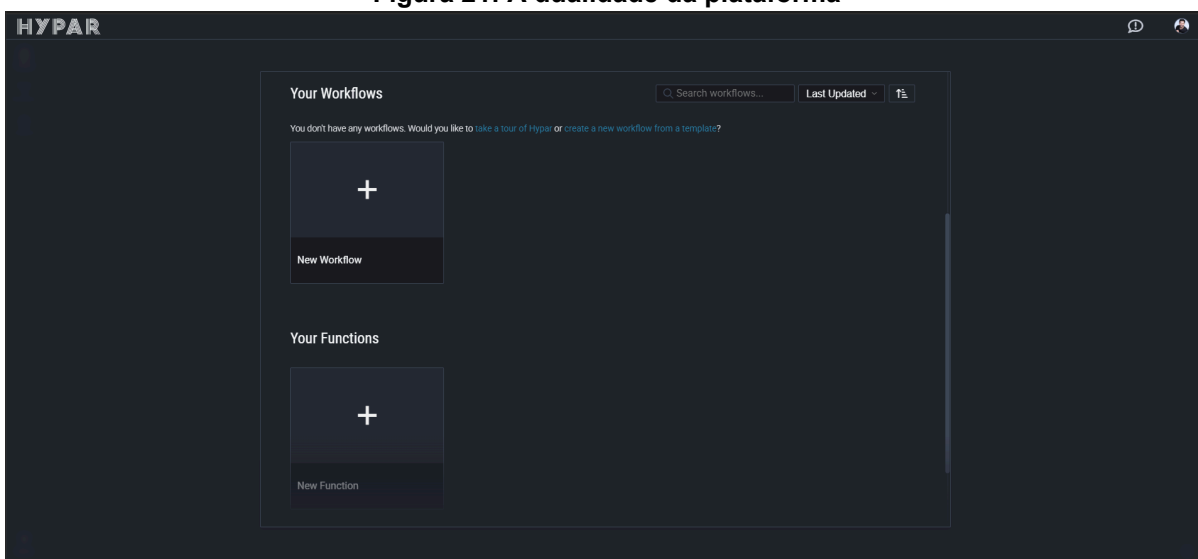
limitações visuais e o acesso à verdadeira potência computacional da plataforma, através de *Workflows* complexos e personalização de código, serão detalhados na discussão dos resultados a seguir.

3.3 Discussão dos Resultados e a Infraestrutura de Plataforma

A aplicação metodológica no módulo de *Space Planning* confirmou a primeira hipótese deste trabalho: é possível projetar arquitetura através de regras e dados, mitigando o "Paradoxo da Escolha" na fase de concepção. O experimento demonstrou que a definição de restrições numéricas (Excel) e a manipulação de volumes inteligentes (Hypar) liberam o arquiteto da tarefa repetitiva de desenho e verificação manual.

No entanto, restringir a análise da "Metamorfose Projetual" apenas a este módulo resultaria em uma visão parcial e equivocada, sugerindo que a automação na arquitetura estaria limitada a estudos de massa esquemáticos ou simplificações geométricas. O *Space Planning* constitui apenas a "interface de usuário" (UI) acessível, a ponta do iceberg de um ecossistema muito mais profundo.

A verdadeira potência da plataforma Hypar reside na sua arquitetura de sistema aberto, que permite ao arquiteto transitar de "consumidor de ferramentas" para "compositor de fluxos" ou até "criador de códigos". A tela inicial do ambiente avançado (Figura 21) evidencia essa bifurcação fundamental ao oferecer dois caminhos distintos: a criação de *Workflows* (Fluxos de Trabalho) e a criação de *Functions* (Funções).

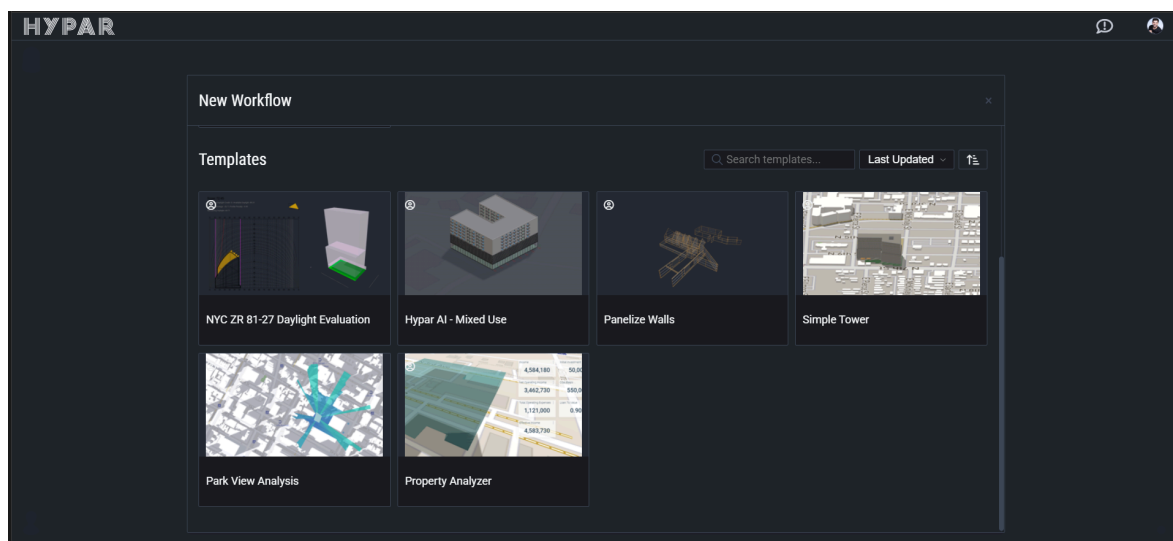
Figura 21: A dualidade da plataforma

A interface avançada revela que a Hypar não é um software monolítico, mas um ambiente de desenvolvimento. O usuário pode optar por criar um "Novo Workflow" (combinando lógicas existentes) ou uma "Nova Function" (escrevendo novas regras), demonstrando que o limite da ferramenta é a capacidade lógica do próprio arquiteto.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O experimento demonstrou que a utilização de fluxos de trabalho prontos (*Workflows*), construídos por especialistas da comunidade, permite a realização de análises complexas sem a necessidade de o arquiteto escrever uma única linha de código. A biblioteca de modelos (Figura 22) opera como uma "Inteligência Coletiva" acessível, onde a plataforma democratiza o acesso a simulações avançadas que, em métodos tradicionais, exigiriam consultores especializados e softwares caros.

Figura 22: Ecossistema de inteligência compartilhada



O catálogo de modelos revela a existência de ferramentas como *NYC Daylight Evaluation* (Análise de Luz Solar), *Property Analyzer* (Viabilidade Econômica) e *Panelize Walls* (Racionalização Construtiva). A disponibilidade destes recursos demonstra que a plataforma não está limitada ao *Space Planning*, mas funciona como um repositório de conhecimento técnico acumulado pela comunidade de usuários.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Dessa forma, a limitação visual encontrada no experimento inicial é superada pela capacidade de integrar módulos de detalhamento construtivo e desempenho ambiental. A plataforma Hypar permite ao arquiteto orquestrar a complexidade do projeto, selecionando e combinando *Functions* como peças de um quebra-cabeça lógico, garantindo que a qualidade final do edifício não dependa apenas de sua habilidade manual de representação, mas de sua competência na curadoria de sistemas inteligentes.

3.3.1 A Validação da Lógica de Dados e a Mitigação do Paradoxo da Escolha

A etapa de *Space Planning* do experimento cumpriu o papel fundamental de validar a premissa de que a arquitetura pode ser derivada de regras lógicas, e não apenas de intuição gráfica. A operação bem-sucedida de importação de dados via planilha (Excel) e a consequente geração automática da volumetria confirmaram a tese de Bernstein (2022) sobre a necessidade de superar o "Interstício de Dados". O sistema preencheu a lacuna entre a definição abstrata do programa e a sua representação

física, eliminando o erro humano de cálculo e garantindo que cada metro quadrado modelado estivesse lastreado em uma demanda prévia.

Mais do que apenas eficiência aritmética, este processo ofereceu uma resposta técnica ao "Paradoxo da Escolha" apontado por Kotaira (2020). Em ferramentas de Design Generativo de primeira geração, o arquiteto era frequentemente inundado por milhares de iterações sem critério, o que gerava paralisia decisória. No experimento realizado, a plataforma Hypar inverteu essa lógica: ao invés de gerar infinitas opções aleatórias, o sistema utilizou as restrições impostas (o perímetro da sala, a área alvo, as conexões obrigatórias) para filtrar as possibilidades.

A funcionalidade de "Sugestões Contextuais" (evidenciada anteriormente na Figura 16) exemplifica essa inversão. Ao restringir as opções de mobiliário apenas àquelas geometricamente viáveis dentro do perímetro gerado, a ferramenta agiu como um filtro redutor de complexidade. A "Inteligência Estendida" não subtraiu a agência do arquiteto; pelo contrário, ela a qualificou. Ao remover o ruído de soluções impossíveis, permitiu que a decisão final fosse tomada com base em critérios subjetivos e estéticos, e não na exaustão por tentativa e erro.

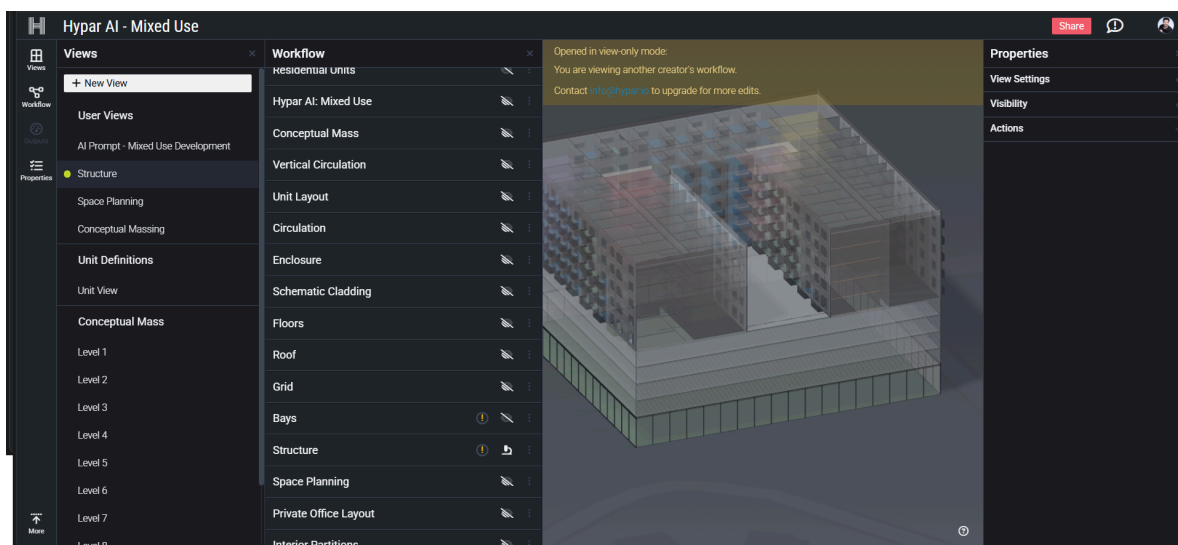
Conclui-se, portanto, que a lógica de dados operou como um suporte à criatividade, e não como um entrave. O sistema provou ser capaz de absorver a carga cognitiva das tarefas repetitivas (cálculo de áreas, contagem de unidades, verificação de interferências básicas), liberando o projetista para atuar no nível estratégico da composição. A validação desta etapa no módulo *Space Planning* é o alicerce que sustenta a transição para escalas mais complexas, onde a simples organização espacial não é mais suficiente e exige-se a integração de múltiplos sistemas construtivos.

3.3.2 Além do Space Planning: Gestão da Complexidade Multidisciplinar

Embora a etapa de *Space Planning* tenha validado a lógica de dados para a organização interna, a arquitetura de um edifício transcende a simples alocação de áreas úteis. A prática projetual exige a coordenação simultânea de sistemas estruturais, estratégias de vedação, malhas construtivas e instalações prediais. É neste ponto que a limitação do experimento inicial se dissolve ao analisarmos a infraestrutura completa de *Workflows* da plataforma.

A transição de um "planejador de espaços" para um "gerenciador de edifício" fica evidente ao observarmos fluxos de trabalho mais robustos, como o modelo de uso misto (*Mixed Use*). A Figura 23 demonstra que, ao contrário da lista simplificada de ambientes do experimento anterior, um *Workflow* avançado gerencia uma árvore hierárquica de sistemas interdependentes.

Figura 23: A complexidade sistêmica gerenciada



A interface do *Workflow* "Mixed Use" revela, na barra lateral esquerda, a integração de múltiplas disciplinas que operam simultaneamente: *Grid* (Malha), *Structure* (Estrutura), *Facade* (Fachada) e *MEP* (Instalações). Diferente do *Space Planning* isolado, este ambiente simula a interoperabilidade de um projeto executivo, onde a alteração na massa impacta imediatamente o cálculo estrutural e a modulação da fachada.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A gestão simultânea destes sistemas confirma que a plataforma opera sob uma lógica paramétrica avançada. Ao alterar a volumetria principal do edifício neste ambiente integrado, o algoritmo recalcula automaticamente a distribuição dos pilares (sistema estrutural), ajusta a modulação dos painéis (sistema de fachada) e reconfigura as prumadas verticais (MEP). O que antes exigiria a coordenação manual de três ou quatro profissionais distintos e a atualização de diversos arquivos desconectados, ocorre aqui em tempo real.

Essa capacidade de propagação da informação responde diretamente ao desafio da "Interoperabilidade de Dados" (Bernstein, 2022). A HyPar elimina os silos disciplinares, transformando o projeto em um organismo vivo onde a decisão arquitetônica (forma) e a resposta de engenharia (desempenho) estão intrinsecamente vinculadas. O experimento com o *Workflow* de uso misto comprova

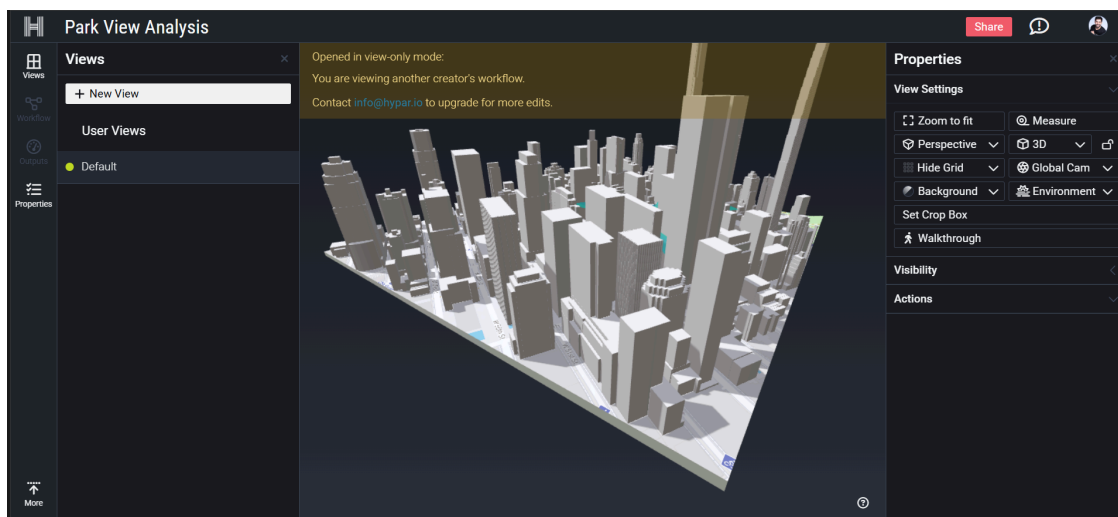
que a ferramenta não serve apenas para gerar estudos preliminares rápidos, mas possui a robustez necessária para sustentar o desenvolvimento técnico de projetos complexos, garantindo que a integridade da informação seja preservada do conceito à execução.

3.3.3 Da Edificação à Cidade: Análise de Desempenho e Contexto Urbano

A validação da plataforma se estende para além das paredes do edifício, alcançando a escala urbana e a análise de desempenho ambiental. Enquanto o módulo de *Space Planning* operou em um "vazio teórico", a prática arquitetônica real exige a resposta a um entorno físico preexistente. A Hypar demonstra essa capacidade de contextualização através da integração nativa com dados geoespaciais e da execução de simulações de impacto.

A Figura 24 ilustra a aplicação do *Workflow* de "Análise de Vista de Parque" (*Park View Analysis*), onde o edifício proposto não é mais um objeto isolado, mas uma inserção em uma malha urbana densa. O sistema importa automaticamente a volumetria do entorno (provavelmente via OpenStreetMap ou bases similares) e calcula, em tempo real, métricas qualitativas intangíveis, como a porcentagem de visibilidade para áreas verdes ou a incidência de sombra nas edificações vizinhas.

Figura 24: Contextualização e análise ambiental



O *Workflow* apresenta o edifício inserido em seu tecido urbano real. A ferramenta realiza a análise de desempenho visual (vistas privilegiadas) considerando a obstrução causada pelas torres vizinhas, demonstrando que a plataforma escala do design de interiores para o planejamento urbano sem ruptura no fluxo de dados.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Essa funcionalidade desloca o eixo de decisão projetual. Ao invés de confiar apenas na intuição sobre "qual é a melhor vista", o arquiteto dispõe de métricas quantitativas precisas para justificar a rotação de uma torre ou a abertura de uma fachada. A análise de desempenho deixa de ser uma etapa tardia de consultoria para se tornar um direcionador inicial da forma.

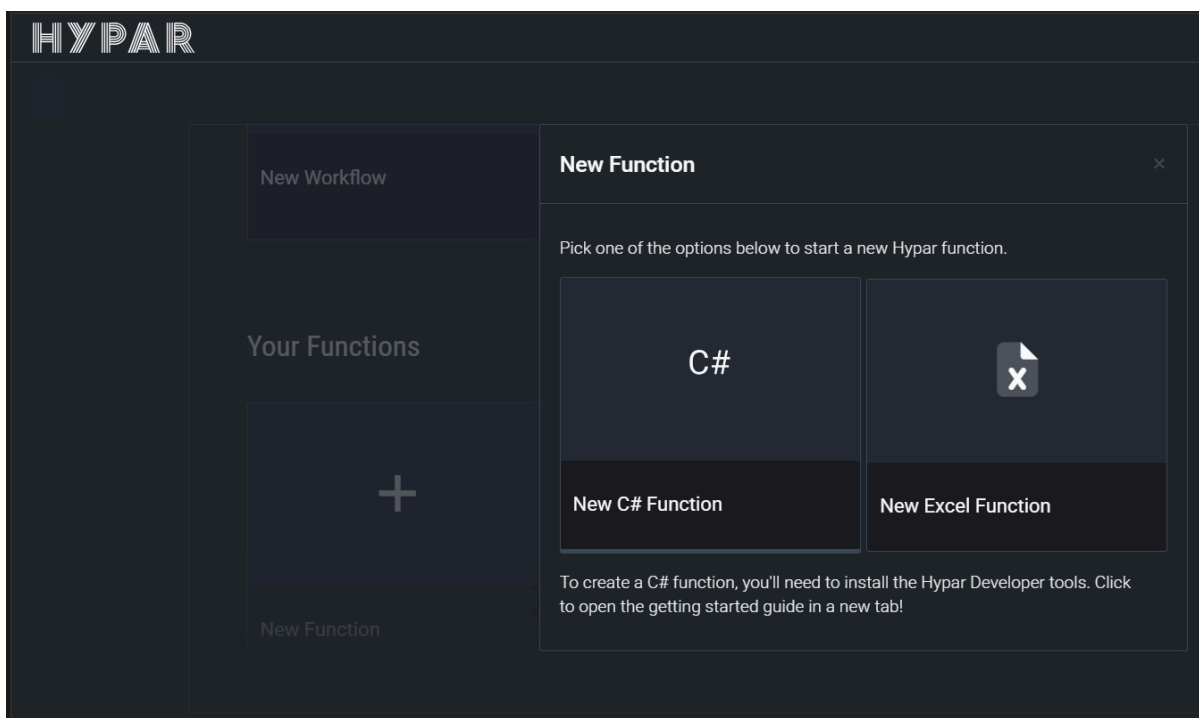
Dessa maneira, a plataforma instrumentaliza o conceito de design baseado em evidências. A capacidade de testar cenários urbanos complexos em segundos, algo inviável no método manual, permite que a arquitetura responda de forma mais eficiente e sustentável às pressões do adensamento das cidades, validando a hipótese de que a automação amplia a responsabilidade cívica e técnica do projetista.

3.3.4 A Agência Extrema: Da "Caixa Preta" à "Caixa Aberta"

A discussão sobre a potência da plataforma estaria incompleta sem abordar a sua característica mais disruptiva, que é a capacidade de criação de novas ferramentas. Enquanto softwares BIM tradicionais operam frequentemente como "Jardins Murados", limitando o usuário às funcionalidades que a fabricante decidiu incluir na versão anual, a Hypar se apresenta como um compilador de lógica aberto.

Isso significa que, se a função necessária para um problema específico não existe na biblioteca pública, o arquiteto possui a agência técnica para criá-la. A Figura 25 materializa essa liberdade radical ao oferecer a opção de iniciar uma nova função a partir do zero, seja através de planilhas complexas ou, mais significativamente, através da linguagem de programação C#.

Figura 25: A interface de criação de *Functions*



A opção "New C# Function" convida o arquiteto a deixar de ser apenas um operador de interface gráfica para se tornar um autor de lógicas arquitetônicas, rompendo definitivamente com a dependência de atualizações de software de terceiros.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Essa funcionalidade permite a nacionalização e a personalização absoluta da tecnologia. Enquanto softwares globais dificilmente incorporam particularidades de legislações locais (como uma regra específica de recuo de uma prefeitura brasileira ou uma norma da ABNT), a arquitetura aberta da Hypar permite que o próprio escritório codifique essas regras. O "Código Técnico" de Feenberg (1999) deixa de ser uma imposição externa e opaca para se tornar uma construção democrática e transparente do próprio projetista.

Conclui-se, assim, que a verdadeira revolução não está na automação do desenho, mas na apropriação dos meios de produção da ferramenta. Ao transitar do *Space Planning* (consumo) para os *Workflows* (composição) e finalmente para as *Functions* (criação), o arquiteto completa sua metamorfose. Ao assumir o domínio sobre a lógica que estrutura o projeto, para além da simples manipulação da geometria, ele deixa de ser refém das limitações do software para se tornar o autor de suas próprias soluções, garantindo que a tecnologia sirva ao projeto, e não o contrário.

4 CONCLUSÃO: A METAMORFOSE PROJETUAL EM CURSO

O percurso traçado por esta investigação buscou iluminar uma das transformações mais significativas na prática da arquitetura contemporânea, que é a transição do paradigma do desenho manual para a lógica da modelagem baseada em dados e algoritmos. Diante da crescente complexidade das demandas urbanas e da saturação cognitiva imposta pelo volume de informações, a hipótese central deste trabalho sugeriu que a incorporação de ferramentas de Design Generativo e Inteligência Artificial não representaria o fim da autoria humana, mas a sua reconfiguração.

Ao longo dos capítulos teóricos, identificou-se que o "Paradoxo da Escolha" e o "Paradoxo da Origem" atuavam como barreiras epistemológicas, paralisando o processo criativo diante de infinitas possibilidades ou da "folha em branco". O experimento prático realizado na plataforma Hypar serviu, portanto, como um laboratório controlado para testar se a tecnologia atual já oferece meios para superar esses entraves. O que se observou não foi apenas a automação de tarefas repetitivas, mas evidências claras de uma "Metamorfose Projetual" onde o arquiteto deixa de ser um operador de geometria para se tornar um orquestrador de restrições e objetivos.

A validação empírica demonstrou que a inserção de parâmetros lógicos e restrições numéricas desde o início do processo atua como um catalisador, e não como um inibidor da criação. Ao delegar à máquina a tarefa de verificar áreas, organizar adjacências e sugerir layouts contextuais, o arquiteto recupera a capacidade cognitiva necessária para decisões de maior complexidade e impacto. Mais do que uma ferramenta de produtividade, a plataforma revelou-se um ambiente de colaboração onde a "inteligência estendida" mitiga as limitações da memória e do processamento humano.

Contudo, é fundamental não confundir a acessibilidade do módulo de teste com a totalidade do novo paradigma. A verdadeira revolução observada não reside apenas na facilidade de gerar formas, mas na infraestrutura de "Caixa Aberta" que permite a personalização profunda através da programação. As seções a seguir sintetizam os aprendizados deste percurso, ponderando tanto as potências disruptivas quanto as

barreiras técnicas que se impõem, a fim de desenhar um panorama realista sobre o futuro da profissão diante desta nova fronteira tecnológica.

4.1 Síntese da Validação: A Superação do Desenho Manual

A aplicação metodológica desenvolvida neste trabalho confirmou a hipótese de que a arquitetura contemporânea pode transitar, de forma efetiva, de uma disciplina baseada na intuição gráfica para uma prática fundamentada na gestão de dados e regras lógicas. O experimento demonstrou que a "Metamorfose Projetual" não é uma abstração teórica, mas uma realidade operacional viável. Ao substituir o ato de desenhar linhas vetoriais pela definição de parâmetros numéricos e restrições espaciais, o arquiteto superou as barreiras iniciais da concepção, validando o modelo de Design Generativo como uma resposta robusta à complexidade projetual.

A superação do "Paradoxo da Origem" evidenciou-se no momento em que a *tabula rasa* do ambiente digital foi preenchida não por um esboço aleatório, mas pela materialização direta do programa de necessidades importado via planilha. Este procedimento comprovou que a estruturação prévia da informação atua como um lastro para a forma, eliminando a arbitrariedade do "papel em branco". O projeto deixou de ser uma busca incerta por uma geometria agradável para se tornar a resolução sistemática de uma equação espacial, onde cada volume gerado respondia a uma demanda específica e quantificável.

Simultaneamente, o experimento ofereceu uma resposta pragmática ao "Paradoxo da Escolha". Ao invés de paralisar o projetista com milhares de variações aleatórias sem critério, a ferramenta atuou como um filtro inteligente, apresentando apenas sugestões de layout que respeitam as restrições geométricas e funcionais predefinidas. A lógica computacional transformou a abundância de dados em clareza decisória, permitindo que a seleção final fosse pautada pela qualidade arquitetônica e não pela exaustão cognitiva da tentativa e erro.

Conclui-se, assim, que a validação não se restringiu à eficiência operacional, mas atingiu a própria natureza da atividade projetual. O arquiteto foi liberado das tarefas de verificação aritmética e desenho repetitivo para assumir a função de orquestrador de sistemas. A "Metamorfose Projetual", portanto, confirma-se como uma evolução necessária. Ao deixar de desenhar cada parede manualmente para gerenciar a

lógica que as constrói, o profissional ganha a agilidade e a precisão indispensáveis para enfrentar a escala e a complexidade dos desafios contemporâneos.

4.2 Crítica à Ferramenta: Potencialidades vs. Barreiras Técnicas

Apesar dos resultados promissores, é imperativo manter um distanciamento crítico em relação à plataforma para não incorrer em um determinismo tecnológico ingênuo. A ferramenta apresenta uma dualidade marcante entre a promessa de democratização da alta tecnologia e a realidade das barreiras de entrada. Por um lado, o ecossistema de fluxos de trabalho compartilhados cumpre a função de nivelar o campo de atuação profissional. Através dele, pequenos escritórios e profissionais autônomos passam a ter acesso a simulações de desempenho ambiental, análise estrutural e viabilidade econômica que, tradicionalmente, estariam restritas a grandes firmas com orçamento para softwares proprietários caros e consultores especializados.

Entretanto, o experimento revelou um abismo significativo entre a facilidade de uso do módulo de planejamento espacial e a complexidade exigida para a criação de soluções personalizadas. Enquanto a interface de usuário para organização de layouts é intuitiva e acessível, a verdadeira potência da plataforma, que reside na programação via C#, exige, *no atual estágio tecnológico*, um letramento em sintaxe estrita de programação. que ainda não faz parte da formação padrão do arquiteto. Existe, portanto, o risco de que a ferramenta crie duas classes de profissionais: os "criadores", capazes de moldar a tecnologia às suas necessidades, e os "operadores", limitados a consumir as funções pré-existentes na biblioteca.

Essa disparidade técnica alerta para o perigo da "comoditização" da arquitetura. Se os profissionais se limitarem a utilizar apenas as funções pré-fabricadas sem o devido senso crítico ou capacidade de personalização, corre-se o risco de uma homogeneização global das soluções projetuais. A facilidade de gerar edifícios complexos com poucos cliques pode, paradoxalmente, levar a uma arquitetura genérica, onde a especificidade do lugar e da cultura é substituída pela eficiência estéril de um algoritmo padrão. A ferramenta, portanto, não é uma "bala de prata" que resolve automaticamente a qualidade do design, mas um amplificador que tanto pode escalar a excelência quanto replicar a mediocridade.

Conclui-se que a Hypar é disruptiva, mas sua efetividade depende intrinsecamente da agência do arquiteto. A plataforma exige uma nova postura profissional que combine a sensibilidade estética com a lógica computacional. Sem essa competência híbrida, o arquiteto corre o risco de se tornar obsoleto diante da máquina ou, pior, um mero operador de modelos prontos. A "Metamorfose Projetual", nesse sentido, não é apenas uma mudança de software, mas uma exigência de evolução intelectual para evitar que a facilidade técnica se transforme em estagnação criativa.

4.3 A Redefinição do Papel: Do Autor ao Orquestrador

A transformação impulsionada pela plataforma Hypar e tecnologias similares não aponta para o desaparecimento do arquiteto, mas para uma redefinição radical de sua identidade profissional. O mito do "autor-demiurgo", que concebe a forma final em um esboço solitário de inspiração, cede lugar à figura do "arquiteto-orquestrador". Neste novo paradigma, a competência central da profissão desloca-se da habilidade manual de representação gráfica para a capacidade intelectual de curadoria de sistemas lógicos.

Essa mudança de papel recupera a dimensão política e social da técnica proposta por Feenberg (1999). Ao assumir a função de mediador entre a complexidade dos dados urbanos, as restrições normativas e as demandas do cliente, o projetista deixa de ser um mero desenhista de superfícies para se tornar um gestor de "códigos técnicos". A agência humana não é suprimida pela máquina, mas elevada a um nível superior de abstração, onde a decisão projetual não se dá mais sobre a linha que se desenha, mas sobre a regra que a gera.

Essa nova configuração profissional exige que a competência técnica se expanda para além da geometria descritiva e alcance o pensamento computacional. O valor do arquiteto deixa de residir na repetição manual de soluções conhecidas para se concentrar na formulação precisa das perguntas que o sistema deve responder. A "Metamorfose Projetual", portanto, não é a substituição do humano pelo algoritmo, mas a integração de ambos em um processo simbiótico.

Conclui-se, assim, que a sobrevivência e a relevância da profissão dependem da capacidade de abraçar essa complexidade sistêmica. A intencionalidade, a ética e a

sensibilidade cultural permanecem como territórios exclusivamente humanos, irreduzíveis à lógica binária. Ao delegar a execução técnica à máquina, o arquiteto ganha a liberdade e a responsabilidade de se dedicar integralmente à qualidade da experiência humana no espaço construído, reafirmando seu papel social como o intérprete das necessidades da cidade, e não apenas como o desenhista de seus edifícios.

4.4 Horizontes em Aberto: O Início de uma Era, Não o Fim da História

A investigação aqui concluída não encerra um ciclo, mas inaugura uma fronteira. A "Metamorfose Projetual" documentada neste trabalho sugere que a arquitetura está, finalmente, transpondo o limiar de sua própria revolução digital, abandonando a metáfora da prancheta eletrônica para abraçar a lógica da computação em nuvem. A plataforma Hypar, mais do que um produto de software, deve ser compreendida como um manifesto tecnológico. Ela prova que a era dos arquivos pesados, confinados em desktops isolados e em formatos proprietários intransponíveis, está com os dias contados.

O experimento demonstrou que a inteligência do projeto não precisa residir na geometria estática de um modelo BIM tradicional, mas na fluidez dos algoritmos que o geram. Estamos, possivelmente, diante do "marco de ruptura" da indústria da construção civil, onde a internet deixa de ser apenas um repositório de visualização para se tornar o próprio motor de processamento da arquitetura. A validação da geração de edifícios complexos via navegador web desmistifica a necessidade de hardware proibitivo e aponta para um futuro de colaboração assíncrona, global e massiva.

Contudo, a promessa de liberdade traz consigo o desafio da adaptação. O futuro da profissão dependerá, em grande medida, da capacidade dos arquitetos de transcender a condição de meros consumidores de funcionalidades pré-fabricadas. A "Caixa Aberta" oferecida pela plataforma representa um convite irrecusável para que a classe retome o controle sobre suas ferramentas de trabalho, evitando a dependência de softwares que operam como "caixas pretas" insondáveis.

Mais promissor ainda é vislumbrar que a própria barreira técnica para assumir esse controle está sendo dissolvida em tempo real. O que até pouco tempo atrás era

projetado como um futuro distante tornou-se a realidade operacional de hoje. A emergência de ferramentas baseadas em inteligência artificial generativa, como *Lovable*, *Claude Code*, *Google Antigravity* e *Google Opal*, demonstra que a capacidade de criar sistemas complexos e aplicações funcionais não exige mais o domínio de sintaxes de código, mas apenas a precisão da linguagem natural.

Neste cenário imediato, a exigência de conhecimento em linguagens de programação para a personalização profunda tende a se tornar obsoleta. A arquitetura caminha para um momento de autonomia técnica absoluta, onde trabalhos de desenvolvimento de software que demandam meses de equipes multidisciplinares passam a estar ao alcance de uma única pessoa em questão de horas. A "Metamorfose Projetual" atinge aqui seu ápice: o projetista descreve a lógica da ferramenta desejada e a inteligência artificial se encarrega de escrever o código, democratizando radicalmente a inovação tecnológica.

Essa nova capacidade impõe uma reflexão crítica sobre a sustentabilidade das plataformas tecnológicas atuais. À medida que o arquiteto adquire autonomia para desenvolver suas próprias soluções sob medida via *prompts*, o modelo de negócios baseado na venda de softwares rígidos e generalistas tende ao colapso. As "caixas pretas" perdem seu valor diante da especificidade e agilidade das ferramentas criadas pelos próprios usuários. Neste contexto, a arquitetura de "ecossistema aberto" da Hypar revela-se uma estratégia de resiliência. Ao posicionar-se como a infraestrutura onde diferentes lógicas criadas por usuários podem coexistir e interoperar, a plataforma garante sua relevância como um *hub* colaborativo, blindando-se contra a obsolescência.

Paralelamente, a evolução vertiginosa das ferramentas de geração de imagem (como Midjourney, Nano Banana e seus sucessores) não deve ser vista como uma via separada, mas como um recurso complementar. Enquanto a "alucinação de máquina" desbloqueia a exploração visual e estética sem precedentes, plataformas baseadas em lógica estruturada, como a Hypar, permanecem indispensáveis para traduzir essas visões oníricas em realidade construtível. O futuro aponta para a convergência: onde a imagem inspira o código, e o código racionaliza a imagem, fechando o ciclo entre o desejo formal e a viabilidade técnica.

Assim, o trabalho encerra-se não com uma previsão determinista, mas com um chamado à ação. A autonomia técnica absoluta oferece a infraestrutura para uma arquitetura mais ágil, democrática e precisa, mas ela permanece muda sobre o sentido da edificação. Enquanto o algoritmo resolve o "como" construímos, a resposta ao "porquê" construímos continua sendo uma prerrogativa intransferível da nossa espécie. A "Metamorfose Projetual" é, portanto, o convite para que o arquiteto deixe de lutar contra a complexidade do mundo contemporâneo e passe a orquestrá-la, garantindo que, na era da inteligência artificial, a lógica do código sirva sempre à *qualificação do espaço habitado e da experiência humana*, e nunca o contrário.

REFERÊNCIAS

AEC+TECH. Top Generative Design Tools for AEC: How Far Have They Come?. **aec+tech**, 15 jul. 2025. Disponível em: <https://www.aecplustech.com/blog/top-generative-design-tools-aec-how-far-have-the-y-come>. Acesso em: 6 ago. 2025.

ALEXANDER, Christopher. **Notes on the synthesis of form**. Cambridge: Harvard University Press, 1964.

ALEXANDER, Christopher et al. **A pattern language: towns, buildings, construction**. New York: Oxford University Press, 1977.

BERNSTEIN, Phil. **Machine Learning: Architecture in the age of Artificial Intelligence**. London: RIBA Publishing, 2022.

BIM PURE. Inside Hypar 2.0: The Future of Space Planning?. **BIM Pure**, 11 dez. 2024. Disponível em: <https://www.bimpure.com/blog/inside-hypar-2-the-future-of-space-planning>. Acesso em: 6 ago. 2025.

BUILDING VENTURES. Our Founding Investment in Hypar. **Building Ventures**, 8 abr. 2019. Disponível em: <https://buildingventures.com/investments/our-founding-investment-in-hypar/>. Acesso em: 6 ago. 2025.

CARPO, Mario. **The alphabet and the algorithm**. Cambridge, MA: The MIT Press, 2011.

CARPO, Mario. **The second digital turn: design beyond intelligence**. Cambridge: MIT Press, 2017.

CROSS, Nigel. **Designerly Ways of Knowing**. London: Springer, 2006.

DARKO, Amos et al. Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. **Automation in Construction**, v. 112, 103081, 2020.

DAY, Martyn. Hypar.io - design by algorithms. **AEC Magazine**, 21 fev. 2019. Disponível em: <https://aecmag.com/technology/hypar-io/>. Acesso em: 30 jul. 2025.

DAY, Martyn. Hypar: text-to-BIM and beyond. **AEC Magazine**, 21 mar. 2023. Disponível em: <https://aecmag.com/ai/hypar-text-to-bim-and-beyond/>. Acesso em: 30 jul. 2025.

EL MOUSSAOUI, Mustapha. Architectural practice process and artificial intelligence – an evolving practice. **Open Engineering**, v. 15, 20240098, 2025.

FEENBERG, Andrew. Ten Paradoxes of Technology. **Techné: Research in Philosophy and Technology**, v. 14, n. 1, p. 3-15, 2010.

HASSEN, Mohammed Zeinu. The Paradox of Choice: The Intersection of Freedom and Anxiety. **International Journal of Philosophy**, v. 12, n. 4, p. 75-83, 2024.

HEGAZY, Muhammad; SALEH, Ahmed Mohamed. Evolution of AI role in architectural design: between parametric exploration and machine hallucination. **MSA Engineering Journal**, v. 2, n. 2, 2023.

HEUMANN, Andrew; DAVIS, Daniel. Humanizing architectural automation: a case study in office layouts. In: DESIGN MODELLING SYMPOSIUM BERLIN 2019. Berlin: Springer, 2019. p. 662-670.

HEUMANN, Andrew. Hypar Sessions: Andrew Heumann on Automation. [S.l.]: Hypar, 19 maio 2025. 1 vídeo (6 min 54 s). Publicado pelo canal Hypar. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=UWZ73GROUMk>. Acesso em: 25 nov. 2025.

HYPAR. Add/Remove Overrides. **Hypar Documentation**, [s.d.]. Disponível em: <https://docs.hypar.io/addremove-overrides-2067437d62c44270a291a21e834c6338>. Acesso em: 6 ago. 2025.

HYPAR-IO. Elements: The smallest useful BIM. GitHub, 2025. Repositório de software. Disponível em: <https://github.com/hypar-io/Elements>. Acesso em: 30 jul. 2025.

JIN, Shitao et al. Enhancing Architectural Education through Artificial Intelligence: A Case Study of an AI-Assisted Architectural Programming and Design Course. **Buildings**, v. 14, n. 6, p. 1613, 2024.

KOTAIRA, Keila. Generative Design em Projetos de Edifícios: O Paradoxo da Escolha. **Innovation & Technological Development**, v. 1, n. 2, 2020.

LEACH, Neil; YUAN, Philip F. Introduction. In: YUAN, Philip F. et al. (ed.). **Architectural Intelligence: Selected Papers from the 1st International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication (CDRF 2019)**. Singapore: Springer, 2020. p. 3-11.

LUKOVICH, Tamas. Artificial intelligence and architecture: towards a new paradigm. **Ybl Journal of Built Environment**, v. 8, n. 1, p. 32-44, 2023.

MATTER, Nermen M.; GADO, Nevine G. Artificial Intelligence in Architecture: Integration into Architectural Design Process. **Engineering Research Journal**, v. 181, p. A1-A16, mar. 2024.

NEGROPONTE, Nicholas. **The architecture machine: toward a more human environment**. Cambridge: MIT Press, 1970.

PICON, Antoine. What About Humans? Artificial Intelligence in Architecture. In: YUAN, Philip F. et al. (ed.). **Architectural Intelligence: Selected Papers from the 1st International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication (CDRF 2019)**. Singapore: Springer, 2020. p. 15-30.

QUESADA, Christian Jhulian Braga. **Inteligência Artificial: a relevância para a Arquitetura**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024.

RAISTO-ROBLEDO, Anthony. The New Hypar Platform—Soon Offering the AEC Industry Scalable Computation. **Architosh**, [S.l.], 6 jan. 2019. Disponível em: <https://architosh.com/2019/01/the-new-hypar-platform-soon-offering-the-aec-industry-scalable-computation/>. Acesso em: 07 jan. 2025.

ROBERTSON, B. F.; RADCLIFFE, D. F. Impact of CAD tools on creative problem solving in engineering design. **Computer-Aided Design**, v. 41, n. 3, p. 136-146, 2009.

SCHÖN, Donald A. **The reflective practitioner: how professionals think in action**. New York: Basic Books, 1983.

SCHWARTZ, Barry. **The Paradox of Choice: Why More Is Less**. New York: Ecco, 2004.

SERRANO SALA, Juan José. **Architectural Design, BIM, and Artificial Intelligence: A Review of Rule-Based and Machine Learning Applications**. Tese (Mestrado em Ciência) - Graduate College, University of Oklahoma, Norman, 2025.

DECLARAÇÃO DE IAGEN E TECNOLOGIAS ASSISTIDAS POR IAGEN NO PROCESSO DE ESCRITA CIENTÍFICA

Eu, Kleber José Moreira Junior, estudante do curso de Arquitetura e Urbanismo, declaro que no processo de elaboração deste Trabalho Final de Graduação, foram utilizadas ferramentas de Inteligência Artificial Generativa (IAGen) como recurso auxiliar à escrita, organização e revisão textual. Especificamente, fez-se uso do Gemini (Gemini 3.0), para apoiar as seguintes atividades:

- Organização e estruturação de capítulos e seções do trabalho;
- Reformulação e adequação linguística de trechos previamente redigidos pelo autor;
- Sugestões de coesão e coerência textual;
- Apoio na sistematização de ideias e argumentos apresentados ao longo do texto;
- Ajustes de linguagem para alinhar o trabalho ao objetivo final de estabelecer diretrizes.

É importante ressaltar que todo o conteúdo conceitual, analítico e decisório apresentado neste trabalho, incluindo a definição do tema, problematização, escolhas metodológicas, interpretação dos dados, elaboração das diretrizes e redação final, são de autoria exclusiva do discente. A IAGen foi utilizada apenas como ferramenta de apoio à escrita e à organização textual, sem substituir o julgamento crítico, a fundamentação teórica ou as decisões acadêmicas do autor.