Industrialização, Digitalização, Desempenho

5º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção e 5º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos

FLORIANÓPOLIS-SC | 20 a 22 de agosto

[1]DESIGN GENERATIVO APLICADO À CONCEPÇÃO DE PROJETOS DE ARQUITETURA: ANÁLISE DE ADESÃO NO MERCADO IMOBILIÁRIO BRASILEIRO.

Generative Design applied on Architectural Designs: an analysis of adoption in Brazilian real estate market.

Fernanda Rafael de Souza Cruz
Universidade de São Paulo | São Paulo, São Paulo | fernanda.cruz05@usp.br

Sérgio Leal Ferreira
Universidade de São Paulo | São Paulo, São Paulo | sergio.leal@usp.br

RESUMO

Nas últimas décadas percebe-se um grande avanço da digitalização no setor da arquitetura, engenharia e construção (AEC) no Brasil e no mundo. Os primeiros softwares CAD (Desenho/Projeto Assistido por Computador) trouxeram diversas vantagens, como o ganho de tempo e a facilidade em alterar e explorar variações de um mesmo desenho, sem precisar recomeçar a partir de uma nova folha de papel em branco. Mais adiante surgiu a modelagem paramétrica, na qual se destaca o BIM, trazendo novas ferramentas para representar os componentes reais da construção e permitindo a inclusão de informações que podem permear todo o ciclo de vida da edificação. Atualmente, nos deparamos com a popularização de novas possibilidades para o aumento de produtividade, otimização de recursos e automatização de tarefas, através do emprego de tecnologias como a Inteligência Artificial, Aprendizado de Máquina, entre outros recursos computacionais voltados para usuários com diferentes níveis de conhecimento em programação. Neste contexto, este artigo busca investigar a aplicação do Design Generativo no processo de concepção de projetos de Arquitetura, mais especificamente no Estudo de Viabilidade de empreendimentos residenciais multifamiliares verticais, identificando algumas plataformas e softwares disponíveis e a sua adoção no mercado imobiliário brasileiro.

Palavras-chave: Design Generativo, Arquitetura, Estudo de Viabilidade, BIM.

ABSTRACT

In the last decades it has been noticed a significant advance in digitalization of Architecture, Engineering and Construction (AEC) sector in Brazil and around the world. The first CAD (Computer Aided Design) software brought several advantages, such as saving time and making it easier to change and explore variations of a design without the need to start over from a new blank paper. Later, parametric modeling emerged, with BIM standing out, bringing new tools to represent the real components of construction and allowing the inclusion of information that can permeate through the building's whole lifecycle. Currently, we are facing the popularization of new possibilities to increase productivity, optimize resources and automate tasks, due to new technologies, such as Artificial Intelligence, Machine Learning, among others computational resources aimed at users with different levels of programming skills. In this context, this article pursues the investigation of Generative Design application in Architectural Design conception, more specifically in the Pre-Design phase of vertical multifamily residential developments, identifying some available platforms and software and their adoption in the Brazilian real estate market.

Keywords: *Generative Design, Architecture, Conceptual Design, BIM.*

1 INTRODUÇÃO

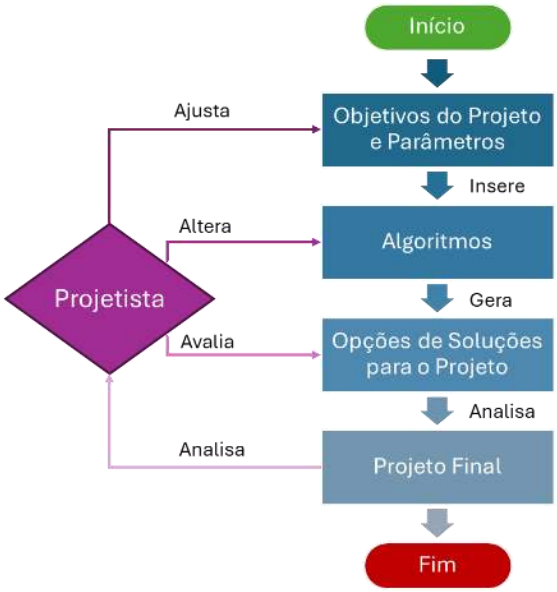
O design generativo (DG) tem origem nas décadas de 1960 e 1970, quando pesquisadores e engenheiros começaram a explorar o uso de computadores em processos de design (CHEW et al.,2024). Em meados da década de 1970, Mitchell descreveu sistemas de DG (1975) como dispositivos capazes de gerar soluções potenciais para um determinado problema (CAETANO, SANTOS, LEITÃO, 2020), frequentemente fundamentados em árvores de decisão e sistemas baseados em regras (BORDAS et al., 2024). No entanto, foi a partir da década de 1990, com o avanço das tecnologias CAD (Computer Aided Design - Desenho/Projeto Assistido por Computador) e de modelagem, que o DG realmente voltou a ser estudado e experimentado na arquitetura (CAETANO, SANTOS e LEITÃO, 2020).

O DG é um processo de design iterativo orientado por regras, que se baseia em modelagem algorítmica e paramétrica para explorar, iterar e otimizar automaticamente as possibilidades de design, definindo restrições e metas de alto nível (MA et al., 2021). De acordo com Chew (2024), o desenvolvimento de um algoritmo DG pode ser dividido em 3 subprocessos: (1) A estruturação do esquema do algoritmo, ou seja, uma rotina constituída por uma sequência de ações que tem como objetivo representar o processo de projeto realizado

[1]CRUZ, F. R. S.; FERREIRA, S. L. Design Generativo Aplicado à Concepção de Projetos de Arquitetura: análise de adesão no mercado imobiliário brasileiro. In: 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2025, Florianópolis. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2025.

de forma manual para solucionar um dado problema; (2) A definição das variáveis dentro do esquema criado e suas variações aceitas e (3) Um meio de determinar os resultados preferidos a partir da definição de critérios claros que permitem pontuar esses resultados ranqueando-os e classificando-os em melhores ou piores de acordo com os critérios estabelecidos. A Figura representa o processo de utilização do DG dentro do desenvolvimento de um projeto.

Figura 1 – Processo de utilização de um algoritmo de Design Generativo

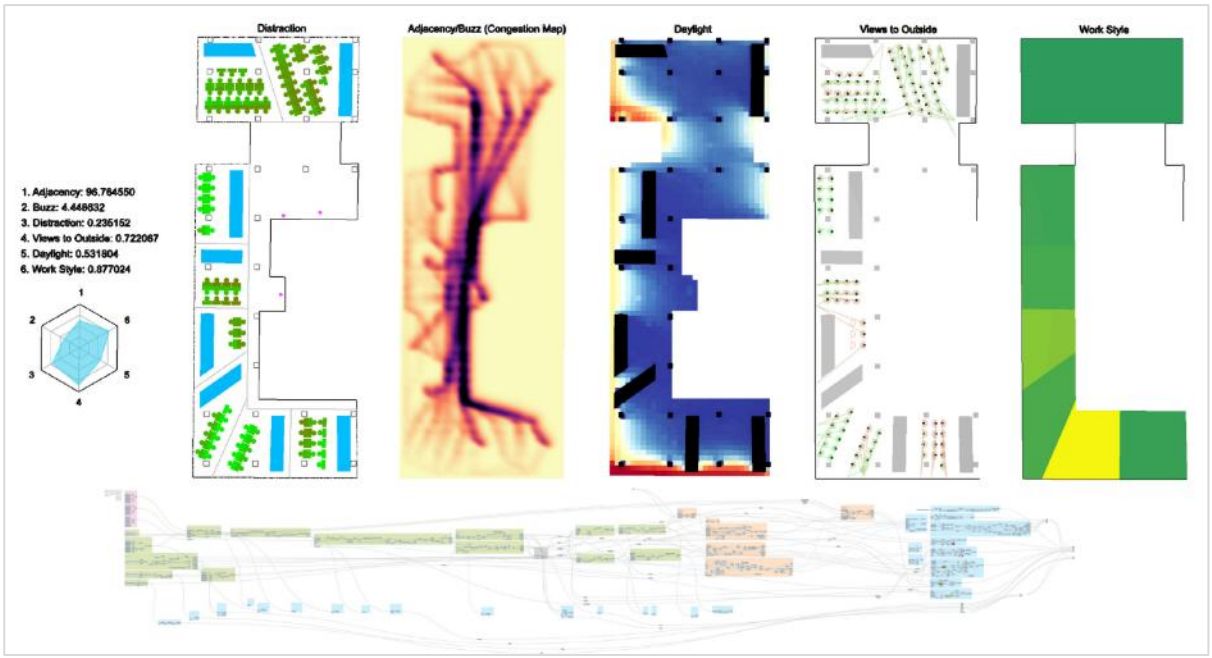


Fonte: Autores adaptado de CHEW et al. (2024)

Singh e Gu (2012) identificaram e analisaram 5 técnicas de DG que podem ser aplicadas à concepção de projetos de Arquitetura: autômatos celulares, algoritmos genéticos, sistemas L, gramática de forma e inteligência de enxame. Em seu artigo, propõem um modelo composto para um sistema de DG que integre essas diferentes técnicas com modelos de avaliação das soluções geradas, de forma iterativa, onde o usuário possa combiná-las ao longo do processo, entendendo o melhor momento para trocar de técnica, o que é similar ao processo cognitivo humano que nem sempre é linear, em especial durante a concepção de um projeto ou produto. Esse sistema proposto, assim como uma sessão de brainstorm, forneceria gatilhos aos projetistas. Estes seriam colocados como peça central, não apenas no desenvolvimento do projeto, mas também como desenvolvedores de ferramentas, uma vez que contribuirão para a base de conhecimento do sistema, à medida que interagem e usam o DG proposto.

Jaisawal e Agrawal (2021) reconhecem a potencialidade de aplicação dos métodos de DG nas fases iniciais de concepção de projetos no âmbito de produtos industriais e de engenharia. Quando desenvolvidos com métodos tradicionais de desenho, estes projetos consomem muito tempo e não permitem a exploração de todas as variações de formas. A aplicação do DG na construção Civil é um tema crescente nos últimos 10 anos. Chew (2024) identificou a publicação de 85 artigos na última década sobre avanços e implicações do DG no ambiente construído demonstrando a relevância do tema não apenas em pesquisas acadêmicas, mas em aplicações práticas, como o projeto do layout do escritório da Autodesk em Toronto, que foi projetado com a utilização de um algoritmo genético multiobjetivo (MOGA). Este algoritmo representado na Figura auxiliou os projetistas ao encontrar as melhores opções dentre as 10.000 geradas, considerando 6 critérios: (1) agrupamento de membros da mesma equipe, (2) melhor localização para cada equipe de acordo com as suas preferências de luz e níveis de barulho, (3) maximização dos espaços compartilhados, (4) minimização das distrações visuais e sonoras, (5) aproveitamento da luz natural e (6) vistas para o exterior. Souza (2021) e NAGY et al. (2017).

Figura 2 - Proposta de Layout para o escritório da Autodesk de Toronto, simulações, análise de critérios e algoritmo



Fonte: NAGY, Danil et al (2019)

1.1 Conhecimento e utilização do design generativo no Brasil

No Brasil, de acordo com as pesquisas realizadas pelo BIM Fórum Brasil em conjunto com o CAU, CREA e CONFEA sobre a Digitalização no Âmbito da Industria da Construção, apesar de crescer o número de profissionais que conhecem o DG, de 49,8% em 2022, para 53,9% em 2024, a utilização do DG pelos profissionais da construção civil ainda é inferior a 10%. Com relação ao Projeto Assistido por Inteligência Artificial, apesar de mais da metade dos participantes terem algum conhecimento sobre o tema (53,9%), os usuários desta tecnologia não passam de 6%. Já a Modelagem Paramétrica, mesmo sendo conhecida por quase 80% dos participantes, apenas 29,2% alegam utilizá-la. Por sua vez, o conhecimento de CAD (Desenho Assistido por Computador) abrange quase 98,8% dos participantes, destes 78,2% alegam conhecê-lo à nível de usuário.

2 METODOLOGIA

2.1 Análise de plataformas e softwares

Em primeiro lugar foi realizado um levantamento sobre os softwares que utilizam DG aplicado à concepção de projetos de Arquitetura, através de consultas em sites e blogs como o Archidaily e o SPBIM que publicam artigos relacionados à arquitetura e tecnologia na construção civil, respectivamente. Na sequência as opções encontradas foram analisadas a partir da descrição do próprio desenvolvedor e de vídeos de divulgação disponíveis para averiguar as funcionalidades principais, identificando aqueles que poderiam ser utilizados para a concepção de Estudos de Viabilidade (EV) de empreendimentos residenciais.

As ferramentas elencadas foram: Place, Ark Design, Architectures, Testfit, Arqgen, Autodesk Forma e Autodesk Dynamo para Revit. Todas essas foram testadas utilizando projetos já desenvolvidos para averiguar os resultados obtidos pelas ferramentas comparando com os resultados obtidos pelo processo tradicional de projeto, apenas o Arqgen e o Dynamo não foram testados desta forma, o Arqgen foi avaliado por meio da apresentação do próprio desenvolvedor através de uma reunião presencial, na qual ele demonstrou o funcionamento de algumas soluções desenvolvidas para outros clientes do mercado imobiliário. O Dynamo por sua vez, foi testado com a criação de um algoritmo simplificado que tinha como objetivo buscar a melhor opção de arranjo para um apartamento com uma sala, uma cozinha, dois dormitórios e um banheiro.

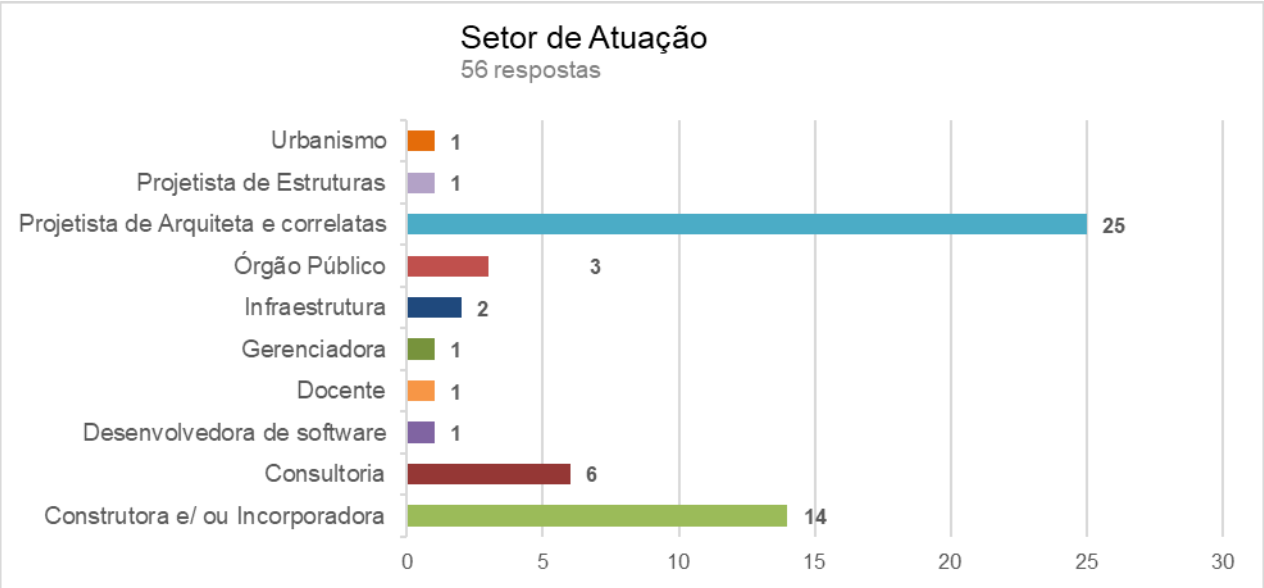
Também foram identificadas o Grasshoper e o Generative Components que são softwares de programação

visual que assim como o Dynamo podem ser utilizados em conjunto com outros softwares de modelagem BIM para criar algoritmos específicos, mas devido a semelhança e maior familiaridade dos autores com o Dynamo, optou-se por não testar apenas o Dynamo, uma vez que o aprendizado desses softwares requer um tempo considerável.

2.2 Pesquisa sobre conhecimento e utilização de ferramentas de DG

Após a análise das plataformas on-line e softwares, foi desenvolvido um questionário on-line através do google forms com perguntas sobre o conhecimento e utilização do DG e das plataformas e softwares analisados e os motivos da não utilização destas ferramentas. Esse questionário foi distribuído entre profissionais do setor da construção civil e obteve 56 respostas válidas, em sua maioria por projetistas de Arquitetura e representantes do mercado imobiliário, conforme pode ser observado no gráfico da Figura Figura . Os resultados deste questionário serão apresentados no final deste artigo.

Figura 3 - Setor de atuação dos participantes da pesquisa



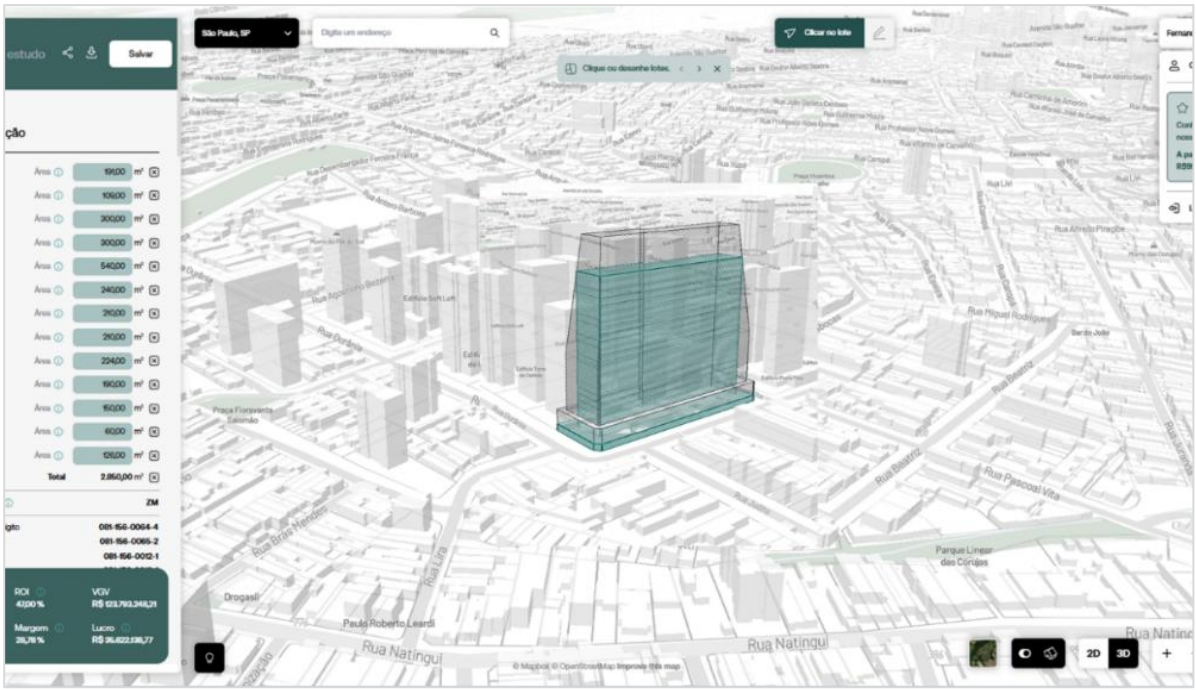
Fonte: Autores

3 ANÁLISE DE FERRAMENTAS EXISTENTES

3.1 Place

O Place é uma plataforma nacional que concentra diferentes bases de dados urbanos das cidades de São Paulo (SP), Recife (PE), Porto Alegre (RS), Novo Hamburgo (RS) e São Leopoldo (RS) e tem como objetivo possibilitar realização do EV de empreendimentos imobiliários através da análise do potencial construtivo, limitações volumétricas e a viabilidade econômica, gerando uma volumetria resultante do maior aproveitamento de área dentro das limitações legais, como pode ser observado na Figura 1 além de outros dados importantes para essa etapa.

Figura 1 – Estudo de Empreendimento fictício desenvolvido na plataforma Place



Fonte: Autores

Aplicações e funcionalidades:

- Busca de potenciais terrenos utilizando filtros para encontrar lotes com características específicas como metragem e alturas mínima e/ou máxima das edificações existentes;

- Análise de potenciais terrenos a partir dos seguintes dados disponíveis no banco da plataforma:

    - Legislação: zoneamentos e alterações com datas e nº das leis, quadras com quebra de gabarito permitido, vilas, ruas sem saída, operações urbanas, projetos de intervenção urbana, macro áreas e setores;

    - Socio demografia: densidade demográfica, de domicílios e a média de moradores em domicílios particulares ocupados;

    - Meio ambiente: áreas inundáveis, contaminadas, reabilitadas, de proteção e risco geológico;

    - Cultura: bens de interesse arqueológico e tombados, envoltório CONDEPHAAT, CONPRESP e IPHAN, ocorrência arqueológica, sítio arqueológico e área de interesse paisagístico;

    - Espaço aéreo: helipontos;

    - Meio físico: curvas de nível;

    - Mercado imobiliário: informações como valor de venda por m² ou por unidade, tipologias, número de unidades, solo disponível, entre outros dados referentes aos últimos lançamentos do entorno em estudo. Neste recurso as bases de dados são disponibilizadas por parceiros através de assinaturas, apenas algumas não possuem custo adicional.

- Simulação de EV financeira para incorporação de novos empreendimentos, baseado em dados financeiros do mercado imobiliário que geram estimativas de custos a partir das informações de intenções numéricas como coeficiente de aproveitamento, eficiência, uso de fachada ativa e não residencial, áreas não computáveis, privativas, uso de outorga onerosa, que auxiliam no cálculo do potencial construtivo do terreno;

- Simulação de estudo volumétrico a partir do potencial construtivo do terreno, pré-calculado em conjunto com a inserção do gabarito máximo, recuo frontal e número de pavimentos pretendidos, geram um “envelope” de restrição volumétrica e uma possível geometria, conforme os parâmetros pré-estabelecidos pelo usuário;

- Gerenciamento dos estudos desenvolvidos na plataforma, contando com os dados principais do negócio. Permite o compartilhamento dessas informações com equipes e o acompanhamento do status do empreendimento, que pode estar em análise, em negociação, no “landback” (banco de terrenos), em projeto, em lançamento, em obra ou que foi descartado;

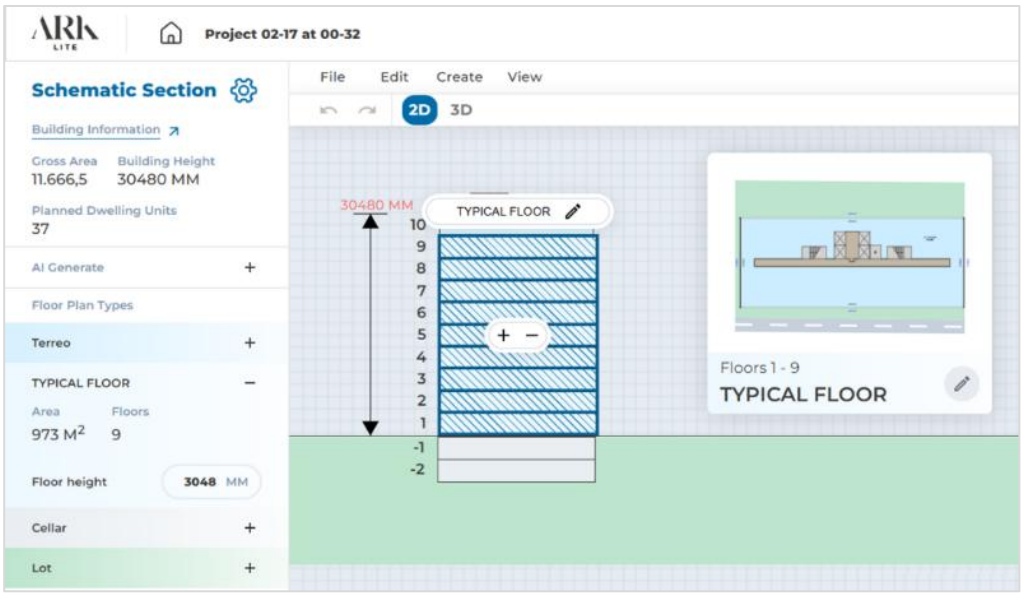
- Dúvidas de legislação utilizando inteligência artificial, alimentada com as leis, decretos e instruções normativas atualizadas;

- Checagem de conformidade do projeto com a legislação vigente que pode ser feita a partir da inserção de documentos PDFs que devem ser mapeados pelo usuário, com a identificação das “manchas” de área construída, permeável e outros parâmetros exigidos para aprovação dos projetos. Também é possível fazer essa checagem a partir de modelos BIM em formato IFC.

3.2 Ark Design

O Ark Design é uma plataforma americana que utiliza o DG com inteligência artificial na concepção de empreendimentos verticais de uso residencial ou misto através da concepção de um estudo volumétrico, com o auxílio de cortes e plantas esquemáticas definidos pelo usuário, que por sua vez consegue extrair algumas informações numéricas deste estudo, como pode ser observado na Figura .

Figura 5 - Estudo de Empreendimento fictício desenvolvido na plataforma Ark



Fonte: Autores

Aplicações e funcionalidades:

Concepção de projetos esquemáticos com plantas e modelos tridimensionais de empreendimentos residenciais passando pelas seguintes etapas:

- Configuração do sistema de unidades (imperial ou métrico), determinação do número de pavimentos, altura máxima do edifício e do embasamento;

- Definição da ocupação do lote, partindo inicialmente da escolha de umas das 3 tipologias (interno à quadra, lote de esquina e lote com 2 esquinas);

- Definição da geometria do pavimento tipo podendo ser retangular, em L ou U e o dimensionamento

dos recuos;

- Escolha de uma das opções geradas neste momento apenas com foco na distribuição da circulação horizontal e vertical, incluindo a especificação das quantidades de escadas e elevadores;

- Edição das plantas dos pavimentos, modificando o posicionamento de escadas, elevadores, corredores, depósitos e suas aberturas e a definição do uso das áreas privativas podendo escolher entre comercial, residencial, educacional, hospitalar, religioso ou de estacionamento;

- Definição da quantidade ou porcentagem das tipologias de cada modelo de unidade, restrições de largura e profundidade mínimas para as unidades habitacionais, assim como a área mínima e o valor do m² estimado para cada tipologia. A plataforma gera uma planta baixa com as unidades distribuídas de modo a utilizar toda a área privativa, adaptando, se necessário, as metragens e garantindo aberturas na fachada para todas as unidades.

- Análise dos seguintes resultados:

    - Quadro resumo com a soma das áreas por tipologia e porcentagem com relação à área privativa total do pavimento, área real, valor por m² e valor total para cada unidade;

    - Quadro completo, incluindo as áreas computáveis, não computáveis e a eficiência;

    - Modelo tridimensional gerado com a volumetria resultante.

- Ajustes nas plantas geradas, movendo ou eliminando paredes. Também é possível criar pavimentos de uso misto, determinando a setorização de cada uso podendo ser especificados em subcategorias como depósitos, áreas técnicas e outros;

- Exportação de relatório PDF contendo a vista tridimensional, o corte esquemático e as plantas de cada tipo de pavimento e os quadros de áreas gerados na concepção deste projeto esquemático.

3.3 Architectures

O Architectures (Figura) é uma plataforma espanhola que utiliza DG alimentado por Inteligência Artificial na concepção de empreendimentos verticais de uso residencial a partir da inserção das principais informações sobre o programa de necessidades do empreendimento. Isto inclui desde objetivos como área total construída, quantidade, variedade e percentual de distribuição das tipologias de unidades habitacionais, até requisitos mínimos das unidades e seus ambientes.

Figura 6 - Estudo de Empreendimento fictício desenvolvido na plataforma Architectures



Fonte: Autores

Aplicações e funcionalidades:

- Geração de plantas baixas e modelos tridimensionais de empreendimentos residenciais, a partir dos seguintes requisitos e restrições fornecidos pelo usuário:

    - Informações gerais e objetivos iniciais: número de unidades habitacionais desejada bem como o percentual para cada tipologia de apartamento (com opções que variam desde estúdios até apartamentos com 4 dormitórios), área do lote, áreas privativas, áreas comuns, número de vagas e depósitos;

    - Informações detalhadas sobre a distribuição do programa nos pavimentos: coeficientes de dedução da área construída, dimensionamento das escadas, número de subsolos e demais pavimentos, critérios de posicionamento, áreas desejáveis, dimensões mínimas e dimensões das janelas para cada ambiente de cada tipologia, parâmetros construtivos como posição do corredor (central ou lateral); distribuição percentual das tipologias nos pavimentos (tipo, térreo e último), dimensões das áreas comuns, áreas permeáveis e parâmetros relacionados a fachada (quais podem ter terraços).

- Detalhamento do quadro de áreas da edificação, comparando os objetivos planejados com os alcançados pela simulação e a distribuição das áreas residenciais, comuns, de terraços, comerciais e técnicas, bem como a área total privativa, área total construída e a razão entre elas, demonstrando a eficiência do empreendimento;

- Custo total estimado para o empreendimento, baseado nas áreas e quantidades extraídas do modelo desenvolvido em conjunto com a inserção de custos diretos e indiretos estimados para os principais itens que compõem a estrutura analítica do projeto (EAP). Estes itens incluem: adequação do terreno, fundação, estrutura, vedação, acabamentos internos, portas, janelas, vidro, sistemas prediais, custos com projeto, licenças, gerenciamento da obra, equipamentos, segurança do trabalho entre outros;

- Exportação dos quadros de quantidades e custos em planilhas com formato XLSX, das plantas geradas em formato DXF e do modelo em formato IFC.

3.4 Testfit

O Testfit (Figura 2) é uma ferramenta americana que DG para concepção de projetos residenciais multifamiliares e unifamiliares, indústrias, hotéis, varejo e estacionamentos, a partir da definição de usos, tipologias, terraços, posicionamento da circulação e restrições de profundidade das unidades.

Figura 2 - Estudo de Empreendimento fictício desenvolvido na plataforma Testfit



Fonte: Autores

Aplicações e funcionalidades:

- Definição da área do empreendimento, a partir da escolha ou do desenho de um lote em uma localização previamente escolhida na ferramenta de busca, e escolha de uma tipologia base e os usos da(s) edificação(ões) a serem projetadas;

- Inserção de parâmetros relativos ao número de pavimentos, tipos e dimensões das unidades habitacionais desejadas, posicionamento e dimensões dos terraços, recuos para os pavimentos, o que resultará em uma planta esquemática inicial com layouts prontos de apartamentos adquiridos na base de dados da plataforma;

- Edição das plantas dos pavimentos, com adição de espaços destinados para usos específicos além das unidades habitacionais, reposicionamento dos núcleos de circulações verticais e alteração do perímetro da edificação, adição de novos parcelamentos do lote destinados a outros usos como estacionamentos, unidades de varejo o que, consequentemente, irá alterar a distribuição das unidades habitacionais da edificação residencial;

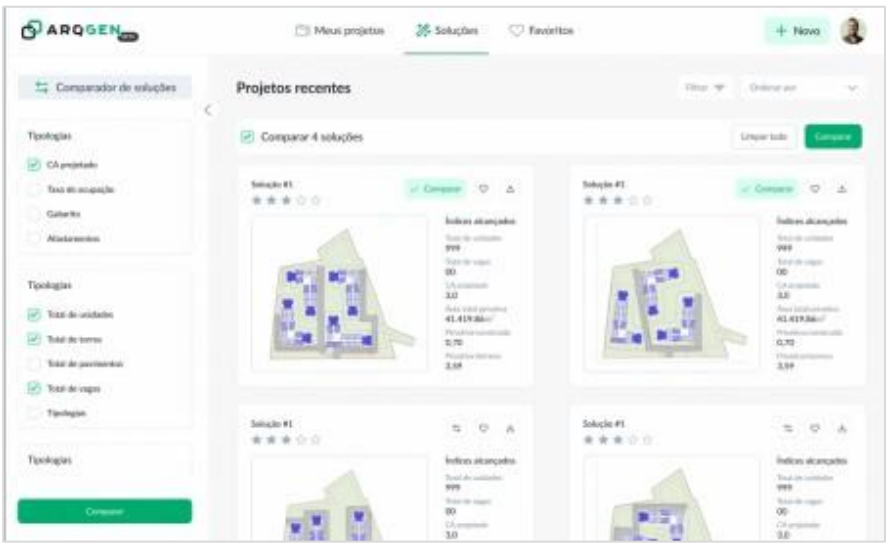
- Armazenamento das opções de estudo desenvolvidas e comparação dos dados de eficiência gerados para cada opção, incluindo custos estimados para o empreendimento com base em valores fixos ou por m² de cada uso e/ ou tipologia a ser construída;

- Exportação dos desenhos para Autocad em formato DXF, do modelo para os softwares Revit e Sketchup, e/ ou das tabelas geradas em formato CSV.

3.5 Arqgen

Plataforma nacional que utiliza DG em conjunto com o aprendizado de máquina na concepção de EV para empreendimentos imobiliários, layouts corporativos, documentação automatizada e estudos para galpões. É uma ferramenta customizável que, de maneira geral, utiliza “peças” que representam as unidades do projeto que devem ser posicionadas com o objetivo de obter a maior eficiência dentro da área de estudo. Essas unidades podem ser tipologias de apartamentos, itens de mobiliário para escritórios, vagas de estacionamento, entre outros. Com o uso do DG, são geradas diversas opções de plantas que distribuem essas unidades de acordo com regras e restrições definidas pelo usuário, que podem ser: a inclusão de unidades de circulação vertical de acordo com a distância total do corredor, recuos, gabaritos, quantidades de cada item de mobiliário por ambiente, velocidade do vento, etc. As opções geradas são ranqueadas de acordo com os critérios definidos pelo usuário (Figura 3), que poderá escolher a melhor solução e exportar esse estudo em formato editável para então continuar o desenvolvimento do projeto.

Figura 3 - Exemplos de soluções de Implantações geradas pela plataforma Arqgen



Fonte: Autores

Aplicações e funcionalidades:

- Concepção de EV para empreendimentos imobiliários com objetivo de conseguir a maior eficiência do empreendimento, ou seja, o maior número de unidades habitacionais dentro de um terreno real, considerando restrições de legislação, através das seguintes etapas:

    - importação das bases do projeto como: o terreno, as tipologias de unidades habitacionais a serem replicadas, os blocos de circulação vertical, tipos de vagas, áreas técnicas;

    - definição das restrições do projeto em virtude da legislação vigente e/ ou premissas técnicas do cliente, além dos parâmetros de ranqueamento;

    - geração automatizada de diversas opções de implantação, conforme critérios pré-definidos;

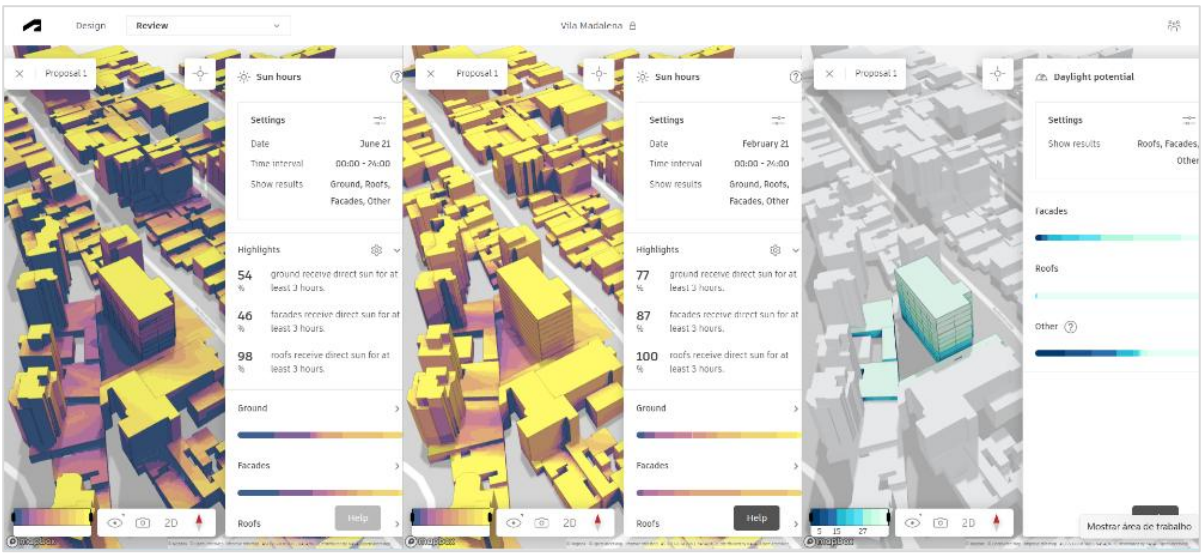
    - exportação em formatos de desenho (PDF ou DWG), modelo BIM (IFC e formatos nativos para os softwares Autodesk Revit, Archicad e Rhinoceros) para que esse estudo inicial possa ser detalhado posteriormente.

O desenvolvedor também oferece opções de concepção de Layouts corporativos, galpões em estrutura metálica e um plugin para automatização de documentação de ampliações de áreas molhadas, mas essas não serão analisadas por fugirem do objetivo principal da pesquisa.

3.6 Autodesk Forma

É um software americano baseado em nuvem que oferece ferramentas para a concepção de estudos de massa dirigidas a empreendimentos verticais ou horizontais de uso residencial, comercial ou misto. Através de ferramentas simples para criação de geometrias esquemáticas em lotes que trazem informações do entorno. Possibilitam não apenas o desenvolvimento de mais de uma proposta de estudo de massa com volumetria e quadros de áreas para o mesmo projeto, mas também algumas análises que visam auxiliar nessa concepção inicial, conforme pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Estudo de Empreendimento fictício desenvolvido na plataforma Autodesk Forma



Fonte: Autores

Aplicações e funcionalidades:

- Definição da área a ser estudada, que dever ter no máximo 2 x 2 km, através de ferramenta própria de busca georrefenciada similar ao Google Earth e Maps, utilizando endereço ou coordenadas;

- Visualização de dados do entorno como volumetria das edificações existentes, dados da topografia, vias áreas parcelamento dos lotes, imagens de satélites ou de bases importadas pelo usuário nos

formatos .obj, .ifc, .dxf, .jpeg ou .png;

- Delimitação do terreno, utilizando ferramentas de desenho ou selecionando os contornos dos lotes existentes, provenientes da base de dados de parcelamento do solo, gerando a soma total dos terrenos a serem utilizados para o estudo de viabilidade do empreendimento;

- Criação de diferentes propostas de projeto, que partem de uma mesma base de entorno e podem contar também com itens comuns à todas as propostas, como a criação de uma nova rua ou uma área de vegetação ou qualquer outro elemento criado. As propostas são desenvolvidas contemplando zoneamento do lote para separação das áreas construídas, ruas, estradas, árvores, e novas edificações que podem ser geradas por 4 métodos:

    - Edifício linear (com informações pré-definidas de número de pavimentos, largura, comprimento de cada unidade, pé-direito padrão e tipo de circulação horizontal (corredor central ou em uma das laterais);

    - Extrusão de uma área desenhada através de uma poligonal, com determinação do número de pavimentos;

    - Casas em linha ou isoladas, criadas a partir de tipologias pré-definidas por dimensões de largura, comprimento, número de pavimentos, pé-direito, tamanho do lote e tipo de telhado (laje plana, 2 águas ou 1 água);

    - Volumetria esquemática tridimensional que permite a criação de prismas não ortogonais;

- Permite a definição dos usos de cada edificação, pavimento ou unidade geradas, sendo possível escolher uso residencial, comercial, estacionamento (que gera layouts com o máximo de vagas possíveis), ou criar novas opções;

- Analise das propostas criadas considerando:

    - os dados relativos área total do terreno, construída, projeção por uso, podendo inclusive incluir fatores ou percentuais calculados, como eficiência, taxa de permeabilidade e outros;

    - horas de sol estimadas em cada superfície (horizontal e vertical) do empreendimento, como demonstrado na Figura 4, iluminação natural, ventilação, microclima, ruído, potencial de uso para geração de energia solar, pegada de carbono e outras através de extensões adquiridas por parcerias

- Compara as análises geradas dentro de uma mesma proposta ou entre propostas diferentes;

- Exporta as tabelas de áreas para formato csv e os modelos de volumetrias para formatos rvt ou .obj

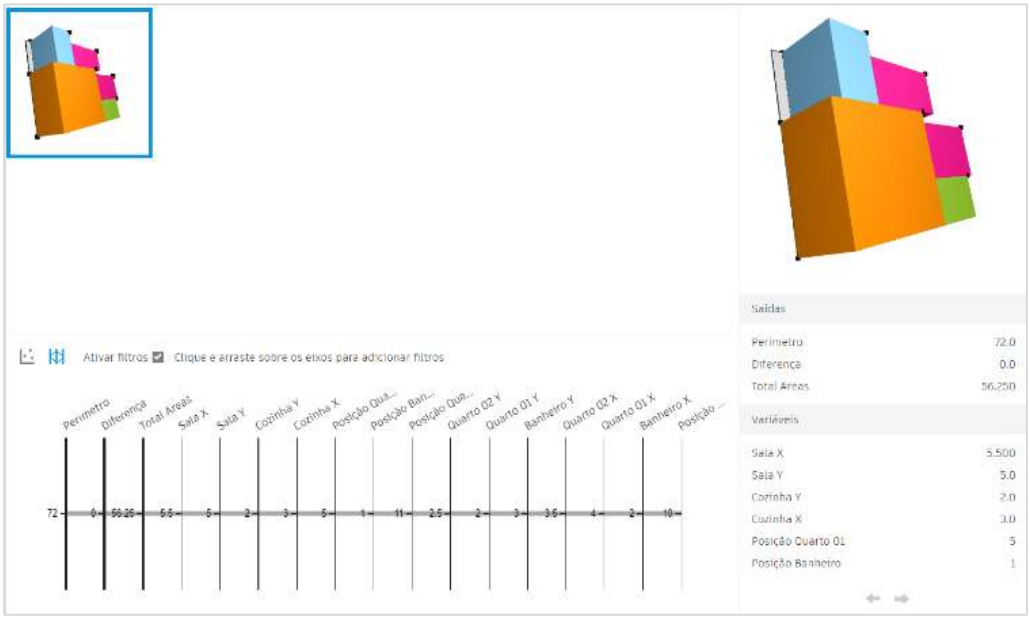
3.7 Autodesk Dynamo for Revit

O Autodesk Dynamo for Revit é uma interface de programação visual para criar rotinas que permitem automatizar tarefas, analisar dados dos modelos BIM, modelar e analisar geometrias simples ou complexas, exportar de dados em planilhas e criar algoritmos customizados para alguns softwares da Autodesk, entre eles o Revit, software de modelagem autoral que em 2017 teve o Dynamo incorporado como um complemento ao software.

A partir de 2021 foi incluída a ferramenta de DG dentro do Revit que utiliza rotinas do Dynamo com entradas e saídas definidas por essa rotina e que serão utilizadas de acordo com o tipo de método escolhido (otimização para atingir metas específicas, randomização para estudo de variações, espaçamento uniforme que gera opções a partir da combinação de valores de entradas igualmente espaçados, semelhança que gera novas variações a partir de um resultado escolhido). Na Figura 5 pode ser observado um exemplo da utilização do método de otimização para a criação de um estudo esquemático de distribuição de ambientes cujas dimensões poderiam ser definidas ou deixadas em aberto para que a rotina testasse variações com limites mínimo e máximo tendo como objetivo definido pelo usuário encontrar o menor perímetro possível para o conjunto

gerado.

Figura 5 - Exemplo de uma solução para distribuição de ambientes gerada através de um algoritmo criado no software Autodesk Dynamo para Revit



Fonte: Autores

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar de todas as plataformas on-line e softwares analisados permitirem a aplicação de suas ferramentas na concepção de EV de empreendimentos imobiliários, cada uma delas tem focos diferentes.

Enquanto o place é dedicado à análise de dados urbanísticos dos terrenos a serem estudados e da concorrência do entorno próximo, que são as principais informações levadas em conta pelas áreas de novos negócios das incorporadoras brasileiras, o Arqgen, assim como o place também leva em consideração as restrições urbanísticas previstas em legislação, mas ao invés de criar uma volumetria baseada no máximo de aproveitamento, tem como produto final uma implantação que considera tipologias padronizadas, e propõem arranjos que buscam o maior aproveitamento do terreno, respeitando as restrições, gerando por fim plantas mais detalhadas.

Por sua vez a plataforma Architectures dá ênfase no programa de necessidades muito detalhado, que definido pelo usuário que preenche uma série de parâmetros e serve como principal entrada para a geração de plantas, volumetrias e quadros de áreas e custos muito detalhadas de acordo com as especificações inseridas.

Tanto o Ark Design, quanto o Testfit possuem uma lógica similar a do Architectures partindo de definições prévias do programa de necessidades, porém com menos detalhes e consequentemente geram plantas, volumetrias e quadros de áreas mais simplificados.

Já o Autodesk Forma tem um processo de desenvolvimento baseado na volumetria criada pelo usuário e não através de dados inseridos previamente que geram propostas de forma automática e tem como principal diferencial as análises que podem ser feitas destes estudos com o objetivo de entender o impacto ambiental tanto no empreendimento quanto no seu entorno próximo.

Por fim o Autodesk Dynamo para Revit, permite uma diversidade maior de explorações e aplicações do Design Generativo, porém com o ônus de requer o desenvolvimento completo de uma rotina através da programação visual para se obter resultados, exigindo conhecimento em linguagem de programação.

A seguir são apresentados 2 quadros. O Quadro 1 apresenta um resumo comparativo entre as principais funcionalidades analisadas, dados de entrada necessários e resultados obtidos para cada plataforma e software analisado e o mostra um ranqueamento das plataformas, criado a partir de notas de 1 à 5 dadas aos

mesmos critérios de comparação utilizados no Quadro 1.

Quadro 1: Comparação entre ferramentas de design generativo para concepção de EV de empreendimentos imobiliários

SOFTWARES	Dados de Entrada		Resultados/ Saídas				Características	
	Programa de Necessidades	Estimativa de Custos	Plantas	Quadro de Áreas	Estimativas de Custos	Simulações	Conhecimento em Programação	Dados Considerados
Place	N	S	N	S	S	Não permite	Não	Legislação e entorno
Ark Design	S	S	S	S	S	Não permite	Não	Nenhuma
Architechtures	D	D	D	D	D	Estudo solar	Não	Localização, e entorno
Testfit	S	S	S	D	S	Não permite	Não	Apenas legislação dos EUA
Arqgen	C	T	D	S	N	Informação não encontrada	Não	Legislação
Autodesk Forma	N	N	S	S	N	Estudos do impacto ambiental	Não	Localização e entorno
Autodesk Dynamo for Revit	C	C	C	C	T	Estudo solar através do Revit	Sim	Nenhuma
D = Detalhado, S= Simplificado, N= Não permite, C= Customizável, T= Talvez, informação não encontrada ou não testada								

Fonte: Autores

Quadro 2: Avaliação quantitativa das plataformas e softwares analisados

SOFTWARES	Dados de Entrada		Resultados/ Saídas				Características		Média
	Programa de Necessidades	Estimativa de Custos	Plantas	Quadro de Áreas	Estimativas de Custos	Simulações	Conhecimento em Programação	Dados Considerados	
Architechtures	5	5	5	5	5	1	5	2	4,1
Testfit	2	2	2	2	2	0	5	1	2,0
Autodesk Forma	0	0	1	1	0	5	5	4	2,0
Autodesk Dynamo for Revit	3	3	3	3	1	1	0	2	2,0
Arqgen	2	0	5	2	0	0	5	1	1,9
Place	0	2	0	1	2	0	5	5	1,9
Ark Design	1	1	1	2	1	0	5	1	1,5

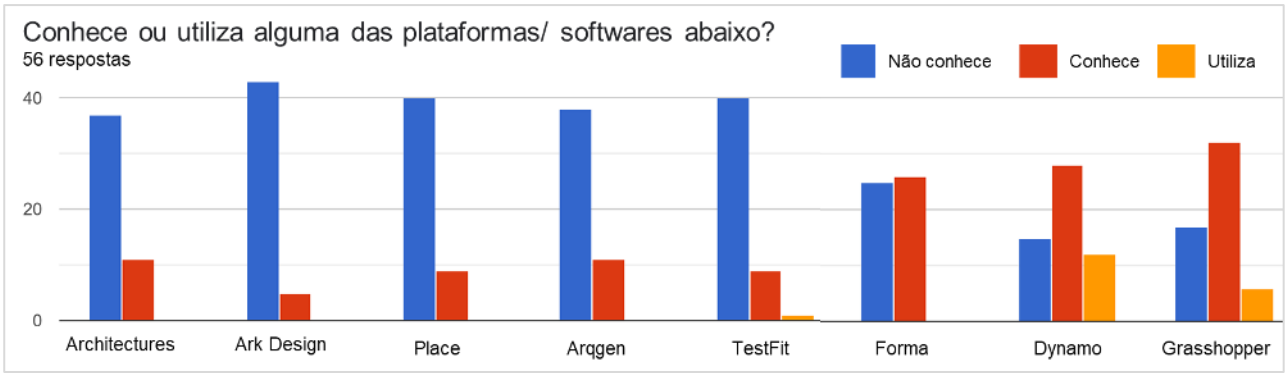
Fonte: Autores

Apesar da existência de muitas plataformas e softwares que permitem a utilização do DG para a concepção de projetos de arquitetura, conforme pesquisa apresentada pelo BIM Fórum em 2024, a adoção dessas soluções digitais ainda é tímida no mercado AEC brasileiro, levando a indagação dos motivos.

Com o objetivo de explorar os possíveis motivos dessa baixa adesão, foi realizada uma pesquisa entre alguns profissionais do mercado através de um questionário aplicado que obteve as seguintes respostas: apesar de ser conhecido por quase 70% dos participantes, apenas 21% utilizam o DG.

Quando perguntado especificamente sobre o conhecimento e utilização das plataformas e softwares analisados, os resultados individuais apresentados na Figura 6, ressaltam que dentre as opções, as ferramentas de programação visual dentro de softwares de modelagem BIM são as mais conhecidas, enquanto as ferramentas disponíveis cujo conhecimento em programação não é necessário ainda são desconhecidas pelos profissionais.

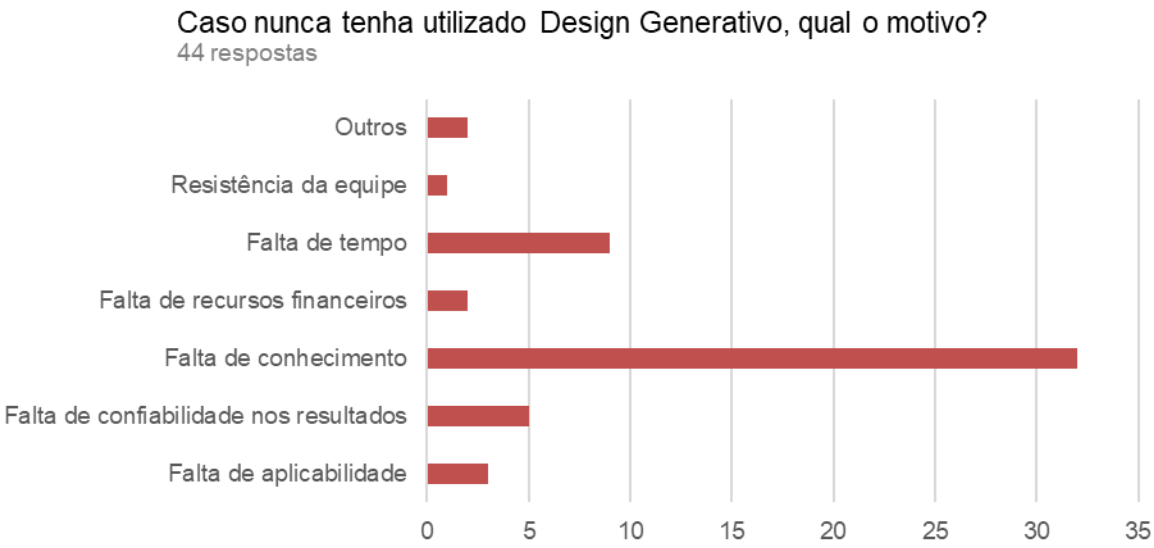
Figura 6 - Respostas sobre conhecimento e utilização de plataformas e softwares de DG específicos



Fonte: Autores

Quando indagados sobre os motivos da não utilização de DG, a maioria alega falta de conhecimento, conforme resultados apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Respostas sobre os motivos da não utilização de DG



Fonte: Autores

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode ser constatado, já existem diversas plataformas, softwares e serviços que utilizam técnicas de DG e podem ser aplicadas no estudo de viabilidade de empreendimentos imobiliários. Alguns requerem conhecimento em programação, mas a maioria possui uma interface simplificada.

As soluções testadas geraram resultados bastante satisfatórios, e podem contribuir com estudos iniciais de viabilidade, onde o arquiteto ainda atua como coautor destes projetos à medida que continua tendo papel fundamental na inserção de requisitos e na interação com os resultados gerados, realizando modificações e melhorias para posteriormente desenvolver as melhores soluções escolhidas por ele.

A principal vantagem da utilização destas soluções é o ganho de tempo, uma vez que mais possibilidades podem ser geradas pelas ferramentas e analisadas pelo arquiteto que continua atuando na busca pela melhor opção para o estudo solicitado.

No entanto sua utilização pelos profissionais do mercado AEC brasileiro ainda é muito incipiente, possivelmente no decorrer do tempo assim como o BIM, o DG também se torne mais utilizado à medida que

aplicações como as plataformas e softwares analisados entre outros fiquem mais populares.

Outra contribuição desta pesquisa é a constatação de que a maioria das plataformas analisadas utiliza apenas os parâmetros de legislação urbana e/ou programa de necessidades como principais restrições e objetivos, respectivamente e nenhuma delas considera topografia ou orientação solar como parâmetros de entrada ou restrição para gerar as opções de projeto, fatores esses que são de extrema importância para a escolha da melhor opção de projeto, pois enquanto a topografia influencia diretamente nas possibilidades de implantação do empreendimento e por sua vez as soluções de contenção e terraplanagem tem um grande impacto no custo total do empreendimento a orientação solar impacta diretamente no conforto ambiental, e que quando considerada pode permitir soluções de projeto com menor impacto ambiental durante a sua operação. Sendo assim, é sugerido pesquisas da aplicação de DG na concepção de projetos de arquitetura que também levem em consideração esses e outros fatores.

REFERÊNCIAS

1. ARCHITECHTURES**. Architectures: AI architecture generator. Building design** Disponível em: <https://architechtures.com/>. Acesso em: 15 mar. 2025.
2. ARK DESIGN. **Ark Design.** Disponível em: <https://arkdesign.ai/>. Acesso em: 15 mar. 2025.
3. ARQGEN. **Arqgen: arquitetura generativa.** Disponível em: <https://www.arqgen.com.br/>. Acesso em 16 fev. 2025.
4. BIM FÓRUM BRASIL. 1ª Edição da Pesquisa sobre Digitalização na Indústria da Construção. **BIM Fórum Brasil – Publicações**. Disponível em: <https://bimforum.org.br/publicacoes-bfb/>. Acesso em 22 fev. 2025.
5. BIM FÓRUM BRASIL. 2ª Edição da Pesquisa sobre Digitalização na Indústria da Construção. **BIM Fórum Brasil – Publicações**. Disponível em: <https://bimforum.org.br/publicacoes-bfb/>. Acesso em 22 fev. 2025.
6. BORDAS, Antoine et al. What is generative in generative artificial intelligence? A design-based perspective. **Research in Engineering Design**, v. 35, n. 4, p. 427-443, 2024.
7. CAETANO, Inês; SANTOS, Luís; LEITÃO, António. Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. **Frontiers of Architectural Research**, v.9, n.2, p.287-300, 2020.
8. CHEW, Zhi Xian et al. Generative design in the built environment. **Automation in Construction**, v. 166, p. 105638, 2024.
9. JAISAWAL, Rajneesh; AGRAWAL, Vandana. Generative Design Method (GDM)–a state of art. In: **IOP CONFERENCE SERIES: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing. p. 012036, 2021.
10. MA, Wei et al. Generative design in building information modelling (BIM): approaches and requirements. **Sensors**, v. 21, n. 16, p. 5439, 2021.
11. MITCHELL, W. J. ***The Logic of Architecture: Design, Computation, and Cognition***. MIT Press, 1990.
12. NAGY, Danil et al. Project discover: An application of generative design for architectural space planning. In: **Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design**. 2017. p. 1-8.
13. PLACE. **Place: Gêmeo digital para desenvolvimento urbano**. Disponível em: <https://www.ospa.place/>. Acesso em: 15 fev. 2025.
14. SOUZA, Design generativo de espaços: explorando 8 ferramentas transformadoras em arquitetura. **Archidaily.** Julho de, 2023.Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/937608/como-o-design-generativo-deve-impactar-a-arquitetura>. Acesso em: 15 fev. 2025.
15. SOUZA, E. Como o Design Generativo deve impactar a arquitetura. **Archidaily.** Junho de, 2021.Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/937608/como-o-design-generativo-deve-impactar-a-arquitetura>. Acesso em: 01 mar. 2025.
16. SINGH, Vishal; GU, Ning. Towards an integrated generative design framework. **Design studies**, v. 33, n. 2, p. 185-207, 2012.
17. SPBIM. **SPBIM: Arquitetura e Engenharia Digital**. Disponível em: <https://spbim.com.br/top-10-ias-para-uso-no-bim/>. Acesso em: 15 fev. 2025.

18. TESTFIT. **Testfi: real estate feasibility platform**. Disponível em: <https://www.testfit.io/>. Acesso em: 15 fev. 2025.

19. TAKEUCHI, T. Como a Inteligência Artificial está Revolucionando o Setor da Construção Civil [vídeo]. **You Tube, 2025.** Disponível em: <https://youtu.be/x1qZ9RUCHHY?si=sUWkw1iM69NSclJg> Acesso em: 20 fev. 2025.

20. WALMSLEY, K Hands-on with Project Rediscover: generatively designing Autodesk Toronto's office. AUTODESK UNIVERSITY, 2019, Las Vegas. **Anais eletrônicos Autodesk University 2019**. Disponível em: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Hands-Project-Rediscover-generatively-designing-Autodesk-Torontos-office-2019>. Acesso em: 8 mar. 2025