

APLICAÇÃO DA MODELAGEM PARAMÉTRICA EM PROJETOS DE ARQUITETURA ESCOLAR

APLICACIÓN DE LA MODELACIÓN PARAMÉTRICA EN PROYECTOS DE ARQUITECTURA ESCOLAR

APPLYING PARAMETRIC MODELING IN SCHOOL ARCHITECTURAL DESIGN

ROMCY, NELIZA MARIA E SILVA

Doutora em Arquitetura e Urbanismo, Docente da Universidade Federal do Ceará (UFC), email:nelizaromcy@iaud.ufc.br

RIOS, NICOLLE KERMÁN SANTOS

Graduada em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Ceará (UFC), email:nicollekermansr@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo investigar o potencial da aplicação da modelagem paramétrica associada à modelagem da informação da construção (Building Information Modeling - BIM) e à sintaxe espacial, durante o desenvolvimento de um projeto modelo em arquitetura para a educação infantil, considerando sua aplicação na esfera pública, onde existe a necessidade de implementação e customização rápida de uma mesma solução em localidades diversas, observando-se as especificidades do contexto. A investigação se aplica no contexto da arquitetura escolar, buscando alternativas para o problema de repetição de projetos tipo em diferentes localizações, que apresentam o risco de se desconsiderar as especificidades de cada cenário. O trabalho inclui as seguintes etapas: revisão bibliográfica; definição das diretrizes projetuais e parâmetros; desenvolvimento do algoritmo e o estabelecimento de seus inputs; pré-teste do algoritmo com sua aplicação em dois terrenos específicos para possíveis ajustes e simulação de conforto; reflexões críticas sobre o processo. Os estudos realizados resultaram no desenvolvimento de um algoritmo que auxilia a implantação de uma solução inicial em diferentes terrenos, levando-se em consideração o programa de necessidades, características da arquitetura escolar, fatores bioclimáticos e o entorno. Como objeto de aplicação do algoritmo, foi escolhido o programa de necessidades de um Centro de Educação Infantil (CEI), considerando-se as exigências apresentadas por esse tipo de equipamento, no que diz respeito ao desempenho da edificação e as demandas específicas para a realização das suas atividades.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem paramétrica; BIM; sintaxe espacial; arquitetura escolar.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo investigar el potencial de la aplicación de la modelación paramétrica asociada a la modelación de la información de la construcción (Building Information Modeling - BIM) y la sintaxis espacial, durante el desarrollo de un proyecto modelo en arquitectura para la educación infantil, considerando su aplicación en el ámbito público, es decir, la necesidad de implementación y personalización rápida de una misma solución en diferentes localidades, teniendo en cuenta las especificidades del contexto. La investigación se aplica en el contexto de la arquitectura escolar, buscando alternativas al problema de la repetición de proyectos tipo en diferentes ubicaciones, lo que presenta el riesgo de ignorar las especificidades de cada escenario. El trabajo incluye las siguientes etapas: revisión bibliográfica; definición de las directrices de diseño y parámetros; desarrollo del algoritmo y el establecimiento de sus inputs; pretest del algoritmo con su aplicación en dos terrenos específicos para posibles ajustes y simulación de confort; reflexiones críticas sobre el proceso. Los estudios realizados resultaron en el desarrollo de un algoritmo que facilita la implantación de una solución inicial en diferentes terrenos, teniendo en cuenta el programa de necesidades, las características de la arquitectura escolar, factores bioclimáticos y el entorno. Como objeto de aplicación del algoritmo, se eligió el programa de necesidades de un Centro de Educación Infantil (CEI), considerando las exigencias presentadas por este tipo de equipamiento en lo que respecta al rendimiento del edificio y las demandas específicas para la realización de sus actividades.

PALABRAS CLAVES: modelación paramétrica; BIM; sintaxis espacial; arquitectura escolar.

ABSTRACT

The present study aims to investigate the potential of applying parametric modeling associated with Building Information Modeling (BIM) and space syntax during the development of a model architecture project for early childhood education, considering its application in the public sphere. This includes the need for rapid implementation and customization of the same solution in various locations, taking into account the specificities of each context. The investigation applies to the context of school architecture, seeking alternatives to the problem of repeating standard projects in different locations, which carry the risk of disregarding the specificities of each scenario. The work includes the following stages: literature review; definition of design guidelines and parameters; algorithm development and the establishment of its inputs; pre-testing the algorithm with its application in two specific sites for possible adjustments and comfort simulation; critical reflections on the process. The studies resulted in the development of an algorithm that assists in implementing an initial solution in different sites, considering the program of requirements, school architecture characteristics, bioclimatic factors, and the surroundings. As the object for the algorithm's application, the program of requirements for an Early Childhood Education Center (CEI) was chosen, considering the demands presented by this equipment regarding building performance and specific requirements for carrying out its activities.

KEYWORDS: parametric modeling; BIM; space syntax; school architecture.

Recebido em: 10/09/2024

Aceito em: 20/06/2025

1 INTRODUÇÃO

As mudanças e avanços tecnológicos computacionais no século XXI se mostram cada vez mais acelerados e inevitáveis em diversos campos de conhecimento, de modo que raramente nos damos conta de que o próprio comportamento da sociedade tem se remodelado à luz dos novos recursos oferecidos pela tecnologia digital (Nardelli, 2007). A prática da arquitetura vem sendo impactada por tais desenvolvimentos tecnológicos há décadas, desde que o desenho feito à mão no papel foi dando lugar ao desenho auxiliado por computador. Considerando-se que uma nova arquitetura está emergindo dessa revolução digital, torna-se essencial para o arquiteto contemporâneo adaptar seus métodos de projeto e compreender novas formas de trabalhar junto à tecnologia (Kolarevic, 2003).

Diante desse cenário, Kolarevic (2019) questiona por que, em uma era em que a personalização em série já está presente na produção, as cidades e os edifícios continuam sendo pautados pela standardização e pela repetição. Novos meios aplicáveis à arquitetura, como a modelagem paramétrica, trazem a possibilidade de se alcançar soluções de customização e personalização em massa de produtos, desde sapatos e mesas até edifícios. A rigidez de produção definida pelos paradigmas fordistas da manufatura industrial do século passado não é mais necessária, pois as máquinas já são capazes de reduzir o tempo e energia demandados no processo tradicional de variação de resultados. Ou seja, a repetição em série de um mesmo projeto idêntico pode ser substituída pela customização em massa de um projeto modelo, apoiado em parâmetros pré-definidos, sem que haja ônus de tempo, eficiência e custos. Por outro lado, traz-se a necessidade de uma cuidadosa interpretação do contexto em que o projeto se insere, seja físico, tecnológico, cultural e social. As tecnologias necessárias para a personalização em série na Arquitetura e Urbanismo já estariam disponíveis, mas as limitações para seu emprego seriam, entre outras, as barreiras culturais impostas pelos próprios clientes. Celani e Leite (2021) também enfatizam que essas questões são levadas inevitavelmente à busca de respostas que se apliquem à realidade do Sul Global, em que os complexos desafios enfrentados na produção das cidades brasileiras carecem de uma maior democratização do design.

Nesse contexto, o presente trabalho traz o Centro de Educação Infantil (CEI) como objeto de estudo, devido à problemática identificada na esfera pública, onde se identifica a prática de replicação constante de projetos padrões de CEI em vários locais do Brasil. Para Azevedo (2002), existe uma fragilidade na utilização de projetos padronizados, demonstrada pelas dificuldades e incoerências na implantação das edificações, que apresentam soluções quase independentes dos terrenos onde estão situadas, resultando em gastos para adaptação dos mesmos ao edifício, salas de aula com localização inadequada e áreas externas com pouco ou nenhum tratamento paisagístico. Projetos padronizados como os fornecidos pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), por exemplo, são concebidos com o objetivo de serem replicados em todo o país, o que dificulta o atendimento satisfatório às especificidades de cada localidade.

Diante dessa problemática, o objetivo do estudo consiste em investigar o potencial da aplicação da modelagem paramétrica associada à modelagem da informação da construção (Building Information Modeling - BIM) e à sintaxe espacial, durante o desenvolvimento de um projeto modelo em arquitetura para a educação infantil, considerando sua aplicação na esfera pública, ou seja, a necessidade de implementação e customização rápida de uma mesma solução em localidades diversas, considerando as especificidades do contexto. Desta forma, a solução desenvolvida deve se adequar à implantação do edifício em diferentes áreas de intervenção, a fim de otimizar o processo inicial de projeto, trazendo maior suporte e celeridade à tomada de decisões durante a etapa de estudo preliminar.

O estudo se caracteriza como uma pesquisa exploratória, buscando-se maior familiaridade com o problema de pesquisa e os temas envolvidos, através de revisão bibliográfica e desenvolvimento de Estudo de Caso. O Estudo de Caso propõe uma solução para projeto modelo de arquitetura em ensino infantil, com o objetivo de investigar as contribuições de se associar, ainda nas etapas iniciais do processo, a modelagem paramétrica e o BIM, com auxílio da sintaxe espacial.

O delineamento do trabalho inclui as seguintes etapas: 1. revisão bibliográfica acerca dos principais temas da pesquisa - arquitetura escolar, com foco em ensino infantil (0 a 4 anos), e processo de projeto paramétrico; 2. definição das diretrizes projetuais e parâmetros para a concepção de um projeto modelo de centro de educação infantil, com base na abordagem pedagógica a ser utilizada; 3. desenvolvimento do algoritmo e o estabelecimento de seus inputs (dados de entrada) para a geração de diferentes configurações espaciais para uma mesma problemática projetual; 4. pré-teste do algoritmo com sua aplicação em dois terrenos específicos para possíveis ajustes e simulação de conforto; 5. reflexões críticas sobre o processo e definição de possíveis contribuições e desafios.

Para a implementação do algoritmo foram utilizados os softwares Rhinoceros/ Grasshopper (Mcneel) e Archicad (Graphisoft), com conexão direta através do plugin Grasshopper-Archicad Live Connection. Para aplicação da sintaxe espacial necessitou-se dos plugins: Syntatic (Pirouz Norian) e Termite Nest (Mohammad Tabari), enquanto para simulação de conforto, utilizou-se o plugin LadyBug (Ladybug Tools LLC).

2 ARQUITETURA ESCOLAR COMO ESPAÇO DE ENSINO E APRENDIZAGEM

Para que atividades educativas sejam realizadas dentro da escola, o espaço físico deve ser compreendido como agente ativo do processo de aprendizado (Malaguzzi, 1984 apud Gandini, 1999), agindo como educador silencioso, porém ativo, capaz de organizar, promover relações, atividades e escolhas, além de incentivar o desenvolvimento de habilidades, valores e relações entre os indivíduos.

É no espaço das creches e escolas de ensino infantil que crianças de 0 a 4 anos desenvolvem competências e experiências espontaneamente, a partir de brincadeiras e interações sociais, não se limitando apenas às atividades básicas como dormir, comer, ir ao banheiro, mas também valores como autonomia e independência. Integrado às primeiras sensações do ser humano, o espaço é o elemento material através do qual a criança experimenta o calor, o frio, a luz, a cor, o som, e, em certa medida, a segurança (Lima, 1989, p.5). As trajetórias e os processos de aprendizado das crianças passam, portanto, pelo relacionamento com os contextos cultural e escolar de um “ambiente formador”, um espaço ideal para o desenvolvimento que valoriza esses processos (Rinaldi, 2012).

Para Kowaltowski (2011), o projeto ideal de uma escola não se limita apenas ao aspecto arquitetônico, pedagógico ou social, mas sim, a partir de uma abordagem multidisciplinar que inclua esses três fatores: a escola como instituição e lugar; as teorias pedagógicas adotadas por ela; e a organização social em que ela se insere, considerando a relação aluno x professor e escola x sociedade. Portanto, o projetista deve compreender características pertinentes à edificação que vão além de aspectos como conforto, desempenho e funcionalidade, investigando também o impacto social e as metodologias pedagógicas e atividades que serão desenvolvidas no espaço escolar, pois elas possuem impacto direto nas tomadas de decisões de ordem arquitetônica.

Para compreender a influência que o espaço tem sobre a formação dos indivíduos, é necessário entender que diferentes metodologias de ensino implicam em diferentes concepções arquitetônicas. É possível, através da análise do ambiente em que acontecem as atividades escolares, conhecer o projeto educacional desenvolvido pela instituição de ensino, as formas como a criança é abordada e o que foi concebido para garantir sua aprendizagem, quais valores foram priorizados no seu desenvolvimento, e como se dá a relação adulto-criança dentro do espaço escolar (Moreira, 2011).

Destaca-se inicialmente a fundação do primeiro jardim de infância pelo pedagogo alemão Friedrich Froebel (1782-1852) que, ao dedicar sua vida ao ensino infantil, trouxe como contribuições o ensino com base na atividade e liberdade (Kowaltowski, 2011), e o incentivo ao contato com a natureza. Ele sustentava os valores do brinquedo e da aprendizagem através das brincadeiras, além de introduzir o conceito de jardins para crianças, incentivando as atividades de plantar e colher. Seu jardim de infância possuía três ambientes principais:

- Espaço para atividades criativas, com a utilização de brinquedos para ativar a memória, percepção do raciocínio e criatividade;
- Ambiente para atividades motoras como cantar e dançar, para desenvolver músculos e dar força e poder ao corpo;
- Espaço de contato com a natureza, como jardins nas dependências da escola e excursões às montanhas e vales, para desenvolver a compreensão de mundo e de identidade.

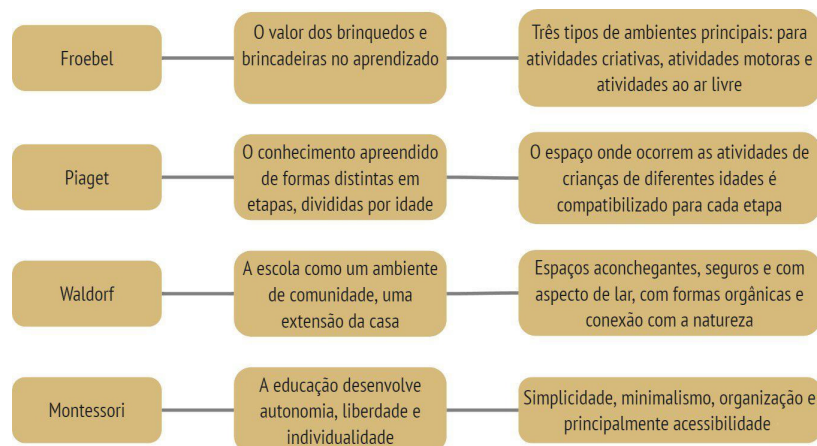
No início do século XX, destaca-se Jean Piaget (1869-1980) e a teoria construtivista, que parte da ideia de que o desenvolvimento cognitivo se divide em etapas previsíveis e sequenciais, e é papel da escola incentivar experiências e interações que desequilibrem as pré concepções dos indivíduos e possibilitem sua reorganização a partir da construção de conhecimento por parte do próprio aluno de forma autônoma (Kowaltowski, 2011), ao invés de passivamente receber o conhecimento do professor. Ainda no século XX, a metodologia de ensino Waldorf, criada por Rudolf Steiner (1861-1925), coloca que a educação deve permitir ao aluno desenvolver não apenas seu intelecto, mas seus sentimentos, sua imaginação e seu espírito como uma composição integrada. Para isso, a escola deve se transformar em um ambiente de comunidade, enquanto seus espaços devem ser capazes de transmitir a sensação de completa apropriação e vivência por

parte dos alunos. A forma arquitetônica adotada pelas escolas Waldorf prioriza a conexão direta e indireta com a natureza, a iluminação natural e formas geométricas diversas.

Por fim, outro destaque entre as abordagens de ensino alternativas é a pedagogia montessoriana, criada por Maria Montessori (1870-1952), cujo principal objetivo consiste em promover uma educação que desenvolva iniciativa, autonomia, autoestima e autoconfiança nas crianças, respeitando e valorizando sua individualidade, além de proporcionar cooperação entre os alunos. Em relação ao edifício escolar montessoriano, aspectos como a simplicidade, minimalismo, organização e principalmente acessibilidade são essenciais.

Com o resgate histórico das diferentes abordagens aplicadas na educação, foi possível perceber que diferentes teorias pedagógicas implicam no desenvolvimento de novas concepções espaciais. A Figura 1 resume as pedagogias abordadas, suas contribuições teóricas e suas consequências no espaço construído, considerados na proposta do presente trabalho.

Figura 1: Síntese das pedagogias abordadas, suas contribuições teóricas e suas consequências no espaço construído.



Fonte: Autoria própria, 2023.

3 PROCESSO DE PROJETO PARAMÉTRICO

Kowaltowski (2008) define o processo de projeto como um conjunto de atividades intelectuais básicas, organizadas em fases de características e resultados distintos. Os estudos a respeito da metodologia projetual como disciplina no campo da arquitetura têm seu início formalizado nos anos 60, com diversas pesquisas que tratavam o processo de projeto como uma sequência de atividades distintas, cujo progresso poderia ser mapeado ao colocá-las em ordem. Nesse contexto, os pesquisadores Markus e Mauer compreendem o processo de projeto como uma sequência de etapas, da fase geral à mais particular de projeto, onde estão envolvidas as seguintes etapas (Lawson, 2011): 1. análise, como estruturação do problema; 2. síntese, como geração de soluções; 3. avaliação, como crítica das soluções em relação aos objetivos identificados; 4. tomada de decisão.

Entretanto, Lawson (2011) ressalta que a atividade projetual na prática não ocorre de forma linear, assim as etapas mencionadas fazem parte do processo, mas não são necessariamente uma sequência. Em geral, o ato de projetar acontece como uma aceitação de problemas principais e a negociação de soluções para eles, geralmente focados em uma ou mais questões centrais, em torno das quais se organizam as ideias secundárias.

O processo de projeto paramétrico pode ser compreendido como a busca da solução projetual determinada por parâmetros variáveis, que podem estar relacionados a diversos âmbitos da edificação. A partir da modelagem paramétrica, o projetista estabelece as relações pelas quais as partes se conectam, constrói o projeto usando essas relações, e edita tais relações observando os resultados produzidos (Woodbury, 2010). Diversas possibilidades podem ser testadas sem a necessidade de reiniciar o processo desde o início, através da alteração dos parâmetros variáveis a fim de gerar novos resultados de forma rápida e dinâmica.

Esse método de projetar pode ser auxiliado pela utilização de algoritmos, que consistem em uma sequência lógica e finita de instruções básicas que visam não apenas à solução de um problema específico, mas estabelecem um método para solucionar vários problemas do mesmo tipo (Celani, 2002; Soares e

Tramontano, 2012; Tedeschi, 2011). O projetista utiliza programas computacionais com o objetivo de gerar modelos tridimensionais de alta precisão, a partir de algoritmos que trabalham informações por meio da ligação de inputs (dados de entrada), a fim de se obter os outputs (resultados desejados). Diferentemente do produto gerado por ferramentas CAD tradicionais, o modelo paramétrico possibilita a interação entre o projetista e o objeto de forma mais dinâmica, pois as relações fixas pré estabelecidas permanecem inalteradas, enquanto é possível testar diferentes possibilidades ao manipular os inputs do algoritmo para analisar os diferentes outputs gerados. Kolarevic (2019) defende que a modelagem paramétrica é uma das fundações do processo de customização em massa na arquitetura, e consequentemente, da democratização do design, por permitir uma grande variedade de resultados sem um aumento significativo de custos ou tempo.

A tecnologia BIM atrelada à modelagem paramétrica proporciona um espaço fundamental para o desenvolvimento desses testes de possibilidades, pois permite a convergência representada pelo chamado modelo único, e tem como principais objetivos a produtividade, a colaboração e a eficiência do processo, do projeto à construção (Celani e Leite, 2021, p.279), garantindo um fluxo contínuo de informação entre o nível mais abstrato de projeto para um nível mais avançado de detalhamento construtivo.

Por outro lado, como suporte para a descrição lógica das espacialidades e suas relações em um maior nível de abstração, pode-se utilizar a teoria da Sintaxe Espacial - estudo desenvolvido por Hillier e Hanson (1984), que permite a identificação de padrões de articulação entre os espaços, e a criação de hierarquias espaciais e possibilidades de percursos. Na Sintaxe Espacial, a hierarquia entre ambientes é determinada pelo seu nível de permeabilidade e interdependência em relação aos outros, onde a representação é proposta em forma de grafo - uma abstração onde o espaço total da edificação é decomposto em nós, que correspondem às unidades definidas pelos próprios limites espaciais, e as relações de permeabilidade entre os nós são representadas por linhas. A partir de um “espaço-raiz”, os grafos são estruturados em níveis sobrepostos, correspondentes a passos sintáticos que estabelecem a profundidade do sistema (Beck, 2011).

4 ESTUDO DE CASO

Definição das diretrizes projetuais (fixos) e parâmetros (variáveis)

A partir do estudo das abordagens pedagógicas, a pesquisa definiu as características espaciais a serem contempladas nas diretrizes projetuais para a concepção de um projeto modelo de CEI, considerando o programa de necessidades, o conforto e a possibilidade de customização. Tais diretrizes projetuais foram resumidas em: 1. escala, considerando formato térreo e a apropriação espacial na escala da criança, remetendo a espaços seguros e “aspecto de lar”; 2. organização espacial e setorização que considere as diferentes atividades e faixas etárias, com circulações e acessos de fácil identificação, sem a ocorrência de fluxos excedentes; 3. modulação e replicabilidade, associando-se a racionalidade construtiva às possibilidades de adaptação e expansão da solução proposta 4. inclusão do pátio descoberto como elemento central da implantação, provendo iluminação e ventilação, experiências e interações entre os alunos, brincadeiras ao ar livre e prover contato com a natureza.

Complementarmente, foram estabelecidos os possíveis parâmetros que previssem uma melhor adequação a diferentes contextos: 1. configuração do terreno e recuos exigidos pela legislação local; 2. coerência ambiental e desempenho térmico, onde os ambientes de aprendizagem e maior permanência devem ser direcionados a orientação de maior conforto, considerando iluminação e ventilação natural; 3. identificação com pontos importantes do entorno, como vias e acessos, permitindo-se prever níveis de hierarquia e privacidade dos ambientes internos.

Desenvolvimento do algoritmo

Antes do desenvolvimento do algoritmo, foi necessário o estabelecimento de uma descrição lógica das espacialidades e suas relações, contemplando a escala e organização espacial previstas nas diretrizes. Esse processo incluiu a definição do programa de necessidades, fluxograma e setorização dos ambientes, para posterior aplicação dos princípios da sintaxe espacial. O programa de necessidades incluiu os ambientes essenciais em um CEI padrão sugerido pelo FNDE no manual de orientações técnicas para elaboração de Projetos de Edificações Escolares (2017), bem como seus pré-dimensionamentos e características funcionais para uma capacidade inicial de 80 alunos (0 a 4 anos) em período integral, sendo distribuído nos seguintes setores: 1. administração; 2. pátio coberto e pátio descoberto; 3. salas de atividades por faixas etárias (1 e 2 anos; 3 a 4 anos); 4. sala de repouso; 5. espaços multiuso; 6. serviços. A Figura 2 apresenta o fluxograma

estabelecido para o programa de necessidades, considerando a relação entre os setores, quanto aos requisitos funcionais de distribuição espacial, hierarquia, fluxos e circulações.

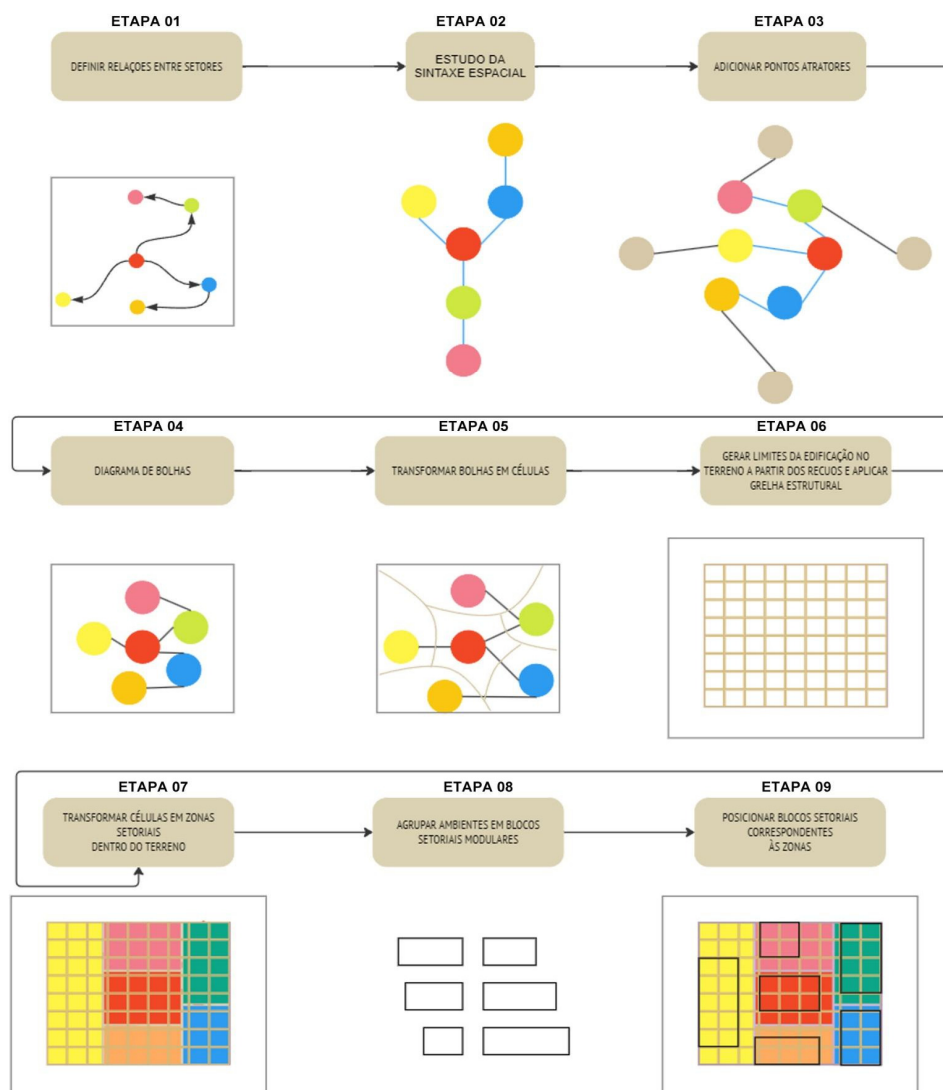
Figura 2: Fluxograma estabelecido para o programa de necessidades, considerando os setores.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Após as definições prévias de fluxograma e setorização da edificação, partiu-se para a implementação computacional, através do desenvolvimento do algoritmo e o estabelecimento de seus inputs (dados de entrada). As etapas desse processo são sintetizadas graficamente na Figura 3.

Figura 3: Síntese do processo de desenvolvimento e aplicação do algoritmo.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Durante o processo descrito, as etapas 01 a 05 consideram a descrição lógica das espacialidades e relações, através da Sintaxe Espacial, e a inclusão de parâmetros como pontos atratores externos, representando elementos específicos do contexto (características bioclimáticas e de entorno).

Devido à natureza de projeto modelo, cuja replicabilidade deve ser facilitada, foi considerada a necessidade de modulação estrutural do projeto para distribuição dos ambientes de forma racionalizada. Assim, considerou-se que os setores inicialmente definidos deveriam ser agrupados em blocos setoriais padronizados, a partir de uma grelha estrutural de 3mx3m, para facilitar a sua posterior implantação. Durante o estudo de cada bloco setorial, foram consideradas as áreas e a funcionalidade dos ambientes do programa de necessidades, estudando-se as possibilidades de acessos e aberturas.

A partir da inclusão dessa grelha estrutural de 3mx3m (etapa 06), o algoritmo gera uma referência de zoneamento para o projeto, com base nas diretrizes e parâmetros pré-definidos, características do terreno e impactos dos atratores externos (etapa 07).

Por fim, a integração desse zoneamento em ambiente BIM permite guiar a disposição dos blocos setoriais, previamente definidos (etapa 08) e contribuir para estudos de viabilidade mais rápidos em diferentes sítios, com o auxílio dos ambientes computacionais (etapa 09).

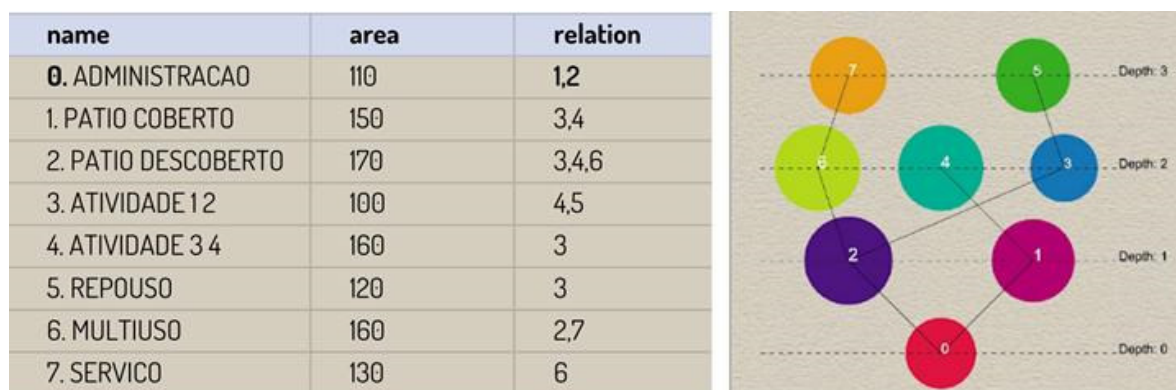
Para a validação do algoritmo, foram realizados 2 ensaios em diferentes terrenos de uma mesma zona bioclimática, chegando-se ao projeto a nível de estudo preliminar, onde foram definidos: a modulação estrutural, a distribuição do programa de necessidades, o programa das áreas livres e a volumetria. Essa aplicação será apresentada a seguir como Estudo de Caso, para uma maior compreensão das contribuições e dificuldades do processo, assim como do algoritmo.

O processo de aplicação do algoritmo tem início com a etapa 01, que parte da disposição dos setores do programa de necessidades no ambiente computacional do Rhino (pontos), bem como suas conexões (linhas), de forma aleatória. Uma lista com o nome dos setores e as conexões consideradas mais importantes entre eles deve ser posteriormente definida em uma tabela .csv, pelo próprio projetista a partir das diretrizes projetuais previamente discutidas.

Na etapa 02, a tabela .csv é inserida como input em um componente do GH, pertencente ao plugin Syntactic, que irá gerar um grafo de Sintaxe Espacial, indicando de forma simplificada a lógica dos fluxos dentro do edifício e suas articulações (Figura 4).

Observa-se que o grafo repercute definições de fluxograma e setorização descrito no início do processo (Figura 2), considerando o acesso pela administração e a fixação dos pátios no segundo nível de profundidade, para que ajam como articuladores dos outros ambientes do programa.

Figura 4: Tabela de setorização dos ambientes, áreas e relações e o respectivo grafo gerado a partir do componente do GH

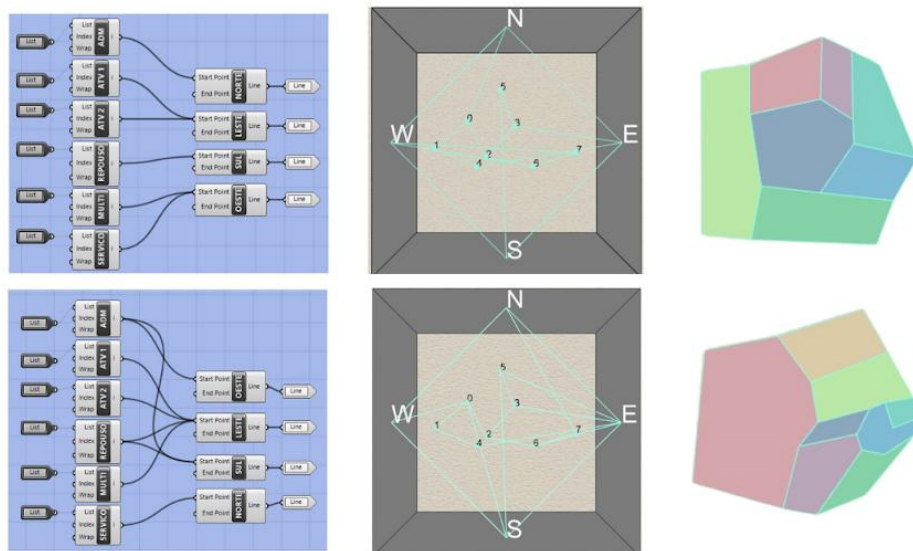


Fonte: Autoria própria, 2023.

A etapa 03 consiste na adequação desse fluxograma prévio aos pontos atratores, representando os elementos específicos do contexto, que guiam a sua implantação no sítio e inicia a inclusão de parâmetros e customização. Esses atratores são denominados pontos NEWS e representam os pontos cardeais, podendo ser utilizados para indicar direcionamentos de conforto ambiental, como ventilação e insolação, ou elementos do entorno, como a posição das vias de acesso.

O estabelecimento de suas relações com os setores do edifício irá depender, portanto, das possíveis interferências de cada contexto no projeto e da interpretação do próprio projetista. A partir da etapa 03, o Estudo de Caso se divide em dois ensaios (A e B), nos dois terrenos selecionados previamente. As ligações entre ambientes e direcionamento NEWS foram estabelecidas em função das condições mais adequadas de conforto e entorno, considerando as especificidades dos terrenos A e B, respectivamente (Figura 5).

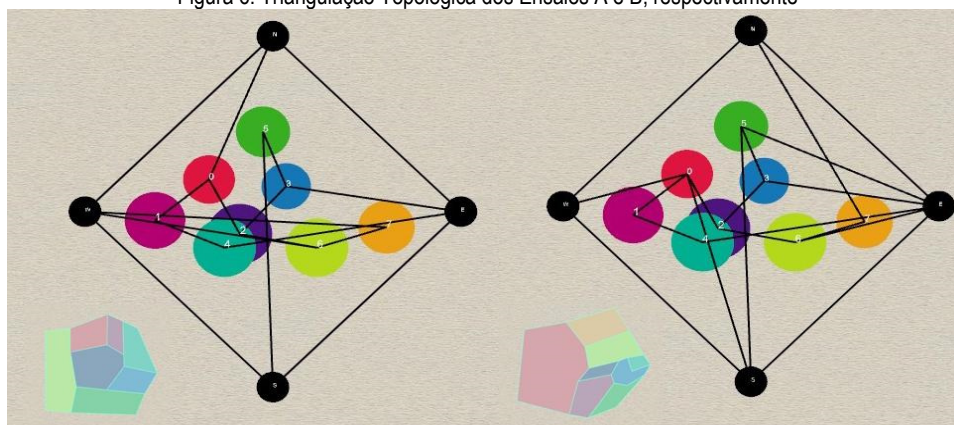
Figura 5: Processo do algoritmo do ensaio para os terrenos A e B, respectivamente.



Fonte: Autoria própria, 2023.

A partir dos inputs dos pontos atratores, o algoritmo gera o grafo NEWS, que mantém as relações entre os setores, enquanto adiciona as conexões com o entorno. Com base nessas informações, é desenvolvido um novo diagrama a partir da triangulação topológica desses pontos (Figura 6), ou seja, uma configuração do espaço que, ao se dividir, respeita as relações pré-estabelecidas e suas proporções. As áreas pré-determinadas na tabela .csv não se mantêm de forma precisa nas bolhas, pois o processo passa por etapas adimensionais, mas a sua proporcionalidade se preserva, ou seja, as suas relações de dimensão são respeitadas.

Figura 6: Triangulação Topológica dos Ensaios A e B, respectivamente

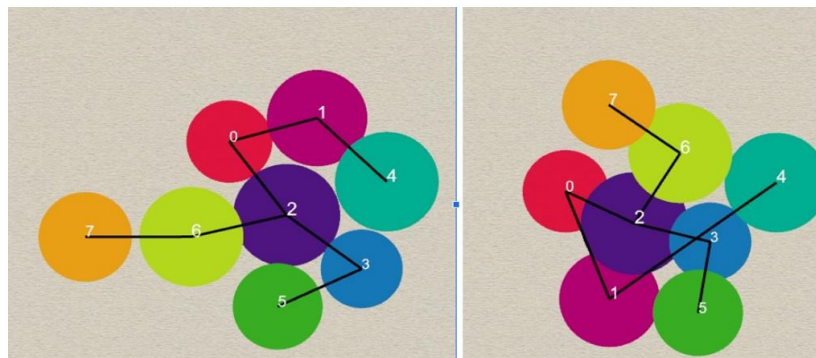


Fonte: Autoria própria, 2023.

Essa triangulação topológica fornece os inputs para o diagrama de bolhas da etapa 04, com a geração de uma nova configuração espacial, onde o algoritmo reposiciona os ambientes ao encontrar o ponto de equilíbrio entre as forças de atração.

Na Figura 7 é possível observar como a mesma posição inicial de pontos gerou duas soluções diferentes devido aos parâmetros externos, porém as conexões entre os ambientes permanecem as mesmas. Na etapa 05, o diagrama de bolhas é vinculado à poligonal de cada terreno (input), sendo transformado em zonas dentro de um grid modular quadrado de 3mx3m, o que representa a grelha estrutural pré-definida em etapas anteriores. Esse grid é gerado pelo algoritmo na etapa 06, a partir da delimitação prévia dos recuos obrigatórios em cada terreno, sendo considerada então apenas a área disponível para se construir.

Figura 7: Diagrama de Bolha dos Ensaios A e B, respectivamente



Fonte: Autoria própria, 2023.

Na etapa 07, utilizando-se o plugin de integração entre Grasshopper e Archicad, onde é possível conectar os dois ambientes com interoperabilidade em tempo real, o diagrama de zonas em grid modular (Figura 8) é traduzido em modelo em ambiente BIM, criando-se um gabarito para o posterior posicionamento dos blocos setoriais (Figura 9), previamente definidos a partir do programa de necessidades e setorização.

Figura 8: Diagrama de Bolhas transferidos como zonas, a partir de interoperabilidade com o ambiente em BIM.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 9: Disposição das zonas em grid modular, configurando-se às poligonais dos terrenos A e B.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Por fim, o programa de necessidades, distribuído e proposto em 7 blocos setoriais padronizados, que correspondem à lista inicial de setores (etapa 01), são modelados e dispostos já em ambiente BIM pelo próprio projetista (etapa 09), para posteriores correções e detalhamentos, ainda seguindo as diretrizes projetuais.

Assim, os blocos setoriais, previamente padronizados e modelados em ambiente BIM, são posicionados em diferentes configurações conforme o gabarito gerado pelo algoritmo para cada terreno. No caso do presente estudo, foram finalizados os ajustes para os dois ensaios (terreno A e B), a fim de validar as duas soluções e verificar possíveis limitações nos resultados obtidos.

Ambos os edifícios (Figura 10 e 11) traduzem as diretrizes projetuais pretendidas ao aplicar a escala e organização espacial pré-definidas, incluindo programa de necessidades, pré-dimensionamento, setorização, fluxograma e modulação. Destacam-se os blocos cercados por áreas livres com jardins e espaços lúdicos, promovendo contato com a natureza, integração entre as crianças e privacidade adequada em relação ao entorno. Cada implantação também se mostrou adequada à poligonal dos terrenos, recuos e definições próprias de orientação solar, ventilação e posicionamento dos acessos, definidos no início do estudo, a partir dos inputs aplicados ao algoritmo.

Figura 10: Estudo Preliminar do ensaio A



Fonte: Autoria própria, 2023.

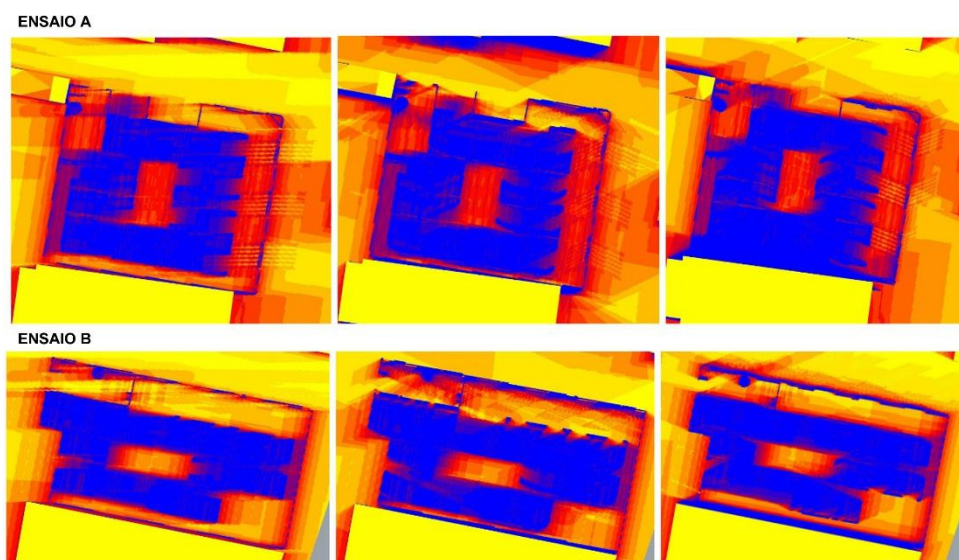
Figura 11: Estudo Preliminar do ensaio B



Fonte: Autoria própria, 2023.

Para finalizar, a performance climática das propostas foi conferida com as simulações de incidência de luz solar direta nos dois ensaios, nos equinócios e solstícios (Figura 12). Os resultados do ensaio A demonstram um desempenho satisfatório, tanto nos interiores dos blocos e áreas cobertas, com incidência de insolação em torno de 2 a 4 horas por dia, quanto nas áreas externas (pátio central e áreas livres nos recuos), que recebem sombra gerada pela própria volumetria do edifício. Nas simulações do ensaio B, é possível observar que nos equinócios, os pátios descobertos das extremidades do CEI, localizados nos recuos, possuem maior tempo de incidência direta de insolação, pois o edifício não projeta sombras o suficiente nessas áreas. O pátio descoberto central, por outro lado, possui situação mais adequada. As simulações dos solstícios de inverno e verão demonstram situações mais agradáveis de sombreamento nas áreas livres e de circulação.

Figura 12: Incidência de luz solar nos equinócios e solstícios, ensaio A e ensaio B, respectivamente.



Fonte: Autoria própria, 2023.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação proposta no presente trabalho permitiu identificar contribuições de se utilizar a modelagem paramétrica, associada ao ambiente BIM e à sintaxe espacial, ainda em etapas iniciais do processo de projeto, dentro de um contexto de projetos modelo para a esfera pública no ensino infantil.

O processo de projeto paramétrico permitiu a inserção de diretrizes projetuais relacionadas às características que deveriam ser previstas dentro da abordagem pedagógica e programa de necessidades adotados, enquanto possibilitou adequações mais assertivas quanto às especificidades do contexto, no que diz respeito às características do terreno, conforto e entorno.

A utilização da sintaxe espacial permitiu instanciar a descrição lógica das espacialidades e relações pré-definidas para o formato de algoritmo; enquanto a integração com o ambiente em BIM garantiu um fluxo contínuo de informações para as etapas posteriores de projeto que exigem um maior detalhamento construtivo.

Como limitações, reforça-se que o algoritmo proposto surge como um apoio à tomada de decisão nas etapas iniciais do processo de projeto, não chegando a uma automatização da geração final da solução em níveis mais detalhados de projeto executivo. Também salienta-se que as variáveis inseridas no algoritmo trabalham características de natureza bidimensional, como zoneamento e implantação, portanto as soluções resultantes em modelos BIM se limitam a edifícios térreos, conforme diretriz pré-definida de uma escala voltada para arquitetura infantil.

Porém, considerando-se que o processo proposto se insere no desenvolvimento de projetos modelo que demandam maior agilidade para construções em diversos locais do país, demonstrou-se como o projeto paramétrico, integrado ao BIM e à sintaxe espacial pode contribuir para a inserção de novas alternativas para

se buscar responder de forma mais adequada às necessidades dos usuários e especificidades de cada contexto, quando comparadas a soluções mais padronizadas, atualmente utilizadas no Brasil.

6 REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, G. **Arquitetura Escolar e Educação: Um Modelo Conceitual de Abordagem Interacionista**. 2002. 208 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- BECK, M. P. **Arquitetura, Visão e Movimento: O discurso de Paulo Mendes da Rocha na Pinacoteca do Estado de São Paulo**. 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- CELANI, G. **Beyond analysis and representation in CAD: a new computational approach to design education**. 2002. 202 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2002.
- CELANI, G.; LEITE, R. Trajetórias e nuances da personalização em série: diálogos interdisciplinares. **PIXO: Revista de Arquitetura, Cidade e Contemporaneidade**, v. 1, n. 2, p. 278-286, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/pixo/issue/view/1045/491>. Acesso em: 3 ago. 2024.
- FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. **Manual de orientações técnicas - elaboração de projetos de edificações escolares**: educação infantil. Brasília: FNDE, 2017.
- HILLIER, B.; HANSON, J. **The social logic of space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- KOLAREVIC, B. **Architecture in the digital age: design and manufacturing**. New York: Spon Press, 2003.
- KOLAREVIC, B. Metadesigning customizable houses. In: KOLAREVIC, B.; DUARTE, J. P. (Org.). **Mass customization and design democratization**. 1. ed. New York: Routledge, 2019.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K. *et al.* Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 2, p. 7–19, 2008. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3683>. Acesso em: 3 ago. 2024.
- LAWSON, B. **Como arquitetos e designers pensam**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- LIMA, M. S. A cidade e a criança. São Paulo: Nobel, 1989.
- MALAGUZZI, L. Histórias, ideias e filosofia básica. In: EDWARDS, C.; GANDINI, L.; FORMAM, G. (Org.). **As cem linguagens da criança: abordagem de Reggio Emilia na educação da primeira infância**. Porto Alegre: Artmed, 1999.
- MOREIRA, A. R. C. P. **Ambientes da infância e a formação do educador: arranjo espacial no berçário**. 2011. 190 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- NARDELLI, E. S. Arquitetura e projeto na era digital. **Arquitetura Revista**, v. 3, n. 1, p. 28–36, 2021. Disponível em: <https://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/5573>. Acesso em: 3 ago. 2024.
- RINALDI, C. **Diálogos com Reggio Emilia: escutar, investigar e aprender**. São Paulo: Paz e Terra, 2012.
- SOARES, J. P.; TRAMONTANO, M. Arquitetura emergente, design paramétricos e o representar através de modelos de informação. **VIRUS**, v. 1, n. 08. Disponível em: <http://vnomads.eastus.cloudapp.azure.com/ojs/index.php/virus/article/view/451/808>. Acesso em: 3 ago. 2024.
- TEDESCHI, A. **Parametric architecture with Grasshopper**. Italia: Le Penseur, 2011.
- WOODBURY, R. **Elements of parametric design**. Nova York: Routledge, 2010.

NOTA DO EDITOR (*): O conteúdo do artigo e as imagens nele publicadas são de responsabilidade das autoras.