



INTEGRANDO GERAÇÃO PROCEDURAL E EDIÇÃO DE LAYOUTS DE HABITAÇÃO AO SISTEMA ILÊMI

INTEGRATING PROCEDURAL GENERATION AND EDITING OF HOUSING LAYOUTS INTO THE ILÊMI SYSTEM

ROQUE, Pedro Thiago¹

Resumo

Nesta pesquisa, foi projetado e implementado um algoritmo para criação de cômodos a partir de grupos de números inteiros derivados da interação do usuário. A matriz de entrada, representando cômodos, é transformada em uma visualização com blocos BIM através da linguagem desenvolvida pelo sistema ILÊMI, permitindo uma representação visual detalhada e prática. Também foi implementada a funcionalidade de edição de blocos diretamente na representação visual da geometria dos blocos BIM, permitindo que os usuários modifiquem os componentes arquitetônicos na interface visual. As melhorias tornam o processo de design mais eficiente, ao mesmo tempo que reduzem a carga de trabalho do usuário, facilitando a criação e edição de *layouts* habitacionais.

Palavras-chave: geração procedural, BIM, habitação social, sistema especialista.

Abstract

In this research, an algorithm for creating rooms from groups of integers derived from user interaction was designed and implemented. The input matrix, representing rooms, is transformed into a visualization with BIM blocks through the language developed by the ILÊMI system, allowing for a detailed and practical visual representation. The functionality to edit blocks directly in the visual representation of the BIM blocks' geometry was also implemented, enabling users to modify architectural components in the visual interface. These improvements make the design process more efficient while reducing the user's workload, facilitating the creation and editing of housing layouts.

Keywords: procedural generation, BIM, social housing, expert system.

¹ Programa de Pós-Graduação em Computação – Universidade Federal de Pelotas, ORCID: 0009-0005-7322-1570, pedronmroque@gmail.com

1 Introdução

A utilização da geração procedural pode ser significativamente expandida no campo da arquitetura, caso sejam implementadas ferramentas que simplifiquem seu uso, proporcionando uma interação intuitiva entre o humano e o computador. Para alcançar essa ampliação, é fundamental que tais ferramentas sejam projetadas com foco em usuários que não possuem conhecimentos avançados em programação.

Para facilitar a utilização da tecnologia de geração procedural, foi desenvolvido o sistema ILÊMI (Roque; Borda, no prelo). Este sistema é fruto da adaptação do algoritmo *Wave Function Collapse* (WFC) de Gumin (2016), originalmente utilizado no design de jogos para a criação de cenários. A adaptação de WFC no sistema inicia com uma grade onde cada célula tem um conjunto de estados possíveis, representando elementos como piso, parede, canto, porta e janela. Através da interação do usuário e das regras de adjacência entre os estados/blocos, as células colapsam em um estado específico dentre as opções disponíveis. A adaptação do WFC ao contexto da arquitetura permite a criação de espaços habitacionais variados, atendendo às necessidades específicas de projetos residenciais, ao mesmo tempo em que simplifica o processo para usuários com pouca ou nenhuma experiência em programação. O uso de algoritmos de game design para geração procedural visa aplicar estruturas lógicas reconhecidas e eficazes da indústria da computação gráfica (Gumin, 2016) para inovar na modelagem e prototipagem arquitetônica.

A pesquisa descrita neste trabalho concentra-se no desenvolvimento de geração procedural de *layout* de habitação a partir de entrada de dados do usuário e a extensão das capacidades de edição do sistema, com a interação direta sobre a geometria 3D. O termo "*layout*" será utilizado para descrever o modo de distribuição e arranjo dos elementos gráficos em um determinado espaço ou superfície, especificamente o arranjo dos cômodos no esboço de planta baixa.

Este desenvolvimento incorpora habilidades e conceitos familiares aos usuários, como a seleção de elementos com o mouse. A interface foi projetada para permitir que os usuários apliquem essas habilidades ao desenhar suas intenções de *layout* habitacional em uma interface matricial. O desenho do usuário é elaborado sobre uma matriz de 10x10 células, representando um espaço de até 100m² para construção. Dessa forma, a interface facilita a tradução das intenções dos usuários em *layouts* concretos, aproveitando suas habilidades pré-existentes em interações computacionais.

Além disso, a pesquisa também se alinha aos objetivos da Estratégia BIM BR (2018), que visam o desenvolvimento de tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) brasileira, com um foco especial na habitação de interesse social, atualmente contemplada no programa Minha Casa Minha Vida (MCMV, 2023). A integração da tecnologia BIM no contexto brasileiro é crucial para aumentar a eficiência e a qualidade dos projetos

habitacionais destinados a populações de baixa renda, promovendo soluções que sejam economicamente viáveis e sustentáveis.

As implementações da pesquisa também visam contribuir para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ONU: 3 - Saúde e Bem-estar; 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura e 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis (Organização das Nações Unidas, 2024).

2 Metodologia

O sistema ILÊMI é um sistema baseado em regras (Roque; Borda, no prelo), também conhecido como sistema especialista, que tem como objetivo a criação de *layouts* de habitação. Os sistemas baseados em regras codificam a expertise humana em pequenas partes de uma área específica do conhecimento, permitindo a automação desse conhecimento. Esta abordagem representa a forma mais básica de inteligência artificial, onde um conjunto de regras pré-definidas é utilizado para tomar decisões e resolver problemas dentro do domínio específico (Grosan; Abraham, 2011). A pesquisa descrita neste trabalho propõe criar uma maneira mais intuitiva e simplificada de interação com o sistema e seus algoritmos de criação de *layout*.

A seção 2.1 descreve como a partir da implementação prévia emergiu a necessidade de tornar o processo de criação dos *layouts* mais ágil e simples.

Em seguida, foi projetado e implementado um algoritmo de criação de cômodos a partir de grupos de números inteiros derivados da interação do usuário, conforme detalhado na seção 2.2. A seção 2.3 aborda a transformação da matriz de entrada, representando cômodos, em uma visualização com blocos BIM. Isso é realizado através da linguagem criada pelo sistema ILÊMI, permitindo uma representação visual detalhada e prática para os usuários. Além disso, foi implementada a funcionalidade de edição de tipos de blocos diretamente na representação visual da geometria dos blocos BIM. Essa funcionalidade adicional permite que os usuários modifiquem os componentes arquitetônicos na interface visual, tornando o processo de design mais interativo e flexível.

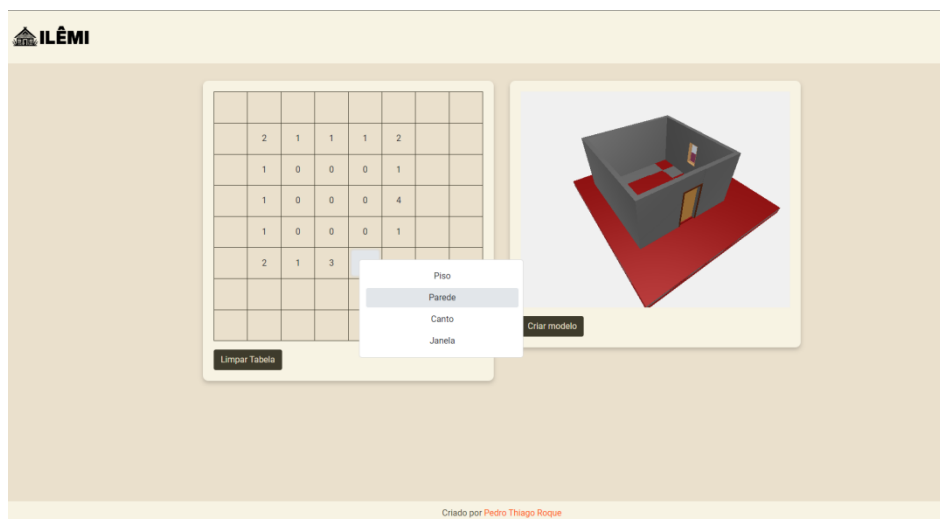
2.1 A estrutura prévia e os desafios emergentes

Em sua primeira iteração, relatada por Roque e Borda (no prelo), foram desenvolvidas funcionalidades de análise matricial utilizando o algoritmo *Wave Function Collapse*, apoiado por regras de adjacência entre os blocos. O algoritmo promove a geração procedural de *layouts* a partir das entradas de dados do usuário, ajustando os estados possíveis de cada célula com base nas relações entre blocos estruturais BIM e as regras de adjacência. Embora fosse necessário interagir com diversas células da matriz de representação de *layout*, o algoritmo se encarregava de completar a matriz automaticamente após um certo número de células colapsadas. Essa automação permitia que, uma vez definidas a maioria das células

pelo usuário, o algoritmo ajustasse os estados das demais células de acordo com as regras de adjacência, garantindo a coerência e funcionalidade do *layout* gerado.

Ainda que a abordagem célula a célula funcione, conforme exemplificado na Figura 1, ela adiciona uma carga de trabalho ao usuário que poderia ser otimizada. Destacam-se dois pontos a serem aprimorados: Primeiramente, a atribuição automática de valores às células de um grupo que formará um cômodo visa livrar o usuário da necessidade de atribuir manualmente cada detalhe trivial do *layout*, como identificar onde estão os cantos ou onde devem ser colocadas as paredes para delimitar o cômodo. Esse processo será realizado de forma transparente à interação do usuário com a interface, automatizando tarefas repetitivas e melhorando a eficiência. Posteriormente, a criação de um algoritmo que compreenda intencionalmente a estrutura de cômodos e suas relações, representa uma visão holística do processo de esboço do *layout* e constrói a representação da habitação por meio de uma abstração superior à abordagem de células. Esse algoritmo terá a capacidade de entender as interações entre diferentes cômodos, proporcionando uma geração de *layouts* mais coerente e eficiente.

Figura 1 - Construção de *layouts* via seleção de células individuais da matriz de entrada, na iteração inicial do sistema ILÊMI



Fonte: Autor, 2024.

Estipulados os desafios da pesquisa, iniciou-se a implementação das soluções propostas.

2.2 Interagindo para criar cômodos

A funcionalidade de clicar, arrastar e soltar com o mouse no sistema ILÊMI é crucial para a criação de *layouts* via interface visual, pois torna o processo acessível a usuários com diferentes níveis de proficiência em computação. Esta abordagem interativa permite que os usuários manipulem componentes arquitetônicos de forma intuitiva, facilitando a configuração de *layouts* complexos sem a necessidade de conhecimentos avançados em

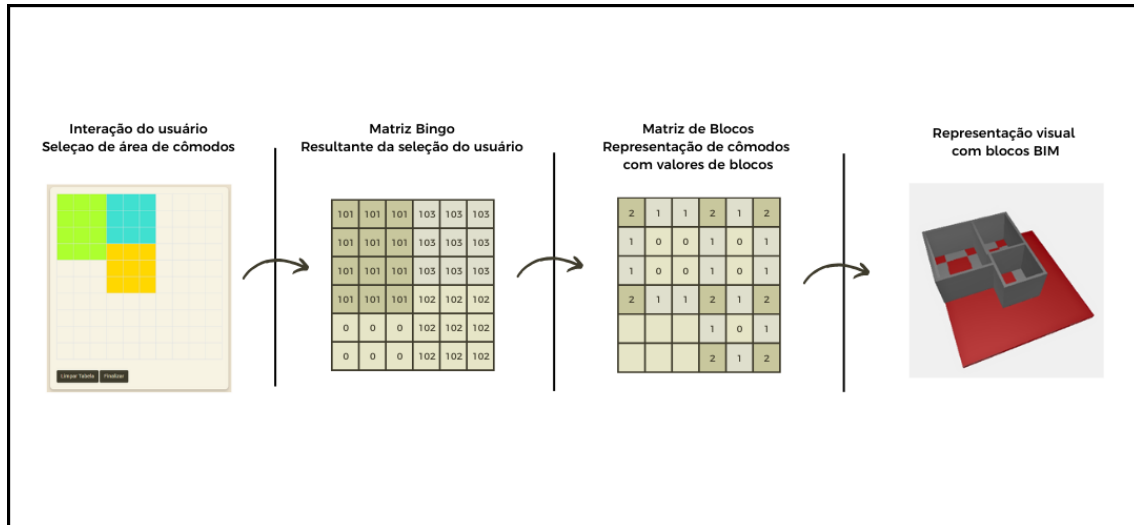
desenho. Assim como sistemas interativos de análise de dados que democratizam a interação com dados através de interfaces intuitivas de clicar, arrastar e soltar (Kraska, 2021), o ILÊMI utiliza essa técnica para simplificar o design de *layouts* habitacionais. Isso permite que qualquer usuário, independentemente de sua experiência técnica, participe ativamente no processo de criação, promovendo maior inclusão e usabilidade no desenvolvimento de projetos arquitetônicos.

A figura 2 ilustra o processo detalhado de seleção, agrupamento e geração de *layout* no sistema ILÊMI. A figura demonstra como a interface permite a seleção de células, a criação da Matriz Bingo e a aplicação do algoritmo de geração de cômodos. Ao usar o mouse (ou toque na tela) para selecionar um conjunto de células na interface visual do sistema, a submatriz resultante recebe um número inteiro que designa o tipo de cômodo. Este grupo de células com o mesmo valor é denominado Matriz Bingo.

A Matriz Bingo define os limites espaciais de cada cômodo e é composta pelas submatrizes correspondentes a cada um. É a partir dessa forma intermediária que o algoritmo de geração de cômodos cria a matriz de blocos, representando o *layout* final. Através da aplicação de um conjunto de regras sobre as submatrizes de cada cômodo, o sistema é capaz de avaliar o posicionamento da célula na matriz bidimensional para inferir seu valor adequado.

Na figura 3, podemos acompanhar o processo de aplicação do conjunto de regras em detalhe. Este processo se inicia com a geração de bordas externas e internas nas fronteiras dos grupos de células. Para garantir que cada cômodo tenha uma forma bem definida, é realizada uma verificação de fechamento, assegurando que os cômodos sejam formas fechadas. Neste estágio, já é possível visualizar a distinção entre submatrizes e suas bordas, sejam elas compartilhadas ou não entre si, utilizando uma linguagem que emprega números inteiros para representar os blocos BIM: o número 1 para paredes e o número 0 para pisos.

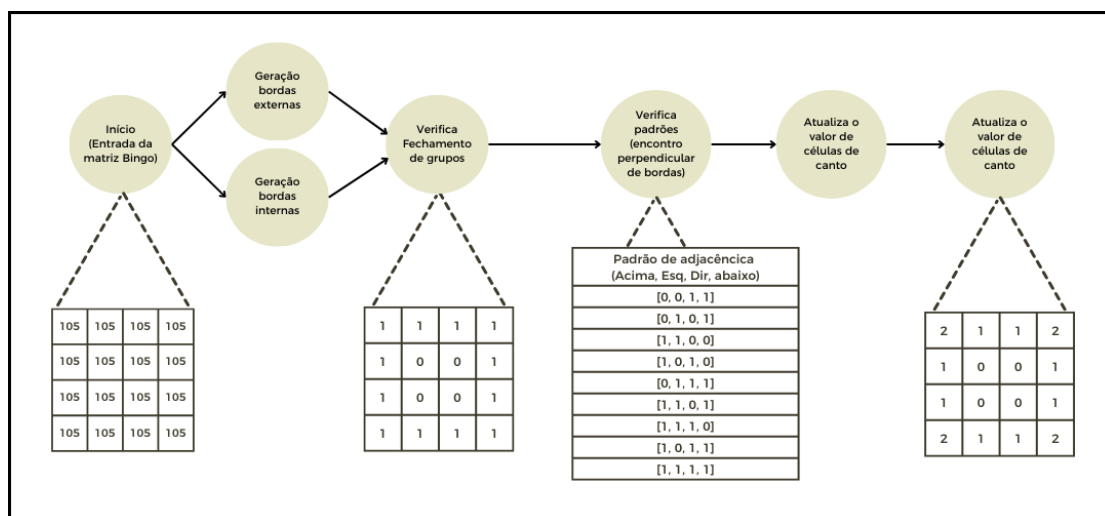
Figura 2 - Processo de criação de *layouts* com interação do usuário, da seleção de células até a representação visual com blocos BIM



Fonte: Autor, 2024.

Para adicionar os blocos de canto, é necessário identificar quais células estão posicionadas no encontro de bordas perpendiculares. Esta etapa, a verificação de padrões, permite identificar um bloco de canto através de nove padrões de adjacência. Esses padrões verificam as células posicionadas acima, à esquerda, à direita e abaixo da célula em análise. Esta abordagem assegura que todos os cantos sejam corretamente definidos e representados no *layout* com o número 2, melhorando a precisão e a funcionalidade do esboço de projeto gerado. Estes padrões incluem as oito rotações possíveis para o encontro de duas ou três bordas em células adjacentes, assim como o padrão de encontro de quatro bordas ao redor da célula avaliada. Os valores são então atualizados nas suas respectivas posições, resultando em uma matriz com cômodos definidos, pronta para a representação visual.

Figura 3 - Processo de aplicação do conjunto de regras sobre matrizes



Fonte: Autor, 2024.

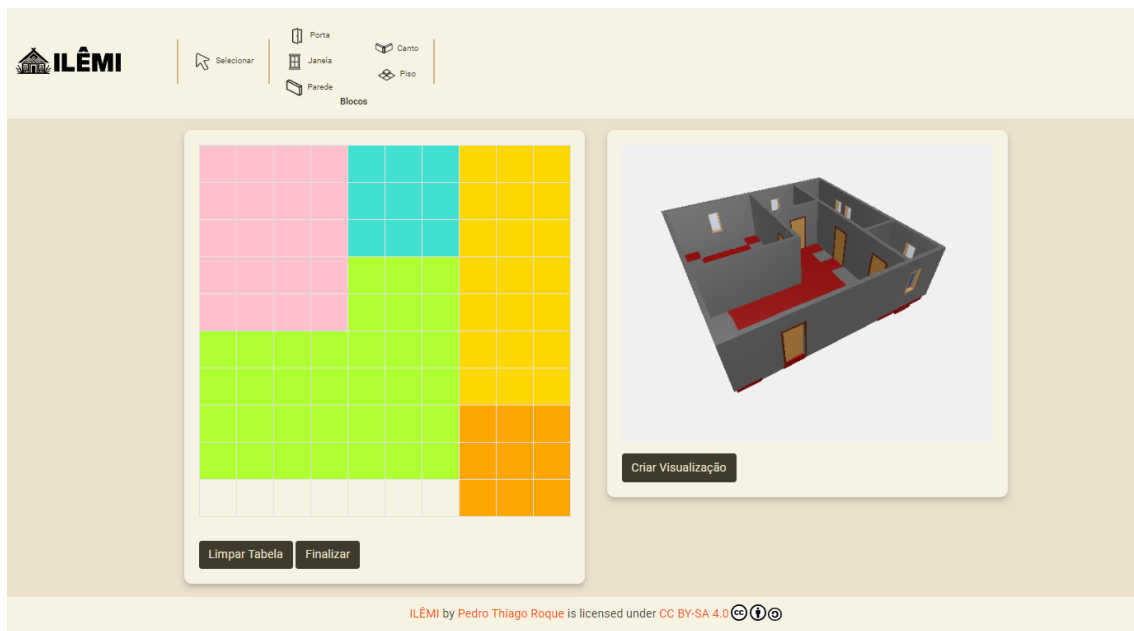
2.3 Visualização e Edição Interativa de Blocos BIM

Com a matriz de blocos gerada, o processo de visualização utiliza a estrutura implementada na pesquisa de Roque e Borda (no prelo), empregando a geometria de blocos BIM no formato IFC (*Industry Foundation Classes*, [s.d.]) para representar os *layouts* habitacionais.

Neste estudo, foi desenvolvida uma funcionalidade de edição que permite a interação direta com a geometria dos blocos BIM (*Building Information Modeling*) na cena. O sistema foi aprimorado com a adição de um menu superior na interface visual, que inclui botões para seleção e rotação dos blocos, operáveis por meio de um clique do mouse ou toque na tela. Além disso, foram inseridos botões dedicados para cada tipo de bloco.

Quando ativados, os botões permitem ao usuário modificar o tipo do bloco selecionado com um simples clique. Essa funcionalidade proporciona ao usuário uma maior liberdade para realizar edições de forma mais direta, reduzindo o número de etapas necessárias. Em vez de ser obrigado a refazer todas as seleções na matriz de entrada para ajustar pequenos detalhes no *layout* em 3D, o usuário pode agora fazer alterações precisas e imediatas diretamente na cena. Essa abordagem não só otimiza o processo de edição, mas também aumenta a agilidade do processo de geração de *layouts*, facilitando a gestão e modificação dos blocos BIM em um ambiente tridimensional. Na Figura 4, observa-se o processo de adição de aberturas ao *layout*, onde blocos de parede são substituídos por blocos de portas e janelas nos cômodos através da nova funcionalidade.

Figura 4 - Adição de blocos de aberturas através de interação com visualização 3D



Fonte: Autor, 2024.

3 Resultados

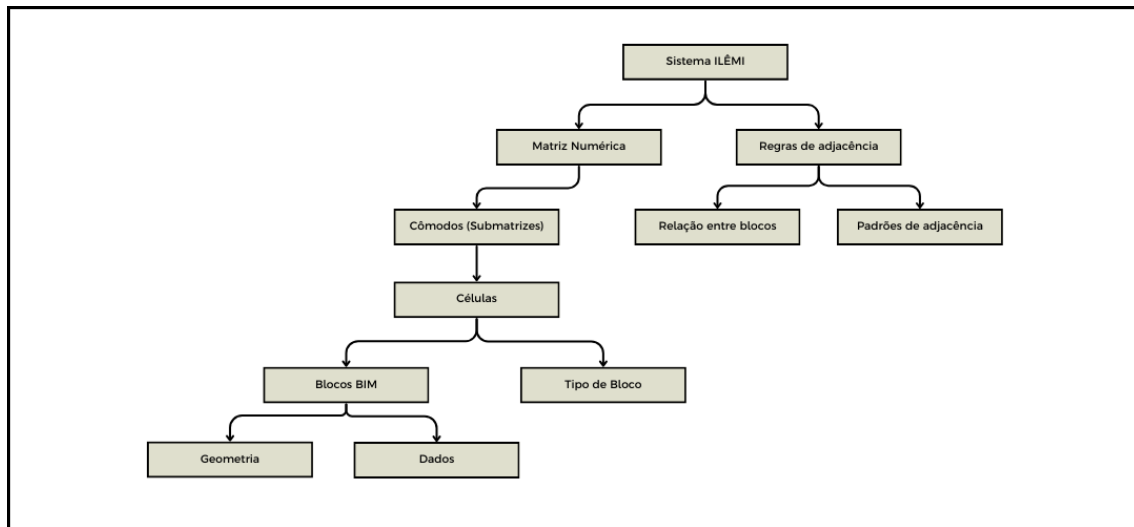
A abordagem de criação de *layouts* a partir da seleção de áreas da matriz de entrada demonstrou ser mais ágil e eficiente em comparação ao método anteriormente implementado na pesquisa de Roque e Borda (no prelo), que se baseava na seleção manual de células individuais. A responsabilidade de compreender a formação do *layout* é delegada a um conjunto de regras implementadas, liberando o usuário da necessidade de atribuir valores a cada célula individualmente e automatizando a criação da matriz de representação. Isso está alinhado com a teoria da carga cognitiva, conforme definida por Alves et al. (2017), que sugere que ao reduzir o esforço mental necessário para completar uma tarefa, podemos melhorar a eficiência e a precisão do usuário.

Nesse contexto, a simplificação das interações facilita o processo de edição, permitindo que os usuários tomem decisões dentro dos limites necessários sem sobrecarregar sua capacidade cognitiva. A teoria da carga cognitiva, que se baseia na capacidade limitada de retenção e processamento da memória operacional, é crucial para a experiência do usuário ao planejar o *layout* de uma habitação. A teoria destaca que tarefas complexas, como o design de *layouts*, podem ser cognitivamente exigentes. A nova abordagem simplifica a tarefa, permitindo que o usuário se concentre em decisões de alto nível, enquanto o sistema gerencia os detalhes. Isso reduz a carga mental e o esforço cognitivo, facilitando uma melhor performance na tarefa de criar *layouts* coesos e funcionais, independentemente do nível de conhecimento do usuário.

Esta funcionalidade de seleção de áreas para a geração de cômodos foi viabilizada pela implementação de um algoritmo que considera a totalidade da matriz como expressão do *layout* da habitação, em vez de operar apenas sobre células individuais e suas adjacências, como na implementação anterior.

Finalmente, a funcionalidade de alterar tipos de blocos diretamente na cena, de forma dinâmica e em tempo real, facilita a implementação de ideias pelo usuário, ampliando sua liberdade criativa e o poder de expressão do sistema. Além disso, permite correções pontuais sem que o usuário precise gastar tempo ou recursos computacionais refazendo todo o esboço do *layout*. Essa melhoria na interface e no processo de edição é fruto da proposta de organização interna criada para esta iteração do projeto, demonstrada na Figura 5, resultando em uma otimização da experiência de usuário. O código do projeto está disponível em: <https://github.com/PedroThiagoRoque/ILEMI-WFC-Arquitetura>.

Figura 5 - Organização dos componentes do sistema ILÊMI



Fonte: Autor, 2024.

A pesquisa também buscou contribuir para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU no Brasil (s.d.). Especificamente, o Objetivo 3, que visa a saúde e o bem-estar, foi abordado através do aperfeiçoamento da geração procedural e da edição de *layouts* para melhorar a qualidade dos projetos de habitação, com o intuito de garantir que o sistema tenha a capacidade de gerar ambientes mais saudáveis e confortáveis para os moradores. O Objetivo 9, que enfoca a indústria, inovação e infraestrutura, foi objetivado ao fomentar a independência brasileira no desenvolvimento e implementação da tecnologia BIM na indústria da construção civil, reduzindo a dependência de tecnologias estrangeiras e promovendo a inovação local. Por fim, o Objetivo 11, que trata de cidades e comunidades sustentáveis, foi abordado pela promoção do *software* livre, que facilita a construção popular. Este enfoque permite que as habitações sejam projetadas de forma gratuita e adaptável aos materiais disponíveis, essencial para a construção de comunidades sustentáveis. Ao fornecer ferramentas acessíveis para a criação de habitações de qualidade, a pesquisa almeja contribuir para a redução da desigualdade social e para o desenvolvimento de comunidades mais resilientes e autossuficientes.

4 Discussão

Há espaço para aprimorar ainda mais o algoritmo de detecção de padrões na matriz de representação, introduzindo novas regras mais específicas. Essas melhorias visam reduzir o número de intervenções necessárias por parte do usuário, que, embora sejam raras, ainda podem ocorrer.

Adicionalmente, seria muito útil automatizar o posicionamento de portas e janelas nos cômodos com base em um algoritmo que considere o fluxo e a comunicação entre os espaços internos, utilizando os tipos de cômodos definidos na matriz de entrada e a

orientação solar do terreno. Esta seria mais uma etapa importante para a simplificação de tarefas e redução do esforço mental do usuário.

Em última análise, a adição de tecnologia de IA generativa com *Large Language Models* (LLM), que são versões mais complexas e robustas de inteligência artificial em comparação aos sistemas especialistas, para melhorar partes do processo de geração de *layout* de habitação, poderia trazer vantagens técnicas significativas ao sistema. Contudo, é fundamental focar no uso de modelos open source e *software* livre. O uso de modelos proprietários, apesar de sua fácil integração, pode introduzir custos adicionais e dependências que são incompatíveis com a operação e os objetivos do projeto. Não bastando apenas a praticidade no desenvolvimento, os projetos de *software* livre destinados à realidade popular brasileira devem minimizar os entraves financeiros para seus usuários. Utilizar soluções de IA generativa *open source* não só atende a esse princípio, mas também fortalece a independência tecnológica nacional. Na mesma linha de foco na acessibilidade financeira, as implementas da presente pesquisa serão incorporadas a uma distribuição de aplicativo para Windows e Linux, evitando os custos de hospedagem associados com websites.

A Lei nº 11.888, de 24 de dezembro de 2008, garante o direito à assistência técnica para habitação de interesse social aos cidadãos brasileiros. Portanto, todas as partes de orçamentos que puderem ser otimizadas se traduzem em mais moradias dignas para a população.

Mais importante que o próprio projeto construído dentro da plataforma é a tomada de consciência que o sistema ILÊMI propõe-se a mediar. As presentes implementações da pesquisa visam à assimilação, por parte do usuário, no sentido piagetiano (Moreira, 1999), de conceitos básicos de organização espacial, planejamento da circulação e de um vislumbre sobre a extensão do domínio que é campo de estudo da arquitetura. O sistema ILÊMI se limita à funcionalidade de gerar esboços de *layouts* de forma prática e intuitiva, com potencial de aplicação acadêmica e profissional, mas principalmente na autoconstrução. A autoconstrução em nosso país é vista como um tema cercado de controvérsias (Nascimento, 2011). Porém, a pesquisa CAU/BR / Datafolha de 2015 (CAU/BR, 2015) demonstrou que, em média, 85% das construções ou reformas no Brasil não utilizavam arquitetos, urbanistas ou engenheiros, chegando a 90% na região Norte.

eticamente, há o desafio de balancear o uso de tecnologia procedural, como o sistema ILÊMI, com a realidade de populações de baixa renda, garantindo que o projeto não imponha uma visão elitista ou tecnocrática sobre a autoconstrução. A implementação de *software open source* nacional para auxiliar no planejamento construtivo parte de uma lógica transgressora, onde cabe ao não conformismo criar novas formas de acultramento entre o cidadão brasileiro médio e a academia brasileira. Não de forma prescritiva, através de

imposições do "saber científico", mas balizando a pesquisa para maximizar seu retorno à sociedade. Este se apresenta como o maior desafio nesta pesquisa.

5 Conclusão

Esta pesquisa explora a implementação de geração procedural e edição de *layouts* de habitações utilizando uma interface planejada para facilitar a interação do usuário com o sistema ILÊMI. Por meio da aplicação de um conjunto de regras e da detecção de padrões nas estruturas matriciais de dados, foi possível automatizar parte do processo inerente à concepção de *layouts*. A funcionalidade de edição do tipo de blocos através da interação com a geometria de blocos BIM agiliza o processo de correção ou alteração dos esboços.

A integração de geração procedural e edição interativa no sistema ILÊMI representa um avanço no planejamento e desenvolvimento de *layouts* habitacionais. O uso de *software* livre não só promove inovação técnica, mas também torna essas ferramentas acessíveis, para beneficiar tanto o meio acadêmico quanto a indústria da construção civil no Brasil.

Colaboradores

Pedro Thiago Roque foi responsável pela concepção e implementação das funcionalidades no sistema, pela análise dos resultados obtidos e pela elaboração do relato do processo de desenvolvimento.

Agradecimentos

Agradeço ao GEGRADI – UFPel pelo apoio inestimável.

Referências

ALVES, M. V. C.; MODESTO, J. G.; LIMA-ROSSETTI, D.; LANINI, J.; BUENO, O. F. A. **As dimensões da carga cognitiva e o esforço mental**. Revista Brasileira de Psicologia, v. 4, n. 01, p. 2-16, 2017.

BRASIL. Lei nº 11.888, de 24 de dezembro de 2008. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/l11888.htm. Acesso em: 18 março 2024.

CARTILHA PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA. 2023. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/Downloads/habitacao-minha-casa-minha-vida/Cartilha-PMCMV-FAR.pdf>>. Acesso em: 03 abril 2024.

CAU/BR - CONSELHO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO BRASIL. Pesquisa CAU/BR-Datafolha. 2015. Disponível em: <<https://caubr.gov.br/pesquisa2015/>>. Acesso em: 20 maio 2024.

ESTRATÉGIA BIM BR. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/building-information-modelling-bim/26-11-2018-estrategia-BIM-BR-2.pdf>>. Acesso em: 03 de abril de 2024.

GROSAN, C.; ABRAHAM, A. **Rule-based expert systems**. In: GROSAN, C.; ABRAHAM, A. (org.). *Intelligent systems: A modern approach*. p. 149-185, 2011.

GUMIN, Maxim. **Wave Function Collapse Algorithm**. 2016. Disponível em: <<https://github.com/mxgmn/WaveFunctionCollapse>>. Acesso em: 10 março 2024.

INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC) – An Introduction. Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>>. Acesso em: 07 maio 2024.

KRASKA, T. **Northstar: An interactive data science system**. 2021.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999.

NASCIMENTO, Denise Morado. A autoconstrução na produção do espaço urbano. In: **Estado e capital imobiliário: convergências atuais na produção do espaço urbano brasileiro**. Belo Horizonte: Ed. C/Arte, 2011. p. 217-230.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 22 maio 2024.

ROQUE, Pedro Thiago; BORDA, Adriane. Exploration of wave function collapse game design algorithm for procedural generation in architecture. In: **ICGG 2024 - Proceedings of the 21st International Conference on Geometry and Graphics Series, Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies 217**, Springer, no prelo.