

André Luiz Silva, Marília Lyra Bergamo\*

# Especulação espacial através do Jogo da Vida de John Conway: fomentando a criatividade com algoritmos autônomos

\*

**André Luiz Silva** é arquiteto e Designer Multidisciplinar atuando na interseção entre Arte, Arquitetura e Design Computacional. Possui interesse em metodologias de projeto, Interação Humano-Computador (IHC), Técnicas Tradicionais e Tecnologia Computacional direcionada ao desenvolvimento de Arquitetura, Produto e Arte. Doutorando na linha de pesquisa Poéticas Tecnológicas do Programa de Pós-Graduação em Artes da Escola de Belas Artes da UFMG, mestrado na mesma instituição, graduação em Arquitetura e Urbanismo pelo Centro Universitário do Leste de Minas, e período sanduíche fomentado pela CAPES na Savannah College of Art and Design.

<andrearqurb@outlook.com>

ORCID 0000-0002-4984-4912

**Marília Bergamo** é artista da computação e professora de Design e Arte Digital há quinze anos. Formou-se em Design e Ciência da Computação e trabalhou com design de interface no inf-

**Resumo** Este artigo busca apresentar um experimento envolvendo um autômato celular inspirado no Jogo da Vida de John Conway. O algoritmo desenvolvido utiliza regras de composição simples para gerar diagramas de viabilidade de residências unifamiliares de um pavimento, considerando a quantidade de espaços sociais, privados e vazios. O objetivo do experimento é ilustrar uma linha de pensamento que busca utilizar a IA como estímulo criativo, estético, imagético, estilístico, linguístico e crítico para o desenvolvimento e avanço do discurso arquitetônico. Através do experimento observou-se uma relação de coautoria em que o algoritmo gera um evento contingente representado pelo diagrama de viabilidade, e o arquiteto reage a esse evento ao amadurecê-lo em uma solução menos abstrata.

**Palavras-chave** Jogo da Vida, Especulação Espacial, Planta Baixa, Projeto de Arquitetura.

cio da carreira. Seu trabalho como educadora também começou em design de interface e gráficos impressos tradicionais. Como artista, buscou produzir e pesquisar arte relacionada à interação, imagens digitais e o conceito de evolução e interação com sistemas digitais. Atualmente sua pesquisa e produção enfatizam Arte, Poética e Computação, Sistemas Complexos e Design para mídias interativas. Atua principalmente nos seguintes temas: arte e sistemas digitais, arte computacional, vida artificial, design de interação e criação de interfaces multimodais.

<marilialb@yahoo.com>

ORCID 0000-0001-9105-7886

### **Spatial speculation through John Conway's Game of Life: fostering creativity with autonomous algorithms**

**Abstract** *This article seeks to present an experiment involving a cellular automaton inspired by John Conway's Game of Life. The developed algorithm uses simple composition rules to generate viability diagrams of single-story single-family homes, considering the amount of social, private and empty spaces. The objective of the experiment is to illustrate a line of thought that seeks to use AI as a creative, aesthetic, imagery, stylistic, linguistic and critical stimulus for the development and advancement of architectural discourse. Through the experiment, a co-authorship relationship was observed in which the algorithm generates a contingent event represented by the feasibility diagram, and the architect reacts to this event by maturing it into a less abstract solution.*

**Keywords** *Game of Life, Space Speculation, Blueprint, Architectural Project.*

### **La especulación espacial a través del Juego de la vida de John Conway: fomentando la creatividad con algoritmos autónomos**

**Resumen** *El presente artículo propone una revisión bibliográfica desde la perspectiva de la educación en la escuela de diseño moderno Bauhaus, entre el periodo correspondiente a 1919 y 1933 en Alemania. Partiendo de los estados del arte ya publicados, este artículo analiza la producción bibliográfica a partir de dos ángulos: las publicaciones que enuncian la relación del diseño industrial con el modernismo como movimiento estético y político, y las publicaciones que dialogan al respecto de la relación de Bauhaus con las expectativas y los procesos de cambio social. A lo largo de la historia del arte y del diseño, los autores pretenden señalar aspectos en común con el conjunto de análisis ya realizados sobre el tema, así como los vacíos que han quedado y la diversidad de enfoques teóricos y metodológicos en los que se apoyan. Para concluir, el artículo analiza la influencia de las condiciones sociales e históricas en la trayectoria de formación de Bauhaus.*

**Palabras clave** *Juego de la vida, Especulación espacial, Planta Baja, Diseño Arquitectónico.*

## Introdução

O surgimento de resultados surpreendentes e inesperados é o que na maioria dos casos pode qualificar uma prática como criativa ou não. A criatividade também é comumente associada à capacidade de gerar novidades a partir de conhecimento existente. Alguns autores vão além e afirmam que ela é o reflexo da capacidade humana em transformar o conhecimento adquirido ao longo da vida em soluções até então inexploradas (Del Campo, Carlson e Manning, 2020). Quando pensamos criatividade em sistemas artificiais nos deparamos com o conceito de Criatividade Computacional (CC). Nas disciplinas de Inteligência Artificial e Ciências Cognitivas, ela é usualmente abordada como a criatividade de um agente computacional individual (Gu & Amini, 2021). Alguns autores avaliam diversos níveis de CC considerando um escopo que abrange desde softwares de desenho assistido (creative support tools - CST) a algoritmos de inteligência artificial (Hoffmann, 2005; Davis, 2017). Contudo, para o escopo deste artigo, CC se refere ao uso de estruturas computacionais capazes de agir ativamente no processo criativo através da geração de resultados. No meio-termo entre criatividade autônoma computacional ou humana, podemos pensar a Humano-Computador Cocriatividade (HC<sup>3</sup>), conceito que Hoffmann (2016) define como uma forma de cocriatividade em que exista pelo menos um humano e um agente computacional como criadores.

Contudo, é perceptível que em alguns campos do conhecimento, a criatividade é abordada apenas a partir da perspectiva humana. Isso se dá devido a discursos antropocêntricos, abordagens filosóficas e práticas de apropriação tecnológica que posicionam o ser humano como o fator principal de relações e interações hierárquicas. Para este estudo, recorreremos a um discurso filosófico de apropriação tecnológica pautado em uma relação de colaboração e autonomia de ambas as partes projetuais (ser humano e computação). Enxergamos a capacidade de processamento de informação e cálculo matemático do computador como uma potência de criação autônoma, e também entendemos que o cognitivo humano é extremamente potente em elaborar soluções criativas, principalmente quando confrontado com situações não previstas - eventos contingentes-. Neste contexto, o algoritmo gera um evento contingente e o projetista reage a esse estímulo amadurecendo uma ideia potencial.

No âmbito da contingência, podemos perceber que alguns artistas visuais, músicos, pesquisadores e outros profissionais - que trabalham com a computação criativa- enxergam nela um estímulo que pode resultar na criação computacional autônoma ou na interação humano-computador. Tal situação é um reflexo do avanço tecnológico que possibilita o uso da computação para simular processos evolutivos capazes de estimular a especulação estética, poética, criativa e o discurso teórico em suas respectivas áreas

do conhecimento. Na arquitetura - que integra o campo da criatividade - a apropriação tecnológica geralmente se apoia em otimização do trabalho, na automação do processo repetitivo de desenho e nas questões objetivas de conforto ambiental, desempenho estrutural e construtivo. Pouco é encontrado - foco no contexto brasileiro - sobre iniciativas que utilizam os recursos computacionais para a especulação estética, estilística e linguística, por exemplo. Diante desta lacuna que abre possibilidades de pesquisa, o objetivo deste artigo é apresentar um experimento que não parte da premissa de ser um projeto automatizado ou uma diretriz para o desenvolvimento de projetos residências. O experimento aqui apresentado é a busca pela especulação espacial de residências através de algoritmos com algum nível de autonomia, capazes de gerar resultados familiares à prática convencional, porque são baseados em informações reais e existentes, mas que são ex-cêntricos e abstratos o suficiente para estimular o pensamento crítico, o discurso arquitetônico e a criatividade, já que esses resultados podem ser amadurecidos em soluções mais complexas e inesperadas.

## Contextualização

Schneider, Fischer & Koenig (2011), apontam que soluções computacionais para a geração de layouts têm sido testadas em diversas técnicas, como, por exemplo, Constraint-Based System (CBS), Cellular automata (CA), agent-based systems, Shape Grammars, Physically-Based Systems e Evolutionary Algorithm. Contudo, segundo os autores, na maioria desses estudos a criatividade, componente crucial para o design de layouts, é sempre inexistente. Essas iniciativas buscam tornar o processo de design mais racional, rápido e efetivo, e com isso, é questionável se a alta eficiência desses atributos levam às melhores soluções de design. Pela fala dos autores é possível perceber que tomadas de decisão criativas acabam sendo negligenciadas, fazendo com que o foco da grande maioria dessas iniciativas seja a otimização de atributos racionais voltados para desempenho de produto.

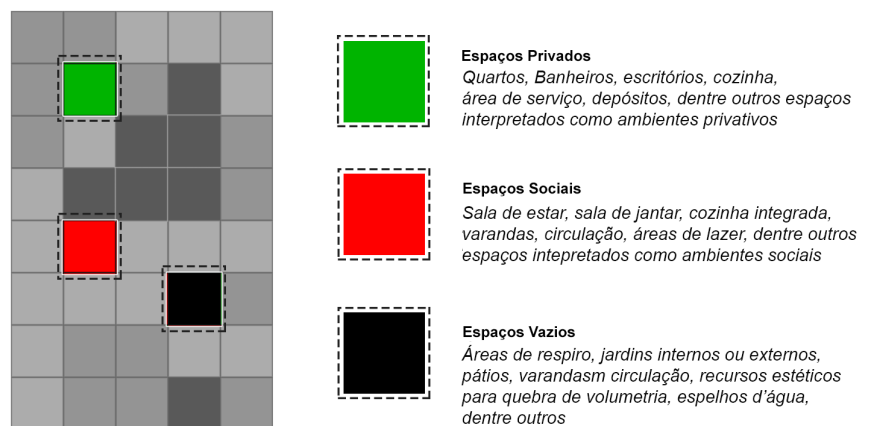
Um sistema computacional capaz de contribuir com soluções subjetivas e criativas precisa estar aberto à contingência e interpretação. A tecnologia atual, no campo de aprendizado de máquina, consegue simular tal comportamento. Porém, para este trabalho decidimos utilizar um autômato celular (CA). O uso de autômatos celulares na exploração arquitetônica não é recente, a aplicação de CA como método generativo para encontrar soluções arquitetônicas foi utilizado por Krawczyk (2002), Devetakovic et al. (2009), Gambardella, Karakiewicz & Kirley (2016) e dentre outros. O CA é um método computacional capaz de simular processos evolutivos implementados por um sistema complexo baseado em regras simples. A maioria das aplicações de CA na arquitetura acontecem através da geração de formas conceituais, permitindo que o projetista explore uma variedade de resultados, de onde podem selecionar soluções potenciais (Araghi & Stouff, 2015). Contudo, Lee & Kim (2016) ressaltam que apesar de o CA ser um

método generativo poderoso, ele não consegue criar espaços arquitetônicos habitáveis sem a intervenção do projetista, logo, o seu uso implica na adição de métodos de design convencionais. A escolha de uma estrutura computacional com limitações como o caso do CA, para este artigo, é intencional. Ele ilustra um contexto em que a tecnologia não automatiza o trabalho do projetista por completo, mas o estimula a pensar criticamente uma solução potencial, expandindo assim, a sua própria capacidade criativa. Neste contexto, a IA tem uma limitada atuação que, na hipótese deste trabalho, se apresenta como estímulo criativo suficiente para o desenvolvimento crítico do discurso arquitetônico e possivelmente de projetos executáveis.

## Desenvolvimento

A proposta do algoritmo foi inspirada no Jogo da Vida de John Conway (Gardner, 1970), um autômato celular que se tornou o exemplo mais difundido. O jogo foi desenvolvido para reproduzir, através de regras simples, o comportamento de seres vivos representados pelas células com comportamento autônomo. Apesar de receber o nome de “jogo”, ele não requer input de jogadores humanos, após a definição do estado inicial, cada célula possui comportamento autônomo, elas são abstrações de seres vivos que executam suas tomadas de decisão baseadas em interesses individuais. No Jogo da Vida a célula possui dois estados, morte ou vida, e ela decide o que fazer de acordo com a análise dos seus vizinhos que são todas as células adjacentes.

Figura 1. Configuração das células.  
Fonte: os autores.



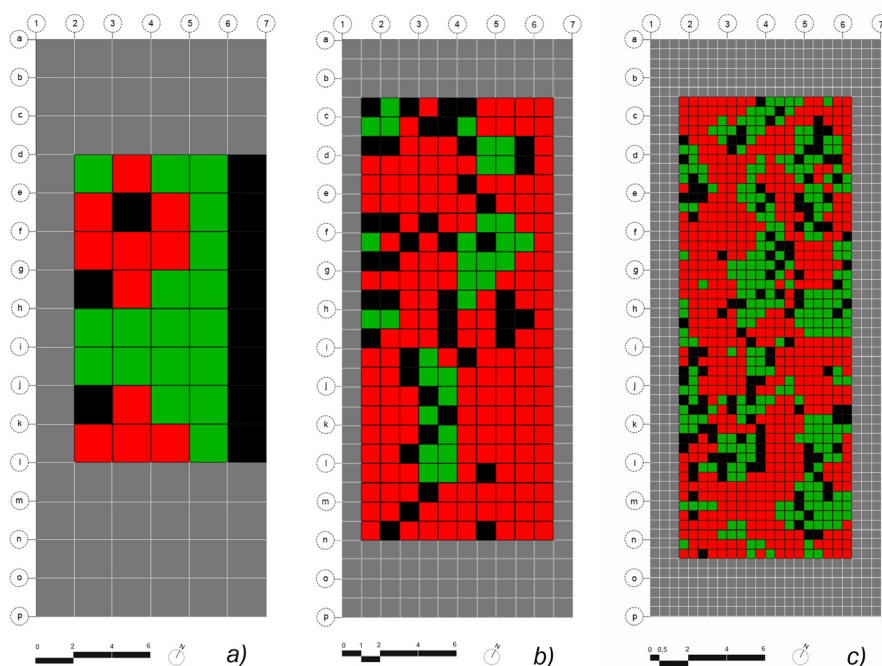
Para este artigo, o autômato celular desenvolvido possui 3 estados, vida, morte e sobrevivência (figura 1). Esses estados representam os espaços vazios, sociais e privados de um ambiente residencial, condicionados pela porcentagem de área que essas células devem ocupar no *grid*. As manchas geradas pelo algoritmo são diagramas de estudo de viabilidade referentes à locação desses espaços vazios, privados e sociais no terreno, respeitando os limites da implantação e as porcentagens de área que cada espaço deve

ocupar. Os limites de implantação da edificação devem ser condicionados pela legislação urbana, e a quantidade de cada área é condicionada pelos desejos e necessidade dos moradores. No momento atual, o modelo generativo implementado permite mudar os afastamentos, as porcentagens de área e o tamanho das células, o resultado é analisado via esforço humano, no reconhecimento de padrões para avaliação de suas potencialidades.

Os diagramas desenvolvidos são uma primeira especulação que pode levar a elaborações mais complexas e criativas para o problema do projeto colocado. Após a escolha do(s) diagrama, o projetista pode retornar para o esforço manual para amadurecer as soluções potências encontradas pelo algoritmo, ou pode optar por migrar para outro recurso digital, pois a intenção é entender os diversos níveis de abstração computacional capazes de contribuir com a expansão da criatividade do arquiteto. Abaixo podemos analisar 3 situações com células de 2x2m, 1x1m, 0,5x0,5m e diferentes afastamentos representados pela cor cinza. Na figura 2(a) podemos ver células de 2x2m e afastamentos frontal, lateral direito e posterior, na figura 2(b) temos células de 1x1m e afastamentos em todas as faces e na figura 2(c) podemos analisar um grid com células de 0,5x0,5m e afastamentos em todas as faces.

**Figura 2.** Exemplos de configurações do grid e células.

Fonte: os autores.

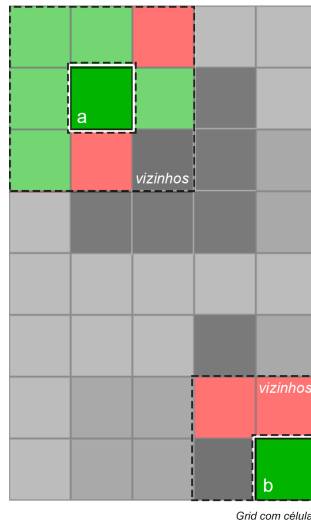


Como apontado anteriormente, a base de um sistema CA é o modelo do sistema composto de células que ocupam determinado espaço de um grid, e seu estado é determinado a partir do estado de células vizinhas. Os conceitos de célula, vizinhança e estado são abertos para implementação lógica. Na exploração das lógicas para o desenvolvimento deste artigo, um conceito se manteve sempre o mesmo: a definição de três estados, ou a célula é um espaço vazio, ou social, ou privado. A alteração dos estados

depende do recorte do que é considerado vizinhança e o que pode ocorrer a partir da configuração encontrada dos estados dos vizinhos. Nas figuras 3 e 4 apresentamos duas lógicas, quantidade relativa de vizinhos e quantidade absoluta.

Figura 3. Lógica quantidade relativa de vizinhos.

Fonte: os autores.



**Quantidade relativa de vizinhos**

São considerados vizinhos todas as células superiores, laterais e inferiores da célula analisada formando um quadrado de células em torno dela.

**Exemplos de situações**

Célula 'a' possui 8 vizinhos

Célula 'b' possui 3 vizinhos

**A célula decide por:**

**se tornar Social**, se ela é vazia e o número de vizinhos vazios seja maior que 15%;

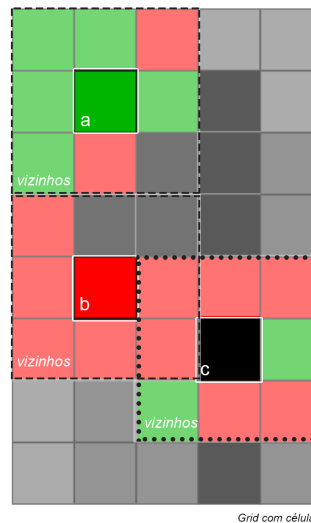
**se tornar Privada** se ela é Social e o número de vizinhos Sociais é maior que 50%;

**se tornar Vazio** se ela é privada e o número de vizinhos privados em torno dela é maior que 35%

Grid com células

Figura 4. Lógica absoluta de vizinhos.

Fonte: os autores.



**Quantidade absoluta de vizinhos**

**A célula decide por:**

**sendo Social e com 01 célula vizinha também Social mantém seu estado**, se com mais de 03 células vizinhas Sociais, se tornar Privada e no caso de ter exatamente 02 células Sociais ao seu lado, se torna vazia.

Na situação 'b' a célula que se encontra como Social se transformaria em Privada na sua próxima geração, devido ao fato dela possuir mais de 03 células vizinhas no estado Social.

**sendo Privada e com 01 célula vizinha também Privada mantém seu estado**, se com mais de 3 células vizinhas Privadas, se tornar Social e no caso de ter exatamente 02 células Privadas ao seu lado, se torna vazia.

Na situação 'a' a célula que se encontra como Privada se transformaria em Social na sua próxima geração, devido ao fato dela possuir mais de 03 células vizinhas no estado Privado.

**sendo 01 célula Vazia com 01 célula vizinha também vazia ao seu lado, ela mantém seu estado**, e em qualquer outra situação se torna Social.

Na situação 'c' a célula Vazia se transformaria em Social na sua próxima geração, devido ao fato dela não possuir nenhuma célula vizinha no estado Vazio.

Grid com células

## Resultados preliminares

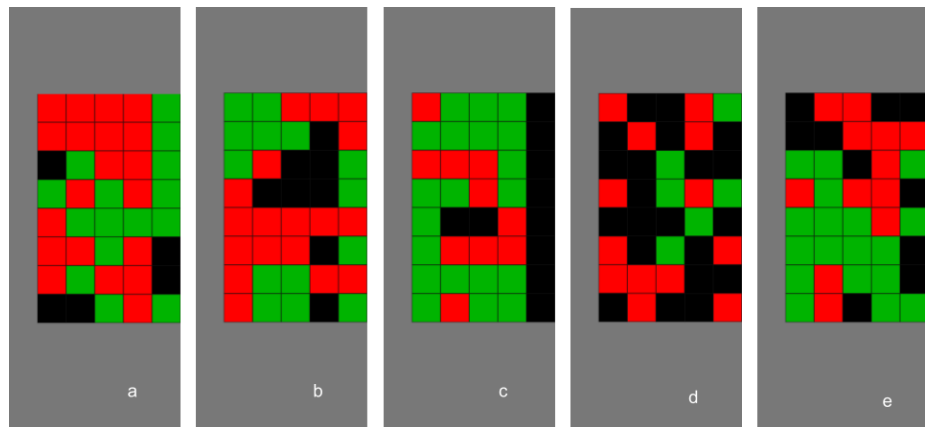
Para início de análise dos resultados preliminares foi selecionada uma amostragem de 5 abstrações geradas pelo código correspondente a primeira lógica apresentada na seção anterior. Essa amostragem foi escolhida a partir de regras de composição definidas pelos autores, regras que não estão restritas ao código, mas criadas a partir de uma abstração de um pensamento humano. Este pensamento pode ser descrito da seguinte forma: para as células pretas é desejável o aparecimento de células com pelo menos um vizinho semelhante e deve-se evitar a escolha de padrões com

mais de 4 células pretas aglomeradas. Para as células vermelhas priorizou-se a escolha de padrões em que uma célula possuísse no mínimo 3 vizinhos semelhantes e evitou-se a escolha de padrões com muitas células vermelhas isoladas ou em duplas. O mesmo foi definido para as células verdes. Já a área cinza representa os afastamentos dentro de um terreno 12x30m que pode ser alterado de acordo com o contexto do projeto.

Duas observações podem ser feitas. A primeira: essas regras de seleção poderiam ser transformadas em parâmetros para uma função fitness em agentes inteligentes, mas isso não foi implementado por este estudo. A segunda: a inclusão dessas regras de seleção dentro do CA inviabiliza o desempenho do código devido a sua natureza, ou seja, cada célula tem tomada de decisão autônoma, não formando aglomerados entre si. Dito isso, a seleção dos padrões acontece por esforço manual e essas regras são abertas e não restritivas, logo, o projetista escolhe o padrão que ele avalia interessante nas possibilidades sugeridas pelo código.

**Figura 5.** Amostra de 5 padrões gráficos gerados pelo algoritmo da lógica quantidade relativa de vizinhos.

**Fonte:** os autores.

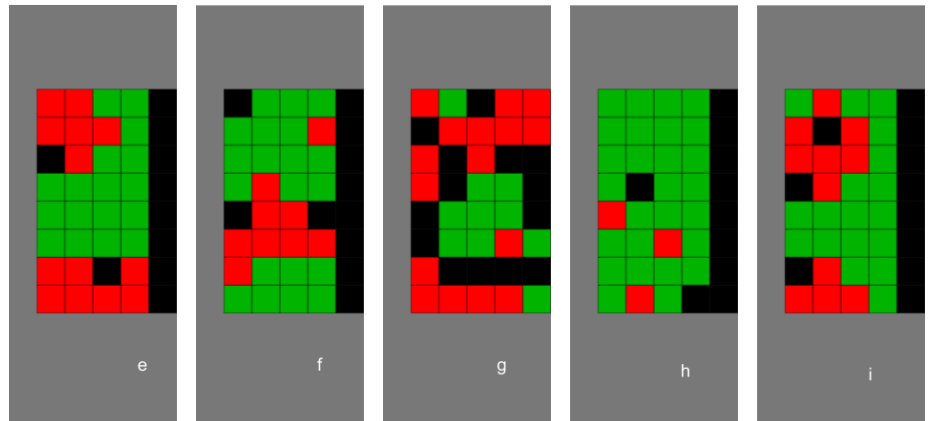


Dentro dessa amostra existem padrões com diferentes níveis de potencialidade. Como observado, a amostra (d) ilustra uma situação em que o código faz uma escolha randômica dissociativa dos parâmetros iniciais, configurando um padrão com baixo potencial, uma vez que podemos perceber um número elevado de células verdes e vermelhas isoladas e uma grande quantidade de células pretas. Em contrapartida, as amostras (a) e (c) apesar de apresentarem células isoladas ou agrupamentos de células pretas acima de 4 unidades, possuem potencial de exploração criativa já que demonstram se encaixar nos parâmetros de seleção. Também foi selecionada uma amostragem com 5 padrões para a segunda lógica de comportamento apresentada na seção anterior. Para ilustrar o processo, o padrão (a) foi transformado em Estudo Preliminar (ver figura 7) com o auxílio de um software de desenho assistido por computador.



**Figura 6.** Amostra de 5 padrões gráficos gerados pelo algoritmo da lógica quantidade absoluta de vizinhos.

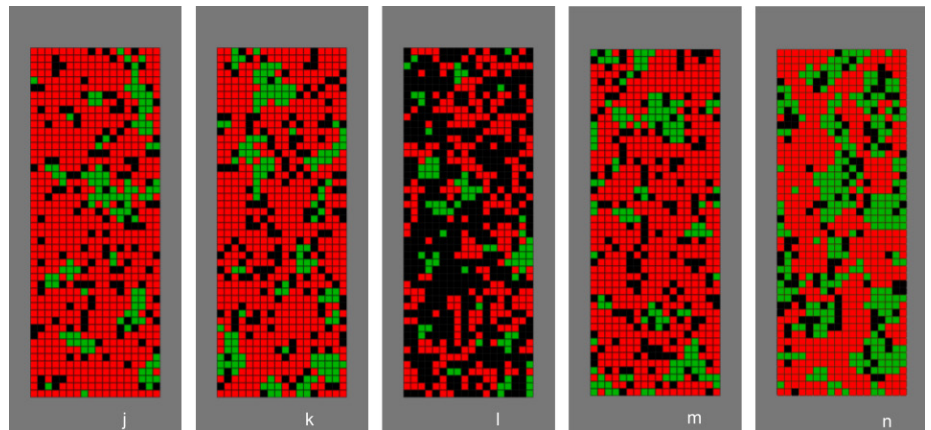
**Fonte:** os autores



Ainda utilizando a segunda lógica de comportamento, foi selecionada uma terceira amostragem com 5 padrões, porém os afastamentos e o tamanho das células foram alterados. Para ilustrar o processo, o padrão (n) foi transformado em Estudo Preliminar (ver figura 9) com o auxílio de um software de desenho assistido por computador.

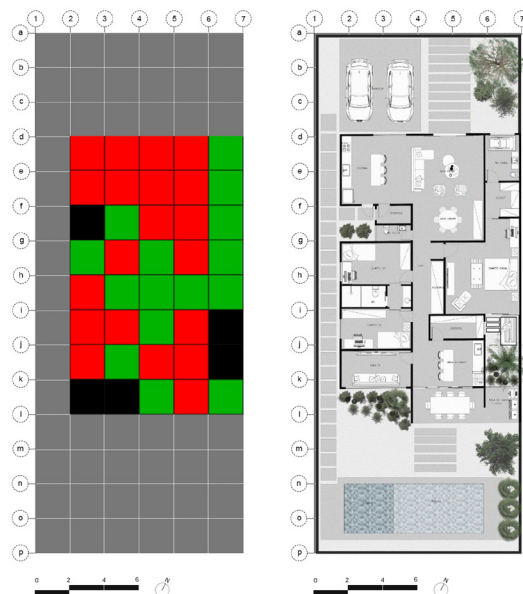
**Figura 7.** Amostra de 5 padrões gráficos gerados pelo algoritmo da lógica quantidade absoluta de vizinhos e células de 0,5x0,5m.

**Fonte:** os autores.



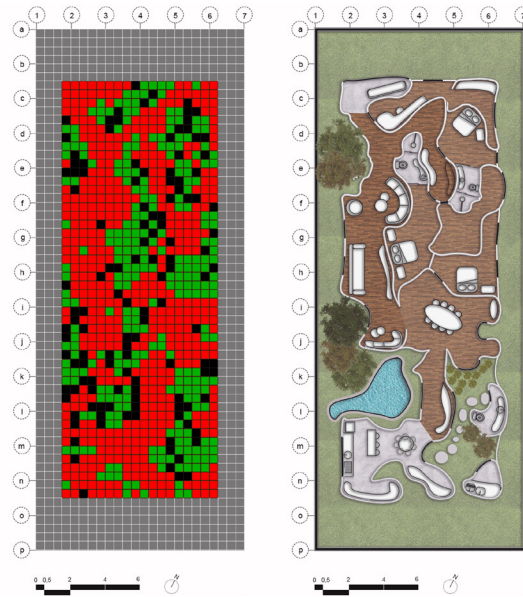
**Figura 8.** Padrão (a) e Estudo Preliminar em planta baixa.

**Fonte:** os autores.



**Figura 9.** Padrão (n) e Estudo Preliminar em planta baixa.

**Fonte:** os autores.



Em termos de criatividade, o foco deste estudo. Percebeu-se o vislumbre inicial do potencial que essas estruturas computacionais podem oferecer ao processo criativo do projetista, quando utilizado como um agente de projeto. Porém, é necessário apontar que esse potencial só é revelado quando o usuário apresenta a intenção de utilizar essa estrutura computacional como um estímulo criativo. Abaixo encontram-se colagens com a volumetria da segunda planta baixa. Ela foi escolhida para ser modelada por apresentar padrões espaciais não convencionais, logo, surgiu o interesse em visualizar como seria a volumetria dessa solução espacial e também a materialidade, na figura 9 (a) podemos ver a edificação construída por impressão 3D de concreto e nas figuras 9 (b) e 10 a mesma edificação, porém executada em tijolo ecológico.

**Figura 10.** Fachada frontal modelada em software 3D com tratamento de imagem.

**Fonte:** os autores.



**Figura 11.** Fachada lateral modelada em software 3D com tratamento de imagem.

**Fonte:** os autores.



## Discussão

O objetivo deste estudo em fase inicial é promover contextos de exploração criativa e especulação espacial fomentados pelo uso de algoritmos com algum nível de autonomia. Aqui é importante reforçar que apesar do projetista definir as regras de comportamento, o CA não “trabalha” para o projetista. Cada célula tem comportamento autônomo individual baseado na análise do contexto (regras de comportamento) e faz a escolha ideal para o seu próprio interesse. O resultado é uma mancha de células formada por comportamento individual em prol da evolução das células. A poética e criatividade deste trabalho se consolida na elaboração de regras de comportamento que são abstrações do comportamento individual dos seres vivos (representados pelas células) e que moldam o comportamento social (output do código). Essas abstrações comportamentais são transformadas em analogias ao espaço residencial, em que cada metro quadrado (ou  $4\text{m}^2$ , ou  $0,5\text{m}^2$  variando com o tamanho da célula) são interpretados como seres vivos com tomada de decisão individual.

Ainda sobre o método generativo implementado neste artigo, observa-se que devido a natureza do autômato celular, a implementação de regras de comportamento não são parâmetros restritivos, elas são referências para o comportamento evolutivo do algoritmo. Como todo processo evolutivo, escolhas randômicas dissociativas podem acontecer. Em adição, quanto mais parâmetros são implementados, a leitura e processamento dos dados fica inviável, visto que o autômato celular é um modelo matemático desenvolvido para comportamento complexo a partir de regras de composição simples. Contudo, tal método é satisfatório ao apresentar um número de possibilidades não convencionais. Outra característica do modelo é a sua plasticidade de abstração. Apesar do algoritmo possuir limites de representação, ele se encaixa acertadamente na proposta do artigo, atuando na geração de diagramas de Estudo de Viabilidade. A abstração do código, enquanto mantém sua ineficiência em adaptação a uma realidade específica, mantém-se como potência criativa não necessitando concretizar-se para um contexto específico, portanto, adapta-se melhor ao contexto criativo.

O modelo abstrato age nessa estrutura de trabalho como uma matéria em formação, uma amálgama, que possui em si um sistema energético de potencialidades intrínsecas que em relação com a criatividade humana forma uma soma maior que suas partes constitutivas.

Uma vez que, o algoritmo atua na geração de Estudos de Viabilidade, que dá a ele uma potencialidade autônoma, diversas outras tomadas de decisão precisam passar pela análise crítica do projetista. Além da adequação a parâmetros que ficaram em aberto pelo modelo abstrato computacional proposto. Dessa forma, o algoritmo apresentado sugere especulações que são estímulos para o pensamento crítico e criativo. Essas especulações não são prescrições, diretrizes ou um projeto automatizado. Diversos outros fatores fundamentais para o projeto de arquitetura não foram considerados para a criação do CA (posição geográfica, topografia, dentre outros), logo, cabe ao projetista aplicar esforço manual ou automatizar o restante do processo. É interessante apontar que no momento atual, aplicar esforço manual ou utilizar recursos digitais é uma escolha do projetista, e a sua intenção reflete muito em como ele se apropria dos recursos tecnológicos disponíveis. Para esse experimento, estabelecemos um limite de atuação da IA, o que não significa que esse seja seu limite absoluto de aplicação, contudo, ele é o limite que nos interessa para este estudo.

Dito isso, após a análise do resultado preliminar, observou-se eficiência no estímulo criativo do projetista. A partir das sugestões do algoritmo, foram observadas algumas soluções de layout não convencionais na prática do arquiteto que conduziu o experimento. Para estudos futuros pretende-se a aplicação desse raciocínio projetual em contextos heterogêneos e a implementação de outras estruturas computacionais, com diferentes níveis de abstração e parâmetros essenciais para o projeto de arquitetura.

## Referências

Araghi, S., & R. Stouffs. Exploring Cellular Automata for High-Density Residential Building-Form Generation. *Automation in Construction*. 2015, 49 (A): 152-162.

Cruz Gambardella, C. & Karakiewicz, J. & Kirley, M. Towards the implementation of a composite cellular automata model for the exploration of design space. In S. Chien, S. Choo, M. A. Schnabel, W. Nakapan, M. J. Kim, S. Roudavski (eds.), *Living Systems and Micro-Utopias: Towards Continuous Designing*, Proceedings of the 21st International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA; 2016.

Davis, N.M. *Creative Sense-Making: A Cognitive Framework for Quantifying Interaction Dynamics in Co-Creation*. Ph.D. Thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA, 2017.

Del Campo, Matias; Manninger, Sandra. *The Materialism of Architectural Automations: A Critical Interrogation of Automation, Accelerationismo and Ornament*. Proceedings of S.Arch Conference, 2019.

Devetakovic, M. & Petrusevski, L. & Dabic, M. & Mitrovic, B. Les folies cellulaires: an exploration in architectural design using cellular automata. In: International Conference on Generative Art, 12., Milão, 2009; (p. 181-192).

Gardner, Martin. The Fantastic Combinations of John Conway's New Solitaire Game of "Life". Scientific American, 1970, pp. 120-123.

Hoffmann, O. On understanding human-computer co-creativity. In Gero, J.S., Maher, M.L., (Eds.), Proceedings of the Computational and Cognitive Models of Creative Design VI: Reprints of International Conference of Computational and Cognitive Models of Creative Design VI, Heron Island, Australia, 2005; (pp. 10-14).

Hoffmann, O. On Modeling Human-Computer Co-Creativity, Knowledge, Information and Creativity Support Systems; Kunifuji, S., Papadopoulos, G.A., Skulimowski, A.M.J., Kacprzyk, J., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2016; pp. 37-48.

Krawczyk, R. J. Architectural Interpretation of Cellular Automata. Generative Art. 2002.

Lee, Y., & Kim, S.H. Algorithmic Design Paradigm Utilizing Cellular Automata for the Han-ok. Nexus Netw J, 2016, 18, 481-503. <https://doi.org/10.1007/s00004-016-0292-x>.

Schneider, S. & Fischer, J.R. & Koenig R. Rethinking Automated Layout Design: Developing a Creative Evolutionary Design Method for the Layout Problems in Architecture and Urban Design. Des. Comput. Cogn. 2011, '10, p. 367-86. doi:10.1007/978-94-007-0510-4\_20.

**Recebido:** 05 de outubro de 2022.

**Aprovado:** 25 de outubro de 2022.