

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola De Belas Artes
Programa de Pós-graduação em Artes

André Luiz Silva

**COCRIATIVIDADE E AUTONOMIA COMPUTACIONAL NA
ESPECULAÇÃO DE ARQUITETURA**

Belo Horizonte
2025

André Luiz Silva

**COCRIATIVIDADE E AUTONOMIA COMPUTACIONAL NA
ESPECULAÇÃO DE ARQUITETURA**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do
Programa de Pós-Graduação em Artes da
Escola de Belas Artes da Universidade Federal
de Minas Gerais, como requisito parcial à
obtenção do título de Doutor em Artes.

Área de concentração: Artes

Linha de Pesquisa: Poéticas Tecnológicas

Orientador: Jalver Bethônico

Coorientadora: Marília Bergamo

Belo Horizonte
2025

Ficha catalográfica
(Biblioteca da Escola de Belas Artes da UFMG)

720.105 S586c 2025	Silva, André Luiz, 1994- Cocriatividade e autonomia computacional na especulação de arquitetura [recurso eletrônico] / André Luiz Silva. – 2025. 1 recurso online. Orientador: Jalver Bethônico. Coorientadora: Marília Bergamo. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Belas Artes. Inclui bibliografia. 1. Arte e tecnologia – Teses. 2. Arquitetura e tecnologia – Teses. 3. Arquitetura de habitação – Projetos e plantas – Teses. 4. Arquitetura – Projeto auxiliado por computador – Teses. 5. Interação homem-máquina – Teses. 6. Criatividade – Teses. I. Bethônico, J. M., 1963- II. Bergamo, M. L., 1978- III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Belas Artes. IV. Título.
--------------------------	---



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

Assinatura da Banca Examinadora na Defesa de Tese do aluno **ANDRÉ LUIZ SILVA** - Número de Registro **2022685916**.

Título: **“Cocriatividade e autonomia computacional na especulação de arquitetura”**

Prof. Dr. Jalver Machado Bethônico – Orientador – EBA/UFMG

Profa. Dra. Marília Lyra Bergamo – Coorientadora – UON - University of Newcastle

Profa. Dra. Andréia Machado Oliveira – Titular – UFSM

Profa. Dra. Rejane Magiag Loura – Titular – ARQ/UFMG

Prof. Dr. Carlos Henrique Rezende Falci – Titular – EBA/UFMG

Prof. Dr. Eduardo dos Santos Andrade - Titular - EBA/UFMG

Prof. Dr. Milton Terumitsu Sogabe - Titular - Universidade Anhembi Morumbi

Belo Horizonte, 02 de junho de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Jalver Machado Bethônico, Membro**, em 06/06/2025, às 11:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Henrique Rezende Falci, Professor do Magistério Superior**, em 09/06/2025, às 10:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rejane Magiag Loura, Professora do Magistério Superior**, em 09/06/2025, às 11:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tiago Castelo Branco Lourenço, Chefe**, em 09/06/2025, às 13:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marília Lyra Bergamo, Usuária Externa**, em 09/06/2025, às 18:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo dos Santos Andrade, Professor(a)**, em 11/06/2025, às 15:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Andreia Machado Oliveira, Usuária Externa**, em 16/06/2025, às 11:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Milton Terumitsu Sogabe, Usuário Externo**, em 20/06/2025, às 11:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rita Lages Rodrigues, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 26/06/2025, às 12:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4265501** e o código CRC **D810F667**.

Para minha mãe, Dora.

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente à Marília Bergamo por ter me acompanhado ao longo do mestrado e doutorado. Sua generosidade, dedicação e competência como professora, pesquisadora e artista foram fundamentais para a realização deste trabalho. Sou imensamente grato por sua confiança em minha pesquisa e por seu envolvimento ativo no desenvolvimento dela, sempre disposta a "colocar a mão na massa" junto comigo. Agradeço também ao professor Jalver Bethônico, por ter assumido a orientação deste projeto com responsabilidade e sensibilidade. Suas palavras de conforto nos momentos de angústia e suas aulas ao longo de minha formação foram essenciais para que eu pudesse seguir adiante. Minha gratidão se estende à Escola de Belas Artes e a todos os professores que, em diferentes momentos, contribuíram para o meu aprendizado e crescimento acadêmico. Por fim, agradeço à minha família, pelo amor incondicional, pelo apoio e pela compreensão nos momentos mais desafiadores desta jornada. Aos meus amigos, pela companhia, incentivo e por estarem sempre ao meu lado, trazendo leveza e força para que eu pudesse concluir esta etapa. A todos, minha mais sincera gratidão.

RESUMO

Esta tese propõe uma abordagem transdisciplinar entre Arte, Computação e Arquitetura, com o objetivo de explorar a interconexão entre autonomia humana e computacional no processo criativo de projetos de arquitetura residencial unifamiliar. Os objetivos específicos incluem: investigar como a prática artística, com ênfase em arte e tecnologia, pode reconfigurar o uso de ferramentas digitais no contexto da arquitetura, recusando o modelo capitalista-industrial tradicionalmente embutido em tecnologias convencionais; analisar a relação entre criatividade humana e computacional, e seus desdobramentos em outras modalidades de co-criação; propor um método de especulação espacial baseado na recursividade e contingência dos agentes computacionais; e desenvolver aplicativos experimentais que materializam esses conceitos. A hipótese central investiga se agentes computacionais contingentes, recursivos e com algum nível de autonomia, cujos resultados são abstratos, imprevisíveis e não determinísticos, tal como observado em práticas de arte computacional, podem fomentar especulações espaciais e potencializar o processo criativo no campo da arquitetura. A metodologia combina revisão bibliográfica com experimentações práticas. Do ponto de vista experimental, foram desenvolvidos dois aplicativos que funcionam através de agentes computacionais recursivos e contingentes. O primeiro utiliza Autômatos Celulares para gerar manchas de especulação espacial, nas quais cada célula toma decisões com base em interações locais. O segundo simula a coexistência de indivíduos por meio de Agentes Inteligentes, resultando em diagramas de bolha que podem evoluir para um anteprojeto de arquitetura. Os aplicativos demonstraram potencial pedagógico ao introduzir o usuário em um processo especulativo que incentiva uma postura crítica e reflexiva. Os resultados sugeriram uma alternativa ao determinismo computacional característico das ferramentas de automação convencionais, promovendo a tecnodiversidade e ampliando o potencial criativo a partir da interação entre humanos e agentes computacionais. A recursividade e a contingência observadas nos agentes computacionais geraram estímulos criativos, possibilitando especulações espaciais resultantes de um processo de co-criação dinâmico. Através da interação entre humanos e agentes computacionais, foi possível observar um ponto de convergência entre a autonomia computacional e humana que expande as possibilidades de intervenção criativa no projeto de arquitetura.

Palavras-chave: cocriação; autonomia computacional; abordagem transdisciplinar; projeto de arquitetura

ABSTRACT

This thesis proposes a transdisciplinary approach between Art, Computing, and Architecture, aiming to explore the interconnection between human and computational autonomy in the creative process of residential architectural design. The specific objectives include: investigating how artistic practice, with an emphasis on art and technology, can reconfigure the use of digital tools in the architectural context, rejecting the capitalist-industrial model traditionally embedded in conventional technologies; analyzing the relationship between human and computational creativity and its implications for other forms of co-creation; proposing a method of spatial speculation based on the recursion and contingency of computational agents; and developing experimental applications that materialize these concepts. The central hypothesis investigates whether contingent and recursive computational agents with some level of autonomy, whose results are abstract, unpredictable, and non-deterministic, as observed in computational art practices, can foster spatial speculations and enhance the creative process in the field of architecture. The methodology combines a literature review with practical experimentation. From an experimental perspective, two applications were developed, both operating through recursive and contingent computational agents. The first employs Cellular Automata to generate spatial speculation patterns, where each cell makes decisions based on local interactions. The second simulates the coexistence of individuals through Intelligent Agents, resulting in bubble diagrams that can evolve into an architectural preliminary design. The applications demonstrated pedagogical potential by introducing users to a speculative process that encourages a critical and reflective stance. The results suggested an alternative to the computational determinism characteristic of conventional automation tools, promoting technodiversity and expanding creative potential through the interaction between humans and computational agents. The recursion and contingency observed in computational agents generated creative stimuli, enabling spatial speculations resulting from a dynamic co-creation process. Through the interaction between humans and computational agents, it was possible to observe a point of convergence between computational and human autonomy, expanding the possibilities for creative intervention in architectural design.

Keywords: co-creation; computational autonomy; transdisciplinary approach; architecture

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Contextualização da pesquisa	13
Figura 2 - As relações entre humanos e computadores em 3 níveis de criatividade computacional.	36
Figura 3 - Oscar Niemeyer e seus rabiscos com alto nível de abstração	55
Figura 4 - Framework do projeto que inclui o dueto na etapa de especulação.	56
Figura 5 - Registro de performance de Sougwen Chung com braço robótico	58
Figura 6 - Registro de performance de Sougwen Chung com braço robótico	59
Figura 7 - Gráfico circular gerado por autômato celular e sua materialização	59
Figura 8 - Conjunto de peças geradas por autômato celular e materializadas por artesã	60
Figura 9 - Imaginary Plans.	62
Figura 10 - Trabalho de Michael Casey Rehm	62
Figura 11 - Configuração das células	67
Figura 12 - Exemplos de configurações do grid e células	68
Figura 13 - Lógica quantidade relativa de vizinhos	69
Figura 14 - Lógica absoluta de vizinhos	69
Figura 15 - Amostra de 5 padrões gráficos gerados pelo algoritmo da lógica quantidade relativa de vizinhos	70
Figura 16 - Amostra de 5 padrões gráficos gerados pelo algoritmo da lógica quantidade absoluta de vizinhos	71
Figura 17 - Amostra de 5 padrões gráficos gerados pelo algoritmo da lógica quantidade absoluta de vizinhos e células de 0,5x0,5m	72
Figura 18 - Padrão (a) e Estudo Preliminar em planta baixa	73
Figura 19 - Padrão (n) e Estudo Preliminar em planta baixa	74
Figura 20 - Fachada frontal modelada em software 3D	75
Figura 21 - Fachada lateral modelada em software 3D	75
Figura 22 - Diagrama de bolha desenhado por Le Corbusier em palestra em 1929.	79
Figura 23 - Mapeamento inicial	81
Figura 24 - Parâmetros de funcionamento para os blobs	82
Figura 25 - Parâmetros de comportamento para elementos geográficos	82
Figura 26 - Esquema do funcionamento do algoritmo	84
Figura 27 - Funcionamento do movimento dos blobs	85
Figura 28 - Funcionamento da função de crescimento e encolhimento	87
Figura 29 - Funcionamento da linha de adjacência	87
Figura 30 - Funcionamento da função de colisão	88
Figura 31- Intervenção humana na interface	90
Figura 32 - Esquema relacional entre seres vivos e o sistema proposto	100

Figura 33 - Questionário pré-oficina	101
Figura 34 - Terreno disponibilizado para contextualização ambiental	103
Figura 35 - Dimensões do terreno com indicação de norte e fatores geográficos	103
Figura 36 - Diagrama de bolha e respectiva planta baixa feita por alunos	104
Figura 37 - Diagrama de bolha e respectiva planta baixa feita por alunos	105
Figura 38 - Diagrama de bolha e respectiva planta baixa feita por alunos	106
Figura 39 - Questionário pós-oficina	108
Figura 40 - Questionário pós-oficina	108
Figura 41 - Estrutura base para o sistema	124
Figura 42 - Comportamento esperado para as células vazias	124
Figura 43 - Comportamento esperado para as células sociais	125
Figura 44 - Configurações desejáveis de células sociais	125
Figura 45 - Comportamento esperado para as células sociais	126
Figura 46 - Configurações desejáveis de células privadas	126
Figura 47 - Simulação do funcionamento do sistema	127
Figura 48 - Interface	128
Figura 49 - Detalhes de usabilidade	128
Figura 50 - Teste de funcionamento	130
Figura 51 - Teste de funcionamento	131
Figura 52 - Teste de funcionamento	131
Figura 53 - Teste de funcionamento	132
Figura 54 - Teste de funcionamento	132
Figura 55 - Teste de funcionamento	133
Figura 56 - Teste de funcionamento	133
Figura 57 - Teste de funcionamento	134
Figura 58 - Logo desenvolvida em software vetorial	136
Figura 59 - Grid de construção para o logo	137
Figura 60 - Definição de paleta de cor e tipografia	137
Figura 61 - Interface	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise de estudos da aplicação de ferramentas digitais no ensino de projeto	95
Tabela 1 - Continuação	96
Tabela 1 - Continuação	97

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Contextualização da pesquisa	11
1.2	Problematização central	16
1.3	Hipótese	21
1.4	Objetivos	22
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	27
2.1	Autonomia e influência computacional	27
2.2	Criatividade humana e computacional	30
2.3	Recursividade e contingência	38
2.4	Arte e tecnologia	43
2.5	Determinismo computacional na arte e arquitetura	44
3	PROPOSIÇÃO DE UM PROCESSO CRIATIVO ALTERNATIVO	50
3.1	Humanos e agentes computacionais como co-criadores	50
3.2	Exploração dos limites da automação	57
3.3	O Papel do algoritmo na especulação espacial	61
4	4PLANGENERATOR ESTRUTURADO EM AUTÔMATOS CELULARES	65
4.1	Conceito e desenvolvimento	65
4.2	Tomada de decisão contingente das células	70
4.3	Impacto recursivo no projeto de arquitetura	76
5	BLOBS ARQUITETÔNICOS ESTRUTURADO EM AGENTES INTELIGENTES	78
5.1	Diagrama de bolha como ferramenta de especulação espacial	78
5.2	Conceito e implementação	80
5.3	Recursividade nas interações dos agentes	82
5.4	Desafios e potencialidades	89
6	OFICINA COCRIAÇÃO HUMANO COMPUTADOR	92
6.1	Potencial pedagógico	92
6.2	Oficina	98

6.3	Resultados	101
6.4	Análise	107
6.5	Discussão	109
7	CONCLUSÃO	111
	REFERÊNCIAS	114
	APÊNDICE 1	124
	APÊNDICE 2	130
	APÊNDICE 3	136

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização da pesquisa

No momento de desenvolvimento desta pesquisa, iniciada formalmente em setembro de 2022, o cenário acadêmico brasileiro de investigação sobre Arquitetura e Computação apresenta(va) duas vertentes de pensamento com maior frequência de pesquisas e publicações. Ambas utilizam a automação e otimização do trabalho como características estruturantes da apropriação tecnológica. Uma vertente foca em um desempenho¹ estrutural e/ou energético em abordagens que lidam com parâmetros quantitativos, deixando para o arquiteto a solução de questões qualitativas (Lucarelli, Carlo, Martinez, 2020) e a outra foca na autonomia humana. Ambas abordagens utilizam a computação apenas como uma ferramenta. Na primeira, a computação é utilizada para encontrar a melhor solução em um contexto técnico específico e concreto. Em termos de desempenho, o resultado encontrado pela ferramenta² é a melhor solução, logo, ele é determinístico, sem abertura para outras interpretações. Na segunda situação, a computação é utilizada para dar autonomia ao ser humano. Neste contexto são desenvolvidas interfaces³ que facilitam o trabalho do ser humano no momento de criação através da automação de atividades repetitivas ou digitalização de informações técnicas que auxiliam as tomadas de decisão. Existe abertura e espaço para interpretação, mas a interface acaba sendo apenas uma ferramenta, como qualquer outro *software* (inclusive os de desenho assistido por computador), a diferença está no grau de abstração dessas interfaces quando comparadas com os *softwares* tradicionais já que elas não produzem representações técnicas

¹ Como, por exemplo, as seguintes publicações: “Simulation-based optimization for an origami-shaped canopy” (Lucarelli; Carlo; Martinez, 2020) que trata do desenho de uma cobertura; “Building Optimization through a Parametric Design Platform: Using Sensitivity Analysis to Improve a Radial-Based Algorithm Performance” (Sakiyama, et al., 2021) que aborda um estudo que utiliza parametrização, simulação, análises de sensibilidade e ferramentas de otimização aplicadas a um edifício residencial; e “Modelagem paramétrica e desempenho da edificação: otimização baseada em simulação luminosa e energética através de algoritmos genéticos” (Da Silva, Carlo, Bosco & Silva, 2018) que trata da utilização de processos de otimização baseada em simulação (OBS) para geração de novas configurações espaciais e volumétricas para uma edificação existente.

² Caso a ferramenta funcione dentro das expectativas industriais estabelecidas para ela. Caso ela não atenda, seu resultado vai possuir margens de erro ou ser simplesmente considerado como ruído, um erro que necessita de intervenção humana.

³ Como, por exemplo, as interfaces: “IDA” (Kapp e Nascimento, 2007) que busca a criação de um banco de dados de componentes e processos construtivos alternativos, pré-fabricados e industrializados articulado a uma interface que permita simular a sua aplicação concreta. Nas palavras dos autores “IDA pretende ser uma interface colaborativa modesta nesse sentido, unindo arquitetura e tecnologias de informação e comunicação a serviço da autonomia dos usuários, em vez de reproduzir a lógica capitalista com todos os disfarces possibilitados pelo glamour da tecnologia digital” (Baltazar, et.al, 2008, p.296, tradução nossa). ; “Escadômetro” que automatiza o cálculo de escadas e rampas (Escadômetro, online) e “App Esgote” aplicativo para informar a escolha de sistemas de coleta e tratamento de esgoto rurubano (LAGEAR UFMG, online); dentre outros que buscam desenvolver interfaces para emancipação via pedagogia sócio-espacial.

convencionais, mas, ainda percebe-se que sua principal função é automatizar e informatizar processos e dados complexos para potencializar a autonomia do usuário durante as tomadas de decisão.

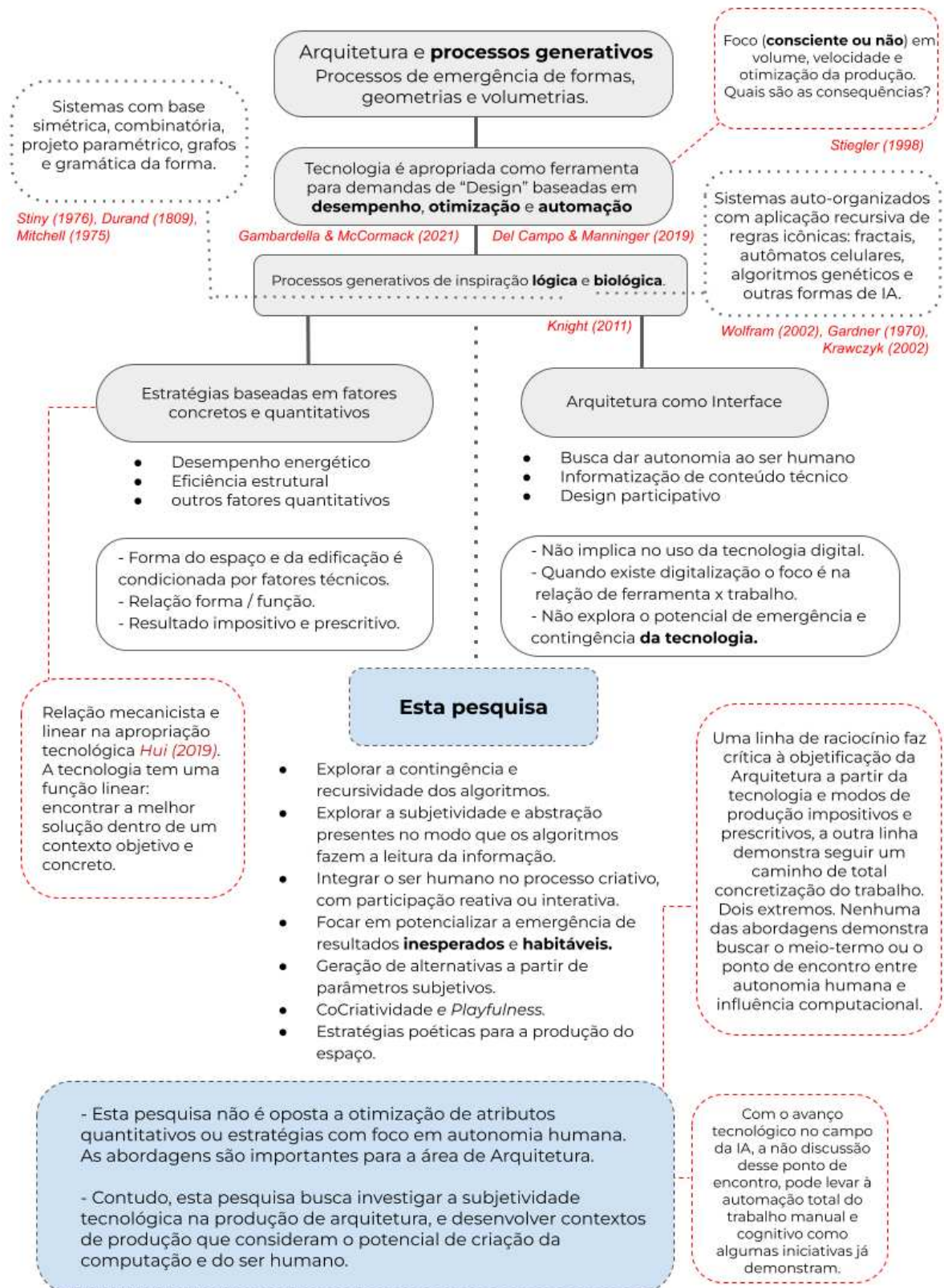
Ambas abordagens lidam com a computação numa apropriação linear e mecanicista, onde existe apenas uma função e objetivo a serem alcançados. Essa realidade é uma herança da expansão tecnológica durante o período da Primeira Revolução Industrial, em que as máquinas eram projetadas para executar funções lineares. Contudo, como apontado por Yuk Hui (2023), não é justo igualar máquinas fruto da computação moderna com as máquinas do “tempo de Descartes” meramente mecânicas em sua natureza, uma vez que, a computação moderna tem se tornado orgânica, oposto de mecânica. Logo, é perceptível a possibilidade de ir além de abordagens lineares na produção de arquitetura com intermédio da tecnologia. Essa realidade conduzida pelo avanço tecnológico, principalmente no campo da Inteligência Artificial, permite que os agentes computacionais de aplicação recursiva se comportem em lógicas de pensamento orgânicas e não lineares, simulando o pensamento cognitivo humano e não-humano, o que resulta em possibilidades alternativas de apropriação tecnológica em vários campos criativos, incluindo o campo da Arquitetura.

Essas possibilidades alternativas de apropriação tecnológica divergem do modelo convencional⁴, em que o projetista fica a cargo dos processos criativos e tomadas de decisão, enquanto a computação é utilizada apenas como ferramenta para automatizar o trabalho repetitivo de desenho, gerando representação gráfica e gerenciando as informações técnicas referentes à construção da edificação.

No infográfico da figura 1 é possível observar uma contextualização desta pesquisa. Como pode ser observado através da figura, esta pesquisa representa um ponto de encontro entre processos racionais estruturados em automação e agenciamento humano. Ela pode ser compreendida como um caminho alternativo para a apropriação tecnológica no campo da arquitetura, totalmente influenciado por uma leitura filosófica e artística da tecnologia que diverge das expectativas capitalistas de automação e otimização para a área, focando em estímulo à criatividade, fomento ao intelecto humano e colaboração entre agentes.

⁴ Por convencional, esta tese se refere ao processo, método e resultado arquitetônico, cujo arquiteto ficou a cargo de todas as tomadas de decisão criativa e utilizou os recursos digitais e computacionais para automatizar em algum nível o seu trabalho.

Figura 1 - Contextualização da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

O desenvolvimento desta pesquisa no âmbito da Escola de Belas Artes, especificamente na linha de pesquisa “Poéticas Tecnológicas”, revela muito sobre a direção adotada nesta tese de doutorado. Este trabalho distancia-se das abordagens que reduzem a tecnologia a um instrumento do discurso capitalista de apropriação e produção voltado para a automação do trabalho, frequentemente associado à otimização de velocidade e volume de produção, característica comum no campo da Arquitetura.

Na condução da pesquisa, eu me posicionei na perspectiva de artista investigador, ao utilizar de experimentos teórico-práticos para reexaminar conceitos e lógicas de apropriação tecnológica, e especular meios alternativos de produção de arquitetura mediados por processos criativos artificiais, que ampliam as possibilidades para além dos paradigmas tecnológicos convencionais. Para isso, foi importante adotar uma abordagem transdisciplinar, integrando Arte, Arquitetura e Computação, com a intenção de promover ambientes de interação entre esses campos. A transdisciplinaridade não se limita à sobreposição de métodos ou ferramentas, mas visa criar um diálogo que permita à Computação atuar não apenas como instrumento técnico, mas como um agente criativo capaz de participar ativamente do processo de concepção arquitetônica.

Essa abordagem transdisciplinar é sustentada pela perspectiva da interação entre esses três campos que pode fomentar processos especulativos e experimentais, ampliando os horizontes criativos na Arquitetura. A Arte, nesse contexto, contribui com sua capacidade de questionar normas e explorar contingências, enquanto a Computação oferece a possibilidade de estruturar sistemas recursivos e contingentes que potencializam a criatividade humana e computacional. Já a Arquitetura, como campo aplicado, fornece o contexto para que essas interações resultem em proposições espaciais tangíveis, que desafiam tanto os métodos tradicionais quanto os objetivos de otimização comumente associados às ferramentas computacionais convencionais.

Essa abordagem transdisciplinar também reflete o meu percurso acadêmico e profissional, que abrange múltiplas áreas, como Arquitetura, Design de Interiores, Design de Produto, Expressão Gráfica e campos correlatos. Dessa forma, a pesquisa reflete a minha experiência e os meus questionamentos técnicos e filosóficos sobre o uso da tecnologia em processos criativos. Adicionalmente, é relevante destacar a longa e influente tradição da Escola de Belas Artes da UFMG na produção teórica e artística relacionada às “Poéticas Tecnológicas”, que junto ao corpo docente, exerceu um papel significativo na construção deste trabalho. Entretanto, essa influência não configurou um limite, mas, contribuiu para a

ampliação das abordagens investigadas. Conforme apontado por Hui (2021), o conceito de diversidade defendido no campo das artes permite a amplificação de narrativas, em oposição a uma única narrativa universalista. Essa perspectiva foi central na condução da pesquisa, orientando-a no sentido de explorar múltiplas possibilidades e interpretações.

Ao promover o diálogo entre Arte, Arquitetura e Computação, esta pesquisa reafirma a importância de uma abordagem transdisciplinar como meio de transcender fronteiras disciplinares e gerar métodos e resultados que desafiam os paradigmas convencionais, ao mesmo tempo que expandem as possibilidades criativas e especulativas no projeto de arquitetura. Também é importante apontar o potencial pedagógico desta pesquisa. A pesquisa e os experimentos desenvolvidos possuem um significativo potencial pedagógico, especialmente no contexto do ensino de projeto de arquitetura. Os experimentos introduzem uma abordagem exploratória e especulativa ao projeto arquitetônico, incentivando os usuários a adotarem uma postura crítica e reflexiva em relação ao planejamento dos espaços e ao uso de ferramentas computacionais. Ao invés de enfatizar a automação de tarefas e a padronização de resultados, os aplicativos promovem a experimentação por meio da interação com agentes computacionais recursivos e contingentes, estimulando a criatividade e a autonomia dos usuários. Essa dinâmica não apenas amplia as possibilidades de concepção arquitetônica, mas também fornece um ambiente propício para a formação de um pensamento projetual mais sensível às interseções entre tecnologia, arte e arquitetura. Dessa forma, esta pesquisa contribui com o repertório pedagógico, proporcionando estratégias alternativas para engajar usuários na reflexão crítica sobre a especulação espacial e o papel da computação e ferramentas no processo criativo, além de incentivar a diversidade tecnológica como parte essencial da prática arquitetônica contemporânea.

1.2 Problematização central

O cenário vislumbrado por esta pesquisa é contextualizado por agentes computacionais contingentes e recursivos e o ser humano coexistindo em uma estrutura de trabalho em que ambos colaboram para o resultado. Essa dinâmica reflete uma colaboração entre designer e artefato (Schon, 1984), porém, com um avanço, pois o artefato em questão é capaz de se auto-organizar e sugerir resultados. Esse cenário se relaciona com o conceito de organologia⁵ desenvolvido por Yuk Hui (2019). Nesse sentido, tanto o ser humano quanto o algoritmo atuam como agentes de projeto. A computação nesse contexto não é apenas uma ferramenta de automação do trabalho humano, mas sim um elemento ativo no processo criativo, diferentemente de sua função tradicional, em que automatiza tarefas repetitivas e/ou informatiza informações técnicas para o projetista focar nas decisões criativas.

Essa transformação no papel dos agentes computacionais no processo de criação requer uma compreensão mais profunda de conceitos filosóficos que sustentam a interação entre ser humano e agente computacional. Os termos contingência e recursividade são centrais para essa discussão e serão abordados a partir das ideias de Yuk Hui (2019), que discute uma filosofia computacional baseada na análise das ciências naturais e humanas. A contingência refere-se a uma qualidade de contextos não determinísticos, possibilitando o imprevisto e associando-se à liberdade, portanto à autonomia. A recursividade, por sua vez, envolve a capacidade de pensamento reflexivo de seres (orgânicos ou inorgânicos) sobre si mesmos, em relação a laços de informações autogeradas. No contexto de agentes computacionais generativos, a recursividade e a contingência, em conjunto com a análise humana, podem contribuir para a criatividade na arquitetura.

O uso de estruturas computacionais no desenvolvimento de projetos arquitetônicos remonta ao advento da computação, que trouxe mudanças significativas para várias áreas criativas. Ferramentas digitais têm sido amplamente utilizadas com o objetivo de aumentar a produtividade, reduzir custos e otimizar tanto o trabalho quanto as edificações (Del Campo e

⁵ Hui (2019) propõe uma organologia geral que abrange não apenas os órgãos biológicos, mas também os técnicos e sociais. Ele argumenta que todos esses tipos de órgãos são inter-relacionados e coevoluem. Isso significa que a evolução das tecnologias (órgãos técnicos) e das estruturas sociais (órgãos sociais) está intimamente ligada ao desenvolvimento biológico e cognitivo dos seres humanos (órgãos biológicos). Ele dialoga com o pensamento de Bernard Stiegler que vê as tecnologias como extensões dos seres humanos que não são apenas ferramentas neutras, mas influenciam e transformam a maneira como pensamos e agimos. A organologia de Yuk Hui examina a interdependência e a coevolução dos órgãos biológicos, técnicos e sociais, enfatizando a importância da recursividade e da contingência neste processo, que são características fundamentais para esta pesquisa e que são detalhadas no capítulo “Apropriação poética e filosófica da tecnologia”.

Manninger, 2019; Gambardella & McCormack, 2021). Contudo, apesar da eficiência gerada por essas tecnologias, elas reforçam um processo de produção orientado por volume e velocidade. Tais ferramentas, em grande parte desenhadas sob uma lógica de produção industrial, priorizam a aceleração da produção de informação e a rapidez de sua disseminação. Conforme Stiegler (1998) argumenta, a sensação de aceleração e a industrialização da memória⁶ são consequências diretas dessa lógica.

Neste contexto, para evitar essas consequências é necessário pensar meios alternativos de explorar o potencial dos métodos generativos (recursivos e contingentes) visando estimular a criatividade em uma estrutura de trabalho que envolve agentes computacionais, projetistas e usuários. O interesse não está simplesmente na automatização de interfaces ou na substituição do projetista, mas na emergência de resultados improváveis e inesperados, que abrem novas possibilidades no processo criativo. Isso sugere a necessidade de repensar os meios de produção, explorando alternativas que transcendam as expectativas industriais (Yuk Hui, 2023) e permitam uma relação de parceria entre humanos e sistemas computacionais.

Compreender essas estruturas computacionais como mecanismos de colaboração e coexistência criativa, e não apenas como ferramentas de desenho assistido por computador, permite reavaliar o papel da técnica no processo criativo. Stiegler (1998) argumenta que a técnica não é uma entidade externa ao ser humano, ambos coevoluem. A evolução humana está entrelaçada com o desenvolvimento da técnica, que, por sua vez, molda e é moldada pelas ações humanas. Nesse sentido, a técnica se torna mais do que uma simples ferramenta, e funciona como um meio de externalizar conhecimento e expandir as capacidades humanas.

Esse processo de coevolução nos leva a considerar que as estruturas computacionais possuem um potencial autônomo que pode ampliar as possibilidades da criatividade humana. Tal situação nos convida a repensar o método tradicional de projeto, no qual as soluções são geradas pelo arquiteto com base em suas próprias experiências projetuais (Celani, Vaz, Pupo, 2013). Em um contexto alternativo, o método de projeto passa a ser influenciado por processos computacionais autônomos, onde o computador não apenas automatiza, mas participa ativamente por meio de atividades iterativas, criativas e generativas.

⁶ No contexto industrial e capitalista, a informação possui valor econômico que é medido pela velocidade de circulação, quanto mais rápido ela circula, mais valor ela possui, e dessa forma, o tempo de abstração diminui porque o fluxo de informação aumenta exponencialmente. Para o filósofo, a sensação de aceleração temporal está relacionada com a industrialização da memória, já que a informação passa a ser associada ao controle, quanto mais controlada ela é, menos indeterminável e mais industrializada ela passa a ser. A tecnologia ganha a culpa por essa aceleração temporal porque é constantemente utilizada em uma lógica industrial e capitalista, com isso, ela acaba criando uma determinação do tempo.

Nesse cenário, o arquiteto desempenha um papel crucial ao mapear estruturas composicionais arquitetônicas para serem codificadas, elaborar regras de comportamento, conduzir testes e intervir nas fases decisivas do projeto. O usuário⁷, por sua vez, contribui com seus interesses e experiências espaciais, valida mapeamentos, discute resultados e participa da seleção e modificação dos resultados gerados. Embora a estrutura de trabalho ainda apresente assimetrias, é interessante reconhecê-la como colaborativa, em que cada agente (seja humano ou computacional) atua conforme suas capacidades, compondo um sistema complexo. O que emerge do algoritmo, no entanto, é sempre uma sugestão (sujeita a análise, modificação e reinterpretação) e não um resultado definitivo e impositivo.

Nesse modelo de trabalho, identificam-se dois caminhos conceituais para compreender o potencial da tecnologia computacional no campo do projeto enquanto área de conhecimento (LLach, 2021). O primeiro é reconhecer que atividades como a construção de bancos de dados, o planejamento de regras de comportamento e a curadoria dos resultados devem ser vistos como atos de projeto. O segundo é entender como essa tecnologia não apenas produz resultados, mas também reconfigura as relações entre designers, autores, usuários e audiências ampliando as formas de colaboração e participação no processo criativo.

Os métodos generativos e recursivos, dentro dessa estrutura de trabalho, têm o potencial de facilitar a colaboração entre os diferentes agentes envolvidos, ao mesmo tempo que estimulam o desenvolvimento da consciência sobre os interesses e repertórios das possibilidades espaciais (no contexto do projeto de arquitetura). A partir do uso de estruturas computacionais recursivas, é possível ampliar a reflexão e discussão em torno de soluções espaciais que, de outra forma, poderiam não ter sido consideradas.

Neste contexto, os conceitos de recursividade e contingência, conforme explorados por Yuk Hui (2019), tornam-se fundamentais. A contingência, entendida como a imprevisibilidade dos resultados emergentes dos agentes computacionais, e a recursividade, manifestada tanto no comportamento auto referencial dos sistemas quanto na análise e adaptação crítica humana, são centrais para este tipo de abordagem. O processo de retroalimentação entre as operações algorítmicas e a intervenção humana permite a exploração contínua de novas possibilidades, contribuindo para o desenvolvimento criativo e crítico do projeto, seja por retroalimentação ou por algum método externo ao algoritmo.

Nesta estrutura de trabalho, um sistema generativo é compreendido como uma entidade capaz de produzir uma ampla gama de soluções potenciais (Mitchell, 1975). Dentro

⁷ O usuário pode ser compreendido como um arquiteto, cliente, construtor, moradores, estudantes e afins.

do espaço de soluções possíveis para um problema específico, as respostas oferecidas podem ou não ser adequadas (Celani, Vaz, Pupo, 2013). No entanto, do ponto de vista da exploração criativa, todo resultado gerado pode ser considerado um estímulo para a continuidade do processo. Espera-se, portanto, que esses resultados sirvam como ponto de partida para que os agentes envolvidos contribuam com o desenvolvimento do projeto.

A atuação no processo criativo, nesse contexto, vai além da simples escolha entre as opções apresentadas pelo arquiteto ou da interação imediata entre algoritmo e usuário. Rocha et al. (2016) observam que uma interface simples e reativa pode promover um diálogo produtivo, enquanto uma interface complexa que adapta seus resultados com base na interação do usuário pode, paradoxalmente, não alcançar o mesmo nível de diálogo entre as partes. Por isso, busca-se promover um ambiente de troca e aprendizado contínuo, em que a discussão, adaptação e transformação dos resultados aconteçam a partir da interpretação humana, seja de maneira reativa ou interativa. Isso configura um processo colaborativo, no qual os agentes envolvidos participam de forma ativa na reconfiguração das soluções propostas, reforçando a natureza dialógica e experimental da interação.

Entende-se que uma função de avaliação poderia, de fato, avaliar, adaptar e transformar resultados em uma velocidade muito superior à humana, otimizando o processo de projeto. Embora a otimização seja uma característica inerente a esses sistemas, o interesse aqui vai além da automação e da aceleração das etapas criativas. O foco é a capacidade da recursividade e da contingência dos agentes computacionais que aliadas ao seu potencial de processamento e cálculo matemático, podem contribuir para a expansão da criatividade no processo de projeto arquitetônico.

No contexto de produção de arquitetura, simular subjetividades (como os interesses do usuário e do projetista) através de uma função de avaliação poderia reduzir o processo a uma busca por eficiência produtiva. No entanto, o interesse em métodos generativos computacionais não se limita à velocidade com que produzem resultados. As qualidades que se destacam nessas estruturas incluem sua capacidade de autorreferência (analisando dados gerados por eles mesmos), o aumento da contingência, gerando resultados inesperados e fora do controle humano, e sua habilidade de processar grandes volumes de informações e interações. Essas características ampliam as possibilidades criativas ao permitir que o inesperado emergja e seja reinterpretado pelos agentes humanos, criando um ambiente de colaboração e exploração.

Essas qualidades, viabilizadas pelo potencial matemático do computador, podem ser entendidas como uma modalidade de criatividade, dado que as máquinas aprendem a planejar (arquitetura) de maneira semelhante aos humanos que analisam informações adquiridas ao longo da sua trajetória profissional para projetar (Del Campo, Carlson e Manninge, 2020). Com essas questões esclarecidas, esta pesquisa está situada em um ponto de encontro assimétrico entre autonomia humana e computacional. A partir dessa interseção, busca-se criar relações colaborativas entre agentes humanos e artificiais, de forma a ampliar a exploração criativa no campo da produção de arquitetura, dentro do contexto do "projeto pós-computação". Yuk Hui (2023) argumenta que, no cenário atual da computação, a imaginação torna-se banalizada quando limitada a uma lógica preventiva baseada no cálculo. Para ele, a criatividade já foi esgotada pela computação, e é necessário repensar uma imaginação "pós-computação". O conceito de "projeto pós-computação" que se explora aqui, parte da premissa de que o potencial criativo da computação, quando restrito a lógicas preventivas e baseadas em cálculo, já foi esgotado. A tese, então, se posiciona em busca de um avanço além dessa realidade, buscando identificar como a autonomia computacional pode contribuir para o projeto de arquitetura de maneira que ultrapasse a mera lógica preventiva, considerando a autonomia humana e fomentando possibilidades alternativas de intervenção criativa.

1.3 Hipótese

A hipótese investigada nesta pesquisa considera que agentes computacionais generativos e auto-organizados, aplicados de forma recursiva e que geram resultados abstratos, podem desempenhar um papel significativo no estímulo à criação no contexto da produção de arquitetura. Esses sistemas computacionais têm a capacidade de gerar material que não se apresenta como um produto finalizado ou definitivo, mas como um ponto de partida para reflexão criativa. O objetivo é transformar o algoritmo em um parceiro criativo que colabora no processo de concepção, permitindo ao projetista interagir com os dados gerados pelo sistema de forma a expandir suas próprias capacidades criativas.

A emergência de resultados abstratos⁸ é central nesta abordagem, pois tais resultados criam uma abertura para novas interpretações e possibilidades de exploração criativa. A abstração⁹, enquanto característica humana essencial para a criatividade (Mitchell, 2019), é entendida como um fator que permite ao projetista refletir sobre as múltiplas possibilidades de configuração espacial, sem se limitar a soluções concretizadas e fechadas. Como apontado por Stiegler (1998), a abstração¹⁰ requer tempo, e é justamente esse tempo que permite uma compreensão mais profunda da relação entre o sujeito criador e os objetos técnicos.

A hipótese, portanto, propõe que o processo recursivo e contingente dos agentes computacionais, ao gerar situações inesperadas e abstratas, estimula a criação arquitetônica e incentiva a especulação sobre formas de habitar e de pensar o espaço habitável. Em conjunto aos questionamentos sobre o funcionamento recursivo e contingente dos agentes computacionais e seus resultados abstratos, esta tese também investiga a existência da cocriação entre humanos e agentes computacionais, onde ambos colaboram e influenciam mutuamente no desenvolvimento criativo, ampliando as possibilidades projetuais e questionando os limites tradicionais da autonomia criativa, assim como o processo canônico de projeto.

⁸ Uma forma de expressão que não busca representar diretamente o mundo visível ou reconhecível, mas sim transmitir ideias, emoções, sensações ou estruturas por meio de formas, cores, linhas e composições independentes de referências figurativas ou narrativas.

⁹ Abstração no sentido do processo de separar ou isolar mentalmente certos aspectos de algo, deixando de lado outros, para compreender, representar ou conceituar esse algo de forma mais geral, simplificada ou ideal.

¹⁰ Em Stiegler (1998) significa um processo técnico e temporal de produção de pensamento, mediado por suportes de memória exterior (escrita, imagem, dados) e essencial à formação da consciência e da subjetividade, entretanto, cada vez mais ameaçado por formas técnicas que desorganizam o tempo da atenção e do pensamento.

1.4 Objetivos

O campo da Arquitetura passou por significativas transformações com o advento da computação. As estruturas computacionais e as estratégias de projeto beneficiadas pela computação são diversas, abrangendo desde soluções urbanísticas¹¹ até intervenções microscópicas¹² no desenvolvimento de materiais. Embora a teoria nesta tese possa se aplicar a diferentes áreas da arquitetura que investigam a criatividade e seus processos, é importante delimitar o contexto das estruturas computacionais e das estratégias de projeto empregadas ao longo desta pesquisa.

Na arquitetura, é comum que o desenvolvimento do projeto de uma edificação seja dividido entre dois momentos que se complementam: a concepção da planta baixa e a definição da volumetria. Arquitetos modernistas, como Adolf Loos, seguiram a lógica de que a forma segue a função, um conceito atribuído ao arquiteto Louis Sullivan no século XX. Nesse contexto, a fachada da edificação reflete o seu programa de necessidades (de Oliveira Pedrosa, 2015; Martins, 2010). Por outro lado, arquitetos pós-modernos, como Frank Gehry, adotaram abordagens desconstrutivistas, dando maior ênfase à volumetria. Nessas propostas, a relação com a planta baixa é muitas vezes menos evidente, em uma tentativa de desafiar convenções modernistas e propor soluções não lineares, tratando o edifício como um signo pop ou logotipo midiático (Foster, 2015). Oscar Niemeyer, apesar de ser considerado modernista, também optava, em certos momentos, por priorizar a liberdade formal em detrimento do programa de necessidades, favorecendo formas mais expressivas (Pedrosa, 2015).

No campo da computação aplicada à arquitetura, percebe-se uma divisão semelhante entre abordagens generativas. Algumas se concentram na busca por volumetrias atraentes (design generativo, *form finding*, arquitetura espetacular¹³ ou ornamental), enquanto outras focam na otimização de geometrias, sejam elas representações bidimensionais ou tridimensionais de espaços. Estes processos são frequentemente automatizados e baseados em

¹¹ Como por exemplo “Uso de Mapas Paramétricos como auxílio à Gestão e Planejamento Urbano” (Almeida, et al. 2019); “Lógica algorítmica-paramétrica e urbanismo: uma revisão teórica e de modelos computacionais para projetos urbanos” (Lima, Costa & Rosa, 2020) e “Urbanismo paramétrico: emergência, limites e perspectivas de nova corrente de desenho urbano fundamentada em sistemas de desenho paramétrico” (Silva & Amorim, 2010).

¹² Como por exemplo “Nanotechnology Applications in Architecture” (Vojdanzadeh, 2015) que trata da aplicação de nanotecnologias na arquitetura.

¹³ Cabral Filho (2004, 2006) aponta o uso da tecnologia para produzir uma arquitetura espetacular que encanta o espectador.

critérios e métricas pré-definidos, refletindo uma abordagem racional e técnica no desenvolvimento do projeto de arquitetura. Diante deste cenário observa-se alguns recortes já bem desenvolvidos, e com estratégias de aplicação da computação no campo da arquitetura já estabelecidas:

- 1- Exploração de volumetrias atraentes a partir de metodologias generativas baseadas em estratégias paramétricas.
- 2- Desenvolvimento e/ou adequação de volumetrias a partir de atributos geográficos visando otimização energética, estrutural, material e outros atributos quantitativos.
- 3- Desenvolvimento de representação abstrata ou concreta de planta baixa de espaços urbanos, edificações hospitalares ou outra tipologia complexa, baseado em otimização energética, estrutural, material, legislação e outros atributos quantitativos.
- 4- Desenvolvimento de interfaces com a informatização de dados técnicos para auxiliar no processo de projeto de arquitetura.

Nenhum desses recortes abordava diretamente os questionamentos e argumentações sobre cocriação e poética de interesse desta tese. Diante disso, tornou-se necessário investigar áreas e contextos de pesquisa que pudessem incorporar o interesse transdisciplinar entre Arte, Computação e Arquitetura. A partir dessa busca, identificou-se a relevância de pesquisas e trabalhos em desenvolvimento fora do Brasil¹⁴, voltados para os seguintes campos:

- 1- Desenvolvimento de representações volumétricas a partir de processos de geração de imagem a partir de *prompt*.
- 2- Elaboração de metodologias que transformam imagens geradas por Inteligência Artificial em volumetrias 3D editáveis em *software*.
- 3- Uso de abordagens criativas computacionais autônomas capazes de propor ativamente no processo de projeto.
- 4- Desenvolvimento de discurso teórico sobre o uso de processos computacionais no desenvolvimento de arquitetura pós-humana¹⁵.

¹⁴ Como, por exemplo, o projeto The Deep House (Del Campo, 2022) desenvolvido através da ferramenta StyleGAN2, em que o objetivo não era alcançar a otimização do algoritmo, mas desafiá-lo, intencionalmente fornecendo excesso ou escassez de dados. O projeto representa uma abordagem que utiliza o estranhamento como método para emancipar o projeto de uma casa de uma abordagem canônica.

¹⁵ Por exemplo, Stanislav Roudavski um artista, arquiteto e pesquisador que atualmente trabalha como professor sênior em Projeto Arquitetônico Digital na Universidade de Melbourne e que tem investigado o uso de modelagem numérica para entender melhor as plantas e desafiar as suposições antropocêntricas que são comuns

5- Desenvolvimento de representações de planta baixa a partir de processos de geração de imagem com criação de banco de dados ou a partir de *prompt*.

Para atender os interesses de cocriação e poética foi definido um recorte específico de trabalho, e elencados os tópicos centrais relacionados com os objetivos de pesquisa, entre eles estão: o alto nível de abstração nos resultados gerados por agentes computacionais; a criação computacional autônoma; a surpresa (contingência); a capacidade de interpretação humana; a expansão da criatividade; a subjetividade; e a colaboração entre agentes humanos e artificiais. Com base nesses critérios, optou-se por desenvolver representações abstratas de ambientes residenciais unifamiliares. A escolha desta tipologia de projeto foi motivada por sua subjetividade, intrinsecamente ligada ao modo de vida do ser humano. A evolução da habitação, como sugere Rybczynski (1989), é um reflexo da história da humanidade, e atualmente sua produção permanece pouco influenciada pela tecnologia contemporânea, resultando em representações que não correspondem plenamente aos estilos de vida atuais.

A escolha desse recorte também se justifica pela complexidade envolvida no processo criativo de desenvolvimento de uma planta baixa. Mesmo os arquitetos mais experientes enfrentam desafios¹⁶ nesse processo, que exige a formulação de novas soluções que atendam as necessidades de quem ocupará o espaço. Esse processo é marcado pela ansiedade e antecipações, ao mesmo tempo em que envolve criatividade, bagagem cultural e a busca por inovação, limitada por fatores ambientais, restrições físicas, regulamentações¹⁷ e padrões comerciais pré-estabelecidos. Apesar dessas limitações, o desenvolvimento de plantas baixas apresenta um campo fértil para a exploração poética e investigativa sobre a influência de agentes computacionais na concepção dos espaços residenciais. O espaço habitado pelos humanos, como sugere Picon (2023), reflete e molda a espécie, influenciando a percepção dela mesma e do mundo que ela habita. Agentes computacionais podem, portanto, oferecer novas perspectivas para a reflexão e criação de espaços habitáveis.

no design. Mais informações no texto “Plants as Designers of Better Futures: Can Humans Let Them Lead?” (Rutten, Holland, Roudavski, 2024).

¹⁶ O processo criativo direcionado para o desenvolvimento de plantas baixas diferenciadas, pode apresentar dificuldade já que existem diversas amarras que o engessam. Extrapolar essas amarras é uma tarefa complexa até para os arquitetos mais experientes.

¹⁷ Uytae Lee, discute como as normas de segurança na América do Norte sobre o uso de caixas de escadas para edifícios de 2 e 3 pavimentos tem limitado as possibilidades de layout em edificações residenciais. <https://www.youtube.com/watch?v=iRdwXQb7CfM&list=WL&index=24>

O conceito de habitar sugere que os indivíduos podem assumir um papel de protagonismo em suas próprias vidas, em vez de serem constantemente influenciados por forças externas alheias a seus interesses (Picon, 2023). Esse agenciamento humano, constantemente desafiado pelo avanço tecnológico e pelas ferramentas de automação e otimização, encontrou na arquitetura uma tentativa de reconciliação com a tecnologia. Arquitetos e urbanistas modernistas buscavam harmonizar a relação entre a tecnologia industrial, representada pela velocidade e mecanização do automóvel, e a singularidade humana, simbolizada pela cadência do caminhar. A habitação era vista como um meio potencial de compatibilizar esses dois ritmos aparentemente opostos (Picon, 2023). Le Corbusier, em sua obra Villa Savoye, oferece um exemplo dessa tentativa de conciliação. O projeto, acessado primeiramente por um automóvel e, em seguida, por meio de uma rampa que conduzia o visitante ao interior da casa, propõe uma reconciliação entre os ritmos da mecanização e o ritmo humano, marcado pela caminhada. Essa interação entre o progresso tecnológico e a experiência humana direta demonstra o esforço em equilibrar a eficiência mecânica com a dimensão subjetiva e imemorial da vida cotidiana.

Antoine Picon (2023) observa que o conceito de habitar está sujeito a tendências complexas, refletindo as contradições de nosso tempo. Embora seja perceptível a influência da tecnologia digital, o autor aponta que é difícil identificar transformações no ambiente residencial comparáveis aos efeitos significativos gerados pela invenção da eletricidade, uma vez que as tecnologias da informação e comunicação ainda não resultaram em uma tradução espacial clara (Picon, 2023). Até o momento, os impactos mais tangíveis parecem estar associados à automação residencial, como o controle de iluminação, aberturas e outros sistemas. No entanto, considerando que esta pesquisa não utiliza a computação como mero cálculo preventivo, essa realidade não ressoa diretamente com o objetivo de explorar o potencial criativo e colaborativo da tecnologia em conjunto com o ser humano.

A casa, mesmo nos dias atuais, continua a ser associada ao desejo de estabilidade, ainda que essa aspiração seja cada vez mais questionável diante da realidade contemporânea. Além disso, a preocupação crescente com a adaptabilidade dos espaços habitacionais tornou-se ainda mais evidente durante a pandemia de Covid-19 (de 11 de março de 2020 a 5 de maio de 2023). Durante esse período, as pessoas foram forçadas a realizar todas as atividades da vida cotidiana, desde o trabalho até o lazer, dentro de suas residências. Esse cenário expôs a inadequação dos lares para comportar o uso diversificado de espaços, uma limitação que ainda persiste para grande parte da população.

Atualmente, no contexto da habitação, a adaptabilidade se apresenta como uma das questões a serem discutidas. Algumas iniciativas tratam do tema de maneira mais literal, focando na aplicação direta de tecnologia para adaptar¹⁸ o espaço físico. No entanto, esta pesquisa propõe uma reflexão sobre a adaptabilidade no próprio processo de projeto, que se encontra condicionado por fatores como legislação, padrões comerciais e especulação imobiliária. Nesse sentido, a tecnologia é concebida como um agente colaborativo que contribui para a reflexão sobre a moradia, ao viabilizar, por meio de interfaces interativas, a participação humana. Essa abordagem permite uma reflexão sobre o espaço de morar e incentiva a criação de soluções adaptáveis e participativas, alinhadas com as necessidades contemporâneas de quem irá habitá-lo.

Com base nesses esclarecimentos, o objetivo principal desta pesquisa é explorar a interconexão entre a autonomia humana e computacional no processo criativo de projetos de arquitetura residencial unifamiliar. Como objetivos específicos, busca-se investigar como a prática artística, especialmente no campo da arte e tecnologia, pode reconfigurar o uso de ferramentas digitais no contexto da arquitetura, rompendo com o modelo capitalista-industrial frequentemente associado às tecnologias convencionais; examinar as dinâmicas entre criatividade humana e computacional, com ênfase no entendimento de como essas duas modalidades podem coexistir de forma complementar em processos de cocriação; elaborar um método especulativo de criação espacial que utiliza a recursividade e a contingência dos agentes computacionais como estratégias para explorar possibilidades alternativas de intervenção no processo de projeto, e por fim, a pesquisa visa desenvolver aplicativos experimentais que materializam esses conceitos, permitindo que o processo criativo seja enriquecido pela colaboração entre agentes humanos e artificiais.

¹⁸ Um projeto desenvolvido na Escola de Arquitetura Bartlett propõe uma arquitetura autônoma reconfigurável controlada por inteligência artificial e alimentada por um sistema robótico que permitiria que os edifícios evoluíssem de acordo com os requisitos de seus ocupantes (Hosmer et al., 2022).

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Autonomia e influência computacional

O conceito de autonomia é amplamente discutido em diferentes campos do conhecimento, e cada um oferece perspectivas que se complementam. Na filosofia, Immanuel Kant (1785)¹⁹, define a autonomia como a base de toda a moralidade das ações humanas. Essa definição vincula autonomia à ideia de liberdade moral e racionalidade, ressaltando a importância da autodeterminação ética. No contexto das ciências sociais, Cornelius Castoriadis (1987), destaca a autonomia como a capacidade de uma sociedade questionar e transformar suas próprias normas e instituições, ele argumenta que a autonomia é um processo coletivo de autogestão, no qual os indivíduos e grupos reavaliam constantemente as regras que guiam sua convivência.

Na psicologia, Edward Deci e Richard Ryan, criadores da teoria da autodeterminação, enfatizam que a autonomia é a capacidade de um indivíduo de regular seu comportamento de maneira autêntica, de acordo com seus valores e interesses internos (Deci & Ryan, 1985). Essa abordagem destaca o papel da autonomia no bem-estar psicológico e na motivação interna do indivíduo. Por outro lado, no campo da tecnologia, Gilbert Simondon (2007) aborda a autonomia técnica como a capacidade do objeto técnico de se auto-regular e funcionar de maneira independente, adaptando-se ao ambiente sem intervenção humana constante. Ele vê essa autonomia como um resultado do processo de concretização técnica, em que as máquinas se tornam mais especializadas e autossuficientes. Finalmente, Bernard Stiegler (1998) propõe uma análise crítica da autonomia em relação às tecnologias digitais contemporâneas, ao apontar que as tecnologias, ao mesmo tempo que aumentam a autonomia humana, podem também reduzir nossa capacidade de reflexão crítica e autodeterminação (Stiegler, 1998), resultando em um paradoxo em que a automação pode tanto libertar quanto alienar os seres humanos, dependendo do contexto de uso.

No âmbito da arquitetura e do planejamento urbano, diversos autores interpretam a autonomia como a capacidade de indivíduos e, especialmente, de grupos coletivos, de estabelecerem seus próprios métodos de ação e interação, sempre que isso não prejudique a liberdade de outros. Para esses estudiosos, ser autônomo envolve seguir regras que são criadas por si mesmos, ao contrário da participação, que se define pela possibilidade das pessoas influírem no processo decisório, mas sem a capacidade de modificar as regras existentes.

¹⁹ A obra *Fundamentação da metafísica dos costumes*, de Immanuel Kant, foi originalmente publicada em 1785. A presente referência baseia-se na tradução de Inês A. Lohbauer, publicada pela editora Martin Claret em 2019.

Nesse contexto, o planejamento autônomo está relacionado a processos cujas estruturas são definidas pelo ambiente e pelas pessoas diretamente envolvidas (Kapp & Baltazar dos Santos, 2012). De acordo com esses autores, nos últimos anos, a relação entre autonomia e arquitetura tem sido intensamente discutida, com foco no papel da arquitetura enquanto arte ou ciência autônoma. No entanto, tanto a autonomia quanto a heteronomia estão vinculadas ao conceito de *nomos*, ou seja, às normas. Essas normas são criadas pelos indivíduos por meio de suas ações, ao contrário das leis naturais ou mecanismos automáticos. Portanto, apenas os seres humanos possuem a capacidade de ser verdadeiramente autônomos (Kapp, Baltazar dos Santos & Morado, 2012)

Embora os termos "autonomia" e "automação" possam parecer semelhantes à primeira vista, eles se referem a conceitos distintos. A automação diz respeito à execução de tarefas de forma automática, geralmente baseada em regras fixas e pré-programadas. Um sistema automatizado reage a estímulos específicos com respostas pré-determinadas, sem qualquer capacidade de adaptação ou tomada de decisão independente. Ele funciona como uma sequência de comandos prevista por um programador, sendo eficiente para processos repetitivos e controlados.

Em contrapartida, ao se referir a um agente autônomo computacional, Shiffman (2024) aponta que ele é uma entidade capaz de tomar decisões próprias sobre como agir em seu ambiente, sem depender de um líder ou de um plano centralizado. Esse conceito representa um avanço significativo, pois introduz a ideia de uma força motriz interna (o desejo de se mover) comparável a forças naturais como a gravidade ou o vento, mas originada no próprio agente. Embora possua apenas uma percepção limitada do ambiente, essa percepção abrange tanto aspectos externos quanto internos, como posição, velocidade e até possíveis propriedades simuladas, como emoções. Essa consciência, no entanto, é restrita como acontece com os seres vivos, um inseto, por exemplo, pode perceber apenas estímulos visuais e olfativos imediatos. Mas a partir das informações que coleta, o agente autônomo processa e decide sua próxima ação, mantendo-se independente de qualquer comando externo.

O embate entre autonomia humana e computacional é uma questão central na contemporaneidade, especialmente no campo da arquitetura e das artes. Gilbert Simondon, Bernard Stiegler e Yuk Hui oferecem perspectivas teóricas para compreender essa tensão e propor abordagens críticas e construtivas para o diálogo entre humanos e máquinas. Simondon (2007), em sua teoria das individuações, argumenta que a relação entre humanos e tecnologia deve ser compreendida como uma coevolução. Ele rejeita uma visão

instrumentalista da tecnologia, sugerindo que os objetos técnicos possuem uma história e uma lógica interna de evolução que dialoga com a criatividade e as necessidades humanas. Esse entendimento oferece uma base para pensar a autonomia computacional não como uma imposição, mas como um catalisador das capacidades humanas.

Yuk Hui (2019) complementa essa discussão ao propor a ideia de "tecnodiversidade". Inspirado em Simondon e Stiegler, Hui (2019) argumenta que é necessário superar a visão universalista da tecnologia e promover a coexistência de múltiplas formas de tecnicidade, enraizadas em contextos culturais e históricos específicos. No embate entre autonomia humana e computacional, a tecnodiversidade destaca a importância de algoritmos e ferramentas digitais que não imponham soluções unilaterais, mas que possibilitam uma interação dialógica e contextualizada, valorizando a singularidade do humano no processo de tomada de decisões.

Nesse contexto, o embate entre autonomia humana e computacional não deve ser entendido como uma oposição binária, mas como um campo de tensões produtivas. Ao abraçar a complexidade dessas relações, é possível criar um ambiente em que a autonomia humana e computacional sejam mutuamente enriquecedoras, conduzindo à práticas mais reflexivas. Dessa forma, para esta tese, o conceito de autonomia compreende a capacidade de agir no sistema, ao contrário de controlá-lo ou defini-lo, sendo o agente autônomo aquele capaz de agir e influenciar o sistema no qual está inserido.

2.2 Criatividade humana e computacional

Esta seção abordará os conceitos de criatividade considerando-a como uma capacidade cognitiva humana, mas também como uma modalidade de criação computacional autônoma viabilizada por cálculo matemático e processamento de informação. Para tal, foi feita uma revisão de literatura acerca do conceito de Criatividade Computacional e Humana. Sobre este recorte, Yuk Hui (2023c) faz a seguinte observação:

Hoje, o que soa como problemático é opor a Imaginação Natural da Imaginação Artificial, como se uma fosse a imitação da outra. O interessante é reconhecer o conflito entre as duas, e pensar organologicamente, não na intenção de mostrar qual delas é mais forte e potente, mas, sim, para especular como a união organológica dessas imaginações pode nos fazer acessar o desconhecido (Yuk Hui, 2023c, p. XX, tradução nossa).

Essa visão organológica defendida por Yuk Hui é o fundamento central desta tese, argumentado e corroborado por meio de experimentos práticos. No entanto, antes de apresentar esses experimentos, é necessário compreender o que se entende por criatividade computacional e humana (ou, nas palavras do filósofo, imaginação artificial e natural).

Recorrendo à etimologia, o substantivo *criatividade* deriva do adjetivo *criativo*, ambos com raízes no latim *creāre*, que significa formar, produzir e, logicamente, criar. O substantivo *criação*, proveniente do verbo criar, em todas as línguas carrega um significado genérico que indica qualquer tipo de causalidade produtiva, seja do artífice, do artista ou de Deus. Com o passar dos séculos, esse conceito genérico adquiriu conotações religiosas. Descartes, por exemplo, em *Discours, IV; Princ. phil., I, § 21*, afirmou que se Deus parasse de criar, o mundo deixaria de existir. Esse discurso permeia o pensamento da Idade Moderna. No entanto, com o advento do idealismo romântico, filósofos como Hegel começaram a reinterpretar a ideia de criação, associando-a à derivação racional e necessária das coisas, como proposto anteriormente por Spinoza (Abbagnano, 2007).

No Iluminismo do século XVIII, apesar dos esforços para promover a razão como guia da humanidade e desafiar o domínio da Igreja Católica, defendendo o uso da ciência e da racionalidade para explicar a evolução humana, o conceito de criação permaneceu atrelado a uma alternativa "mítica", "metafísica" ou "religiosa" para a compreensão do mundo. Atualmente, em um sentido igualmente amplo como nos primórdios do uso da palavra, o termo criação é frequentemente empregado para ajustar ou alinhar o conceito de evolução, inserindo nele os elementos de imprevisibilidade, liberdade e novidade. Seu uso, com ênfase na introdução de novidades e na imprevisibilidade dos resultados de um processo, está

implícito em várias atividades humanas, como a produção artística, literária e científica, conforme apontado por Abbagnano (2007).

Como pode ser observado, o uso das palavras criar, criação e criatividade é historicamente ligado à figura de Deus e ao ser humano. É compreensível a dificuldade em entender que estruturas computacionais possam ser agentes criadores por esta perspectiva, visto que, criar, é uma tarefa divina ou humana. Entretanto, é observável que o criar humano e o criar computacional não são equivalentes. Ao compará-los, busca-se por semelhanças e disparidades, e ao identificá-las é possível fazer um processo de união entre as duas e pensar sua aplicação organológica.

De todo modo, Mitchell (2019) afirma que os seres humanos possuem uma característica fundamental que está ausente em todos os sistemas de inteligência artificial, o senso comum. Ao longo da vida, absorvemos uma vasta quantidade de conhecimento sobre o mundo físico e os aspectos sociais que nos cercam. Isso nos permite compreender e antecipar o comportamento de objetos inanimados e seres vivos. Por exemplo, esperamos que uma bola role ou que uma caixa deslize ao ser empurrada em uma superfície inclinada. Em outras palavras, a capacidade de fazer previsões com base em nosso amplo entendimento do mundo nos auxilia na tomada de decisão sobre como agir em diversas situações. Mitchell (2019) utiliza o termo "barreira de significado" para descrever a grande diferença entre seres humanos e sistemas de inteligência artificial. Para a autora, os humanos possuem a capacidade de entender profundamente as situações que encontram na vida cotidiana, algo que os sistemas artificiais ainda não conseguem realizar. Embora existam exemplos de inteligência artificial que, em contextos específicos, igualam ou superam os humanos, esses sistemas falham quando se trata de conhecimento geral e percepção.

De acordo com Barsalou apud Mitchell (2019), os seres humanos têm a capacidade de compreender conceitos abstratos por meio de simulações mentais, criando cenários específicos em que esses conceitos podem se manifestar. É natural para o ser humano formar situações e histórias em sua mente para facilitar o entendimento de ideias abstratas. Esses conceitos estão codificados no cérebro como modelos mentais, que são ativados para prever situações potenciais. Tais conceitos podem variar desde simples palavras até situações mais complexas formadas através de processos de abstração e analogia. A construção e o uso de simulações mentais dependem de duas capacidades intrinsecamente humanas, a abstração e a analogia.

Ao se referir sobre processos de criação, Margaret Boden (2004) argumenta que a criatividade humana é paradoxal. Uma ideia pode ser simplesmente nova, mas para ser considerada criativa, ela também precisa ser surpreendente e valiosa. Boden (2002) aponta que a criatividade não é uma habilidade especial isolada, mas uma extensão da inteligência humana, manifestada em ações cotidianas como o pensamento conceitual, a percepção, a memória e a capacidade de autocrítica reflexiva.

Para Boden (2002) existem três formas de criatividade, as quais correspondem a três tipos de surpresa: combinação, exploração e transformação. A primeira forma, a combinação, refere-se à junção inédita de ideias familiares. Para que essa combinação seja criativa, é necessário que a pessoa envolvida possua um amplo repertório de conhecimento e diversas maneiras de navegar por ele. O segundo tipo de criatividade está relacionado à exploração de espaços conceituais, definidos como estruturas de pensamento baseadas em uma cultura, por exemplo. Esses espaços não são produto de uma mente única, mas sim, de modos de pensar estruturados, familiares e valorizados por um determinado grupo social (Boden, 2002). Na arquitetura, normas, convenções de projeto, estilos arquitetônicos e legislações podem ser vistos como exemplos de espaços conceituais que os arquitetos exploram. A exploração criativa desses espaços é relevante, pois permite a identificação de possibilidades que anteriormente poderiam ter passado despercebidas.

A terceira forma de criatividade descrita por Boden (2002) é a transformação do espaço conceitual. Nesse caso, é necessário reconhecer as limitações da estrutura de pensamento vigente, permitindo que uma ideia considerada impossível surja a partir da mudança desse estilo preexistente. O espaço conceitual deve ser levemente alterado ou até radicalmente transformado para possibilitar o surgimento de novas ideias. Boden (2002) ressalta que para compreender como a criatividade exploratória e transformacional ocorrem, é essencial entender o que são os espaços conceituais e quais tipos de processos mentais podem explorá-los e modificá-los. A autora também observa que processos de inteligência artificial podem nos permitir pensar de maneiras inéditas, possibilitando a construção e teste de hipóteses sobre as estruturas e processos envolvidos no pensamento criativo. A abordagem computacional nesse contexto, oferece uma oportunidade de formular hipóteses científicas sobre o funcionamento da mente humana.

Dado que a criatividade envolve não apenas novidade, mas também valor, e que os valores são altamente variáveis, muitos argumentos sobre a criatividade estão enraizados em divergências sobre o conceito de valor (Boden, 2002). O conceito de valor transcende o

âmbito monetário e está relacionado à apreciação subjetiva e cultural de uma ideia, obra ou processo. O valor, nesse sentido, envolve fatores como relevância social, impacto emocional, inovação e a capacidade de provocar reflexão ou transformação. Em campos como a arquitetura, arte e tecnologia, o valor criativo pode ser medido pela contribuição que uma obra traz à forma como as pessoas entendem e interagem com o mundo, ou seja, pela sua capacidade de gerar novos modos de pensar, experimentar ou viver.

No contexto dos processos criativos, o valor (não monetário) também pode ser visto na capacidade de uma ideia ou objeto em estimular novas formas de raciocínio, desafiar convenções estabelecidas ou elucidar possibilidades ainda não consideradas. Ao afirmar que a criatividade envolve valor, Boden (2002) está se referindo à forma como uma obra ou ideia se insere no campo da cultura, ciência ou arte, promovendo uma mudança significativa na percepção das pessoas sobre o que é possível ou desejável. Assim, o valor criativo é o resultado de uma interação complexa entre inovação, relevância cultural e a capacidade de ressignificar ou ampliar os horizontes do pensamento. Nesse sentido, o valor em processos computacionais criativos, como os abordados nesta tese, não está apenas na eficiência técnica ou nas soluções funcionais que eles possam gerar. O valor está também na sua capacidade de atuar como agente que estimula novas formas de pensar, permitindo ao humano projetista reimaginar seu próprio papel e expandir as fronteiras de intervenção criativa na produção de arquitetura.

Compreendendo que para atingir resultados criativos é necessário explorar e transformar os espaços conceituais, parte-se para a próxima questão, a discussão sobre a "máquina" como agente criativo. Embora existam divergências quanto à capacidade dos computadores de exercerem criatividade, Boden (2002) argumenta que eles podem gerar novas ideias e, além disso, contribuir para que as pessoas façam o mesmo. A autora ressalta que “tanto seus fracassos quanto seus sucessos podem nos ajudar a pensar com mais clareza sobre nossos próprios poderes criativos” (Boden, 2002, p.10, tradução nossa). A centralidade desta tese se apoia nessa afirmação, uma vez que os experimentos práticos realizados ilustram precisamente essa ideia.

Seguindo o raciocínio, Hui (2023) argumenta que é incorreto afirmar que as máquinas são apenas uma imitação falha da compreensão humana no que se refere ao significado semântico. Para fundamentar essa crítica à visão antropomórfica, Hui (2023) recorre ao filósofo e cientista cognitivo Brian Cantwell Smith, que sugere que as máquinas possuem uma forma própria de intencionalidade. Embora essa intencionalidade não seja equivalente à

humana, ainda pode ser considerada como uma forma de semântica, mesmo que distinta da linguagem humana. Com base nesse argumento, Hui (2023) afirma que distinguir a semântica antropomórfica da semântica das máquinas é essencial para repensar nossas relações com as tecnologias, mas isso constitui apenas um ponto de partida. A criatividade humana, segundo ele, deve seguir um caminho distinto, superando a ideia de substituição do homem pela máquina presente em algumas teorias econômicas e concepções limitadas de interatividade. A análise precisa ir além, buscando uma perspectiva existencial. Hui (2023) enfatiza a importância de reconhecer o potencial das tecnologias para expandir as capacidades humanas²⁰, indo além de sua mera funcionalidade. Desde os primórdios da humanidade, o acesso à verdade²¹ esteve intimamente relacionado à invenção e ao uso de ferramentas, um aspecto que continua a ser subestimado. O autor sugere que a tensão entre a evolução das máquinas e a existência humana é resultado de uma ideologia profundamente arraigada na cultura.

A diferença entre criatividade computacional e criatividade humana é clara, mas isso não significa que uma não possa potencializar a outra, contribuindo para um fluxo de trabalho colaborativo entre seres humanos e agentes computacionais. No entanto, a capacidade criativa das máquinas é um tema que gera divergências e polarização. Mitchell (2019) observa que os mais céticos argumentam que um computador apenas executa o que é programado por um ser humano, o que inviabiliza a possibilidade de criatividade genuína. Embora essa visão cética seja recorrente, o interesse desta tese reside na exploração de como os agentes computacionais podem gerar resultados alternativos, especulativos e provocativos, capazes de questionar convenções de projeto e estimular novas reflexões. Como exemplo, Matias del Campo e Alexandra Carlson (2020) sugerem que as imagens geradas por redes neurais, podem atuar como catalisadores para a mente humana, oferecendo possibilidades que impulsionam o discurso arquitetônico. Essas imagens, baseadas em informações pré-existentes, são suficientemente familiares para serem reconhecidas como arquitetura, mas também estranhas o suficiente para desafiar e instigar novas interpretações. Portanto, a discussão se concentra na combinação dessas forças. Qualquer resultado que surge dessa interação seja no campo

²⁰ Originalmente, o autor utiliza o termo “protético” que pode ser entendido como a ideia de que a tecnologia funciona como uma extensão ou uma prótese das capacidades humanas (Hui, 2019b).

²¹ Conhecimento verdadeiro, como elaborado por Yuk Hui (2023b). O filósofo enfatiza que o conhecimento verdadeiro não é apenas uma descrição objetiva da realidade, mas um processo dinâmico que reconhece a contingência e a recursividade presentes na evolução histórica, cultural e tecnológica. O conhecimento verdadeiro é o resultado do evento contingente, e não a contingência em si.

teórico ou no desenvolvimento de projetos arquitetônicos, reflete a influência computacional em conjunto com o pensamento humano.

De acordo com as formulações de Boden (2002), para que um resultado seja considerado criativo é necessário atribuir valor²² à ele. Seguindo esse raciocínio é possível considerar que as máquinas são capazes de gerar resultados criativos, já que para serem vistas como criativas, basta que um observador dentro do mesmo espaço conceitual identifique valor no que foi produzido por elas. Com base na argumentação de Boden (2002), esta tese adota o entendimento de que as “máquinas” podem produzir resultados criativos. Essa perspectiva permite reconhecer que as máquinas e os agentes computacionais que as operam são capazes de funcionar com certo nível de autonomia. Seu comportamento autônomo e a interação com seres humanos podem gerar resultados classificados como criativos, uma vez que, são valorizados por indivíduos dentro de determinados espaços conceituais.

As diferentes possibilidades de interação (humano e computador) e níveis de autonomia computacional capazes de gerar resultados criativos podem ser melhor explicadas através do termo Criatividade Computacional(CC)²³. Este, é um amplo campo de pesquisa que considera o potencial criativo de estruturas computacionais. 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 contexto desta tese, CC se refere ao uso de estruturas computacionais capazes de agir ativamente no processo criativo através da geração de resultados. Não obstante, o *framework* proposto nos experimentos práticos desta tese, foram estruturados a partir da Humano-Computador Cocriatividade (HC³), conceito que Hoffmann (2016) define como uma forma de cocriatividade em que exista pelo menos um humano e um agente computacional como criadores.

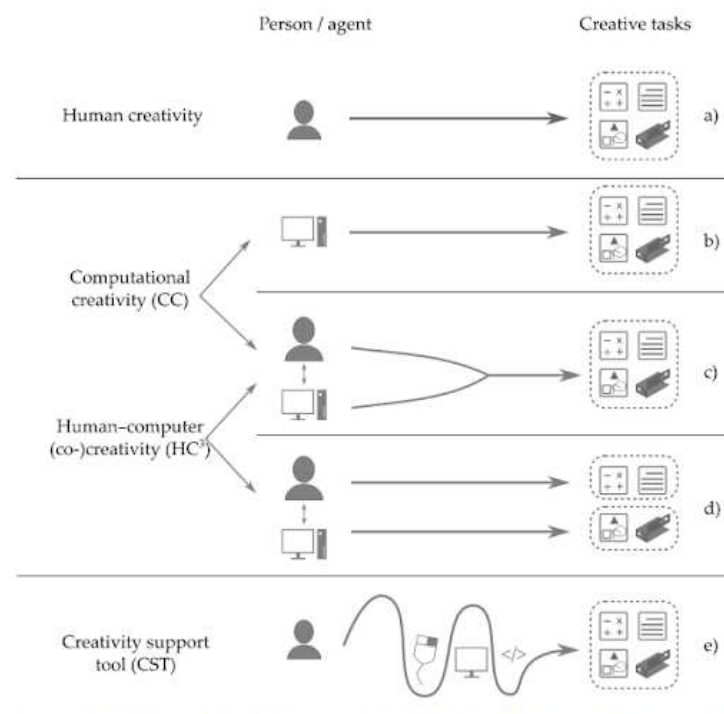
Gu & Amini (2021) mediante levantamento de literatura disponível, desenvolveram o infográfico da figura 2. Na imagem é possível analisar as relações entre humanos e computadores em três níveis diferentes de Criatividade Computacional (CC, HC³ e CST). Na

²² não se refere a valor econômico.

²³ Existe a *The International Association for Computational Creativity* (ACC), que visa promover o estudo científico da criatividade humana e da máquina por meios computacionais, promovendo a pesquisa em CC (*computational creativity*). A associação possui interesses específicos, e esta tese faz uso do termo apenas para se referir à capacidade autônoma de criação de estruturas computacionais.

situação ‘E’, é possível analisar que as ferramentas de suporte criativo contribuem com a criatividade ao facilitar e mediar o trabalho do projetista. Nas situações ‘D’ e ‘C’ podemos ver dois exemplos de HC³. No contexto ‘D’, o agente humano e computacional possuem uma relação, mas ambos produzem resultados individuais, no ‘C’ existe a relação, mas ambos produzem um só resultado. A situação ‘C’ também pode ser considerada como CC, em conjunto com a situação ‘B’, em que o agente computacional produz sem a necessidade de intervenção humana durante o processo de geração de resultados. A situação ‘A’ é o que conhecemos como criatividade humana.

Figura 2 - As relações entre humanos e computadores em 3 níveis de criatividade computacional.



Fonte: Reprodução Gu & Amini (2021).

Os autores identificam quatro áreas da arquitetura nas quais a Criatividade Computacional (CC) é relevante: síntese, análise, interface e comunicação. Nas duas primeiras, a literatura existente indica predominantemente a presença de baixos níveis de CC, enquanto nas demais áreas não há uma definição clara ou objetiva sobre o papel da CC. Em todas essas áreas, a maior parte das pesquisas trata a computação como uma ferramenta de suporte ou meio de execução, o que revela oportunidades para estudos futuros que investigam níveis mais elevados de CC nessas quatro áreas. Altos níveis de CC referem-se a ferramentas

com maior autonomia ou influência no resultado, enquanto baixos níveis estão associados a ferramentas de desenho assistido por computador.

Esclarecidas as diferentes modalidades e níveis de criatividade computacional, observa-se que no contexto da Humano-Computador Cocriatividade (HC³), o computador é responsável por gerar resultados iniciais, seguidos por variações sucessivas. O ser humano, por sua vez, interage ao fornecer julgamento de valor e interferindo no percurso das probabilidades desses resultados. O dueto (humano e algoritmo) configura uma estrutura criativa organológica potente capaz de gerar e validar resultados criativos.

Conclui-se então, que apesar de não equivalentes, a criatividade humana e computacional são capazes de explorar e transformar espaços conceituais. Quando associadas, essas criatividades são capazes de gerar resultados considerados como criativos. Entretanto, o uso dos recursos computacionais deve ser estratégico e intencional, independente do nível de criatividade do agente computacional. Yuk Hui (2023b) argumenta que a criatividade foi esgotada pela computação, indicando a necessidade de discutir uma criatividade pós-computação. Para isso, ele propõe o conceito de "imaginação artificial", o qual, segundo o autor, não se opõe à imaginação humana. Tal perspectiva sugere que a criatividade computacional (ou imaginação artificial) deve ser considerada além da mera automação orientada pela determinação e pelo cálculo. Nesse contexto, a noção de imaginação perde seu significado se for reduzida a uma lógica preventiva, pautada apenas no cálculo (Hui, 2023b).

Hui (2023b) argumenta que a noção de imaginação artificial deve ser compreendida em um contexto mais amplo, que abrange a educação estética, a criação artística e as questões políticas, particularmente no que concerne ao papel das máquinas na tomada de decisões e na configuração do ambiente humano. O filósofo observa que, apesar do argumento comum de que a imaginação das máquinas é restrita por limitações de memória, armazenamento e capacidade computacional, em contraste com a imaginação humana, considerada infinita, essa distinção é inadequada. Tal inadequação reside no fato de que a finitude define a condição humana (marcada pela mortalidade), enquanto as máquinas ganham seu poder justamente na capacidade de lidar com o infinito.

A comparação entre a criatividade humana e a computacional revela uma diferença essencial. Enquanto os humanos possuem a capacidade de abstração, intuição e experiência subjetiva, as máquinas destacam-se pela habilidade de processar vastos volumes de dados e executar interações complexas em alta velocidade. Esse contraste, longe de ser uma limitação, é um ponto significativo para este estudo, pois enfatiza a complementaridade entre os dois

agentes. O foco, portanto, está em explorar o potencial de cada agente para desenvolver formas e estratégias que permitam a união da imaginação das máquinas com a imaginação humana, resultando em uma colaboração criativa que pode ser descrita como Humano-Computador Cocriatividade (HC³) ou Imaginação Humano-Computador.

Para alcançar esse objetivo, é essencial identificar estratégias que promovam uma interação em que a contribuição dos agentes computacionais seja valorizada tanto quanto a dos humanos. Essa interação exige que os agentes computacionais não sejam vistos apenas como ferramentas passivas, mas como parceiros ativos no processo criativo. Na seção seguinte, serão abordados os conceitos de contingência e recursividade, qualidades fundamentais que viabilizam a atuação criativa de sistemas artificiais, contribuindo para uma relação colaborativa entre humanos e agentes computacionais.

2.3 Recursividade e contingência

O termo cibernética, cunhado por Nobert Wiener (1948), buscava dar significado a uma ciência universal capaz de unificar todas as disciplinas. Tanto a cibernética de primeira ordem, quanto a de segunda utilizam o conceito de *feedback* para definir a operação da máquina cibernética, diferente da máquina mecânica do século XVII. Hui (2023a) aponta que em 1948, Wiener afirmou que a cibernética havia superado a oposição entre mecanicismo e vitalismo representada por Newton e Bergson, porque as máquinas cibernéticas eram baseadas em uma nova causalidade não linear e recursiva, no lugar de uma causalidade linear frágil e ineficaz, que nas palavras de Hui (2023a) seriam efeitos da realidade da máquina que não sabe regular o seu próprio modo de funcionamento.

Apesar do termo recursividade ser recorrente desde o início das formulações sobre cibernética, Hui (2023a) aponta que ele não é exclusivo ao movimento e que também é pertencente a todo pensamento pós-mecanicista, e que o advento da cibernética apenas anunciou a possibilidade de realizar o pensamento recursivo em máquinas cibernéticas. O filósofo argumenta que a “inteligência” encontrada nas máquinas de hoje é uma forma reflexiva de operação encontrada nas formulações de Gotthard Günther e Gilbert Simondon, sendo que, para Günther, a cibernética é a realização da lógica de Hegel, e para Simondon, foi a elaboração da Crítica do Juízo sobre a lógica reflexiva elaborada por Kant.

Entretanto, apesar do pensamento reflexivo ser geralmente associado ao ser humano e não a máquina (já que comumente elas apenas executam instruções sem refletir sobre elas), foi com a introdução da cibernética na década de 1940, que a expressão pensamento reflexivo

também passou a descrever o mecanismo de *feedback* das máquinas (Hui, 2023a). A partir da cibernética foi possível pensar a máquina enquanto um agente autônomo. Yuk Hui (2023a) afirma que máquinas recursivas e não lineares, são fundamentais para entender o desenvolvimento e a evolução da inteligência artificial, e que o pensamento reflexivo dessas máquinas (mesmo sendo uma forma preliminar e básica de reflexão, nas palavras do filósofo) possui um poder surpreendente sobre os seres humanos não preparados para aceitar sua existência. Tal situação demonstra a necessidade de pensar e discutir uma relação não tecnofóbica com a tecnologia, como apontado por Simondon (2007).

Sendo mais incisivo e direto, Hui (2023a) afirma que na era das máquinas cibernéticas ou informacionais, a própria máquina passa a ser a organizadora da informação, e o ser humano deixa de ocupar o centro, mesmo que ainda se considere o comandante das máquinas e organizador da informação. É importante não descontextualizar a fala do filósofo, porque o mesmo defende um pensamento de tecnodiversidade, e ao proferir essa afirmação, ele não está promovendo uma pseudo soberania computacional, apenas está constatando a realidade atual dos sistemas de inteligência artificial, como, por exemplo, o chatGPT, os motores de busca e sugestão do Google, YouTube, Spotify, diversos sites de compra, etc. Embora pareça haver uma sensação de controle sobre o que é consumido, os sistemas generativos, na realidade, organizam as informações apresentadas ao usuário com base em suas interações, mas sem que este tenha efetivo controle sobre o processo. Ao compreender que a recursividade desses sistemas possui um potencial exploratório em termos criativos, torna-se possível utilizá-los como fonte de estímulo, superando a postura de consumidor passivo.

Após esclarecer esses aspectos da recursividade, define-se a recursividade computacional, neste estudo, como a capacidade de autorreflexão, auto-organização e autorreferência dos sistemas computacionais. Um sistema dotado dessas características gera informação de forma autônoma, com base na análise de seu próprio estado atual. Ainda que o estado inicial seja determinado pelo ser humano ou que o código exija uma validação de resultados por parte deste, o sistema continua a produzir conteúdo a partir de sua própria condição como agente. Em contextos de interatividade, nos quais a participação humana ocorre em tempo real, o estado atual do sistema e sua capacidade autônoma de criação permanecem integralmente considerados. A capacidade autônoma desse sistema e sua interação com o mundo geram eventos contingentes capazes de aprimorar o próprio sistema computacional (em situações de aprendizagem de máquina), o agente humano ao interagir com o sistema e a própria estrutura de cocriação (humano e algoritmo).

Em relação a contingência, um algoritmo de aprendizado de máquina, por exemplo, é aquele capaz de discernir eventos contingentes, como ruído e falha. E ao interpretar estes eventos, a máquina de aprendizado melhora seu modelo de tomada de decisão (Hui, 2023a). Para que esse tipo de sistema cibernético alcance uma certa autonomia, a intervenção humana é fundamental na distinção entre decisões corretas e incorretas, contribuindo para o aperfeiçoamento contínuo do algoritmo (Hui, 2023a). De acordo com Mitchell (2019), em grandes *softwares* de reconhecimento de imagem, particularmente nos estágios iniciais de desenvolvimento, foi necessária a contribuição de milhares de pessoas para alimentar bancos de dados e treinar algoritmos de reconhecimento, habilitando-os a identificar objetos com precisão. Esses sistemas operam com base no reconhecimento de padrões de pixels e seu mapeamento específico. Algoritmos de reconhecimento de imagem seguem uma lógica de otimização que trata eventos contingentes como elementos indesejáveis a longo prazo. Espera-se que um carro autônomo tenha um algoritmo que consiga reconhecer (quase) todos os objetos animados e inanimados do mundo, mas caso ele se depare com um evento contingente (um ruído inesperado), também espera-se que ele lide com esse evento de forma adequada e segura (expectativas industriais).

Yuk Hui (2023b) relata que em Hegel é possível encontrarmos dois significados para contingência, o primeiro sendo arbitrariedade, logo, desnecessária. O segundo, constatando que apesar da falta de necessidade, ela é indispensável, logo, necessária. Hui (2023b) aponta que é necessário parar de interpretar a contingência como um ruído que atrapalha o canal de comunicação, e que precisa ser eliminado para garantir comunicação precisa. Deve-se entender que esse “ruído desnecessário” é inevitável e que pode até ser utilizado para melhorar a eficiência da transmissão. Os pensadores dos séculos XVII e XVIII buscavam a certeza como ponto de partida do conhecimento e esperavam que fosse possível construir um sistema de conhecimento impecável, imune a erros e ilusões (Yuk Hui, 2023b). Essa lógica de pensamento tem acompanhado o modo de apropriação tecnológica em diversas áreas do conhecimento até os dias atuais, por mais que a tecnologia atual não funcione linearmente, existe uma cultura que enxerga o “ruído, erro e desvio” da máquina como algo negativo.

Na análise da criatividade, o evento contingente é um elemento desejável, pois desvia o foco da rotina e incentiva a reflexão sobre o processo de produção. Esse evento inesperado (não previsto ou programado) constitui, portanto, uma fonte de inspiração. Semelhante ao funcionamento de um algoritmo de aprendizado de máquina, espera-se que o sistema cocriativo assimile informações novas provenientes do evento contingente e as transforme em

um resultado adequado ao projeto em questão. A contingência, assim, representa o ponto inicial para o desenvolvimento do conhecimento verdadeiro. Hui (2023b) observa que a construção do conhecimento verdadeiro exige que se parta da contingência, embora esta seja posteriormente eliminada do conhecimento verdadeiro. Tal perspectiva indica que a contingência não deve ser tratada como um problema; embora não constitua a verdade em si, ela atua como um catalisador essencial para sua descoberta.

No processo artístico, a contingência se revela indispensável não apenas por ser impossível de ser eliminada, mas também por sua função essencial na composição dos seres, como afirma Hui (2023b). Ela serve como fonte de inspiração para o artista, uma surpresa que impulsiona a criação e estimula o processo criativo. Hui (2023b) recorre às formulações de Deleuze sobre *cause* e *quasi-cause* para apontar o valor da contingência. A *quasi-cause* é uma causa em que a relação entre causa e efeito não depende da necessidade; a contingência, nesse sentido, é uma *quasi-cause* que, para adquirir relevância, precisa ser convertida internamente em uma necessidade. O filósofo exemplifica esse conceito com a trajetória do guitarrista Django Reinhardt, que, após perder dois dedos em um incêndio, desenvolveu uma técnica singular, e com o filósofo Bernard Stiegler, cuja prisão deu início à sua prolífica produção intelectual. Esses exemplos ilustram que o evento contingente não é, necessariamente, a causa direta de um efeito; não é preciso perder os dedos para se tornar um guitarrista de renome, nem ser preso para se tornar um filósofo influente. No entanto, a contingência ganha um sentido necessário quando é transformada em uma necessidade interna: por exemplo, aproveitando o tempo na prisão para desenvolver pensamentos filosóficos ou adaptando-se a limitações físicas para aperfeiçoar uma técnica singular de tocar guitarra.

O evento contingente por si só não tem a capacidade de gerar esses efeitos, se não existir necessidade e intencionalidade. O sistema computacional precisa ter a capacidade autônoma de se autorregular, e o ser humano, a capacidade e intenção de fazer o mesmo. Hui (2023b) fala que talvez, seja na tragédia que a contingência encontre seu maior valor. O que faz sentido, e se conecta ao conceito de resiliência, muito utilizado para dar significado a pessoa que supera os desafios da vida, como nos exemplos citados anteriormente. Essa associação pode explicar a visão predominantemente negativa que se atribui à contingência, tanto no cotidiano quanto em sistemas computacionais. É compreensível que a expectativa comum seja a de que os computadores apresentem respostas precisas e prontas, em oposição a um comportamento potencialmente "desestabilizador" ou incômodo. Na prática artística e criativa, como discute Hui (2023b), a contingência não assume a conotação negativa

associada à tragédia. Pelo contrário, ela se configura como uma necessidade que impulsiona o artista a sair da zona de conforto, inspirando e incitando a produção e a reflexão sobre o mundo. No contexto computacional, a máquina recursiva e contingente apresenta um potencial semelhante ao expandir as possibilidades criativas, ao introduzir elementos de surpresa de maneira intencional. Esse aspecto se revela especialmente relevante para o trabalho de artistas, designers e arquitetos, que encontram, nos métodos computacionais, alternativas para a experimentação e o desenvolvimento de suas práticas criativas.

Paralelamente, o conceito de "estranhamento" proposto pelo formalista russo Viktor Shklovsky em 1917 (Shklovsky, 1997) oferece uma relação comparável. A essência desse conceito reside em transformar objetos ou situações comuns, conferindo-lhes uma característica de estranheza suficiente para intensificar a atenção do observador. A contingência, conforme discutida por Hui (2019), não necessariamente transforma os objetos em algo estranho; ao invés disso, desperta a atenção do observador ao introduzir um elemento inesperado. Em ambas as situações, espera-se que o observador (seja pelo estranhamento ou pela surpresa) redirecione sua atenção para o que está ocorrendo. Ao introduzir o conceito de estranhamento à prática de arquitetura através do uso de IA, Del Campo (2022) argumenta que o estranhamento e a desfamiliarização permitem que a arquitetura recupere sua relevância na sociedade ao se libertar e assumir um novo compromisso social, ao desafiar os clichês arquitetônicos existentes e abrir caminho para novas oportunidades de progresso, e por fomentar a quebra das convenções estabelecidas no campo da arquitetura. O autor argumenta que os resultados produzidos por Redes Neurais Artificiais (RNA), como GANs e CNNs, criam "objetos estranhos" que, embora visualmente desafiadores, carecem, por si só, da capacidade de provocar uma ruptura genuína nas convenções arquitetônicas atuais.

Apenas a aparência incomum de um edifício, isoladamente, não promove as rupturas essenciais ao avanço arquitetônico. No entanto, o foco desta tese recai sobre o processo de concepção e não sobre o produto final. A forma peculiar de um edifício reflete um processo de criação, e um dos objetivos desta pesquisa é propor um modelo de concepção que valorize a colaboração entre agentes computacionais e humanos, visando a produção de algo que seja questionador, "estranho" e que incite a reflexão e o pensamento crítico. Nesse contexto, o que se destaca não é a "saída" que o sistema gera, mas a reflexão e a transformação que ele desencadeia. O produto dos sistemas de inteligência artificial é contingente, e a contingência, embora não constitua o conhecimento verdadeiro, é o caminho que conduz a ele.

2.4 Arte e tecnologia

Historicamente, a arte sempre incorporou inovações tecnológicas, como, por exemplo, a perspectiva linear no Renascimento, viabilizada por avanços matemáticos, ou o uso da fotografia e do cinema como novos meios de expressão no século XIX e início do século XX. No século XXI, essa interação atingiu novos patamares com a introdução de tecnologias digitais, que oferecem aos artistas ferramentas para explorar espaços virtuais, algoritmos computacionais e até mesmo biotecnologias.

Autores como Walter Benjamin (1935), abordam o impacto das tecnologias na transformação do conceito de autenticidade e aura²⁴ na arte. Por outro lado, estudiosos contemporâneos como Lev Manovich (2001), investigam como o digital reconfigura não apenas a produção, mas também a experiência estética. Nesse contexto, a arte tecnológica emerge como um campo transdisciplinar, em que práticas artísticas e ferramentas computacionais se entrelaçam para gerar formas alternativas de criar e interpretar o mundo. Esse diálogo contínuo também levanta questões críticas sobre o papel da tecnologia na criação artística. Bernard Stiegler (1958), por exemplo, aponta para o caráter ambivalente da técnica, vista como prótese que tanto amplia quanto condiciona a criatividade humana. Ao mesmo tempo, Gilbert Simondon (2007) enfatiza a necessidade de compreender os objetos técnicos em sua evolução para poder integrá-los de maneira ética e criativa nas práticas culturais.

Na contemporaneidade, a arte e a tecnologia convergem como uma área de especulação e crítica, oferecendo alternativas para a interação, autonomia criativa e exploração estética. Essa relação não apenas reflete as possibilidades técnicas, mas também questiona os limites da criatividade humana frente à crescente autonomia dos sistemas computacionais, sugerindo uma reavaliação contínua das práticas e teorias artísticas.

Para esta tese a relação entre arte e tecnologia é o ponto de partida para os questionamentos e experimentos desenvolvidos. Como apontado por Cabral Filho (2006), no que diz respeito à cultura humana, a arte sempre foi um campo onde as investigações mais avançadas são possíveis, isso pode estar ligado à liberdade que os artistas desfrutam ou ao fato de que a obra de arte é uma das formas mais puras de investigar a linguagem. Por essa razão, o ambiente da Escola de Belas Artes e a linha de pesquisa Poéticas Tecnológicas se apresentam como ideais para o desenvolvimento desta pesquisa.

²⁴ A aura, segundo Benjamin (1935), é a unicidade e a autenticidade de uma obra de arte, aquilo que ela tem de único, irrepetível, ligado ao seu contexto original de criação e exibição.

2.5 Determinismo computacional na arte e arquitetura

A discussão sobre determinismo computacional e suas implicações na criatividade pode ser introduzida com a seguinte afirmação de Arlindo Machado:

"O que faz, portanto, um verdadeiro criador, em vez de simplesmente submeter-se às determinações do aparato técnico, é subverter continuamente a função da máquina ou do programa que ele utiliza, e manejá-los no sentido contrário ao de sua produtividade programada" (Machado, 2008, p. 14).

Em uma pesquisa que explora e avalia o potencial criativo de estruturas computacionais, essa visão levanta questionamentos, sobretudo ao considerar a posição do artista-criador que utiliza agentes computacionais autônomos. Machado (2008) discute a Artemídia pela perspectiva da tecnologia como ferramenta, sugerindo que, para subverter a lógica capitalista, os recursos tecnológicos deveriam ser redirecionados para servir aos interesses do artista, em oposição ao capitalismo. Em contraste, a presente investigação propõe uma abordagem mais progressista que envolve a individuação dos dispositivos tecnológicos (Simondon, 1968), examinando-os como agentes autônomos com capacidade de adaptação.

Ainda, Machado (2008) critica a estrutura capitalista que orienta a criação dos aparatos tecnológicos, indicando que o papel do artista seria subverter essa lógica e reconfigurar o uso desses recursos para além das expectativas industriais. Nessa perspectiva, a presente pesquisa converge com a visão do autor. Estruturada sob a lógica de subversão da apropriação tecnológica, tanto em suas bases teóricas quanto nos experimentos práticos, esta investigação visa questionar e transcender as convenções de apropriação tecnológica na Arquitetura, promovendo um espaço de cocriação que desafia e amplia o campo de possibilidades de intervenção criativa.

Diversas expectativas e linhas de força, alinhadas ao pensamento de Stiegler (1998), tendem a delimitar e predeterminar o uso da tecnologia no campo da arquitetura. Esse enquadramento é evidente tanto na prática profissional quanto no ambiente acadêmico, onde a tecnologia é geralmente aplicada para otimizar a produção (em termos de volume e velocidade) ou para criar instalações que, embora possam ser percebidas como Arquitetura, seguem práticas amplamente discutidas nas artes visuais. Alguns exemplos notáveis incluem: *Desvio para o vermelho* (1967/1984), de Cildo Meirelles; *Ttéia 1C*, de Lygia Pape; *Celacanto provoca maremoto* (2004-2008), de Adriana Varejão; e *Infinity Mirror Rooms*, de Yayoi

Kusama. Na Arte Computacional alguns exemplos de instalações incluem, *Legible City* (1988) de Jeffrey Shaw, e *OP_ERA* (2007) de Rejane Cantoni e Daniela Kutschat. Na esfera da arte locativa, *Can you see me now?* (2001-2008) de Blast Theory (Tedesco, E., 2007), exemplifica o uso de tecnologia de forma a interagir com o espaço urbano de maneira reflexiva. Essas obras refletem diferentes abordagens para a aplicação de tecnologias analógicas, digitais e computacionais na arte e, ainda que dialoguem com a Arquitetura, apontam para limites que raramente são superados na prática arquitetônica, onde o uso da tecnologia permanece, em muitos casos, restrito às funções convencionais de otimização da produção.

A discussão sobre a distinção entre arte e a prática profissional do arquiteto foi uma questão relevante no século XIX na Inglaterra. Meneguello (2003) observa que Norman Shaw (1892), em seu texto *Architecture, a profession or an art*, enfatiza que uma parte crucial da definição da profissão do arquiteto envolvia a dissociação de tarefas antes atribuídas ao arquiteto, como as funções de desenhista, mestre de obras, construtor, empreiteiro, corretor de terrenos e imóveis, e medidor. Entretanto, essa distinção ultrapassa a delimitação de atividades específicas para o arquiteto, abrangendo também a discussão sobre o que realmente é considerado Arquitetura enquanto espaço construído. No tratado *De architectura Libri Decem*, Vitruvius define o núcleo da Arquitetura como o equilíbrio entre beleza (*Venustas*), firmeza estrutural (*Firmitas*) e comodidade e função (*Utilitas*). A partir dessa conceituação, teóricos destacam o elemento *Utilitas* para distinguir o que caracteriza a Arquitetura. Sir Henry Wotton (1624), em *Elements of Architecture*, apresenta três condições para a edificação: acomodação, firmeza e prazer, que correspondem aos princípios de Vitruvius, mas com uma diferença substancial. Em Wotton (1624), o “prazer” não se limita a um resultado estético, pois a funcionalidade, evidenciada nas soluções estruturais, ganha maior ênfase. Assim, a Arquitetura caracteriza-se essencialmente pela capacidade de organizar o espaço construído e habitado pelo ser humano. Para teóricos como Bruno Zevi e Walter Gropius, a ausência de um espaço habitável define um espaço como não arquitetônico, marcando a função de habitar como central à Arquitetura.

Esse tipo de argumentação poderia, de fato, desclassificar como arquitetura várias obras significativas, como as Pirâmides do Egito, destinadas à morada dos faraós mumificados, e as Muralhas da China. Contudo, Mário Pedrosa (2015) observa que, do ponto de vista crítico, a arquitetura deve ser encarada como arte, e não apenas como construção civil. Essa perspectiva relatada, evidencia uma herança histórica que tende a restringir o uso

de abordagens não determinísticas na produção arquitetônica, restando apenas contextos de criação de uma arquitetura espetacular e artística, destinada a impressionar o observador. A exigência de que a arquitetura seja precisa, estável e rigorosamente descrita segundo padrões, normas e cálculos matemáticos, limita a introdução de processos mais experimentais sobre o uso da tecnologia em práticas cotidianas²⁵ de arquitetura. Essa realidade é intensificada pelo contexto atual, no qual quase tudo é passível de automação, o que reforça uma visão pragmática, funcionalista e instrumentista que pouco valoriza a exploração de métodos mais abertos e especulativos na prática arquitetônica.

A arquitetura frequentemente adota procedimentos determinísticos para garantir o atendimento das expectativas industriais, nesse contexto uma “arquitetura instrumentista” representa uma abordagem na qual os meios técnicos e os sistemas computacionais são utilizados como ferramentas para resolver problemas funcionais, produtivos ou formais, com ênfase na eficiência, controle e previsibilidade. Essa postura se baseia em determinados pressupostos filosóficos, epistemológicos e tecnológicos com raízes no funcionalismo moderno, onde a forma é subordinada à função e à técnica. Essa lógica se intensifica com o avanço da computação como ferramenta de projeto.

Em contraste, nas instalações artísticas, observa-se um espaço maior para abordagens de projeto mais indeterminadas e fluidas, com estratégias de ludicidade, uma vez que o caráter não determinístico desses projetos permite a incorporação de expectativas ainda em formação. Essa distinção afeta diretamente a forma como a tecnologia é produzida e apropriada em diferentes contextos. Machado (2008) destaca que até mesmo as aplicações desenvolvidas especificamente para atividades artísticas, como em computação gráfica, hipermídia e vídeo digital, resultam da formalização de um conjunto de procedimentos oriundos de uma história da arte já consolidada e assimilada. Nessas aplicações, os elementos computáveis, regras e modos de enunciação de um sistema simbólico determinado são inventariados, organizados e simplificados para tornarem-se acessíveis a um usuário genérico e substituível, viabilizando assim a produção em escala compatível com a demanda industrial.

Na produção arquitetônica, é evidente o valor de aplicações como SketchUp, AutoCAD e Revit no desenvolvimento de projetos. Essas tecnologias otimizam o trabalho dos arquitetos, promovendo avanços na representação, construção e gestão de etapas de projeto e obra. No entanto, elas não estão isentas das limitações apontadas por Machado (2008), funcionando como elementos computáveis de um processo de projeto que remonta ao

²⁵ Práticas cotidianas, refere-se à produção de qualquer arquitetura que não seja instalação artística.

Renascimento. Além disso, essas ferramentas, projetadas com propósitos industriais para usuários genéricos, frequentemente impossibilitam a subversão e abertura de sua caixa preta²⁶. Assim, explorá-las plenamente ou buscar sua indeterminação por estratégias generativas e evolutivas torna-se raro. Como resultado, o usuário genérico acaba limitado a bibliotecas pré-definidas, padrões comerciais e convenções de projeto impostas pela indústria, reproduzindo, na prática, estruturas e estilos arquitetônicos já estabelecidos. Tal determinação condiciona o arquiteto a um repertório fixo, em que o potencial crítico e criativo da tecnologia contemporânea é negligenciado. Em consequência, a prática e o desenvolvimento arquitetônico deixam de acompanhar seu próprio tempo e contexto, permanecendo na mera repetição de processos e estilos que pouco dialogam com o contexto geográfico e temporal atual. Esse distanciamento reforça o risco de uma prática pautada no pastiche, em que a arquitetura torna-se uma repetição de formas históricas descontextualizadas.

O potencial da tecnologia atual reside em sua capacidade de operar segundo lógicas orgânicas e não lineares, o que contrasta diretamente com o mecanicismo industrial. Yuk Hui (2023) observa que, em oposição à causalidade linear e à filosofia mecânica, o século XVIII foi marcado pelo surgimento de uma filosofia centrada no organismo, sendo a Crítica do Juízo de Kant uma das maiores influências dessa transformação. Kant estabeleceu um novo princípio para a filosofia, propondo que ela deveria ser orgânica, dando início a uma nova era para o pensamento filosófico. No entanto, Hui (2023) também destaca que esse modelo de Kant foi ultrapassado com o advento da cibernética, a qual trouxe uma abordagem diferente ao entendimento das interações entre sistemas. Em suas reflexões, Hui argumenta que tanto a cibernética quanto o organicismo são insuficientes para responder às complexidades do contexto atual, onde coexistem sistemas inorgânicos, orgânicos e mistos. Nesse cenário, torna-se essencial reconhecer que a visão universalista de apropriação tecnológica já não tem o mesmo valor; restringir a aplicação tecnológica a uma única abordagem compromete a diversidade e o avanço tanto tecnológico quanto social. Hui (2023) sugere, assim, que uma abordagem pautada na tecnodiversidade se faz necessária para lidar com os desafios de uma realidade na qual múltiplas formas de organização tecnológica coexistem e interagem de forma cada vez mais intrincada.

A limitação das possibilidades de apropriação tecnológica na arquitetura implica consequências significativas, refletindo em uma distinção importante em comparação com a

²⁶ Para Flusser (2012) o conceito de caixa preta é utilizado para descrever dispositivos tecnológicos cujo funcionamento interno é ocultado do usuário.

Arte. No campo artístico, a discussão transcende o debate fundamentalista sobre o que seriam as Belas Artes e avança com mais flexibilidade. Esse avanço pode ser atribuído, em parte, ao caráter questionador que a Arte assumiu com as vanguardas europeias do início do século XX, inaugurando a Arte Moderna e promovendo um experimentalismo menos vinculado a interesses industriais. No campo da Arte e Tecnologia, por exemplo, Machado (2008) observa que a artemídia coloca o artista diante do desafio constante de se abrir às práticas contemporâneas de produção, enquanto simultaneamente resiste ao determinismo tecnológico. Segundo ele, isso se manifesta pela recusa ao projeto industrial subjacente às máquinas e dispositivos utilizados, evitando que a obra seja reduzida a um mero reflexo dos interesses produtivistas da sociedade tecnológica. Dessa forma, a artemídia incentiva o artista a explorar a tecnologia sem comprometer-se com a finalidade de produtividade embutida nos sistemas industriais, propondo uma prática que privilegia o questionamento e a autonomia sobre o controle tecnológico.

A apropriação que a arte faz do aparato tecnológico contemporâneo distingue-se daquela observada em outros setores da sociedade. Os aparatos tecnológicos são desenvolvidos sob uma lógica de produtividade industrial e automação de processos, mas não para a criação de objetos únicos, expressivos e sublimes (Machado, 2008). Seguindo essa lógica, algoritmos e aplicativos são projetados de forma industrial para uma produção mais rotineira e conservadora, sem ultrapassar limites nem desafiar padrões estabelecidos (Machado, 2008). Produzir uma arquitetura que seja ao mesmo tempo sublime e singular demanda uma revisão do processo de projeto, das ferramentas disponíveis e da apropriação tecnológica, que atualmente tendem ao determinismo e à rigidez. Nesse contexto, recai sobre o arquiteto o papel de artista e criador sensível, especialmente quando busca ultrapassar as limitações impostas pela tecnologia. No entanto, quando o profissional adota uma postura desvinculada de questionamentos filosóficos sobre a arquitetura e utiliza as ferramentas digitais atuais apenas de modo genérico, sem experimentação artística, ele tende a ser restringido pela própria tecnologia. Tal postura impede a extrapolação de limites e cria uma determinação na produção criativa, tornando-o refém de barreiras impostas por um contexto técnico fixo e prescrito.

Os esforços desta pesquisa se concentram na tentativa de argumentar através da teoria e experimentos práticos que essa realidade pode ser alterada através do modo como a tecnologia é apropriada. Nem todos os aparatos tecnológicos precisam ser concretos, gerar

resultados prontos para a fabricação ou corresponder às expectativas de volume e velocidade de produção, para serem eficientes em promover diálogos e proposições inovadoras que não se limitam à capacidade humana cognitiva. Sendo assim, é imprescindível compreender que essas estruturas precisam funcionar a partir da contingência e recursividade, como apontado na seção 2.3. No capítulo a seguir será apresentada uma estrutura de trabalho cocriativa que absorve os fundamentos teóricos discutidos neste capítulo.

3 PROPOSIÇÃO DE UM PROCESSO CRIATIVO ALTERNATIVO

3.1 Humanos e agentes computacionais como co-criadores

Melanie Mitchell (2019) em determinado momento faz os seguintes questionamentos:

Devemos abraçar e permitir a implementação extensiva de sistemas de inteligência artificial que podem melhorar nossas vidas? Ou devemos ser mais cuidadosos, já que esses sistemas apresentam erros de imprevisibilidade, suscetibilidade a preferências, vulnerabilidade ao hackeamento e falta de transparência no processo de tomada de decisão? Até que ponto deve ser obrigatório a presença do ser humano no loop do processo de inteligência artificial? O que deveria ser obrigatório de um sistema de inteligência artificial para que ele fosse confiável o suficiente para trabalhar de forma autônoma? (Mitchel, 2019, p.128, tradução nossa.)

Claramente, Mitchel (2019), ao fazer esses questionamentos está se referindo ao desenvolvimento desta tecnologia e sua aplicação em contexto de produção industrial, já que a autora se refere aos carros autônomos da Tesla, algoritmos de reconhecimento de imagem aplicados em *softwares* da Google, e outros. Contudo, apesar dos exemplos utilizados pela autora serem da indústria, essa realidade não exclui quem trabalha com criatividade. Todos estão suscetíveis a influência da IA referentes aos questionamentos apontados pela autora. Mas, ainda é possível traçar um paralelo mais próximo ao contexto da produção de aparatos computacionais que geram resultados criativos.

A comunidade artística e acadêmica no campo da Arte vem investigando e produzindo resultados criativos mediados por aparatos digitais e computacionais desde o advento da computação. Como exemplo, o vocábulo *Artemídia* utilizado para se referir às formas de expressão artística que utilizam os recursos tecnológicos recentemente desenvolvidos (Machado, 2008). Outros termos que também são recorrentes na literatura e exposições de arte, são: Arte e Tecnologia; Arte Eletrônica; e Poéticas Tecnológicas.

Logo, se toda arte é feita com os meios de seu tempo, as artes midiáticas seriam então, a expressão mais avançada da criação artística, sendo aquela que melhor exprime sensibilidades e saberes do homem contemporâneo (Machado, 2008). Com o avanço da tecnologia, a produção artística que tira partido do computador enquanto máquina, passa a lidar com a computação como linguagem de expressão, e neste contexto, existem diversas iniciativas que buscam discutir estética, autonomia, otimização e parceria. Ainda, foi apenas com a popularização de ferramentas como *midjourney*, *tensorflow* e *chatGPT* que a arte feita com Inteligência Artificial chegou ao grande público, e com isso, a comunidade artística (não se referindo somente a artemídia) foi esgotada com um grande volume de informação e

produção de resultados artísticos artificiais que levantaram a discussão sobre aspectos de originalidade, autoria²⁷, produção e propriedade intelectual²⁸, dentre outros.

Enquanto para alguns essas tecnologias são apenas um robusto mecanismo estatístico para a técnica de correspondência de padrões (Hui, 2023a), o *ChatGPT*, por exemplo, faz mais do que apenas correspondência de padrões, ele também pode se adaptar a interações, sendo adaptável e mais preciso à medida que mais informações são fornecidas, incorpora nuances linguísticas em sintaxe e semântica, reconhece padrões gramaticais e entende contextos, metáforas e ambiguidades (Duque-Pereira e Moura, 2023), para além de questões práticas, essas tecnologias afetam e moldam as relações e percepções do mundo, já que o seu processo de recursão impacta em como são feitas as buscas na internet, as escolhas de músicas em aplicativos, dentre outros.

A discussão de assuntos como estes sempre causa comoção e ilustra uma realidade de tecnofobia e tecnofilia como apontada por Gilbert Simondon (1958). Não existe uma resposta unificada para essas questões, porque não existe concordância sobre essa temática. Como pode ser observado no estudo em que quase mil pioneiros, inovadores, desenvolvedores, líderes políticos, pesquisadores e ativistas da área da tecnologia responderam um questionário e chegaram a resultados sem uniformidade de opiniões (Pew Research Center, 2018, apud, Mitchell, 2019). Essa realidade só confirma a necessidade de pensar uma organologia da tecnologia (Hui, 2019), já que a diversidade de opiniões, realidades e culturas faz com que o uso, desenvolvimento e regulamentação da tecnologia sejam pensados no contexto cultural, social e econômico da localidade geográfica onde esta tecnologia está sendo inserida.

De todo modo, entende-se que o uso e desenvolvimento da inteligência artificial (e outras tecnologias generativas) precisam ser regulamentados, situação que ficou evidenciada pela carta²⁹ assinada por Elon Musk, Steve Wozniak e outros nomes do cenário tecnológico capitalista, em 2023, pedindo uma pausa de 6 meses no treinamento de sistemas de inteligência artificial mais poderosos que o *chatGPT-4*. Postura muito criticada por alguns e apoiada por outros, mas Hui (2023a) aponta que, no lugar de suspender o desenvolvimento da IA, deve-se suspender a estereotipagem antropomórfica das máquinas e desenvolver uma

²⁷ O texto “*Authorship in the Age of Machine learning and Artificial Intelligence*” (Deltorn & Macrez, 2019) fala sobre a questão da autoria na era da inteligência artificial.

²⁸ O texto “Inteligência artificial e propriedade intelectual: está tudo bem?” (Silva, 2023) trata da abordagem legislativa sobre o uso da tecnologia para a produção de conteúdo.

²⁹ Link para acessar carta aberta: <https://futureoflife.org/open-letter/pause-giant-ai-experiments/>

cultura adequada de próteses³⁰, de modo que a tecnologia seja utilizada para potencializar o seu usuário em vez de ser seu concorrente ou reduzi-los a padrões de consumo.

É perceptível que o processo de regulamentação³¹ já vem sendo discutido, como pode ser observado nas pesquisas de Buiten (2019), Smuha (2021) e Hadzovic, Mrdovic & Radonjic (2023) que tratam da discussão da legislação por trás de sistemas de Inteligência Artificial. Apesar dessa discussão ser evidente, a implementação da regulação pode acontecer em passos mais lentos do que o desejado, principalmente quando comparado com a velocidade em que os sistemas de inteligência artificial têm sido desenvolvidos. A regulamentação é um processo demorado, porém necessário em todas as áreas de conhecimento e produção, e com a Inteligência Artificial não é diferente. Mas antes de tentar responder às questões levantadas por Mitchell (2019) é importante estabelecer um raciocínio que fundamenta a apropriação tecnológica nesta pesquisa, e para isso, é crucial contextualizar a relação entre Ser Humano e Tecnologia.

Yuk Hui (2023a) aponta que em "Técnicas e Tempo vol. 3", Stiegler (1998) tenta mostrar que as três sínteses de Kant, (apreensão na intuição, reprodução na imaginação e reconhecimento no conceito), não são capazes de completar suas funções sem uma quarta síntese, que é o artefato, já que o reconhecimento implica que algo seja mantido na memória, enquanto essa memória também dependerá de uma memória externa. Por exemplo, os símbolos, como é no caso do conceito do infinito apenas compreensível através do signo ∞ .

Essa quarta síntese apontada por Stiegler (1998) é identificada como imaginação por Yuk Hui (2023a). Para o filósofo, a imaginação não é exclusiva à mente humana, mas envolve suportes sem os quais a mente humana ficaria limitada a atividades repetitivas, como, por exemplo, o fato de que ninguém seria capaz de entender o infinito se tivesse que contá-lo, logo, o símbolo (imaginado) ajuda na compreensão do conceito. Para o filósofo o que mudou nesta quarta síntese é que com o avanço da tecnologia digital, ela passa a constituir uma hermenêutica computacional na qual a relação entre humano e máquina deve ser concebida como um acoplamento recursivo, onde a última tem cada vez mais capacidade de determinar a primeira (Hui, 2023a).

³⁰ O filósofo utiliza o termo "próteses" para se referir à tecnologia como uma extensão ao humano. Apesar do termo não ser adequado para a discussão desta tese, ele foi mantido para não afetar a integridade do pensamento do filósofo.

³¹ Em 2023 foi lançada a ISO/IEC 42001:2023 em nível global, já no Brasil em 2024 foi lançada a ABNT NBR ISO/IEC 42001:2024.

A identificação desta "quarta síntese" como um acoplamento recursivo entre humano e máquina constitui o principal objetivo desta tese, especialmente no que diz respeito à imaginação e criatividade. Hoje, a interação com os aparatos tecnológicos envolve operações recursivas complexas que permeiam desde uma simples busca na internet até o uso de um aplicativo de música. Esse envolvimento, geralmente inconsciente, sugere que a conscientização sobre tais processos pode abrir novas possibilidades de uso, favorecendo um ambiente em que a criatividade seja ativamente estimulada e expandida.

Hui (2023a) aponta que Simondon em seu livro de 1958, *“On the Mode of Existence of Technical Objects”*, destacou que a transição das máquinas termodinâmicas para as máquinas de informação representa um ponto crucial: o afastamento do ser humano do centro da produção. Antes da industrialização, os artesãos conseguiam criar um ambiente onde seu corpo e inteligência compensavam a simplicidade das ferramentas que usavam. No entanto, na era das máquinas de informação, ou cibernéticas, as próprias máquinas passam a organizar a informação, deslocando o ser humano do centro, mesmo que este ainda se veja como o comandante e organizador das máquinas (Hui, 2023a).

A grande crítica que Yuk Hui (2019) faz aos algoritmos recursivos de ordem capitalista é que através da sua recursão, eles estão moldando e condicionando o nosso comportamento através do seu potencial em determinar como as informações são organizadas. Por isso é importante pensar a tecnodiversidade para que tecnologias alternativas possam ser desenvolvidas e inseridas em contextos que não correspondam à apropriação universalista da Inteligência Artificial e tecnologias correlatas.

Dado esse cenário, é necessário evitar a mistificação das máquinas e da humanidade, compreendendo a realidade técnica atual e sua conexão com as diversas realidades humanas. Hui (2023a) sugere que essa integração pode promover e sustentar a biodiversidade, noodiversidade³² e tecnodiversidade. Em vez de adotar uma visão apocalíptica da história, como proposto por Alexandre Kojève e Francis Fukuyama, Hui (2023a) argumenta pela libertação da razão de seu caminho determinado para um fim apocalíptico. Essa emancipação abriria um espaço para explorar formas éticas de convivência com máquinas e outros agentes não-humanos.

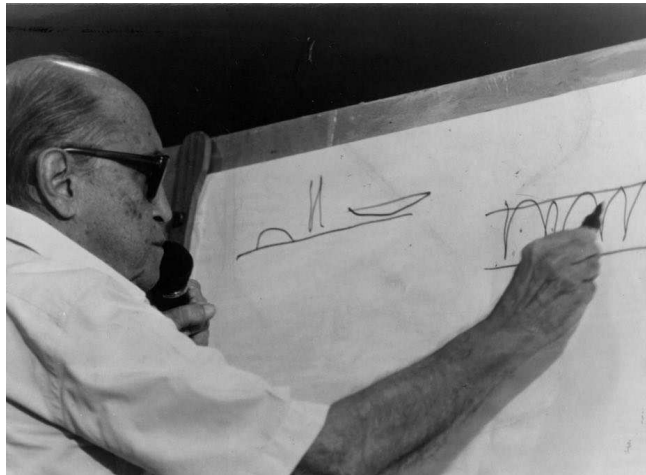
³² Para Yuk Hui (2020), noodiversidade refere-se à diversidade dos modos de pensamento, organização e criação de significado que emergem em diferentes contextos históricos, culturais e técnicos. O termo está enraizado na ideia de que o pensamento humano não é homogêneo nem universal, mas profundamente influenciado pelas condições técnicas e culturais em que está inserido.

Portanto, os experimentos apresentados nesta tese buscam criar um campo de coexistência entre humanos criativos e agentes computacionais generativos, onde o segundo transcende o papel de mera ferramenta de automação, tornando-se um agente que amplifica o desenvolvimento humano e tecnológico, especialmente na produção arquitetônica. Ao intervir no processo tradicional de projeto, configura-se uma nova estrutura de trabalho que fundamenta esta pesquisa. Repensar a apropriação tecnológica e propor uma estrutura colaborativa exige a inclusão ou adaptação de etapas dentro do sistema de produção, de modo a integrar essas novas possibilidades de interação.

A busca por inspiração e estímulo à criatividade pode acontecer de diversas formas. Kowaltowski, Bianchi e de Paiva (2010) fizeram um estudo e elencaram métodos e técnicas em relação ao seu potencial de aplicação em projetos de arquitetura e no ambiente de ensino de projeto. Alguns deles são: analogias; listagem de atributos; método de projeto axiomático; biomimética; debate; rabiscar; desenhar; exagero; excursões; mapa mental; ideias malucas; visual brainstorming. É interessante entender que parte desses métodos acontecem de forma manual e sistemática, estruturada em um certo nível de aleatoriedade, visando o encontro de um resultado que inspire e estimule criativamente o arquiteto durante o processo de desenvolvimento do projeto. Geralmente, esses métodos são utilizados como estímulo criativo antes de qualquer estudo prévio para definição de conceito arquitetônico, mas também podem ser introduzidos na etapa de estudo de viabilidade, após o estudo de legislação, normas, análise ambiental, programa de necessidades, para definição de partido arquitetônico.

Assim como na prática profissional de Oscar Niemeyer (figura 3) e outros arquitetos influentes, a busca pela solução espacial acontecia mediante rabiscos, ou esboços exploratórios com grande grau de abstração. Apesar das simulações mentais serem recorrentes no cotidiano dos arquitetos, entende-se que rabiscos exploratórios ou qualquer outro método especulativo, possuem um elevado grau de aleatoriedade, porque a intenção desses métodos é justamente sair da zona de conforto.

Figura 3 - Oscar Niemeyer e seus rabiscos com alto nível de abstração



Fonte: Ribeiro (2024)

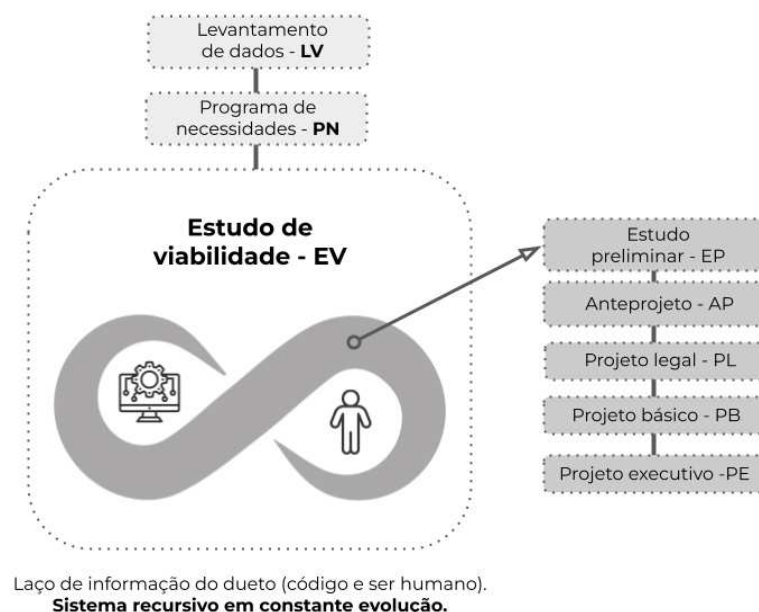
O código (simulação mental artificial, se considerado um cenário de especulação) pensado para auxiliar o processo criativo do arquiteto funciona da mesma forma. Ele é uma etapa exploratória e deve possuir um certo grau de abstração para garantir que o arquiteto consiga fazer sua própria interpretação do que está sendo gerado, e aleatoriedade para que o inesperado surja. Assim como qualquer outro método exploratório baseado na capacidade cognitiva humana, códigos construídos para estimular a criatividade também necessitam de análise e interpretação. Eles não necessariamente devem anular a presença do ser humano no laço de informação ou automatizar o processo criativo.

O fluxo de trabalho proposto é uma estrutura de dueto. Uma proposta que nasce a partir da poética e busca se concretizar na produção do próprio arquiteto. A estrutura de dueto implica no entendimento de que o resultado do projeto sofre influência computacional, e que o código contribuiu substancialmente com o resultado. É a mesma lógica de funcionamento de uma prática em que dois arquitetos colaboram. A diferença é que nesse laço de informação o algoritmo se encontra em constante auto-organização e não sofre de cansaço físico, bloqueio criativo ou exaustão. Dessa forma, o potencial de exploração criativa cresce exponencialmente, assim como, o potencial especulativo, impactando no desenvolvimento de soluções espaciais não convencionais, improváveis e possivelmente, até então inexploradas. Tudo vai depender do modelo computacional, da capacidade cognitiva do ser humano, e da interação entre os dois.

Essa estrutura de cocriação se relaciona com a noção de invenção³³ como processo de individuação em Simondon (1958), uma vez que os agente computacionais cocriadores não funcionam como ferramentas formais, mas como campos de resolução transdutiva. Neles, o algoritmo atua como mediador de tensões e incompatibilidades, instaurando regimes temporários de estabilidade morfológica em interação com o usuário. Assim, a invenção não se dá como geração de um objeto acabado, mas como abertura de um meio técnico-cognitivo onde a espacialidade se reinventa em tempo real, deslocando o papel do arquiteto e propondo formas alternativas de especulação projetual.

No gráfico da figura 4, observa-se que o estudo de viabilidade (etapa do processo de projeto) passa a ser laço um de informação em constante evolução e iteração. Em determinado momento esse laço é pausado e uma solução potencial é extraída para amadurecimento via interpretação humana. Esse amadurecimento vira estudo preliminar e a finalização do projeto volta a seguir as etapas convencionais (ou não, depende da metodologia do arquiteto), adotando os recursos analógicos ou digitais de interesse do arquiteto. Neste cenário temos humanos e agentes computacionais como cocriadores, uma vez que os agentes computacionais foram introduzidos na etapa de criação.

Figura 4 - *Framework* do projeto que inclui o dueto na etapa de especulação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

³³ A invenção não é um “ato” isolado, mas uma transformação progressiva, em que um novo sistema técnico se organiza em resposta a incompatibilidades ou tensões internas em um contexto (Simondon, 1958).

3.2 Exploração dos limites da automação

Para esta tese, intervir no processo de projeto convencional implica que as estruturas computacionais não se limitam apenas às etapas de representação gráfica ou automação de tarefas repetitivas. Essas estruturas também devem ser integradas nas etapas de tomada de decisão, influenciando de maneira significativa o resultado do projeto. Para contextualizar essa prática, o campo da Arte Computacional é um recurso relevante, especialmente na prática do "dueto", na qual ao menos um agente humano e um agente computacional contribuem de forma substancial para o produto artístico. Suzete Venturelli (2017) aponta a arte computacional como uma prática estética profundamente vinculada à tecnologia, à interatividade e à complexidade. Diferente de uma arte apenas digitalizada ou assistida por computador, ela propõe uma produção artística que utiliza a programação e os sistemas computacionais como linguagem criativa, permitindo a geração de formas, imagens, sons e movimentos a partir de algoritmos. Nesse contexto, a interface desempenha um papel central, sendo o ponto de contato entre o ser humano, a máquina e a obra. Essa integração possibilita a emergência da interatividade como elemento estruturante da obra: o espectador deixa de ser passivo e passa a atuar como sujeito-interagente, ou seja, um coautor da experiência estética. A resposta da obra às ações do público ocorre em tempo real, criando um ambiente dinâmico e relacional.

Esse tipo de estrutura de colaboração entre agentes humanos e computacionais pode ser ilustrada por exemplos, como *Mirror Ritual* por Nina Rajcic, Jon McCormack e Vince Dziekan (Rajcic & McCormack, 2020); *Plucking Sounds Out of the Air* por Alon Ilsar, Mark Havryliv e Matt Hughes (Ilsar & Hughes, 2020). Essa relação também pode ser observada em práticas transdisciplinares entre Arte, Artesanato e Design, como, por exemplo, o projeto “*Co-Production of Computational Ceramic Technologies*” sobre fabricação digital e manual de cerâmicas (Moyer et al., 2024), o grupo de pesquisa *THE HYPERSTITCH* da Escola de Arquitetura do Instituto Pratt que utiliza braços robóticos e crochê para desenvolver esculturas (Pratt Institute, *online*), o projeto *Hybrid embroidery* que aborda coautoria humana e robótica no desenvolvimento de bordado (Lee & Llach, 2020), dentre outras. Essa modalidade de produção artística é circunstanciada pela interação entre agentes computacionais e humanos numa relação ativa ou reativa. Pode-se existir a interação ativa momentânea, em que o resultado é alterado em tempo real, ou a reativa, em que a análise, interpretação e alteração ocorrem fora do laço de funcionamento do algoritmo. Ambas modalidades podem ser

contextualizadas no gráfico de diferentes níveis CC (criatividade computacional) por Gu & Amini (2021) (como descrito na seção 2.2).

Na Arte Computacional, o trabalho de Sougwen Chung exemplifica o conceito de "dueto" em práticas artísticas colaborativas. Sua obra *Assembly Lines* é uma instalação performativa que envolve um sistema multi-robótico personalizado, guiado por meditação e biofeedback (ver figuras 5 e 6). Segundo Chung, esse sistema vai além da automação tradicional, explorando os ritmos instintivos da pintura por meio de um processo de cocriação entre humano e máquina. A prática articula uma interação entre a autoria gestual de um sujeito biológico (a artista) e de um sujeito mecânico (os braços robóticos), configurando um diálogo criativo no espaço. Parte importante do funcionamento da performance está no agente computacional que opera o braço robótico. Ele foi programado para reagir aos estímulos da artista, configurando uma relação de improviso e não de causalidade linear programada.

Figura 5 - Registro de performance de Sougwen Chung com braço robótico



Fonte: <https://sougwen.com/project/assembly-lines-2022>.

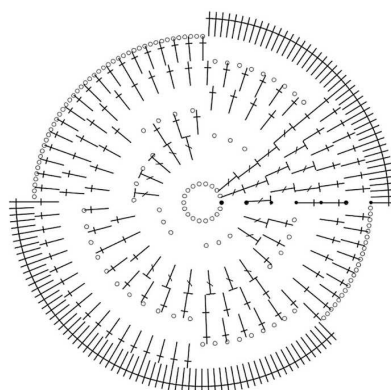
Figura 6 - Registro de performance de Sougwen Chung com braço robótico



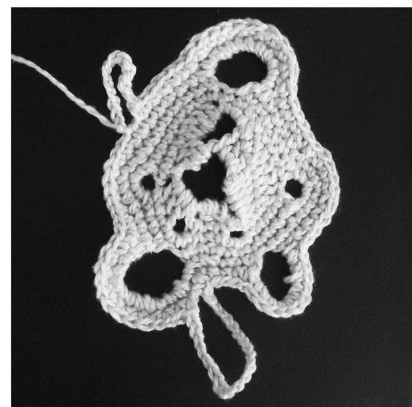
Fonte: <https://sougwen.com/project/assembly-lines-2022>.

Similar à ideia de cocriação humana e da máquina presente no trabalho de Sougwen, o autor desta pesquisa explorou durante o mestrado uma prática artística e processo de projeto, que buscou explorar a técnica de crochê através da inclusão de um autômato celular, que gera padrões gráficos circulares via recursividade. O sistema tem a capacidade de se autorreferenciar e autorregular. Entretanto, a prática incluiu o artesão de forma reativa ao solicitá-lo a interpretação dos gráficos, elaboração das regras de materialização e produção das peças. O resultado são peças de crochê com estética não rotineiros que surgem a partir da influência humana e computacional (ver figuras 7 e 8).

Figura 7 - Gráfico circular gerado por autômato celular e sua materialização

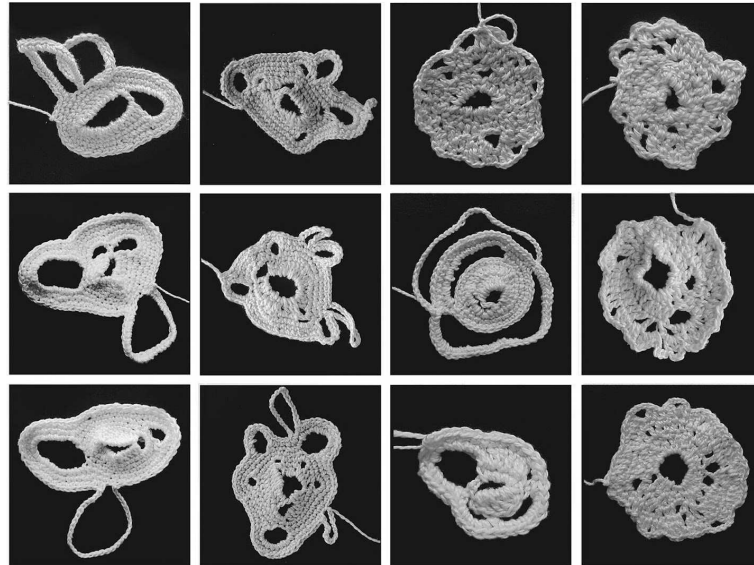


eight neighborhoods



Fonte: André Silva e Marília Bergamo (2021).

Figura 8 - Conjunto de peças geradas por autômato celular e materializadas por artesã



Fonte: André Silva e Marília Bergamo (2021).

Ambos exemplos demonstram a inclusão de estruturas computacionais para além do discurso de automação, e desafiam a produção artística que utiliza mídias tradicionais (pintura e crochê) ao propor um processo de coautoria entre agentes numa relação de dueto. Esse tipo de iniciativa desafia estruturas de produção como o artesanato e pintura, porém, oferece possibilidades alternativas de produção que podem levar a resultados inesperados e improváveis, já que se baseiam na relação de surpresa, contingência e improviso durante a interação entre agente computacional e ser humano.

Essas práticas tornam-se viáveis porque os códigos que operam as máquinas, além de funcionarem em lógicas orgânicas e não mecânicas, são construídos de modo que elas tenham algum nível de participação ativa. Embora a parametrização seja importante, quando todos os parâmetros são rigidamente controlados³⁴, a estrutura assume uma causalidade linear, em que uma causa leva diretamente a um efeito, limitando a possibilidade de surpresa. Nesse contexto, o operador humano é responsável por interromper a estabilidade do sistema ao

³⁴ A definição de elementos quantitativos no processo de geração de possibilidades atua como um mecanismo de restrição, direcionando os resultados para um espaço que corresponde às expectativas previamente estabelecidas. Essa abordagem permite limitar a variedade de soluções ao mesmo tempo em que orienta o processo criativo, mantendo-o dentro de parâmetros que atendem critérios específicos, seja em termos de proporções, dimensões ou outras exigências funcionais e estéticas.

ajustar os valores dos parâmetros, transformando o processo em uma forma automatizada de busca por alternativas. É importante entender a diferença entre mera estatística e contingência. Para entender a diferença entre mera probabilidade e contingência, é útil a distinção aristotélica destacada por Hui (2023b) entre *túkhē* e *aftómaton*. Segundo Aristóteles, *aftómaton* representa o acontecimento provável, um evento estatisticamente previsto, enquanto *túkhē* refere-se a eventos inesperados, como encontrar uma nota de dinheiro na rua. Embora todo evento de *túkhē* também seja *aftómaton*, o inverso não é verdadeiro. No contexto arquitetônico, por exemplo, o projeto paramétrico opera no âmbito de *aftómaton*, pois, ao vincular quase todos os parâmetros à restrições, gera resultados previsíveis com base em raciocínios já estabelecidos. Em contraste, a contingência computacional reflete *túkhē*, fundamental para que a máquina se autorregule e autorreferencie, permitindo que ela participe como um coautor capaz de contribuir com entradas e saídas significativas imprevisíveis.

A interação entre a contingência e a recursividade computacional com a contingência e recursividade da ação humana possibilita o surgimento de resultados inesperados, uma vez que ambas potencializam-se mutuamente. Essa lógica de operação é central para a introdução de novas práticas no processo de projeto de arquitetura, buscando ampliar a exploração criativa e promover a especulação espacial no desenvolvimento de espaços residenciais.

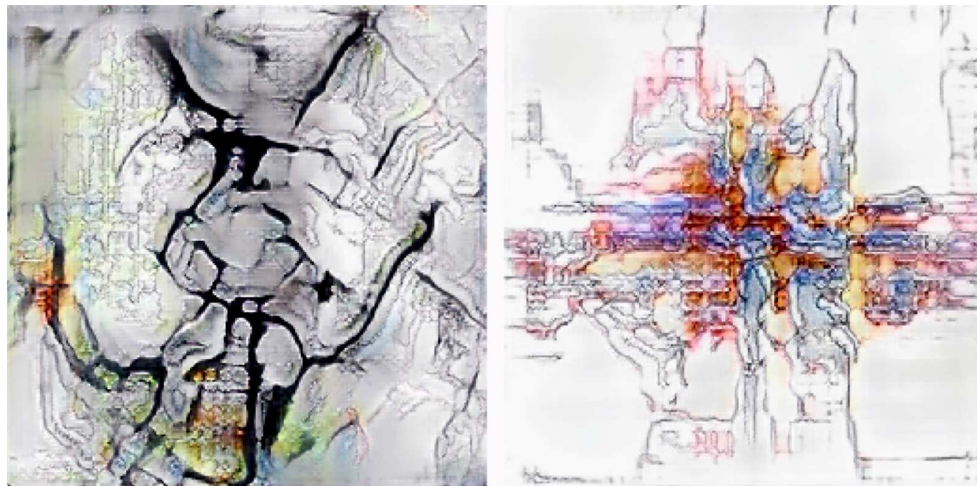
3.3 O Papel do algoritmo na especulação espacial

Weber, Mueller & Reinhart (2022) apontam que a relação espacial entre um volume de massa ou uma planta baixa e a distribuição do programa de necessidades é, naturalmente, bastante complexa, variando de adjacências desejadas a requisitos mínimos de largura ou profundidade. Os autores fizeram um levantamento de métodos existentes de geração automática de plantas baixas e avaliaram sua aplicação atual e potencial para o projeto de arquitetura, desenho urbano e desenvolvimento imobiliário. O estudo é uma abrangente sistematização de dados que apresenta ferramentas de uso comercial e trabalhos acadêmicos, e fornece dados sobre os seguintes parâmetros: tipologia arquitetônica, escala, função e objetivo do edifício, critério de otimização, entradas, saídas, velocidade e qualidade arquitetônica.

A informação mais pertinente para este trabalho, extraída do estudo de Weber, Mueller e Reinhart (2022), é a observação dos autores de que, até o momento da pesquisa desenvolvida por eles, apenas práticas artísticas experimentais no campo do projeto arquitetônico e o setor imobiliário demonstraram interesse em incorporar ferramentas de automação para geração de layouts baseadas em inteligência artificial. O foco do estudo está

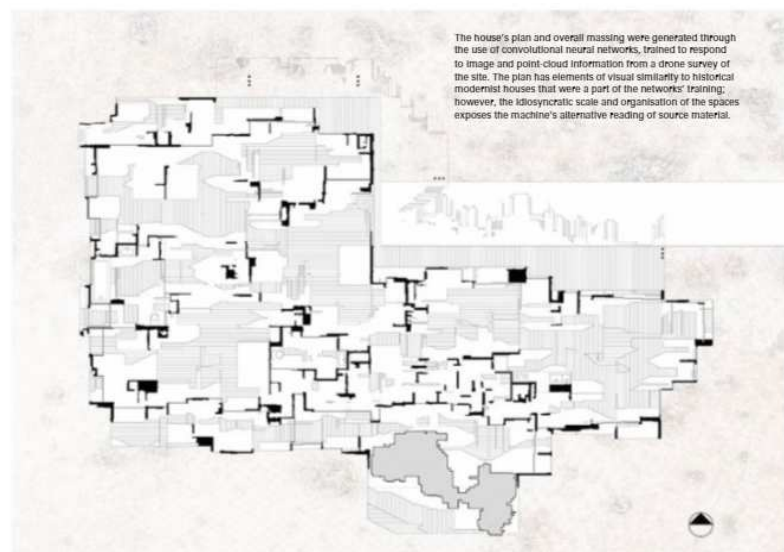
na automação de atividades, o que ajuda a explicar o interesse financeiro do setor imobiliário em investir em tecnologias que facilitem a geração automática de layouts. Já as práticas artísticas mencionadas pelos autores incluem dois exemplos. O primeiro, Imaginary Plans (Del Campo, Manninger e Carlson, 2019), explora uma abordagem de design computacional que utiliza as representações internas de redes neurais de visão profunda para criar e transferir edições estilísticas em plantas baixas 2D e seções de edifícios (ver Figura 9). O segundo exemplo é o trabalho de Michael Casey Rehm (2019), que reúne resultados de sua prática multidisciplinar em Los Angeles, produzindo desde paisagens urbanas especulativas até uma residência unifamiliar (ver Figura 10).

Figura 9 - Imaginary Plans.



Fonte: Reprodução Del Campo, Manninger & Carlson (2019).

Figura 10 - Trabalho de Michael Casey Rehm



Fonte: Michael Casey Rehm (2019).

Em caráter de contextualização e referenciação histórica é impossível falar de projeto de arquitetura e algoritmos generativos sem citar alguns dos exemplos seminais, como por exemplo, o “*Flatwriter*” proposto por Yona Friedman (1971) para gerar plantas baixas de apartamentos que acomodariam as preferências de uso de todos os vizinhos em projetos de habitação cooperativa. A proposta era um contraponto à produção de massa, e foi viabilizado pela informatização do conhecimento técnico do arquiteto. O usuário ao interagir com a interface era informado dos desdobramentos das suas escolhas projetuais. Tal iniciativa na época era vista como incentivo ao projeto participativo (Weber, Mueller & Reinhart, 2022), demonstrando ser uma tentativa em superar o problema da participação parcial viabilizando a autonomia do usuário (MOM.ARQ.UFMG, online).

Outro exemplo relevante é o “*Generator*” idealizado por Cedric Price que consistia em uma unidade espacial baseada em voxels reconfiguráveis que poderiam ser modificados pelos visitantes para diferentes layouts (Riley, et al., 2002). O computador incentiva os visitantes a continuar refinando e melhorando seus projetos. A mudança e a liberdade artística eram as ideias fundamentais do *Generator*; essas eram consideradas essenciais, e o computador deveria ser programado para fazer alterações não solicitadas caso a configuração permanecesse estática (MUSEUM OF MODERN ART, online).

No final da década de 1970, George Stiny iniciou a análise e reprodução de plantas baixas de edifícios utilizando as chamadas “gramáticas da forma” (Stiny, 1980). Ao analisar o desenho e as qualidades espaciais de edifícios existentes, como as vilas Palladianas ou as casas da pradaria de Frank Lloyd Wright, o arquiteto identificou padrões subjacentes que poderiam ser empregados na recriação de edifícios do mesmo tipo. De maneira similar, Christopher Alexander (1965) utilizou grafos relacionais e estruturas em árvore para representar as relações espaciais em plantas baixas arquitetônicas tradicionais.

Essas abstrações desenvolvidas por Alexander (1965), assim como os outros exemplos, foram fundamentais para os primeiros esforços em automatizar a geração de plantas baixas e ainda são relevantes nas abordagens computacionais modernas. Weber, Mueller & Reinhart (2022) concluem que atualmente as ferramentas automatizadas de plantas baixas não avançaram muito na prática arquitetônica do público genérico, e seu uso é limitado a exercícios de projeto especulativo ou aplicações específicas de nicho, como *layout* de mobiliário para escritório e iluminação artificial em design de interiores, ou programas de necessidades complexos para hospitais, aeroportos e desenvolvimentos residenciais e comerciais em grande escala.

Além dos dados apresentados por Weber, Mueller & Reinhart (2022), os exemplos seminais são fundamentais para entender o ponto de avanço proposto nesta tese. Os exemplos acima em sua grande maioria foram desenvolvidos como contraponto a produção em massa na arquitetura, e apesar de flertarem com a automação, não estavam interessados no volume e velocidade de produção, mas, na investigação das relações espaciais e na proposta de projeto participativo, viabilizado por interfaces que gerenciam várias interações e automatizam informações técnicas. A questão é que o processo de participação era limitado aos agentes humanos. Neste contexto, as interfaces são ferramentas que viabilizam a interação entre humanos, sejam eles o arquiteto e o usuário, vários usuários ou outra configuração possível.

Os capítulos subsequentes irão ilustrar exemplos práticos construídos para corroborar a estrutura de dueto proposta nesta tese. Os experimentos teórico-práticos materializam a estrutura de dueto, foram construídos a partir de algoritmos generativos, dialogam com os exemplos seminais da área e viabilizam o projeto participativo, porém, considerando e reconhecendo o potencial do agente computacional.

4 4PLANGENERATOR ESTRUTURADO EM AUTÔMATOS CELULARES

4.1 Conceito e desenvolvimento

E se nossas casas fossem um sistema generativo, em que cada metro quadrado se comportasse como um “ser vivo” com tomada de decisão autônoma? Como seria o desenho dos nossos lares? Essa pergunta (dentre outras) tentaremos responder com o experimento desta seção. Para tal, características como subjetividade e abstração foram fundamentais para a construção do código e para a escolha da estrutura generativa (autômato celular). O código em questão gera manchas de viabilidade mediante regras baseadas na proporção entre áreas vazias, sociais e privadas que podem ser alteradas conforme o interesse de cada pessoa. O que o código externaliza é uma especulação com muitos nós soltos, o que não é um problema, já que ele foi pensado para estimular a criatividade do arquiteto. Dessa forma, o código propõe um desafio a ser resolvido. O desafio é proposto a partir de informações reais e tangíveis (proporção entre áreas), e a sua solução possui uma relação de interdependência da contingência computacional e humana.

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 desenho de plantas baixas, é sempre inexistente. Essas iniciativas buscam tornar o processo de projeto mais racional, rápido e efetivo, e com isso, é questionável se a alta eficiência desses atributos levam às melhores soluções de projeto. 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.

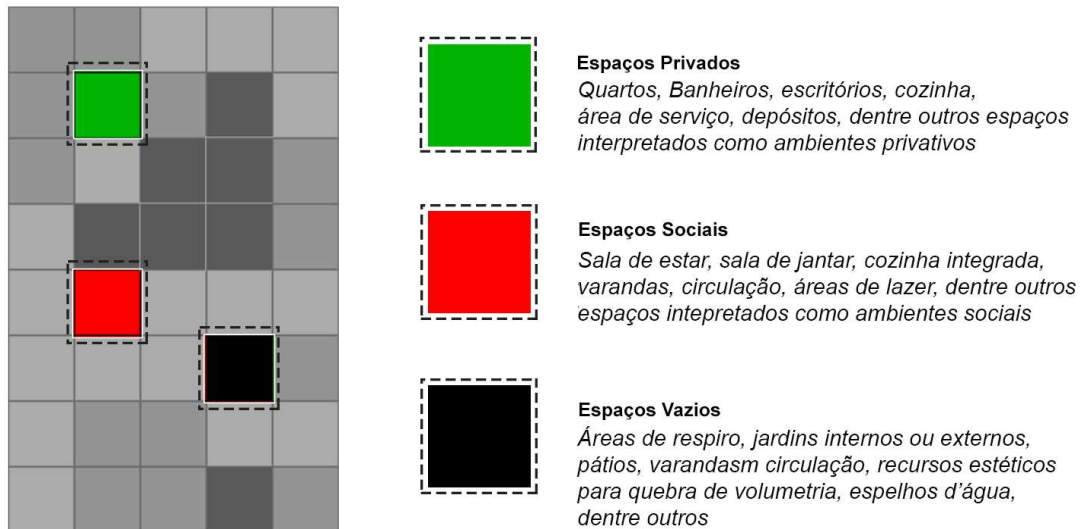
Um sistema computacional capaz de contribuir com soluções subjetivas e criativas precisa estar aberto à contingência e interpretação. A tecnologia atual, no campo de aprendizado de máquina, consegue simular tal comportamento. Porém, para este trabalho foi decidido utilizar um autômato celular (CA). O 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), 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 acontece através da geração de formas conceituais, permitindo que o projetista explore uma variedade de resultados, de onde podem selecionar soluções potenciais (Araghi & Stouffs, 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 projeto convencionais. A escolha de uma estrutura computacional com limitações, como o caso do CA, para este experimento 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, o agente computacional 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.

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, mediante 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. Essas células 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 conforme a análise dos seus vizinhos que são todas as células adjacentes.

Para este experimento, o autômato celular desenvolvido possui 3 estados, vida, morte e sobrevivência (figura 11). Esses estados representam os espaços vazios, sociais e privados de um ambiente residencial, condicionados pela porcentagem de área que essas células devem ocupar na malha. 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 modelo generativo implementado é possível alterar os afastamentos, as porcentagens de área e o tamanho das células, o resultado é analisado via trabalho humano, no reconhecimento de padrões para avaliação de suas potencialidades.

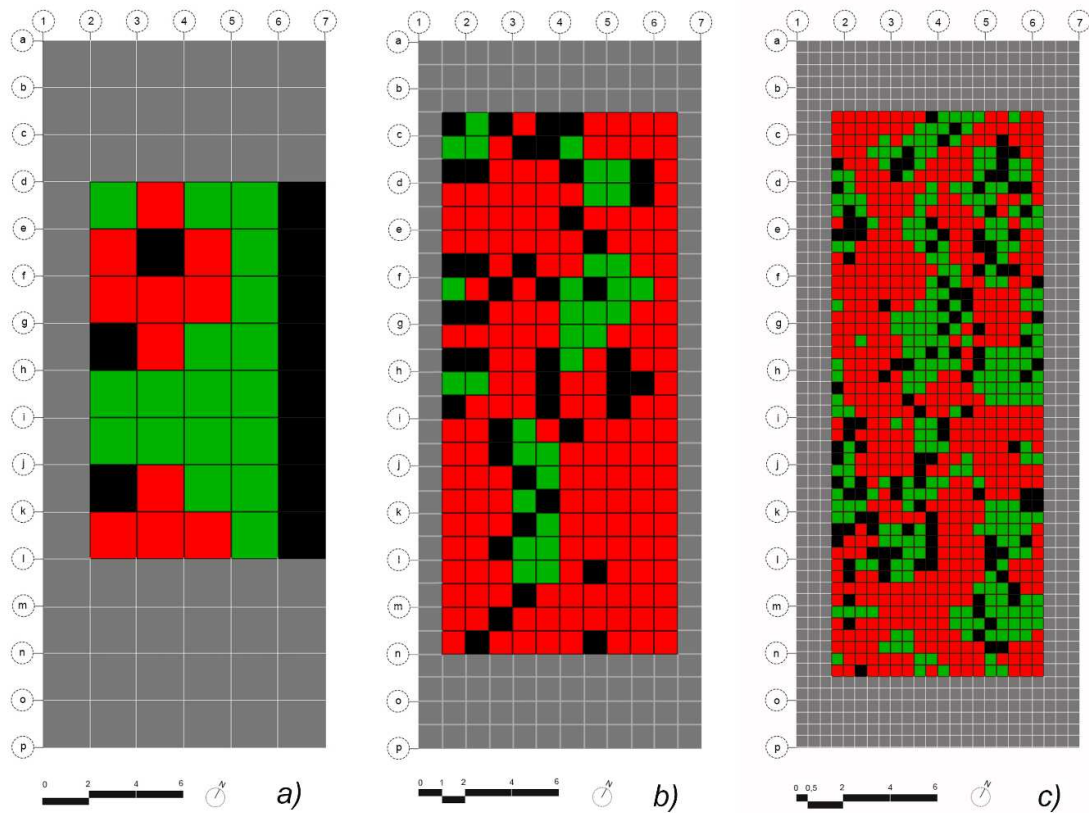
Figura 11 - Configuração das células



Fonte: Elaborado pelo autor.

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 explorar 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 12(a) podemos ver células de 2x2m e afastamentos frontal, lateral direito e posterior, na figura 12(b) temos células de 1x1m e afastamentos em todas as faces e na figura 12(c) podemos analisar um grid com células de 0,5x0,5m e afastamentos em todas as faces.

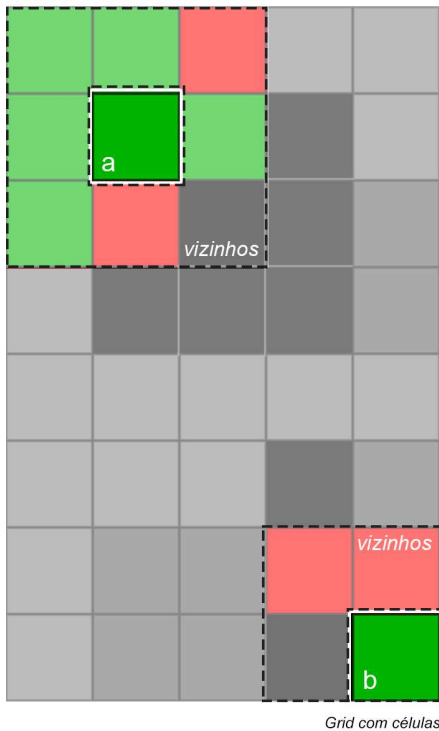
Figura 12 - Exemplos de configurações do grid e células



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como apontado anteriormente, a base de um sistema CA é o modelo do sistema composto de células que ocupam determinado espaço de uma malha, 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 aplicativo, 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 13 e 14 são apresentadas duas lógicas, quantidade relativa de vizinhos e quantidade absoluta.

Figura 13 - Lógica quantidade relativa de vizinhos



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:

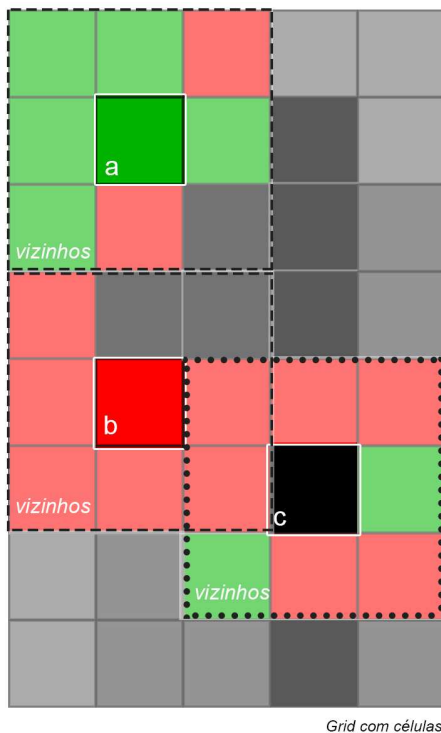
se tornar Social, se ela é vazia e o número de vizinhos vazios seja maior que 15%;

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%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 14 - Lógica absoluta de vizinhos



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.

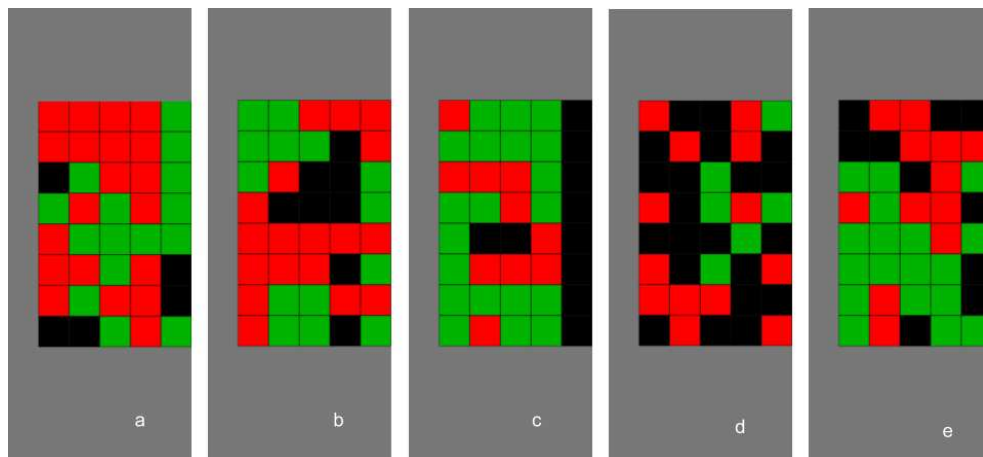
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Tomada de decisão contingente das células

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 (ver figura 15). Essa amostragem foi escolhida a partir de regras de composição definidas pelo pesquisador, 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 de avaliação em agentes inteligentes, mas isso não foi implementado neste aplicativo. A segunda: a inclusão dessas regras de seleção dentro do autômato celular inviabiliza o desempenho do código devido a sua natureza, ou seja, cada célula tem tomada de decisão autônoma, não formando aglomerados entre si. Assim sendo, 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 a partir das possibilidades sugeridas pelo código.

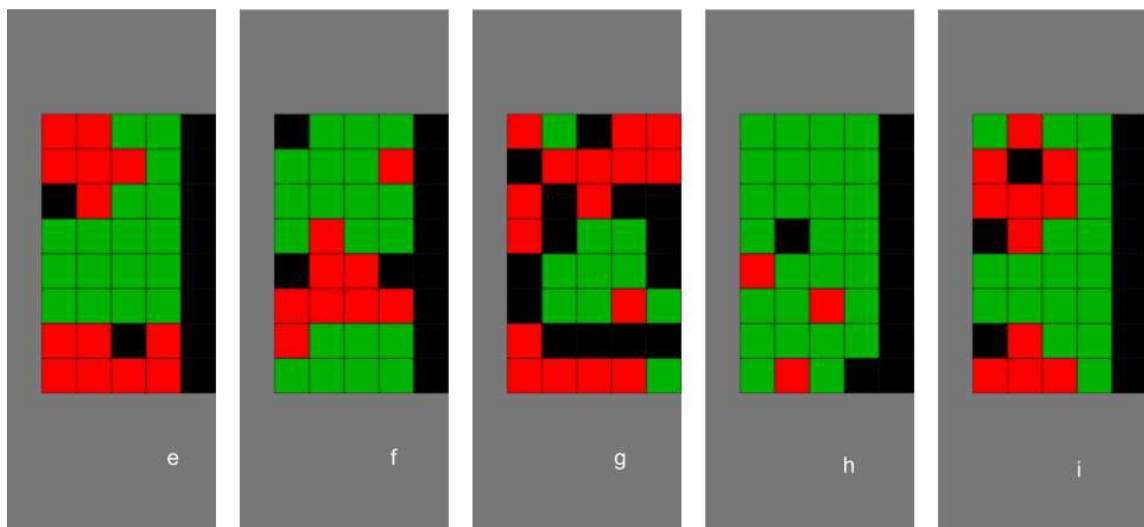
Figura 15 - Amostra de 5 padrões gráficos gerados pelo algoritmo da lógica quantidade relativa de vizinhos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentro dessa amostra existem padrões com diferentes níveis de potencialidade. Como observado, a amostra (d) da figura 15 ilustra uma situação em que o código faz uma escolha randômica dissociativa dos parâmetros iniciais estabelecidos na lógica da figura 13, 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 estabelecidos pelo pesquisador. Também foi selecionada uma amostragem com 5 padrões para a segunda lógica de comportamento apresentada na seção anterior (ver figura 16). Para ilustrar o processo, o padrão (a) foi transformado em Estudo Preliminar (ver figura 18) com o auxílio de um software de desenho assistido por computador.

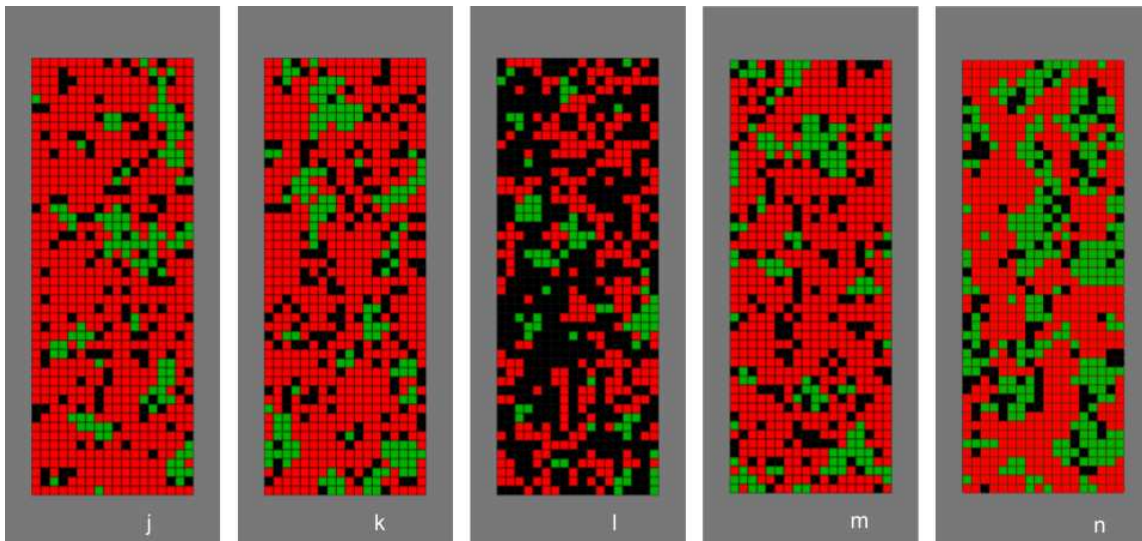
Figura 16 - Amostra de 5 padrões gráficos gerados pelo algoritmo da lógica quantidade absoluta de vizinhos



Fonte: Elaborado pelo autor.

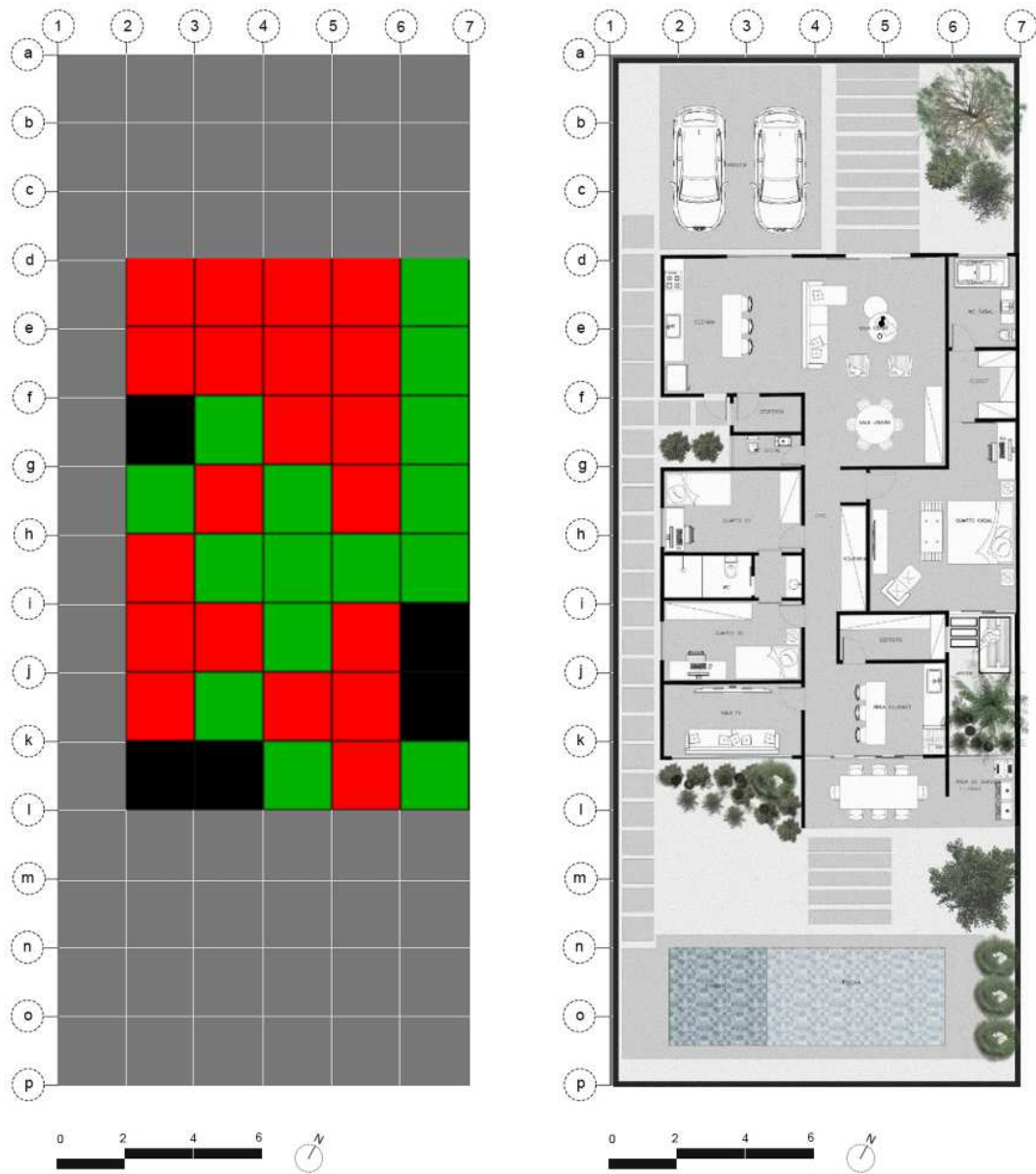
Ainda utilizando a segunda lógica de comportamento, foi selecionada uma terceira amostragem com 5 padrões, porém os afastamentos e o tamanho das células foram alterados (figura 17). Para ilustrar o processo, o padrão (n) foi transformado em Estudo Preliminar (ver figura 19) com o auxílio de um software de desenho assistido por computador.

Figura 17 - Amostra de 5 padrões gráficos gerados pelo algoritmo da lógica quantidade absoluta de vizinhos e células de 0,5x0,5m



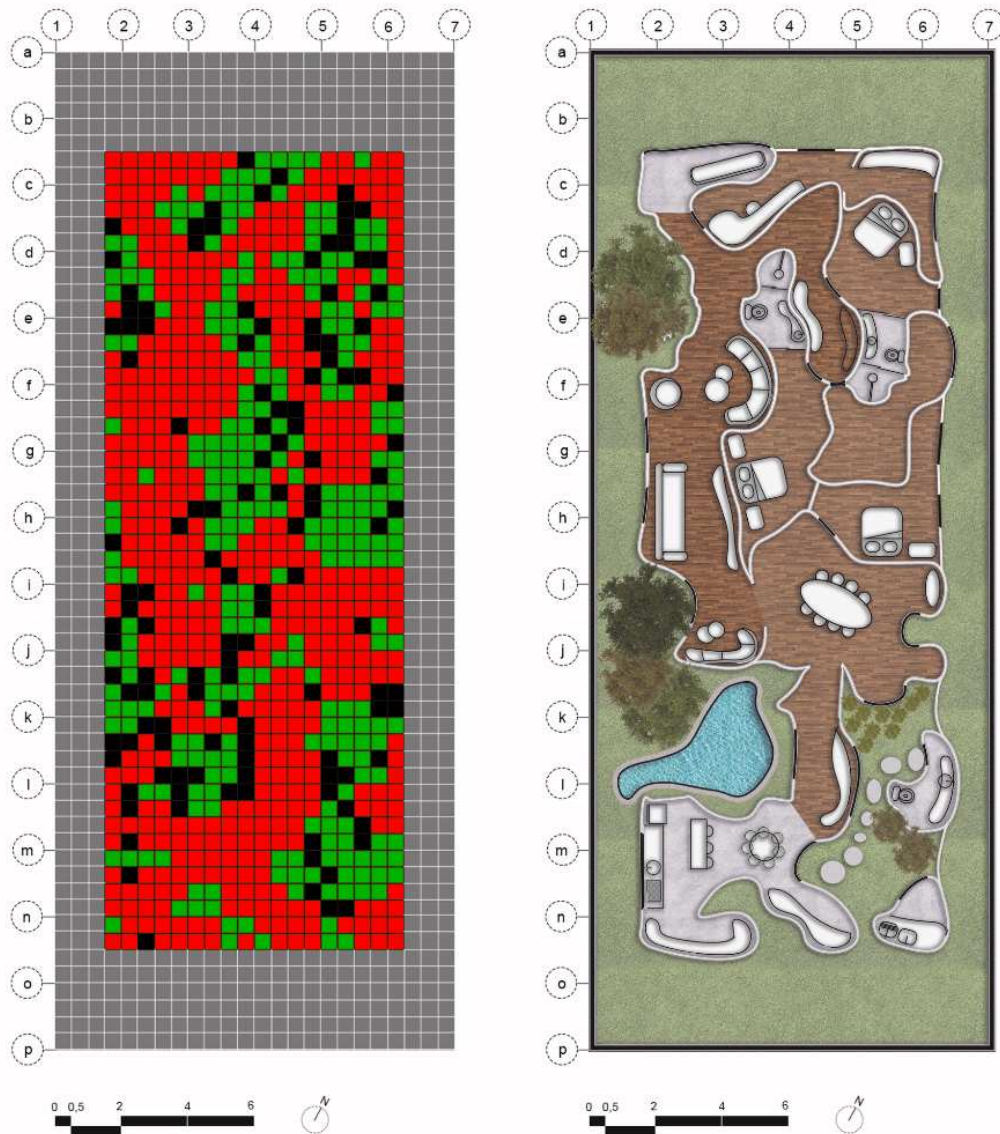
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18 - Padrão (a) e Estudo Preliminar em planta baixa



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 - Padrão (n) e Estudo Preliminar em planta baixa



Fonte:Elaborado pelo autor.

Em termos de criatividade, 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 desta solução espacial e também a

sua materialidade, na figura 20a podemos ver a edificação construída por impressão 3D de concreto e nas figuras 20b e 21 a mesma edificação, porém executada em tijolo ecológico.

Figura 20 - Fachada frontal modelada em software 3D



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 21 - Fachada lateral modelada em software 3D



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Impacto recursivo no projeto de arquitetura

O objetivo deste experimento foi promover contextos de exploração criativa e especulação espacial fomentados pelo uso de agentes computacionais com algum nível de autonomia. É importante reforçar que apesar do projetista definir as regras de comportamento, o CA não “trabalha” para ele. 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 4m², ou 0,5m² variando com o tamanho da célula) são interpretados como seres vivos com tomada de decisão individual.

Ainda sobre o método generativo implementado no experimento, 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 da pesquisa, 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 decisão³⁵ precisam passar pela análise

³⁵ como a análise ambiental que vai influenciar na disposição dos espaços internos.

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, vento, ruído, dentre outros), logo, cabe ao projetista aplicar trabalho 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, foi estabelecido um limite de atuação do sistema generativo, o que não significa que esse seja seu limite absoluto de aplicação, contudo, ele é o limite que é interessante para este estudo.

Sendo assim, 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 planta baixa não convencionais na prática do arquiteto que conduziu o experimento. O aplicativo recebeu alteração na sua interface com novos recursos de interação, como, por exemplo, alteração do tamanho do terreno, botões para alterar tamanho das células, e uma função de avaliação que dá uma nota ao resultado gerado. Essas informações podem ser consultadas no apêndice 1.

5 BLOBS ARQUITETÔNICOS ESTRUTURADO EM AGENTES INTELIGENTES

5.1 Diagrama de bolha como ferramenta de especulação espacial

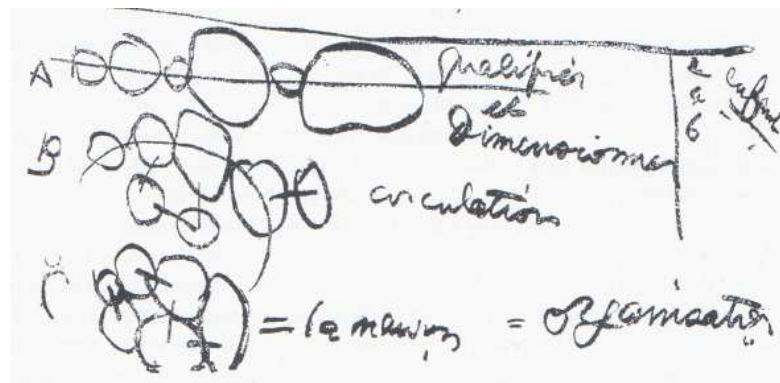
O experimento 02 é um passo à frente do experimento 01. Ele possui um nível diferente de abstração e subjetividade. Nele foram implementados alguns elementos geográficos que influenciam o desenho de plantas baixas, e também a interatividade com mais presença do agenciamento humano. Na ocasião, o humano interagindo com o sistema tem mais influência nos resultados, porque ele posiciona e deleta os elementos da forma como deseja. Ainda, a aplicação não é estruturada em controle. Os agentes inteligentes foram programados para agirem com autonomia computacional, e algumas estratégias de aleatoriedade foram implementadas para garantir um possível resultado inesperado. A interface em questão gera diagramas de bolha, um recurso de especulação espacial para auxiliar na definição da adjacência entre espaços. O conceito de mini mundo e o processo generativo foram as estratégias de criatividade e abstração. Cada ser desse mini mundo interage com os elementos externos e com os outros habitantes, o resultado é uma sugestão de configuração espacial.

No contexto de estratégias de planejamento espacial, a maioria das abordagens se concentra na otimização das relações espaciais com base em métricas e critérios pré-definidos, como restrições, gráficos de adjacência, etc. A principal motivação deste experimento foi o planejamento do espaço mediante uma interpretação abstrata da casa como um mini mundo. O código proposto é uma técnica em que a planta residencial é tratada como um organismo, definido pelas decisões autônomas de suas partes constituintes: os cômodos. A proposta consiste principalmente em trabalhar em dueto com o código generativo para gerar possibilidades abstratas de plantas baixas. Essas possibilidades abstratas são materializadas em forma de diagramas de bolha.

Diagramas de bolhas foram descritos anteriormente por outros autores, como Philip Sawyer (1923). Para o autor, uma vez que o problema a resolver é definido, é difícil errar a solução. Os diagramas mostram as melhores soluções, já que, ao utilizar o diagrama de bolhas, cada movimento é em direção ao amadurecimento da solução, ao invés de simplesmente tentar representar uma disposição já existente. Em suma, o diagrama de bolhas é um processo de investigação e não uma mera representação formal de uma solução concretizada. Lueder (2012) aponta que a disseminação do diagrama de bolhas feita por Gropius durante seu período na *Harvard Graduate School of Design* ajudou a incorporá-lo à metodologia de projeto, tornando-o um símbolo evidente da agenda funcionalista. Como consequência, o diagrama de bolhas frequentemente foi criticado junto com a metodologia da

Bauhaus, sendo acusado de ser muito dogmático e por ter inibido a individualidade (Herdeg, 1983). Entretanto, apesar das críticas é inegável o potencial do método, visto que ele viabiliza a investigação e análise espacial de forma sistêmica sem demandar muito esforço, implicando assim, na possibilidade de uma análise mais dedicada às relações espaciais. Na figura 22 é possível observar um rascunho feito por Le Corbusier em uma palestra em Buenos Aires. Na ocasião é possível analisar 3 possibilidades de adjacência espacial em um esquema de evolução e amadurecimento das possibilidades espaciais.

Figura 22 - Diagrama de bolha desenhado por Le Corbusier em palestra em 1929.



Fonte: Lueder (2012).

A técnica de diagrama de bolha inserida em um ambiente digital/computacional pode ser contextualizada por alguns exemplos. Em 1976, Weinzapfel e Negroponte desenvolveram o experimento YONA (Weinzapfel e Negroponte 1976), um exemplo seminal do uso de gráficos e diagramas de bolha em um ambiente computacional para auxiliar no projeto de layout de um apartamento. Outros exemplos para contextualizar essa prática são: *Interactive Space Layout* (Ruch, 1978); *BUBBLE* (Fortin, 1978); *Floating Bubbles* (Hua e Jia, 2010); *Bubble Diagrams* (Velo, 2014) e *Graph 2plan* (Hu et al., 2020). Como já indicado no experimento anterior, atributos racionais e otimização acabam sendo os principais interesses dessas abordagens computacionais, contudo, a perspectiva do presente trabalho difere de outras abordagens computacionais de diagrama de bolhas. Para o experimento deste capítulo, o poder de cálculo, a estrutura recursiva e as qualidades contingentes da autonomia computacional operando dentro dos agentes computacionais são potenciais criativos para alcançar a novidade, um resultado inesperado ou criatividade. Todas essas características são fomentadas quando o potencial do agente computacional e a interpretação humana são

combinados, porque a criatividade humana pode ser aumentada quando confrontada com esses eventos contingentes (Hui 2019, Boden 2002).

5.2 Conceito e implementação

Para o funcionamento deste experimento, o espaço residencial foi considerado como uma comunidade (mini mundo) implementada como uma pequena rede com poucos nós. O objetivo é que o arquiteto/usuário se surpreenda com o comportamento da comunidade. Atributos como imprevisibilidade, contingência e surpresa são as características que mais interessam nesse sistema ao contrário de velocidade de produção, racionalidade e otimização³⁶.

Embora o desenho da planta de uma casa seja subjetivo e pessoal para as pessoas que nela vivem, esse processo é objetivamente restrito a regulamentos, normas e convenções de projeto que dificultam pensar fora da caixa ao criar um espaço residencial. Com este modelo computacional, espera-se uma abordagem alternativa para resolver o processo de projeto de residências, levando possivelmente a decisões não convencionais baseadas em informações tangíveis representadas pelos elementos geográficos e necessidades dos moradores. Essas soluções não convencionais apresentadas pelo dueto dependem do comportamento autônomo do algoritmo, da experiência e interesse do arquiteto em utilizar este modelo como co-autor, uma vez que a saída do algoritmo funciona como um estímulo criativo nesta estrutura de trabalho, e não como um resultado pronto para a fabricação.

É interessante apontar que toda a construção do código junto da interface representa uma solução com potencial educativo visto que o comportamento dos agentes induz ao pensamento e análise crítica. Mais detalhes sobre essa questão pedagógica serão fornecidos no capítulo “Oficina cocriação humano computador”.

No modelo computacional desenvolvido, uma casa é um *habitat* com habitantes (agentes) condicionados por categorias, como espaços sociais, cuidados pessoais, ambientes laborais, dentre outros. Além dos agentes, a comunidade tem desafios externos, como a posição do sol da tarde, que afeta o comportamento interno do agente. Outros desafios externos são o sol matinal, vento dominante, vista privilegiada e fonte de ruído, que são

³⁶ No contexto do algoritmo seria possível pensar parâmetros de comportamento baseados em passos topológicos da teoria da sintaxe espacial (Hillier & Hanson, 1984), por exemplo, mas definir métricas de adjacência baseadas em passos topológicos poderia agir como restrição. Contrário à restrição, os agentes inteligentes são orientados a aproximar, afastar, crescer ou diminuir de acordo com relações de interesse. Como o sistema não é restritivo e existe um grau de complexidade envolvido na análise dos parâmetros, não é garantido que esse comportamento realmente aconteça como na expectativa convencional, resultando em um evento contingente, objetivo deste trabalho. Divergir da causalidade linear computacional não é vista como algo negativo na perspectiva desta pesquisa.

possíveis elementos geográficos que influenciam as decisões do projeto de residências. Inicialmente foi desenvolvido um mapeamento para auxiliar no entendimento do comportamento esperado para todas as variáveis presentes no sistema. As figuras 23, 24 e 25 ilustram parte do estudo desenvolvido. Na figura 23 é possível observar a definição de classificações e comportamentos para auxiliar na escolha da estrutura computacional mais adequada para o experimento e início da codificação. Na figura 24 é possível observar a descrição de cada habitante do mini mundo e seu comportamento diante outros habitantes e elementos externos. Essa definição foi estabelecida a partir da prática de arquiteto do pesquisador e do conhecimento básico de conforto ambiental. Ela não representa um conhecimento absoluto e pode ser alterada de acordo com outros contextos e realidades.

Figura 23 - Mapeamento inicial

LEITURA DO MAPEAMENTO

DIAGRAMA DE BOLHA (CASA) = um contexto socioespacial com indivíduos (seres vivos representados pelos espaços residenciais) interagindo e criando comportamento complexo.

AMBIENTE RESIDENCIAL = cômodo/espço residencial é considerado um ser vivo com necessidades e interesses individuais. Eles moldam o comportamento coletivo do contexto socioespacial e consequentemente o espaço da casa representado pelo diagrama de bolhas.

PESO = hierarquia e importância de cada ser vivo (cômodo) dentro do dado contexto socioespacial (casa).

COMPORTAMENTO SIMPLES = aumenta ou diminui o tamanho e movimenta de acordo com seus vizinhos.

COMPORTAMENTO INDIVIDUAL = interesses e necessidades individuais.

FAMÍLIA = **Azul** (dormitórios), **Roxo** (convívio comum), **Verde** (cuidado íntimo) e **vermelho** (serviços e trabalho)

ELEMENTOS EXTERNOS = Parâmetros de análise ambiental que influenciam disposição dos cômodos. Aqui eles são considerados forças que influenciam o comportamento dos indivíduos da comunidade.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24 - Parâmetros de funcionamento para os blobs

AMBIENTE RESIDENCIAL PADRÃO	PESO	COMPORTAMENTO SIMPLES	COMPORTAMENTO INDIVIDUAL	FAMÍLIA
0 QUARTO CASAL	3	AUMENTA, DIMINUI E MOVIMENTA	NÃO GOSTA DO SOL DA TARDE E RUÍDO, NÃO SE DÁ BEM COM A FAMÍLIA ROXA E GOSTA DA FAMÍLIA VERDE	
1 QUARTO FILHO 01	2	AUMENTA, DIMINUI E MOVIMENTA	NÃO GOSTA DO SOL DA TARDE E RUÍDO, NÃO SE DÁ BEM COM A FAMÍLIA ROXA E GOSTA DA FAMÍLIA VERDE	
1 QUARTO FILHO 02	2	AUMENTA, DIMINUI E MOVIMENTA	NÃO GOSTA DO SOL DA TARDE E RUÍDO, NÃO SE DÁ BEM COM A FAMÍLIA ROXA E GOSTA DA FAMÍLIA VERDE	
2 SALA ESTAR	4	AUMENTA, DIMINUI E MOVIMENTA	GOSTA DO VENTO, GOSTA DA FAMÍLIA VERDE E VERMELHA, É NEUTRO PARA O SOL DA TARDE E RUÍDO	
3 SALA JANTAR	2	AUMENTA, DIMINUI E MOVIMENTA	GOSTA DO VENTO, GOSTA DA FAMÍLIA VERDE E VERMELHA, É NEUTRO PARA SOL DA TARDE E RUÍDO	
4 COZINHA	5	AUMENTA, DIMINUI E MOVIMENTA	GOSTA DO VENTO, GOSTA DA FAMÍLIA VERDE E VERMELHA, É NEUTRO PARA RUÍDO, GOSTA DO SOL DA MANHÃ	
5 BANHO 1	1	AUMENTA, DIMINUI E MOVIMENTA	GOSTA DO VENTO, GOSTA DA FAMÍLIA VERDE E VERMELHA, NEUTRO PARA SOL E RUÍDO	
5 BANHO 2	1	AUMENTA, DIMINUI E MOVIMENTA	GOSTA DO VENTO, GOSTA DA FAMÍLIA VERDE, VERMELHA, AZUL, NEUTRO PARA SOL E RUÍDO	
6 DESPENSA	1	AUMENTA, DIMINUI E MOVIMENTA	GOSTA DO VENTO, GOSTA DA FAMÍLIA VERDE E VERMELHA, NEUTRO PARA SOL E RUÍDO	
7 ÁREA SERVIÇO	1	AUMENTA, DIMINUI E MOVIMENTA	GOSTA DO VENTO, GOSTA DA FAMÍLIA VERDE E VERMELHA, NEUTRO PARA RUÍDO, GOSTA DO SOL DA TARDE	
8 ÁREA LAZER	4	AUMENTA, DIMINUI E MOVIMENTA	GOSTA DO VENTO, GOSTA DA FAMÍLIA VERDE E VERMELHA, NÃO GOSTA DA FAMÍLIA AZUL, NEUTRO PARA SOL E RUÍDO	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Cada agente (blob ou habitante, no total de oito tipos) foi analisado para estabelecer inicialmente um possível comportamento. Cinco elementos externos (fatores ambientais) foram definidos, e cada um possui a capacidade de atrair ou repelir os habitantes no mini mundo de acordo com suas preferências.

Figura 25 - Parâmetros de comportamento para elementos geográficos

ELEMENTOS EXTERNOS	PESO	COMPORTAMENTO SIMPLES	COMPORTAMENTO INDIVIDUAL
SOL MANHÃ	-	ATRAI OU REPELE	ATRAI FAMÍLIA AZUL ++ E ROXA +,
SOL TARDE	-	ATRAI OU REPELE	ATRAI FAMÍLIA VERMELHA + E VERDE +
VENTO DOMINANTE	-	ATRAI OU REPELE	ATRAI FAMÍLIA ROXA++ E AZUL+
VISTA BOA	-	ATRAI OU REPELE	ATRAI FAMÍLIA ROXA++ E AZUL+
FONTE DE RUÍDO	-	ATRAI OU REPELE	REPELE FAMÍLIA AZUL

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 Recursividade nas interações dos agentes

A partir desta análise foi definido os Agentes Inteligentes como modelo computacional mais adequado para o desenvolvimento do experimento, já que ele viabiliza a

introdução de vários elementos e regras de comportamento, e dependendo do modo como a função que governa os agentes fosse escrita, seria possível induzir o comportamento complexo e imprevisível (contingente). Dessa forma, os agentes foram criados com regras simples que ditam seu movimento diante seus vizinhos. Essas regras são baseadas em informações locais, como posição de agentes próximos, peso de outros agentes, tipo e preferências pré-configuradas para cada agente e não requerem nenhuma coordenação ou comunicação centralizada. Essas regras são implementadas como equações matemáticas simples que governam o movimento de cada agente. As seguintes regras são descritas em conformidade:

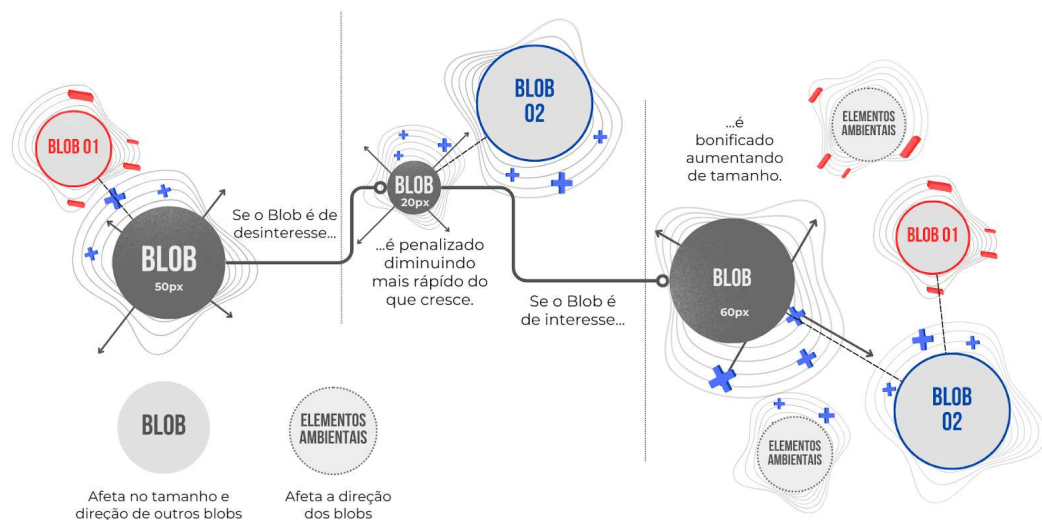
1. Um peso, uma medida de força, influenciará o crescimento ou o encolhimento dependendo do relacionamento com os outros.
2. As preferências dos habitantes determinarão a sua posição.
3. A posição inicial dos elementos externos deve ser resolvida antes da inclusão dos agentes, já que eles influenciam o movimento.
4. Os agentes podem ser adicionados ou excluídos por interação humana.

Ao permitir que cada agente represente um habitante em um mini mundo com comportamentos específicos, como preferências por outros agentes e reações aos elementos externos como sol e vento, a interface não só facilita a configuração espacial de ambientes residenciais, mas também educa os usuários sobre dinâmicas complexas de projeto. A inclusão de controles intuitivos, como *sliders* e seletores, além de *feedback* visual detalhado sobre tamanho e peso dos agentes, viabiliza uma experiência lúdica e educativa.

A inclusão de elementos externos como sol da manhã, sol da tarde, vento dominante, entre outros, adiciona uma camada de realismo e complexidade. A capacidade de arrastar e soltar esses elementos para ajustar suas posições possibilita o pareamento com informações ambientais de qualquer localidade. Algumas das soluções de interface são o uso de *sliders* para ajustar o tamanho e o peso dos agentes e uma interface de seleção para escolher seus diferentes tipos. A inclusão de botões para limpar a tela e salvar o estado atual do canvas como imagem, facilita o uso e a documentação dos resultados. A exibição de informações adicionais quando o cursor do *mouse* está sobre o agente, como o peso e o tamanho, fornece um *feedback* imediato e útil ao usuário. A interface não apenas facilita a configuração espacial de um ambiente residencial, mas também educa os usuários sobre as interações entre diferentes elementos de uma residência. Mais detalhes sobre o design de interface podem ser analisados no apêndice 3.

Na interface, os agentes recebem o nome de *blobs* e funcionam de acordo com sua pré-configuração como indicado anteriormente. O funcionamento dos *blobs* está condicionado pela direção, tamanho e adjacência. A direção se refere ao movimento de aproximação e afastamento, o tamanho é referente ao crescimento e encolhimento e adjacência se refere a uma linha indicando proximidade entre os agentes. Cada *blob* analisa seu entorno e faz os cálculos para todos os *blobs* inseridos na simulação, e logo após define seu estado. Na figura 26 é possível observar uma infografia explicativa para o funcionamento de um *blob* isolado. É importante apontar que durante o funcionamento do sistema, todos os *blobs* estão funcionando dessa mesma forma.

Figura 26 - Esquema do funcionamento do algoritmo

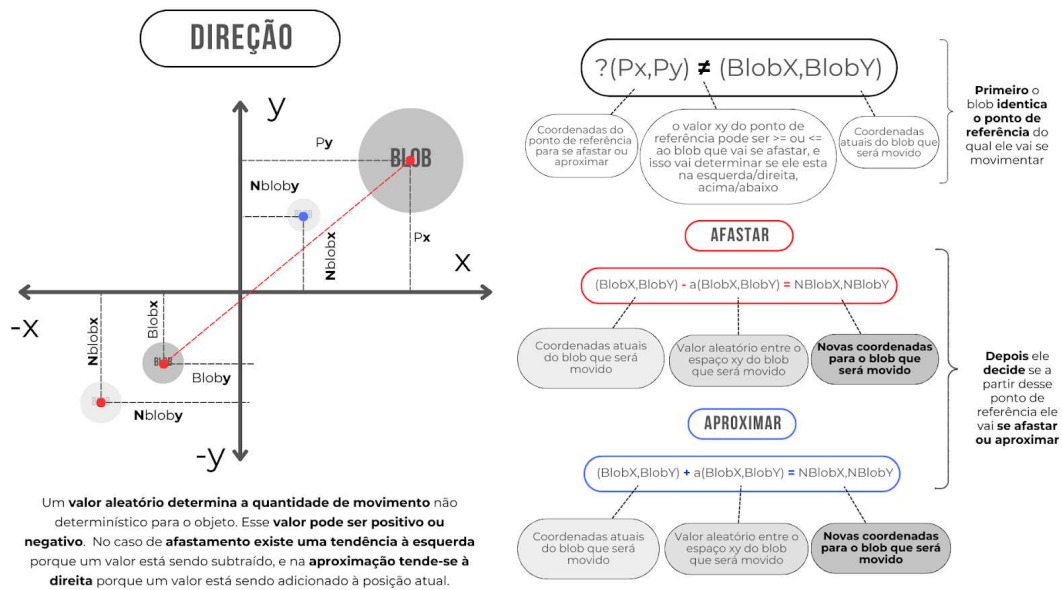


Esse é o esquema referente a um Blob. O sistema faz os cálculos matemáticos para todos os blobs presentes na tela. A quantidade de informação a ser analisada transforma a interface em um sistema complexo de emergências.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A função que determina a direção dos *blobs* é descrita na figura 27. Nela é possível observar um movimento com algum grau de aleatoriedade que viabiliza o evento contingente. Cada *blob* faz o cálculo da distância entre ele e outro *blob*, se o vizinho for de interesse ele se aproxima (cor azul no diagrama), se for de desinteresse ele se afasta (cor vermelha). A quantidade de movimento em pixels é um valor aleatório dentro do espaço das suas coordenadas (x,y), o valor pode ser positivo ou negativo e é isso que determinará se ele se movimenta para a direita, esquerda, acima e abaixo.

Figura 27 - Funcionamento do movimento dos blobs



Fonte: Elaborado pelo autor.

O comportamento de cada *blob* é descrito da seguinte forma: *blob* tipo "SUÍTE ou QUARTO" (`this.bedroomBehaviour()`): método "`bedroomBehaviour()`", possui a seguinte lógica: `this.getAway(circles[1].x, circles[1].y)`: O *blob* tentará se afastar do círculo que representa o "SOL DA TARDE" (índice 1 do array "`circles`"). `this.getAway(circles[4].x, circles[4].y)`: O *blob* também tentará se afastar do círculo que representa a "FONTE DE RUÍDO" (índice 4 do array "`circles`"). O *blob* reagirá de forma diferente em relação aos outros *blobs*, crescendo ou encolhendo com base na distância e no peso do outro.

Blob tipo "ESTAR" (`this.livingRoomBehaviour()`): `this.livingRoomBehaviour()`: Se o *blob* for do tipo "ESTAR", ele chamará o método "`livingRoomBehaviour()`", que possui a seguinte lógica: `this.getCloser(circles[2].x, circles[2].y)`: O *blob* tentará se aproximar do círculo que representa o "VENTO DOMINANTE" (índice 2 do array "`circles`"). O *blob* também reagirá aos outros *blobs*, crescendo ou encolhendo com base na distância e no peso do outro *blob*.

Blob tipo "JANTAR" (`this.dinningRoomBehaviour()`): O *blob* tentará se aproximar do círculo que representa o "VENTO DOMINANTE" (índice 2 do array "`circles`") usando `this.getCloser(circles[2].x, circles[2].y)`. Ele também reagirá a outros *blobs*, crescendo ou encolhendo com base na distância e no peso do outro.

Blob tipo "COZINHA" (`this.kitchenBehaviour()`): O *blob* tentará se aproximar do círculo que representa o "VENTO DOMINANTE" (índice 2 do array "`circles`") usando

`this.getCloser(circles[2].x, circles[2].y)`. O *blob* também tentará se aproximar do círculo que representa o "SOL DA MANHÃ" (índice 0 do array "circles") usando `this.getCloser(circles[0].x, circles[0].y)`. Ele reagirá de forma diferente em relação aos outros *blobs*, crescendo ou encolhendo com base na distância e no peso do outro *blob*.

Blob tipo "WC" (`this.bathroomBehaviour()`): O *blob* tentará se aproximar do círculo que representa o "VENTO DOMINANTE" (índice 2 do array "circles") usando `this.getCloser(circles[2].x, circles[2].y)`. Ele reagirá de forma diferente em relação aos outros *blobs*, crescendo ou encolhendo com base na distância e no peso do outro *blob*.

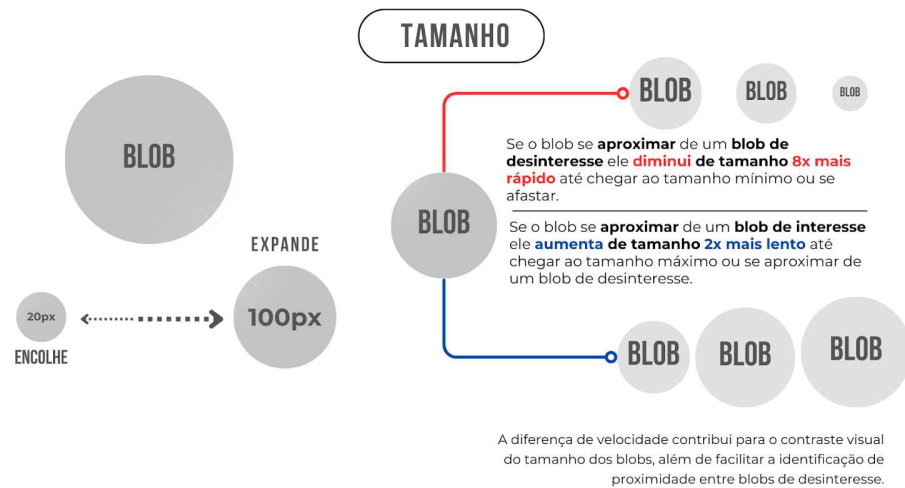
Blob tipo "DESPENSA" (`this.pantryBehaviour()`): O *blob* tentará se aproximar do círculo que representa o "VENTO DOMINANTE" (índice 2 do array "circles") usando `this.getCloser(circles[2].x, circles[2].y)`. Ele reagirá de forma diferente em relação aos outros *blobs*, crescendo ou encolhendo com base na distância e no peso do outro *blob*.

Blob tipo "SERVIÇO" (`this.laundryBehaviour()`): O *blob* tentará se aproximar do círculo que representa o "VENTO DOMINANTE" (índice 2 do array "circles") usando `this.getCloser(circles[2].x, circles[2].y)`. Ele também tentará se aproximar do círculo que representa o "SOL DA TARDE" (índice 1 do array "circles") usando `this.getCloser(circles[1].x, circles[1].y)`. Ele reagirá de forma diferente em relação aos outros *blobs*, crescendo ou encolhendo com base na distância e no peso do outro *blob*.

Blob tipo "LAZER" (`this.leisureAreaBehaviour()`): O *blob* tentará se aproximar do círculo que representa o "VENTO DOMINANTE" (índice 2 do array "circles") usando `this.getCloser(circles[2].x, circles[2].y)`. Ele reagirá de forma diferente em relação aos outros *blobs*, crescendo ou encolhendo com base na distância e no peso do outro *blob*. Ele também tentará se afastar de *blobs* do tipo "SUÍTE" ou "QUARTO" e se aproximar de *blobs* do tipo "ESTAR".

Essas lógicas podem ser alteradas no código para ajustá-lo aos interesses do usuário da interface. Sobre o tamanho dos *blobs*, a função foi escrita para que ele diminua mais rápido do que cresça. Tal característica confere uma hierarquia visual entre as diferenças de tamanho, facilitando a observação do crescimento e encolhimento dos *blobs*. A figura 28 descreve esse comportamento.

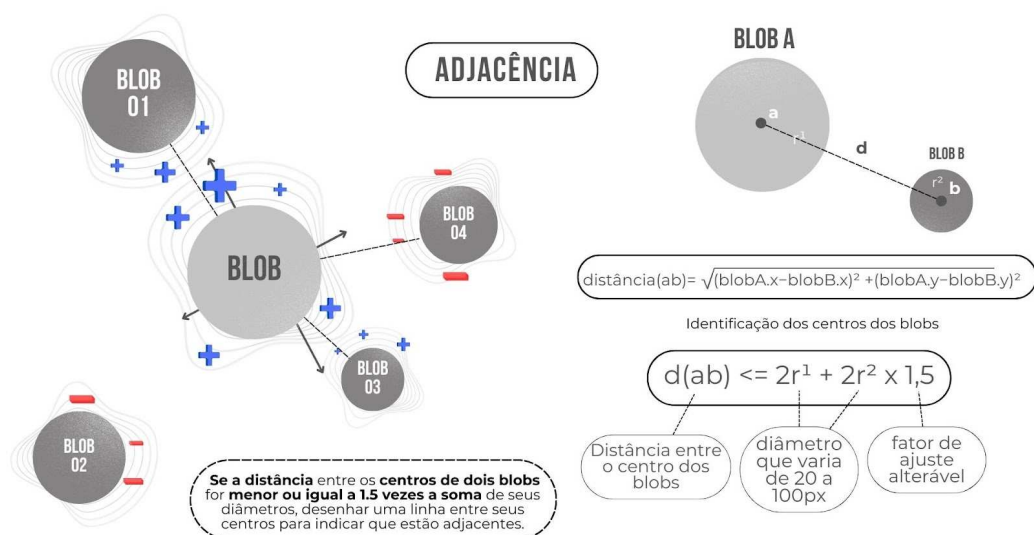
Figura 28 - Funcionamento da função de crescimento e encolhimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já a adjacência refere-se a uma conexão física ou proximidade entre *blobs*. Para comunicar essa adjacência o sistema desenha uma linha conectando os *blobs* que estão próximos o suficiente. Essa distância é determinada pela soma dos diâmetros dos *blobs* vezes 1.5, que significa o acréscimo da metade dos diâmetros à soma deles. Este comportamento pode ser observado na figura 29.

Figura 29 - Funcionamento da linha de adjacência

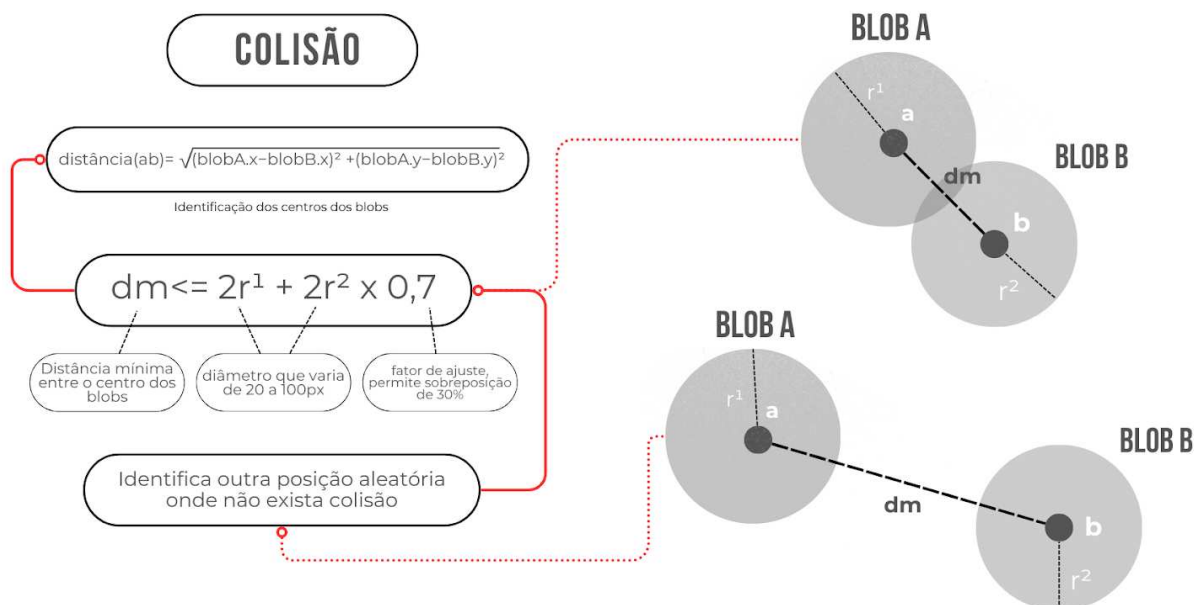


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para evitar que os *blobs* ficassem sobrepostos, foi implementada uma função de colisão que evita a sobreposição e contribui para o comportamento contingente do algoritmo. A função faz a identificação do centro dos *blobs* e confere a distância entre eles, se a ela for igual ou menor que 70% da soma dos seus diâmetros, a função identifica uma posição aleatória onde não exista colisão entre *blobs*. Essa função permite que os *blobs* se sobreponham em até 30% no valor da soma dos seus diâmetros, como pode ser observado na figura 30. Essa função também é a responsável pelo comportamento imprevisível do sistema, já que ele define um local para reposicionamento do *blob* levando em consideração apenas a não colisão, ou seja, existe apenas um parâmetro restritivo que guia o comportamento do sistema. Essa única restrição não é o suficiente para “controlar” o comportamento dos *blobs*, isso abre espaço para a contingência do algoritmo, já que ele tem um nível de autonomia caracterizado pela sua escolha aleatória e pela falta do controle do usuário que não define onde o *blob* deve ficar.

Quanto mais restrição for adicionada ao sistema, menos resultado inesperado surgirá. Adicionar camadas de informação e regras restritivas levaria a automação e configuração de um sistema otimizado para encontrar a “melhor solução”. Apesar da possibilidade de adição dessas regras, a intenção não é essa.

Figura 30 - Funcionamento da função de colisão



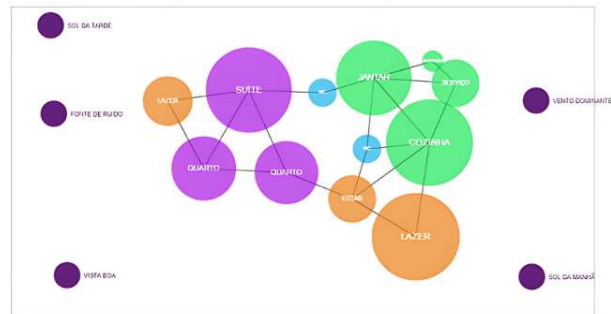
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em suma, o funcionamento do código envolve a utilização de conceitos e cálculos geométricos. Ele utiliza fórmulas matemáticas para calcular a posição, o tamanho e a aparência dos *blobs* na tela. Por exemplo, para verificar colisões entre os *blobs*, é feito um cálculo de distância entre dois pontos em um plano cartesiano, como explicado anteriormente. O código também utiliza estruturas de controle, como *loops* e condicionais, para controlar o comportamento dos *blobs* e atualizar suas posições e tamanhos ao longo do tempo. Além disso, o código utiliza *arrays* para armazenar informações sobre os *blobs* e os elementos externos. Para viabilizar a participação humana no processo também foi implementado o uso de *sliders* e teclas interativas permitindo que o usuário ajuste parâmetros como peso, tamanho e posição dos elementos externos, inserir e deletar *blobs*, tornando a simulação mais dinâmica e customizável.

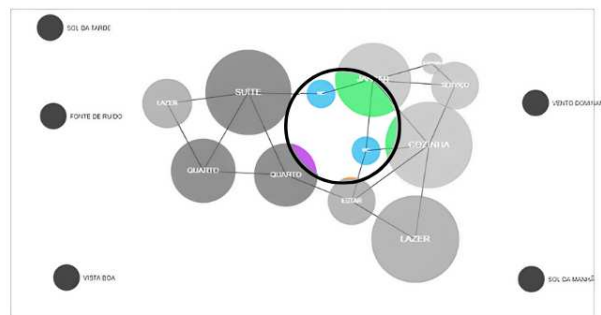
5.4 Desafios e potencialidades

A Figura 31 ilustra o uso do aplicativo, mostrando claramente a intervenção humana no processo de funcionamento. Inicialmente, o aplicativo gera inúmeras possibilidades de diagramas de bolha, permitindo que o humano observe as iterações do sistema. Quando uma solução potencial é identificada, o usuário pausa a animação, analisa as opções com mais calma e realiza os ajustes necessários, deletando ou adicionando *blobs* conforme desejado. Após esse processo de análise e modificação, o usuário salva a imagem gerada para prosseguir com o desenvolvimento da planta baixa.

Figura 31- Intervenção humana na interface

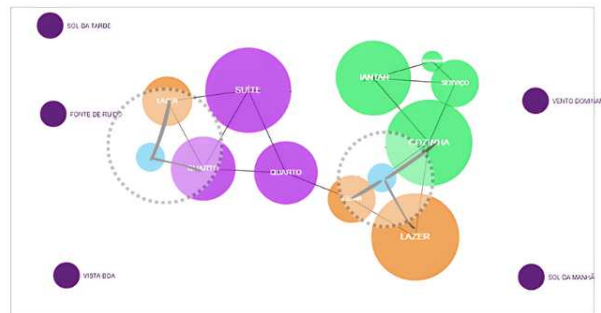


Solução sugerida pela interface



Identificação de ajustes necessários.

Banheiros próximos a suíte, jantar e cozinha sem atender as áreas de lazer e aos quartos.



Solução com intervenção humana.

Banheiros foram reposicionados para melhorar a solução sugerida pela interface.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na primeira avaliação, o pesquisador desta tese, arquiteto, utilizou o algoritmo como um colega de trabalho que contribui com sugestões para gerar soluções potenciais. Em suas considerações, foi identificado que a interação com o sistema se assemelha a um diálogo com um colega de profissão, e que as ideias propostas pelo algoritmo funcionam como estímulo, já que observar padrões espaciais emergentes a partir do funcionamento do aplicativo é uma atividade intrigante. Esse sentimento de surpresa pode ser visto como uma consequência dos

resultados inacabados do próprio algoritmo, o que abre espaço para questionar a maturidade das possibilidades apresentadas, funcionando como um desafio a ser solucionado. O aplicativo se torna uma ferramenta útil, oferecendo a "entrada inicial" necessária para começar o projeto.

Ao utilizar recursos computacionais como códigos generativos com resultados abstratos, propõe-se que o ser humano seja desafiado a pensar em novas possibilidades, dado o processo de questionamento sobre as opções apresentadas por diagramas inesperados. Contudo, é também possível que o algoritmo reforce a visão humana prévia da planta baixa inicial. Esse processo de questionamento, que pode ser caracterizado como um "diálogo", reflete a interação comum entre arquitetos no contexto profissional. No entanto, a troca entre agentes humanos e computacionais oferece uma dinâmica ampliada, pois o algoritmo, apesar de ter um número finito de possibilidades, não experimenta os bloqueios criativos típicos dos seres humanos, o que possibilita uma continuidade na geração de soluções que amplia as oportunidades criativas no processo de projeto.

Este experimento reafirma a contingência como o elemento determinante no resultado do processo criativo. A contingência surge tanto da atividade humana quanto da operação do código, demonstrando que o diálogo entre ambos é mais produtivo do que a automação pura do algoritmo. Em vez de eliminar o agente humano ou reduzir sua contribuição a escolha de opções pré-definidas, o processo adotado nesta pesquisa enfatiza o diálogo contínuo entre criador humano e criador computacional. Esse diálogo, em essência, não se trata de controle ou previsibilidade, mas de explorar o estranho, mas familiar, como discutido por del Campo (2020). No próximo capítulo, será discutido o uso do aplicativo em contexto acadêmico, e o potencial pedagógico de ferramentas digitais desenvolvidas a partir da contingência e da recursividade.

6 OFICINA COCRIAÇÃO HUMANO COMPUTADOR

6.1 Potencial pedagógico

Em caráter de contextualização, foi elaborada uma revisão sistemática da literatura sobre o uso de agentes computacionais autônomos no ensino de projeto de arquitetura. A amostragem foi definida por uma busca estruturada e posteriormente por amostragem por bola de neve. Visto que utilizar os termos “computação”, “computacional”, “agente computacional” e outros junto à “arquitetura” levou ao encontro de resultados com ênfase na área da Ciência da Computação³⁷, foi definido o uso de termos similares para que posteriormente fosse identificado se a relação destes com a “computação” (se referindo a criação e manipulação de estruturas computacionais) estavam alinhados com o interesse desta tese. Os termos de referência utilizados nas buscas foram “ferramentas digitais no ensino de projeto de arquitetura”, “ferramentas digitais para estimular a criatividade no ensino de arquitetura”, “inteligência artificial aplicada no ensino de projeto”, “métodos computacionais para estimular a criatividade no processo de arquitetura” e “ferramentas para especulação espacial”. Inicialmente foi utilizada a base de dados Google Acadêmico objetivando um recorte de amostra de artigos de periódicos, congressos, teses e dissertações publicados nos últimos dez anos (2014 a 2024), mas também foram consultadas fontes específicas da área que recebem publicações sobre o assunto.

Foram identificadas e selecionadas 19 publicações entre artigos online, artigos acadêmicos e dissertações. 10 publicações em português e 9 em inglês. As publicações foram separadas por idiomas e dispostas em ordem decrescente em relação a sua publicação (ver a tabela 1). No Brasil, a maioria das publicações identificadas estão relacionadas à prática do projeto paramétrico que envolve modelagem baseada na parametrização de dados fixos e variáveis relacionados ao desempenho da geometria e volumetria, e os objetivos dessas experiências em sua maioria estavam relacionados a esses atributos. Das experiências envolvendo projeto paramétrico apenas uma (item 10 na tabela 1) faz menção direta ao incentivo à prática experimental, mas tal característica fica em segundo plano quando os experimentos desenvolvidos são analisados com mais detalhe, visto a ênfase dada à

³⁷ Os termos arquitetura e computação quando utilizados em conjunto remetem a área da ciência da computação que estuda a estrutura e o funcionamento dos sistemas computacionais, definindo como o hardware e o software interagem e permitindo que os programas sejam executados. Uma alternativa seria utilizar o termo computação gráfica na arquitetura, mas ele é igualmente amplo, não correspondendo ao interesse desta tese que ao utilizar o termo computação está se referindo especificamente à manipulação de código.

otimização de atributos quantitativos. Em todos os casos, os softwares mais utilizados são Rhinoceros e Grasshopper, e a tecnologia BIM é frequentemente mencionada.

Junto da modelagem paramétrica é observável experimentos envolvendo o uso de realidade aumentada e virtual, fabricação digital e prototipagem rápida, cujo objetivo comum é eliminar a barreira do físico com o digital, mas não fica claro como tal tecnologia pode contribuir com o processo de especulação (foco desta tese) e experimentação. Um trabalho em específico (item 9 na tabela 1) faz menções a aplicativos experimentais que conectam o processo de desenho à mão com o digital, estimulando o processo exploratório e especulativo do desenho à mão, através da facilidade da visualização 3D automatizada. Este foi o trabalho que mais se aproximou dos interesses especulativos desta tese, mas ele se trata de uma revisão teórica cujos aplicativos citados são frutos de esforços acadêmicos entre os anos 2003 e 2013. Dentre todas as publicações da amostra, essa foi a única que citou o desenvolvimento de aplicativos experimentais, todas as outras utilizaram aplicativos existentes de uso livre ou comercial.

Um outro estudo (item 2) também foi identificado, ele se trata de uma revisão teórica sobre o uso da IA e criatividade na arquitetura, seguido de aplicação prática com estudantes de arquitetura e urbanismo. O estudo em questão também se aproxima da realidade deste trabalho ao introduzir procedimentos generativos no processo de especulação do estudante. A diferença é a utilização de ferramentas comerciais que possuem um modelo de recursão e generatividade com ênfase em automação (não foram criados com a intenção de estimular a criatividade) e que demandam habilidades em descrição semântica (Silva e Bergamo, 2024) ou, conhecimento em “engenharia de *prompt*”, termo que tem sido utilizado com frequência para descrever a habilidade de escrita de comandos que guiam modelos de linguagem artificial. O sucesso da experiência vai depender da habilidade do aluno em descrever comandos de forma objetiva e direta, entretanto, se analisado apenas do ponto de vista da contingência, a ausência de domínio sobre o funcionamento da ferramenta pode ser benéfico no surgimento de situações inesperadas que podem resultar em estímulo criativo, como, por exemplo, imagens que não correspondem ao comando textual, mas que de certa forma podem estimular ideias não identificadas previamente pelo aluno (Silva e Bergamo, 2024).

A clareza do benefício do uso dessas LLM (*large language models*) comerciais no ensino de projeto ainda não é claro, como citado pelos autores, embora as pesquisas e possibilidades de aplicação sejam amplas, ainda é cedo para determinar de forma concreta as contribuições e mudanças no campo da arquitetura, essa incerteza decorre do fato de o tema

ainda estar em estágio inicial de exploração prática, conceitual e didática (De Almeida, Luciano e Braida, 2023). Certamente essa realidade não é muito diferente das instituições de ensino estrangeiras, mas é evidente que elas têm dedicado esforços em implementar o uso da IA em práticas pedagógicas no ensino de arquitetura. Essa realidade fica evidente através da amostragem da tabela 1, já que dos 9 itens (publicações em inglês), 6 foram publicados em 2024 e destes, 4 são sobre o uso da IA em práticas pedagógicas, totalizando 5 estudos sobre o tema (com a adição de uma publicação de 2023).

Subverter a lógica de produção das ferramentas de ordem capitalista para o interesse do artista é um comportamento desejável na artemídia, como visto nos capítulos anteriores. Logo, não é um problema utilizar esses modelos de linguagem com fins comerciais e transformá-los em ferramentas de ensino. Entretanto, os experimentos desta tese se distanciam dos exemplos da tabela 1 em dois pontos principais. Primeiro, pelo uso da computação ao contrário de ferramentas digitais consolidadas. Utilizar a computação e suas linguagens de programação como recurso, permite criar agentes computacionais do zero, o que leva ao segundo ponto. Construir agentes computacionais do zero permite introduzir conceitos como o de tecnodiversidade (Hui, 2023), o que resulta em tecnologias que consideram contextos específicos como o educacional, sem a necessidade de importar modelos externos a essa realidade. Os aplicativos aqui desenvolvidos, apesar de não terem sido pensados para a sala de aula, sempre tiveram o viés pedagógico, visto o estímulo à pedagogia autônoma do usuário, fosse ele um estudante, um arquiteto ou um usuário genérico.

Tabela 1 - Análise de estudos da aplicação de ferramentas digitais no ensino de projeto

ITEM	TÍTULO	TIPO	FERRAMENTA	DATA	OBJETIVOS	RESULTADO
01	<i>Transformando a educação arquitetônica com a realidade virtual e aumentada</i>	Reportagem online	Realidade aumentada e virtual	2024	01-eliminar a lacuna entre ambientes virtuais efísicos; 02-pensar o projeto em um ambiente híbrido; 03-mostrar produtos finais realistas;	Ambientes digitalizados
02	<i>Inteligência artificial e criatividade na arquitetura</i>	Artigo	Midjourney; DALL-e; StableDiffusion; Softwares de modelagem; CAD; Evolve.Lab	2023	01-produzir imagens de arquitetura e urbanismo 02-avaliar percepção de alunos;	Imagens geradas por LLM
03	<i>Prototipagem como metodologia ativa de ensino na arquitetura e urbanismo do IFS lagarto</i>	Artigo	Impressão 3D	2022	01-estímulo ao desenvolvimento de formas arquitetônicas 02-experimentar formas diversas 03-estímulo à criatividade	modelos 3D de residências impressos
04	<i>Realidade virtual e aumentada aliada a processos de modelagem da informação da construção (bim) no ensino da arquitetura</i>	Artigo	Realidade aumentada e virtual eBIM	2021	01-identificar aplicações práticas; 02-mapear conhecimento dos alunos sobre as tecnologias; 03-estimular olhar mais crítico e detalhado dos projetos;	virtualização de edifício existente e passeio virtual para alunos
05	<i>O ensino da disciplina de projeto arquitetônico auxiliado pela realidade aumentada</i>	Artigo	Realidade aumentada (Augin); AutoCad; SketchUp	2020	01-sanar dificuldade coletiva de visualização tridimensional de elementos arquitetônicos;	casa de 62m ² em ambiente 3D virtual
06	<i>Abordagem contemporânea para ensino e aprendizagem de projeto arquitetônico: os meios analógicos, digitais e sua relação na formação e atuação do arquiteto</i>	Artigo	analógicas e digitais	2020	01-análise crítica da prática docente diante da disseminação de ferramentas digitais	apontamentos para prática pedagógica
07	<i>Propostas para o ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo através de ferramentas digitais</i>	Dissertação	Realidade aumentada e virtual; BIM; fabricação digital; prototipagem rápida	2018	01-Planejar a execução do projeto; 02-Visualizar o modelo do projeto; 03-Verificar incompatibilidades de projeto; 04-Avaliar os impactos no meio ambiente; 05-Relacionar o real com o virtual; 06-Antecipar decisões; 07 -Testar / Estudar a forma;	panorama sobre a aplicabilidade de tecnologias em contextos pedagógicos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 1 - Continuação

08	<i>Reflexões sobre a introdução da abordagem paramétrica no ensino de projeto</i>	Artigo	projeto paramétrico; grasshopper; rhinoceros; BIM	2015	01-incentivar prática experimental 02-descrever processos 03-colaborar e experimentar	Mapeamento sobre experiências de ensino de modelagem paramétrica
09	<i>Uso de tecnologias digitais nas etapas iniciais de projeto arquitetônico</i>	Disser tação	tecnologia multi-touch; EsQUiSE; NEMo; SmallBoom; Mental Canvas	2014	01-identificar tecnologias disponíveis que podem ajudar projetistas a expressar suas ideias através de sketches à mão livre;	Síntese de aplicativos experimentais aplicados nas fases iniciais
10	<i>Ensino de projeto arquitetônico com a inclusão de novas tecnologias: uma abordagem pedagógica contemporânea</i>	Artigo	Rhinoceros; Grasshopper	2014	01-incluir novas tecnologias no processo de projeto; 02-despertar habilidades cognitivas; 03-avaliar desempenho; 04-gerar formas complexas;	Equipamento cultural-esportivo com cobertura escultórica
11	<i>Virtual tour as an innovative tool for architectural education -from understanding heritage to creativity stimulation</i>	Artigo	Leica Geosystem RTC360, VR glasses,	2024	01-entender questões de patrimônio 02-estimular criatividade	Tour virtual
12	<i>The contribution of digital tools to architectural design studio: A case study</i>	Artigo	ferramentas CAD	2024	01-Entender a contribuição das ferramentas digitais no ensino de arquitetura durante e pós-pandemia de covid-19	análise swot de dados colhidos em formulários disponibilizados a estudantes
13	<i>Enhancing Architectural Education through Artificial Intelligence: A Case Study of an AI-Assisted Architectural Programming and Design Course</i>	Artigo	Large Language Models (LLMs) Artificial Intelligence-Generated Content (AIGC)	2024	01-Avaliar o impacto da IA no ensino de arquitetura	AI-embedded teaching model.
14	<i>Embracing Artificial Intelligence (AI) in Architectural Education: A Step towards Sustainable Practice?</i>	Artigo	várias	2024	01-Analisar como a IA afeta a percepção dos alunos sobre indicadores de sustentável arquitetura 02-Entender como a sustentabilidade desafia a influência de aplicações de IA	Dados sobre a percepção dos alunos sobre Inteligência Artificial e sustentabilidade na arquitetura
15	<i>Artificial intelligence in architectural education -green campus development research</i>	Artigo	DALL-E, Stable Diffusion e Midjourney	2024	01-Explorar papel da IA no ensino de projeto de arquitetura	Método híbrido de projeto
16	<i>AI-Assisted Design: Utilizing artificial intelligence as a generative form-finding tool in architectural design studio teaching</i>	Artigo	Stable Diffusion, Midjourney and DALL-E, Meshy, Rhinoceros/Grasshopper, SketchUp	2024	01-desenvolvimento de conceito 02-colaboração entre humanos e IA 03-integração no discurso arquitetônico	design workflow consisting of four phases

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 1 - Continuação

17	<i>Artificial Intelligence as a pedagogical tool for architectural education: What does the empirical evidence tell us?</i>	Artigo	DALL-E e Midjourney	2023	01 -Identificar oportunidades e desafios no uso IA para gerar conceito arquitetônico	Dados estatísticos sobre o impacto da IA na criatividade
18	<i>How digital tools are changing architecture education</i>	Artigo	várias	2022	01 -Analisar grades curriculares de 2 instituições	Identificação de práticas que emergem e que são herdadas
19	<i>Architectural education and digital tools: the challenges and opportunities</i>	Artigo	Immersive 3D Visualisation software	2019	01 -Enriching architectural education with digital tools 02 -interdisciplinary approach to media architecture 03 -	Immersive 3D Visualisation

Fonte: Elaborado pelo autor.

Malard e Monteiro (2016) enfatizam que a criatividade no ensino de projeto exige a aplicação de determinados requisitos em exercícios que promovam seu desenvolvimento. Referente aos requisitos “desafios, interatividade e crítica”, os exercícios de projeto devem propor desafios teóricos, tecnológicos, econômicos e culturais, além de incentivar o trabalho em grupo e a avaliação crítica. No que se refere ao requisito “mobilidade do pensamento”, é importante promover a alternância entre pensamento divergente, voltado à geração de ideias durante a fase de problematização, e pensamento analítico, que permite estruturar e adaptar essas ideias aos contextos tecnológicos, socioeconômicos e culturais. Quanto à “cognição primordial/cognição conceitual”, os exercícios devem favorecer a transição contínua entre imaginação e realidade, concreto e abstrato, sensível e conceitual. Também é essencial estimular a extroversão por meio de sessões de análise crítica, nas quais o erro não seja punido, mas integrado ao processo como parte natural e significativa do aprendizado. Os autores ressaltam ainda a importância de desenvolver ferramentas e ambientes que sejam intuitivos e de fácil apropriação, além de promover a diversidade e criar um ambiente social que valorize a multiplicidade de projetos e atividades. Nesse contexto, ferramentas e ambientes digitais são indispensáveis para facilitar o projeto colaborativo, estimular a interação entre diferentes pessoas e saberes e aprofundar a etapa de problematização. Outros requisitos apresentados pelos autores são: “participação do educando como agente do processo educacional” e “construir a autonomia do educando, fazendo-o sujeito da sociedade

democrática” o que demonstra a importância da presença ativa do estudante no processo de ensino e aprendizagem.

É notável a quantidade numerosa de programas de IA disponíveis publicamente, tanto comerciais quanto de código aberto, oferecendo a possibilidade de converter a descrição textual em imagens, vídeos, infográficos e modelos 3D. Entretanto, como já citado anteriormente, pouco se sabe da eficiência dessas ferramentas visto que elas não foram desenvolvidas com a intenção de serem aplicadas em contextos pedagógicos, e dessa forma podem não atender aos requisitos citados por Malard e Monteiro (2016) por não serem de fácil apropriação, por não posicionarem o usuário como parte indispensável no funcionamento do sistema e por não fomentar a autonomia do usuário. Freire (2019) indica que a autonomia é essencialmente a capacidade de pensar criticamente, tomar decisões e agir no mundo de maneira consciente e responsável. O educador tem o papel de estimular essa autonomia, criando um ambiente de diálogo e reflexão, em vez de impor conhecimentos ou verdades. A prática educativa deve incentivar o aluno a problematizar sua realidade, buscando compreender as condições que moldam sua existência. Ao desenvolver essa consciência crítica (consciência reflexiva ou consciência transformadora), o educando passa a enxergar possibilidades de agir para transformar a sociedade. No contexto do ensino de projeto de arquitetura, Souto e De Conto (2020) apontam que os professores devem se empenhar em melhorar os modos, métodos e abordagens pedagógicas no ensino de projeto, com o objetivo de estimular os alunos a desenvolverem um ambiente de reflexão, produção arquitetônica crítica e autônoma.

Com base nessas informações, é fundamental ressaltar que as estruturas computacionais aplicadas em contextos pedagógicos precisam estimular o pensamento crítico e a reflexão. Elas não devem punir o erro, mas, promover a autonomia reflexiva dos alunos. Os agentes computacionais desenvolvidos no presente trabalho foram estruturados seguindo esses princípios, o que os torna adequados e compatíveis com o ambiente de sala de aula. Com isso esclarecido, serão apresentados a seguir os dados de uma oficina realizada com estudantes que utilizaram o aplicativo Blobs Arquitetônicos.

6.2 Oficina

Em junho de 2024, durante a 39ª Semana Integrada do curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário Católica do Leste de Minas, foi realizada a oficina de cocriação humano-computador, focada no uso dos blobs arquitetônicos apresentados no capítulo 5. A

oficina foi ministrada pelo pesquisador responsável por esta pesquisa, que, à época, também exercia a docência na instituição onde ocorreu o evento.

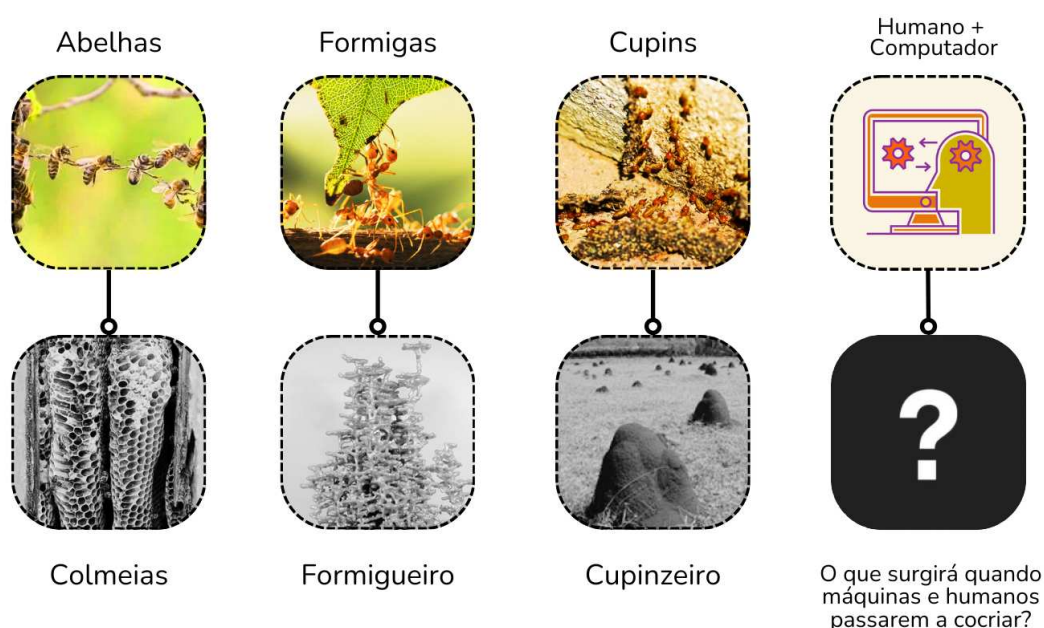
Com duração de duas horas, a oficina contou com a participação de 15 alunos de diferentes períodos curriculares, todos interessados na proposta de cocriação entre humanos e computadores. Na grade curricular vigente no momento da elaboração deste trabalho, os alunos entram em contato com projetos de residências e interiores a partir do segundo período. Na ocasião, os participantes menos experientes eram do terceiro período, o que garantiu que todos já possuíssem algum conhecimento sobre projetos de espaços residenciais. A oficina foi organizada sob a forma de um desafio. Nas duas horas disponíveis, os alunos foram introduzidos ao conceito de cocriação e ao agente computacional generativo da interface utilizada. Após receberem o *briefing* e o programa de necessidades, tiveram cerca de uma hora para explorar a interface e desenvolver um croqui de planta baixa, elaborado com base na manipulação dos *blobs*. As etapas da oficina serão descritas em maior detalhe a seguir.

O conceito de cocriação foi apresentado de forma acessível para garantir a compreensão por alunos de todos os níveis do curso de graduação. A artista Sougwen Chung, discutida na seção 3.2, foi utilizada como referência, tanto por seu valor educativo e ilustrativo da prática artística, quanto pela ausência de exemplos facilmente compreensíveis na arquitetura que utilizem explicitamente o conceito de cocriação. Em seguida, abordou-se a usabilidade da interface e o funcionamento do agente computacional. Foi enfatizado que a interface não geraria diagramas de bolha otimizados ou finalizados; em vez disso, apresentaria configurações espaciais exploratórias, suscetíveis tanto a críticas positivas quanto negativas. O aluno poderia pausar a animação em qualquer momento para fazer ajustes necessários (adicionando ou removendo elementos) a fim de criar uma organização espacial mais interessante. Esse processo reflete o raciocínio descrito na figura 31 do capítulo anterior.

A interface foi explicada por meio de uma analogia a um "mini mundo" onde habitantes coexistem e reagem a elementos externos. Para ilustrar essa ideia, foram exibidos vídeos com exemplos do reino animal, como formigas, abelhas e cupins, espécies eussociais que, além de viverem em sociedade, demonstram um elevado grau de organização e comunicação social nas comunidades mais complexas. A escolha desses exemplos visou destacar o conceito de interações organizadas em sistemas coletivos, oferecendo uma analogia visual e conceitual à simulação de um mini mundo. Foi esclarecido que, embora o comportamento do código compartilhe certas similaridades com essas estruturas sociais (em

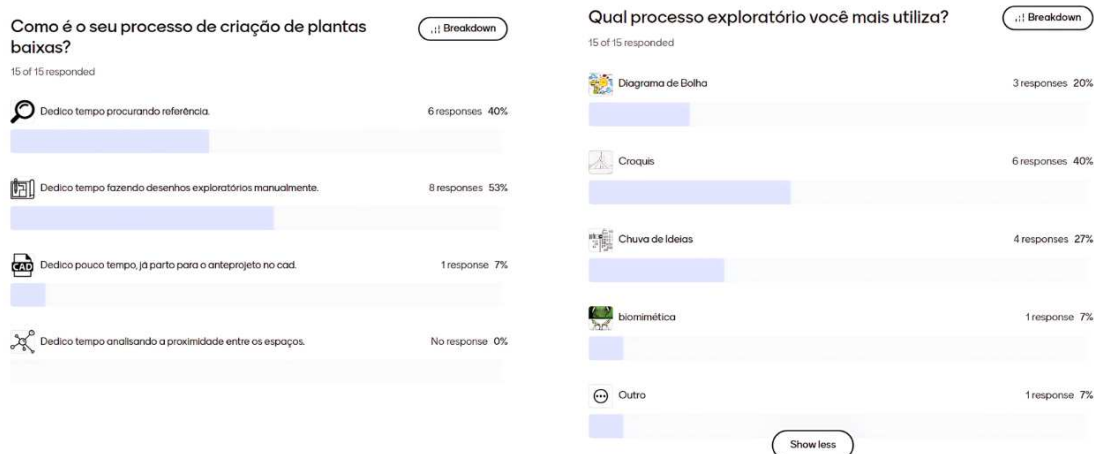
termos de comunicação e interação), ele não produziria uma organização complexa como uma colmeia ou um cupinzeiro. Para que emergisse um resultado semelhante, a participação ativa do aluno era essencial. Na Figura 32, encontram-se as representações dos animais com seus habitats, seguidas de um ícone que simboliza a Cocriação Humano-Computador: blobs arquitetônicos interagindo com o aluno, o usuário da interface. Abaixo, o ponto de interrogação sinaliza o resultado incerto e aberto que essa relação pode gerar.

Figura 32 - Esquema relacional entre seres vivos e o sistema proposto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Antes de iniciar a atividade prática, os alunos responderam a duas perguntas preliminares: "Qual é seu processo de criação de plantas baixas?" e "Qual processo exploratório você utiliza com mais frequência?". Ambas as questões incluíam opções pré-definidas, e os alunos podiam selecionar uma resposta entre elas. O propósito dessa etapa inicial foi tanto mapear o perfil dos alunos quanto introduzi-los ao foco da oficina: a criação de diagramas de bolha. As respostas registradas estão apresentadas na figura abaixo.

Figura 33 - Questionário pré-oficina

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas respostas obtidas, nenhum dos alunos indicou dedicar tempo à análise da proximidade entre os espaços, uma característica essencial na elaboração de diagramas de bolha. Dos participantes, 53% afirmaram dedicar tempo a desenhos manuais, 40% responderam que buscam referências e 7% indicaram partir diretamente para o AutoCAD com pouco tempo de exploração prévia. Em relação ao método exploratório mais utilizado, 40% disseram preferir croquis, 27% mencionaram o uso de brainstorming, 20% relataram utilizar diagramas de bolha, 7% apontaram recorrer à biomimética como recurso exploratório, e 7% indicaram utilizar outro método. Essas respostas delineiam o perfil dos estudantes que participaram da oficina, impactando os resultados das plantas baixas.

Vale destacar que durante o segundo período do curso na disciplina de projeto, os alunos são introduzidos a metodologias de especulação espacial, incluindo o diagrama de bolha. A baixa adesão ao uso deste tipo de gráfico pode ter diversas causas. A baixa frequência de análise de adjacências entre os espaços, conforme sugerido no formulário, indica uma possível explicação, mas, como uma investigação mais detalhada sobre o tema não foi realizada, considera-se apenas que essa realidade influenciou a experiência dos alunos com a interface, conforme será discutido adiante.

6.3 Resultados

Com as questões iniciais devidamente esclarecidas, iniciou-se a manipulação da interface, com orientações contínuas aos alunos ao longo do processo. Perguntas frequentes surgiram,

como: “Quando ele vai sugerir um diagrama de bolha sem defeito?” e “Por que, quando chega a um resultado interessante, ele muda repentinamente?”. O estranhamento dos alunos, habituados a aplicações desenvolvidas para contextos mais comerciais e otimizados, evidenciou o contraste com a proposta dos blobs arquitetônicos. No entanto, conforme reforçado anteriormente, a interface não se propõe a gerar diagramas de bolha ótimos ou quase ótimos, como no experimento de Veloso (2014). Ao invés disso, a interface permite ao aluno identificar uma situação potencial e pausar a animação para realizar ajustes, conforme indicado na figura 31. Em relação à segunda pergunta, explicou-se que a simulação foi inspirada em sistemas sociais com hierarquia observados na natureza, como o comportamento dos cupins. Assim, a interface exibe um comportamento que simula a natureza, onde o processo evolutivo tende à otimização, mas incorpora a aleatoriedade, possibilitando que novas soluções sejam testadas. Na interface, observa-se períodos de estabilidade alternados com caos e instabilidade, análogos ao funcionamento dos ecossistemas. Ficou claro para parte dos alunos que a interface não automatiza seu trabalho, exigindo sua interação ativa para atingir um resultado que se mostrasse promissor.

Para os alunos interagirem com a interface foi fornecido o seguinte *briefing*: “A Família Alves busca uma casa que atenda às suas necessidades, levando em consideração o conforto ambiental. As principais questões são os espaços de lazer que não comprometam a privacidade dos quartos. Os quartos devem estar posicionados em um local com pouco ruído e pouca insolação direta”. O programa de necessidades foi o seguinte: 01 suíte; 02 quartos; 02 banheiros sociais; 01 sala de estar; 01 sala de jantar; 01 cozinha; 01 despensa; 01 área de serviço; 01 área de lazer para adultos; 01 área de lazer para crianças. Também foi fornecido um terreno para contextualização ambiental, como pode ser observado nas figuras abaixo.

Figura 34 - Terreno disponibilizado para contextualização ambiental



Fonte: Elaborado pelo autor.

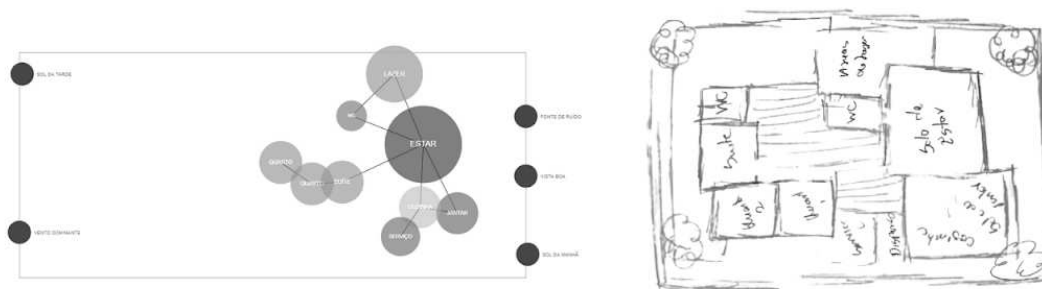
Figura 35 - Dimensões do terreno com indicação de norte e fatores geográficos



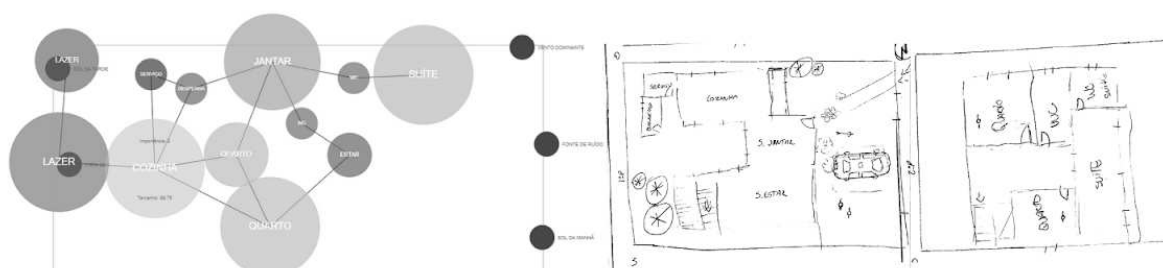
Fonte: Elaborado pelo autor.

A insolação e vento dominante foram os mesmos para todos os alunos. No entanto, cada participante teve a liberdade de definir a vista privilegiada do lote e identificar o ponto de maior concentração de ruído, conforme sua própria avaliação. Abaixo, encontram-se os diagramas de bolha e as plantas baixas produzidas pelos alunos, refletindo essas escolhas individuais influenciadas pelo agente computacional.

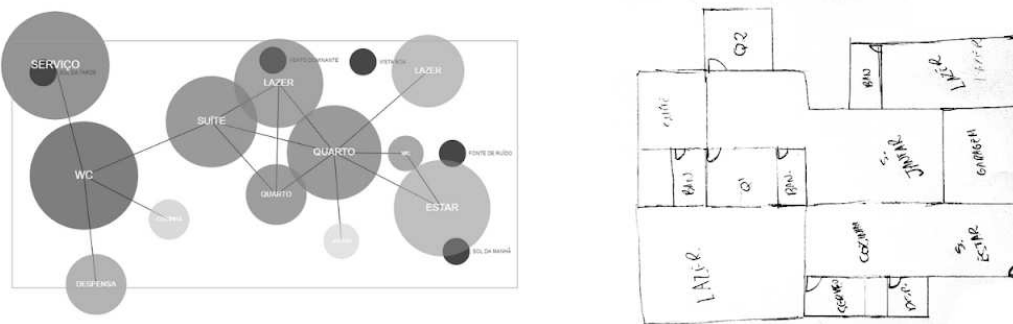
Figura 36 - Diagrama de bolha e respectiva planta baixa feita por alunos



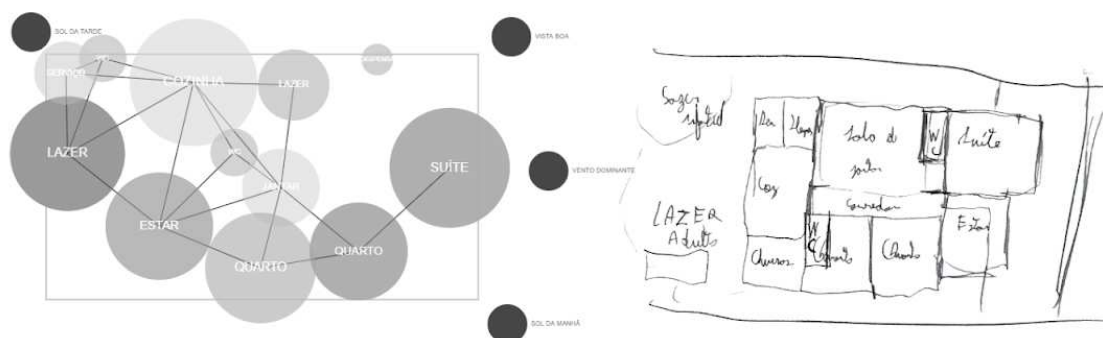
a) Aluno 01



b) Aluno 02



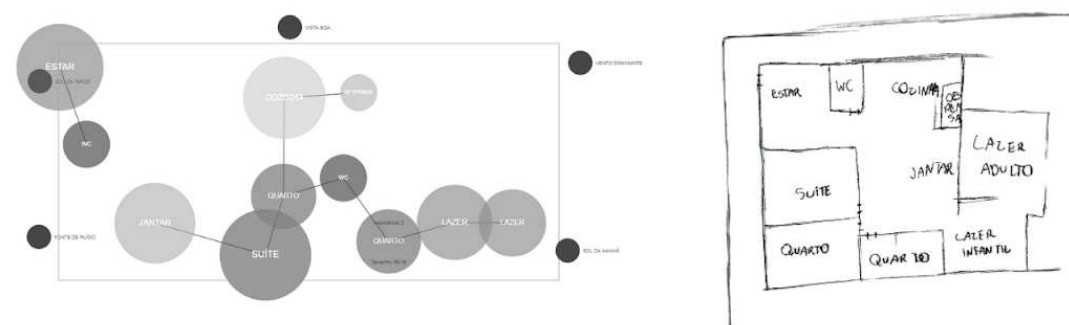
c) Alunos 03 e 04



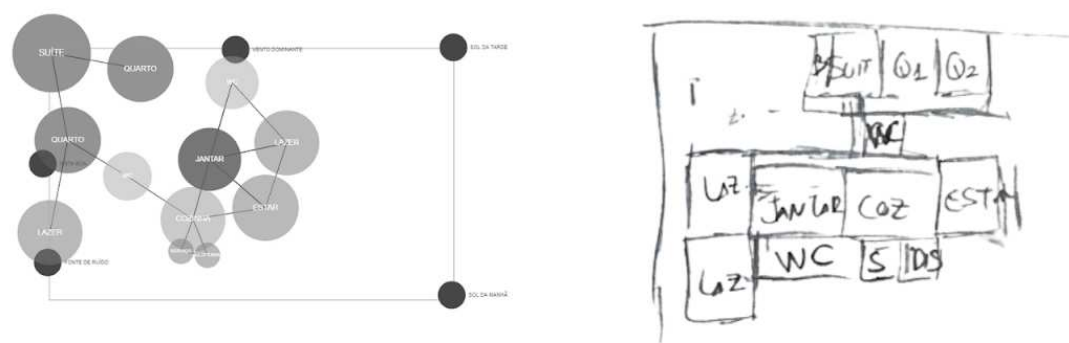
d) Alunos 05 e 06

Fonte: Elaborado pelo autor.

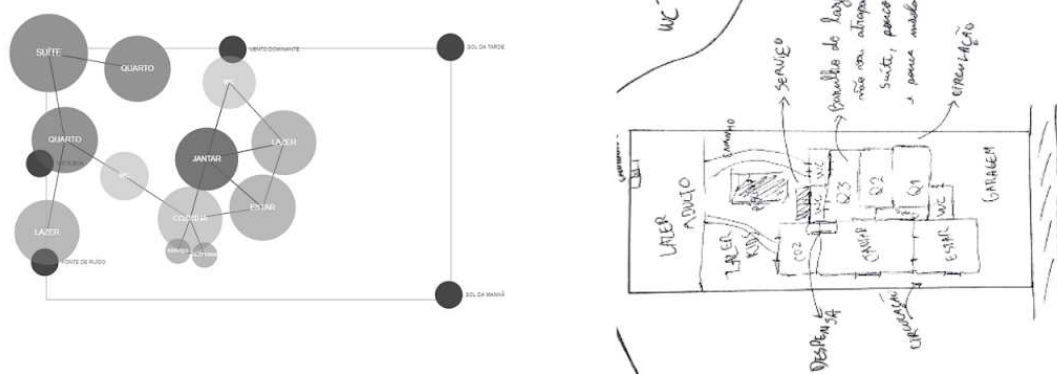
Figura 37 - Diagrama de bolha e respectiva planta baixa feita por alunos



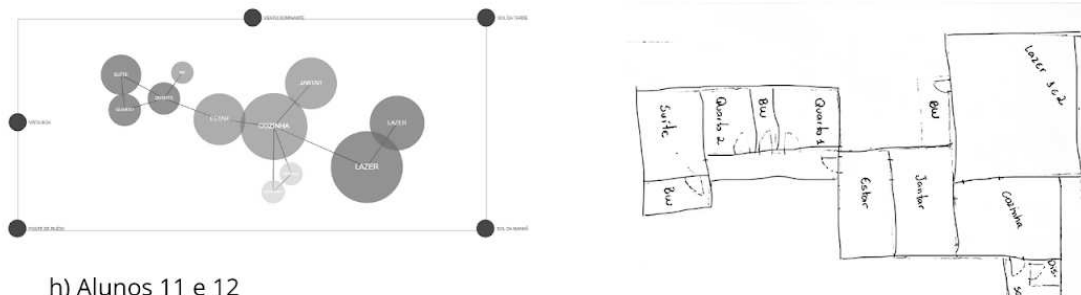
e) Aluno 07



f) Aluno 08



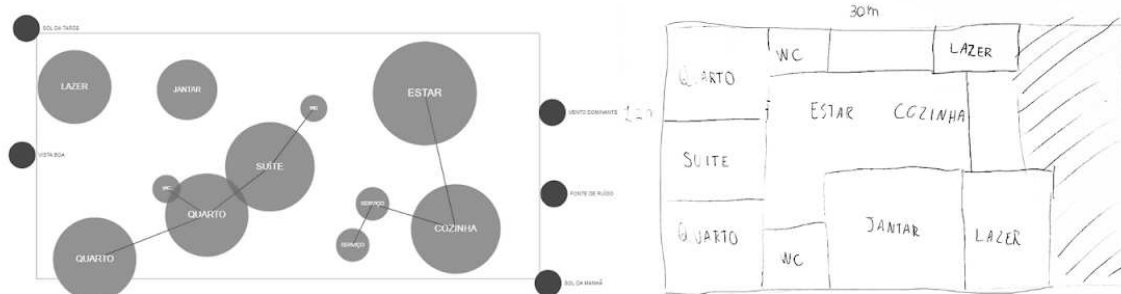
g) Alunos 09 e 10



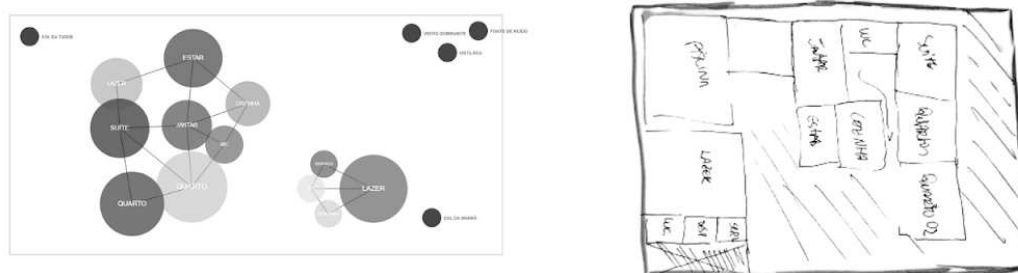
h) Alunos 11 e 12

Fonte: Elaborado pelo autor.

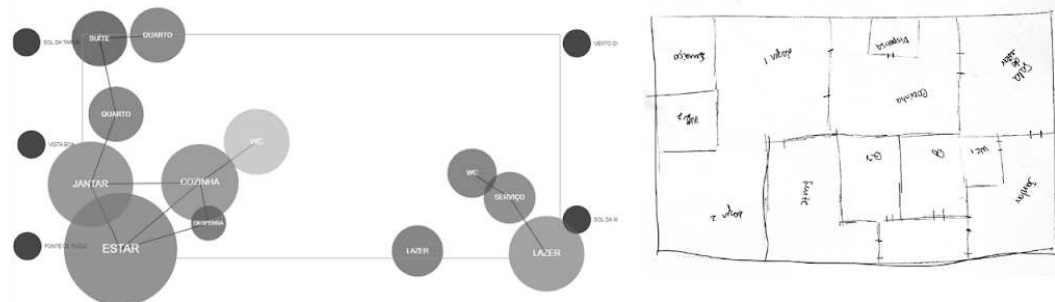
Figura 38 - Diagrama de bolha e respectiva planta baixa feita por alunos



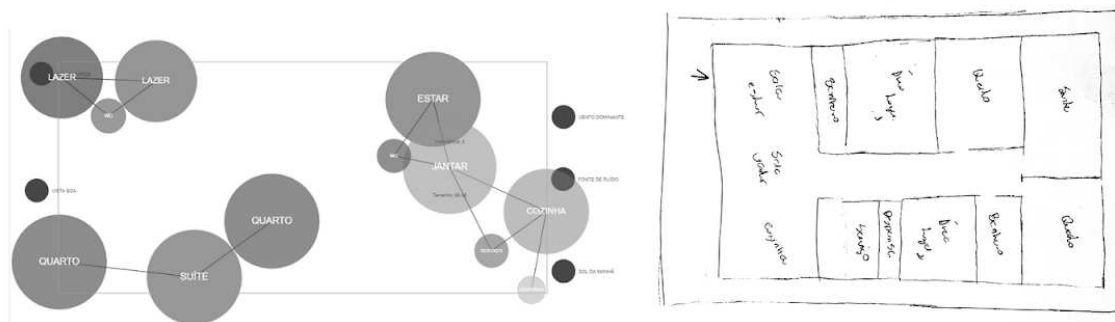
i) Aluno 13



j) Aluno 14



k) Aluno 15



l) Aluno 16

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.4 Análise

As imagens evidenciam uma diversidade de soluções espaciais para o mesmo problema, resultado da multiplicidade de perspectivas e habilidades dos alunos, potencializadas pelo agente computacional. Em vez de direcioná-los para configurações que priorizassem questões quantitativas, a interface incentivou uma exploração espacial especulativa, promovendo uma reflexão sobre configurações ideais de organização espacial para o problema em questão. Como era de se esperar, cada aluno apresentou uma proposta única. Observa-se que alguns alunos, mesmo diante do alto nível de abstração presente no diagrama de bolha gerado, estruturaram suas plantas baixas dentro de um formato predominantemente retangular. Em contraste, outros romperam com essa forma geométrica, explorando arranjos mais dinâmicos, como evidenciado nas Figuras 38a e 39f.

Ressalta-se ainda que os croquis das plantas baixas não correspondem exatamente aos diagramas de bolha escolhidos pelos alunos como nos exemplos dos alunos 02, 03, 04, 05 e 06. Em alguns casos existe uma notável diferença entre a sugestão do agente computacional e o desenho desenvolvido pelo aluno. O aluno 02 (figura 36b), por exemplo, separou os quartos dos ambientes sociais em pavimentos ignorando a sugestão da interface escolhida por ele, que posicionou a suíte adjacente a um banheiro próximo a sala de jantar, e os quartos próximos a sala de estar e cozinha. Os alunos 03 e 04 (figura 36c) escolheram um diagrama em que o quarto é um ponto de conexão entre ambientes, situação perceptível na planta baixa, mas posicionou em locais opostos as áreas de lazer, ignorando a questão ambiental apontada no diagrama. Já o aluno 01 (figura 36a) conseguiu propor uma planta muito próxima da sugestão da interface selecionada por ele. Essa diversidade de situações é observada ao longo dos resultados indicados nas figuras, entretanto, é pertinente apontar que durante a oficina notou-se uma diversidade de interações, desde os que entenderam a proposta de cocriação, até um aluno que tentou utilizar a interface como instrumento para automatizar a representação do seu pensamento já definido previamente para a adjacência espacial. Isso significa que parte pequena desses alunos não utilizaram a interface como parceiro, o que reflete no resultado da planta baixa. De todo modo, essa notável diferença entre diagrama e esboço de planta, demonstra que o diagrama atuou como ponto de partida para o desenvolvimento inicial e viabilidade da proposta projetual, que ainda requer maior refinamento. Dessa forma, o diagrama funciona como um estímulo ao pensamento e não como a representação de uma ideia já formalizada, como esperado. Vale lembrar que os desenhos resultantes são esboços preliminares, realizados em aproximadamente uma hora de interação com a interface. Durante

esse período, os alunos extraíram uma ideia potencial da interface e tentaram amadurecê-la no desenho manual, o que evidencia o caráter exploratório e interpretativo do exercício.

Ao término da oficina, os alunos responderam a um questionário para avaliar sua experiência com a interface e o processo de geração das plantas baixas. As duas primeiras questões foram: em uma escala de 1 a 5, "Quão satisfeito você ficou com a planta baixa desenhada?" e "Você acha que o algoritmo ajudou?". Como ilustrado na imagem a seguir, a média de satisfação para a primeira questão foi de 3,3 e, para a segunda, de 3,4. Em ambos os casos, cinco alunos indicaram um alto nível de satisfação com a planta baixa e consideraram que o agente computacional contribuiu significativamente para o processo de concepção.

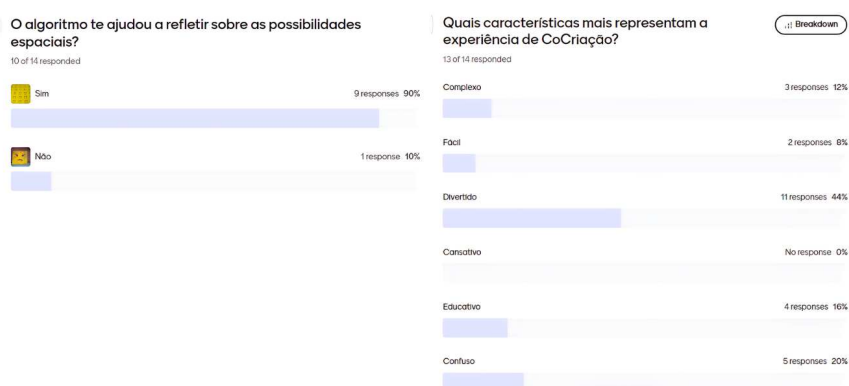
Figura 39 - Questionário pós-oficina



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, os alunos foram perguntados se o agente computacional havia auxiliado na reflexão sobre possibilidades espaciais, e 90% responderam afirmativamente, enquanto 10% responderam negativamente. Na última questão, sobre as características que melhor representavam a experiência de co-criação, os alunos podiam escolher até três dentre seis opções: complexo, fácil, divertido, cansativo, educativo e confuso. O resultado foi distribuído da seguinte forma: 12% classificaram a experiência como complexa, 8% como fácil, 44% como divertida, 0% como cansativa, 16% como educativa e 20% como confusa.

Figura 40 - Questionário pós-oficina



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.5 Discussão

A primeira observação relevante é que, embora a oficina tenha ocorrido em apenas duas horas, um período curto para o amadurecimento completo de uma proposta com um tema pouco recorrente no cotidiano dos estudantes de graduação, os resultados foram satisfatórios. Os pontos observados durante o workshop são significativos e corroboram o desenvolvimento desta tese. Um aspecto notável é que, embora a grande maioria dos alunos não tenha o hábito de trabalhar com o diagrama de bolha, com apenas 20% utilizando-o regularmente, 44% consideraram a dinâmica como divertida, conforme relatado no formulário (figura 40). Além disso, 90% dos alunos indicaram que o agente computacional contribuiu para o processo de desenvolvimento da planta baixa, evidenciando o funcionamento da proposta de cocriação humano-computador, que é o foco desta pesquisa, e da interface Blobs Arquitetônicos. Essa modalidade de cocriação é possível porque os agentes computacionais permitem a interação humana e, simultaneamente, estimulam o pensamento e a intervenção do usuário sobre o que o agente computacional gera. De fato, um diagrama de bolha otimizado não estimularia o raciocínio humano, pois resultaria em um produto baseado em métricas de desempenho, o que limitaria a exploração. A indeterminação presente na interface utilizada pelos alunos exige que o usuário atue como um agente ativo no processo, e não apenas como um reagente. Portanto, os resultados do experimento apontam para a necessidade dos agentes computacionais operarem a partir da contingência e recursividade, como discutido na seção 2.3. O que também se conecta com a falta de clareza de algumas relações entre diagrama e desenho feitos pelos alunos. Como o diagrama é o ponto de partida para a especulação, ao fazer a análise do diagrama, a contingência do aluno atua no processo, transformando uma sugestão preliminar em um resultado mais adequado ao contexto, já que o diagrama não é uma representação de uma solução já definida, mas uma ferramenta de amadurecimento de uma proposta espacial (Sawyer, 1923). Claramente, se tivessem mais tempo, os alunos poderiam manipular e interagir com a interface até extraírem uma solução em formato de diagrama cuja tradução em planta fosse mais clara e objetiva. Por não ser um problema, os fatores que levaram a essa situação não foram devidamente investigados, logo, não serão discutidos neste momento.

Também é relevante observar que uma parte dos alunos classificou a experiência como confusa, o que pode refletir no funcionamento do agente computacional, que se baseia em uma lógica de surpresa e não de automação do trabalho. Essa característica pode ter dificultado a compreensão do processo por parte dos alunos, embora essa parcela seja

pequena, representando apenas 20%, conforme indicado no formulário. Além disso, é interessante notar que apenas 14% dos alunos classificaram a experiência como educativa, o que pode estar relacionado ao fato de que a abordagem utilizada não segue um modelo tradicional de ensino-aprendizagem. Dessa forma, é possível que os alunos não tenham reconhecido o experimento como uma ação educativa. Contudo, ao perceberem que o algoritmo contribuiu para o desenvolvimento do pensamento, é possível argumentar que a experiência, de fato, se configurou como educativa, uma vez que o processo de ensino-aprendizagem foi estimulado.

Em conclusão, o experimento ofereceu uma oportunidade para que os alunos fossem introduzidos a novas possibilidades de criação, especialmente em uma área que se torna cada vez mais relevante e necessária. Como estrutura de apoio à argumentação deste trabalho, a experiência evidenciou os benefícios que os agentes computacionais podem promover ao estimular o raciocínio criativo no processo de projeto de arquitetura, sendo eles: ludicidade no momento de especulação espacial, já que esse momento pode se apresentar como desgastante para os alunos; interatividade e participação entre usuário(s) e interface, os alunos que fizeram em dupla tiveram uma experiência dialógica potencializada, mas os alunos que fizeram sozinhos puderam dialogar com o agente computacional; aumento de repertório, uma vez que a interface apresentava possibilidades negativas ou positivas os alunos puderam avaliar criticamente os resultados, e construir um raciocínio sobre as possibilidades espaciais; e por último, uma aprendizagem ativa centrada no aluno, visto que ele aprende com ele mesmo, analisando e julgando suas interações com o agente computacional.

7 CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve origem em uma inquietação sobre como os agentes computacionais influenciam os processos de criação. Embora as ferramentas digitais já tenham sido amplamente exploradas como auxiliares no desenho, esta investigação partiu de uma perspectiva distinta, voltada para o comportamento autônomo e generativo dos agentes computacionais. A questão central estava em compreender como essas estruturas podem ser integradas à capacidade humana de forma colaborativa. Essa abordagem buscou superar a visão dos agentes computacionais como meras ferramentas, próteses ou extensões (percepções que reforçam seu papel exclusivamente utilitário), propondo sua atuação como parceiros ativos no processo criativo. A partir dessa concepção, emergiu a ideia de cocriação entre humanos e agentes computacionais, que explorou um processo de projeto no qual ambos contribuíram de maneira complementar para a geração de soluções alternativas.

O ambiente da Escola de Belas Artes foi essencial para o desenvolvimento desta pesquisa. Apesar do recorte (a concepção de residências unifamiliares), os principais produtos da tese foram a revisão crítica do processo especulativo do projeto arquitetônico e proposição de fluxo de trabalho que considerou a autonomia dos agentes computacionais como elemento de quebra de paradigmas. As artes, enquanto campo de investigação, oferecem um espaço privilegiado para crítica, exploração e experimentação sem as restrições típicas de outros campos disciplinares. A experiência multidisciplinar do pesquisador também contribuiu para que a pesquisa buscasse, nas artes, respostas às questões levantadas. Essa realidade reafirmou as artes como campo disciplinar que valoriza a experimentação sendo o ponto de partida para a análise crítica e a investigação de questões contemporâneas que moldam nossa sociedade. No contexto dos agentes computacionais autônomos e do uso crítico da tecnologia digital, artistas e pesquisadores das áreas de artemídia, arte digital, vida artificial, arte generativa e poéticas tecnológicas vêm questionando como essas estruturas afetam e moldam nossas vidas, sobretudo quando utilizadas exclusivamente como "automatizadoras" da existência humana, logo, é contextualizada a inserção desta pesquisa no ambiente da Escola de Belas Artes.

Enquanto pesquisa em arte, foi fundamental a descrição do processo, pois é ele que revela o caminho. O resultado é único e individual, mas o processo é uma jornada compartilhada. Assim, descrever como o processo foi conduzido é essencial para potencializar a disseminação das ideias que foram desenvolvidas nesta tese. Entre essas ideias, destacou-se a proposta de cocriatividade entre humanos e agentes computacionais, que não buscou humanizar os agentes computacionais nem mistificá-los, mas reconhecê-los como parceiros

com capacidades e limitações específicas. No contexto da arquitetura (um campo que, apesar de sua proximidade com a arte, frequentemente prioriza a automação e a otimização produtiva), a cocriação oferece possibilidades alternativas. A inclusão de agentes computacionais como cocriadores amplia o potencial especulativo e a exploração de soluções alternativas, permitindo a reconfiguração da criatividade e da cognição humana.

A pesquisa também apresentou contribuições significativas para o ensino de projeto, destacando o potencial pedagógico de agentes computacionais estruturados em contingência e recursividade. Ao desenvolver interfaces que funcionam a partir desses agentes, foi possível observar como estudantes de arquitetura interagiram com eles. Surgiram variadas formas de interação: alguns usuários apreciaram a experiência, enquanto outros não acharam tão interessante. Enquanto a diversidade de opiniões é desejada, ficou evidente o potencial dos agentes computacionais em desenvolver a capacidade crítica e reflexiva dos usuários, apesar de alguns estudantes não terem percebido a interação como educativa. Essa interação configurou uma pedagogia autônoma, na qual o agente computacional estimulou o pensamento crítico do usuário. Por meio dessa interação, o usuário contribuiu para o estabelecimento de expectativas e configurações espaciais, enriquecendo tanto o processo criativo quanto o especulativo.

Sobre o uso dos aplicativos em outros contextos pedagógicos, é relevante informar que as interfaces desenvolvidas são de acesso livre e estão disponibilizadas nos apêndices. O programa de necessidades do projeto, comportamento das células e *blobs* podem ser alterados no código fonte da interface que foi programada em P5.js, uma biblioteca JavaScript de código aberto que facilita a criação de visualizações interativas e interativas no navegador da web, especialmente para artistas, designers e educadores. O registro da tecnologia encontra-se em processo, mas seu código fonte pode ser alterado e utilizado para fins não comerciais.

Em relação aos objetivos definidos para este trabalho, foi observado a necessidade de algum nível de abstração nos resultados gerados pelos agentes computacionais para que aconteça a intervenção humana no processo, e que a criação computacional autônoma foi capaz de introduzir a surpresa (contingência) no processo de criação, resultando na expansão da criatividade e na colaboração entre agentes humanos e artificiais. Por fim, as questões da contingência e da recursividade mostraram-se fundamentais para a construção de agentes computacionais cocriativos. A intervenção humana no processo só é possível quando o resultado gerado pelo agente computacional apresenta-se com algum grau de indeterminação, que por sua vez, só pode ser alcançada em sistemas abertos ao imprevisto e ao contingente.

No entanto, essa abordagem não implicou em uma romantização do evento contingente, mas sim no reconhecimento de que ele pode ser introduzido na prática projetual, como observado nas práticas artísticas onde um evento inesperado incentiva o artista a produzir. Entretanto, no contexto desta pesquisa esse evento inesperado foi intencionalmente ocasionado e não surgiu “por acaso”, já que foi introduzido no processo através de um agente computacional projetado com tal função.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, Christopher. **A City is not a Tree: Parts 1 & 2**. Architectural Forum, v. 122, n. 1, p. 58–62; n. 2, p. 58–61, 1965.
- ABBAGNANO, Nicola. Dicionário de Filosofia. 5ª edição. **Tradução da 1ª edição brasileira coordenada e revisada por Alfredo Bossi**, 2007.
- AHLQUIST, Sean; MENGES, Achim (Ed.). **Computational design thinking**. Wiley, 2011.
- ALMEIDA, Caio Augusto Rabite de Almeida et al. Uso de Mapas Paramétricos como auxílio a Gestão e Planejamento Urbano. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 6, n. 2, p. 260-266, 2019.
- ALMEIDA, Caio Augusto Rabite de; DE CASTO, Lucas Luciano; BRAIDA, Frederico. **Inteligência Artificial e Criatividade na Arquitetura**. Educação Gráfica, Bauru, v. 27, n. 2, p. 254-270, ago. 2023. ISSN 2179-7374. Disponível em: <https://www.educacaografica.inf.br/artigos/inteligencia-artificial-e-criatividade-na-arquitetura-artificial-inteligente-and-creativity-in-architecture>. Acesso em: 31 dez. 2024.
- ANDRESEN, Scott L. John McCarthy: father of AI. **IEEE Intelligent Systems**, v. 17, n. 5, p. 84-85, 2002.
- ARAGHI, Salman Khalili; STOUFFS, Rudi. Exploring cellular automata for high density residential building form generation. **Automation in construction**, v. 49, p. 152-162, 2015.
- BALTAZAR, Ana Paula et al. Noncopyright and the digital interface to support the autonomous production of dwellings. **International Journal of Architectural Computing**, v. 6, n. 3, p. 279-297, 2008.
- BENJAMIN, Walter. **A Obra de Arte na Era de Sua Reprodutibilidade Técnica**. 1935. In: Benjamin, W. Obras Escolhidas, v. 1. Tradução de Sérgio Paulo Rouanet. São Paulo: Brasiliense, 1985.
- BODEN, Margaret A. **The creative mind: myths and mechanisms**. 2a.ed. Londres. Routledge. 2002.
- BOWN, Oliver. Generative and adaptive creativity: A unified approach to creativity in nature, humans and machines. In: **Computers and creativity**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 361-381. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31727-9_14
- BUITEN, Miriam C. Towards intelligent regulation of artificial intelligence. **European Journal of Risk Regulation**, v. 10, n. 1, p. 41-59, 2019. doi:10.1017/err.2019.8
- CABRAL FILHO, José dos Santos. De volta às Origens-Por uma Arquitetura sempre contemporânea. **Topos revista de arquitetura e urbanismo**, v. 2, p. 87-90, 2004.

CABRAL FILHO, José dos Santos. **Digital Art – A Field of Inquiry for Contemporary Architecture**. International Journal of Architectural Computing, v. 3, n. 3, p. 355-372, 2006. Disponível em: <https://papers.cumincad.org/data/works/att/ijac20053306.content.pdf>. Acesso em: 31 dez. 2024..

CASTORIADIS, Cornelius. The Imaginary Institution of Society. **Polity**, 1987.

CELANI, Gabriela; VAZ, Carlos; PUPO, Regiane. Sistemas generativos de projeto: classificação e reflexão sob o ponto de vista da representação e dos meios de produção. **Revista Brasileira de Expressão Gráfica**, v. 1, n. 1, 2013.

CHAILLOU, Stanislas. Archigan: Artificial intelligence x architecture. In: **Architectural Intelligence: Selected Papers from the 1st International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication (CDRF 2019)**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2020. p. 117-127.

CRAGNOLINI, Mónica B. Máscaras sem rosto: Zaratustra como um mestre “pós-nietzschiano”. **Cadernos Nietzsche**, v. 41, p. 9-26, 2020.

CRUZ, Camilo; KARAKIEWICZ, Justyna; KIRLEY, Michael. Towards the implementation of a composite cellular automata model for the exploration of design space. In: **Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) annual conference 2016**. The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), 2016. p. 187-196.

CRIATIVIDADE. Palavras | Origem da Palavra. Disponível em: <https://origemdapalavra.com.br/palavras/criatividade/>. Acesso em: 5 set. 2023.

DA SILVA, Mario Alves; CARLO, Joyce Correna & BOSCO e SILVA, Luciana. Modelagem paramétrica e desempenho da edificação: otimização baseada em simulação luminosa e energética através de agentes computacionais genéticos. **Cadernos PROARQ** 30, v. 126, p. 150-176, 2018.

DAVIS, Nicholas M. **Creative sense-making: A cognitive framework for quantifying interaction dynamics in co-creation**. 2017. Tese de Doutorado. Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA.

DECI, Edward L.; RYAN, Richard M. Intrinsic motivation and self-determination in human behavior. Berlin: Springer Science & Business Media, 1985.

DELTORN, Jean-Marc; MACREZ, Franck. **Authorship in the Age of Machine Learning and Artificial Intelligence**. In: O'CONNOR, Sean M. (ed.). The Oxford Handbook of Music Law and Policy. Oxford University Press, 2019 (Forthcoming). Centre for International Intellectual Property Studies (CEIPI) Research Paper No. 2018-10. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3261329> ou <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3261329>. Acesso em: 31 dez. 2024.

DEVETAKOVIC, Mirjana et al. Les folies cellulaires an exploration in architectural design using cellular automata. In: **12th Generative Art Conference**. 2009. p. 181-192.

DE OLIVEIRA PEDROSA, Aziz José. ADOLF LOOS E A CRISE DO ORNAMENTO. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v. 22, n. 31, p. 26-26, 2015.

DEL CAMPO, Matias. Deep House-datasets, estrangement, and the problem of the new. **Architectural Intelligence**, v. 1, n. 1, p. 12, 2022.

DEL CAMPO, Matias; MANNINGER, Sandra; CARLSON, Alexandra. Imaginary plans. **Ubiquity and Autonomy**, v. 39, 2019.

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

DOS SANTOS CABRAL FILHO, Jose. The ethical implications of automated computation in design. **Kybernetes**, v. 42, n. 9/10, p. 1354-1360, 2013. <https://doi.org/10.1108/K-10-2012-0067>

DUQUE-PEREIRA, Ives da Silva; MOURA, Sérgio Arruda de. **Understanding Generative Artificial Intelligence From The Language Perspective**. SciELO Preprints, 2023. DOI: 10.1590/SciELOPreprints.7077. Disponível em: <https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/7077>. Acesso em: 7 apr. 2024.

DURAND, Jean-Nicolas-Louis. Précis des leçons d'architecture données à l'École royale polytechnique. Paris: Chez l'auteur, 1809.

ESCADOMÊTRO. Disponível em: <http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/escadometro/index.html>. Acesso em: 12 maio. 2024.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia. Saberes necessários à prática educativa**. Rio de Janeiro/ São Paulo: Paz e Terra, 2019.

FLUSSER, Vilém. **O universo das imagens técnicas: elogio da superficialidade**. Imprensa da Universidade de Coimbra/Coimbra University Press, 2012.

FORTIN, G. BUBBLE: **relationship diagrams using iterative vector approximation**. In: DESIGN AUTOMATION CONFERENCE (DAC), 15., 1978, Las Vegas. Anais... New York: IEEE, 1978. p. 94–100. DOI: 10.1109/DAC.1978.1585161.

FOSTER, Hal. **O Complexo Arte-Arquitetura** [The Art-Architecture Complex]. São Paulo, BR: Ubu, 2015.

FRIEDMAN, Yona. The Flatwriter: choice by computer. **Progressive architecture**, v. 3, n. 71, p. 98-101, 1971.

GAMBARDELLA, Camilo Cruz; MCCORMACK, Jon. Searching for designs in-between: exploration of design space using a 3D printing-inspired evolutionary system. In: **Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) annual**

conference 2021. The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), 2021. p. 111-120.

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

GOMES, Maria Cecília Rocha Couto et al. Parametrização para além do processo de projeto: experimentando aberturas para interação. In: **Congresso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

GRAHAM, Ronald; KNUTH, Donald; PATASHNIK, Oren. 1. Recurrent problems. **Concrete mathematics: A foundation for computer science**, p. 670, 1994.

GU, Ning; AMINI BEHBAHANI, Peiman. A critical review of computational creativity in built environment design. **Buildings**, v. 11, n. 1, p. 29, 2021. <https://doi.org/10.3390/buildings1101009>

HADZOVIC, Suada; MRDOVIC, Sasa; RADONJIC, Milutin. A Path Towards an Internet of Things and Artificial Intelligence Regulatory Framework. **IEEE Communications Magazine**, 2023. doi: 10.1109/MCOM.002.2200373.

HERDEG, Klaus. **The decorated diagram: Harvard architecture and the failure of the Bauhaus legacy**. Cambridge: The MIT Press, 125 p., 1983.

HEYLIGHEN, Francis; JOSLYN, Cliff. Cybernetics and second-order cybernetics. **Encyclopedia of physical science & technology**, v. 4, p. 155-170, 2001.

HILLIER, Bill; HANSON, Julianne. **The social logic of space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

HILLIER, Bill; HANSON, Julianne. **The social logic of space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

HOFFMANN, Oliver. On modeling human-computer co-creativity. In: **Knowledge, Information and Creativity Support Systems: Selected Papers from KICSS'2014-9th International Conference, held in Limassol, Cyprus, on November 6-8, 2014**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 37-48.

HOFFMANN, O. On understanding human-computer co-creativity. In: **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. p. 10-14.

HOSMER, Tyson et al. Integrated reconfigurable autonomous architecture system. In: **Proceedings of the 42nd Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture: Distributed Proximities, ACADIA 2022**. Acadia <https://2022.acadia.org/>, 2022. p. 1-14.

HU, Ruizhen; HUANG, Zeyu; TANG, Yuhan; VAN KAICK, Oliver; ZHANG, Hao; HUANG, Hui. **Graph2Plan: learning floorplan generation from layout graphs**. *ACM Transactions on Graphics*, v. 39, n. 4, p. 1–6, 2020. DOI: 10.1145/3386569.3392391.

HUA, Hao, & JIA, Ting-li. Floating Bubbles: **An agent-based system for layout planning**. Anais do 15º congresso CAADRIA, 2010, p.175-183.

HUI, Yuk. **Recursivity and contingency**. Rowman & Littlefield, 2019.

HUI, Yuk. **The question concerning technology in China: An essay in cosmotechnics**. mit Press, 2019b.

HUI, Yuk. Tecnodiversidade. Trad. **Humberto do Amaral**. São Paulo: Ubu Editora, 2020.

HUI, Yuk. **Art and cosmotechnics**. U of Minnesota Press, 2021.

HUI, Yuk. ChatGPT, or the Eschatology of Machines. **E-Flux**, n. 137, 2023a.
<https://www.e-flux.com/journal/137/544816/chatgpt-or-the-eschatology-of-machines/>

HUI, Yuk. Sketch of an Axiology of Contingency. **Angelaki**, v. 28, n. 3, p. 163-171, 2023b.
DOI: 10.1080/0969725X.2023.2216558

HUI, Yuk. Imagination and the infinite—A critique of artificial imagination. **Balkan Journal of Philosophy**, v. 15, n. 1, p. 5-12, 2023c.

ILSAR, Alon; HUGHES, Matthew. A new audio-visual gestural instrument for unlocking creativity. In: **Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. 2020. p. 1-4.<https://doi.org/10.1145/3334480.3383160>

KANT, Immanuel. **Fundamentação da metafísica dos costumes**. Tradução de Inês A. Lohbauer. 1. ed. São Paulo: Martin Claret, 2019. 112 p. ISBN 8544001998.

KAPP, Silke; NASCIMENTO, Denise Morado. SISTEMA IDA: INFORMAÇÃO COLABORATIVA PARA A PRODUÇÃO AUTÔNOMA. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 2, n. 2, p. 68–80, 2007. DOI: 10.4237/gtp.v2i2.43. Disponível em: <https://revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50920>.. Acesso em: 23 dez. 2024.

KAPP, Silke ; BALTAZAR DOS SANTOS, Ana Paula . The Paradox of Participation: A Case Study on Urban Planning in Favelas and a Plea for Autonomy. **Bulletin of Latin American Research**, v. 1, p. no-no, 2012.

KAPP, Silke ; BALTAZAR DOS SANTOS, Ana Paula ; MORADO, Denise. Architecture as critical exercise: little pointers towards alternative practices. **Field (Sheffield)**, v. 2, p. 1-24, 2008.

KOWALTOWSKI, Doris CCK; BIANCHI, Giovana; DE PAIVA, Valéria Teixeira. Methods that may stimulate creativity and their use in architectural design education. **International Journal of Technology and Design Education**, v. 20, p. 453-476, 2010.
<https://doi.org/10.1007/s10798-009-9102-z>

KRAWCZYK, Robert J. Architectural interpretation of cellular automata. In: **The 5th International Conference on Generative Art**. 2002. p. 7.1-7.8.

KNIGHT, T. Palestra sobre “Shape Grammars: visual computing”, proferida na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Unicamp, Campinas, 2011.

LAGEAR UFMG. App Esgoto: aplicativo para informar a escolha de sistemas de coleta e tratamento de esgoto rurubano. Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=qw-0SmlbOBc>>. Acesso em: 19 maio. 2024.

LEE, Youngjin; KIM, Seung Hyun. Algorithmic design paradigm utilizing cellular automata for the han-ok. **Nexus Network Journal**, v. 18, p. 481-503, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00004-016-0292-x>

LIMA, Fernando; COSTA, Frederico Ribeiro; ROSA, Ashiley. Lógica algorítmica-paramétrica e urbanismo: uma revisão teórica e de modelos computacionais para projetos urbanos:. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 15, n. 2, p. 84-97, 2020

LLACH, Daniel Cardoso. Sculpting spaces of possibility. In: As, Imdat; Basu, Prithwish (Ed.). **The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture**. Routledge, p. 15 -28, 2021.

LEE, Yi-Chin; LLACH, Daniel Cardoso. Hybrid embroidery: exploring interactive fabrication in handcrafts. In: **ACM SIGGRAPH 2020 Art Gallery**. 2020. p. 429-433.

LOVINK, Geert. Cybernetics for the Twenty-First Century: An Interview with Philosopher Yuk Hui. 2019.

LUCARELLI, caio de carvalho ; CARLO, Joyce Correna ; MARTINEZ, andressa carmo pena . Simulation-based optimization for an origami-shaped canopy. **PARC : PESQUISA EM ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO**, v. 11, p. e020013, 2020.

LUEDER, Christoph. Diagram ecologies-diagrams as science and game board. In: **Diagrammatic Representation and Inference: 7th International Conference**, Diagrams 2012, Canterbury, UK, July 2-6, 2012. Proceedings 7. Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 214-232.

MACHADO, Arlindo. **Arte e mídia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008.

MALARD, Maria Lucia; MONTEIRO, Gabriel Malard. O desenvolvimento da criatividade no ensino de projeto: qualquer exercício serve? In: **ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO (ANPARQ), 4., 2016, Porto Alegre**. Anais... Porto Alegre: ANPARQ, 2016. p. 17.

MARTINS, Fábio Duarte. *A forma e a função*. 2011. 39 p. Dissertação (Mestrado em Estudos de Arte) — Faculdade de Belas Artes, Universidade do Porto, 2011.

MANOVICH, Lev. **The Language of New Media**. Cambridge: The MIT Press, 2001.

MCCORMACK, Jon. Open problems in evolutionary music and art. In: **Workshops on Applications of Evolutionary Computation**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005. p. 428-436.

MENEGUELLO, Cristina. Entre arte e técnica: Thomas Hardy e a profissão de arquiteto no século XIX. **Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online)**, n. 1, p. 4-15, 2003.

MITCHELL, Melanie. **Artificial intelligence: a guide for thinking humans**. 1. ed. New York: Oxford University Press, 2019. 368 p.

MITCHELL, William J. The theoretical foundation of computer-aided architectural design. **Environment and planning b: planning and design**, v. 2, n. 2, p. 127-150, 1975.

MOM.ARQ.UFMG. 10 Arquitetos: apresenta. Disponível em: http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/10_arquitetos/arq_apresenta.htm. Acesso em: 12 jul. 2024.

MUSEUM OF MODERN ART. Cedric Price. Disponível em: <https://www.moma.org/collection/works/1076>. Acesso em: 12 jul. 2024.

MOYER, Ilan E. et al. Throwing Out Conventions: Reimagining Craft-Centered CNC Tool Design through the Digital Pottery Wheel. In: **Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. 2024. p. 1-22.

WEINZAPFEL, George; NEGROPONTE, Nicholas. **Architecture-by-Yourself: an experiment with computer graphics for house design**. Computer Graphics (SIGGRAPH), v. 10, n. 2, p. 74–78, 1976. DOI: 10.1145/965143.563290.

NOBBS, Percy Erskine. Design: a treatise on the discovery of form. 1937.

PALLADIO, Andrea. **The Four Books of Architecture**. Boston: The MIT press, 2002 (or. 1570).

PEDROSA, Mario. Arquitetura: ensaios críticos (organização de Guilherme Wisnik). **São Paulo: Cosac Naify**, 2016.

PICON, Antoine. Dwelling in the Digital Age: Imagination, Experience, and Subjectivity. **FOOTPRINT**, v. 17, n. 1, p. 11-22, 2023.

RAJCIC, Nina; MCCORMACK, Jon. Mirror ritual: An affective interface for emotional self-reflection. In: **Proceedings of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems**. 2020. p. 1-13.

REHM, M. Casey. Complicit: The Creation Of and Collaboration With Intelligent Machines. **Architectural Design**, v. 89, n. 2, p. 94-101, 2019.

RIBEIRO, Darcy. *Oscar Niemeyer faz esboço do Congresso Nacional durante Aula Magna da UnB, em 1985*. Facebook, 2024. Disponível em: <https://www.facebook.com/100081021836026/photos/454823657228358/>. Acesso em: 31 dez. 2024..

RILEY, Terence et al. The changing of the avant-garde: visionary architectural drawings from the Howard Gilman collection. Museum of Modern Art, 2002.

ROCHA, Maria Cecília; BALTAZAR, Ana Paula; ARRUDA, Guilherme; CABRAL FILHO, José; MARQUES, Luís Henrique; DINIZ, Luíza; LIMA, Mariana; STRALEN, Mateus Van. Parametrização para além do processo de projeto: experimentando aberturas para interação. In: **Actas del XX Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital**. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2016.

RUCH, J. **Interactive Space Layout: A Graph Theoretical Approach**. In: DESIGN AUTOMATION CONFERENCE, 15., 1978, Las Vegas. Anais [...]. Las Vegas: IEEE, 1978. p. 152–157. DOI: 10.1109/DAC.1978.1585162.

RUTTEN, J.; HOLLAND, A.; ROUDAVSKI, S. Plants as Designers of Better Futures: Can Humans Let Them Lead?. **Plant Perspectives**, [S. l.], 2024. DOI: 10.3197/whppp.63845494909729. Disponível em: <https://www.whp-journals.co.uk/PP/article/view/1006>. Acesso em: 25 jul. 2024.

RYBCZYNSKI, Witold. **La casa. Historia de una idea**. Editorial Nerea, 1989.

SAKIYAMA, Nayara RM et al. Building optimization through a parametric design platform: Using sensitivity analysis to improve a radial-based algorithm performance. **Sustainability**, v. 13, n. 10, p. 5739, 2021.

SAWYER, Philip. The Planning of Banks. In: **Architectural Forum**. 1923. p. 263-272.

SCHNEIDER, Sven; FISCHER, Jan-Ruben; KÖNIG, Reinhard. Rethinking automated layout design: developing a creative evolutionary design method for the layout problems in architecture and urban design. In: **Design computing and cognition'10**. Springer Netherlands, 2011. p. 367-386.doi:10.1007/978-94-007-0510-4_20.

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

SHIFFMAN, Daniel. **The nature of code**. San Francisco: No Starch Press, 2024. ISBN 978-1-7185-0370-0.

SHKLOVSKY, V. "Art as Technique". In: NEWTON, K. M. (ed.). **Twentieth-Century Literary Theory**. Palgrave, London, 1997, p. 3-5.
https://doi.org/10.1007/978-1-349-25934-2_1.

SILVA, André; BERGAMO, Marilia Lyra. Design De Superfície Generativo: Chatgpt E P5.Js Como Ferramentas De Ensino. In: **Anais Graphica 2024: XV International Conference on**

Graphics Engineering for Arts and Design. Anais...Pelotas(RS) Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul) | Câmpus Pelotas, 2024. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/graphica-430628/819678-DESIGN-DE-SUPERFICIE-GENERATIVO--CHATGPT-E-P5JS-COMO-FERRAMENTAS-DE-ENSINO>. Acesso em: 22/12/2024

SILVA, Nuno Sousa e. Inteligência artificial e propriedade intelectual: está tudo bem? In: **I Congresso Inteligência Artificial e Direito-Atas da Conferência**. Leya, 2023. p. 201.

SILVA, Robson Canuto; AMORIM, Luiz M. do E. Urbanismo paramétrico: emergência, limites e perspectivas de nova corrente de desenho urbano fundamentada em sistemas de desenho paramétrico. **Revista do Nomads**. usp, v. 3, 2010.

SIMONDON, Gilbert. **Relaciones entre el pensamiento técnico y otras**. In G. Simondon. El modo de existencia de los objetos técnicos. Prometeo Libros Editorial, 2007.

SIMONDON, Gilbert. **Du mode d'existence des objets techniques**. Paris: Aubier, 1958.

SMUHA, Nathalie A. From a 'race to AI' to a 'race to AI regulation': regulatory competition for artificial intelligence. **Law, Innovation and Technology**, v. 13, n. 1, p. 57-84, 2021. DOI: 10.1080/17579961.2021.1898300

SOUTO, Ana Elisa; DE CONTO, Vanessa. Abordagem contemporânea para ensino e aprendizagem de projeto arquitetônico: os meios analógicos, digitais e sua relação na formação e atuação do arquiteto. **PIXO-Revista de Arquitetura, Cidade e Contemporaneidade**, v. 4, n. 15, 2020.

STIEGLER, Bernard. **Technics and time, 1: The fault of Epimetheus**. Stanford University Press, 1998.

STINY, George. Introduction to shape and shape grammars. **Environment and planning B: planning and design**, v. 7, n. 3, p. 343-351, 1980.

TEDESCO, Elaine. Instalação: campo de relações. **Revista Prâxis**, v. 1, p. 19-24, 2007. <https://doi.org/10.25112/rp.v1i0.593>

VELOSO, Pedro Luís Alves; "Explorando o diagrama de bolhas", p. 115-119 . In: **Proceedings of the XVIII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics: Design in Freedom** [=Blucher Design Proceedings, v.1, n.8]. São Paulo: Blucher, 2014. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/despro-sigradi2014-0019

VENTURELLI, Suzete. Arte computacional: interface, interatividade e complexidade. **Revista VIS: Revista do Programa de Pós-Graduação em Artes Visuais**, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 415–424, 2017. DOI: 10.26512/vis.v16i2.20763. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/revistavis/article/view/20763>. Acesso em: 11 jun. 2025.

VOJDANZADEH, Ladan. Nanotechnology Applications in Architecture. **Armanshahr Architecture & Urban Development**, v. 7, n. 13, p. 137-149, 2015.

WEBER, Ramon Elias; MUELLER, Caitlin; REINHART, Christoph. Automated floorplan generation in architectural design: A review of methods and applications. **Automation in Construction**, v. 140, p. 104385, 2022.

WIENER, Norbert. "CYBERNETICS." *Scientific American*, v. 179, n. 5, p. 14–19, 1948. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/24945913>. Acesso em: 31 dez. 2024.

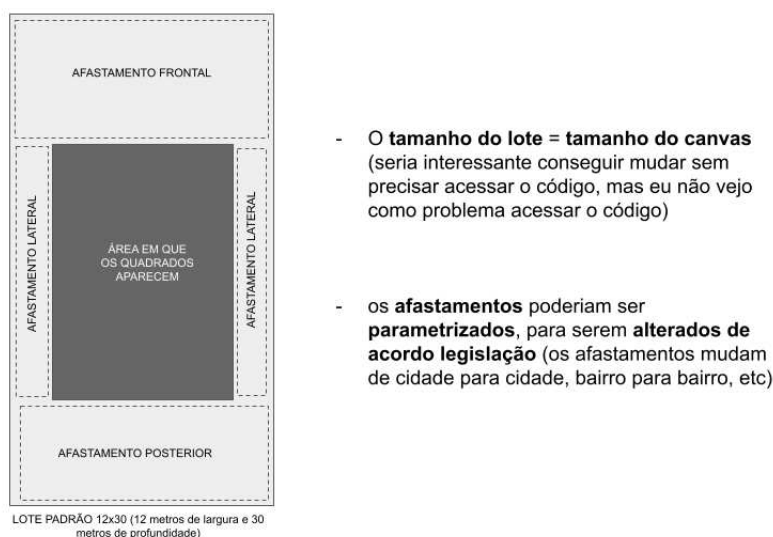
WOLFRAM, Stephen. **A new kind of science**. Champaign, Illinois: Wolfram Research, 2002

WOTTON, Henry Sir. **The elements of architecture**. London: Printed by Iohn Bill, 1624. Disponível em: <https://archive.org/details/architectureelem00wott>. Acesso em: 8 jun. 2025.

APÊNDICE 1

Para a construção do autômato celular foi elaborado um estudo visando entender quais eram as expectativas para o agente computacional. Neste estudo foram definidas as informações essenciais como os afastamentos e o comportamento de cada célula sendo ela espaço vazio, social ou privado. Da figura 41 à 47 é possível observar o comportamento esperado para o funcionamento do sistema e de cada célula agindo nele. Claramente, um autômato celular possui limitações e o agente computacional não funciona exatamente como descrito nas imagens abaixo, entretanto, esse estudo foi fundamental para sua criação.

Figura 41 - Estrutura base para o sistema

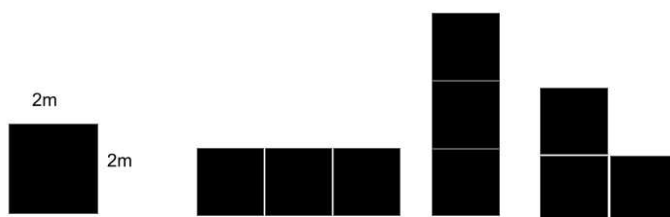


Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 42 - Comportamento esperado para as células vazias

Quadrado preto = espaço vazio 15%

São espaços não construídos na volumetria da edificação. Aqui serão representados por quadrados pretos. (áreas de respiro, jardins internos e/ou externos, pátios, varandas, circulação, recursos estéticos para quebra de volumetria como espelhos d'água)

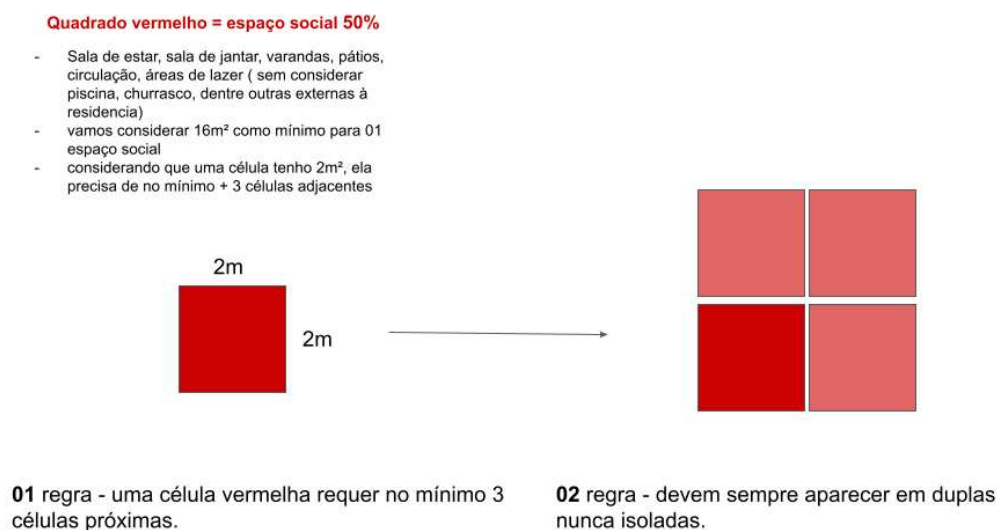


01 regra - 01 célula preta requer no mínimo 02 células próximas. **02** regra - nunca devem aparecer isoladas.

03 regra - nunca devem aparecer mais de 04 células juntas.

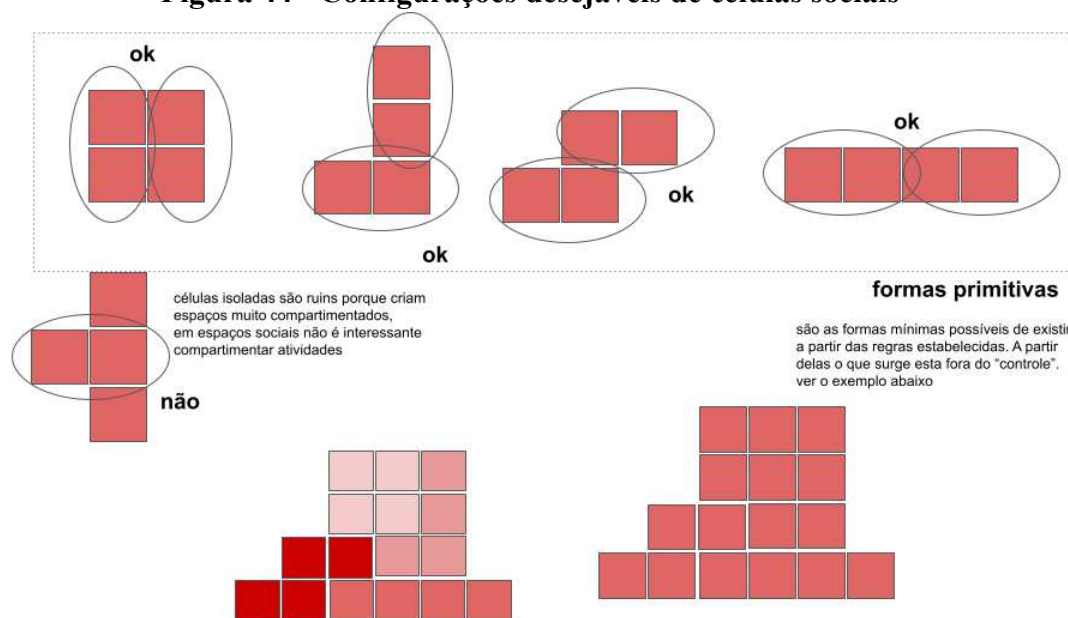
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 43 - Comportamento esperado para as células sociais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44 - Configurações desejáveis de células sociais

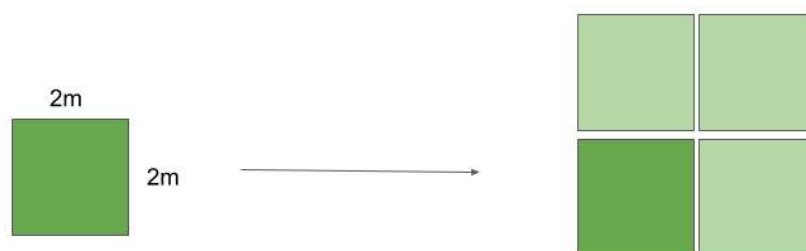


Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 45 - Comportamento esperado para as células sociais

Quadrado verde = espaço privado 35%

- (quartos, banheiros, escritórios, dentre outros)
- vamos considerar 16m² como mínimo para 01 espaço social
- considerando que uma célula tenha 2m², ela precisa de no mínimo + 03 células adjacentes

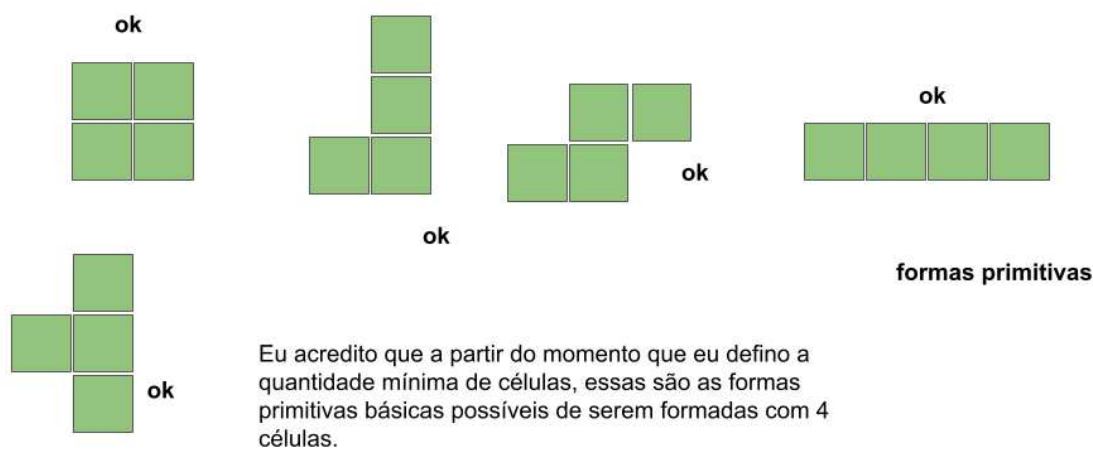


01 regra - uma célula vermelha requer no mínimo 3 células próximas.

02 regra - diferentes das células vermelhas, elas podem aparecer sem ser em duplas.

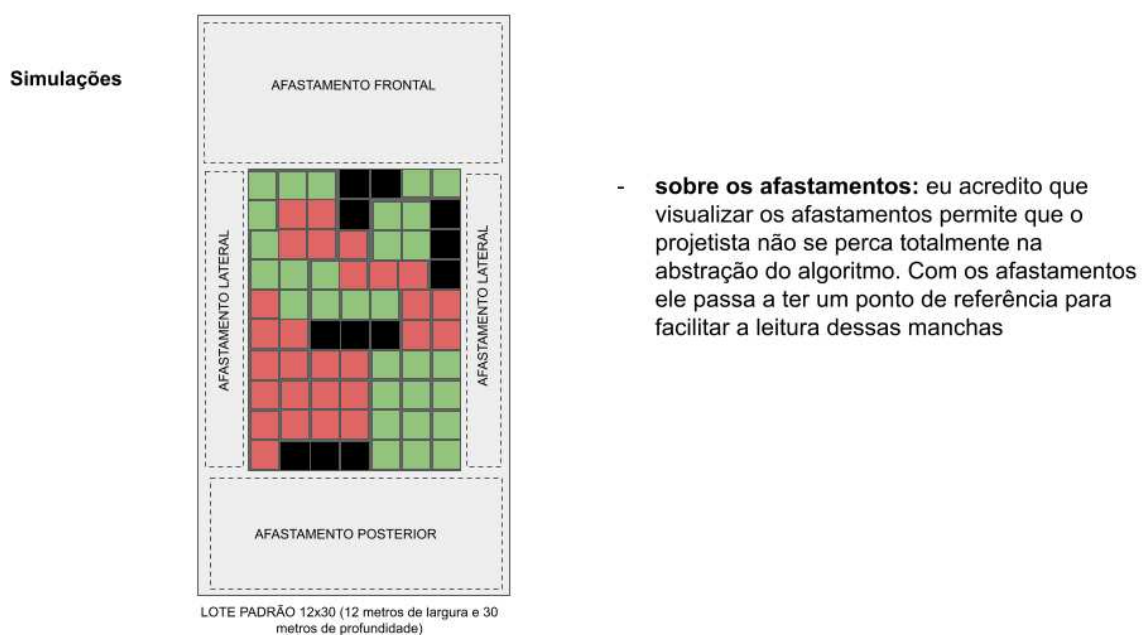
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 46 - Configurações desejáveis de células privadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

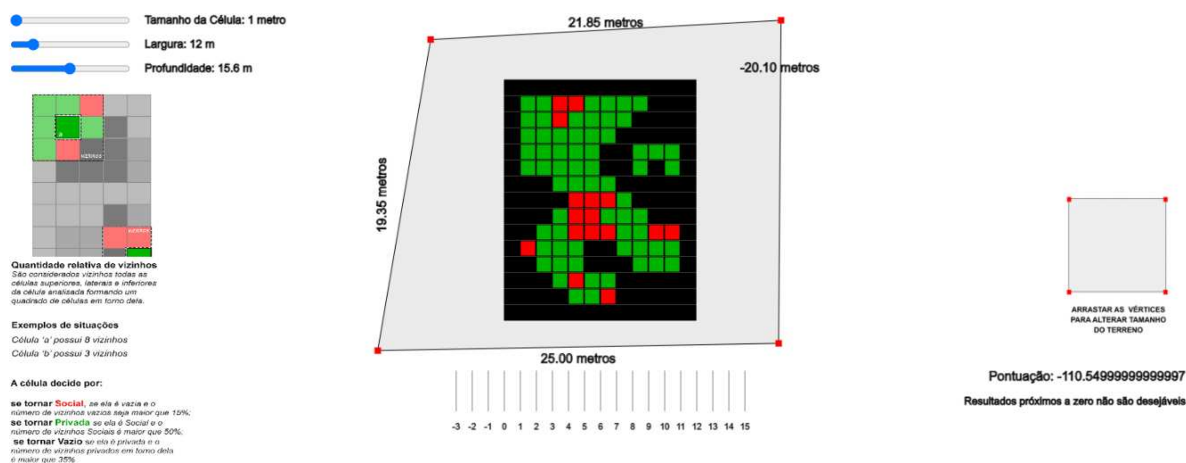
Figura 47 - Simulação do funcionamento do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após os resultados apresentados no capítulo 4 foi elaborada a interface da figura 48. Nela foram integradas todas as variáveis de tamanho de células em um único sistema, junto da possibilidade de alterar o tamanho da área de ocupação das células e o tamanho do terreno.

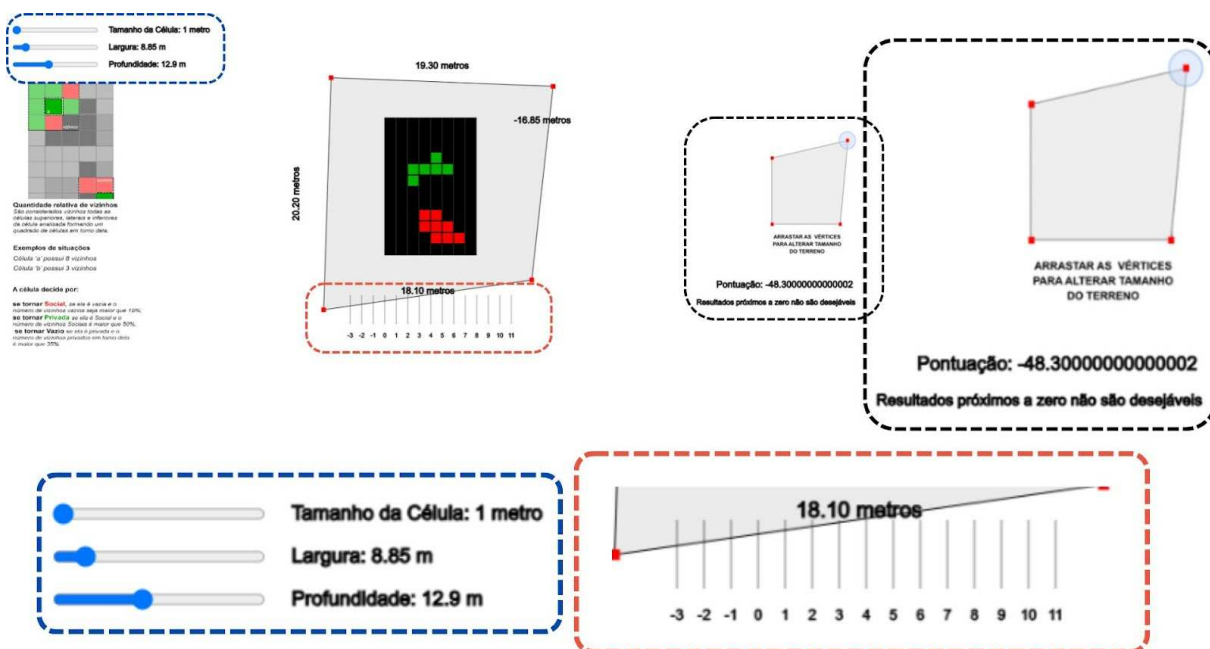
Figura 48 - Interface



Fonte: Elaborado pelo autor. Disponível: <https://openprocessing.org/sketch/1978527>

Na figura 49 circulada de azul está a parte da interface que permite alterar o tamanho das células entre 1, 2 e 3 metros, assim como a largura e profundidade da área de ocupação das células. Circulada de vermelho, pode ser observada uma escala gráfica em metros que guia visualmente o tamanho da área de ocupação das células. Por último, circulado de preto estão, um *gif* que ilustra o funcionamento do ajuste do terreno e uma pontuação para a mancha gerada. O lote pode ser alterado clicando nos quadrados vermelhos e arrastando-os para a posição de interesse, próximo das linhas que marcam os limites do terreno é indicado o tamanho em metros. Já a pontuação indica a proximidade da mancha gerada com o comportamento desejado descrito no início da seção “4.2 Tomada de Decisão Contingente das Células”. Foi escrita uma função de avaliação com base naqueles parâmetros e os resultados próximos a zero são indesejados.

Figura 49 - Detalhes de usabilidade



Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE 2

Neste apêndice, são apresentadas as imagens e os resultados do teste de funcionamento desenvolvido logo após a codificação inicial do comportamento dos *blobs*. Este teste foi essencial para o ajuste e aprimoramento da interface do usuário, bem como para a verificação das funcionalidades básicas do sistema. O objetivo principal do teste foi validar o comportamento dos *blobs* conforme o planejado na fase de criação. Além disso, buscou-se identificar possíveis problemas e áreas que necessitavam de refinamento, garantindo que a aplicação funcionasse conforme o esperado antes de avançar para etapas mais complexas do desenvolvimento.

A metodologia foi estabelecida em três etapas: configuração inicial (codificação dos *blobs* com comportamento básico de movimento e colisão e implementação de uma interface simples para visualizar a interação entre os *blobs*); execução do teste (criação de um cenário de teste com múltiplos *blobs* para observar interações, registro das posições iniciais e das trajetórias dos *blobs* e verificação das colisões e das reações dos *blobs* ao se aproximarem uns dos outros) e por último; coleta de dados (captura de imagens em diferentes estágios do teste para documentar o comportamento dos *blobs*, e análise dos padrões de movimento e ajuste de parâmetros conforme necessário) como pode ser observados nas figuras 50 à 57.

Figura 50 - Teste de funcionamento

TESTE DE FUNCIONALIDADE

01 - PARA O TESTE, TODOS OS BLOBS POSSUEM O MESMO PESO.

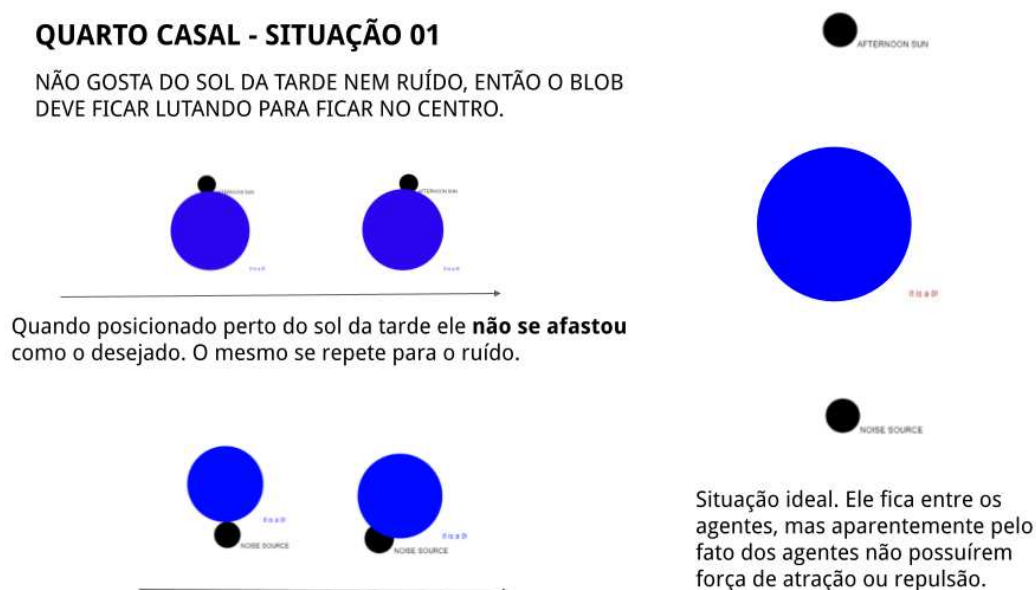
02 - OBJETIVO DESTE PRIMEIRO TESTE É AVALIAR O MOVIMENTO DE ATRAÇÃO E REPULSÃO ENTRE OS BLOBS E OS ELEMENTOS EXTERNOS AO PEQUENO MUNDO.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 51 - Teste de funcionamento

QUARTO CASAL - SITUAÇÃO 01

NÃO GOSTA DO SOL DA TARDE NEM RUÍDO, ENTÃO O BLOB DEVE FICAR LUTANDO PARA FICAR NO CENTRO.

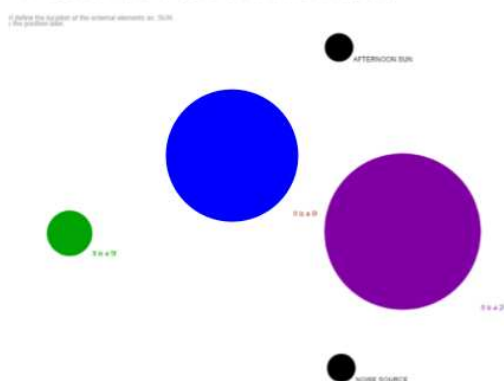


Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 52 - Teste de funcionamento

QUARTO CASAL - SITUAÇÃO 02

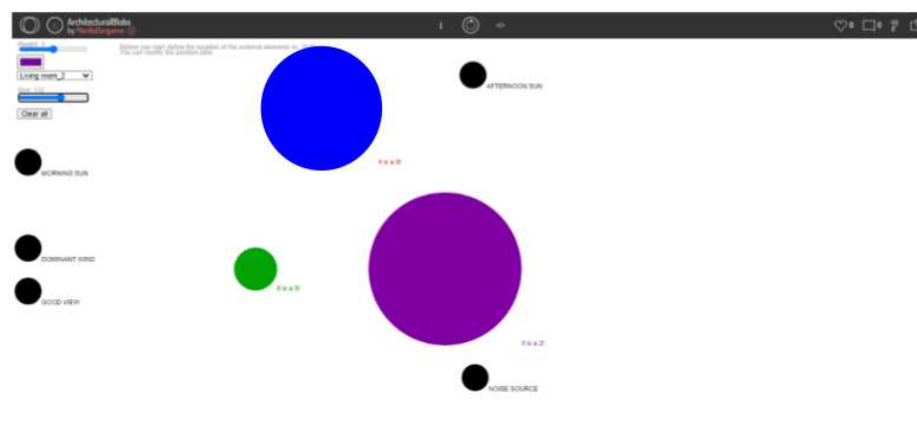
NÃO SE DÁ BEM COM A FAMÍLIA ROXA E GOSTA DA FAMÍLIA VERDE, ENTÃO O BLOB DEVE AFASTAR DA SALA E SE APROXIMAR DO BANHEIRO, EVITANDO SE APROXIMAR DO SOL DA TARDE E RUÍDO



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 53 - Teste de funcionamento

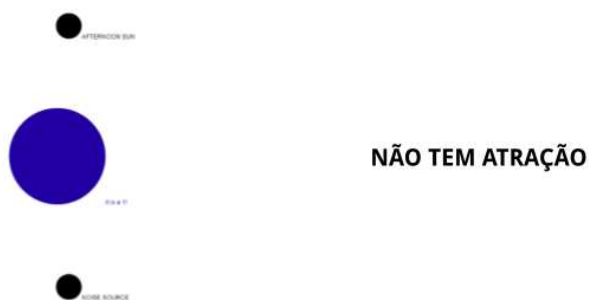
COMO A FAMÍLIA ROXA É INDIFERENTE PRO SOL DA TARDE E PRO RUÍDO, E GOSTA DA FAMÍLIA VERDE, ELA SE APROXIMA DA FAMÍLIA AZUL AO TENTAR SE APROXIMAR DA VERDE. NESTE MOVIMENTO A FAMÍLIA AZUL TENTA SE APROXIMAR DO VERDE E, AO MESMO TEMPO, SE AFASTAR DO ROXO, DO SOL DA TARDE E DO RUÍDO, CRIANDO ESSE TRIÂNGULO ESTÁVEL.



Fonte: Elaborado pelo autor.

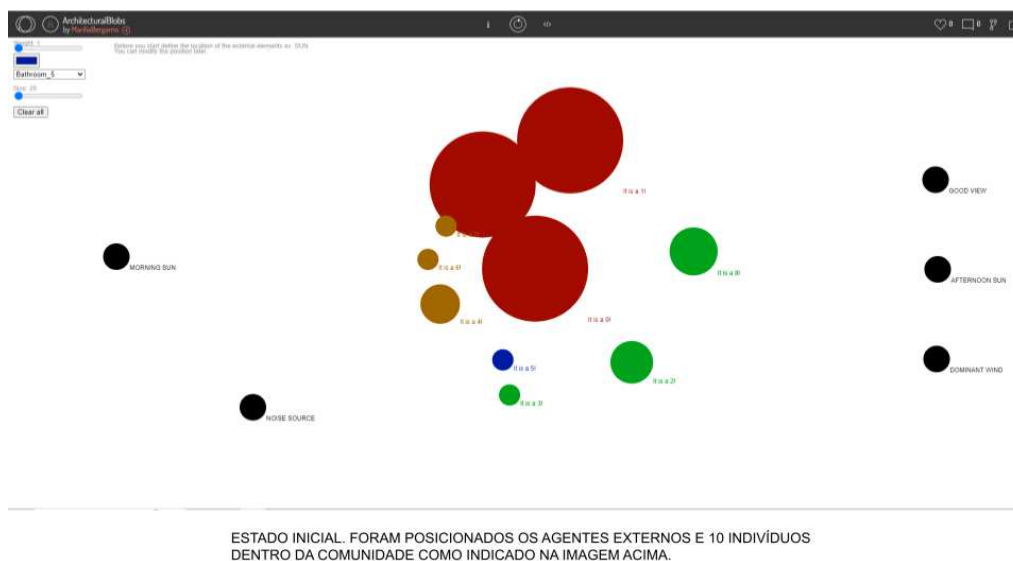
Figura 54 - Teste de funcionamento

QUARTOS - SÃO AS MESMAS CARACTERÍSTICAS DO QUARTO DE CASAL ENTÃO É OBSERVADO O MESMO COMPORTAMENTO



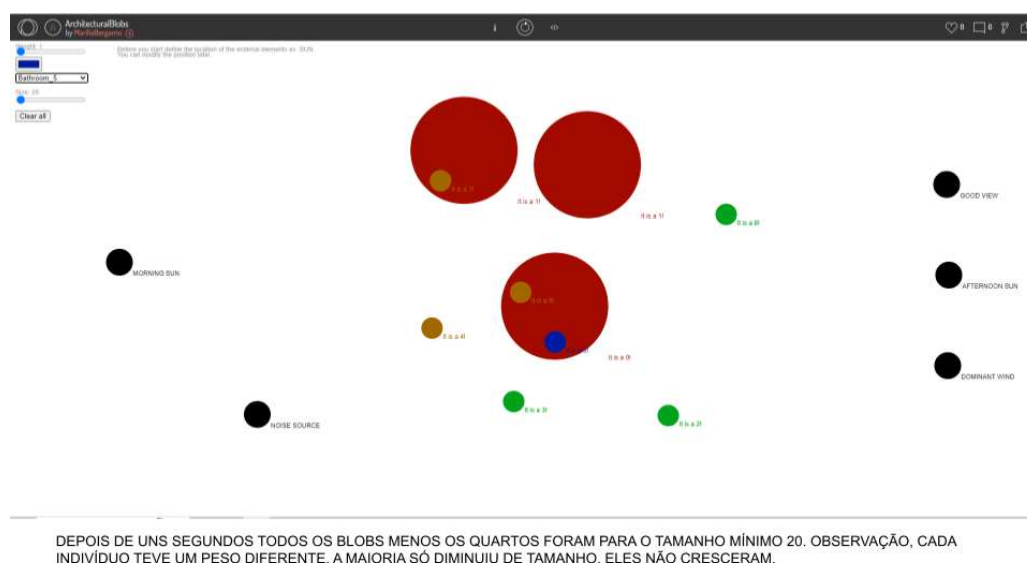
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 55 - Teste de funcionamento



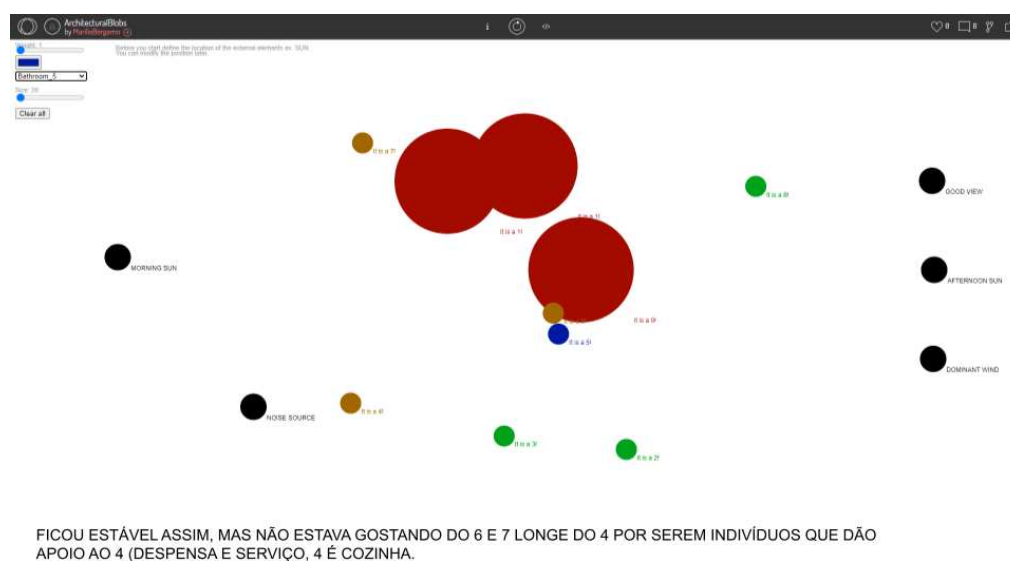
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 56 - Teste de funcionamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 57 - Teste de funcionamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados do teste inicial mostraram que os *blobs* exibiam o comportamento básico desejado, movendo-se e evitando colisões conforme esperado. No entanto, alguns movimentos de atração não estavam funcionando como o esperado, e em adição, algumas áreas de melhoria foram identificadas e implementadas, como, por exemplo, ajuste da sensibilidade de colisão, que, inicialmente, a distância mínima permitida para colisões estava muito alta, causando reações prematuras. Após ajustes, a sensibilidade foi refinada para permitir uma sobreposição leve, melhorando a fluidez das interações. Também foi ajustada a velocidade dos *blobs* para garantir um movimento mais natural e responsivo, melhorando a experiência visual e funcional.

A programação atual apresenta significativos avanços em comparação com a versão do código apresentada no início deste apêndice. Após o teste inicial, foram implementadas diversas melhorias, incluindo desenvolvimento de uma interface mais intuitiva e visualmente agradável, facilitando a interação dos usuários com a aplicação. O teste de funcionamento inicial foi um passo crucial no desenvolvimento da aplicação. As imagens e resultados demonstram a importância dessa fase para identificar e corrigir problemas, bem como para

orientar os ajustes necessários no código. Com base nos dados obtidos, a aplicação evoluiu significativamente, resultando em uma versão mais estável e avançada.

APÊNDICE 3

A identidade visual da interface para o agente computacional “Blobs Arquitetônicos” foi concebida com base na ideia das bolhas, explorando formas orgânicas e diversas, fluidez, adaptabilidade, e a ideia de diversão e alegria. As cores escolhidas para a identidade visual são complementares, criando um contraste harmonioso. No entanto, foram aplicadas com baixa saturação para transmitir seriedade e equilibrar a vivacidade das formas irregulares das bolhas, como pode ser observado nas figuras 58, 59 e 60.

Esse contraste entre as cores sóbrias e as formas dinâmicas das bolhas foi estendido ao projeto tipográfico da palavra “Blobs”. As letras foram dispostas de maneira irregular, tanto em seu posicionamento quanto em seu tamanho, reforçando a ideia de movimento e espontaneidade. Esta escolha estética sublinha a singularidade da marca, destacando-se em um contexto visual que é ao mesmo tempo lúdico e profissional. O resultado é uma identidade visual que transmite uma mensagem de seriedade e confiabilidade, enquanto incorpora elementos de surpresa, criatividade e diversão, características intrínsecas à interface.

Figura 58 - Logo desenvolvida em software vetorial



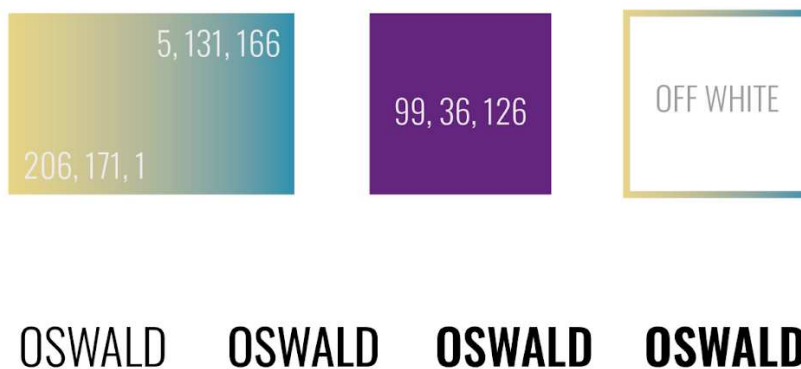
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 59 - Grid de construção para o logo



Fonte: Elaborado pelo autor.

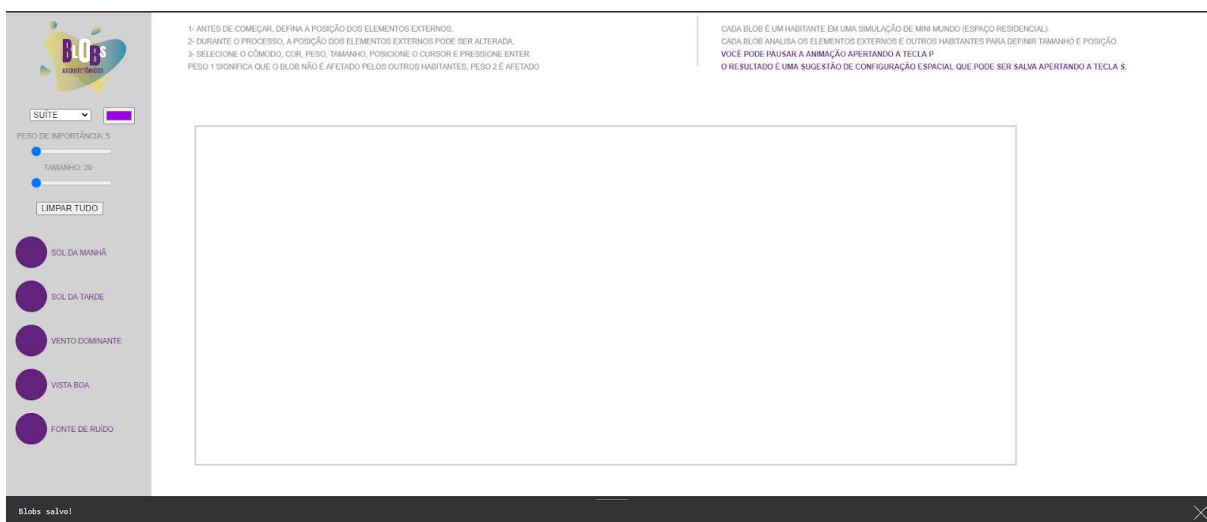
Figura 60 - Definição de paleta de cor e tipografia



Palavra 'BLOBS' alterada a partir da tipografia OSWALD.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 61 - Interface



Fonte: Elaborado pelo autor. Disponível: <https://openprocessing.org/sketch/2157090>