



Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes

Technical and Scientific Journal Green Cities

ISSN 2317-8604 Suporte Online / Online Support

Edição em Português e Inglês / Edition in Portuguese and English/- Vol. 13, N. 47, 2025

Simulações Computacionais como Ferramenta de Análise em Estudos Urbanos e Paisagísticos: Experiências do LED-Akajus na UFC

Danie Lenz Costa Lima

Pesquisador de Pós-doutorado, UFC, Brasil

daniel.lenz@arquitetura.ufc.br

ORCID iD 0009-0004-1753-3003

Saulo de Lima Chaves

Graduando em Arquitetura e Urbanismo, UFC, Brasil

saulodlchaves@arquitetura.ufc.br

ORCID iD: 0009-0000-1187-0181

Newton Célio Becker de Moura

Professor Pós-Doutor, UFC, Brasil

newtonbecker@ufc.br

ORCID iD 0000-0003-0541-2680



Simulações Computacionais como Ferramenta de Análise em Estudos Urbanos e Paisagísticos: Experiências do LED-Akajus na UFC

RESUMO

Objetivo - Este artigo tem como objetivo apresentar o uso de simulações computacionais como ferramentas de análise e experimentação em estudos urbanos e paisagísticos, demonstrando diferentes aplicações metodológicas através de quatro estudos desenvolvidos pela parceria entre o Laboratório de Experiências Digitais (LED) e o grupo de pesquisa Akajus da Universidade Federal do Ceará.

Metodologia - O trabalho fundamenta-se na aplicação da modelagem da informação (LIM - Landscape Information Modeling) a partir da teoria da complexidade para desenvolver simulações que permitem a análise de fenômenos urbanos de difícil observação direta.

Originalidade/relevância - O estudo insere-se no gap teórico da aplicação de ferramentas computacionais avançadas para análise de fenômenos urbanos complexos, apresentando relevância acadêmica na demonstração de metodologias inovadoras que integram modelagem da informação e teoria da complexidade em contextos urbanos e paisagísticos brasileiros.

Resultados - São apresentados quatro estudos que demonstram diferentes aplicações metodológicas: o grupo de estudos PAC, a modelagem hidrológica da Bacia do Mata-Fome em Belém, a análise de qualidade ambiental urbana através de indicadores computacionais, e um simulador de dinâmica social em contexto urbano.

Contribuições teóricas/metodológicas - O trabalho contribui para o avanço metodológico na aplicação de LIM (Landscape Information Modeling) em estudos urbanos, estabelecendo protocolos para simulação computacional de fenômenos complexos e demonstrando a viabilidade de integração entre modelagem paramétrica, análise de dados ambientais e simulação de dinâmicas sociais.

Contribuições sociais e ambientais - As metodologias desenvolvidas oferecem ferramentas para análise de qualidade ambiental urbana, gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas e compreensão de dinâmicas sociais em contextos urbanos, contribuindo para o planejamento urbano mais sustentável e socialmente consciente.

PALAVRAS-CHAVE: Simulações computacionais; Modelagem da Informação; LIM.

Computational Simulations as an Analysis Tool in Urban and Landscape Studies: Experiences from LED-Akajus at UFC

ABSTRACT

Objective – This article aims to present the use of computational simulations as analysis and experimentation tools in urban and landscape studies, demonstrating different methodological applications through four studies developed by the partnership between the Digital Experiences Laboratory (LED) and the Akajus research group at the Federal University of Ceará.

Methodology – The work is based on the application of information modeling (LIM - Landscape Information Modeling) from complexity theory to develop simulations that allow the analysis of urban phenomena that are difficult to observe directly.

Originality/Relevance – The study fits into the theoretical gap of applying advanced computational tools for analyzing complex urban phenomena, presenting academic relevance in demonstrating innovative methodologies that integrate information modeling and complexity theory in Brazilian urban and landscape contexts.

Results – Four studies are presented that demonstrate different methodological applications: the PAC study group, hydrological modeling of the Mata-Fome Basin in Belém, urban environmental quality analysis through computational indicators, and a social dynamics simulator in urban context.

Theoretical/Methodological Contributions – The work contributes to methodological advancement in the application of LIM (Landscape Information Modeling) in urban studies, establishing protocols for computational simulation of complex phenomena and demonstrating the feasibility of integration between parametric modeling, environmental data analysis and social dynamics simulation.



Social and Environmental Contributions The developed methodologies offer tools for urban environmental quality analysis, water resource management in watersheds and understanding of social dynamics in urban contexts, contributing to more sustainable and socially conscious urban planning.

KEYWORDS: Computational simulations; Information Modeling; LIM.

Simulaciones Computacionales como Herramienta de Análisis en Estudios Urbanos y Paisajísticos: Experiencias del LED-Akajus en la UFC

RESUMEN

Objetivo – Este artículo tiene como objetivo presentar el uso de simulaciones computacionales como herramientas de análisis y experimentación en estudios urbanos y paisajísticos, demostrando diferentes aplicaciones metodológicas a través de cuatro estudios desarrollados por la asociación entre el Laboratorio de Experiencias Digitales (LED) y el grupo de investigación Akajus de la Universidad Federal de Ceará.

Metodología – El trabajo se fundamenta en la aplicación del modelado de información (LIM - Landscape Information Modeling) a partir de la teoría de la complejidad para desarrollar simulaciones que permiten el análisis de fenómenos urbanos de difícil observación directa.

Originalidad/Relevancia – El estudio se inserta en el vacío teórico de la aplicación de herramientas computacionales avanzadas para análisis de fenómenos urbanos complejos, presentando relevancia académica en la demostración de metodologías innovadoras que integran modelado de información y teoría de la complejidad en contextos urbanos y paisajísticos brasileños.

Resultados – Se presentan cuatro estudios que demuestran diferentes aplicaciones metodológicas: el grupo de estudios PAC, el modelado hidrológico de la Cuenca del Mata-Fome en Belém, el análisis de calidad ambiental urbana a través de indicadores computacionales, y un simulador de dinámica social en contexto urbano.

Contribuciones Teóricas/Metodológicas – El trabajo contribuye al avance metodológico en la aplicación de LIM (Landscape Information Modeling) en estudios urbanos, estableciendo protocolos para simulación computacional de fenómenos complejos y demostrando la viabilidad de integración entre modelado paramétrico, análisis de datos ambientales y simulación de dinámicas sociales.

Contribuciones Sociales y Ambientales – Las metodologías desarrolladas ofrecen herramientas para análisis de calidad ambiental urbana, gestión de recursos hídricos en cuencas hidrográficas y comprensión de dinámicas sociales en contextos urbanos, contribuyendo a la planificación urbana más sostenible y socialmente consciente.

PALABRAS CLAVE: Simulaciones computacionales; Modelado de Información; LIM.



1 O PROBLEMA DE OBSERVAR

A pesquisa científica fundamenta-se na observação de fenômenos sob hipóteses que pretendem explicá-los. Como discutido por Popper, é fundamental a capacidade de observação de uma série de resultados possíveis do fenômeno, especialmente da possibilidade que negaria a hipótese. Entretanto, os fenômenos urbanos apresentam desafios específicos para essa observação científica.

Tempo, escala e espectro da realidade são questões que determinam nossa capacidade de percepção dos fenômenos. No contexto urbano, enfrentamos limitações particulares: muitos fenômenos ocorrem em frequências muito baixas, em períodos temporais extensos, ou envolvem escalas que ultrapassam nossa capacidade de observação direta. Além disso, a impossibilidade ética e prática de realizar experimentos controlados com populações inteiras cria sérios empecilhos para o estudo adequado dos processos urbanos.

A modelagem da informação pode ser entendida como um diagrama de fluxo que direciona como as informações devem ser estruturadas, apresentando-as de forma legível para o usuário. No espectro da arquitetura e planejamento urbano, surgiram diferentes modalidades: BIM (Building Information Modeling) (Sacks et al., 2021), CIM (City Information Modeling) (Sousa, 2018) e LIM (Landscape Information Modeling) (Carvalho; Célio Becker De Moura, 2025; Sandre, 2022).

Essas modalidades de modelagem da informação facilitam o processamento e manipulação de dados. Além de permitir a seleção de quais informações da realidade material serão representadas cada vez, possibilitam a modelagem de mecanismos dos fenômenos reais, oferecendo assim representações dinâmicas e simulações. Essas representações dos mecanismos, ou seja, as simulações, têm potencial de antecipar e avaliar impactos de intervenções, permitindo uma melhor previsão e eventual otimização do objeto projetado. CAD, programas de cálculo estrutural, desenho paramétrico, BIM, são manifestações desse contexto de modelagem da informação.

O presente artigo apresenta as experiências desenvolvidas pela parceria entre o Laboratório de Experiências Digitais (LED) da Universidade Federal do Ceará e o grupo de pesquisa Akajus. Esta colaboração fundamenta-se na aplicação dos conceitos de CIM e LIM como estrutura para desenvolver pesquisas que utilizam simulações como laboratório para análise, construção e avaliação de diversos cenários, baseando-se na teoria da complexidade como fundamento teórico.

O LED constitui o laboratório consolidado que acolheu o projeto LIM, originado na intersecção entre as expertises do Paisagismo e da Engenharia Hidráulica e Ambiental. O LIM representa a evolução da metodologia pioneira de Ian McHarg, que na década de 1960 utilizava sobreposição de camadas para análise de adequabilidade territorial. Ao unir ferramentas SIG à modelagem de cenários, o LIM proporciona visualização de dados e diálogo entre escalas e fontes de informação.



A Akajus emerge como desdobramento colaborativo, reunindo alunos de graduação e pós-graduação que transitam entre a modelagem e os problemas práticos dos espaços livres, sempre mantendo as Soluções baseadas na Natureza (SbN) como agenda central.

2 FERRAMENTAS PARA OBSERVAÇÃO

Em diversas disciplinas, simulações computacionais têm sido utilizadas como alternativas às experimentações tradicionais. As descrições a priori são inclusive lugar comum em certas disciplinas, como com a física teórica: primeiro se imagina e descreve como seria um fenômeno, e depois se busca na realidade indícios que confirmam aquele modelo. Em outras com conhecimento sedimentado, simulações fazem parte de treinamentos e análises de projeto. Na arquitetura, são comuns simulações de estruturas e conforto ambiental. A simulação de fluxos de pessoas também tem sido utilizada tanto para projetos quanto para estudos acadêmicos.

As simulações apresentam vantagens significativas: são mais baratas que experimentos reais, tendem a ser mais rápidas, e permitem representações coerentes de fenômenos. Observações adequadas da realidade tendem a calibrar essas representações para corresponder adequadamente aos fenômenos reais, como demonstrado em várias expressões matemáticas em física e cálculo estrutural.

Para além de fenômenos bem conhecidos e estabelecidos, simulações também são utilizadas para estudos de fenômenos de complexidade emergente. Nesse caso, uma modelagem popular seria a de agentes, ABM (agent based modeling), seguindo as demonstrações de Wolfram (2002) sobre autômatos celulares. Esta fundamentação teórica da complexidade constitui a base conceitual que permite a estruturação das pesquisas e simulações desenvolvidas pelo grupo.

3 METODOLOGIA

Para simular eventos complexos, não necessitamos de grande quantidade de equações ou variáveis. O processo de modelagem busca simplificação sem descaracterizar o objeto de análise (Gavira, 2003). A modelagem da informação constitui um processo sistemático que permite a representação e compreensão de fenômenos complexos através de estruturas organizadas e simplificadas, mantendo as características essenciais do sistema original.

A primeira etapa consiste no reconhecimento e delimitação do fenômeno a ser modelado. Este processo envolve a observação sistemática do sistema real, identificando seus componentes principais, comportamentos característicos e limites operacionais. O reconhecimento adequado do fenômeno é crucial para determinar o escopo do modelo e estabelecer as bases conceituais para as etapas subsequentes. Durante esta fase, é fundamental estabelecer claramente os objetivos da modelagem, definindo quais aspectos do fenômeno são relevantes para o estudo proposto.



Após o reconhecimento do fenômeno, procede-se à identificação sistemática de todas as grandezas e dimensões que exercem influência significativa no comportamento do sistema. Esta etapa requer análise criteriosa para distinguir entre variáveis primárias, que exercem influência direta no fenômeno, e variáveis secundárias, que podem ser negligenciadas sem comprometer a fidelidade do modelo. As grandezas identificadas podem incluir parâmetros físicos (temperatura, pressão, tempo, velocidade), parâmetros químicos (concentração, pH, umidade), parâmetros econômicos (custo, demanda, oferta) ou parâmetros sociais (densidade populacional, nível educacional), dependendo da natureza do fenômeno estudado.

Esta etapa constitui o núcleo conceitual da metodologia, onde se estabelecem as relações causais entre as grandezas identificadas. O mecanismo de funcionamento descreve como as diferentes dimensões interagem para produzir o comportamento observado no fenômeno real. A proposição do mecanismo envolve a formulação de hipóteses sobre as relações de causa e efeito entre as variáveis. Por exemplo, no processo de transformação do leite condensado em doce de leite, o mecanismo proposto estabelece que o aumento simultâneo da temperatura e pressão durante um período específico (aproximadamente 20 minutos) promove reações de caramelização e evaporação da água, resultando na transformação desejada.

A etapa final da metodologia consiste na tradução do mecanismo proposto em uma representação que seja simultaneamente adequada ao fenômeno estudado e legível para os usuários do modelo. Esta representação deve capturar fielmente as inter-relações identificadas entre as dimensões, apresentando-as de forma clara e utilizável. A escolha da forma de representação depende dos objetivos do estudo, do público-alvo e dos recursos disponíveis. Pode envolver desde equações matemáticas simples até modelos computacionais complexos, passando por representações gráficas, diagramas conceituais ou interfaces interativas.

3.1 Implementação Prática da Metodologia

Este processo metodológico envolve quatro componentes operacionais principais. A identificação das informações relevantes constitui a seleção criteriosa dos dados e informações essenciais para a construção do modelo, eliminando elementos redundantes ou de baixa relevância. A tradução para ambiente digital converte as informações selecionadas em formato apropriado para processamento computacional, mantendo a integridade e acessibilidade dos dados. A modelagem de mecanismos de fenômenos relevantes implementa computacionalmente os mecanismos de funcionamento identificados, criando estruturas lógicas que reproduzam os comportamentos observados no sistema real.

A criação e avaliação de cenários para decisão e estudo desenvolve cenários alternativos que permitem explorar diferentes configurações do sistema, facilitando a análise comparativa e o processo de tomada de decisão. Esta abordagem metodológica garante que o modelo final seja simultaneamente representativo do fenômeno original e útil para os propósitos definidos no início do processo.

3.2 Ferramentas e Plataformas Utilizadas



Sob essa perspectiva da modelagem da informação, o grupo trabalha empregando ferramentas diversificadas para implementar esta metodologia. Como ferramentas principais, utiliza Rhinoceros para modelagem CAD (Computer Aided Design) e Grasshopper para modelagem paramétrica e design generativo, bem como plataformas BIM para gestão integrada de informações em projetos complexos. Estas constituem interfaces de programação visual mais amigáveis para profissionais que não possuem formação específica em linguagens de programação tradicionais, tornando possível a produção de algoritmos complexos diretamente dentro do ambiente de modelagem CAD.

Como iniciativa mais recente, o grupo trabalha com plataformas de programação voltadas para ABM como NetLogo, que permite a modelagem de sistemas complexos através da simulação de agentes autônomos e suas interações. Mais recentemente, o grupo tem incorporado o desenvolvimento de simulações em Unity para estudos urbanos-sociais utilizando C#, que incorporam funcionalidades avançadas de interação entre objetos e implementação de leis da física, proporcionando realismo e precisão às simulações.

A diversidade de ferramentas permite adequar a implementação às características específicas de cada fenômeno estudado, garantindo flexibilidade metodológica e otimização dos recursos computacionais disponíveis. Esta abordagem multifacetada facilita a colaboração interdisciplinar e amplia as possibilidades de aplicação da metodologia em diferentes domínios do conhecimento. A integração dessas diferentes plataformas permite explorar desde análises paramétricas em CAD até simulações sociais complexas, oferecendo um espectro completo de ferramentas para modelagem da informação.

4 ESTUDOS DE CASO

O LED-Akajus desenvolveu quatro iniciativas principais que demonstram diferentes aplicações das simulações computacionais em estudos urbanos e paisagísticos, consolidando a visão de que essas ferramentas colaboram significativamente para o ensino e pesquisa na universidade pública.

4.1 PAC - Paisagens Algoritmos e Cidade (Grupo de Estudos)

O grupo de estudos PAC foi produzido por alunos de pós-graduação, inicialmente o grupo propunha aulas para auxílio na produção de trabalhos para disciplinas. Com o passar do tempo, evoluiu para a prática de pesquisas relacionadas à modelagem da informação aplicada à paisagem na escala da cidade, em sua vigência eram ensinadas práticas de:

- Identificação de dados ambientais urbanos (Map Biomas)
- Utilização de bases de dados abertas
- Análises hidráulicas para o apoio em projetos paisagísticos
- Tradução desses dados para ambientes digitais
- Modelagem de fenômenos naturais na escala urbana
- Avaliação crítica dos contextos naturais da cidade.



Resultados: Como resultado, o grupo contribuiu para pesquisas internacionais do Congresso Ibero Americano de Gráfica Digital em 2024 (SiGRaDi 2024) (Barreto et al., 2024). Paralelamente, participou de apresentações de resumos expandidos que abordam temáticas acerca de conforto urbano associado ao paisagismo, simulações hidráulicas e análises de microbacias em um congresso local da Universidade Federal do Ceará no ano de 2024. Também é possível citar a contribuição em trabalhos de conclusão de curso em análises ambientais desenvolvidas durante as aulas do grupo.

Implicações: Esses produtos demonstram o potencial transformador e impacto de um grupo de estudos para o ensino de ferramentas que utilizam simulações computacionais e ferramentas de modelagem da informação para a melhor compreensão de contextos diversos na escala da cidade.

4.2 Modelagem da Bacia do Mata-Fome - Belém/PA

O estudo em questão aborda temáticas relacionadas às mudanças climáticas e o aumento do nível do mar na cidade de Belém (Carvalho et al., 2023). Discorrendo sobre conceitos de resiliência relacionados a cidades que vem se tornando sistemas cada vez mais complexos e demonstrando que as mesmas devem ser preparadas para eventos cada vez mais extremos. Neste caso, ocorreu a proposição de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) como alternativa para a problemática de inundações apresentada no artigo.

Metodologia LIM aplicada:

1. Obtenção de dados SIG e inserção em ambiente 3D
2. Inserção em ambiente não-linear de design com modelagem paramétrica
3. Definição de conceitos e objetos
4. Formalização da modelagem

Resultado: A criação de uma ferramenta capaz de complementar o trabalho de um projetista paisagístico no que diz respeito a aspectos hidrológicos, oferecendo locais de maior eficiência para a inserção de infraestrutura verde. Aliando propostas de biovaletas com a topografia urbana e linhas de caimento de água, mostrando como a modelagem digital pode assistir para o avanço da maré dentro de uma cidade litorânea.

Implicações: O trabalho em questão colabora para estudos do LIM no âmbito de cidades resilientes e tem sua relevância em explorar a questão do aumento do nível do mar, problemática que não possui grandes estudos em cidades litorâneas no Brasil. Contribuindo também na produção de ferramentas para o apoio no processo de decisão no design paisagístico.

4.3 Nature as an Input: Análise de Qualidade Ambiental

O trabalho em questão trabalha na escala de microbacias urbanas entendendo que cidades estão se tornando cada vez mais adensadas e em constante expansão, esse ritmo constante de alterações acarreta alterações significativas da relação entre cidade e natureza. É investigado questões relacionadas ao LIM, apoiando-se em frameworks já consolidadas, para a



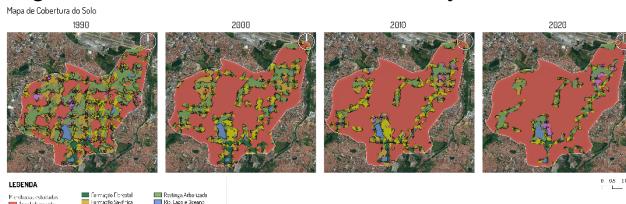
criação de um artefato de análise de microbacias urbanas utilizando desenho computacional (Barreto et al., 2024).

Metodologia: Como metodologia, foram utilizados, além dos conceitos de LIM para simulação da paisagem, um framework de Modelagem da Informação na Cidade (CIM). Possibilitando integrar dados georreferenciados a uma interface de programação visual e Sistemas de Informação Geográficas (GIS), na alteração ou produção de novos dados que possam ser sobrepostos em diferentes plataformas.

4.3.1 Indicadores desenvolvidos:

Mudanças no uso do solo (Figura 1): Utiliza dados públicos disponibilizados pela plataforma Map Biomas, sobrepondo esses dados ao longo de uma série temporal e avaliando o percentual de cada uso nesse recorte temporal.

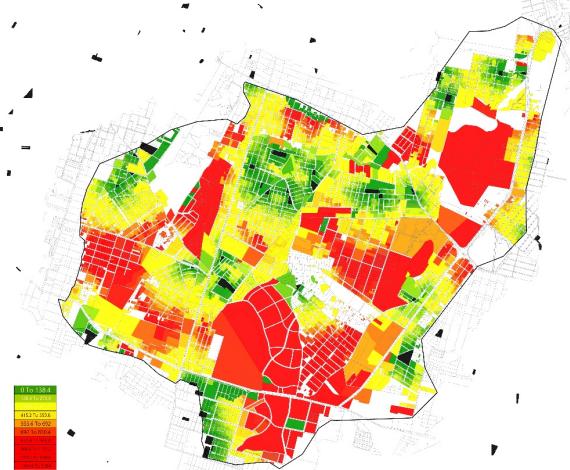
Figura 1 – Resultado do indicador de mudanças no uso do solo



Fonte: Barreto et al. (2024)

Exposição à natureza (Figura 2): Consistindo na desconstrução de logradouros inseridos dentro do polígono das microbacias, assim, calculando a distância mais curta de um lote até uma área verde próxima.

Figura 2 – Resultado do indicador de exposição à natureza



Fonte: Barreto et al. (2024)



Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes

Technical and Scientific Journal Green Cities

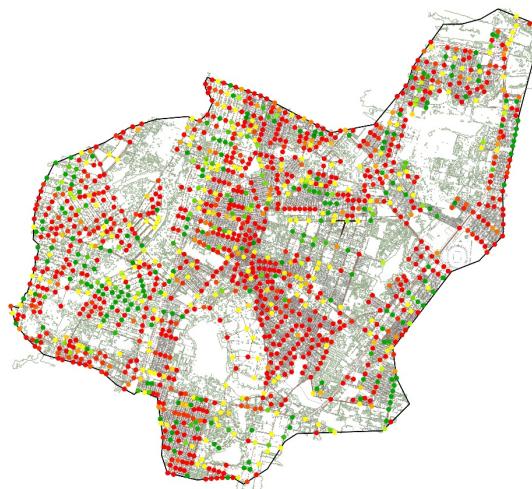
ISSN 2317-8604 Suporte Online / *Online Support*

Edição em Português e Inglês / Edition in Portuguese and English - Vol. 13, N. 47, 2025

Grafos de visibilidade da natureza (Figura 3): Grafos de visibilidade da natureza, transformando intersecções de logradouros em pontos de análises e fazendo um buffer que permite a aferição do metro linear de vegetação vista pelo olho.



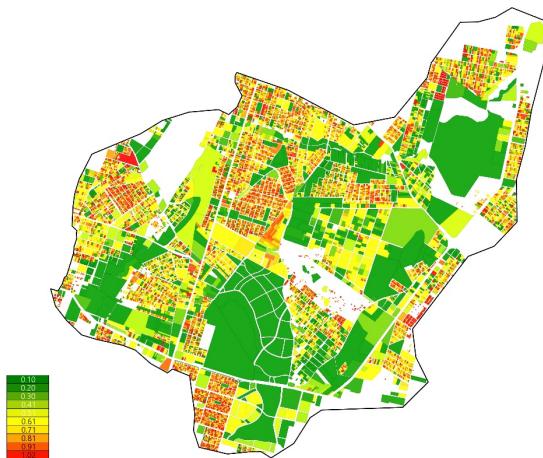
Figura 3 – Resultado do indicador de visibilidade da natureza por grafos



Fonte: Barreto et al. (2024)

Ocupação do solo (Figura 4): Utiliza as geometrias de lotes e edificações existentes na cidade, suas geometrias são organizadas e ocorre a divisão da área da edificação pela área total do lote, resultando em um valor de 0 a 1.

Figura 4 – Resultado do indicador de ocupação do solo



Fonte: Barreto et al. (2024)

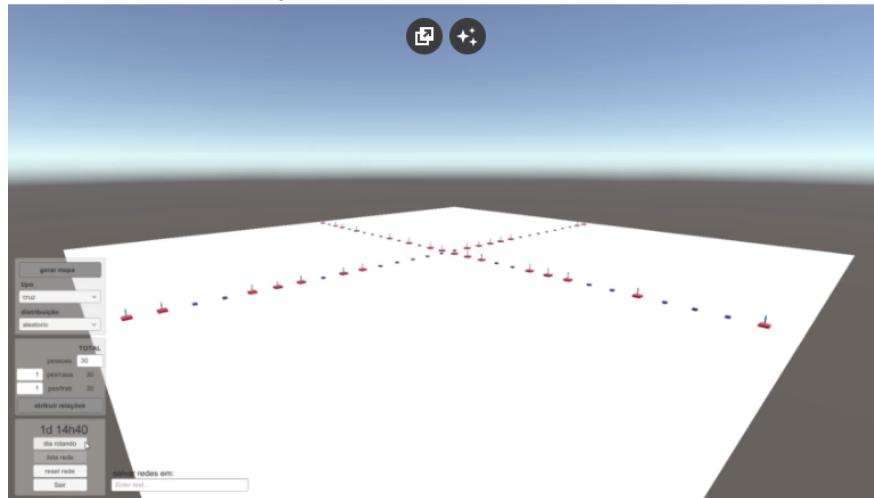
4.4 Simulador de Metabolismo Urbano

Este estudo investiga a relação entre a configuração geométrica do espaço urbano (geometria-cidade) e a topologia das redes de encontros de seus habitantes (rede-cidade) que se formam através das interações cotidianas. A pesquisa parte da premissa de emergência de complexidade, que diz que os fenômenos mais complexos emergem da dinâmica de interação entre elementos mais simples, bastando a modelagem desses elementos, os agentes.



Metodologia do Simulador: O simulador desenvolvido utiliza modelagem baseada em agentes (ABM) através da plataforma Unity. Neste sistema, mapas abstratos ou reais com edifícios distribuídos sobre diferentes geometrias são gerados e têm atividades (uso: casa, trabalho, restaurante, escola, padaria, etc) e uma população atribuída. Encontros dos "habitantes" são registrados enquanto rotinas diárias de deslocamento, suficientes para alcançar diferenciação e estabilidade, são executadas. Medidas com percurso e pontos de encontro também são realizadas.

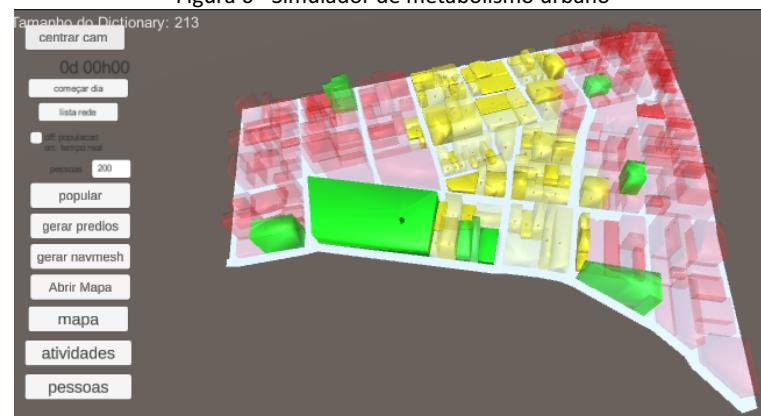
Figura 5- Simulador Geometrias-Redes



Fonte: LIMA, 2023

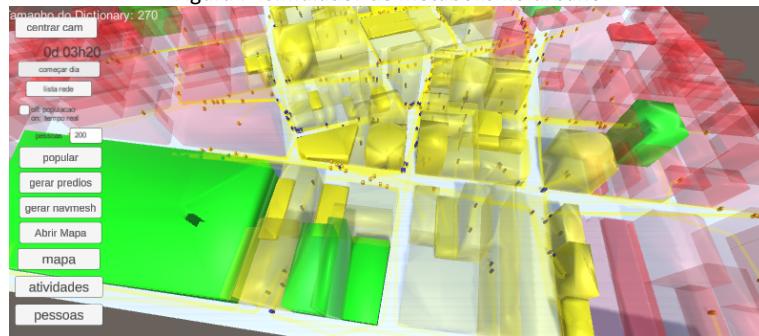
Principais Descobertas: Os resultados revelaram que a descrição geométrica não era suficiente, sendo necessárias também definições sobre atribuição de atividades. A pesquisa identificou que, apesar da cidade-geometria per se não determinar a estrutura da cidade-rede, a distribuição espacial das atividades impacta diretamente na topologia resultante, implicando na necessidade de descrição também de uma cidade-atividade. A geometria urbana influencia a rede-cidade apenas na medida em que conforma a atividade-cidade, definindo áreas para atividades ou restringindo o roteamento entre elas.

Figura 6 - Simulador de metabolismo urbano



Fonte: Autores (2025)

Figura 7- Simulador de metabolismo urbano



Fonte: Autores (2025)

Implicações: Esta descoberta conceitual sugere que políticas de distribuição de uso do solo podem ser mais eficazes para intervir em características das redes, como coesão social e resiliência, do que intervenções puramente morfológicas. O simulador continua em desenvolvimento adquirindo mais complexidade e dimensões observáveis.

5 DISCUSSÃO

As quatro experiências apresentadas demonstram como simulações computacionais podem expandir nossa capacidade de compreensão dos processos urbanos. A diversidade de abordagens - desde grupos de estudos educacionais até simulações de agentes para sistemas complexos - evidencia a versatilidade da modelagem da informação para estudos paisagísticos. A integração entre diferentes escalas de análise - do lote à bacia hidrográfica, dos fluxos individuais às redes sociais urbanas - demonstra o potencial dessas ferramentas para compreensão holística dos fenômenos urbanos. Ao fim e ao cabo, as simulações podem contribuir para uma infinidade de estudos.

Entretanto, as simulações apresentam uma série de limitantes e barreiras. O primeiro limitante é por óbvio a qualidade da simulação. Esta qualidade está diretamente atrelada a qualidade da descrição do fenômeno e, portanto, a qualidade do conhecimento a respeito dele. O primeiro passo na construção de um simulador é conseguir descrever o fenômeno em termos de suas grandezas envolvidas e mecanismos de relação entre elas. Esta será a representação do fenômeno na simulação. Por vezes, ela pode ser o conhecimento sobre o fenômeno, ou, uma hipótese, uma aposta de como o fenômeno se comporta. Na física atual, não é raro se partir de um modelo teórico (uma aposta de descrição de como o fenômeno funciona) e se identificar na realidade aqueles comportamentos previstos.

Em um segundo momento, a limitação fica por conta da quantidade de processamento necessária. Eventualmente, um fenômeno depende de uma grande quantidade de variáveis de diversas naturezas, o que pode ser difícil de mapear. Por outras vezes, a própria quantidade de informação é muito grande, o que implica em simulações muito demoradas e não práticas, ou mesmo a incapacidade de processamento de máquina. Isso leva a simplificações forçosas, e imprecisões. O nosso simulador de metabolismo urbano tem enfrentado esse tipo de limitação,



procurando estratégias de como lidar com relação a quantidade de agentes que o computador consegue processar de maneira ainda prática.

Por fim, temos uma barreira de domínio técnico para o desenvolvimento das simulações. No caso de simuladores existentes, a barreira é menor e consiste no aprendizado do uso da ferramenta, o que é um processo corriqueiro. Entretanto, o desenvolvimento de simulação, que tem sido o caso do LED, acaba exigindo também o domínio das linguagens de programação, para desenvolver o simulador. A maioria das simulações no LED-Akajus foi feita no ambiente Rhino-Grasshopper, se aproveitando da difusão do desenho paramétrico entre a equipe. Já o simulador de metabolismo urbano tem sido desenvolvido em C#, exigindo mais um domínio técnico pela equipe.

Apesar dessas dificuldades, os simuladores têm se apresentado muito enriquecedores. De um lado, aumentando a quantidade de informação disponível para decisões de projeto, especialmente em temas e disciplinas já bem sedimentados. E de outro, permitindo um ambiente barato e pragmático para experimentações e investigações de hipóteses para fenômenos não tão escrutinizados, como o das relações redes de encontro e morfologia urbana, no caso do simulador de metabolismo urbano.

6 CONCLUSÕES

As simulações computacionais representam evolução metodológica fundamental para estudos urbanos e paisagísticos, oferecendo capacidades analíticas impossíveis através de abordagens convencionais. A produção científica do LED-Akajus demonstra o potencial desta abordagem, evidenciando simultaneamente a necessidade de rigor científico na aplicação dessas ferramentas.

A contribuição das simulações reside não apenas em sua capacidade preditiva, mas sobretudo em expandir nossa compreensão sobre os processos que governam a transformação das cidades e paisagens contemporâneas. Os quatro casos de estudo apresentados - desde a formação educacional até simulações complexas de metabolismo urbano - demonstram a amplitude de aplicações possíveis. Como paisagistas, compreendemos que o fim sempre deve ser a meta, não o processo, e as simulações constituem ferramentas poderosas para atingir objetivos socialmente justos no tratamento dos espaços livres urbanos.



7 REFERÊNCIAS

- ACKOFF, R. L.; SASIENI, M. W. **Operations Research: Grundzüge Der Operationsforschung.** Berlin Boston: de Gruyter, 1970.
- BARRETO, J. et al. **Nature as an Input: An analysis of environmental quality based on urban data.** In: SIGRADÍ - BIODIGITAL INTELLIGENT SYSTEMS. Anais... Barcelona, Spain, 2024.
- CARVALHO, T. F.; MOURA, N. C. B. de. **Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem (LIM): um quadro referencial para o projeto de paisagens responsivas.** Paranoá, v. 18, 14 ago. 2025.
- CARVALHO, T. et al. **Modelagem da Informação Aplicada à Paisagem: O uso do LIM no caso da Bacia do Mata-Fome em Belém do Pará.** Anais do XXENAMPUR, 2023.
- CHESHMEHZANGI, A. et al. (Orgs.). **City Information Modelling.** Singapore: Springer, 2024.
- GAVIRA, M. O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento.** 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- HOLLAND, J. H. **Emergence: From Chaos To Order.** Reading, Mass: Addison-Wesley, 1998.
- LIMA, D. L. C. **Cidades, Redes e Simulações: Impacto do Desenho Espacial na Topologia das Redes de Encontros Físicos em Simulação Computacional.** 2023. Tese (Doutorado em Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.
- NETTO, V. M.; MEIRELLES, J.; RIBEIRO, F. L. **Social Interaction and the City: The Effect of Space on the Reduction of Entropy.** Complexity, v. 2017, p. 1-16, 2017.
- SACKS, R. et al. **Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores.** Porto Alegre: Bookman, 2021.
- SANDRE, A. A.; PELLEGRINO, P. R. M. **Modelagem da Informação da Paisagem - Landscape Information Modeling (LIM).** PosFAUUSP, v. 27, n. 51, p. e168291, 2020.
- SOUSA, C. E. M. de. **Modelando a percepção: o ambiente do patrimônio cultural edificado na regulação da forma urbana.** 2018. Dissertação (Mestrado) - [Local: Editora], 2018.
- WOLFRAM, S. **A New Kind of Science.** Champaign, IL: Wolfram Media, Inc., 2002.



DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** Daniel Lenz Costa Lima
- **Curadoria de Dados:** Saulo de Lima Chaves
- **Análise Formal:** Newton Célio Becker de Moura, Saulo de Lima Chaves, Daniel Lenz Costa Lima, e os grupos LED e Akajus
- **Aquisição de Financiamento:** Newton Célio Becker de Moura e Daniel Lenz Costa Lima
- **Investigação:** Newton Célio Becker de Moura, Saulo de Lima Chaves, Daniel Lenz Costa Lima, e os grupos LED e Akajus
- **Metodologia:** Newton Célio Becker de Moura, Saulo de Lima Chaves, Daniel Lenz Costa Lima, e os grupos LED e Akajus
- **Redação - Rascunho Inicial:** Daniel Lenz Costa Lima e Saulo de Lima Chaves
- **Redação - Revisão Crítica:** Daniel Lenz Costa Lima
- **Revisão e Edição Final:** Daniel Lenz Costa Lima e Saulo de Lima Chaves
- **Supervisão:** Newton Célio Becker de Moura

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Eu/Nós, Daniel Lenz Costa Lima, Saulo de Lima Chaves e Newton Célio Becker de Moura declaro(amos) que o manuscrito intitulado “**Simulações Computacionais como Ferramenta de Análise em Estudos Urbanos e Paisagísticos: Experiências do LED-Akajus na UFC**”:

1. **Vínculos Financeiros:** Este trabalho foi financiado por Ministério das Cidades, via FASTEF, e FUNCAP ou Entidade.
2. **Relações Profissionais:** Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida.
3. **Conflitos Pessoais:** Nenhum conflito pessoal relacionado ao conteúdo foi identificado.