

## Parametric modeling applied to landscape design: simulation as a tool for defining tree stratum

Pedro Oscar Pizzetti Mariano<sup>1</sup>, Marcos Marciel Sansão<sup>2</sup>, Carlos Eduardo Verzola Vaz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil  
pedro.pm@hotmail.com; marcosmsansao@gmail.com; carlos.vaz@ufsc.br

**Abstract.** This experiment demonstrated how the use of a process aided with computational tools, similar to the multi-criteria performative model, contributes to the learning of architecture and urbanism students in the development of designing urban and landscape projects. The study seeks to bring students closer to multi-criteria analysis in project training activities. The method used is guided by a case study that allows simulated data referring to radiation, visual permeability, and percentage of visible sky. The results were collected through the analyzes and comparisons found in the final project of the discipline, verified through the observation of the design decisions based on the simulations. This allowed us to identify the potentialities of the process in the understanding of the students in using different criteria in the initial launch of the architectural project and also to recognize the points and negatives of the use of the process.

**Keywords:** Parametric Analysis, Simulation, Multicriteria Analysis; landscaping

### 1 Introduction

Esta pesquisa intenciona verificar como a utilização de um modelo semelhante ao de formação performática (OXMAN, 2005 e 2006), pode contribuir no ensino e aprendizagem de estudantes de arquitetura e urbanismo nas primeiras fases de concepção de projetos urbanísticos e paisagísticos. O desenvolvimento desse estudo aproxima os estudantes das simulações e análises multicritérios nas atividades de formação de projetos. Visto que a utilização adequada no ensino pode apresentar uma melhora na interpretação dos fenômenos ligados às simulações, além de facilitar a visualização dos seus resultados (REINHART, et al.,2015; REINHART, et al.,2012). O entendimento dessas análises é de suma importância para o desenvolvimento profissional, pois projetos que trazem acesso a condições mínimas de conforto, garantem aos ocupantes aspectos suficientes para o

seu bem-estar (LUCA, NABONI e LOBACCARO, 2021; REINHART, et al., 2015; LUCA, 2020).

Contudo, ainda são raros os cursos que integram corretamente as ferramentas de simulação do ambiente e a análise de desempenho aos projetos arquitetônicos e urbanísticos. A separação entre o projeto e a simulação não possibilita o real entendimento do desempenho do projeto, bem como o aprofundamento de questões relacionadas ao seu desempenho. Esse distanciamento entre o ensino das disciplinas de simulação e projetos em ateliê é uma das principais limitações no atual cenário do ensino de arquitetura (REINHART, et al., 2015; LUCA, 2019).

A integração correta, no ambiente do ensino acadêmico ou profissional — entre os processos de projeto e simulações — já foi averiguada em projetos arquitetônicos e urbanísticos, e permitem que seja interpretado e selecionado as melhores ideias e composições conforme um determinado ideal. A aplicação das simulações em disciplinas voltadas ao urbanismo mostrou-se eficiente ao promover projetos pensados no conforto e eficiência, como no uso correto da luz do dia, fluxos, sombreamento, consumo de energia, conforto térmico externo. Isso pode ocorrer mesmo utilizando exemplos arquitetônicos e urbanos, onde as possibilidades de alternativas ainda permitem diferentes testes (LIMA e DUARTE, 2021<sup>a</sup> e 2021b).

Dispondo deste contexto como premissa, o estudo de caso apresentado neste artigo tem como experimento de método, a aplicação de simulações e análises de projeto na disciplina de urbanismo II. Nessa disciplina incentiva-se que os estudantes proponham espaços públicos que dêem suporte a atividades de lazer e aprendizado. O projeto engloba o desenvolvimento de plano de massas, definição dos espaços livres e construídos. Assim, a pesquisa é iniciada ao final da terceira de quatro etapas, no anteprojeto, onde as ferramentas paramétricas e de simulação foram experimentadas pelos estudantes e buscou-se apresentar como poderiam influenciar no processo de decisão durante a definição do estrato arbóreo.

Nessa aplicação os alunos foram estimulados a utilizarem componentes desenvolvidos em linguagem de programação visual e escrita, que permitem simular e interpretar suas decisões relacionadas a escolha das características da vegetação e composição do projeto. A visualização disponibilizada pelas simulações pode auxiliar a tomada de decisão no lançamento do estrato arbóreo paisagístico e em aspectos urbanísticos. A visualização de características como sombreamento, insolação e permeabilidade visual, resultantes de diferentes arranjos e tipos, formas e tamanhos de copas, pode orientar decisões nas atividades da disciplina.

O processo e componentes desenvolvidos permitiram identificar as potencialidades da utilização das simulações computacionais aplicadas no desenvolvimento do projeto. A pesquisa também demonstra que a absorção do conhecimento, aplicação e adaptação a diferentes demandas com enfoque na aprendizagem, é potencializada, e possibilita o entendimento de uma estrutura para um processo de projeto computacional que auxilia a compreender e utilizar critérios no lançamento inicial das características da vegetação arbórea e aspectos compositivos nos projetos urbanísticos.

## **2 Simulação computacional e o processo de projeto**

O desenvolvimento de um projeto arquitetônico que apresenta uma boa solução para um problema, acontece segundo Bentivegna (2019), pela associação de diferentes requisitos conectados a um contexto, tais como: as propriedades e características sociais; econômicas; físicas; simbólicas; técnicas; funcionais; culturais; e outras. Tais características têm suas soluções validadas ou não pelo uso e sensação dos usuários, que circundam ou habitam o espaço após sua construção. Fatinanzi e Micelli (2019) acrescenta haver diferentes formas de se obter essa avaliação, podendo ser: requisitos relacionados ao funcionamento e eficiência vinculados ao uso prático do objeto; e o impacto que as características do projeto podem ter na qualidade do ambiente urbano e territorial no mesmo se insere.

A utilização de ferramentas digitais e de simulação computacional está cada vez mais presente na formação acadêmica de arquitetos e urbanistas, e tende a se popularizar cada vez mais. Sua utilização adequada no ensino já apresenta uma melhora na interpretação dos fenômenos ligados às simulações, além de uma facilitar a interpretação do impacto das características do projeto (REINHART et al., 2015). Contudo, a proficiência dos estudantes de arquitetura ainda é baixa ao final do curso quando relacionada ao desenvolvimento de simulações climáticas e análises. O resultado desses processos ainda necessita de melhoramentos para uma aplicação correta das simulações. Isso, entre outras causas relacionadas ao tempo de formação, estrutura, etc., pode ser resultado da insuficiência de experiências na geração de projetos que tentam adequar-se a um determinado nível de desempenho. Isso pode ser confirmado pela pouca capacidade de arquitetos formados realizarem simulações de desempenho ou interpretarem resultados corretamente (REINHART et al., 2012).

Ainda são poucos os cursos que integram suficientemente o uso de ferramentas de simulação do ambiente, análise de desempenho e projetos arquitetônicos e urbanísticos (SZENTESI-NEJUR, LUCCA e NEJUR 2021). A separação entre o projeto e a simulação pode dificultar o real entendimento do projeto, assim como não amparar o aprofundamento de questões relacionadas ao desempenho de características da arquitetura. Esse distanciamento entre o ensino das disciplinas de simulação e os projetos em ateliê é uma das principais limitações no atual cenário do ensino de arquitetura, que acabam por ocasionar uma falta de integração e aprendizagem entre o que está sendo projetado e seu real desempenho (CHARLES, E THOMAS, 2009).

Outra abordagem que não integra a utilização das simulações no contexto do processo é o uso de soluções prontas para a aplicação. O emprego de projetos anteriormente concluídos pelos alunos tem como consequência a não compreensão do potencial do uso de simulações para orientar decisões de projeto nas fases iniciais do processo criativo. Justamente no momento em que há mais liberdade de manipulação da forma e possibilidade de visualizar o impacto das escolhas de suas composições. Estudos já realizados mostram que alunos tendem a aprender com maior facilidade e

eficiência quando conseguem associar as tarefas referentes a construção do “design” formal de seus projetos com o seu consequente desempenho (IBARRA e REINHART, 2009).

A seleção do estrato arbóreo vegetal considera uma variedade de condicionantes e conhecimentos específicos relacionados a categoria de espécie selecionada. A escolha, posição e composição da vegetação depende de uma série de particularidades de cada família, como hábitos de crescimento, origem, adaptação com o entorno, e processos biológicos. Também é necessário compreender tópicos contextuais do ambiente como sistemas hidrológicos, precipitação, temperatura, vento e solo. Sendo que algumas dessas características, quando não bem definidas, podem gerar resultados críticos ao espécime escolhido ou ao entorno (SECKIN, 2018).

É comum que, no início da elaboração de projetos de paisagismo, lide-se com tipos vegetais ao invés de espécies propriamente ditas. Este modo abstrato de trabalhar com a vegetação facilita sua utilização como fator de estruturação plástica e ordenamento da paisagem. A especificação da espécie pode ser deixada para uma fase posterior do projeto, quando então se torna imprescindível considerar os aspectos naturais de cada trecho da área a ser tratada. Tendo como principais atributos a serem considerados em um primeiro momento, e irão influir decisivamente na escolha: as categorias de solo, variações de idade e iluminação (SALVATTI, 1993).

No projeto de arquitetura de paisagismo, principalmente em grandes áreas, o estrato arbóreo é um elemento importante que ajuda a estruturar espaços arquitetonicamente, colaborar com a formação de áreas sombreadas, reduzir efeitos de ilha de calor, entre outras contribuições. As estratégias para a inserção destes elementos no projeto podem estar relacionadas a aspectos compositivos, arranjos volumétricos, densidade, funcionais e ambientais (GONÇALVES; BARBASSA; PEREIRA, 2016), sendo que muitas métricas podem estar envolvidas neste processo.

## **2.1 Ferramentas Computacionais**

Como base para o desenvolvimento e visualização da programação, o ambiente de modelagem Rhinoceros 3D (versão 7) foi utilizado como ferramenta para a instalação de componentes e plugins que estruturam a criação das simulações utilizadas na pesquisa. A construção do algoritmo foi realizada em duas linguagens de programação. A primeira delas, com estratégia de programação visual, foi o editor de algoritmos Grasshopper, um módulo de extensão para modelagem paramétrica do Rhinoceros. Que, por coordenadas, produz geometrias simples que se assemelham a diferentes copas. A segunda, baseada em uma linguagem de scripting, foi feita com utilização de componente Grasshopper que permite programar um algoritmo a partir da linguagem de alto nível Python. Nessa parte eram geridas as coordenadas onde são inseridas as geometrias, e permite afastar, aproximar, randomizar, alinhar, tais pontos. O Grasshopper fornece uma gama de operações e comandos matemáticos e geométricos, podendo alterar o modelo digital construído. Essas operações e componentes podem ser

criados também em linguagens escritas, como o próprio Python, permitindo a ampliação ou simplificação de suas funções (RHINOCEROS, 2018).

Quando finalizadas, foram agrupadas em um único componente para facilitar o manuseio por parte do usuário. As simulações, que utilizam informações de saída do componente, foram organizadas por meio do plugin Ladybug. Este módulo de extensão de código aberto do Grasshopper, possibilita explorar e avaliar o desempenho ambiental relacionado a uma determinada coordenada geográfica. Para essa análise o plugin importa arquivos meteorológicos padrão do EnergyPlus (.EPW) que apresentam uma série de dados capazes de fornecer uma variedade de gráficos interativos 3D, que apoiam o processo de tomada de decisão durante o projeto. A sua utilização possibilita que haja um acoplamento dinâmico entre a "interface" de programação visual flexível baseada em componentes do Grasshopper e conjuntos de dados ambientais validados e mecanismos de simulação. (SADEGHPOUR, PAK, 2013).

## 2.2 Métricas

As simulações e análises permitem que os estudantes interpretem diferentes características do ambiente e possam visualizar o impacto de suas decisões e intenções de projeto. Os resultados são apresentados visualmente na "interface" do Rhinoceros 3D, e gerados por meio da manipulação de componentes pré-ajustados no Grasshopper, de modo a facilitar o seu manuseio. Assim, o usuário final responsabiliza-se apenas em conectar a geometria a ser analisada e o contexto base da simulação. Para essa pesquisa as análises foram focadas em três percepções: visual, térmica e lumínica. A escolha dessas métricas dentro do plugin Ladybug foi feita, pois, são métodos de rápida execução em geometrias simples, com pouca complexidade de parâmetros, pois não consideram características como: reflexão, absorção, cor e outros (SADEGHPOUR e PAK, 2013).



Figure 1. Uma amostra do resultado das simulações disponibilizadas, sendo: porcentagem de visibilidade; porcentagem visual; máscara do céu; radiação anual incidente; e quantidade de horas de Sol durante um ano. Fonte: Os autores, 2022.

Tais percepções do ambiente foram separadas em diferentes análises controladas por componentes independentes e disponibilizadas em cinco componentes: "Visibility Percent" (Porcentagem de Visibilidade); "View Percent" (Porcentagem visual); "Ski Mask" (Máscara do céu); "Incident Radiation" (Radiação incidente); e "Direct Sun Hours" (Horas de sol diretas). Cada uma dessas métricas têm sua descrição apresentada no próprio plugin e tem uma amostra de seus resultados apresentados pela Figura 1. As suas caracterizações podem ser descritas por:

- 1) Porcentagem de Visibilidade: avalia a porcentagem de visibilidade da geometria para um conjunto específico de pontos que podem ser escolhidos pelo usuário. Esses cálculos são usados para se entender a visualização de um determinado ponto de referência, podendo identificar os principais visuais e obstruções em um ambiente ao ar livre (SADEGHPOUR e PAK, 2013).
- 2) Porcentagem visual: avalia a porcentagem de visualização para o exterior ou para o céu por um contexto. Esses cálculos podem ser usados para estimar a qualidade de uma vista para o ao ar livre a partir de um determinado local. Também podem ser usados para avaliar a abertura de passeios ou ruas para o céu. (SADEGHPOUR e PAK, 2013).
- 3) Máscara do Céu: Permite que se possa visualizar a parte da cúpula do céu mascarada pela geometria de contexto ou sombreado em torno de um determinado ponto. Malhas separadas são geradas para diferentes partes da cúpula do céu, as que estão mascaradas e as visíveis (SADEGHPOUR e PAK, 2013).
- 4) Radiação incidente: calcula a radiação incidente na geometria usando uma matriz de céu do “Cumulative componente Sky Matrix”, um componente que obtém uma matriz contendo valores de cada pedaço de uma cúpula do céu (SADEGHPOUR; MOSTAPHA, 2019) Sendo úteis para avaliar o impacto da orientação da implementação de uma determinada arquitetura para o uso da carga térmica, tamanho e na identificação dos espaços onde há uma maior incidência cumulativa durante o ano. O componente utiliza um “Weather file” (EPW) que identifica a localidade da simulação e importa os dados pertinentes para essa análise (SADEGHPOUR e PAK, 2013).
- 5) Horas diretas de sol: possibilita calcular e visualizar o número de horas de luz solar direta recebida pela geometria usando os vetores obtidos do componente “LB SunPath”. Esses cálculos diretos do sol podem ser usados para estudos de sombra de ambientes externos ou para estimar o potencial de ofuscamento do sol direto no interior. (SADEGHPOUR e PAK, 2013)

### 3 Desenvolvimento do método

Visando testar as simulações implementadas durante a pesquisa, foi proposta uma atividade com estudantes do quinto período, matriculados na disciplina de Urbanismo II, em que os participantes pudessem manipular o componente desenvolvido para essa pesquisa. Esse elemento foi criado por meio do Grasshopper, uma ferramenta do modelador tridimensional Rhinoceros 3D (versão 7) e por plugins de simulação. A construção do algoritmo foi realizada em duas linguagens: (1) programação visual, pelo editor de algoritmos Grasshopper; e (2) baseada em uma linguagem de scripting, a partir da linguagem de alto nível Python. Ambas foram agrupadas em um único componente para facilitar o manuseio por parte do usuário. O

seu uso possibilita simular e interpretar suas decisões relacionadas a escolha das características da vegetação e composição do projeto.

Esta cadeira introduz conceitos de arquitetura paisagística por meio da elaboração de um projeto de uma área livre pública, sendo que o desenvolvimento do trabalho é dividido em quatro etapas:

- 1) **Memorial de intenções:** leitura, interpretação e análise da área de intervenção e seleção de uma referência como estudo de caso;
- 2) **Diagrama conceitual:** criação de um diagrama da proposta, contendo aspectos físicos, funcionais e categorias de lazer que deverão estar presentes na proposta;
- 3) **Anteprojeto geral:** representa as propriedades totais de um lugar, buscando transmitir o conceito do projeto;
- 4) **Aproximação:** recorte de uma área onde a escala de trabalho será mais detalhada e definida, possibilitando maior especificação dos elementos que compõem o espaço.

Na etapa de anteprojeto são também introduzidos aspectos básicos de trabalho com a vegetação, contudo sem um foco nas espécies e sim na estruturação espacial, principalmente com a utilização do estrato arbóreo. Sendo assim, observa-se a necessidade da interpretação, por parte dos estudantes, dos diferentes efeitos que o porte, forma e densidade vegetal podem causar ao ambiente urbano. Com a chegada da quarta e última etapa da disciplina, em uma escala mais aproximada, os estudantes devem rever o resultado da composição arbórea, tentando relacionar com as diferentes funções do espaço. Como resultado, no início desta etapa optou-se por reservar uma aula para introduzir as ferramentas paramétricas e de simulação e como estas poderiam influenciar no processo de decisão durante a definição do estrato arbóreo.

A atividade não foi realizada com todos estudantes matriculados na disciplina, pois a maioria não teve experiências prévias com as ferramentas utilizadas no experimento, o que dificultaria o acompanhamento, por parte do tutor, das dúvidas que surgissem no processo. Como resultado, de um a dois membros das equipes de projeto foram selecionadas para participar da oficina. Dos seis grupos formados na disciplina, quatro apresentaram interesse em utilizar o componente. Cada equipe possui de cinco a seis integrantes e, desses, um ou dois envolveram-se diretamente no experimento. Utilizaram-se os computadores disponibilizados pelo laboratório de mídias digitais da Universidade Federal de Santa Catarina durante o horário das aulas do ateliê.

Para interpretar o mecanismo de funcionamento do componente desenvolvido no Grasshopper uma apresentação inicial foi efetuada, explicando os principais comandos utilizados dentro do Rhinoceros 3D e Grasshopper. Nessa primeira exposição foi explicado as duas principais funções, sendo: (1) selecionar parte da área utilizada pela disciplina; e (2) como criar as formas e curvas no Rhinoceros. Essas formas e linhas são projetadas diretamente no terreno, podendo ser feitas em duas dimensões e sendo adequado automaticamente a topografia. Tal mecanismo faz com que

caminhos e áreas preenchidas pelos maciços vegetais sejam recriadas com facilidades pelos estudantes, sem a necessidade de um nível avançado de conhecimento em ambos os programas. Isso pode ser visualizado pela figura 2, que apresenta a projeção das linhas do Rhinoceros e o terreno modelado digitalmente para a disciplina.

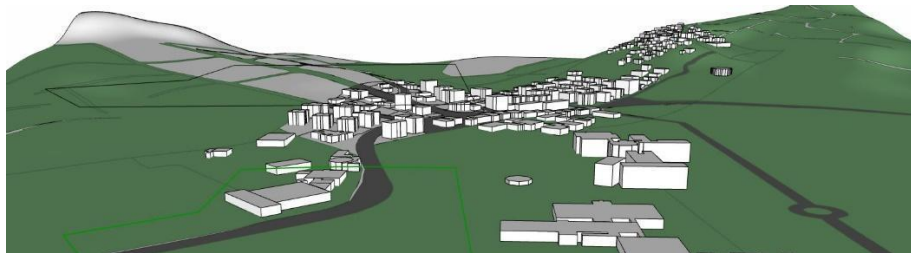


Figure 2. Apresentação da área de intervenção da disciplina, que se inicia na rua inferior esquerda e segue até a comunidade à direita. Fonte: Os autores, 2022.

Na sequência, foram demonstrados os comandos básicos de como utilizar o componente desenvolvido no Grasshopper e os parâmetros das simulações, tanto para o entendimento do resultado das simulações quanto o funcionamento dos seus controladores. Como a programação apresentada já estava completa, a interação com o ambiente deu-se pelo preenchimento e alteração de valores nos controladores pré-ajustados, de modo a facilitar o seu manuseio. Assim, para a manipulação, o usuário necessita: conectar qual superfície do terreno ele quer analisar; o espaço que será preenchido pelo estrato; caminhos — caso existam —; e qual as propriedades físicas das árvores. As análises simuladas permitem que os estudantes interpretem as diferentes características do ambiente geradas por uma determinada composição do estrato arbóreo. O resultado das simulações e das composições são repassados visual e graficamente para a “interface” do Rhinoceros 3D.

O processo de modelagem da vegetação para simulação parte da geração aleatória de pontos (P) como método de inserção do elemento no projeto. Os algoritmos desenvolvidos em Python empregam quatro modos de geração: (1) elemento atrator que emprega uma curva (c) como delimitador da distância máxima (dl) de alocação da vegetação sobre o terreno descrevendo, por exemplo, arborização ao longo de um caminho (passo  $A \rightarrow B \rightarrow C$ ); (2) elemento repulsor, onde a distância dl torna-se o limite de aproximação e, no passo B, as áreas  $A_i$  e  $A_e$  são invertidas; (3) sobreposto, onde os pontos devem estar sobre a(s) curva(s) ( $P \cap c$ ); e (4) aleatório, os pontos são gerados sobre  $A_t$ , tendo apenas o passo C como critério. A Figura 3 apresenta o componente desenvolvido e seus parâmetros de entrada e saída no Python e no Grasshopper.



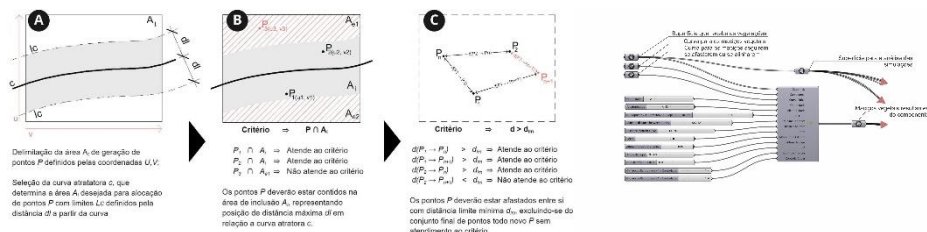


Figura 3. Regras e critérios de geração de pontos para alocação de vegetação empregando o modo "elemento atrator e uma amostra do componente desenvolvido para a programação em linguagem visual e escrita. Fonte: Os autores, 2022.

Durante a utilização do programa os alunos foram instruídos a salvarem imagens das simulações e estratos. Essas imagens, efetuadas com a captura da tela, permitiram que os resultados fossem utilizados para a criação de um acervo, que permite analisar como e se os alunos compreenderam a utilização da ferramenta, e se os resultados impulsionaram a escolha da vegetação.

## 4 Resultados

Os resultados coletados e apresentados nesse artigo ainda não são os finais, visto que, como comentado no desenvolvimento do método, até o momento os alunos puderam utilizar o componente desenvolvido na terceira etapa da disciplina. Mesmo apresentando soluções preliminares, a experimentação e resultados ainda podem ser ampliados com a utilização do componente em um contexto de escala mais aproximado, em que os estudantes possam analisar o comportamento de decisões fundamentais do projeto, como inserção de arquiteturas, mudanças de topografia, entre outros. Uma amostra do resultado da utilização do componente pelos alunos pode ser observada na figura 4. Nela, é possível observar um conjunto dos resultados visuais das simulações coletadas por cada equipe.

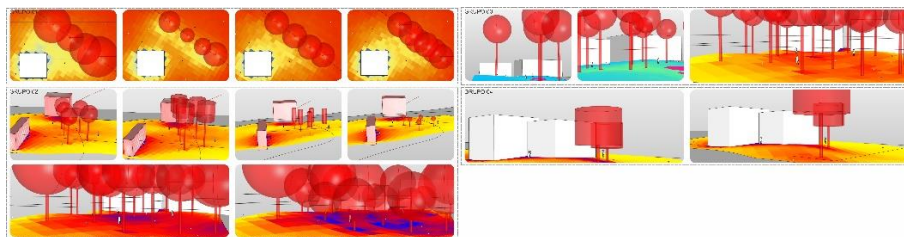


Figura 5: Uma amostra da utilização dos alunos com o componente desenvolvido. Fonte: Os autores, 2022.

Contudo, diferentes informações já puderam ser coletadas. Em um aspecto geral, os alunos conseguiram utilizar com facilidade o componente e os comandos básicos tanto do Rhinoceros quanto do Grasshopper. Os participantes acabaram por simular e analisar aspectos particulares referentes aos seus projetos, já direcionando as primeiras simulações para análises que apresentavam interesses particulares. Cada grupo testou as simulações que apresentaram uma maior conexão com o conceito aplicado no projeto. Como ao utilizarem a ferramenta de porcentagem de visibilidade e a de porcentagem visual, para verificar diferentes ordenações da vegetação, o diálogo entre o caminho e os eixos visuais, e possíveis perspectivas que gostariam de utilizar. Em outros grupos, foram testadas simulações como a radiação incidente e horas diretas de Sol, buscando identificar as composições geométricas da vegetação, como elementos em ritmo, agrupamentos, proporção ou espaços heterogêneos.

A avaliação dos diferentes critérios pelos alunos não foi induzida a nenhum método já validado, como o uso de algoritmo ou Pareto, foi feita por uma análise comparativa dos resultados gráficos visuais. A orientação para esse tipo de análise foi feita, pois nessa pesquisa não utilizaram da coleta de dados quantitativos que poderiam ser usados para análises mais complexas. As escolhas das características das vegetações foram feitas por meio de observações visuais e comparativas, pois dois resultados de simulações diferentes poderiam rapidamente aparecer e serem comparadas. E para aspectos da característica dos maciços vegetativos podem ser ajustados de modo rápido e fácil devido aos controladores

## **5 Discussões**

O desenvolvimento, uso e análise do componente possibilitou identificar três questões que podem ser discutidas nesse artigo, sendo: a compreensão do funcionamento das simulações e a aplicação dos resultados; o entendimento do uso de simulações como um instrumento de tomada de decisão; e o interesse dos estudantes em continuarem a utilizar o componente devido à facilidade no manuseio.

A identificação das formas dos maciços arbóreos e dos elementos isolados foi uma das principais simulações realizadas pelos estudantes. Os testes foram feitos principalmente com a mudança de porte, composição — heterogêneas e homogêneas, posicionamento referente a uma determinada curva — afastada, aproximada e sobre a linha. A organização dos estratos em ritmo foi bastante avaliada, mas principalmente para questões visuais e a relação que a sombra gerada por essa linearidade pode ter com o caminho. Contudo, um ponto negativo observado dentro desse tópico foi dificuldade na manipulação de alguns comandos básicos devido a pouca familiaridade com a instrumentação. Tendo em vista que o controle não planejado de alguns dos parâmetros acabaram por ocasionar travamentos nos computadores, por uma simulação ser desativada para que outra fosse executada. Entretanto,

tais dificuldades foram rapidamente superadas, e podem ser aprimoradas com um período curto de treinamento nos programas.

O entendimento do uso das simulações foi positivo, a percepção do resultado do comportamento da radiação, insolação ou permeabilidade visual — entorno e céu — pode ser direcionado para algumas características do projeto. Tal percepção das simulações foi facilitada pela simplificação do processo, pois os estudantes não precisavam modificar um número elevado de parâmetros nos componentes para obterem resultados. Isso os conduziu a estarem mais concentrados nas mudanças de parâmetros que modificam as características do estrato arbóreo do que na alteração de componentes que mudavam resultados das simulações.

Tal facilidade no manuseio e visualização dos resultados fez com que os estudantes não se defrontassem com todas as dificuldades existentes no desenvolvimento de programações, como o entendimento da linguagem ou a “interface”. Isso se evidenciou como um incentivo a continuar o uso das simulações no processo, além de estimular a utilização de programas paramétricos. Considera-se que com a continuidade da disciplina, o uso das simulações e do componente sejam ainda mais efetivos. Espera-se que para a entrega final do artigo, mais resultados visuais possam ser apresentados, reforçando as discussões apresentadas.

Para a continuidade da pesquisa e pesquisas futuras pretende-se refinar alguns dos parâmetros existentes no componente e realizar mais experimentos em diferentes fases de projeto. Ainda é observado a possibilidade de aprimoramento da programação, atribuindo mais características às geometrias, como permeabilidade das copas e mais padrões de organização.

## References

- Bentivegna V. (2019). The quality of the architectural works: the relational aspects, in *Rivista SIEV, Valori e Valutazioni*, Vol. 23, DEI, Roma, pp. 23-29.
- Fattinnanzi E., Micelli E. (2019). Ezio. Evaluating the architecture project. *Valori e Valutazioni*, Roma, n. 23, p. 3-13.
- Ibarra D. I., Reinhart C. F. (2009) Daylight Factor Simulations: How Close Do Simulation Beginners ‘ReallyGet? In: *Eleventh International IBPSA 11.*, Glasgow. *Proceedings of Eleventh International. Building Simulation*, p. 196-203.
- Lima, F. N. B., Jose D. (2021) a. Urban Design Optimization: Generative Approaches towards Urban Fabrics with Improved Transit Accessibility and Walkability - Generative Approaches towards Urban Fabrics with Improved Transit Accessibility and Walkability. *Projections*, 719–28.
- Lima, F. N. B., José P. D. (2021) b. A Grammar-Based Optimization Approach for Walkable Urban Fabrics Considering Pedestrian Accessibility and Infrastructure Cost.” *Environment Planning and B*.

- Luca, F. de. (2019) Learning Performance-driven Design. Students Approach Integrating Urban Form Studies and Building Performance Analysis. In: 16 th IBPSA, 16. p. 1-9.
- Luca, F. de. (2020) A Case Study of Teaching Method and Students' Learning Experience in Integrating Urban Design and Performance Simulations for Climate Conscious Design in Estonia. *Acta Architecture Naturalis*, v. 1, n. 6, p. 44-63.
- Luca, F. de., Naboni, E., Lobaccaro, G. (2020) Tall buildings cluster form rationalization in a Nordic climate by factoring in indoor-outdoor comfort and energy. *Energy And Buildings*, v. 238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110831>
- Gonçalves, L. M., Barbassa, A. P., Pereira, T. R. D. S. (2016). O projeto paisagístico como elemento integrador e identificador de técnicas compensatórias de drenagem. In: congresso internacional towards green cities, Mérida. p. 1-10.
- Oxman, R. (2005) The conceptual content of digital architecture.: a content analysis in design. *Arquitetura Revista*, p. 1-16.
- Oxman, R. (2006) Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27, n. 3, p. 229-265. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002>.
- Reinhart, C. F. et al. (2012). Learning by playing – teaching energy simulation as a game. *Journal Of Building Performance Simulation*. 5, n. 6, p. 359-368, <http://dx.doi.org/10.1080/19401493.2011.619668>.
- Reinhart, C. F. et al. (2015). Lessons Learned from a simulation-based approach to teaching building science to designers. In: *Building Simulation*, 14. Hyderabad. Proceedings in Conference of International Building Performance Simulation Association. Hyderabad: p. 1126-1133.
- Rhinoceros (2018). Disponível: <<https://www.rhino3d.com/>>. Acesso em: 15 mar. 2018
- Sadeghipour R., M., Pak, M., (2013). Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshoppers to help designers create an environmentally conscious design. In: *Proceedings of the 13th International IBPSA Conference Held in Lyon*.
- Sadeghipour R., M., Pak M. (2019). Cumulative Sky Matrix. Disponível em: [https://docs.ladybug.tools/ladybug-primer/components/2\\_visualizedata/cumulative\\_sky\\_matrix](https://docs.ladybug.tools/ladybug-primer/components/2_visualizedata/cumulative_sky_matrix). Acesso: 15 jun. 2022.
- Salvati, E. J. (1993). Tipos vegetais aplicados ao paisagismo. *Paisagem e Ambiente*, n. 5, p. 9. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (ÁGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i5p9-45>.
- Seckin, N. P. (2018). Environmental control in architecture by landscape design. *A/Z: ITU journal of Faculty of Architecture*, v. 15, n. 2, p. 197-211, LookUs Bilisim A.S. <http://dx.doi.org/10.5505/ituja.2018.90022>.
- Szentesi-Nejur, S., Luca, F. de., Nejur, A. (2021) Integrated Architectural and Environmental PerformanceDriven Form-Finding: a teaching case study in montreal. In: *ECAADE 39, Novi Sad. Proceedings in Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*. Novi Sad v. 2, p. 105-114.