

PROJETANDO UMA ENVOLTÓRIA OTIMIZADA A PARTIR DE PROCESSOS PARAMÉTRICOS E ALGORÍTMICOS

Natália Queiroz (1); Ney Dantas (2); Carlos Nome (3)

(1) Mestranda, arquiteta, nataliaqueiroz.arq@gmail.com, Programa de Pós-graduação em Design da UFPE.
Recife-PE, (83) 32110199

(2) Ph.D., arquiteto, ney.dantas@gmail.com, Departamento de Arquitetura da UFPE.

(3) Ph.D., arquiteto, carlos.nome@gmail.com, Departamento de Arquitetura da UFPB.

RESUMO

Há uma ascensão do Design Paramétrico e Algorítmico dentro da prática de arquitetura e no processo projetual. O domínio de processos paramétricos em arquitetura é recente e sua popularização ocorre desde os anos 2000. Através desta abordagem é possível associar o modelos às análises ambientais, climáticas e adicionar parâmetros referentes à sustentabilidade de maneira integrada. Este artigo apresenta um estudo de caso de uma envoltória para um edifício vertical considerando clima de Recife-PE. Consiste na utilização de processos paramétricos e algorítmicos para a distribuição elementos geradores de sombra na envoltória de um edifício vertical, com atributos distintos a partir de uma base de dados gerada pela simulação da radiação incidente sobre a mesma. O estudo usa ferramentas computacionais como o *Grasshopper* e o *DIVA* para *Grasshopper*. A última trata de uma ferramenta de simulação termo-energética que usa o *Energy Plus 7.0* e o *Daysim* para cálculos. O resultado é um modelo paramétrico programado para responder automaticamente às características urbanas e climáticas, gerando simulações integradas a modelagem 3D, colaborando para criação de uma envoltória sombreada com elementos de sombra dispostos em resposta com a simulação.

Palavras chaves: Sombreamento, Parametrização, Grasshopper, DIVA

ABSTRACT

The use of Algorithmic and Parametric Design is growing within architectural design processes. The domain of parametric processes in architecture is recent, and the beginning of its popularization dates from year 2000. The potential of such processes goes beyond aesthetic explorations. One can also associate models to environmental and climatic simulation, as well as add parameters related to sustainability. Thus, the process becomes automated and potentially creates optimized models from such parameters. This article presents a case study on a vertical building envelope design considering Recife's climatic conditions. It consists of the utilization of parametric and algorithmic processes to distribute sun shading devices on a vertical building's facade. The study uses computational tools such as Grasshopper and the DIVA for Grasshopper. The latter is a thermal energy simulation tool that uses the Energy Plus 7.0 and Daysim for calculations. The model uses incident solar radiation simulation on the envelope as basis for distribution of shading devices. The result is a parametric model that automatically responds to urban and climatic characteristics, generating simulations integrated to the 3D model, creating a façade shaded by devices placed in response to the simulation.

Keywords: Shading, Parameterization, Grasshopper, DIVA.

1. INTRODUÇÃO

O projeto da envoltória do edifício é uma das etapas mais importantes na criação de edifícios energeticamente eficientes, ou que sigam princípios de sustentabilidade. A envoltória possibilita a interação entre interior e exterior, entre o edifício e o clima. O projeto da envoltória impacta nos sistemas ativos do edifício, como os de condicionamento artificial e de iluminação e também no condicionamento urbano (efeito de ilha de calor). Portanto, seu desenvolvimento deve basear-se em princípios que colaborem com a redução do consumo energético e aproveitamento de recursos naturais, preservando a qualidade espacial e reduzindo a influência da radiação solar em períodos quentes.

Existe atualmente uma diversidade de ferramentas visando contribuir com o projeto da envoltória e compreensão da interação do clima e o edifício. Porém, a integração dessas ferramentas ao processo projetual muitas vezes é deficiente, principalmente durante as primeiras fases de projeto. O projeto arquitetônico tende a integrar critérios de performance quantitativos somente em fases relativamente avançadas do processo projetual (TURRIN et al., 2011; LIMA, 2012).

Em contraponto, processos paramétricos possibilitam a automatização de parte do processo projetual e a integração de considerações de diferentes disciplinas em um único modelo. Segundo Motta (1999), um determinado processo projetual, uma vez identificado, pode ser passível de parametrização. Seu trabalho é um dos pioneiros a identificar processos genéricos de parametrização durante o processo projetual. Esta abordagem pode contribuir para facilitar processos integrados desde o início do projeto de arquitetura (EASTMAN et al., 2008). Processos algorítmicos por sua vez, permitem que o projetista também seja responsável por definir um determinado processo paramétrico reduzindo limitações relacionadas a interface de softwares. Em conjunto, as duas abordagens podem ser utilizadas para estabelecer associações inovadoras.

Este artigo se propõe a apresentar um estudo de caso que utiliza ferramentas paramétricas/algorítmicas no projeto de uma envoltória. O modelo paramétrico é estabelecido a partir do uso de linguagem de programação visual, utilizando simulações computacionais de incidência de radiação integradas a modelagem. O modelo foi construído de forma a automatizar a simulação de maneira integrada com o software de modelagem 3D, e associar a distribuição dos elementos de sombra aos resultados. O modelo é estabelecido dentro de uma mesma interface. O artigo está contextualizado junto à pesquisa de mestrado da autora, a qual, aborda aspectos de parametrização para criação de formas otimizadas climaticamente.

Dois aspectos cruciais para o trabalho são discutidos a seguir. Primeiro “design algorítmico e paramétrico”, que apresenta resumidamente bases e conceituação sobre modelagem paramétrica/algorítmica e sua associação com requisitos de desempenho. Em seguida, as “estratégias bioclimáticas para Recife”, apresenta a revisão sobre as principais estratégias projetuais bioclimáticas para o clima de Recife-PE, as quais, são base para criação do modelo da envoltória.

Leach (2014) descreve Design Paramétrico como a utilização de software de modelagem paramétrica. Softwares paramétricos permitem associar parâmetros dimensionais e geometria, conseqüentemente, possibilita ajustes e variações do modelo sem etapas de remodelagem. O domínio de processos paramétricos em arquitetura é relativamente recente e sua popularização vem ocorrendo desde os anos 2000 (WOODBURY, 2010). Esta popularização está relacionada com o avanço das ferramentas computacionais e desenvolvimento de novas tecnologias de modelagem.

Design Algorítmico por sua vez, refere-se especificamente ao uso de linguagens de *script* que permitem ao usuário “projetar” através da manipulação direta do código. Esta abordagem contribui para reduzir limitações advindas de interfaces e da necessidade de integração de muitos softwares. Woodbury, (2010) indica seis habilidades necessárias a um projetista que usa ferramentas paramétricas e algorítmicas: capacidade de conceber o fluxo de dados; capacidade de dividir e conectar partes lógicas; capacidade de nomear essas partes; capacidade de pensar com abstração; capacidade de pensar matematicamente; e finalmente, capacidade de pensar algoritmicamente.

Linguagens de programação visual, por sua vez, permitem criar programas, concatenando elementos gráficos e não necessariamente usando linguagem de código de texto. Quando esse tipo de programação é aplicada, gera um modelo visual de fluxo de dados. Esse tipo de abordagem associado a um programa de modelagem 3D vem se tornando popular internacionalmente entre projetistas, porque permitem a criação de “programas” que executam processos variados e integrados conforme interesse do projetista. A vantagem dessa abordagem é a possibilidade de executar algo semelhante a alguns ambientes algorítmicos de modelagem sem necessidade usar código no texto. (CELANI E VAZ, 2012). Quatro exemplos deste tipo de software são: *Generative Components* (GC) da Bentley, o *Grasshopper* (plugin independente para Rhino 3D), *Sidefx Houdini* da *Side Effects* e o *Dynamo* da Autodesk (ainda em teste pela empresa).

Em decorrência de popularização de softwares que utilizam linguagem de programação visual, há uma ascensão do Design Paramétrico e Algorítmico dentro da prática de arquitetura e no processo projetual internacionalmente. A partir de técnicas paramétricas/algorítmicas, o arquiteto passa a ter meios para um maior controle sobre processos eficientes se comparado com abordagens padrões, e também facilita novas maneiras de coordenar processos integrados de construção e fabricação (LEACH, 2014). Segundo Delanda (2009) é uma questão de não olhar para a geometria em si, mas para os processos de tomada de decisões que levam à geração da geometria (LEACH, 2009).

A abordagem paramétrica e algorítmica possibilita a integração de análises ambientais, climáticas e adição de restrições referentes à sustentabilidade, de forma a colaborar com os processos desde o início do projeto. Esta oportunidade de integrar plenamente simulação no início do processo de projetual provoca uma transição de um processo de projeto que era tradicionalmente um processo de "tomada de forma" a um processo que combina a "tomada de forma" e a "descoberta da forma". Em modelos integrados, as questões referente a desempenho passam a ser restrições integradas ao modelo do projeto. Dois exemplos de pesquisas neste contexto são exemplificados a seguir:

Turrin et al. (2011) descreve processo em que utiliza design paramétrico e algorítmico para interligar soluções entre forma e desempenho. O trabalho do autor apresenta mecanismos para a integração de desempenho com design usando modelagem paramétrica e simulação de radiação solar. Em seguida, utiliza técnicas de geração de alternativas para fornecer opções de solução associados aos indicadores de desempenho do projeto.

O trabalho de Taleb e Musleh (2015) apresenta um estudo realizado no Grasshopper que traz a investigação do potencial de aplicação de processos de otimização de modelos paramétricos sobre os processos de design urbanos convencionais. Foram utilizadas ferramentas como Grasshopper associadas a uma ferramenta de CFD, o ANSYS CFX, para encontrar de maneira integrada soluções urbanas otimizadas climaticamente.

Um elemento fundamental para a incorporação de estratégias bioclimáticas a processos paramétricos é a compreensão do contexto climático no qual o projeto se insere. O contexto climático deste estudo é a cidade de Recife a qual está localizada no litoral brasileiro com latitude: 08° 08' e longitude de 34° 55'. Possui clima tropical quente e úmido, com temperaturas com médias que variam entre 24°C e 28°C no verão e 22°C e 24°C no inverno. Segundo método criado por Givoni (1992)¹, o clima possui 31.9% das horas em conforto térmico e 68.1% de horas em desconforto. Sendo que, 0.0799% das horas são frias e 68% das horas são quentes.

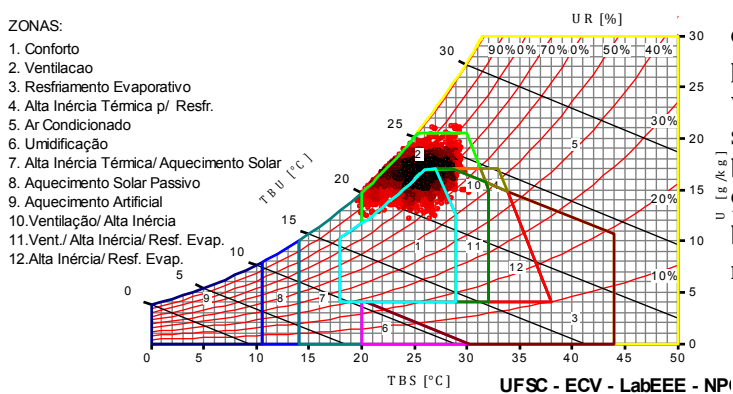


Figura 1. Carta Psicométrica de Recife. (Labeee, 2010)

As principais estratégias projetuais para o clima de Recife de acordo com a carta psicométrica de Givoni é sombreamento e ventilação, respectivamente (Figura 1). O sombreamento é a principal estratégia bioclimática, devendo ser utilizada durante 99,9% do ano. A segunda estratégia bioclimática para Recife é a ventilação, necessária durante 67,9% do ano.

Em Recife, percentualmente, o sombreamento é importante para todas as orientações, durante todo ano. Porém, são nas horas com maior altitude solar e durante as tardes que o sombreamento é imperativo. As temperaturas mais amenas estão durante as manhãs de inverno. Ainda nesses períodos a estratégia de sombreamento se faz necessária na grande maior parte das vezes (Figura 2).

¹ Autor utilizado na norma brasileira NBR 15220, ainda em vigência até a data de publicação deste artigo.

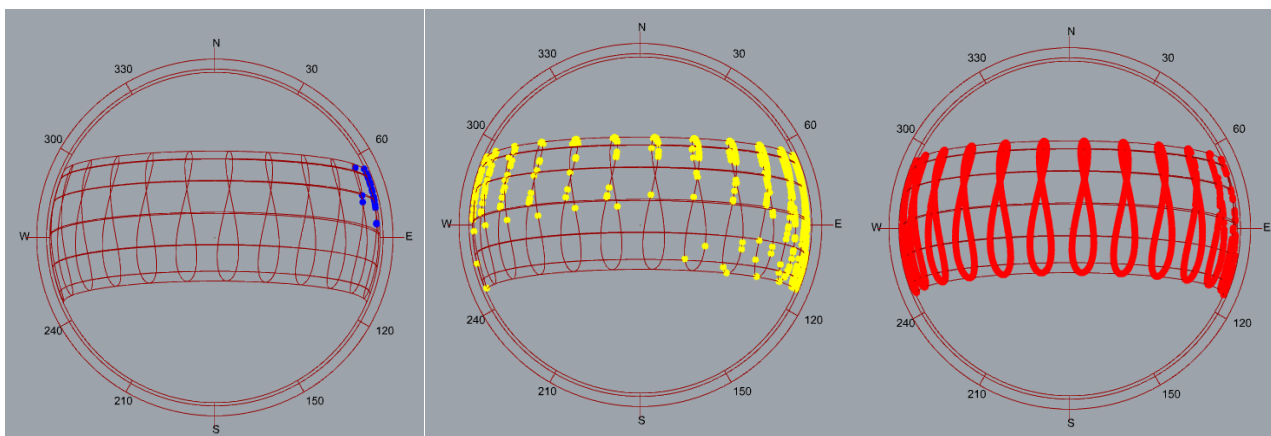


Figura 2. Cartas solares com dados de temperaturas de bulbo seco para Recife-PE, respectivamente. Os pontos em azul indicam situações com temperatura abaixo de 20°C (0,1%). Os amarelos, temperaturas entre 20°C e 25°C (onde o sombreamento é importante) (18,08%). Os vermelhos indicam temperaturas superiores a 25°C (onde o sombreamento é necessário) (81,82%).

Tizani e Mawdesley (2011) identifica a incorporação de processos paramétricos como avanço e inovação significativa dentro da área de computação aplicada à construção civil. Segundo o autor, a integração de conhecimentos multidisciplinares em um único modelo de desempenho paramétrico é um dos aspectos identificados como sendo de importância, pois facilita processos interdisciplinares. Segundo Shi e Yang (2013), a metodologia convencional de projeto em arquitetura não é totalmente eficaz na busca da relação entre projeto (forma) e performance, sendo necessário desenvolver e aperfeiçoar o projeto baseado na análise de desempenho de maneira mais científica. O qual de fato é o foco do presente estudo.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar um estudo de caso que utiliza ferramenta paramétrica e algorítmica no projeto de uma envoltória otimizada a partir de simulações computacionais de incidência de radiação para o clima de Recife-PE. O modelo será construído com o uso de um software de modelagem 3D com o comportamento paramétrico estabelecido pelo usuário.

3. MÉTODO

O método adotado é um estudo de caso. Consiste na utilização de processos paramétricos e algorítmicos para a distribuição elementos geradores de sombra, com atributos distintos, na envoltória de um edifício vertical, a partir de uma base de dados gerada pela simulação da radiação incidente sobre a mesma. Os resultados são discutidos a partir da análise da radiação incidente na aplicação resultante. O trabalho está dividido em três etapas principais

1. **Definição dos elementos geradores de sombra.** (item 4.1) Estabelece atributos distintos através da compreensão da geometria solar e do clima de Recife-PE. Esta etapa utiliza cartas solares, bem como dados climáticos do ano de referência da cidade para estabelecer ângulos verticais de sombreamento (AVS) e ângulos horizontais de sombreamento (AHS).
2. **Construção do modelo paramétrico/algoritmo.** (item 4.2) A etapa utiliza o *Grasshopper* para Rhino 3D e inclui simulação de radiação incidente na cidade de Recife como parâmetro de distribuição dos elementos de sombra. A simulação de incidência de radiação foi elaborada no DIVA, *plugin* para o Grasshopper que usa o Energy plus 7.0 e o Daysim para efetuar simulações (JAKUBIEC, 2011). Os dados de entrada do modelo são os elementos geradores de sombra, o partido da envoltória do edifício e a modelagem simplificada do espaço urbano imediato.
3. **Análise dos resultados.** (Item 4.3) Utiliza simulação computacional para avaliar a disposição dos elementos de sombra.

3.1 Limitações

Este trabalho apresenta resultados compatíveis com etapa de estudos de massa de um projeto arquitetônico, ou seja, trata das primeiras fases de um projeto e não tem a intenção de apresentar uma proposta arquitetônica completa. O estudo utiliza simulações de incidência de radiação direta como restrição do

modelo paramétrico. Essa discussão não tem intenção de ser exaustiva, ou seja, é possível associar o mesmo modelo a outras análises.

4. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso proposto para este trabalho será apresentado em termos da “definição dos elementos geradores de sombra” e “definição do modelo paramétrico/algorítmico” conforme descrito acima.

4.1 Definição dos elementos geradores de sombra

O terreno utilizado para o estudo de caso possui 2.368 m² e está localizado na região metropolitana de Recife. O entorno imediato é composto por muitos edifícios verticais. A leste está a praia de Boa Viagem. A orientação do terreno segue conforme mostra a Figura 3.



Figura 3. Terreno utilizado no estudo de caso.

De acordo com a leitura do clima a premissa é abordar solução onde a envoltória possa ser permeável e inteiramente sombreada por uma envoltória refletante disposta parametricamente.

A carta solar de Recife é quase simétrica, em decorrência da proximidade da cidade com a linha do Equador. Os maiores índices de radiação solar em Recife ocorrem nos períodos em que o sol está com altura solar com ângulo entre 60° e 0° sendo que, entre 30° e 0° estão os picos de radiação (Figura 4). Três considerações principais foram adotadas na proposição do comportamento dos elementos de sombra:

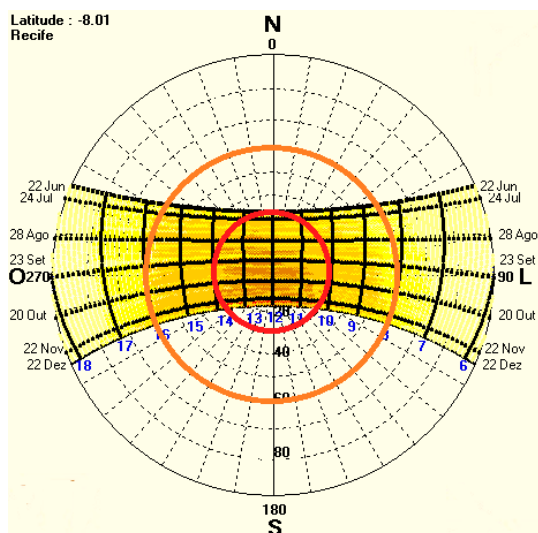


Figura 4. Carta solar de Recife com escala de radiação global horizontal. O círculo vermelho mostra a isolinha que represente o ângulo 30° e a laranja o de 60°. Dentro desses círculos estão as maiores incidências de radiação.

1. As orientações que recebem mais radiação são as que incidem sol tanto nos períodos de alta altitude solar, como nos de baixa (como as orientações leste e oeste), fazendo necessário um elemento de sombra que estabeleça um ângulo vertical de sombreamento (AVS) alto (60°);
2. Orientações que recebem radiação apenas nos períodos de alta altitude solar (como as orientações norte e sul), faz necessário uso de elemento de sombra que estabeleça um AVS até 30°.
3. Como a posição do sol numa determinada hora varia durante o ano (azimute solar), há situações que se faz necessário um elemento de sombra que estabeleça um ângulo horizontal de sombreamento (AHS) também.

O modelo utilizará elementos modulares de sombreamento. Foram definidos três comportamentos para os elementos de sombra a partir da leitura da geometria solar de Recife e da distribuição da radiação solar (Figura 5): O primeiro com ângulo de sombreamento de 30°, que responde a situações com menor necessidade de sombreamento. O segundo com ângulo de 45°, corresponde a situações em que a necessidade de sombreamento é intermediária. O terceiro com ângulo horizontal de 60° será utilizado em locais com incidências mais altas de radiação. Todos os elementos também possuem ângulo horizontal de sombreamento, para responder a variação do azimute solar durante o ano.

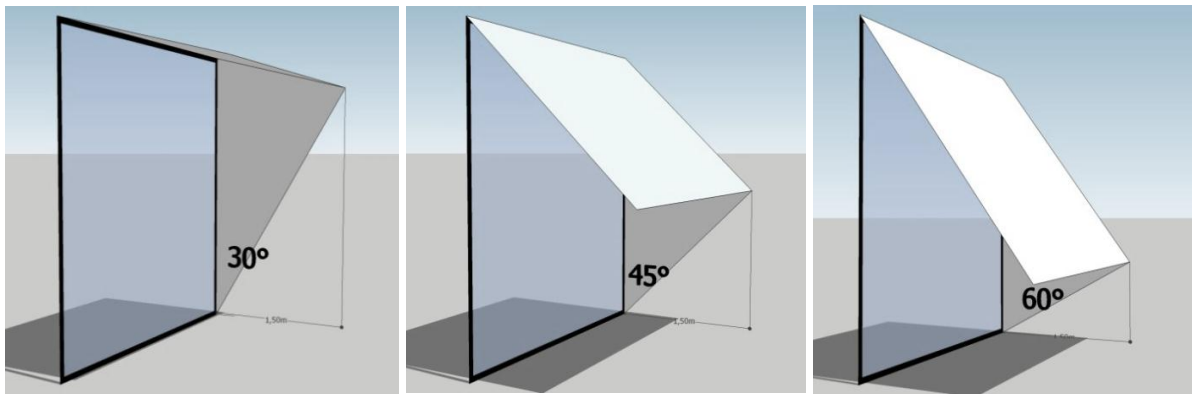


Figura 5. Três comportamentos estabelecidos para os elementos geradores de sombra modulares propostos (modelo simplificado).

4.2 Construção do modelo paramétrico/algóritmico

Para construção do modelo paramétrico foi utilizado o Grasshopper, plugin gratuito para o software Rhinoceros 3D. O modelo no Grasshopper foi construído de maneira que haja três dados de entrada (*inputs*): primeiro, a modelagem simplificada do entorno imediato. Segundo, o partido arquitetônico estudado para o projeto. E terceiro, os modelos dos elementos de sombra. Ambos podem ser editados no software 3D, ou modelados usando linguagem de programação visual.

O modelo inclui o arquivo climático, simulação de incidência de radiação solar (utilizando o plugin DIVA) e a distribuição dos elementos de sombra. É possível modificar parâmetros dimensionais e avaliar facilmente variações. Esses parâmetros dimensionais dizem respeito à distribuição dos elementos de sombra, quantidade de elementos, escalas de representação, etc. Uma vez estabelecidos novos parâmetros, o modelo atualiza automaticamente mostrando um novo cenário. A figura 6 mostra esquematicamente o funcionamento do modelo. O modelo permite trabalhar com cenários variados e permite aplicação em partidos arquitetônicos não ortogonais e até orgânicos (Figura 7).

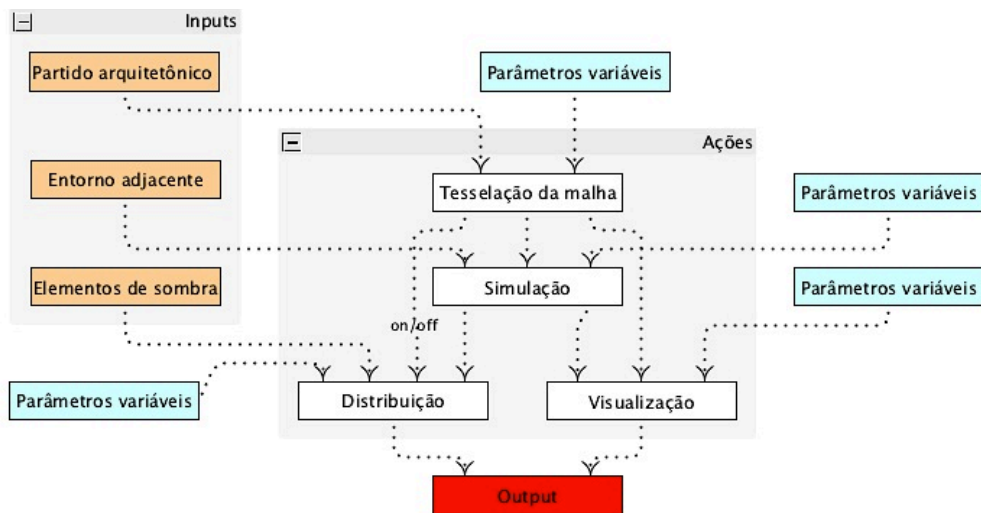


Figura 6. Funcionamento do modelo paramétrico gerado no grasshopper.

O plugin DIVA para o Grasshopper oferece opções de simulação simplificadas, importantes para considerações nas primeiras fases de projeto. O modelo paramétrico utiliza o módulo de simulação de iluminação, que usa o Daysim como simulador. Foi incorporado o arquivo com os dados climáticos de Recife no formato .EPW (RORIZ, 2012). O módulo de simulação de iluminação do DIVA oferece seis opções: Solar Irradiation Nodes, Solar Irradiation Image, Daylight Fator, Illuminance, Climate Based e Visualization. A opção utilizada foi a primeira: Solar Irradiation Nodes, para o período anual. Esta opção gera uma lista de dados em $Kwh/(m^2 \cdot ano)$ calculada a partir da construção de uma malha tessellada através do partido arquitetônico.

A malha foi configurada para dar aporte a simulação e a distribuição dos elementos de sombra. O módulo da malha é retangular com dimensões variáveis através dos parâmetros do modelo (eixos UV). A edição desta malha gera uma melhor resolução para simulação e pode ser usada para aumentar a densidade de elementos de sombreamento. O modelo é configurado para tessellar a malha através de um determinado

partido arquitetônico fornecido pelo modelador. Este partido pode ser elaborado no modelador 3D convencional, ou modelado através de linguagem de programação visual.

Ao associar o partido arquitetônico (modelo a ser analisado) como dado de entrada (*input*), o modelo possibilita visualizar a incidência de radiação na superfície, que pode ser lida concomitantemente à modelagem da geometria, facilitando a compreensão sobre a concepção geométrica e seu desempenho. A figura 7 ilustra este comportamento. Ou seja, ao associar o modelo do edifício como input, as mudanças na geometria realizadas pelo projetista no software 3D, acompanham automaticamente a visualização das isolinhas que indicam a incidência da radiação do sol sobre a superfície projetada. A visualização da escala de dados também foi configurada e pode ser editada conforme necessidade.

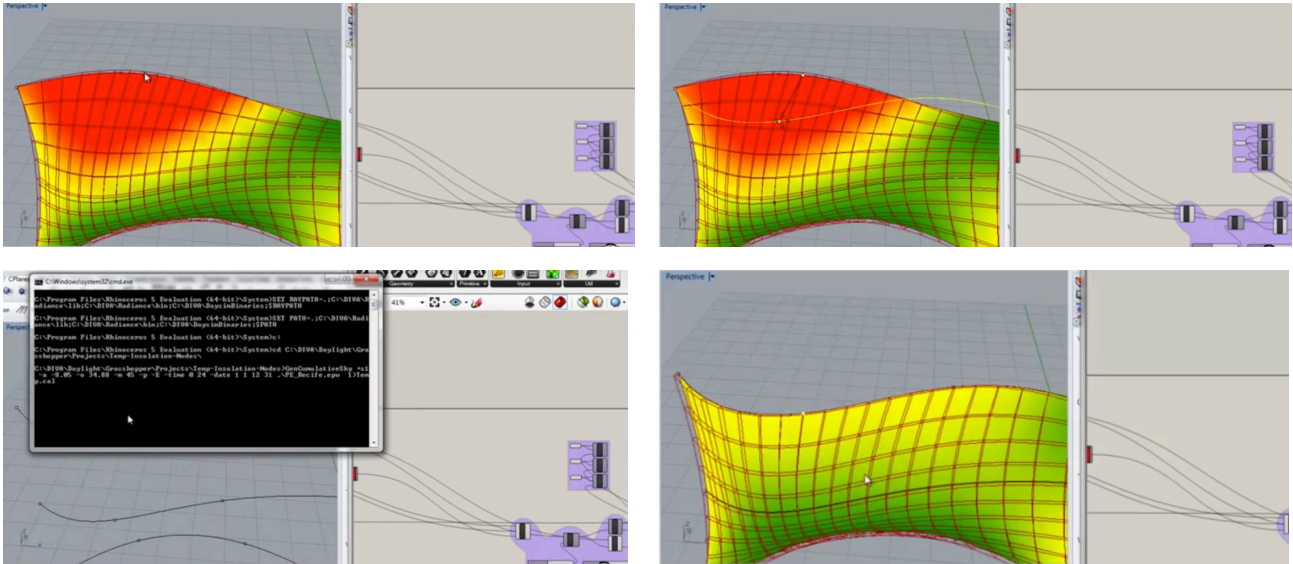


Figura 7. simulação integrada a modelagem 3D. Ao modificar a geometria o modelo paramétrico estabelecido gera uma nova visualização da incidência de radiação. A duração da simulação neste exemplo foi de cerca de 3 (três) segundos.

Os dados gerados na simulação em $Kwh/(m^2*ano)$ são utilizados para fazer a distribuição dos elementos de sombreamento, conforme especificação do modelador. Os parâmetros de distribuição também são editáveis podendo ser utilizado em conjunto com os outros parâmetros para gerar diversos cenários. O modelo também produz dados que facilitam a extração de informação quanto a geometria, por exemplo: a distribuição dos Elementos geradores de sombra é acompanhada da informação da quantidade utilizada de cada um. O script gerado pode ser visto na figura 8.

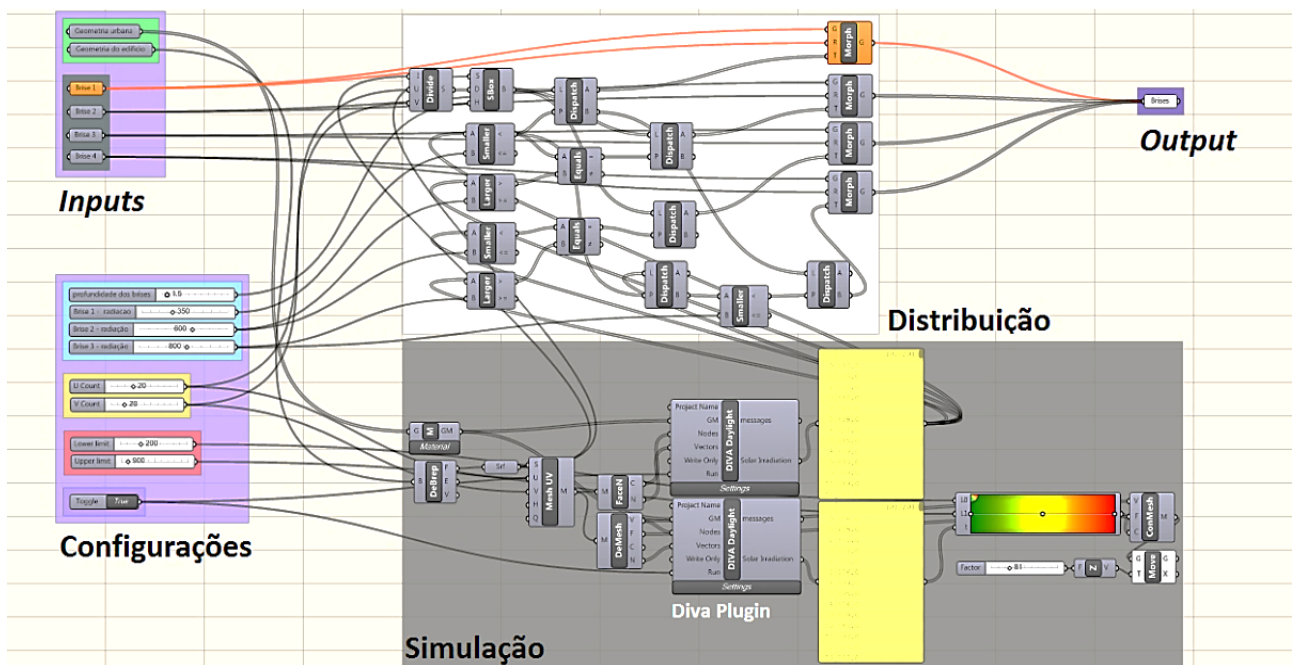


Figura 8. Script gráfico com fluxo de dados gerado no Grasshopper.

4.3 Análise de resultados

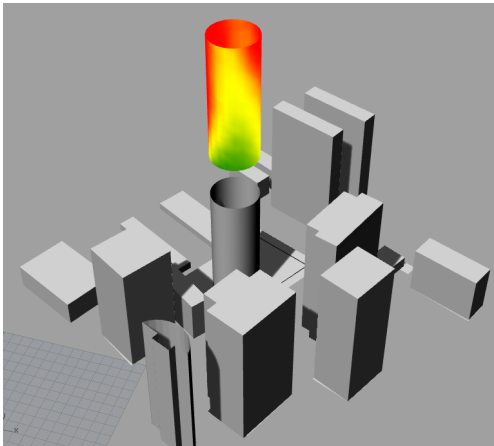


Figura 9. Modelo gerado mostrando a simulação de incidência de radiação na superfície do edifício proposto, enquanto o modelador trabalha o partido arquitetônico.

Após definição do modelo paramétrico, foram adicionados a modelagem do entorno edificado do terreno. Também foi adicionado o partido arquitetônico que será utilizado para a envoltória. Para facilitar edições da forma, um novo comportamento foi adicionado ao modelo paramétrico: o descolamento da visualização da simulação (Figura 9).

A simulação demonstra uma grande variação da incidência de radiação sobre a envoltória. As edificações em volta exercem influência no resultado a ponto de definir uma região na base do edifício que não necessita de elementos de sombra, pois foi considerada sombreada. A base de dados gerada pela simulação será utilizada para realizar a distribuição dos elementos de sombra. Para isso, o módulo de distribuição do modelo paramétrico foi ligado.

O modelo estabeleceu a distribuição de acordo com os parâmetros estabelecidos. Variações de distribuição foram realizadas com relativa facilidade. Por exemplo, em cerca de 10

minutos foi possível avaliar cerca de três alternativas de combinações diferentes. Essas combinações variavam o ângulo de sombreamento e a densidade de elementos dispostos na envoltória. A etapa de “Análise dos resultados” mostra a combinação escolhida.

A aplicação paramétrica dos elementos geradores de sombra respondeu ao cenário, alocando-os conforme os índices de radiação incidente. Naturalmente, a redução da radiação na envoltória do edifício se deu de forma variável, e os índices de radiação incidente após a distribuição dos elementos geradores de sombra, passaram a ser quase uniformes (figura 10). O sombreamento da envoltória, em climas como os de Recife, reduz a influência de radiação solar, e isso é positivo tanto para o desempenho interno do edifício, quanto também para reduzir a influência da implantação do edifício no condicionamento térmico do espaço urbano (efeito de ilha de calor). O número de aberturas abundantes, resultado deste tipo de exploração, potencialmente melhora o conforto luminoso e amplia as opções de estratégias de permeabilidade e ventilação natural do edifício.

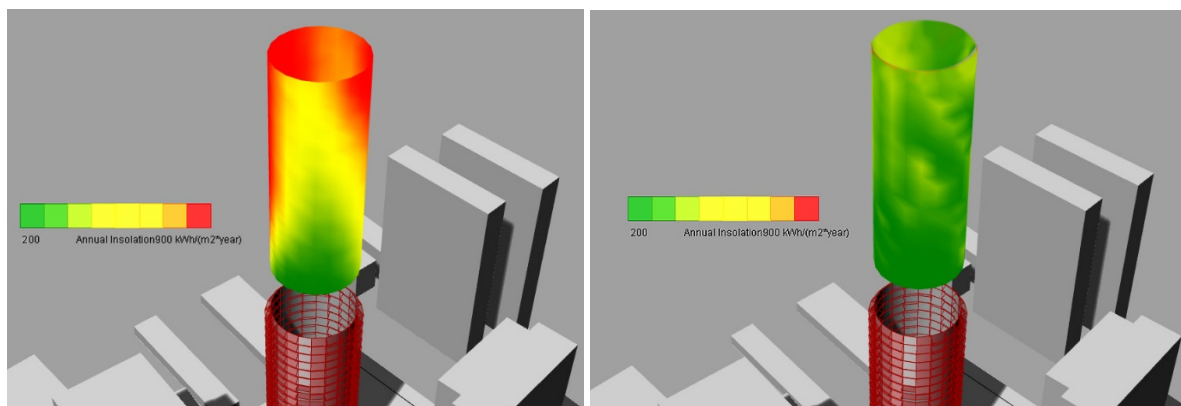


Figura 10. Escala de cores mostrando quantidade de radiação incidente na fachada antes da aplicação dos brises (esquerda) e depois da aplicação dos elementos geradores de sombra paramétricos (direita).

Os elementos de sombra apesar de modulares, possuem uma distribuição não linear e provoca um desenho orgânico no decorrer da envoltória, característica do resultado encontrado na simulação (figura 11). Este tipo de abordagem é encontrado em artigos científicos sob o termo de “envoltórias responsivas”² (*responsives skins/responsive facade*). Utilizado para definir envoltórias cuja morfologia é gerada parametricamente através de simulações computacionais de desempenho. O termo também é encontrado em artigos de automação de elementos de sombra em fachadas.

Apesar de sabido que a distribuição da radiação solar na envoltória de um edifício é complexa. Em geral, as soluções adotadas para solucionar ficam retidas a respostas simplificadas advindas do estudo de

² Tradução da autora.

“quatro orientações”. A solução com abordagem paramétrica extrapola restrição tradicional das soluções e possui uma caracterização relacionada diretamente ao resultado da simulação. Esta abordagem indica potenciais do uso de simulações e base de dados para auxiliar da geração de geometria, processos de otimização e elaboração de variações de soluções reduzindo retrabalho. O modelo também produz dados que facilitam a extração de informação quanto a geometria, por exemplo: a distribuição dos elementos de sombra é acompanhada da informação da quantidade utilizada de cada um.

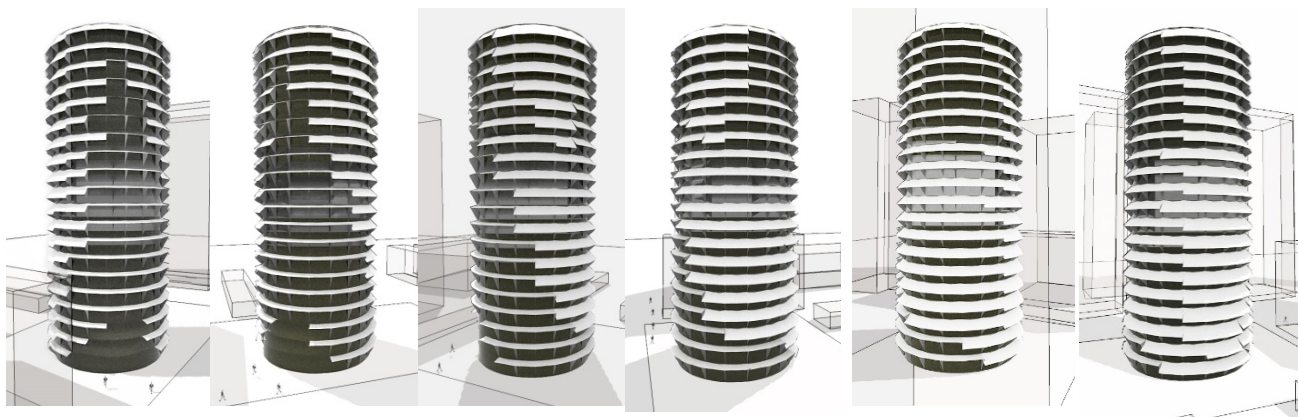


Figura 11. Resultado formal em pontos de vista sequenciados.

O modelo paramétrico estabelecido pode ser utilizado em situações futuras. Como permitido pela linguagem de programação visual, este modelo pode possuir outros modelos paramétricos como entrada de dados (*inputs*) e também pode ser associado a um outro modelo algorítmico mais complexo. Também pode ser base para modelos de algoritmo genético³ ou incluir outros tipos de simulações, como de iluminação e estrutural, por exemplo, criando modelos integrados com multi-simulações.

5. CONCLUSÕES

O estudo de caso descrito explora, através de uma abordagem paramétrica e algorítmica, o design responsivo aplicado a questões de eficiência energética e considerações bioclimáticas para o projeto da envoltória de uma edificação. A resposta apresentada no estudo também acarreta em redução de potenciais efeitos maléficos no condicionamento térmico urbano. Na aplicação são utilizadas, de forma integrada numa única interface, ferramentas interoperáveis de modelagem geométrica, simulação e de programação gráfica. O estudo caracteriza ainda a facilidade de extração informações do modelo, em curtos intervalos de tempo e a repercussão imediata destas na edificação em desenvolvimento.

Em termos de processo projetual, o estudo de caso apresentado emula o desenvolvimento de considerações possíveis em estágios iniciais de um projeto, como por exemplo, um estudo preliminar. Processos tradicionais de projeto incorporam considerações sobre a envoltória de edifícios em estágios mais avançados, como na etapa de ante projeto ou mais a frente ainda. O entendimento dos efeitos da geometria do edifício e sua envoltória em termos de eficiência energética tem profundo impacto no ciclo de vida do edifício, principalmente em termos de custos operacionais.

Em termos de potencial de exploração de soluções alternativas a um partido arquitetônico proposto, os processos paramétricos e algorítmicos oferecem oportunidades inalcançáveis por processos tradicionais. Dentro de uma mesma solução geométrica, os parâmetros estabelecidos pelos projetistas permitem a exploração de múltiplas alternativas praticamente em tempo real. Além disso, existe o potencial de aplicação de geometrias variadas ao modelo paramétrico. Por fim, a possibilidade de reutilização do modelo paramétrico em outras situações de projeto elevariam de forma exponencial os benefícios destas abordagens.

A incorporação de ciclos avaliativos ao processo de projeto, associado ao design responsivo, permite maior liberdade para ajustes e elaboração de combinações variadas como resposta a um mesmo problema. Esta combinação acaba por expandir o controle do usuário frente aos limites impostos pelas ferramentas de modelagem e simulação tradicionais. Colaborando com a compreensão do projetista, e computando padrões que podem ser utilizados para estabelecer soluções.

³ São ciclos automatizados de mudanças das variáveis de um modelo paramétrico/algorítmico visando gerar combinações otimizadas.

Processos algorítmicos podem contribuir para melhorar processos projetuais, pois reduzem influências advindas de limitações das ferramentas tradicionais, pois “libera” o projetista para planejar o processo paramétrico a ser incorporado em seu projeto. Apesar do uso de linguagem de programação visual não requer conhecimento específico de programação por via de código, esta abordagem ainda requer conhecimento específico e compreensão da lógica de programação. Porém é uma abordagem mais acessível a arquitetos.

Além do descrito acima, é necessário a construção de familiaridade com pensamento matemático, bem como, capacidade de organização e caracterização de processos. Entende-se que as tecnologias disponíveis para o desenvolvimento de soluções arquitetônicas estão em constante evolução. O uso destas tecnologias com vistas ao avanço da prática profissional é componente crítico para o aprimoramento do desempenho das edificações. Nota-se que são imprescindíveis abordagens integradas de projeto e modelagem, além da incorporação de ciclos avaliativos a estes processos.

Trabalhos futuros podem abordar o desenvolvimento de modelos com multi-simulações integradas numa mesma interface, além de exercícios acadêmicos que incorporem aplicações como a apresentada em sala de aula. A transformação da prática profissional, em respostas ao cenário atual da produção arquitetônica nacional, passa necessariamente pela revisão da formação do arquiteto e demandas sobre a prática. Isto é, cabe discutir como tais questões farão parte da formação contemporânea dos arquitetos e urbanistas, bem como das revisões das normativas e legislações vigentes.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à CAPES pela bolsa de estudos.

Ao Professor Carlos Vaz da UFPE pelos ensinamentos de Programação de Linguagem Visual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CELANI, G.; VAZ, C. **CAD scripting and visual programming languages for implementing computational design concepts: A comparison from a pedagogical point of view.** International Journal of Architectural Computing, v. 10, n. 1, p. 121-138, 2012. ISSN 1478-0771.
- EASTMAN, C. et al. BIM case studies. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**, p. 319-465, 2008. ISSN 0470261307.
- GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. Energy and buildings, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992. ISSN 0378-7788.
- JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C. F. **DIVA 2.0: Integrating daylight and thermal simulations using Rhinoceros 3D, Daysim and EnergyPlus.** 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 2011.
- LABEEE. **Analysis Bio.** Florianópolis, SC 2010.
- LEACH, N. **The Limits of Urban Simulation: An Interview with Manuel DeLanda.** Architectural Design, v. 79, n. 4, p. 50-55, 2009. ISSN 1554-2769.
- _____. **Parametrics Explained.** Next Generation Building, v. 1, n. 1, p. 33-42, 2014. ISSN 2213-4425.
- LIMA, R. V. D. S. **Modos projetuais de simulação: uso de ferramentas de simulação térmica no processo projetual de arquitetura.** 2012. Doutorado UFRN, Natal, RN.
- MOTTA, E. **Reusable components for knowledge modelling: Case studies in parametric design problem solving.** IOS press, 1999. ISBN 1586030035.
- PAYNE, A.; ISSA, R. **The grasshopper primer.** Zen 'Edition. Robert McNeel & Associates, 2009.
- RORIZ, M. **Arquivos climáticos em formato EPW.** LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações 2012.
- SHI, X.; YANG, W. **Performance-driven architectural design and optimization technique from a perspective of architects.** Automation in Construction, v. 32, n. 0, p. 125-135, 7// 2013. ISSN 0926-5805. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580513000253> >.
- TALEB, H.; MUSLEH, M. A. **Applying urban parametric design optimisation processes to a hot climate: Case study of the UAE.** Sustainable Cities and Society, v. 14, n. 0, p. 236-253, 2// 2015. ISSN 2210-6707. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670714000997> >.
- TIZANI, W.; MAWDESLEY, M. J. **Advances and challenges in computing in civil and building engineering.** Advanced Engineering Informatics, v. 25, n. 4, p. 569-572, 10// 2011. ISSN 1474-0346. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034611000632> >.
- TURRIN, M.; VON BUELOW, P.; STOUFFS, R. **Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms.** Advanced Engineering Informatics, v. 25, n. 4, p. 656-675, 10// 2011. ISSN 1474-0346. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034611000577> >.
- WOODBURY, R. Elements of parametric design. Ed. Routledge, 2010.