

**CENTRO UNIVERSITÁRIO BELAS ARTES DE SÃO PAULO**  
**ARQUITETURA E URBANISMO**

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DIGITAIS NO PROCESSO DE PROJETO DE  
COMPONENTES DE FACHADA PARA EDIFÍCIOS.**

Orientando: Pedro Antonio Nazzaro Corulla

Orientador: Denivaldo Pereira Leite

**RESUMO:**

A utilização de ferramentas digitais é o atual campo de desenvolvimento da produção na arquitetura e design. Essas ferramentas permitiram avanços e novas possibilidades de criação e fabricação na arquitetura. Os sistemas generativos são técnicos, métodos utilizados dentro dessas ferramentas para geração de formas. Nesse artigo discutirei a aplicação desses sistemas no processo de geração de fachadas e componentes de proteção solar. Usarei o método de mapeamento sistemático da literatura para selecionar e extrair dados relevantes ao tema de discussão e assim analisar, compreender e explicar como esses sistemas são implantados no processo de geração de fachadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** *sistema generativo, design de fachada e performance térmica*

**ABSTRACT:**

The use of digital tools is the current field of development of production in architecture and design. These tools allowed advances and new possibilities of creation and fabrication in the architecture. Generative systems are technical, methods used within these tools for generating forms. In this article I will discuss the application of these systems in the process of generation of facades and components of solar protection. I will use the method of systematic mapping of the literature to select and extract data relevant to the topic of discussion and thus analyze, understand and explain how these systems are implanted in the process of generating facades

**KEYWORDS:** *generative system, facade design e thermal performance*

## Introdução

*Computer assisted architectural design (CAAD)*. Design arquitetônico assistido por computador é o campo atual de desenvolvimento de processos de projeto de arquitetura e design. A utilização de ferramentas digitais permitiu avanços e novas possibilidades de criação e fabricação na arquitetura. As ferramentas digitais possibilitam a geração precisa de formas complexas em 3D, análise de soluções, parametrização de formas etc. Dentro das ferramentas de design e modelagem 3D, existem os processos de produção através de sistemas generativos (SG). Os SG podem ser aplicados e utilizados de diversas maneiras. Nesse estudo o foco está no uso desse sistema de geração de forma aplicado ao desenvolvimento e avaliação de soluções de fachadas e componentes de proteção solar.

O estudo de componentes de fachada está diretamente relacionado com as questões de conforto térmico, iluminação natural e consumo energético no edifício. A utilização de um sistema generativo auxilia no processo de produção de fachadas através de geração de diversas formas e a avaliação das mesmas por meio de um engine de análise, permitindo, por fim, a geração de um ou mais resultados que solucionem o problema.

Para aproximação do assunto, um estudo prévio foi feito para compreensão dos conceitos, que é um sistema generativo, como funciona, a aplicação de um SG na solução de problemas etc. os autores estudados foram W. J. Mitchell e Rivka Oxman. W. J. Mitchell em, *The theoretical foundation of computer-aided architectural design*, discute solução de problemas e o fundamento teórico sobre sistemas generativos. Rivka Oxman discute a modificação e a atualidade do ‘*design thinking*’, termo utilizado por ela no texto que significa o raciocínio de design alterado diante desses novos recursos e forma de criação através das ferramentas digitais. Ao longo do texto esses conceitos serão utilizados para a explicação e compreensão do estudo aplicado a desenvolvimento de fachadas com técnicas e ferramentas CAD.

Para melhor entendimento dos assuntos discutidos uma breve descrição dos conceitos discutidos no artigo será apresentada.

A definição de sistema generativo (SG) é simples: é todo e qualquer sistema que apresenta opções dentro de um processo de projeto de arquitetura ou design. A utilização de sistemas generativos no processo de geração de fachadas tem os seguintes propósitos:

gerar diversas formas e possibilidades de desenho, (towards na integrated generative design framework) além de buscar a eficiência e otimização do design. Existem diversos tipos de SG, porém, nesse estudo não convém explicar a fundo os tipos e como funcionam, pois, cada aplicação consiste em um método e geração de resultados diferente. Segundo *Sivam Krish* (2010) o SG é composto, basicamente por 3 etapas, um esquema de design, um método de variação do design e um meio de seleção de resultados.

Compreendidos os conceitos e o contexto do estudo apresentarei o método utilizado para obter os dados de pesquisas já realizadas que permitirá maior compreensão do assunto através de exemplos de aplicação dos SGs e os resultados encontrados, esse método é o Mapeamento sistemático da literatura.

## Objetivo

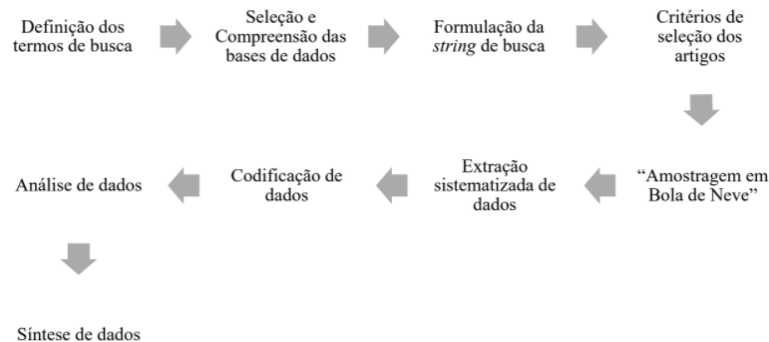
Como objetivo geral desejava compreender o tema arquitetura digital, de acordo com artigos publicados por autores como Mitchell e Oxman. Após breve pesquisa sobre o assunto definimos como objetivos específicos estudar a aplicação de técnicas digitais no processo de projeto de componentes de fachada para edifícios.

## Método

Para maior entendimento e aproximação do tema, conceitos e resultados discutidos nos artigos, foi necessário fazer um mapeamento sistemático da literatura (MSL). O MSL é um método, um sistema de seleção, extração e avaliação de dados de um artigo. Isso permite obter de forma rápida e precisa a obtenção de resultados e conclusões de uma área estudada, ou seja, através desse sistema procura-se juntar informação sobre pesquisas já efetuadas e extrair os dados de análise já concluídos, permitindo entender os processos da pesquisa e gerar uma síntese desses dados. Com isso é possível dar continuidade a pesquisa, identificar lacunas na área de estudo e assim gerar futuras pesquisas. (JOÃO ARTUR DE SOUZA, 2016)

O processo conta com algumas etapas que vão desde a seleção dos artigos a compreensão dos dados a serem analisados. Nesse caso entender o método de criação e análise de componentes de fachada utilizando ferramentas digitais e sua eficiência térmica no edifício. As etapas são: 1. Definição dos termos de busca, 2. Seleção e compreensão das bases de dados, 3. Formulação do *string* de busca, 4. Seleção dos artigos, 5. Extração sistematizada dos dados, 6. Codificação dos dados, 7. Análise e síntese dos dados. Com estas sete etapas foi possível selecionar artigos científicos

relevantes a área de estudo e compreender o método de desenvolvimento de componentes de fachada para edifícios feitos através da utilização de técnicas digitais e sua eficácia térmica.



Para entender melhor o que é um MSL e como ele funciona para a seleção e compreensão de informação é necessário explicar cada etapa desse processo.

As palavras chave são, basicamente, conceitos e tópicos compostos por sub tópicos abreviados em uma ou pequeno conjunto de palavras. Com a questão de pesquisa definida, embasada pelo estudo prévio sobre o assunto arquitetura digital é necessário definir os termos de busca. Os termos de busca são “palavras chave” ou “macro termos” relacionados diretamente com a área de pesquisa. Esses termos são fundamentais para a compreensão do assunto e apesar de específicos no que diz ao direcionamento do seu uso, são termos que englobam mais que um assunto e ao inseri-los na pesquisa por artigos, no *string* de busca, permite a obtenção de artigos pontualmente relevantes e exclusão dos textos “genéricos” que tratam do tema arquitetura digital porem não do assunto específico a ser estudado. Os termos de busca definidos para a pesquisa foram:

*Generative system/ design*

*Thermal performance*

*Parametric*

*Algorithm*

*Validation metrics*

*Design strategy*

A seleção de artigos através de termos de busca específicos do assunto de estudo está também relacionada com a base de dados. Apesar de ter a seleção de termos de busca

bem definidos, se a base de dados da pesquisa não for adequada os resultados podem ser insatisfatórios. A maneira encontrada de não permitir esse problema foi encontrar uma base de dados que trate somente de artigos científicos relacionados a arquitetura digital, essa base é a *CumInCad* (*cumulative index about publications in computer aided architectural design*), índice cumulativo de publicações em design de arquitetura assistido por computador. Essa base é alimentada por organizações educacionais não remuneradas que elaboram eventos anuais de discussão sobre arquitetura digital, cada ano com um tema proposto para estudo que incentiva alunos e profissionais a desenvolver estudos para entender melhor o campo e promover avanços na área de arquitetura digital.

Com os a questão de estudo definida, os termos de busca e a base de dados selecionada é necessário criar uma ‘*string*’ de busca, uma sequência ou linha de pesquisa. O ‘*string*’ de busca pode ser definido como um “código” ou a formatação das palavras chave desejadas e indesejadas em um *search engine*, (mecanismo de busca) para a seleção dos artigos.

generative design {keywords} =~ m/facade/i or {keywords} =~ m/thermal performance/i or {keywords} =~ m/generative design /i

O meu ‘*string*’ de busca, foi definido por 3 termos, conjunto de termos, que explicam a área de estudo ‘*facade design*’ (design de fachada), o método de criação ‘*generative system*’ (sistema generativo) e o foco da análise que é o resultado da performance térmica que a fachada exerce sobre o edifício ‘*thermal performance*’ (performance térmica).

Com essa definição consegui gerar uma seleção satisfatória de artigos, no entanto, foi necessária uma segunda seleção para excluir artigos que tratavam do assunto, mas de outra forma que não interessava no estudo. O critério para essa seleção foi nas palavras chave identificar os termos que implicavam outro método de pesquisa e geração de fachadas.

#### Extração sistematizada dos dados

O sexto passo da pesquisa é a extração sistematizada dos dados. Tendo feito um estudo prévio sobre solução de problemas e sistemas de criação digital cria-se um embasamento para extrair os dados do texto para análise. A seleção das palavras chave de pesquisa faz parte dessa etapa da pesquisa, pois, a busca dentro dos artigos é

direcionada por esses termos, que, são os tópicos de interesse da pesquisa a serem identificados nos artigos.

A extração sistematizada dos dados nada mais é que a categorização dos dados contidos em cada artigo. Essa categorização serve para compreensão geral do estudo como também para identificação dos tópicos gerais discutidos em cada estudo. Essa etapa é fundamental para organização da pesquisa, pois após a extração sistematizada ocorre, na próxima etapa, a codificação desses dados, tópicos extraídos, que será discutido mais adiante.

Iniciamos os estudos dos artigos de forma ‘inspeccional’ (ADLER & VAN DOREN, 1967), ou seja, buscando extrair os dados e conceitos gerais tratados no texto; guiados pelas palavras chaves e que definem a categorização dos tópicos de análise; como também os dados como datas, locais e sob qual eventos foram conduzidos, que fazem parte da contextualização da análise.

A busca feita inicialmente visava apurar os tipos de sistema generativo utilizado, o design da forma e como eram feitas as análises da performance das fachadas. A medida que extraia os dados comecei a perceber que haviam mais tópicos, categorias a serem identificadas e analisadas no meu estudo, sendo elas o ‘*design strategy*’ e as métricas de avaliação; além de detectar que a influência do desenho da forma não era o que definia o sistema de proteção solar, mas sim as variáveis da forma. O aprofundamento desses dados será discutido mais adiante no texto. Atendo-se ao método de pesquisa, a extração sistematizada revelou os dados previamente concebidos como também novos dados a serem analisados. Esse método permite que, tendo um conhecimento prévio do assunto, identificar esses dados é possível ter uma compreensão completa dos estudos analisados, pois o método utilizado dentro de cada texto, por exemplo, o sistema generativo, dispensa a leitura e análise minuciosa pois já entende-se o método utilizado e isso dispensa a discussão das variáveis do projeto criado especificamente por aquele quadro estudado naquele artigo, pois para minha pesquisa o relevante é entender o método, seu uso e resultados e não o questionamento das formas e cenários onde esses métodos forma aplicados.

De certa forma define-se a extração sistematizada os dados como uma categorização das partes e conceitos de um estudo e seleção dos dados a serem analisados a fundo. (GRAHAM GIBBS, 2007)

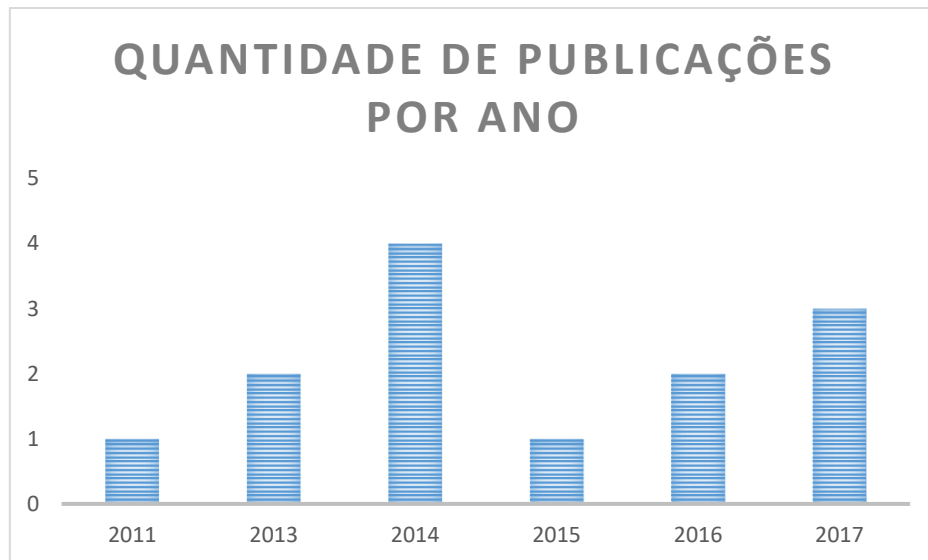
Durante essa etapa, extraindo os dados gerais e categorizando cada tópico de cada artigo, independente do design e sistema generativo utilizado em cada estudo para chegar a um resultado, percebe-se um *'framework'* ou método de trabalho padrão entre os artigos para obter um resultado. O *'framework'* trata-se de um quadro teórico que define as etapas de criação de uma fachada. Essas relações encontradas entre os artigos são normais, por tratar-se de textos com o mesmo foco, porém, é válido ressaltar essa observação pois ajuda na compreensão geral do assunto e dos diferentes meios de obtenção do mesmo resultado (design de fachada desenvolvido com o uso de ferramentas digitais e sua função de otimização térmica no edifício), ou seja, um *'framework'*, etapas, processo de trabalho iguais, porém formas diferentes de obter o mesmo resultado, que é uma fachada que corresponde aos parâmetros desejados em cada cenário.

#### Codificação dos dados

Após a extração sistematizada dos dados partimos para a codificação dos dados, que é a análise profunda das categorias e conceitos identificados. A codificação ajuda a compreender as partes do *'framework'*, como também os significados de conceitos, aplicação de técnicas, sistemas generativos e as ferramentas e sua utilização nas etapas de projeto

#### Análise dos dados

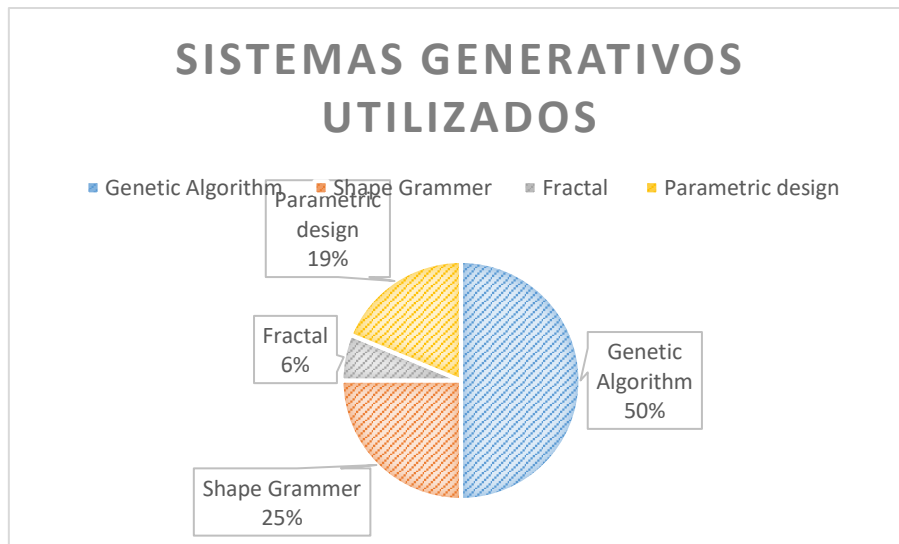
Com a extração completa dos dados conseguimos analisar e sintetizar os dados de cada estudo realizado, explorando de forma quantitativa as ferramentas (softwares) para gerar uma solução de fachada que atende os parâmetros de conforto e insolação, e em conjunto expor os dados contextualizam os artigos e interesse de pesquisa na área.



Percebe-se que as datas em que foram publicados os artigos correspondem a um interesse de estudo relativamente recente no assunto, sendo registrados as publicações na última década, tendo maior foco, entretanto, em 2014 (31%) e 2017 (23%). Como revela o gráfico acima, os estudos publicados sobre o tema é contínuo, no entanto, por conta dos eventos/ congressos conduzidos, especificamente pelas organizações eCAADe (Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe), traduzindo pesquisa e educação em design arquitetônico assistido por computador na Europa, e ACADIA (association for computer aided design in architecture), traduzindo, associação de design arquitetônico assistido por computador, em 2014 e 2017 promoveu maiores interesses de estudo sobre o tema. A relevância das organizações e os congressos conduzidos revela que o maior número de estudos está sendo desenvolvido na Europa e nos EUA, de onde pertencem as organizações

Com base nesses dados pode-se entender que a discussão sobre o tema vem ocorrendo mais recentemente por conta das discussões e principalmente pela necessidade de projetos mais passivos no impacto ao meio ambiente. Como citado no início do texto, a relevância do estudo de fachadas e seu desenvolvimento com ferramentas e processos digitais está ligado as questões de otimização de material, conforto e consumo energético dos edifícios.

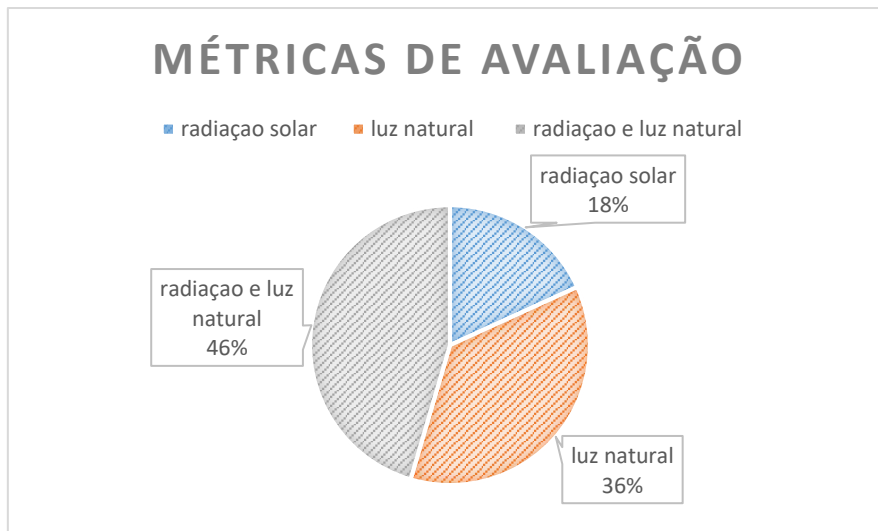




Percebe-se também que, como mostrado no gráfico acima, ao estudarem o assunto houve maior preferência pelo uso do G.A (*genetic algorithm*) ou algoritmo genético (61%). O S.G (*shape grammar*) é com 31% o segundo sistema mais utilizado. O algoritmo genético é um sistema de geração baseado no princípio evolutivo (Towards an integrated generative design framework). Uma solução é gerada e avaliada, se satisfatória é reavaliada para aprimoramento do resultado, se insatisfatória é descartada. O ‘*shape grammar*’, é também um sistema generativo, porém consiste em utilizar uma geometria base e configura-la através de uma série de regras. O S.G permite alterar a forma, criar novas combinações, adicionar, subtrair e mesclar elementos para gerar uma nova forma.

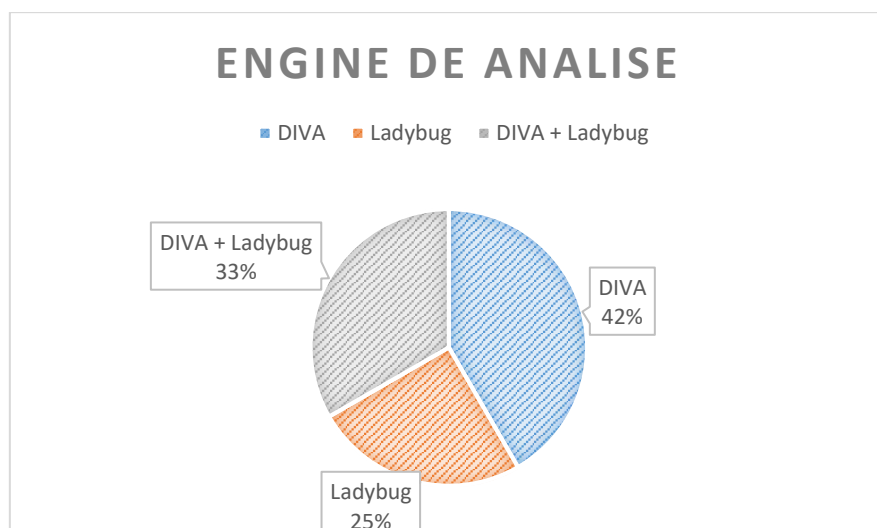
A importância em identificar os sistemas generativos mais utilizados entre os estudos ajuda na compreensão do porquê da escolha do SG aplicado para aquele projeto. O motivo, em resumo, está ligado com as possibilidades de geração de forma. Mitchell, em, *The teoretical foundation of computer-aided design*, descreve vários métodos de obtenção de resultados, através dos sistemas generativos. Explica também que para cada tipo se solução de problema existe um tipo de SG adequado e categoriza em três grupos os tipos de SG, sendo eles, analógico, icônico e simbólico. Mais adiante no texto entenderemos o significado dessa categorização feita por Mitchell.

A plataforma paramétrica utilizada em todos os estudos é o *grasshopper* (GH), um *plug-in*, extensão do software de modelagem 3D Rhinoceros. O GH é a atual, mais utilizada plataforma de modelagem paramétrica.



As métricas de avaliação são as variáveis de investigação e seus parâmetros (valores de análise ótimos a serem atingidos de acordo com cada variável) para analisar a performance da fachada. Com base no gráfico gerado acima compreende-se que 46% dos estudos optaram por utilizar radiação solar e a luz solar para avaliação das formas geradas. Não é necessário extrair os parâmetros de avaliação pois cada parâmetro muda conforme o contexto da aplicação da fachada. Apesar de óbvia as métricas de avaliação, por se tratar do estudo de fachadas e componentes de proteção solar, permite a certificação de que a utilização de mais métricas gerará resultados mais precisos.

As métricas a qual me refiro como radiação e luz natural são um conjunto de dados e regras que a forma tem que atender. Esses valores são inseridos nos ‘*engine*’ (mecanismo) de análise. O ‘*engine*’ de análise é o software que conduz o ensaio para verificar se o resultado atende as especificações das métricas. Os softwares de análise identificados nos artigos foram o DIVA e Ladybug, que são softwares específicos de análise de métricas ambientais, luz, radiação, vento, umidade etc.

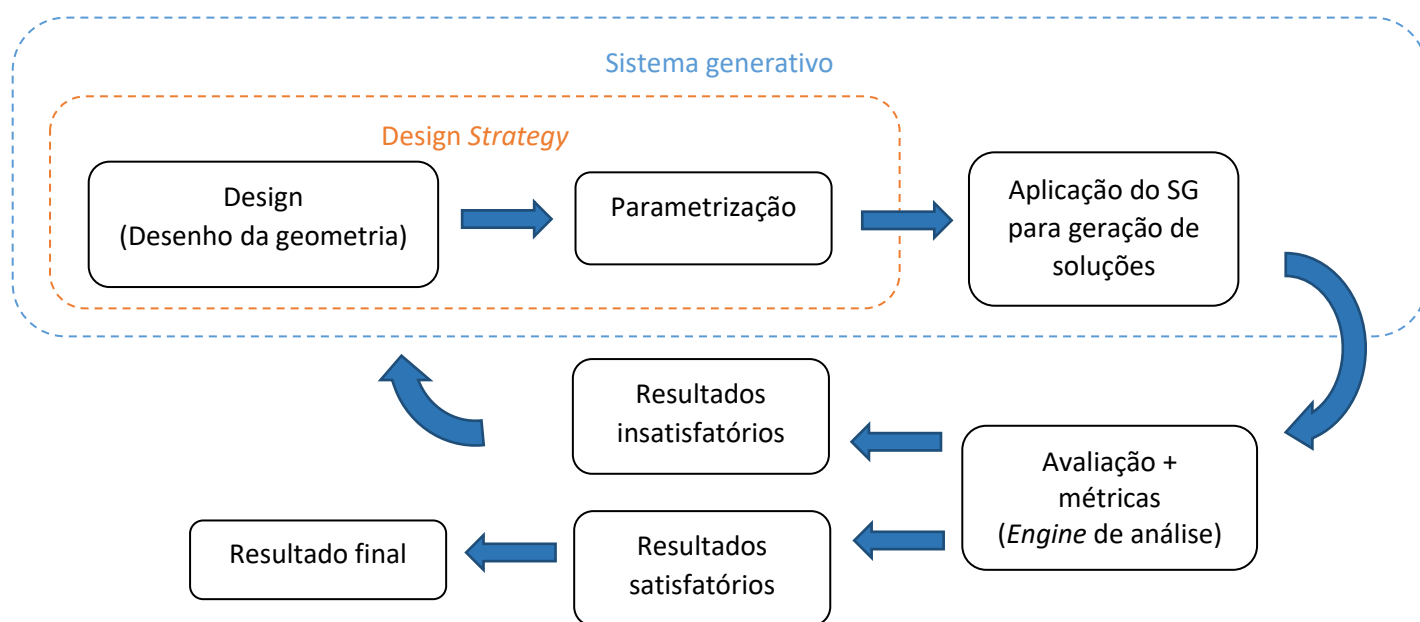


## Discussão dos dados

Nessa etapa, tendo feito o levantamento e extração dos dados, como também codificado os dados e identificada as relações entre os artigos estudados, serão apresentadas e analisadas as informações e resultados extraídos por meio do mapeamento sistemático da literatura.

O MSL conduzido revelou: os motivos da pesquisa, a identificação do processo de trabalho (framework), a estratégia de design e a identificação e aplicação das ferramentas de SG's dentro do processo de trabalho.

Iniciando pelo *'framework'*, que compõe as etapas de produção do projeto, é constituído pelas seguintes etapas:



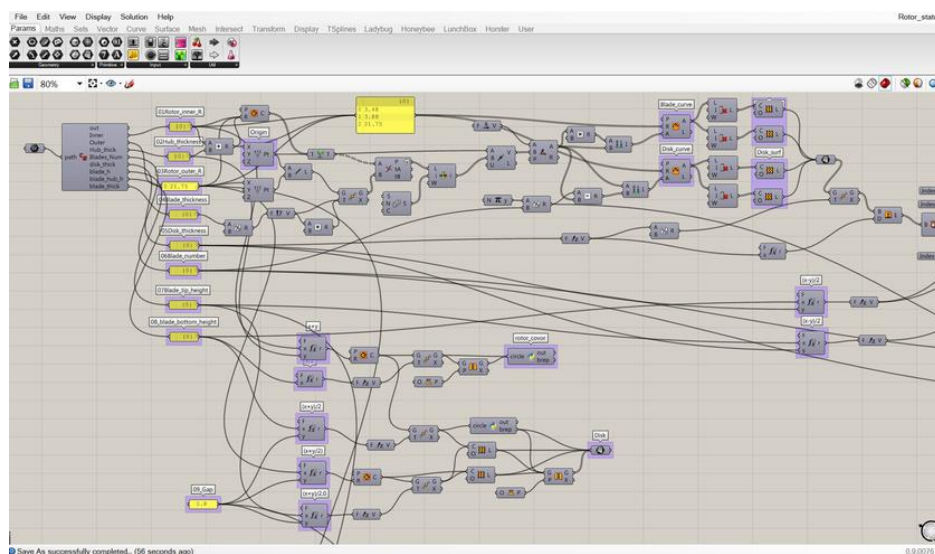
O *'framework'* mostrado no diagrama acima revela o processo de trabalho nos artigos e ajudou na compreensão do encaixe e utilização do SG na produção de fachadas e componentes de proteção solar.

O design *strategy* está diretamente ligado ao sistema generativo e a escolha do mesmo para achar uma solução. O design *strategy* é composto por duas etapas o desenho, como forma, e a parametrização (estabelecimento de regras, padrões) que, quando utilizando um SG através de ferramentas digitais, é feita com o uso de algoritmos (sequencia finita de regras, operações) que é responsável pelo controle de uma variável. Unidas formam uma sequência paramétrica de geração de forma.

Prévio ao início a primeira etapa é definindo se o dispositivo de proteção solar é integrado a fachada (fechamento do edifício é o dispositivo de proteção) ou é uma estrutura independente que é acoplada a fachada (normalmente nesse caso o fechamento do edifício é um pano de vidro). Uma terceira questão é a fachada como componente estrutural do edifício, mas esse tema não faz parte da pesquisa. Isso define o ponto de partida do projeto.

O desenho da geometria é a influência da forma e tem correlação direta com a primeira definição deita (integrado ou acoplado) isso influencia na abordagem de design, por exemplo, se será uma um componente racionalizado (divisão logica em uma superfície) na fachada ou um elemento único que se estende na fachada, etc. O tipo de definição molda os primeiros passos do design. Após essa definição busca-se influencias para o desenho, influencias de formas naturais, plantas, teias de aranha ou até mesmo um retângulo ou círculo.

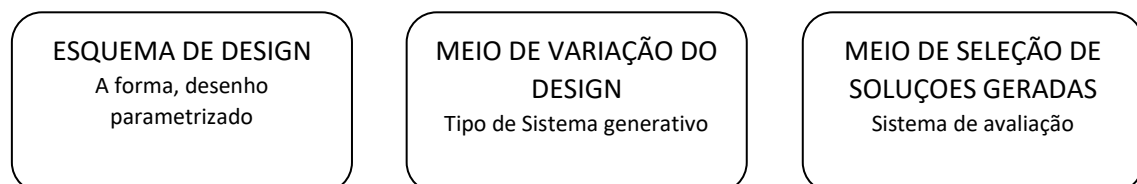
A influência do desenho da forma não é importante na geração de uma fachada ou componentes de fachada, pois, a definição é criada a partir das variáveis inter-relacionadas na forma, e a determinação dessas variáveis no desenho que definem o sistema de proteção e não a forma. Essas variáveis foram identificadas como: *glazing ratio* (relação de envidraçamento) e *glazing distribution* (distribuição do envidraçamento). Essas variáveis definem a quantidade de área permeável a incidência solar e como será distribuída na fachada. A imagem abaixo mostra uma definição escrita com algoritmos no *grasshopper*.



Mitchell em, *The theoretical foundation of computer-aided architectural design*, discute a relação de solução de problema e o uso de sistemas generativos para se chegar a uma solução - “*problem solving can be characterized as a process of searching through alternative states of the representation in order to discover a state that meets certain specified criteria.* ” (MITCHELL, *The theoretical foundation of computer-aided architectural design*, 1975) ou seja, a solução de problemas pode ser caracterizada como um processo de busca através de diferentes métodos de representação para descobrir, chegar a um resultado que atenda um critério específico. O uso de um sistema generativo é o meio de combinação de variáveis para se obter uma solução, e existem vários tipos de sistema para fazer isso. Não convém nesse artigo discutir a fundo os tipos de sistemas generativos, mas, como ele (qualquer SG utilizado) é introduzido no processo. Na análise feita papel do sistema generativo a vai um pouco além de como chegar a uma solução que atenda os parâmetros de conforto e incidência solar (radiação e iluminação), mas mostrou ser também a maneira mais rápida e eficiente a se chegar ao resultado ótimo, que em resumo é através de uma ferramenta digital, por meio de um sistema generativo que permite a geração de diversos resultados.

Não mencionado antes, porém relevante a discussão é a compreensão do sistema generativo como um sistema automatizado de geração de formas, pois a composição do SG é feita através de uma sequência de raciocínio e parâmetros onde as diversas possibilidades de solução são geradas sem a necessidade de uma intervenção manual direta na forma.

Para resumir o papel e uso e etapas que compõe um SG criei um diagrama, baseado na definição de Sivam Krish em *A practical generative design method*, sendo esse:



Essas três definições compõe um SG no processo de geração de fachadas.

## Conclusão

O estudo conduzido visou explorar o tema de fachadas geradas digitalmente e sua eficiência.

O framework identificado permitiu melhor entendimento das etapas de trabalho, também como o papel e utilização dos sistemas generativos no processo de geração de fachadas.

O estudo de fachadas não é novidade, porém, com o auxílio dessas ferramentas e processos digitais o desenvolvimento e estudo das fachadas e componentes de proteção solar tornou-se mais eficiente e abriu novas possibilidades de design de formas complexas. Além disso, o processo de produção, a geração das formas através dos softwares e sistemas generativos é a fundamental mudança que possibilitou o avanço dos estudos e da geração de fachadas e componentes de proteção solar mais complexos e eficientes.

Os sistemas generativos e a parametrização das variáveis são os elementos que permitiram a “automatização” da criação. O processo de geração deixou de ser analógico, manual e com a utilização de parâmetros, algoritmos para controle das variáveis em um sistema generativo, permitiu o aumento na quantidade de soluções, sua otimização e eficiência.

Os sistemas generativos permitem também o mapeamento da geração da forma. Através da parametrização da forma pode-se identificar cada parte do processo e assim definir

Com o MSL foi possível identificar apenas uma lacuna nos estudos apresentados, a definição do material do dispositivo de proteção. O material tem influência direta na absorção do calor e na reflexão da luz solar, além possibilitar diferentes resultados.

O estudo conduzido produziu questionamentos sobre o tema e, portanto, revelou futuras possibilidades de estudo, como, a fachadas responsivas ao clima, fachadas que não servem apenas como fechamento ou como dispositivos externos e independentes acoplados ao edifício, porém, como elementos estruturais que atuam como dispositivos de proteção.

## Bibliografia

ASHRAFI, Negar; DUARTE, José Pinto. A shape-grammar for double skin facades. p. 6, .

ASHOUR, YASSIN; KOLAREVIC, BRANKO Heuristic Optimization In Design. Cincinnati 19-25 October, 2015), pp. 357-369

CAETANO, Inês; LEITÃO, António. DrAFT: an Algorithmic Framework for Facade Design. p. 10, .

CAMPOS, FILIPE MEDEIA DE M, An assessment of Responsive Facades and their potential. 2013

GADELHAK, Mahmoud. Integrating Computational and Building Performance Simulation Techniques for Optimized Facade Designs. p. 10, .

GIBBS, GRAHAM. Análise de dados quantitativos. p. 60-63, 2007

HUGO, SHEWARD; CHARLES, EASTMAN. Preliminary Concept Design (PCD) Tools for Laboratory Buildings, Automated Design Optimization and Assessment Embedded in Building Information Modeling (BIM) Tools. p. 25, .

JAHANARA, Alireza; FIORAVANTI, Antonio. Kinetic Shading System as a means for Optimizing Energy Load. p. 10, .

KHORASANI, Mehrnoush Latifi; BURRY, Jane; SALEHI, Mahsa. Thermal performance of patterned facades. p. 10, .

KRISH, Sivam. A practical generative design method. **Computer-Aided Design**, v. 43, n. 1, p. 88–100, 2011.

LATIFI, MEHRNOUSH; PROHASKY, DANIEL; BURRY, JANE; *et al.* BREATHING SKINS FOR WIND MODULATION THROUGH MORPHOLOGY. p. 10, .

LIOU, ShuennRen; CHYN, TaRen. Constructing Geometric Regularity underlying Building Facades. p. 3, .

NARANGEREL, Amartuvshin; LEE, Ji-Hyun; STOUFFS, Rudi. Daylighting Based Parametric Design Exploration of 3D Facade Patterns. p. 10, .

NARANGEREL, Amartuvshin; LEE, Ji-Hyun; STOUFFS, Rudi. Thermal and Daylighting Optimization of Complex 3D Faceted Façade for Office Building. p. 10, .

NEGROPONTE, Nicholas. Toward a Theory of Architecture Machines. **Journal of Architectural Education (1947-1974)**, v. 23, n. 2, p. 9, 1969.

OXMAN, Rivka. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory,

knowledge, models and medium. **Design Studies**, v. 29, n. 2, p. 99–120, 2008.

SHEIKH, Mohamed El. Building Skin Intelligence. p. 8, 2011.

SINGH, Vishal; GU, Ning. Towards an integrated generative design framework. **Design Studies**, v. 33, n. 2, p. 185–207, 2012.

TANG, Ming; ANDERSON, Jonathon; AKSAMIJA, Ajla; *et al.* PERFORMACE-BASED GENERATIVE DESIGN. p. 8,

W. J. Mitchell. **The theoretical foundation of computer-aided architectural design**, v. 2, p. 127–150, 1975. (In Environment and Planning B).

OXMAN, RIVKA. The New Structuralism, Design, Engineering and Architectural Technologies. 2010

Two Case-Studies of Freeform-Facade Rationalization.pdf.