

THIAGO ALBINO MASO

**USO DE NOVAS TECNOLOGIAS NA FORMAÇÃO DO
ESPAÇO CONTEMPORÂNEO**

CURITIBA

2013

THIAGO ALBINO MASO

USO DE NOVAS TECNOLOGIAS NA FORMAÇÃO DO ESPAÇO CONTEMPORÂNEO

Monografia apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, como requisito parcial para a conclusão do curso de graduação em Engenharia de Produção Civil, Departamento de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

ORIENTADORA:

Profa. Marcia Keiko Ono Adriazola, Dra.

CURITIBA

2013

FOLHA DE APROVAÇÃO

Orientador(a):

Examinador(a):

Examinador(a):

TCC defendido e aprovado em:

Curitiba, _____ de _____ de 2013.

Dedico este trabalho a meus pais e avós que ainda não desistiram de mim, ao N8, e a Alice, que através do espelho me diz:

*"in a wonderland they lie, dreaming as the days go
by"*

Agradeço a todos os que me ensinaram e mostraram que não sei nada. Em especial, Botelho, Humberto e Aloísio. À minha orientadora, à Ball State, KTH e OMA.

"I think one of the fatal things that occurs in an architect's career is the moment when he begins to take himself too seriously - where his idea of himself coincides with what the others think of him - when he runs out of secrets"

Rem Koolhaas

RESUMO

A partir do estudo do espaço contemporâneo, e da apresentação de suas possibilidades, se propõe uma pesquisa teórico-prática sobre novas tecnologias de produção de elementos arquitetônicos, através do uso da informática, tecnologias existentes e processos digitais de fabricação, para a conformação do espaço arquitetônico. Partindo da elaboração de pesquisa participante - se propõe o desenvolvimento de um método/projeto de utilização deste processo e tecnologia para a criação de um elemento construtivo e seus impactos na atividade projetual contemporânea.

Palavras-chave: Arquitetura Contemporânea, Fabricação Digital, Sustentabilidade.

ABSTRACT

Based on the study of the contemporary space and the exhibit of its possibilities, it is proposed a theoretical-practical research about new technologies of production of architectural elements, through the use of computing, existing technologies and digital fabrication, aiming at the conformation of the contemporary architectonic space. From participating case studies - it is proposed the development of a method/project of the use of these processes and technologies for the creation of a built element and its impacts on the contemporary practice.

Keywords: Contemporary Architecture, Digital Fabrication, Sustainability Processes.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	
1.1 PANORAMA GERAL	1
1.2 JUSTIFICATIVA	5
1.3 OBJETIVOS	
1.3.1 OBJETIVOS GERAIS	6
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	7
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	
2.1 ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA	8
2.2 PARAMETRICISMO	18
2.3 <i>PERFORMANCE</i>	25
2.4 DESENHO DIGITAL	29
2.4.1 <i>SOFTWARES</i>	31
2.5 FABRICAÇÃO DIGITAL	34
2.5.1 CUSTOMIZAÇÃO DE MASSA E FABRICAÇÃO DIGITAL	39
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	40
3.1 PROJETO DO ESTUDO DE CASO	41
4 PESQUISA PARTICIPATIVA: ESTUDOS	42
4.1 ESTUDO 1: MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE FLUXOS URBANOS	42
4.2 ESTUDO 2: PAINEL DE PROTEÇÃO SOLAR	46
5 RESULTADOS	56
6 CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1. INTRODUÇÃO

1.1 Panorama Geral

Construir deve ter seu valor não apenas em sua técnica, suas paredes e pisos, ou em planejamentos bem estabelecidos, mas em suas dimensões política e social, suas preocupações estéticas e ambientais (ARUP, apud. JONES, 2006), e o valor do produto e do serviço da construção reside no vazio que habitamos - o espaço definido pela matéria sólida (KAHN, apud. LEATHERBARROW, 2005).

Este trabalho pretende contribuir à discussão sobre as novas formas de construir o espaço contemporâneo e, através da compreensão de conceitos sobre o espaço arquitetônico e as suas tecnologias e processos de produção contemporâneos, analisar o impacto que estas novas ferramentas introduzem à indústria da construção.

O ato de construir deve ser a ferramenta pela qual possibilitamos à população o habitar. Habitar a cidade significa compartilhar. Compartilhar infra-estrutura, espaço, tempo, eventos. Em uma década que a maior parte da população do planeta se encontra nas cidades (MVRDV, 1999), a relação entre o homem e o espaço construído se desenvolve de uma maneira ímpar e imprecisa.

O planejamento das cidades não acompanha a virtualização de conceitos como tempo e espaço, as inovações tecnológicas, de transporte e comunicação que frequentemente ocorre, ficando marginalizados frente à espontaneidade do processo. (KOOLHAAS, 1995). Como organizar estes espaços em uma tentativa de elevar a qualidade destas ocupações sem necessariamente romper com o sistema e criar um novo mundo utópico? Em um planeta que sofre cada vez mais com pressões ambientais, como continuar com a indústria da construção civil e ao mesmo tempo caminhar para soluções sustentáveis?

Utilizando algumas das várias definições sobre arquitetura, o arquiteto Lucio Costa define arquitetura como “construção concebida com a intenção de ordenar e organizar plasticamente o espaço” (COSTA, 1995), e citando ainda um dos arquitetos fundamentais do período moderno, Mies Van der Rohe, “arquitetura é o desejo de sua época traduzido em espaço” (ZUKOWSKY, 1986). Fica claro que, ao

traduzir a nossa época em espaço, precisamos entender o papel das novas tecnologias e sua aplicação à construção civil.

Os espaços devem ser compreendidos a partir de seu caráter simbólico, representantes de uma imagem da cidade que vivemos, “[a arquitetura] não apenas consiste em dar proteção física, mas também em dar uma moldura para ações e estruturas sociais, ou representar uma cultura”. (NORBERG-SCHULZ, 1968).

A “essência do trabalho de arquitetura é a ligação orgânica entre idéia e experiência fenomenológica que se desenvolve quando um edifício é realizado”. (HOLL, in: TSCHUMI, 2003, p.26).

Para a compreensão do caráter do edifício, devemos delimitar a abordagem de nossa pesquisa/projeto. Para Bernard Tschumi, a definição desta abordagem é o primeiro e fundamental passo na formação do espaço. Um sinônimo seria *limite* - definir é limitar, escolher o escopo e a linha entre o que será considerado, e o que está fora.

Nosso ponto de partida são idéias ou conceitos, e os modos em que conceitos se relacionam com outras disciplinas e diferentes modos de pensamento. *Arquitetura não é conhecimento da forma, mas uma forma de conhecimento*. Em outras palavras, sempre que começamos a fazer algo como arquitetos nós devemos nos perguntar o que é arquitetura. Arquitetura não é uma coisa pré-estabelecida. Nós arquitetos sempre pensamos que definimos espaços ao usar paredes, mas o termo “definir” também significa dar uma definição ou sentido. Como arquitetos, nós precisamos constantemente definir e redefinir o que arquitetura é. (DAMIANI, 2003, p. 44).

Isto significa que, cada vez que se começa um projeto, deve-se limitar o campo de atuação - puxando e empurrando os limites para o contexto atual. A partir desta concepção, pode-se começar a limitar o pensamento em uma maneira de condensar o que é importante para o arquiteto no tocante à formação espacial da arquitetura. Para Albert Kahn, sua definição de arquitetura é a de um simples edifício, mas agregando valor à ele.

Edifícios funcionais que servem um propósito de criar um espaço para resolver adequadamente um problema estão na categoria de edifícios, mas quando este prédio tem mais que apenas seu uso funcional, e começa a adquirir um sentido e nos transmitir uma mensagem para seus usuários e a cidade, ele está na categoria de arquitetura. (LEATHERBARROW, 2005, p. 2)

O uso, neste trabalho, do termo arquitetura não como *disciplina*, mas com sua definição de espaço concebido, conforme apresentado por Kahn (apud. LEATHERBARROW, 2005), como edifícios projetados com intenção e sentido, não apenas edifícios funcionais, se faz fundamental para a compreensão dos conceitos aqui abordados.

Os limites, como descrito por Tschumi (2003), entre as disciplinas de arquitetura e engenharia civil aqui se confundem, pois tratam do mesmo objetivo: o espaço construído e habitado, a partir de diferentes sujeitos: pontos de partida, com suas inerentes contradições e complexidades, ou coerências e similaridades.

O uso da tecnologia não é novidade no processo de construção. Mesmo com a divisão classicista entre o arquiteto-mestre e o arquiteto-projetista e engenheiro-executor (BRAZ, 2012), a história da construção do espaço compartilha intrínseca ligação com a história da tecnologia disponível. A partir da segunda metade do século XX, com o uso de sistemas de informação e da computação, o processo de projeto e construção arquitetônica sugere novos métodos de análise, síntese, geração de formas, simulações e otimizações dos processos.

A arquitetura contemporânea, então como expoente, se descobre a partir da revogação de certos princípios formais-compositivos e se transforma em uma editoração de processos - em que “a performance do edifício é um princípio guiador do projeto” (KOLAREVIC, 2005. p. 3). Kolarevic ainda cita que o contexto projetual, baseado em um novo paradigma de performance, guiado pelo binômio informação e simulação pode ser encarado por enfoques bastante distintos - “dos espaciais, sociais e culturais aos puramente técnicos (estrutural, térmico, acústico, etc.) [...] borrando a fronteira entre *aparência e performance*”. ROSA (2003), citando Mies Van der Rohe, “não me oponho à forma... apenas à forma como objetivo”.

Para o Kolarevic, a integração entre o projeto e a análise dos edifícios a partir das tecnologias digitais faz com que o papel dos arquitetos e engenheiros envolvidos no projeto e produção destes edifícios sejam “integrados em uma empreitada digital colaborativa” desde o início conceitual do projeto que resultem em atitudes “quantitativas e qualitativas de simulação da performance para oferecer uma nova e abrangente abordagem para o projeto do ambiente construído” (Rosa, 2003).

Partindo destes conceitos, o presente trabalho busca compreender o processo pelo qual as novas teorias - e as tecnologias por elas envolvidas - podem

se estabelecer como métodos projetuais e de produção de novos elementos construtivos, e seus impactos no processo, conforme exemplificado aqui nos estudos de pesquisa participativa apresentados pelo autor, levantando a questão de como estas novas exigências e possibilidades afetam o processo de pensamento e produção do espaço contemporâneo e seus elementos constituintes?

1.2 Justificativa

A motivação para se desenvolver esta pesquisa sobre novas tecnologias construtivas na produção do espaço arquitetônico contemporâneo surge a partir da necessidade de compreender e de questionar os modelos de edifícios executados no setor da construção civil atual.

Pressões do mercado, da sociedade, novos padrões econômicos e ambientais traduzem uma necessidade latente da revisão do modelo de produção do espaço contemporâneo urbano. Sistemas de projeto e execução que compreendam estes novos valores se fazem necessários - um destes sistemas é o do parametricismo, que vêm de encontro aos objetivos estabelecidos pois tratam da simulação e otimização dos elementos construtivos componentes dos edifícios.

Através da compreensão deste novo método de concepção arquitetônica, vantagens como a otimização dos processos, economia de gastos e a redução de impactos ambientais são parâmetros possíveis de ser quantificados, incentivando a individualização e promovendo o aumento da performance e sustentabilidade dos elementos construtivos e, conseqüentemente, dos edifícios construídos.

Como engenheiros de produção civil, aplicar estes novos métodos de maneira holística significa coordenar meios de produção mais eficientes e econômicos, amplificar os resultados e a eficácia do produto a ser desenvolvido.

Além de vantagens construtivas e de concepção de projeto, outro fator que é encontrado para o estudo destas tecnologias no Brasil se deve ao fato de pouco ainda ser estudado em nosso país sobre o tema - já consolidado em outras partes do mundo - fazendo com que, a partir da adoção destes conceitos, a indústria da construção civil possa caminhar para a inovação e a melhoria de seus processos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é discutir e fornecer subsídios teóricos e técnicos para a compreensão do uso de novas tecnologias para a concepção do espaço construído contemporâneo, a partir de uma apresentação teórica sobre o tema e a demonstração de algumas das tecnologias existentes - por meio do conceito de parametricismo e da fabricação digital.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa incluem a compreensão destas novas tecnologias do ponto de vista técnico, durante o projeto, simulação e otimização dos processos através de *softwares* específicos; O segundo objetivo específico é a revisão de importantes conceitos arquitetônicos e o estudo destes conceitos que sirvam de apoio - como parte de uma metodologia - para discussões teórico-técnicas e suas articulações no produto a ser desenvolvido. O terceiro objetivo específico se refere à uma análise geral dos processos de criação - apoiando-se através dos estudos de pesquisa participativa.

1.4 Estrutura do Trabalho

A pesquisa foi estruturada em duas etapas. Na primeira fase - teórica - a revisão bibliográfica abordando a fundamentação teórica e análise da tecnologia. Na segunda etapa a aplicação do método de projeto estabelecido através de modelos virtuais.

A primeira etapa, teórica, fundamenta a compreensão do espaço arquitetônico contemporâneo e as premissas básicas para a construção de um discurso construtivo. Se divide em uma breve análise teórica/histórica da arquitetura contemporânea com o objetivo de introduzir a nova linguagem espacial na produção tecnológica que cabe ao Engenheiro Civil e ao Arquiteto. É apresentada a teoria do *Parametricismo*, e a partir de alguns conceitos de projeto assistido por computador, a compreensão do uso de parâmetros e algoritmos para a formação geométrica e o conceito de performance dos elementos. Serão exemplificados ainda algumas tecnologias existentes, nos campos de simulação, geração e otimização de formas para os elementos construtivos e de equipamentos de fabricação digital destes.

Durante a segunda etapa, prática, foi realizada a aplicação dos conceitos compreendidos na primeira fase, em dois elementos de estudo de caso, de escalas e orientações distintas, geradas através da simulação e otimização de parâmetros a serem estabelecidos, resultando em conclusões de como a inclusão destes novos métodos de projeto e fabricação podem contribuir para a engenharia.

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Arquitetura Contemporânea

Na segunda metade do século XX, a arquitetura se caracterizou por duas correntes filosóficas distintas: uma que “pretendia fazer da arquitetura um fenômeno lingüístico, e outra que defendeu abertamente o esteticismo” (PORTO FILHO, 2006: 2). Contrariando estas duas tendências, ainda de acordo com Porto Filho (2006), houve uma crescente corrente arquitetônica que “explicita as novas forças culturais e econômicas” e o “deslocamento da atenção na elaboração objetual para a análise e interpretação dos dados de um amplo contexto informacional”. A esta corrente foi dado o nome de *Superdutch*, uma concepção “pragmatista e anti-objetual”.

A compreensão de que o projeto é um resultado baseado mais em relações matemáticas de *performance* do que relações geométricas compositivas-artísticas pode parecer corrente para o contexto da engenharia, mas atua como uma liberação do projeto arquitetônico de dogmas passados.

A partir deste pragmatismo, podemos inferir que o arquiteto deixa de ser a principal influência no processo - o conceito de gênio-criador - e se transforma em um organizador de forças externas - um editor (KOOLHAAS, 2004), responsável por uma “produção de efeitos: o arranjo e distribuição de conteúdos experimentais e expressivos pela forma arquitetônica” (DAMIANI, 2003: 7). A “validade arquitetônica” é dada não pela estética ou semiótica, mas pela “*engenhosidade* de um arranjo que aceita sem reservas as demandas de cada situação e é capaz de reproduzir no edifício a própria complexidade urbana” (PORTO FILHO, 2006: 8).

Este processo, ao ser comparado com a *Poética* Aristotélica, absorve a idéia da influência da natureza (neste caso, compreendida não como o meio-ambiente mas como o contexto) e “a arquitetura supõe-se imitar sua dupla verdade: de uma parte, a natureza como realidade absoluta, de outra a sua *téchne*” (BRAGHIERI, 2004: 89) - reproduzindo no espaço arquitetônico as pressões históricas e físicas existentes. Mais do que se rebelar contra o *status quo*, ou brigar por mantê-lo, esta arquitetura admite as forças do contexto e se adapta a ele, cinicamente diminuindo o valor de sua *grande idéia* para produzir uma arquitetura contraditória, que diz “sim

para todos os aspectos da vida”, uma arquitetura pragmática que “tem a criação de espaços sociais, econômicos e ecológicos perfeitos como seu objetivo prático” (INGELS, 2009: 15)

Esta aceitação de que novos parâmetros constituem o discurso da produção do projeto arquitetônico estabelece que novas regras devem ser utilizadas para a produção do próprio projeto.

Quando “não há mais identidade você é também liberado de toda uma série de obrigações, toda uma série de suposições e toda uma série de modelos” (KOOLHAAS, 1995: 604), reduzindo a arquitetura à essencialmente dois fatores formativos: *Contexto* e *Conteúdo*. Este binário está contido na idéia proposta por Koolhaas (1994) da lobotomia ocorrida nos edifícios - a dissolução da relação modernista entre forma e função. O edifício se transforma em dois elementos: seu interior - o programa-conteúdo; e seu exterior - sua aparência-contexto. Este é o axioma fundamental do método pragmático que informa a geração e análise dos edifícios que tratamos nesta pesquisa.

A partir da idéia de performance, Kolarevic (2005) cita que a estética dos edifícios, e seus conceitos fundamentais formadores são reavaliados, resultando em novos padrões de construção e utilização dos espaços - e em si, desta maneira, alinhando a engenharia da construção ao processo de projeto de maneira híbrida e simbiótica, não mais um anexo complementar.

A busca Modernista pelo novo - a *tabula rasa* se mostrou impossível, então a colagem, montagem e recombinações do período pós-moderno se mostram como uma “evolução acelerada, que substitui a revolução [do modernismo]. Respeito pela diversidade e diferença são encorajados - uma concepção amplamente afirmativa” (KIPNIS, 1993). A recombinação de elementos se torna então o principal método projetual da arquitetura pós-moderna. Ao se reduzir a relação entre forma e função - ou seja - eliminar o universal e monótono da equação da construção civil em favor da otimização e individualização, novos modelos de construção vêm à tona.

A arquitetura que se segue mostram uma menor preocupação com a semiótica para uma “valorização da geometria, topologia, espaços e eventos” (KIPNIS, 1993: 3) e o método pragmático pode ser dividido em duas categorias generativas: *informação* e *deformação*:

A informação consiste em criar um aglomerado que envolve elementos formais e programáticos díspares em um monolito modernista neutro. O resultado: espaços residuais congruentes são então ativados por camadas visuais, inovações programáticas, efeitos tecnológicos e eventos. Já a deformação enfatiza o papel de uma nova forma estética e do visual na criação dos espaços. (KIPNIS, 1993: 3).

Em ambos os modelos, eventos e programa são fundamentais para a formação dos espaços, porém, no modo informacional, o vazio das formas são uma tela para imagens projetadas, e o ponto é atingido pela transformação dos programas e eventos (FIG. 2.1.1 e FIG. 2.1.2), elementos que guiam a geração formal do espaço, enquanto na deformacional, a maior contribuição é a estética, em que eventos e programas *deformado*.

Ao se incluir desde o início do processo a idéia de performance, sendo o teste de alternativas através de simulações (estruturais, tecnológicas ou geométrico-formais), o objeto construído contemporâneo têm suas características diferenciadas do objeto-modernista, em um grau maior de complexidade e alterando o paradigma generativo do espaço (KOLAREVIC, 2005).

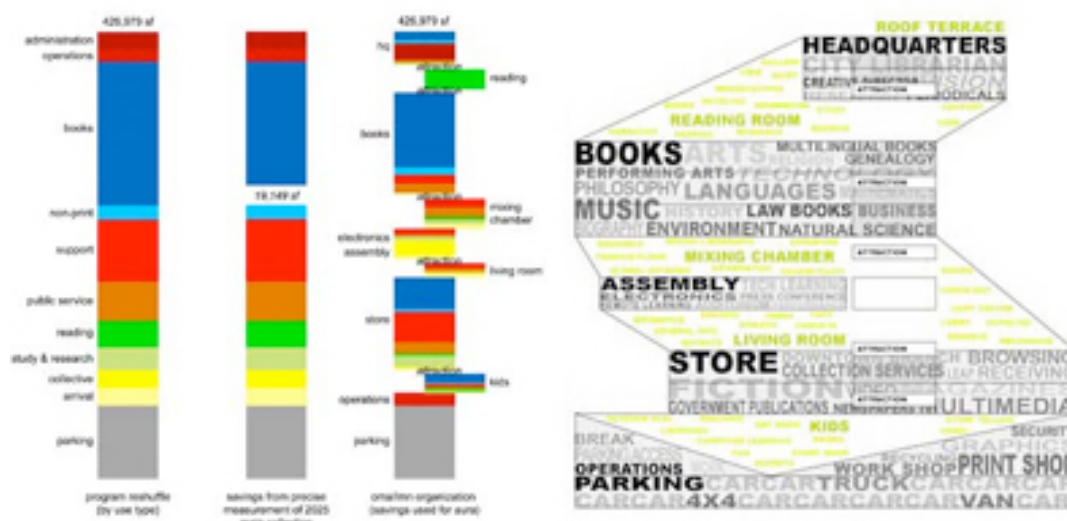


Fig. 2.1.1 - Método Informativo de Projeto. OMA: Seattle Public Library. FONTE: www.oma.eu



Fig. 2.1.2 - OMA: Seattle Public Library. FONTE: www.oma.eu

Esta complexidade (dos métodos de projeto/execução) começa a se relacionar não com os elementos em si, mas sim suas relações que “ao invés da otimização de dados individuais, formam os parâmetros para o projeto, gerando potenciais que nenhum interesse único individual poderia ter atingido” (VAN BERKEL, 2008: 32).

Para Balmond (2002), a utilização destes elementos híbridos do pensamento de projeto-fabricação teriam três características principais: *Local*, em que a ação inicial atua isolada e irradia sua influência; *Justaposição*, em que “duas ações, lado a lado, confrontando e influenciando uma a outra para gerar uma nova entidade por adjacência”, tendo o tempo como componente essencial e por fim, *Híbrido*, definido como uma ação se sobrepondo à outra, uma “co-transferência de naturezas separadas” (BALMOND, 2002: 116). Como resultado, o elemento construtivo deixa de atuar apenas como função (um pilar como estrutura, uma janela como entrada de luz) e ganha em ações, se transformando também em representação, semiótica,

ornamento, máquina-performática. Ainda de acordo com Balmond (2002), estas três características não são isoladas e independentes, mas contêm graus de interdependência e gera o que ele chama de *informal*.

Este relacionamento entre as partes é o elemento crucial da concepção híbrida do projeto, e para Van Berkel, gera eventos inesperados e evita que o objeto seja fixado e conhecido no início do processo projetual

obras arquitetônicas como esta resultam de uma mescla holística de elementos díspares, trazendo a imprecisão em respeito à escala e proporção das estruturas. A fusão gera uma nova noção de identidade. As diferentes características do trabalho são dissolvidas e existem em camadas que não necessariamente se relacionam entre si, ou com a escala e estrutura das formas e substâncias que as originaram. (VAN BERKEL, 2008: 383).

Ao não ser definido no início do processo de projeto o objeto a ser construído - se aumenta a possibilidade de inovação e especialização do projeto, de modo que o edifício resultante deste processo sofra a influência não só de questões arquitetônicas mas - como Van Berkel cita, dos elementos díspares que fazem sentido ao objeto singular a ser construído. Se ao invés de privarmos as questões sociais, políticas e econômicas do processo de projeto arquitetônico, e sim deixarmos de lado à idéia da simbologia arquitetônica do tipo, podemos atingir um estado que seja “livre para assumir diferentes identidades, arquitetura se torna infinita” (VAN BERKEL, 2008: 388) - específica e individualizada a cada objeto construído.

O funcionalismo, que pode ser traduzido pela noção genérica comum do processo de projeto sob o ponto de vista da engenharia, ou a tradição moderna que mantém que as formas se adequam às suas funções programáticas, ao atender simplesmente ao programa estabelecido (pelo cliente, pelos esforços estruturais, pela necessidade de vedação, etc.) é um modo de evitar o “embate com outros complexos atores sociais, políticos e econômicos que interferem no projeto arquitetônico”, resultando em um processo que permite o “fazer arquitetônico para a elaboração da forma ‘bela’ e ‘simbólica” (PORTO FILHO, 2006: 4).

Com isto, se traduz para a *função* a máxima modernista da máquina - uma relação científica da ocupação dos espaços, significando que a “arquitetura moderna é baseada em princípios não-formais” (PRAXIS, 2006: 105). Para Vidler (apud.

NESBITT, 2008: 285) então, duas tipologias orientam a produção arquitetônica até o século XVIII, a iluminista, da 'cabana primitiva' de Heidegger, em uma arquitetura baseada na Natureza, e a moderna, baseada no processo de produção, de Le Corbusier.

Esta segunda tipologia metodológica acaba mudando a relação do edifício com seu terreno, pois feita de um "kit de partes, permite montagem e construção ocorrerem em qualquer local, de um certo grau independente das condições de seu ambiente e clima local - o que paradoxalmente o faz *siteless*". (LEATHERBARROW, 1993: 29)

Esta visão do programa acaba por "não privilegiar arquitetura no sentido convencional" (LAWRENCE in: PRAXIS, 2006: 4), sendo "uma lista de usos e necessidades específicas, geralmente acompanhado pela alocação de metros quadrados (que) falha ao tentar capturar as implicações do termo" (VIDLER, 2003: 60).

Estas observações fazem surgir a questão do problema da forma e da função no contexto moderno. A relação cunhada por Louis Sullivan em 1896, de que a "Forma sempre segue a função" (SULLIVAN, 2011) estabelece os conceitos utilitários da análise formal os espaços modernos.

Malevich os define como "se toda forma é uma expressão da perfeição puramente utilitária, então a forma Suprematista é não mais que o reconhecimento visível da eficácia da perfeição utilitária no mundo concreto porvir" e que "sem forma é impossível transmitir qualquer coisa que seja" (FONTANA-GIUSTI in: SCHUMACHER, 2004: 21). Com isto, a forma arquitetônica (derivada da sua função) atinge o patamar de criadora dos efeitos, deixando em segundo plano (ou suplantando em definitivo) os ornamentos e apliques superficiais até então presentes.

Esta transição entre a estética para a ciência na criação da beleza arquitetônica tem seu ápice em Le Corbusier e sua lista de requerimentos da função que uma casa deve prover:

1. Um abrigo para o calor, frio, chuva, ladrões e curiosos;
2. Um receptáculo para a luz e o Sol;
3. Um certo número de células apropriadas para cozinhar, trabalhar e a vida pessoal. (de BOTTON, 2006: 57)

e onde se percebe que na formação do espaço moderno, os parâmetros usados são científicos, ao invés de ideológicos - no sentido de signos e símbolos.

Ao se desconsiderar o terreno (contexto físico) e as relações sociais (contexto humano), a arquitetura moderna se torna etérea, uma busca pela *tabula rasa* que desconsidera o que existe e se transforma em um fim em si mesmo. Quando, durante o modernismo, os “termos independentes ‘tipo’ e ‘programa’ foram reconstituídos como ‘forma’ e ‘função’ para sugerir uma visão ahistórica e científica, os ‘fatos’ da função se tornaram o principal álibi para a produção da forma”. (Dean in: PRAXIS, 2006: 49)

Ao produzir a forma pelos *fatos* da função, cientificamente eliminando especificidades do contexto (em especial, no *International Style*), a “promessa alquimista do modernismo - transformar quantidade em qualidade através da abstração e repetição - se mostrou um fracasso” (KOOLHAAS, 1995: 969) e gerou o que Koolhaas (2004) definiu como *Junkspace*:

se lixo espacial (*space-junk*) é o entulho que se espalha no universo, *junk-space* é o resíduo que a humanidade deixa no planeta. O produto construído da modernização não é arquitetura moderna, mas *Junkspace*. (KOOLHAAS, 2004: 162).

Para a teoria contemporânea, SOMOL (in: PRAXIS, 2006) define que para “além da forma e função, programa oferece a possibilidade para estilo de vida e política na arquitetura” (SOMOL apud. DEAN in: PRAXIS, 2006: 46), e Vidler (2003) adiciona que “implica a radical interrogação das condições éticas e ambientais dos terrenos específicos, que são considerados programas em si mesmos”. (VIDLER, 2003: 59). Ao considerar as questões específicas do contexto social e físico que se encontra, o conceito de programa contemporâneo adiciona ao moderno, e por compreender que somente os signos e significantes não são o bastante para a formação dos espaços arquitetônicos, há a evolução do pensamento pós-moderno de programa.

A partir desta nova busca, do “excesso e indeterminação, o programa foi liberado de suas afiliações com a forma”. Na obra de Tschumi, “o mundo de hoje onde estações de trem viram museus e igrejas viram discotecas, um argumento está sendo feito: a completa intercambialidade entre forma e função, forma não segue a função, e função não segue a forma” (TSCHUMI apud LAWRENCE in: PRAXIS, 2006: 4)

Ao assumir o programa como *agenda*, o “programa nunca é neutro, o arquiteto deve desconstruí-lo e o redirecionar. Eventos são diferentes de programa - ocorrem inesperadamente - seu projeto pode contribuir para as condições futuras, mas você não projeta o evento” (KOOLHAAS in: PRAXIS, 2006: 5). Com isto, se reposiciona o papel do programa da visão modernista de arranjo espacial, “em que a função é literalmente traduzida em forma - para a geração de *cenários relativos* - que acomodam eventos inesperados e heterogêneos”. (LAWRENCE in: PRAXIS, 2006: 5).

Estas considerações sobre a escala e suas implicações, ao retirar do arquiteto as suas estratégias usuais (a “arte da arquitetura se torna inútil”) faz com que, pra McMorrough (in: PRAXIS, 2006), o processo arquitetônico seja alterado,

ao invés de ações operando na atividade em si, é na representação do programa que o trabalho é feito. Aqui (no diagrama) o programa não mais indica identificação (ser afirmado ou negado) mas sim uma interação das partes, pois o diagrama serve para botar de lado o impasse de forma e sua significação, que marcou tentativas anteriores de correspondência programática. (McMORROUGH in: PRAXIS, 2006: 107).

As ferramentas usuais então da formação arquitetônica são então consideradas irrelevantes na formação espacial do edifício, surgindo uma nova ferramenta com potencial formativo na arquitetura contemporânea: o diagrama. Van Berkel (2008) define que “diagramas são conhecidos e compreendidos como ferramentas visuais usadas para a compressão de informação [...] parte de uma técnica que promove a proliferação, geração e instrumentalização do design” (VAN BERKEL, 2008, p.323) e defende que a “essência da técnica diagramática é que ela introduz no trabalho qualidades desconectadas de um ideal ou de uma ideologia, aleatórias, intuitivas, subjetivas - qualidades que podem ser físicas, estruturais, espaciais ou técnicas” (VAN BERKEL, op. cit.)

Van Berkel (2003) justifica o uso do diagrama pois “a prática diagramática atrasa a introdução de signos, deste modo permitindo a arquitetura articular uma alternativa para a técnica representacional do desenho - que fixa a relação entre idéia e forma, entre conteúdo e estrutura”, (FIG. 2.1.3) assim sendo, o diagrama tem a “função de atrasar o máximo possível o simbolismo, a tipologia, nos ‘distraindo de cair em um clichê’”. (VAN BERKEL, 2008, p.325)

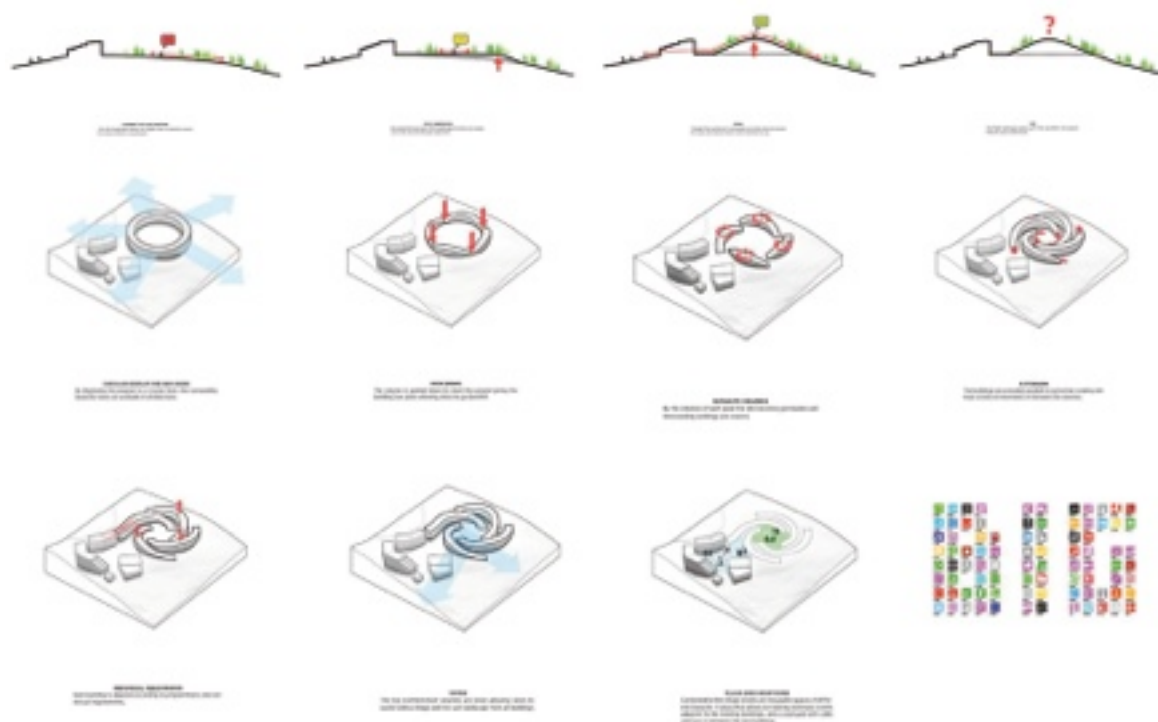


Fig. 2.1.3 - Diagramas como geração de forma. BIG: Ski Center. FONTE: www.big.dk

Aqui, podemos considerar o conceito de algoritmos como um modelo de diagrama generativo: um processo lógico-matemático de resolução de problemas, que “oferece dicas, sugestões ou alternativas que poderiam nunca ocorrer ao projetista”, resultando em uma relação “sinérgica em que fatores desconhecidos ou imprevisíveis são explorados” (TERZIDIS, 2006)

O projeto, de acordo com Porto Filho (2006) , consiste em um processo, um “trabalho em movimento, e não numa atividade que parte de objetivos absolutamente claros para chegar a uma solução definitiva” e que

ao invés de uma ‘correspondência’ com um ‘referente’, a forma deve ser entendida como a ‘interseção’ de múltiplos diagramas. Assim, o método tem sido chamado de ‘oportunista’ e ‘imprevisível’, uma vez que a série de diagramas é sempre aberta e em diálogo com outras conceptualizações e a forma é entendida apenas como um ponto de interrupção num processo analítico que poderia não ter fim. (PORTO FILHO, 2006: 6).

Deste modo o manejo das interrelações entre os sistemas - em sua ferramenta do diagrama (ou algoritmo) - se torna o elemento gerador da forma do edifício, atuando mais de forma aleatória do que na definição de um conceito/partido estabelecido previamente, admitindo a imprevisibilidade do processo que permite,

em um “modelo da exata acomodação de relações aproximadas, representar uma linha de investigação de como a abstração do programa se manifesta no edifício”, permitindo que a “conclusão final de programa pode ser evitar a questão de construir como um todo” (McMORROUGH in: PRAXIS, 2006: 107).

Segundo Greg Lynn (2011), uma das justificativas para a importância destas questões gráficas em relação à literal funcionalidade, seria a busca pela beleza da época, que estava relacionada com os sistemas de proporções e suas relações com a natureza ao invés de ser necessariamente relacionada com conceitos de utilidade ou ergonomia.

Para Van Berkel (2011), a questão dos eventos está ligada à fluidez de habitar:

peças e como elas se movem através do espaço condicionam nossa abordagem à arquitetura e ao interior. Habitação formal, apresentando zonas funcionais domésticas devotadas à atividades reguladas normativamente se tornaram descartáveis, mas o staccato de sucessivos e confinados espaços ainda assombram os designers. (VAN BERKEL, 2011: 125).

Sendo assim, a relação entre o construído - o envoltório dos edifícios - e o seu vazio - o espaço arquitetônico, define a fluidez do projeto, fazendo com que o edifício se torne um receptor dos eventos que ocorrem, e com isso, delegando às fachadas a função de permeabilidade entre o entorno, a sociedade, a cidade e o clima.

2.2 Parametricismo

Kroloff define este novo gênero - *blobitecture* - como estruturas geradas por computador, evoluídas digitalmente que são “menos construídas que nascidas”, através da evolução de uma forma pelas suas forças formativas, “não mais estáticas, mas participantes imersos em fluxos dinâmicos”. Estas estruturas são informadas com parâmetros digitais, e surgiram a partir da segunda metade dos anos 1990, ao se utilizar os computadores não como ferramentas de desenho, mas “para descobrir novas coisas sobre elas” (WATER, 2003: 10)



Fig. 2.2.1 - Rheinhafen Dusseldorf. Frank Gehry. FONTE: www.archdaily.com

A estética surgida com estes projetos sugere uma “rebelião pós-moderna contra a aridez do modernismo, com sua conhecida ênfase na função, análise científica e ordem”, usando as “formas naturais como uma rica parte de sua inspiração”, tanto estética como funcionalmente (através da absorção de conceitos como o *biomimicry* - a imitação da natureza para a solução de problemas).

Um dos primeiros arquitetos a se utilizar desta tecnologia foi Frank Gehry, ao aplicar em seu método de trabalho a análise digital de maquetes físicas - através do escaneamento e desenho tridimensional virtual do edifício - para a análise e refino do projeto, de maneira a gerir as complexidades materiais de suas formas (fig. 2.2.1). Este processo leva à uma análise digital de características como carregamentos, momentos e forças atuantes, que são retornadas sob forma de informação ao método projetual e servem para uma nova iteração no processo. Quando há a decisão de interromper o processo e iniciar sua produção, o próprio software gera os desenhos e detalhamentos necessários para a produção. (WATERS, 2003).

Em uma evolução do uso dos processos digitais, há a necessidade de se estabelecer uma teoria - ou o que SCHUMACHER (2011) chama de “análise do discurso da disciplina - um esforço para a sistematização teórica” (p. xi) da utilização destes métodos digitais no processo de projeção. Esta “teoria não é um reflexo de uma dada ordem do mundo, mas um aparato projetado para ordenar os fenômenos que experienciamos”.

Patrik Schumacher - sócio do escritório Zaha Hadid Architects - estabelece que esta teoria da ordenação do fenômeno objeto de estudo se torna um novo estilo: o *Paradigma Paramétrico* (2012: 617). A análise deste novo estilo é interessante aqui pois trata de como os elementos são concebidos sob esta nova ótica.

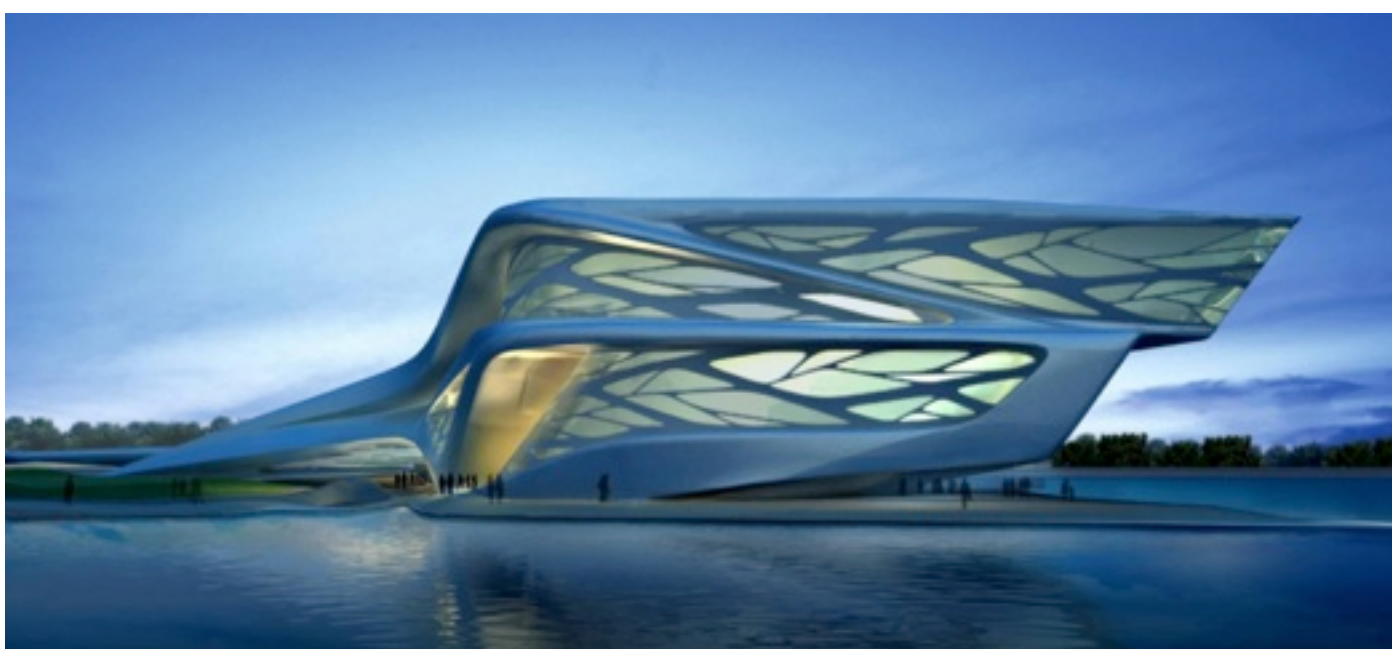


Fig. 2.2.2 - Arquitetura Paramétrica. Zaha Hadid: Performing Arts. FONTE: www.zaha-hadid.com

De acordo com a teoria do parametricismo, o projeto “envolve *scripting* de campos dinâmicos que envolvem uma infinidade de componentes maleáveis organizados em subsistemas diferentes e mutualmente correlacionados”, em que as novas ferramentas (p. ex.: digitais) tem uma participação crucial em tornar isto possível, “estabelecendo novos processos e metodologias de projeto”.

Uma definição de parametricismo, para SCHUMACHER (2011), é que “todos os elementos são parametricamente maleáveis” - resultando em todos os elementos formadores do espaço reagem a pontos de atração e ressoam entre si. “Em princípio, toda propriedade de todo elemento ou complexo é sujeita à variação paramétrica”, organizadas a partir de funções (algoritmos) que estabelecem “associações entre as propriedades dos vários elementos”. O objetivo do parametricismo - mais do que suas ferramentas - é de “organizar e articular a crescente diversidade e complexidade das instituições sociais e dos processos da vida nas mais avançadas áreas da sociedade pós-fordista”, almejando “intensificar as interdependências internas do projeto assim como as afiliações e continuidades externas com o contexto” (p. 655).

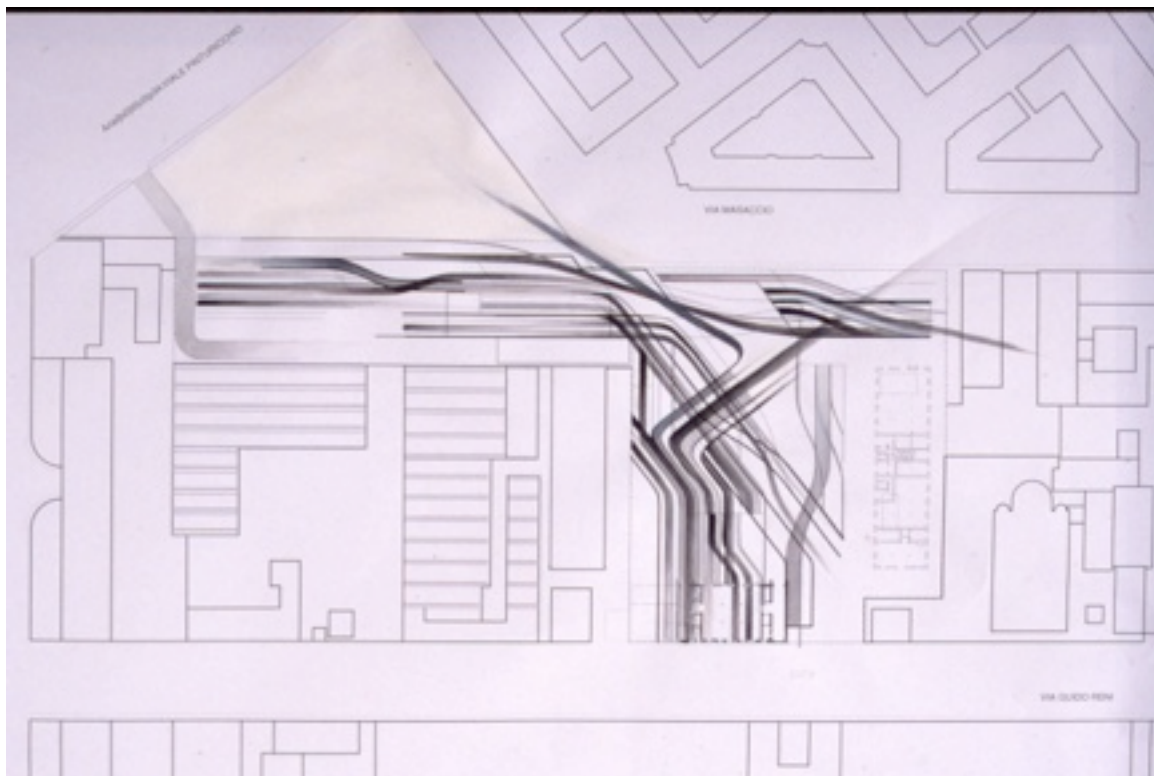


Fig. 2.2.3 -Estudo paramétrico do contexto Zaha Hadid: MAXXI. FONTE: www.zaha-hadid.com

SCHUMACHER (2012) define assim uma matriz de características do Parametricismo, que deve evitar estereótipos funcionais rígidos, a segregação em zonas funcionais, formas rígidas, repetição simples, colagem de elementos isolados/não-relacionados - ao passo que tem como princípios positivos a criação de cenários/eventos/atividades que se comuniquem umas com as outras, formas que sejam maleáveis e sistemas diferenciados e interdependentes. (2012, p. 618)



Fig. 2.2.4 -Sistemas maleáveis. ZahaHadid: MAXXI. FONTE: www.zaha-hadid.com

SCHUMACHER (2012) estabelece que o Parametricismo é o primeiro estilo a substituir o modernismo - resultado de um processo de evolução e auto-organização. O autor define **parâmetro** como “propriedade ou relação de um objeto (ex.: geometria, posição, cor, transparência, etc.) que pode ser relacionada com

outro parâmetro (propriedade ou relação) de um outro objeto (ou grupo de objetos)” (p. 621). Isto gera uma “segunda natureza [...] rica em **correlações** internas e externas” - correlações estas que definem o conceito paramétrico de ordem.

Em contraste com a noção modernista de seus princípios organizadores de “separação, especialização e repetição - modelo fordista de produção”, o parametricismo atua nos relacionamentos entre os campos, capaz de “desenvolver e criar campos complexos que permitem a participação quase simultânea de múltiplos eventos”. Um destes campos é o da customização em massa - ou diferenciação contínua - em que a repetição existente na lógica modernista é transformada em uma especialização dos elementos para cada caso específico.

Este desenvolvimento de “ferramentas paramétricas e linguagens de programação que permitem uma formulação precisa e a execução de intrincadas correlações entre elementos e subsistemas” (p. 646) permitem que a caracterização deste trabalho se torne um novo paradigma para a arquitetura. A fabricação digital destes elementos específicos se torna uma ferramenta para a individualização da produção em massa.

A produção em massa é adotada pelas empresas para evitar os “custos desnecessários da realização do desejo de cada consumidor”. (GILMORE, 1997). Por outro lado, focar no consumidor hoje se tornou imperativo como fator de competitividade e estratégia. Uma maneira eficiente de resolver este paradoxo é a adoção da *customização em massa* - através de sistemas de tecnologia da informação e processos flexíveis de trabalho, serviços para consumidores individuais se tornam economicamente compatíveis. Porém, para o autor, mesmo este processo de customização em massa pode produzir custos e complexidades desnecessárias.

Gilmore (1997) identificou quatro abordagens que podem otimizar o processo de customização: colaborativo, adaptativo, cosmético e transparente. A primeira opção - colaborativa - determina que o produto seja resultado de um diálogo direto entre o fornecedor e o cliente, estabelecendo a especificidade do produto desejado. A abordagem adaptativa estabelece que o produto seja entregue ao cliente padronizado, mas que possibilite sua futura alteração pelo próprio consumidor - abordagem ideal para situações em que um produto necessite ser utilizado de diversas maneiras, em diferentes situações. A abordagem cosmética mantém um

produto padronizado, porém apresentado de maneira individualizada para cada consumidor, ou seja, somente a apresentação e embalagens são feitas de maneira a atender individualmente cada cliente. A quarta alternativa, transparência, é o conceito de customizar completamente o produto, porém sem deixar claro para o cliente que é um produto único - por exemplo, através de estudos dirigidos de mercado, feitos de maneira indireta, para estabelecer as reais necessidades do grupo ou nicho a ser atendido.

As vantagens de uma abordagem de customização em massa surgem com a percepção de que os consumidores não fazem mais parte de um grupo homogêneo (no caso da construção civil, com a melhoria das condições de construção e o refinamento do desejo dos clientes) e que “o projeto para requisitos médios” não atende às necessidades do cliente, gerando um distanciamento com o que a empresa produz. (GILMORE, 1997). No caso da construção civil, em que edifícios são produzidos em massa para um objetivo específico, a abordagem colaborativa se mostra vantajosa, ao utilizar os processos de fabricação do fornecedor de maneira específica às situações do entorno e programáticas do edifício.

A colaboração se dá, para GILMORE (1997), principalmente na etapa de projeto. Além de incluir óbvias vantagens para o consumidor (no nosso caso, uma melhor adaptação, eficiência e eficácia do produto), também traz vantagens para o fabricante. “Ao forçar os clientes à buscar o produto, não há mais uma cadeia de fornecimento, mas é criada uma cadeia de demanda [...] há uma minimização de custos como estoque, transporte, depreciação e resíduos” e “fazendo apenas e exatamente o que o cliente deseja, o serviço (customizado) é em realidade mais barato que o serviço padronizado.” (1997, p.5).

O mercado consumidor “não valoriza fornecedores que recitam mantras monolíticos - valorizam, e compram, produtos e serviços que atendam suas necessidades particulares”, e desta forma, para o autor, a customização em massa demonstra a necessidade da interação direta da colaboração na customização e em seu reconhecimento pelo mercado. O autor ainda cita que “uma oportunidade real surge mesmo que o consumidor não perceba estas distinções. Muitas pessoas em várias situações descobrirão coisas sobre si mesmas apenas em um diálogo colaborativo”, deste modo, agregando valor ao produto fornecido.

Um outro conceito exposto por SCHUMACHER (2012) é o da simplicidade relativa, onde o simples não é o oposto do complexo, mas uma “articulação da complexidade com uma precisa economia de meios” (p. 651). Um dos exemplos apontados é a geração de formas curvas, sem quinas, para “criar espaços dinâmicos sem quebra de continuidade”.

O uso do parametricismo em relação à questões ecológicas se faz presente por ser, em si mesmo, uma manipulação de ecossistemas complexos. Para o autor, os mesmos “conceitos de projeto, técnicas e ferramentas do parametricismo são úteis para a agenda de otimização de formas arquitetônicas em respeito à critérios de performance ambiental”, e a programação destes parâmetros pode responder à dados de entrada relacionados ao ambiente e à sustentabilidade. No trecho descrito abaixo, o autor demonstra que a relação entre os parâmetros formadores dos elementos e sua representação arquitetônica e geração de valor estão intimamente ligadas, transformando uma articulação funcional da fachada em um elemento formador do caráter do edifício, através do uso dos elementos do parametricismo:

“Um conjunto de dados como um mapa de exposição solar que mapeia a intensidade de radiação a que uma fachada é exposta durante um dado período de tempo pode se tornar uma entrada de dados para uma modulação adaptativa de um sistema de sombreamento solar. Enquanto o sistema de elementos envolve a fachada, o espaçamento, formato e orientação os elementos individuais gradualmente se transforma e se adapta para as condições específicas de exposição em sua respectiva localização na fachada. O resultado é um gradiente, continuamente mudando o padrão da fachada que otimiza a proteção solar relativa à entrada de luz para cada ponto da fachada. Ao mesmo tempo, esta modulação adaptativa dá ao edifício uma aparência diferenciada que também faz com que a orientação do prédio no ambiente se torne legível e facilite a compreensão da navegação no ambiente urbano. A articulação diferenciada da fachada contém e transmite informação sobre sua posição ao invés de permanecer indiferente e cega” (SCHUMACHER, 2012. p. 679)

2.3 Performance¹

A partir dos anos 1950, segundo KOLAREVIC (2005), a noção de *performance* surgiu nas disciplinas de humanidades como uma mudança da percepção de cultura como “coleção estática de artefatos para uma rede de interações, uma cadeia dinâmica de processos inter-relacionados”, que não demonstram rigidez de valores, formas, estruturas ou significados. A sociedade e a cultura são constituídos então de “processos temporais e contínuos, definidos pela fluidez e mediação” - emergindo então uma abordagem performativa à cultura.

A compreensão do conceito de performance para o aprofundamento do parametricismo serve como base para entender as possíveis vantagens da utilização deste modo de pensamento e projeto de elementos construtivos.

A idéia de performance - definida como “seguir com uma ação, ou, realizar uma tarefa” (HENSEL, 2008, p.12) deve ser entendida por uma definição alternativa, “baseada em uma eficácia de múltiplos parâmetros ao invés da otimização e eficiência de um parâmetro único” (p.55), devendo, desde o início do processo, incluir tanto a lógica de sua construção como de suas interações com os estímulos e condições do ambiente. O autor sugere que os métodos computacionais são responsáveis por um “potencial muito maior da síntese de projeto”. A lógica computacional permite integrar “restrições de manufatura, lógicas de montagem e características construtivas” que, aliadas à ferramentas de análise (de estruturas, termodinâmica, iluminação, acústica) “fornecem *loops* de retorno de informação para a análise do comportamento do sistema, se tornando ferramentas generativas no processo de projeto” (p. 56).

Para Hensel (2008), isto leva a noção de utilizar o computador para a representação e descrição de “comportamento, não apenas de formas” - sendo esta a principal diferenciação entre os sistemas de desenho assistido por computador (CAD) e os sistemas paramétricos de projeto. Ao incluir durante o processo a análise do comportamento das estruturas, o “projeto do espaço, da estrutura e do clima se torna inseparável”. O autor sugere uma metodologia do processo:

1. *Performance* deriva do termo de mesma grafia na língua inglesa, e é escolhida aqui pelo autor em detrimento de sua tradução desempenho pois inclui não somente o conceito de desempenho físico frente à um parâmetro como também a de evento - performance como atividade artística.

Estabelece-se uma descrição da notação do sistema e suas características, através de um quadro de possíveis formações que permanecem coerentes ao sistema. Este modelo é então alimentado de uma série de parâmetros, restrições e características adicionais - baseados nas lógicas dos materiais, construtivas, de fabricação e montagem - que definem as formas que o elemento pode tomar. A eficácia é definida pela comparação entre a performance desejada (pelo elemento) e a atual (simulada pelo computador), fazendo com que a análise seja fundamentalmente a principal parte do processo. O principal objetivo não é a precisão dos dados, mas sim o “reconhecimento de um padrão de comportamento”. (HENSEL, 2008)



Fig. 2.3.1 -Estudo solar de fachada. BIG: Biblioteca de Astana. FONTE: www.big.dk



Fig. 2.3.2 -Perspectiva Externa. BIG: Biblioteca de Astana. FONTE: www.big.dk

Conceitualmente, inicia-se então a definição do edifício não mais pelo que ele representa, mas pelo que ele faz (e como se comporta). Leatherbarrow (in KOLAREVIC, 2005) define **performance arquitetônica** através da questão de “em quais maneiras o edifício age?”. Esta observação é diferente da idéia do uso do espaço, uma vez que os usos podem variar ao longo da vida do edifício. O autor cita duas abordagens ao termo *performance*: como uma máquina ou motor, ou como um evento teatral. De acordo com Whalley, “sob uma maneira estritamente funcional de ver as coisas, mas acredito que a partir desta funcionalidade, compreendida em termos de performance, surge a beleza” (in. KOLAREVIC, 2005, p. 23).

Atualmente, o método mais adotado pela engenharia para o projeto de sistemas e componentes é o desenho prescritivo e sua otimização. (SCHWITTER in. KOLAREVIC, 2005). Uma série de regras empíricas são empregadas para a geração de um *pré-dimensionamento* do sistema e sua otimização iterativa. Este modelo é eficiente em termos econômicos e de tempo, porém em edifícios de baixa complexidade e alta previsibilidade. Em exemplares únicos, Schwitter afirma que novos modelos devem ser utilizados, em que “modelos prescritivos podem reduzir riscos, mas também levam a uma redução de ganhos” - e que uma abordagem individualizada da performance desenvolve uma solução meticulosa para o problema, em um processo não-linear e integrado. Uma filosofia de projeto em que elementos e componentes do edifício participam em múltiplos e complementares papéis para aumentar a utilidade física do edifício além de suas funções iniciais.

A geração da forma a partir da análise do elemento e suas interrelações transforma o objetivo de “criar uma forma para o de encontrar uma forma” (KOLAREVIC, 2005). A esta proposição, o autor dá o nome de *performance-based design*, ou projeto baseado em performance - em que o comportamento do edifício é tão ou mais importante enquanto princípio de projeto que a estética formal (p. 195). A utilização do método de projeto baseado em performance deve ser considerado simultaneamente entre todas as disciplinas envolvidas (econômica, espacial, social, cultura, técnicas, etc.), criando uma rede de profissionais para a análise quantitativa e qualitativa das diferentes simulações. O autor ainda afirma que o projeto a partir da performance não deve ser compreendido como uma nova forma de funcionalismo - aqui a forma deve ser derivada dos processos generativos baseados na performance desejada.

Os modelos de projeto são baseados em quatro etapas: representação, medição, avaliação e modificação, de acordo com Kolarevic.

“O projetista gera uma hipótese de desenho, que é transferida ao computador (representação); o *software* do computador modela o comportamento da hipótese e indica medidas de custos e performances em um número de critérios relevantes (medição); o projetista - talvez em conjunto com o cliente - exerce seu - ou deles - valor de julgamento (avaliação) e decide nas mudanças apropriadas para a hipótese de desenho (modificação).” (KOLAREVIC, 2005, p. 198)

Desta forma, a dinâmica é dependente da análise do projeto, enquanto há a alternativa de se incorporar internamente esta análise (por exemplo, através de algoritmos generativos) para a busca automática da solução ótima. Esta solução é a buscada pela teoria do parametricismo pois busca a atuação ativa da computação - “a avaliação performática deve ser *generativa* e não apenas *avaliadora*.”

A arquitetura performática pode ser descrita então, para Kolarevic, por ter a “capacidade de responder às mudanças sociais, culturais e tecnológicas” através de sua série de conexões e interrelações, de maneiras indeterminadas. para o autor, não é “uma maneira de encontrar uma matriz de soluções práticas para um grande número de problemas, mas uma meta-narrativa de objetivos universais dependentes de uma performance particular de cada projeto”. Determinar os diferentes aspectos e objetivos, instigar e diversificar os efeitos, ao invés de prever, pré-programar e representar o edifício é a função dos arquitetos e engenheiros.

2.4 Desenho Digital

A metodologia de projeto arquitetônico sempre esteve ligada com seus modos de representação. Klinger (apud. GUZIK, 2011) cita a dependência da arquitetura em vários outros campos de conhecimento, especialmente a indústria da construção e ao desenvolvimento dos materiais - parafraseando Le Corbusier, quase todo período arquitetônico está conectado à pesquisa em construção. Para Kolarevic (2009), “a era da informação - assim como a era industrial antes dela - está desafiando não apenas como projetamos os edifícios, mas também como os manufaturamos e construímos.” Há uma tendência de que tecnologias digitais estejam substituindo tecnologias construtivas convencionais.

Somente nos últimos anos que os métodos digitais vêm ganhando mais força, devido principalmente à cada vez maior facilidade da utilização de ferramentas específicas. KOLAREVIC (2005) define que “desenho assistido por computador (CAD) e na produção assistida por computador (CAM) tem iniciado um processo de impacto nas práticas de projeto e construção de edifícios” e conseqüentemente, estas tecnologias “abriram a possibilidade de desenhar e fabricar formas complexas que até recentemente eram difíceis e caras para executar se utilizando de tecnologias convencionais” (2009).

Para Mortenson (apud. VETTORETTI, 2010), a “modelagem representa a construção precisa da descrição matemática da forma de um objeto”, e seu paralelo digital “é utilizado a partir do desenvolvimento da computação gráfica e de tecnologias CAD/ CAM, para definir um conjunto de métodos usados na definição da forma e de outras características geométricas dos objetos”. A modelagem digital utiliza-se de conceitos matemáticos para descrever “entidades geométricas em duas ou três dimensões”, a base dos *softwares* utilizados. Voltando a Kolarevic (*op. cit.*), este define que “a topologia é a base conceitual para o desenvolvimento dos softwares de modelagem do século XXI, assim como para as pesquisas conceituais em design e arquitetura.”

Para Iwamoto (2009), apesar da existência há mais de 30 anos de programas de desenho digital, os edifícios continuam sendo gerados e produzidos da mesma maneira, não refletindo a mudança.

Os *softwares* modeladores de superfícies fazem uso de operações matemáticas complexas (funções *Spline*), curvas contínuas em terceiro grau ou superior. “Caracterizam-se por serem definidas por dois ou mais pontos de controle, que podem ou não estar sobre o desenho da curva, facilmente construíveis, alteráveis e parametrizáveis (KOLAREVIC apud. VETTORETTI, 2010). As curvas *Splines*, foram amplamente divulgadas a partir dos anos 1960 pelo engenheiro francês Pierre Bézier, que trabalhava para indústria automobilística Renault. São, por esta razão, também conhecidas como curvas de Bézier (VETTORETTI, op. cit.).

VETTORETTI (2010) e KOLAREVIC (2009) definem que o projeto paramétrico é função de uma família de objetos, em sistemas formais com regras estabelecidas pelo projetista:

No design paramétrico são definidos parâmetros de um objeto e não sua forma. A estes são atribuídos valores que geram a configuração do objeto, e cuja alteração, o modificam. Constituem, assim, sistemas que dão fluidez aos processos de projeto, permitindo rapidez e facilidade na simulação de adaptações e reconfigurações de geometrias (BARRIOS, 2006). Com isto, é possível a criação de um número infinito de objetos similares, que aqui são entendidos como objetos com dimensões e formas diferentes, porém com a mesma configuração, a mesma estrutura formal, ou seja, homeomórficos. Pode-se dizer que o design paramétrico permite a criação de uma família de objetos, como por exemplo, um jogo de chave fixa, onde se atrela o valor da abertura da chave com as outras dimensões (SOUZA e COELHO, 2003).

Estes sistemas formais podem ser considerados como sistemas generativos. MAYER (apud. VETTORETTI, 2010) especifica que estes sistemas “trabalham com uma linguagem existente ou a ser criada, sobre a qual uma seqüência de regras formais estabelecidas de acordo com as intenções de projeto é aplicada” e divide em duas estratégias de projeto: a partir da *gramática da forma* e de *algoritmos genéticos*. A primeira estratégia diz respeito aos “desenhos como produto de um procedimento de composição de elementos com uma regra (STINY e GIPPS, 1971 apud. VETTORETTI, 2010), enquanto a segunda estratégia se baseia “no mecanismo de seleção natural da biologia, onde restrições do meio definem a adaptabilidade de uma solução de projeto ao problema especificado (BENTLEY, 1999).”

2.4.1. Softwares

Existem no mercado três categorias de *softwares* de desenho assistido por computador (CAD): os *softwares* de modelagem/desenho, *softwares* de programação/algoritmos e *softwares* de simulação.

A primeira categoria inclui os programas que simulam uma “prancheta digital”, em duas ou três dimensões, sendo o mais conhecido deles o Autodesk AutoCAD. Para o objetivo deste trabalho, será utilizado o programa Rhinoceros (FIG. 2.4.1.1), da empresa Robert McNeel & Associates, devido à sua utilização de modelagem tridimensional em várias indústrias e principalmente internacionalmente em escritórios e escolas de arquitetura e engenharia civil, sua facilidade de uso e configuração e sua velocidade de processamento.

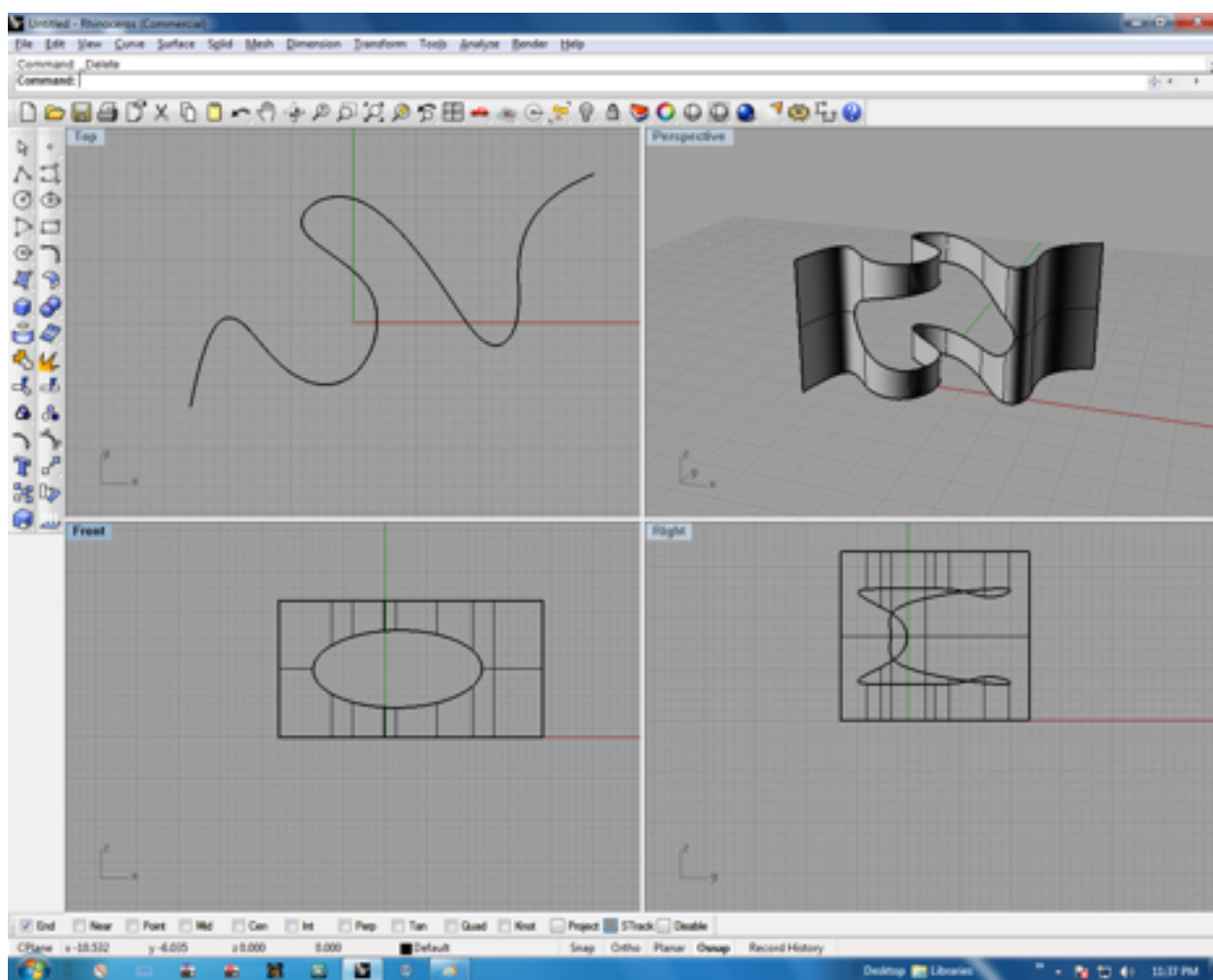


Fig. 2.4.1.1 - Software Rhinoceros3d - Screenshot. FONTE: www.rhino3d.com

A categoria de programação/algoritmos descreve *softwares* que utilizam linguagens de programação abertas para que o projetista programe seus valores de entrada e saída, através de funções matemáticas e do relacionamento entre objetos. Neste trabalho utilizaremos o *plugin* Grasshopper (FIG. 2.4.1.2), de distribuição gratuita, que tem uma linguagem de programação simplificada e orientada à designers. A sua descrição diz que

“o plugin é uma interface com o usuário, permitindo a definição de relações paramétricas entre objetos geométricos e parâmetros numéricos. Cada definição paramétrica consiste em unidades funcionais, os componentes, que são ligados através de ‘cabos’ que transferem dados. Uma entrada de dados de um componente é recebido pelo nó e produz um resultado que é transmitido pelo componente. Os dados podem ser uma lista de números, vetores ou objetos. Há a possibilidade de se conectar estes componentes com outros objetos e *softwares* CAD, adicionando ferramentas ao sistema de modelagem associado.” (LACHAUER et al.).

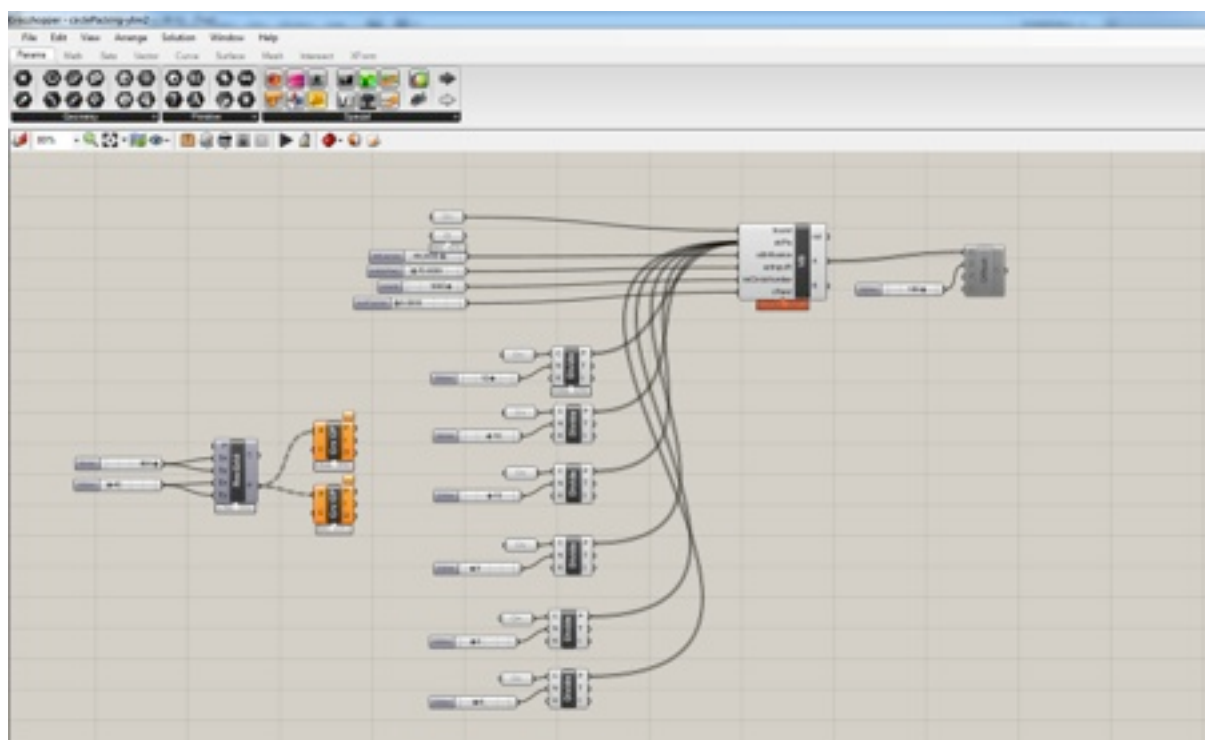


Fig. 2.4.1.2 - Software Grasshopper3D, algoritmo. Screenshot. FONTE: www.grasshopper3d.com

A categoria de simulação inclui os programas que efetuam cálculos matemáticos para exibir resultados de dados na tela do computador. Estes programas incluem desde soluções de visualização (a criação de *renders* fotorealistas através do cálculo de luz e reflexões de materiais) até soluções de engenharia, como cálculos estruturais, térmicos, acústicos, de iluminação, etc. Há na prática profissional da indústria diversas alternativas - muitas delas desenvolvidas

pelas próprias empresas - destes softwares, como por exemplo o *Software Ecotect* (FIG. 2.4.1.3). No objetivo deste trabalho, nos concentraremos em soluções de programas que tratem das questões levantadas como intenções de projeto - a serem definidas de acordo com o protótipo a ser desenvolvido - e que sejam integradas aos outros *softwares* utilizados.

Dentro da categoria de simulação ainda se encaixam *softwares* evolutivos, conforme descritos anteriormente. Neste trabalho usaremos o programa Galapagos, que funciona como uma aplicação interna do plugin Grasshopper para a geração paramétrica evolutiva.

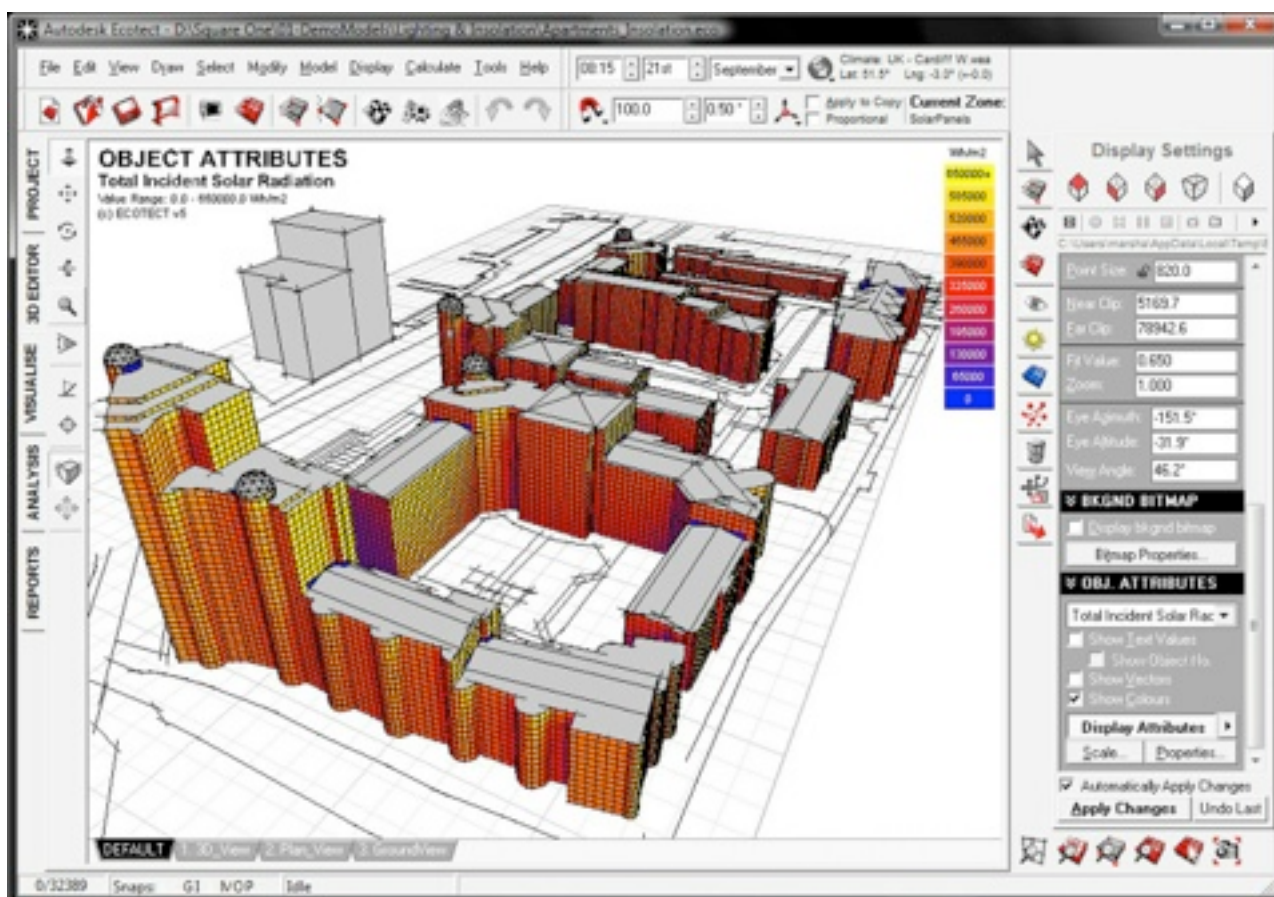


Fig. 2.4.1.3 - Software Ecotect. Simulação de Incidência Solar. FONTE: www.autodesk.com

2.5 Fabricação Digital

Fabricação digital é o termo utilizado para designar processos de fabricação que utilizam a correspondência entre métodos de desenho e de manufatura assistidas por computador, utilizando-se de máquinas de controle numérico CNC (*Computer Numerical Control*) para a produção de produtos finais ou componentes para os processos de fabricação convencionais. Para Guzik (2011: 13), não somente as técnicas de fabricação digital podem ser utilizadas para a produção de elementos construtivos individuais e customizados, modelos e maquetes de pequena escala, como também como a condução do processo de construção. Um variação, segundo Vettoretti, da fabricação digital é a prototipagem rápida, com o objetivo de gerar protótipos que “podem ser usados para ajudar os designers no seu pensamento, planejamento, experimentação e aprendizagem durante o processo” (2010: 37)

Uma das principais vantagens na utilização da fabricação digital é a “facilidade de produzir formas com maior complexidade, mais orgânicas e esculturais sem o aumento do tempo de produção e custos”. No contexto contemporâneo, “desenhos planos de plantas e seções não são mais o principal meio de comunicação com clientes e fabricantes” (GUZIK, 2011: 7), fazendo com que a transição entre o desenho (CAD) e a fabricação (CAM) ocorra digitalmente. Iwamoto (2009) sugere que “grande invenção existe no período entre o desenho e a construção”, de maneira que - principalmente em sistemas menos *informados* - soluções tenham de ser criadas *in loco*, nem sempre correspondendo às expectativas ou eficácia desejadas. Uma das vantagens da fabricação digital seria eliminar (hipoteticamente) esta distância entre o desenho e a produção.

Inicialmente desenvolvidas para outras indústrias há mais de meio século (como a automobilística e aeroespacial), a sua característica de realizar tarefas de alta complexidade vêm sendo usada cada vez mais na indústria da construção civil, especialmente em projetos com o conceito de customização de massa. (IWAMOTO, 2009: 5)

Hugh Whitehead, do escritório Foster and Partners, define três categorias de concepção da fabricação digital: as abordagens de pré-, co- e pós-racionalização (GUZIK, 2011). Pré-racionalização impõe a existência de um sistema compositivo anterior à fase de criação. A autora cita como exemplo o *Beijing National Aquatics*

Centre, (o cubo-d'água das Olimpíadas de 2008), do escritório PTW Architects. A estrutura do edifício foi baseada em modelos computacionais de bolhas de sabão, e através da pesquisa por volumes iguais e a menor relação superfície/volume, o desenvolvimento do trabalho se deu pela busca de maior eficiência em uma estrutura de tal configuração, resultando “em grande quantidade de elementos construtivos e no aumento da complexidade e custo de produção” (p. 8).

A abordagem de pós-racionalização diz respeito à alteração do modelo já estabelecido com o objetivo de possibilitar sua realização física. A autora cita como exemplo o edifício Greater London Authority, do escritório de Norman Foster, cuja forma oval foi revisada em quadriláteros planos possibilitando sua fabricação.

A abordagem de co-racionalização diz respeito ao processo de “busca paralela de um sistema compositivo e de forma, que influenciam um ao outro”, em que os parâmetros são parte integrante do processo de projeto, e implica em uma “coordenação multidisciplinar em todos os estágios do projeto, incorporando parâmetros de fabricação junto com outras regras formais e funcionais” (Guzik, 2011: 8).

Os métodos de fabricação digital podem ser descritos pelas suas lógicas construtivas ou pelos sistemas que utilizam. Iwamoto (2009) define cinco lógicas construtivas para a fabricação digital: *Sectioning*, *Tesselating*, *Folding*, *Contouring* e *Forming*.

Sectioning ou seccionamento, consiste em “cortar” o modelo do volume tridimensional em secções, desta maneira projetando superfícies bidimensionais das secções transversais do volume. Perfis de contorno em intervalos regulares permitem a realização de estruturas complexas (como superfícies de curvatura dupla) a partir de superfícies materiais planas. Estes perfis de contorno, responsáveis por gerar uma espécie de “esqueleto” estrutural, são então revestidas com outros materiais, inclusive planos ou de curvatura simples, em uma técnica chamada *lofting*. Como exemplo, esta tecnologia é utilizada há várias décadas na construção de barcos e aeronaves. É um dos métodos mais utilizados por se adaptar a materiais de construção convencionais, que tipicamente são produzidos em chapas, produzindo prédios tridimensionais a partir de elementos bidimensionais, reduzindo a complexidade da fabricação.

Tesselating ou tesselação, consiste em “cobrir” uma superfície com um figuras planas, em peças que se encaixam sem espaços entre si ou sobreposições. Como exemplo, a autora cita os desenhos de M.C.Escher, ou padrões utilizados em cerâmicas, mosaicos e pinturas mouras e árabes. Na fabricação digital, este conceito envolve a geração de padrões que permitem “grande variação e modulação através da manufatura não-uniformizada” (2009: 36). É uma técnica utilizada principalmente para a panelização de superfícies de geometria complexa, isto é, encontrar padrões planos aproximados para a produção destas geometrias.

Folding ou dobra, é uma técnica que consiste em “dobrar” uma chapa plana de material transformando-o em uma estrutura tridimensional, “criando estrutura através da geometria”. Estes processos de dobra permitem avanços na performance, principalmente estrutural dos materiais, ao se definirem ângulos de dobra e formação dos materiais e estruturas, otimizando o seu esquema estático.

Contouring ou contorno, é uma lógica que se utiliza do processo de esculpir materiais planos, criando relevos tridimensionais em materiais fundamentalmente bidimensionais, alterando suas espessuras, em um processo subtrativo. Através da utilização de ferramentas de usinagem em três direções. Ainda é possível sua utilização em um processo aditivo, por exemplo em equipamentos complexos de impressão 3d. É um processo que permite hipoteticamente a fabricação de qualquer geometria complexa.

Forming ou moldagem, é uma lógica que utiliza moldes ou fôrmas para a produção de componentes. É o método mais utilizado na produção de quase todos os tipos de produtos de desenho industrial, embalagens, plásticos, etc. e na indústria civil, na produção de componentes de produção em massa, como esquadrias e ferragens, além de elementos únicos, como pilares e vigas, painéis e ornamentos, etc. Um dos exemplos é a criação de formas para concreto a partir da usinagem destes painéis e sua posterior utilização, método que permite a realização de geometrias complexas mais facilmente que através de outras técnicas.

Além de suas lógicas construtivas, a fabricação digital pode ser categorizada pelo método de produção através do sistema de CNC que utiliza e sua finalidade. Kolarevic (2009) cita quatro processos de fabricação possíveis: corte, subtração, adição e formação.

Corte por controle numérico, ou fabricação 2D é o método de produção mais comum, consistindo na utilização de chapas planas de material, cortadas com diferentes tecnologias (principalmente arco de plasma, laser ou jato de água). Envolvem o movimento em 2 eixos relativo entre o material e a cabeça de corte. Usualmente, é aplicado nas lógicas de seccionamento, tesselação e dobra.

Subtração envolve a retirada de material através da usinagem de uma máquina de eixos múltiplos - geralmente 2,5D ou 3D. O sistema CNC controle a cabeça de corte utilizando-se de um código de instruções, que definem as posições no plano (eixos x e y) e a altura do movimento (eixo z). É utilizada principalmente na produção de formas para a fabricação de elementos em concreto ou vidro para geometrias complexas, envolvendo chapas de madeira ou (principalmente) blocos de EPS de média densidade. Uma de suas deficiências é o desperdício de material gerado durante sua produção.

Adição é o processo oposto à subtração, onde material é depositado sobre uma base em camadas. O modelo digital é “fatiado” em camadas bidimensionais de mesma espessura do material a ser depositado, e esta informação é emitida para a máquina que gera o produto através da incrementação, camada à camada. É um processo extremamente caro, lento e com sérias restrições dimensionais, sendo utilizado principalmente na prototipagem rápida ou na criação de fôrmas de moldes.

Formação é o processo em que se aplicam forças mecânicas (pressão, restrição de formas, calor ou vapor) em um material para que ele se deforme adquirindo uma forma desejada, através de restrições na superfície. Como exemplo, o autor cita a deformação do material através da extrapolação de seu estado elástico, ou a aplicação de altas temperaturas e sua posterior diminuição enquanto controladas por ferramentas de dobra.

Existem ainda pesquisas que incluem robôs na fabricação digital, porém foi decidido não entrarem no escopo desta pesquisa por ainda representarem um campo recente de produção, além de não haver grande bibliografia e disponibilidade local sobre sua aplicação.

Além de processos de fabricação, o autor ainda cita que a integração da fabricação de elementos singulares com sistemas de controle de produção e montagem podem se beneficiar das ferramentas digitais. Kolarevic cita como exemplo que a localização tridimensional de cada peça pode ser determinada no

modelo e depois verificada *in loco* através de sistemas de controle de localização (como posicionamento a laser ou por GPS).

De acordo com pesquisa realizada por Celani e Pupo (2008), a aplicação destas técnicas e ferramentas no Brasil ainda é incipiente na área da construção civil. Para as autoras, isto se deve a dois fatores, econômico e social. O primeiro, relacionado aos altos custos dos equipamentos e insumos, que são em sua maioria importados, e o segundo, através do que as autoras chamam de

“grande limitação social ao emprego das técnicas de fabricação digital na área de arquitetura e construção no Brasil, pois ainda não existe disponibilidade de mão-de-obra especializada nessa área. Além disso, o ensino superior de arquitetura e engenharia civil ainda não prevê o uso desses novos métodos na produção de maquetes, protótipos e componentes construtivos.” (CELANI e PUPO, 2008)

Para o propósito desta pesquisa, das tecnologias digitais disponíveis de fabricação, a usinagem CNC foi a escolhida para o projeto de produção do protótipo. Ferramentas de usinagem CNC são as mais acessíveis e amplamente utilizadas na indústria da construção civil, além de serem capazes de produzir a maior gama de elementos construtivos complexos e altamente diferenciáveis, em processos relativamente simples e baratos.

A transição do desenho (CAD) para a produção (CAM) se dá através de códigos de máquina específicos de cada equipamento. Porém, processos de otimização podem ser empregados para o aumento da eficiência de produção. No processo de desenho, algoritmos evolutivos (como o Galápagos) podem iterar virtualmente infinitas soluções de localização das peças em chapas (*nesting*), reduzindo desperdícios durante o corte e otimizando o uso de material. Durante a produção, existem algoritmos de pós-racionalização que eliminam movimentos redundantes e buscam *trajetórias ótimas* para a movimentação dos eixos de corte/usinagem. (GUZIK, 2011: 21).

2.5.1. Customização de Massa e fabricação digital

Definida anteriormente a idéia de customização em massa (GILMORE, 1997), a fabricação digital possibilita um grande potencial de utilização do conceito de individualização dos elementos produzidos. Novamente, Kolarevic (2009) cita a habilidade de “produzir em massa componentes construtivos irregulares, com a mesma facilidade de partes padronizadas introduzidas com a noção de customização em massa no processo de projeto e fabricação”, afinal, para o autor, “é tão fácil e econômico para uma CNC produzir 1000 componentes únicos como 1000 componentes padronizados”. Deste modo, a oferta de um “aumento tremendo na variedade e customização, sem um correspondente aumento em custos” se torna uma excelente vantagem da aplicação da fabricação digital no processo. Kolarevic define este processo com uma *lógica da serialização*, em que variação e diferenciação de séries são possíveis através da manufatura de objetos matematicamente coerentes porém diferentes” - isto é, a utilização de uma mesma lógica generativa aplicada a diferentes objetos fabricados.

Catherine Slessor (apud. KOLAREVIC, 2009) define como profundas as implicações da customização em massa, e observa que “a noção que singularidade é agora tão econômica e fácil de se atingir quanto a repetição desafia as idéias simplistas do Modernismo e sugere um potencial para um novo, pós-industrial, paradigma baseado no aprimoramento e nas capacidades criativas da eletrônica ao invés da mecânica”, deste modo trazendo as vantagens da produção industrial não como um modelo padrão, mas na “criação de componentes únicos, ou séries de elementos similares controlados através de variações digitais” (Kvan apud. KOLAREVIC, 2009). Schodek (apud. CELANI, 2008) trata da questão que

“... paradigmas tradicionais que têm a muito tempo caracterizado as atitudes fundamentais de projeto, tais como a necessidade de standardização e repetição no projeto de componentes construtivos para que se possa aproveitar eficientemente as técnicas industriais de produção estão sendo desafiadas pela customização em massa e outras idéias que se tornaram factíveis por meio de novos métodos de projeto e produção.”

A utilização de processos de fabricação digital se torna, então, uma alternativa viável para a customização em massa de componentes construtivos, quando aliada à otimização do elemento através de sua performance em um projeto paramétrico. (SEELY, 2004).

3. Procedimentos metodológicos

A metodologia utilizada no decorrer desta pesquisa segue dois caminhos paralelos: a sua primeira parte faz uma abordagem teórica do problema. Na segunda etapa foram apontadas as soluções prática às questões discutidas.

Na abordagem teórica foram realizados dois estudos como pesquisa participativa, com o objetivo de analisar diferentes parâmetros e escalas de atuação do método aqui apresentado. O primeiro estudo diz respeito a um modelo de otimização de fluxos, na escala do desenho urbano, definindo possíveis caminhos percorridos e através de parâmetros, conformar o desenho destes caminhos.

No segundo estudo de caso foi criado um protótipo de proteção solar para a fachada de uma sala de aula típica do *campus* Ecoville, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, através de parâmetros que incluem as propriedades geométricas da fachada em questão, as propriedades do material e do equipamento disponíveis, além de propriedades físicas que influenciam as necessidades de resposta dos painéis, como a geometria solar, incidência de radiação solar direta, iluminação, percepção visual do ambiente externo, entre outras, com o objetivo de melhorar o conforto ambiental do espaço.

Como conclusão do método, tem-se um produto formal resultante do processo virtual (modelo digital paramétrico), construído a partir de um algoritmo paramétrico que estabeleça relações formais-funcionais e uma análise crítica do processo como um todo e sua aplicação em situações práticas cotidianas, através da manipulação das ferramentas e *softwares* - da decisão sobre os parâmetros, o projeto e programação do algoritmo e seus relacionamentos.

3.1 Projeto do estudo de caso

Na etapa de projeto são definidas as intenções de projeto e seus critérios de validade, justificando-se assim a adoção de parâmetros funcionais e formais para o desenvolvimento do protótipo. Durante esta fase foi desenvolvido o algoritmo computacional paramétrico responsável por gerar a forma do modelo, baseado na teoria apresentada na primeira etapa deste trabalho.

Conforme definido anteriormente, o algoritmo equivale a uma série de funções matemáticas equacionando os parâmetros relevantes em um resultado geométrico de formação espacial, responsável por definir uma forma ao protótipo estudado (virtual ou físico) que se relacione com os parâmetros e seus dados de entrada. Em um método iterativo e não-linear, os parâmetros válidos foram discutidos em relação à definição do produto a ser desenvolvido e seus valores esperados de modo a então servir de introdução e fundamentação para a produção do algoritmo.

Os métodos empregados foram baseados na descrição da fundamentação teórica deste trabalho - seguindo a teoria do parametricismo e baseando-se em conceitos de performance, durante a produção do projeto. As ferramentas utilizadas foram apresentadas teoricamente no capítulo 2.4.1 deste trabalho, e incluem (mas não se limitam a) os *softwares* Rhinoceros 3D, o *plugin* Grasshopper, programas de análise como Ecotect, além de *plugins* de interface entre estas plataformas. Ferramentas e métodos foram definidos - coerentemente com a própria teoria do parametricismo - durante o decorrer do trabalho, de modo a incluir a imprevisibilidade de resultados e a não-objetificação do resultado já no início do projeto.

Os produtos resultantes desta primeira fase foram divididos em três objetos: o algoritmo, contendo as formulações matemáticas resultantes dos valores estabelecidos; os modelos virtuais, exemplos digitais de possibilidades formais resultados da resolução do algoritmo e uma análise crítica do processo de desenvolvimento e projeto desta metodologia, servindo como componente da conclusão final do trabalho final de graduação.

4. Pesquisa Participativa: estudos

4.1 Estudo 1: Modelo de Otimização de Fluxos Urbanos²

O primeiro estudo se apresenta como um problema teórico de circulação urbana. Partindo do argumento estabelecido por ALEXANDER (1977) de que um dos padrões urbanos de circulação é o de que as pessoas não necessariamente seguem os trajetos pré-estabelecidos durante o projeto de desenho urbano, mas sim criam novos caminhos (atalhos). Este estudo têm a função de simular estes traçados de percurso através de vetores de fluxo, baseando-se em *pontos nodais* de atração (LYNCH, 1997), estabelecendo-se assim linhas de percurso entre estes pontos, correspondendo aos movimentos orgânicos e fluidos esperados pelos pedestres.

Neste caso foi selecionado um terreno existente na cidade de Curitiba, parte de um novo projeto de construção urbana. O terreno se localiza na Avenida Cândido de Abreu (fig. 4.1.1), e como pontos de interesse estão o Parque Passeio Público, a Praça Dezenove de Dezembro e o Shopping Mueller, além da existência de transporte público na região.



Fig. 4.1.1 - Terreno selecionado para o estudo de caso. FONTE: Autor

O processo metodológico para o caso proposto segue 6 etapas:

- a. Definição do problema, a partir de bases conceituais;
- b. Representação virtual dos elementos envolvidos no universo do problema;
- c. Definição dos parâmetros a serem avaliados;
- d. Construção de um algoritmo relacionando parâmetros;
- e. Observação e análise dos resultados;
- f. Confirmação e geração dos desenhos finais.

A definição do problema **(a)** utilizou o conceito de Alexander (1977) sobre os fluxos de movimentos urbanos e sua imprevisibilidade durante o projeto arquitetônico/urbano. Partindo deste princípio, o objetivo definido para este estudo foi o de estabelecer novas redes de conexão entre os *pontos nodais* de interesse de maneira suave. A seguir foi realizada a representação virtual do espaço e dos elementos envolvidos (fig. 4.1.2), de maneira a configurar as variáveis necessárias para gerar o modelo de otimização dos fluxos urbanos. A virtualização **(b)** dos elementos foi feita através de sua representação no *software* Rhinoceros.

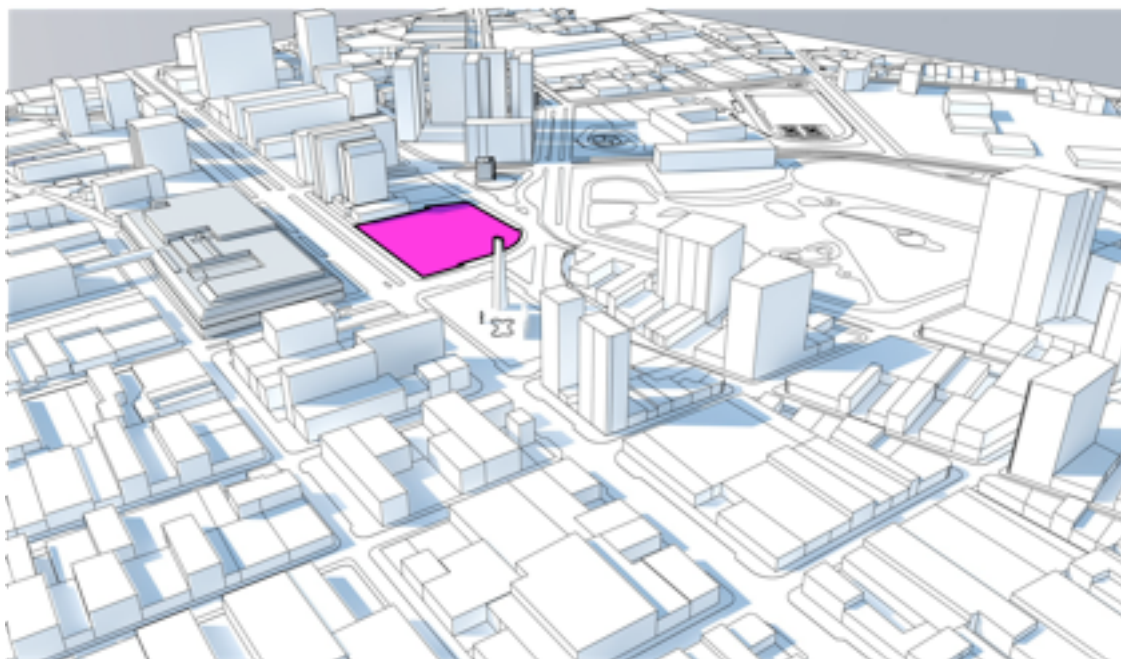


Fig. 4.1.2 - Terreno selecionado para o estudo de caso. Representação tridimensional. FONTE: Autor

Os parâmetros estabelecidos como relevantes ao estudo **(c)** seguem o princípio descrito em **(a)**: a definição dos elementos de interesse e a criação de linhas conectando-os. Em seguida foi criada uma grelha de pontos equidistantes distribuídos ao longo do terreno, que servirão projetualmente como resposta aos parâmetros descritos. Estes pontos serão o centro de canteiros circulares de grama, estabelecendo a relação entre cheio-vazio da praça de circulação. O resultado da interação entre estes parâmetros e os canteiros é a variação do diâmetro destes canteiros, através da criação de um algoritmo geométrico **(d)** (fig. 4.1.3) estabelecendo relações paramétricas entre a distância do vetor de movimento e a área ocupada pelo pavimento seco em relação ao pavimento natural, gerando assim uma relação de diferenciação entre os espaços de circulação e permanência (fig. 4.1.4 e fig. 4.1.5). Este algoritmo, desenvolvido no programa *Grasshopper* integra os parâmetros estabelecidos e permite a interação entre os seus nós em funções matemáticas (por exemplo, medidas de distância entre pontos e linhas, escala em círculos) de maneira a realizar à operação descrita.

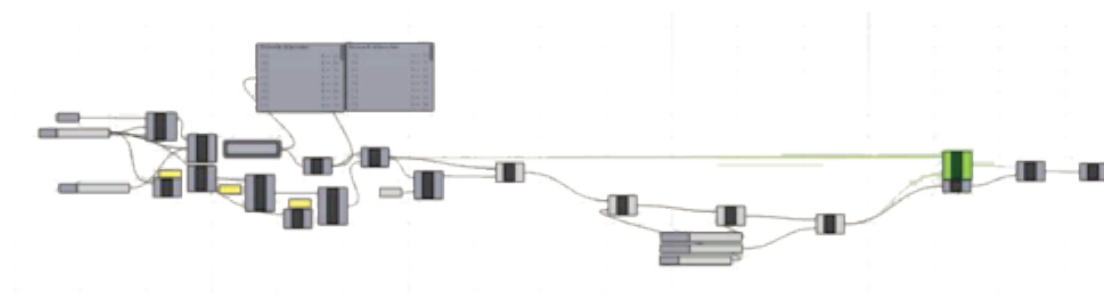


Fig. 4.1.3 - Algoritmo gerado no programa *Grasshopper*. FONTE: Autor

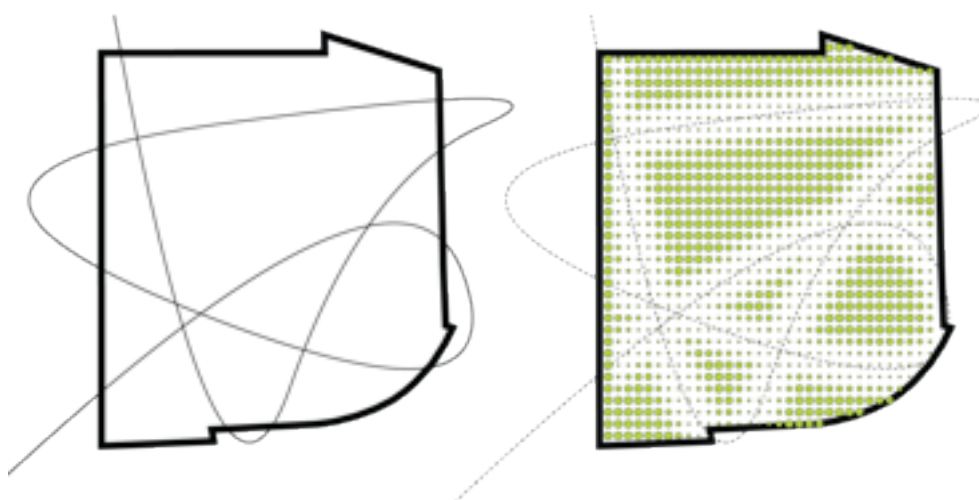


Fig. 4.1.4 - Resultado da interação entre linhas e pontos. FONTE: Autor

A partir da interação entre os parâmetros definidos de acordo com o algoritmo **(d)**, foram gerados os resultados das relações entre as áreas de movimentação e de permanência, que então foram incorporados ao sistema de projeto arquitetônico e paisagístico da proposta. A validação deste resultado se dá de maneira subjetiva **(e)**, uma vez que, além de questões técnicas, aspectos não-objetivos também fazem parte do critério de decisão (por exemplo, a disponibilidade de diferentes *clusters* de encontro para os usuários, em maneira qualitativa).

A partir da confirmação dos resultados, foi gerado um desenho final **(f)**, que por sua vez foi incorporado aos demais desenhos do projeto proposto e, por técnicas virtuais de renderização de imagens, detalhada sua representação gráfica (fig. 4.1.5).

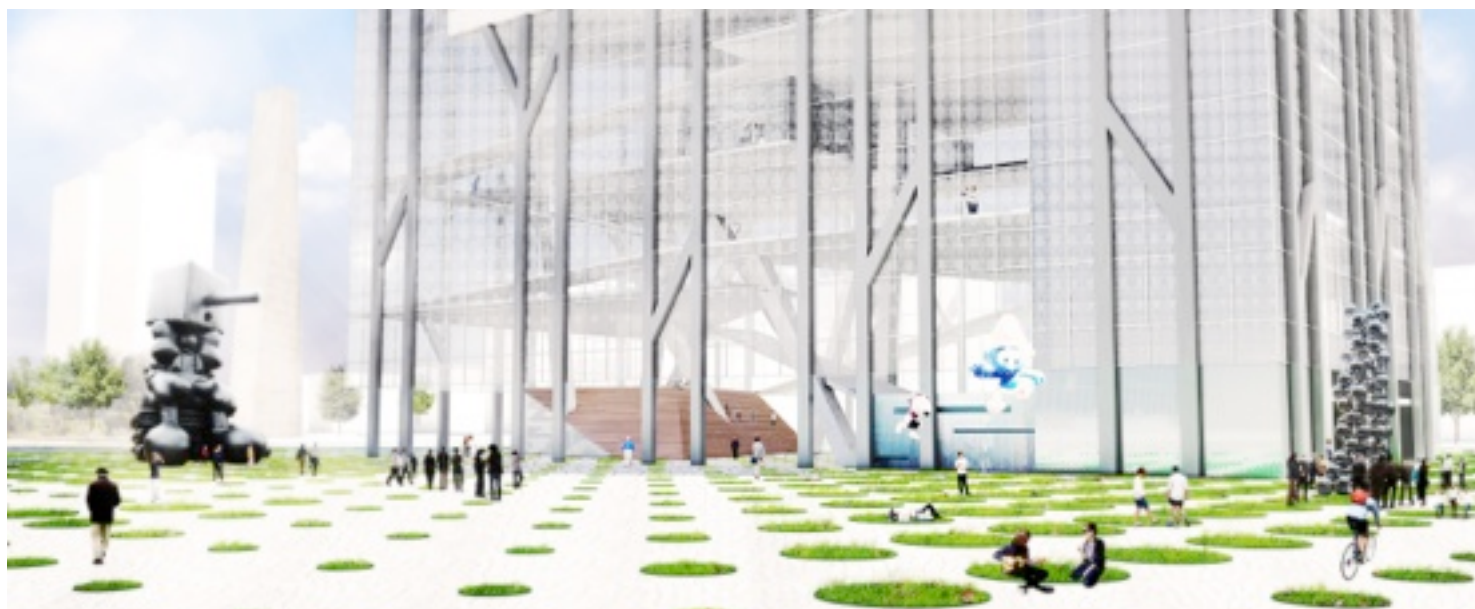


Fig. 4.1.5 - Representação gráfica do resultado escolhido. FONTE: Autor

4.2 Estudo 2: Pannel de Proteção Solar

O objetivo deste estudo na pesquisa foi aprofundar as especificidades do processo de criação um elemento construtivo, tendo em vista suas etapas de conceituação, concepção, desenho, otimização e fabricação.

Seguindo o método proposto no estudo 1, foram definidos sete critérios para o desenvolvimento do projeto. Conforme descritos abaixo, os sete critérios são:

- a. Definição do problema, a partir de bases conceituais;
- b. Representação virtual dos elementos envolvidos no universo do problema;
- c. Definição dos parâmetros a serem avaliados;
- d. Construção de um algoritmo relacionando os parâmetros;
- e. Simulação e otimização dos resultados;
- f. Observação e análise dos resultados;
- g. Confirmação e geração dos desenhos finais.

4.2.1 Definição do problema a partir de bases conceituais

O objeto de estudo foi definido a partir de uma necessidade observada *in loco*: a incidência solar excessiva em determinados horários diminuindo a qualidade do conforto ambiental das salas de aula. De acordo com o USGBC (2013), a qualidade do ambiente das salas de aula tem impacto direto no aprendizado dos alunos e em suas notas durante avaliações. Partindo deste princípio, se faz necessário um melhor controle sobre a incidência solar sobre este ambiente. O objetivo deste caso é o de criar uma proteção para as janelas envidraçadas de maneira a reduzir a incidência de radiação solar direta enquanto maximiza a iluminação natural difusa, de modo a diminuir o consumo de energia elétrica de iluminação.

O elemento a ser desenvolvido, então, é um pannel de proteção solar cujos parâmetros de criação sejam estabelecidos de modo a cumprir os objetivos aqui estabelecidos.

Outros parâmetros interferem no resultado para o controle do conforto ambiental de um espaço (entre eles, orientação do edifício, materiais componentes do seu envelope e seu *U-value*, geração interna de calor, utilização, etc.) porém para a definição dos objetivos deste trabalho, limitou-se a pesquisa na relação entre os parâmetros de proporção de abertura e incidência solar/iluminação natural.

4.2.2 Representação virtual dos elementos envolvidos no universo do problema

Os elementos envolvidos no problema acima descrito se dividem em dois grupos: No primeiro, o edifício existente, seu entorno e orientação solar. No segundo grupo, o painel a ser desenvolvido.

O primeiro grupo foi modelado tridimensionalmente utilizando-se o *software* Rhinoceros, de maneira a simplificar a geometria dos elementos envolvidos à necessidade do problema. Como o objetivo do estudo envolve simulação solar no futuro, tomou-se o devido cuidado de se modelar o edifício e seu contexto apenas com suas formas geométricas básicas, excluindo-se detalhes e ornamentos que teriam pouca ou nenhuma influência nos cálculos a serem efetuados, porém aumentam a contagem de polígonos do modelo (n.a.: a contagem de polígonos é o número de faces existentes em um modelo virtual. Quanto maior, mais cálculos o processador deve realizar, aumentando o tamanho do arquivo, sua complexidade e o tempo de processamento).

Foram selecionadas duas salas de aula para servirem de análise e comparação para o problema proposto. As duas salas se localizam no Bloco B do *campus* Ecoville, no mesmo pavimento porém com orientações opostas em relação ao azimute solar.

O segundo grupo modelado diz respeito ao painel propriamente dito. O painel tem relação com o tamanho da abertura existente e com a área disponível pela chapa a ser fabricada. Deste modo, sua geometria é formada de maneira paramétrica, definindo um algoritmo de geração a partir de medidas variáveis. Utilizando-se esse recurso, há a possibilidade de realizar alterações nas dimensões do edifício e/ou na disponibilidade da chapa a ser produzida (largura, altura ou espessura) que permitem recriar o modelo, sem a necessidade de retrabalho.

Para a forma das aberturas no painel, foram consideradas aberturas a partir do diagrama da Tesselação de Voronoi, um modelo matemático de divisão de áreas em regiões. O diagrama de Voronoi define “um conjunto finito de pontos em um plano Euclidiano, que correspondem a uma célula Voronoi, consistindo em todos os pontos que possuem distancia para P_k menor que a distância entre outro ponto qualquer”. É então criado um polígono convexo a partir da intersecção de segmentos equidistantes a dois sub-espacos adjacentes. Este polígono, por questões estéticas, é reconstruído com um grau maior de definição, de modo a transformar seus segmentos retos em segmentos de curva com função de grau maior que $n=1$, gerando assim, arestas arredondadas.

4.2.3 Definição dos parâmetros a serem avaliados

Os parâmetros foram definidos no *plugin Grasshopper*, de maneira a fazer a correspondência entre seus valores matemáticos de geração com sua representação geométrica.

Os parâmetros definidos pelos objetivos propostos se dividem em dois grupos: os dados geométricos e os dados físicos. O primeiro grupo, diz respeito ao painel de proteção solar, e suas propriedades geométricas de largura, altura e espessura - definidas pelas possibilidades construtivas e do equipamento/materiais disponíveis. Estes dados são obtidos de maneira paramétrica, sem fixar valores, pois permitem assim que alterações em um ou mais valores tenham seu reflexo no decorrer do processo.

O segundo parâmetro geométrico diz respeito à forma e proporção das aberturas do painel. Conforme descrito em 4.2.2, foi utilizado o diagrama de Voronoi para a concepção das aberturas. Os dois parâmetros estabelecidos para o processo são o número de pontos dentro do conjunto finito no plano do painel e - após a formação das regiões de Voronoi, a escala da abertura, definindo a partir destes dois parâmetros a relação entre área cheia e área recortada do painel, fator que tem influência fundamental no objetivo proposto, ao transformar a relação entre a incidência solar transmitida e refletida para o ambiente interno.

No segundo grupo de parâmetros foram definidos os aspectos físicos a serem empregados. Conforme os objetivos expostos foram analisados dois parâmetros físicos: a incidência de radiação solar direta na sala de aula a ser analisada, e a luz

natural incidente. Estes dois valores são fornecidos através de cálculos físicos executados pelo *software* Ecotect, especializado em simulações de conforto ambiental. As simulações iterativas são realizadas de maneira automática a partir de cada alteração da geometria e dos dados do edifício a ser analisado. Foram estabelecidos correlações entre os dados de entrada e de saída, para a simulação e posterior análise dos resultados obtidos com o *software*.

4.2.4 Construção de um algoritmo relacionando os parâmetros

A partir da definição dos parâmetros a serem analisados (relação aberto-fechado da chapa e seus dados de simulação), segue-se no processo para a criação de redes de relacionamento entre estes parâmetros e seus dados. O algoritmo desenvolvido, conforme os parâmetros descritos, subdivide-se em oito rotinas de cálculos, que se seguem:

1. a criação do painel de proteção solar, com valores paramétricos de geometria (largura x altura x espessura) e com valores de área de abertura (numero de pontos e raio de abertura); (fig. 4.2.4.1)
2. a criação de um painel base equivalente - com menor numero de polígonos para diminuir o tempo de processamento do sistema; (fig. 4.2.4.2)
3. exportação da geometria do contexto, do painel base e da grelha de medição para o *software* Ecotect e a entrada de parâmetros de medição. Foram geradas duas simulações, de acordo com a fig. 4.2.4.3, de insolação e de iluminação incidentes na grelha de medição;
4. simulação, no *software* Ecotect, de maneira automática, com seu inicio iterativo a cada alteração de geometria; (fig. 4.2.4.4)
5. verificação dos dados de saída das simulações e armazenamento dos valores; (fig. 4.2.4.5)
6. otimização iterativa, através do módulo Galápagos, para n valores aleatórios dos parâmetros analisados pelas simulações - área de abertura do painel base;
7. otimização iterativa, para n valores aleatórios, relacionando a área de abertura do painel base com a área de abertura do painel de proteção solar a partir dos parâmetros estabelecidos - numero de pontos e raio de abertura;

8. exportação do painel de proteção definitivo em vetores editáveis de valores fixos;

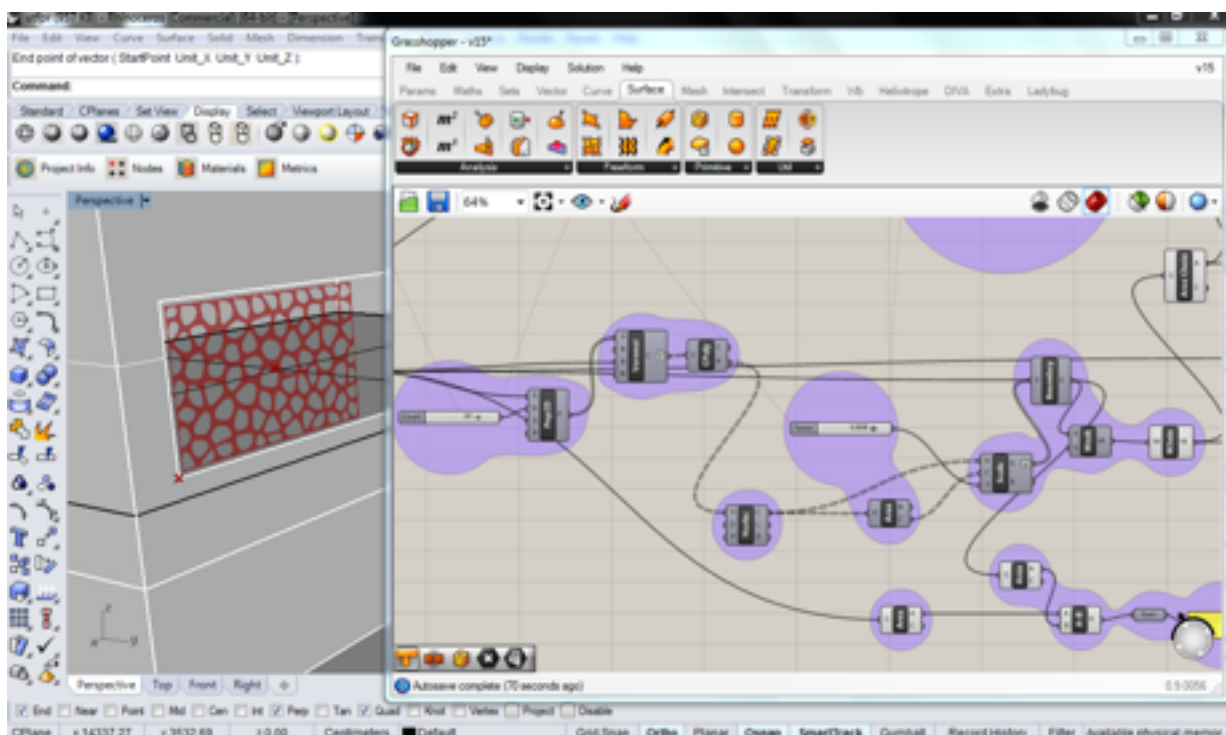


FIG. 4.2.4.1 - Painel Final - Voronoi - Algoritmo. FONTE: Autor

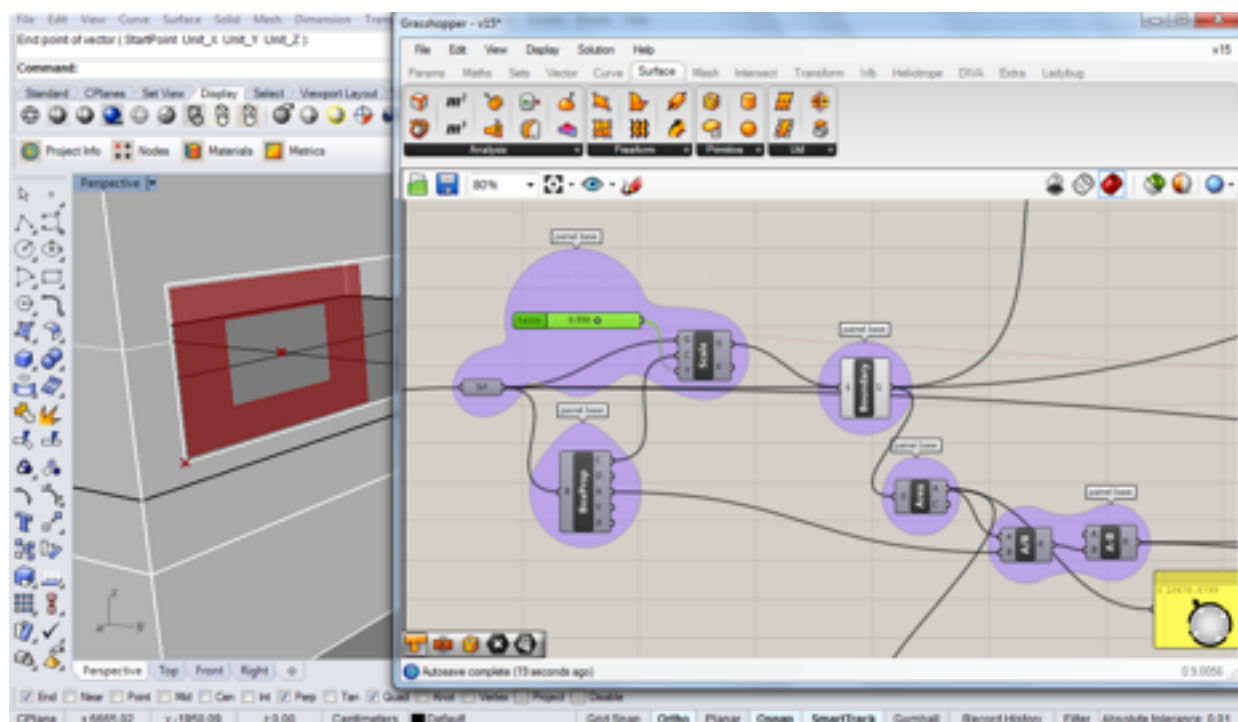


FIG. 4.2.4.2 - Painel Base - Algoritmo. FONTE: Autor

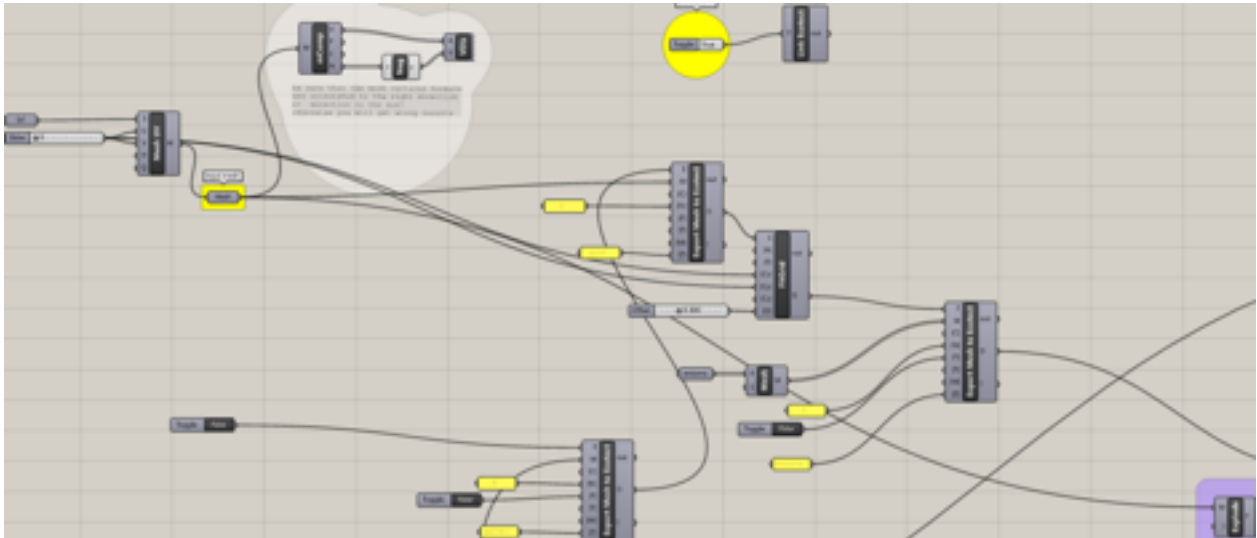


FIG. 4.2.4.3 - Algoritmo de cálculo das simulações. FONTE: Autor

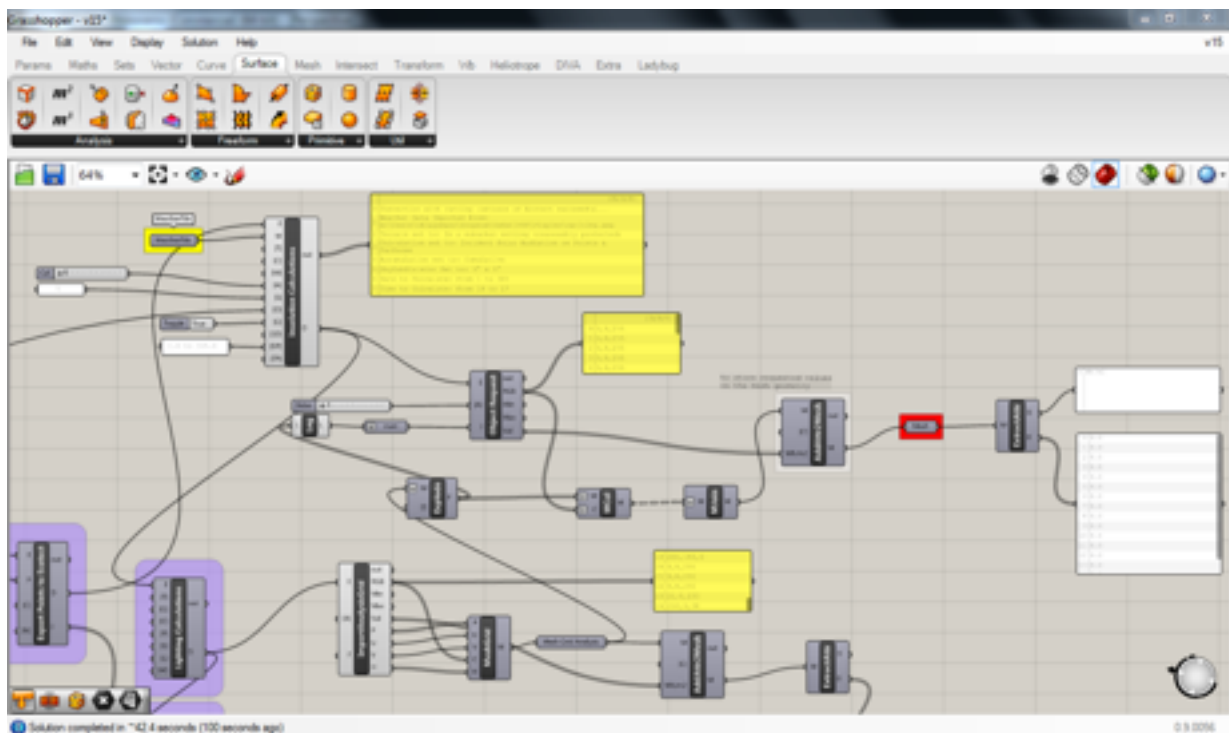


FIG. 4.2.4.4 - Algoritmo - Exportação da geometria e dados de Simulação. FONTE: Autor

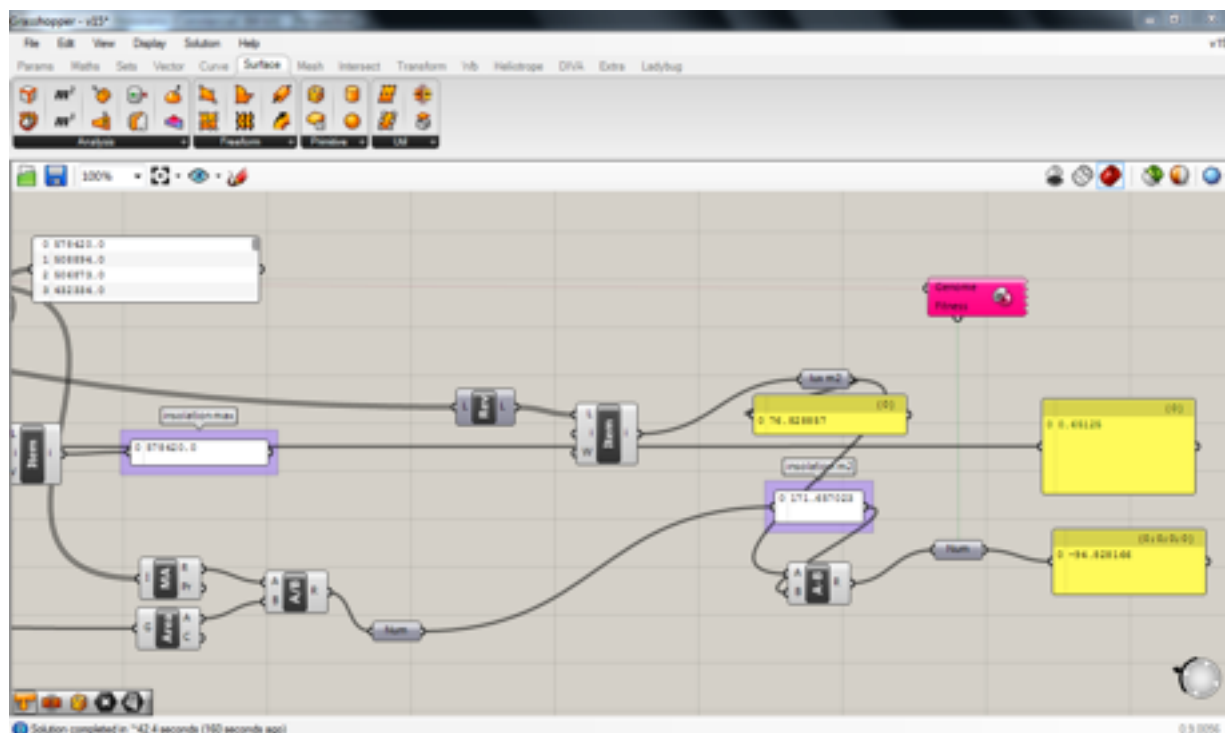


FIG. 4.2.4.5 - Algoritmo - Retorno de dados da simulação. FONTE: Autor

A partir do algoritmo desenvolvido, o plugin Grasshopper exporta a geometria do conjunto do edifício e seu entorno para o Ecotect de maneira a criar a base do contexto onde a simulação solar se dará. Aliado ao contexto, é também definido no software a localização terrestre do terreno a partir de dados do clima local. Estes dois dados são fixados para a simulação. Um terceiro dado, a geometria do painel, é a variável que se será analisada iterativamente pelo Ecotect. Como descrito, o algoritmo executa alterações sucessivas na geometria do painel, variando sua relação entre área aberta/fechada e, a cada iteração, inicia novamente a simulação.

4.2.5 Simulação e otimização dos resultados

A simulação envolvendo a incidência de radiação solar e o acesso à iluminação natural, se dá através dos cálculos de geometria solar através das aberturas realizados pelo *software* Ecotect (fig. 4.2.5.1). Não é o objetivo do presente trabalho explicitar os cálculos internos realizados pelo programa, portanto este trabalho limita-se à interação entre o painel proposto e os resultados obtidos de sua simulação.

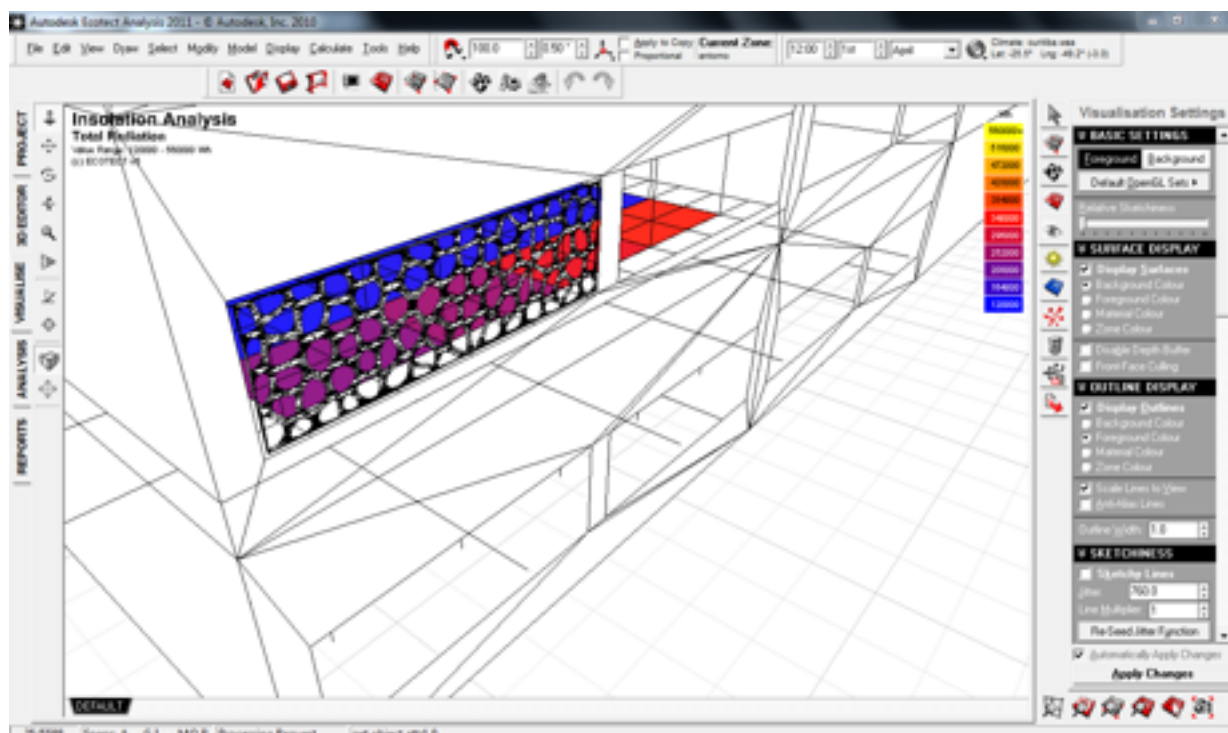


FIG. 4.2.5.1 - Resultado da simulação - *Software Ecotect*. FONTE: Autor

Por sua vez, através de algoritmos evolutivos para a otimização de processos, os parâmetros variáveis (a relação entre área aberta/fechada) são aleatoriamente alterados para criar uma base de dados de simulações que contemple diferentes condições, retornando diferentes resultados que podem ser comparados entre si de modo a se escolher a melhor alternativa para o problema proposto.

No caso deste trabalho, assim como o objetivo de otimização de processos, nos concentraremos na estratégia de algoritmos genéticos. Estes são definidos por TERZIDIS (2006) como “processos de encaminhamento racional de um problema em um número finito de passos. Pode ser a articulação de um plano estratégico para a solução de um problema conhecido, assim como a pesquisa entre possíveis soluções para um problema parcialmente conhecido, ou seja, um meio de exploração de caminhos possíveis para as soluções potenciais”. VETTORETTI (2010) explica a busca pela solução ótima no uso de algoritmos genéticos:

um algoritmo utiliza uma população de indivíduos para a iteração, sendo que cada indivíduo representa uma solução potencial do problema em questão. Seqüencialmente, são avaliados de modo a se obter uma medida de sua aptidão (*fitness function*) e uma nova seleção dos indivíduos mais aptos é feita formando uma nova população. Esta nova população, posteriormente, sofre as operações genéticas de mutação e *crossover* para

originar novas soluções. As operações genéticas são importantes para que a população se diversifique e preserve as características adquiridas pelas gerações anteriores. As operações podem se repetir até a obtenção da “solução ótima” (2010: 34)

Para Kolarevic (2003), através das iterações e das *mutações* passadas entre as gerações de resultados, “soluções ótimas são obtidas por pequenas mudanças incrementais sobre inúmeras gerações”. As regras que definem a “evolução” dos objetos resultantes devem surgir como *regras de geração*, através das intenções de projeto (PRATTS, 2007). Gero (apud. VETTORETTI, 2010) define como vantagens da abordagem por algoritmos genéticos a “produção de resultados inesperados devido às pesquisas aleatórias, produção de resultados complexos e a flexibilização da forma para suprir a função com a evolução do tempo”.

A partir, então de uma relação entre a incidência solar e a iluminação natural recebida, obtém-se a nossa *fitness function* (a função-genética, que será otimizada através dos algoritmos genéticos empregados): para cada geometria de painel são realizadas as duas simulações (incidência solar e iluminação) e comparadas de maneira a maximizar a iluminação natural recebida e minimizar a incidência da radiação solar direta. Desta maneira, o algoritmo evolutivo nos determina um conjunto de valores para os parâmetros (numero de pontos no conjunto e escala da abertura) que atinge a *fitness function* ideal para o nosso problema. Ao fornecer este conjunto de valores, admitimos que a solução ótima é a descrita pelo resultado presente no problema.

Este resultado é então comparado, em sua forma de fração matemática, com um equivalente geométrico para o par de valores do painel final, que segue o diagrama de Voronoi. A utilização de um painel intermediário se dá pela complexidade do cálculo: como definido anteriormente, a contagem de polígonos de um arquivo interfere diretamente no tempo de processamento de uma simulação, portanto, ao se utilizar sistemas equivalentes podemos reduzir este tempo de processamento sem perdas significativas de precisão.

Na segunda etapa de simulação e otimização, foram comparadas as relações das áreas abertas/fechadas do painel ideal, resultado da otimização anterior (com o resultado ótimo obtido pela simulação no *software* Ecotect através das mutações genéticas) com o painel parametrizado formado a partir dos dados geométricos e do

diagrama de Voronoi. A segunda etapa consiste em otimizar os valores dos parâmetros do painel (numero de pontos no conjunto e escala de abertura) para atingir a mesma proporção de áreas obtidas através das simulações.

4.2.6 Observação e análise dos resultados

A partir do resultado estabelecido pela *fitness function* obtidos pelo processo de simulação e otimização do algoritmo, tem-se os valores de definem a relação entre área aberta/fechada do painel de proteção solar. Como os resultados numéricos foram obtidos pela otimização das simulações, há a garantia que, de acordo com os parâmetros estabelecidos, obtém-se o efeito ótimo possível para o nosso elemento. Portanto, a partir da análise dos dados e a escolha dos valores ideais para os parâmetros estabelecidos, pode-se extrair o desenho apropriado para cada painel. A definição deste desenho se dá através da escolha do projetista dentre as opções ótimas geradas nos *softwares*, recorrendo muitas vezes à escolhas subjetivas.

4.2.7 Confirmação e geração dos desenhos finais

A geração dos desenhos finais se dá pela transformação do resultado gerado através dos processos de simulação e otimização (pelos *softwares* Ecotect e Grasshopper) e selecionados pelo projetista em um desenho de CAD, em forma vetorial, que possa ser exportado para o *software* Rhinoceros, de maneira a ser manipulado e preparado para impressão/corte por comando numérico.

Este processo - chamado de *bake* (assar) - congela os valores estabelecidos para os parâmetros utilizados pelo algoritmo, transformando o sistema aberto e variável em vetores fixos. Esta etapa é necessária pois enquanto os valores são variáveis (*float values*), os dados podem assumir diferentes configurações, causando diferentes resultados finais. Uma vez que os valores são assumidos como verdadeiros, o processo de *baking* se inicia e o próprio algoritmo define os desenhos vetoriais a serem exportados, concluindo a etapa de projeto do protótipo.

5. Resultados

Os resultados deste trabalho, em sua primeira parte, são o de fornecer futuros subsídios para o projeto e a fabricação de elementos construtivos utilizando-se da teoria do parametricismo. Percebe-se que a fundamentação do discurso teórico se faz necessária do ponto de vista conceitual - compreendendo, justificando e validando o processo e seus resultados formais/técnicos.

Um dos critérios fundamentais para o resultado da pesquisa é a utilização das ferramentas disponíveis. Para as simulações realizadas, foi utilizado um computador *iMac 2.5 GHz Intel i5*, com 4 Gb de memória, rodando o sistema operacional *Windows 7 64-bit*. No estudo realizado para o painel de proteção solar da fachada noroeste, foram necessárias nove gerações de simulações de conforto ambiental, com novas populações e operações genéticas de mutação para que o erro relativo se tornasse insignificante. A primeira geração estabelecida contou com cinquenta iterações, enquanto as gerações seguintes contaram com vinte e cinco iterações cada, mantendo os cinco por cento melhores resultados da geração anterior. Ao todo, foram realizadas quinhentas simulações para determinar o valor ótimo do parâmetro - a proporção entre área aberta/fechada do painel base - ao longo de mais de nove horas de simulação (fig. 5.1 e fig. 5.2).

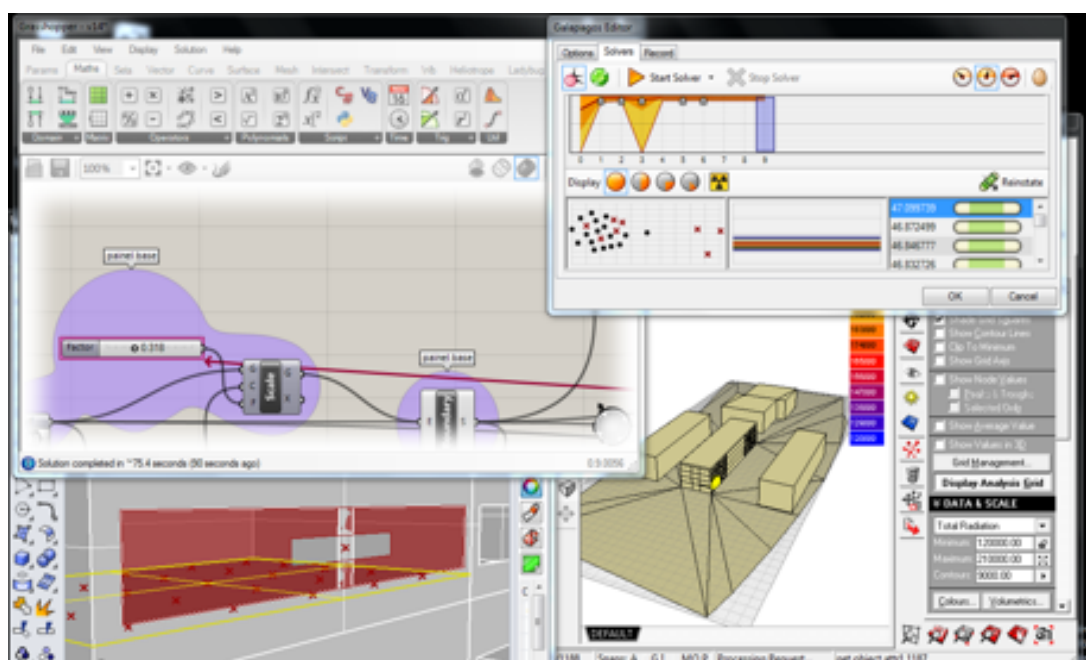


Fig. 5.1 - Resultado simulação e otimização. FONTE: Autor

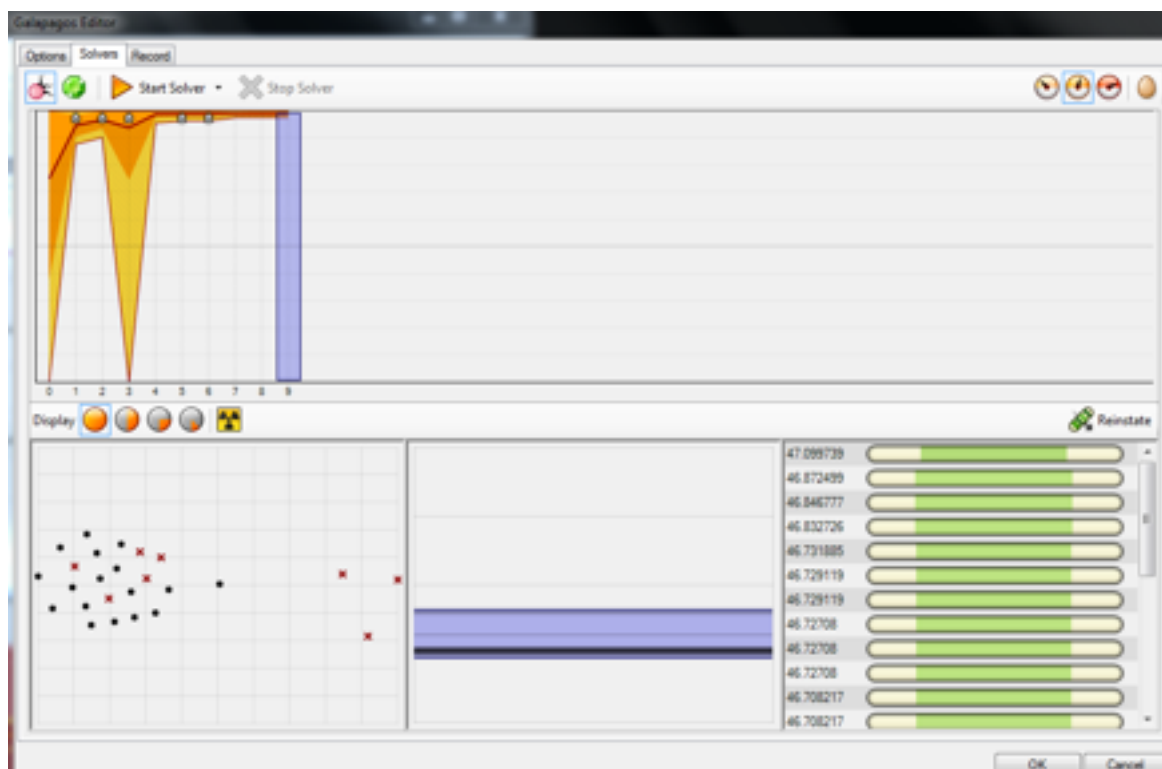


Fig. 5.2 - Processo de otimização de abertura do painel base. FONTE: Autor

Em seguida, no passo (g), houve a comparação da área ótima encontrada no passo anterior com a área do painel de proteção solar em sua forma final. Foram utilizadas quarenta e uma gerações, com a primeira contendo cinquenta iterações e as seguintes vinte e cinco, mantendo novamente cinco por cento dos resultados anteriores para novas mutações genéticas. Deste modo, realizaram-se mil e cinquenta (1.050) iterações para atingir o resultado ótimo (fig. 5.3), em cerca de quarenta minutos. O processo foi repetido para o painel da fachada sudeste, com valores similares de duração de processamento.

O algoritmo geral está representado na figura 5.4 e os dois painéis estão representados pelas figuras 5.5 e 5.6, respectivamente.

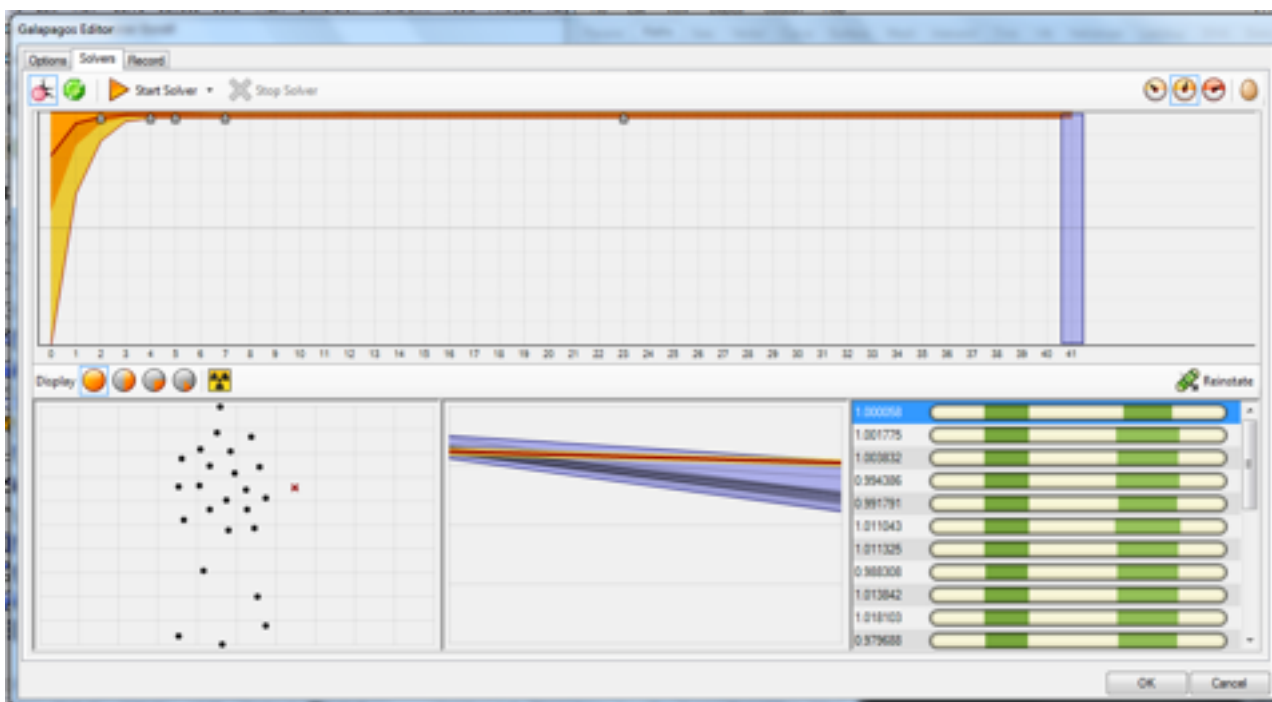


Fig. 5.3 - Processo de otimização de abertura do painel base e painel final. FONTE: Autor

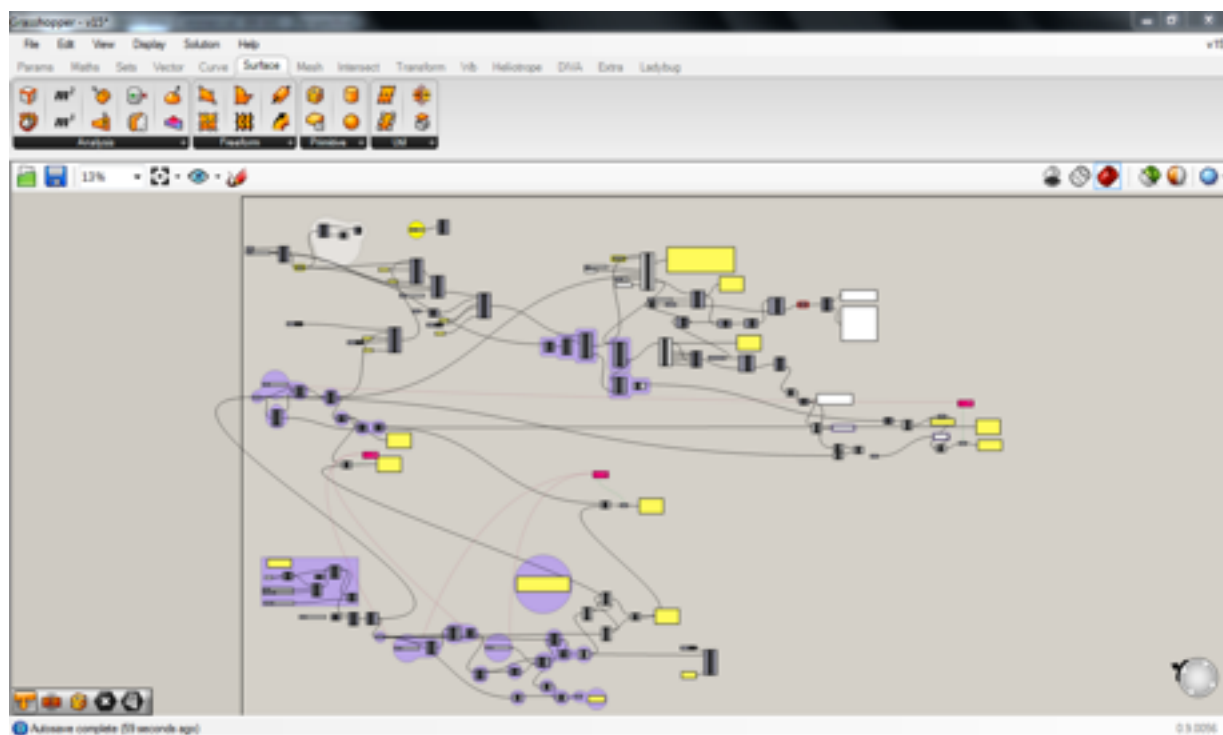


Fig. 5.4 - Vista geral do algoritmo gerado. FONTE: Autor

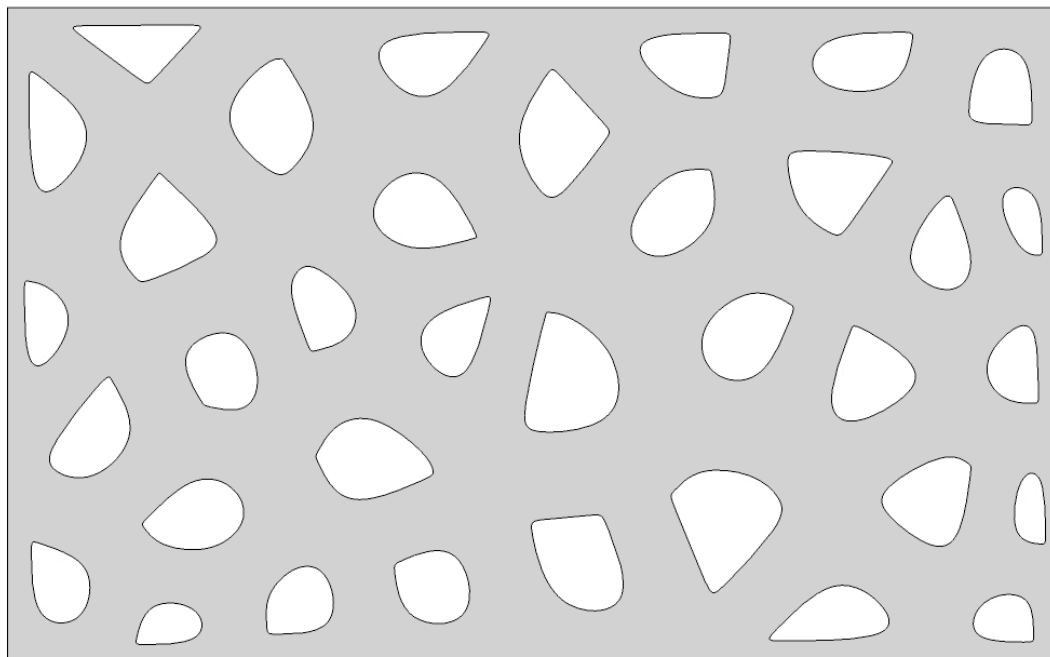


Fig. 5.5 - Painel Final - Fachada Noroeste. FONTE: Autor

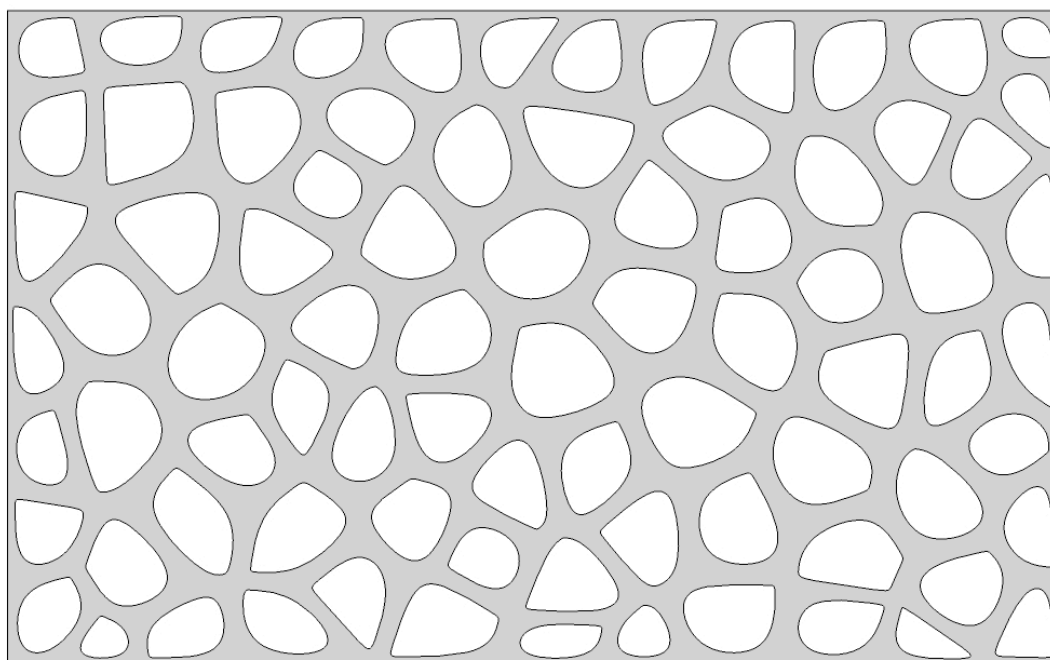


Fig. 5.6 - Painel Final - Fachada Sudeste. FONTE: Autor

6. Conclusões

São esperados que a análise e fundamentação da teoria aqui apresentada sirvam de subsídio para uma produção coerente e consciente do papel que novas tecnologias digitais desempenham na formação do espaço construído contemporâneo. A busca pela fundamentação teórica aqui apresentada serve como base fundamental para se compreender que o elemento construtivo é resultado não apenas de processos técnicos como também de processos de pensamento, alinhando-se assim com a teoria e a filosofia existente no seu contexto, por exemplo, com o parametricismo. Apesar de breve, o desenvolvimento teórico apresentado mostra que novos conceitos e paradigmas sociais e culturais necessitam da revisão e atualização da maneira de - como engenheiros - atuar na produção dos espaços construídos.

Através da revisão bibliográfica, especialmente o tópico de customização em massa, percebe-se que processos como os estudos de caso analisados se tornam cada vez mais viáveis para a produção, alterando a forma em que os novos elementos construtivos são projetados e construídos e, conseqüentemente, os edifícios e seus espaços.

Especificamente no segundo estudo analisado, têm-se conclusões práticas quanto à metodologia de produção destes novos elementos. O primeiro fator é a análise qualitativa e quantitativa dos parâmetros inerentes à produção formal, que deve estar ligada aos critérios definidos pela teoria adotada. A percepção de valor destes parâmetros e sua influência futura no resultado se faz de maneira subjetiva e resulta em ponderações que frequentemente fazem o projetista questionar sobre a validade de suas preocupações com o ato de projetar.

A segunda conclusão com o estudo desenvolvido se relaciona com o desenvolvimento e execução do projeto. Atualmente existe pouca literatura específica sobre o tema - principalmente sobre os *softwares* utilizados, fazendo com que o método de tentativa-e-erro seja largamente empregado no processo, acarretando em uma programação que apresenta diversos erros e falhas nos resultados, tendo como consequência retrabalho e um consumo excessivo de tempo para a formulação dos algoritmos. Porém, uma vez completados os algoritmos, têm-se uma possibilidade de se simular inúmeras alternativas em um tempo ocada vez

mais reduzido. Estima-se que com aquisição experiência e acesso a bibliografias sobre o tema, o tempo de execução do trabalho diminua.

Um dos fatores de maior influência no trabalho desenvolvido é o tempo de processamento. Como foi discutido, a complexidade do modelo está diretamente ligada com o tempo de processamento das simulações e otimizações. Para o estudo realizado e com as ferramentas disponíveis, julgou-se inviável a utilização do painel com sua geometria final para a simulação em cada iteração, pois devido à alta complexidade de suas aberturas, o tempo de cada simulação foi, em média, 500% maior do que em relação ao painel base. Mesmo utilizando artifícios de similaridade entre os painéis, o caso estudado levou nove horas para apresentar resultados satisfatórios, configurando a simulação como um gargalo do projeto. Sugere-se que os cálculos mais complexos sejam realizados em equipamentos de alta performance, dedicados exclusivamente a este fim. Com equipamentos e ferramentas mais capacitadas, não apenas o tempo de simulação tende a diminuir como há a possibilidade de se aumentar a complexidade das simulações e dos parâmetros analisados em cada situação de projeto.

Em relação às possibilidades de utilização desta metodologia de projeto e produção, a conclusão é a de que, quando esta teoria é integrada ao projeto desde o início, os ganhos são inerentes ao processo, resultando em soluções inesperadas e, por se basear em critérios tanto qualitativos quanto quantitativos, com melhor desempenho do que definições generalizadas como é frequentemente o caso. Enfim, a teoria do parametricismo e seu desenvolvimento prático se mostra com grande potencial de aplicação no processo de produção da construção civil, especialmente se integrado desde o início do processo.

Fica claro que as situações geradas pelos algoritmos e simulações da teoria do parametricismo são modos de se confirmar e analisar alternativas de projeto, não respostas prontas a serem adotadas pelo projetista. Demais considerações devem ser feitas com os dados de saída do *software*, de maneira a validar as respostas com as questões (objetivas ou subjetivas) do processo de projeto e do seu projetista, caminhando para um processo independente e tendo o engenheiro no papel fundamental de editor do processo, mais do que de criação em si.

Sugere-se, para pesquisas futuras, a utilização dos conceitos aqui apresentados e realizar a execução do painel estudado, através da fabricação digital, observando a transição do modelo digital para o físico, e a possível comparação dos dados aqui simulados com os medidos através do protótipo para validação dos resultados. Outra sugestão cabe à realização de novos estudos de caso, integrando não apenas os parâmetros de conforto ambiental aqui expostos, mas a partir da mesma metodologia, diferentes questões (como relacionamento entre os programas, simulações estruturais e de instalações, escolha de materiais, etc.).

Referências Bibliográficas

- ALEXANDER, C. **A pattern language: towns, buildings, construction**. Londres: Oxford University Press, 1977.
- ALTURK, E. **XXL, metropolis as the object of architecture**. 2004. 112f. Dissertação (Mestrado em arquitetura) – The Middle East Technical University, Ankara, 2004.
- BALMOND, C. **Informal**. New York: Prestel, 2002.
- BECCU, M. e PARIS, S. **L'involucro architettonico contemporaneo tra linguaggio e costruzione**. Roma: Ed. designpress, 2008.
- BRAGHIERI, N. **trans-ducere, trans-mandare, trans-dare**. in Trans, vol. 12, abr. 2004. Zurique: ETH, 2004.
- BRAZ, O. **O processo de formação do gênio criador do renascimento**. Monografia de Especialização, PUC-PR, 2012.
- COSTA, L. **Lucio Costa, registro de uma vivência**. São Paulo: Empresa das Artes, 1995.
- DAMIANI, B. **Bernard Tschumi**. New York: Universe, 2003.
- De BOTTON, A. **The architecture of happiness**. Londres: Ed. Penguin, 2006.
- GILMORE, J. **The four faces of mass customization** in Harvard Business Review, vol. 75, jan. 1997. Boston: Ed. Harvard Press, 1997.
- GUZIK, A. **Digital fabrication inspired design**. Dissertação de mestrado. University College of London, 2011.
- HENSEL, M. **AD: techniques and technologies in morphogenetic design**. Architectural Design: Londres, 2008.
- INGELS, B. **Yes is more**. Colônia: Evergreen, 2009.
- IWAMOTO, L. **Digital fabrications: Architectural and material techniques**. Nova Iorque: Ed. Princeton Architectural Press, 2009.
- JONES, P. **Ove Arup: masterbuilder of the twentieth century**. Londres: Yale University Press, 2006.
- KIPNIS, J. **Towards a new architecture**. in AD: Folding and pliancy. Londres: Academic editions, 1993.
- KOLAREVIC, B. **Performative architecture: beyond instrumentality**. New York: Spon Press, 2005.
- KOLAREVIC, B. **Designing and manufacturing architecture in the digital age** in Architectural information management, vol. 05. Londres: Ed. Taylor and Francis, 2009.
- KOOLHAAS, R. **Delirious New York**. New York: The monacelli press, 1994.
- KOOLHAAS, R. **S,M,L,XL**. New York: The Monacelli Press, 1995

- KOOLHAAS, R. **Content**. Londres: Taschen, 2004
- LACHAUER, L. et al. **Interactive tools in structural design**. Disponível em <<http://www.schwartz.arch.ethz.ch/Publikationen/Dokumente/InteractiveTools.pdf>>. Acessado em 08 de abril de 2013.
- LEATHERBARROW, D. e MOSTAFAVI, M. **On weathering: the life of buildings in time**. Ed: MIT Press, Boston, 1993.
- LEATHERBARROW, D. e MOSTAFAVI, M. **Surface Architecture**. Ed: MIT Press, Boston, 2005
- LYNCH, K. **A imagem da cidade**. Ed. Martins Fontes. São Paulo, 1997.
- LYNN, G. Disponível em <http://www.ted.com/talks/lang/en/greg_lynn_on_organic_design.html>. Acessado em 10 março 2013
- MARCH, J. e OLSEN, J., **Ambiguity and choice in organisations**, Bergen, 1979
- MENDLER, S. **The HOK guidebook to sustainable design**. Londres: Wiley, 2005.
- MONEO, R. **Theoretical anxiety and design strategy**. Boston: MIT Press, 2004.
- MVRDV. **KM3: Excursions on capacity**. Barcelona: Actar, 1999.
- NESBITT, K (org.). **Uma nova agenda para a arquitetura**: antologia teórica (1965-1995). São Paulo: Cosacnaify, 2a ed. Rev., 2008.
- NORBERG-SCHULZ, C. **Intentions in architecture**. Boston: The MIT Press, 1968.
- PORTO FILHO, G. A. M. D. **O diagrama e a matemática da arquitetura**. em Revista PARC, out. 2006. disponível em <<http://www.fec.unicamp.br/~parc>>
- PRAXIS**. Vol. 8 - programming. Columbus: Praxis, 2006.
- PSARRA, S. **Architecture and narrative**: the formation of space and cultural meaning. New York: Routledge, 2009.
- ROSA, J. **Next generation architecture**: folds, blobs and boxes. Nova Iorque: Ed. Rizzoli, 2003.
- SEELY, J. **Digital fabrication in the architectural design process**. Dissertação de mestrado, Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- SCHUMACHER, P. **The autopoiesis of architecture**: a new framework for architecture. Vol. I, Londres: Ed. Wiley, 2011.
- SCHUMACHER, P. **The autopoiesis of architecture**: a new agenda for architecture. Vol. II, Londres: Ed. Wiley, 2012.
- SCHUMACHER, P. **Zaha Hadid**: texts and references. Nova Iorque: Rizzoli, 2004.
- SMEDT, J. **Agenda**. Barcelona: Actar, 2009.
- SULLIVAN, L. Disponível em <en.wikipedia.org/wiki/form_follows_function> acessado em 13 dez. 2011
- TSCHUMI, B. e CHENG, I. **The state of architecture at the beginning of the 21st century**. Nova Iorque: The Monacelli press, 2003.

USGBC. **Green schools investment guide:** for healthy, efficient and inspiring learning spaces. Disponível em <http://centerforgreenschools.org/Libraries/Green_School_Investment_Guide/Green_Schools_Investment_Guide_Final_Web_Copy_29April2013.sflb.ashx>. Acessado em 16 julho 2013.

VAN BERKEL. **Move.** Londres: Architectura & Natura, 2008

VAN BERKEL, B. e BOS, C. **Reflections.** Amsterdam: Ed. UNStudio, 2011.

VETTORETTI, A. **Bancos para ler e conversar.** Dissertação de Mestrado, UFRGS, 2010.

VIDLER, A. **Towards a theory of the architectural program.** October Magazine, out. 2003 ed. 106. Boston: MIT Press, 2003.

VOLUME 21: the block. Fevereiro 2009. Londres: Archis, 2009.

WATERS, J. **Blobitecture:** waveform architecture and digital design. Boston: Ed. Rockport, 2003.

ZUKOWSKY, J. **Mies reconsidered: his career, legacy and disciples.** New York: Ed. Rizzoli, 1986.