

ESTUDO E MODELAGEM PARAMÉTRICA DE RESIDÊNCIAS PAULISTAS COM COBERTURA CURVILÍNEA

David Dalmas Chang (IC) e Wilson Flório (Orientador).

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

O objetivo da presente pesquisa é explorar os recursos digitais destinados a gerar projetos inovadores. Identificou-se que há poucos estudos direcionados a interpretação de espaços residenciais a partir de modelagem paramétrica. Devido à importância atual de geração de projetos criativos e dotados de maior complexidade, buscou-se procedimentos que visassem o estudo experimental de coberturas curvilíneas de residências paulistas a partir de modelagem paramétrica. Tomando-se como ponto de partida a análise e da reflexão sobre a arquitetura moderna e contemporânea, foi proposto uma investigação sobre três projetos: Residência Milan, do Arquiteto Marcos Acayaba; Residência Guaeca, do arquiteto Vasco de Mello; e Residência na praia do Félix, do escritório Vidal Sant'Anna. Os procedimentos adotados na pesquisa foram os seguintes: i) análise dos projetos originais; ii) modelagem geométrica; iii) modelagem paramétrica; iv) análise da geometria; v) alternância de parâmetros para definição de formas; vi) análise dos resultados obtidos. A discussão realizada permite afirmar que a modelagem paramétrica contribui tanto para a análise de obras realizadas, como para buscar alternativas projetais com base em parâmetros pré-estabelecidos.

Palavras-chave: Geometria, Modelagem, Grasshopper

ABSTRACT

The purpose of this research is to explore the digital resources destined to generate innovative projects. It was identified that there are few studies directed to the interpretation of residential spaces from parametric modeling. Due to the current importance of generating creative projects with more complexity, we sought procedures that aimed at the experimental study of curvilinear roofs of residences in São Paulo using parametric modeling. Taking as a starting point the analysis and reflection on modern and contemporary architecture, an investigation was proposed on three projects: Residence Milan, by Architect Marcos Acayaba; Residence Guaeca, by the architect Vasco de Mello; And Residence on Félix beach, from the Vidal Sant'Anna office. The procedures adopted in the research were the following: i) analysis of the original projects; ii) geometric modeling; iii) parametric modeling; iv) geometry analysis; V) alternation of parameters to define shapes; Vi) analysis of the results obtained. The discussion allows us to state that parametric modeling contributes both to the analysis of works performed and to the search for alternative projections based on pre-established parameters.

Keywords: Geometry, Modeling, Grasshopper

1. INTRODUÇÃO

O uso de coberturas curvilíneas de curvatura simples permite a criação de diferentes percepções de espaço devido às variações do pé direito. Apesar de ser amplamente aplicada no decorrer da história da arquitetura, especialmente em edifícios públicos, essa forma de projetar popularizou-se em projetos residenciais, no Brasil, durante as décadas de 1950 e 1970, nas mãos de grandes arquitetos como Sérgio Ferro, Rodrigo Lefèvren, Flávio Império, do escritório Nova Arquitetura, e Marcos Acayaba. Referidos arquitetos compunham uma metodologia de projeto experimental, que testava nos projetos residenciais as ideias teorizadas. Apesar de Vilanova Artigas seguir uma linha de pensamento experimental semelhante, divergia em relação a concepção das residências, visto que buscava uma racionalização ortogonal da forma de morar (KOURY, 2003).

Esta forma de construção sofreu um grande declínio nas décadas posteriores, devido aos elevados custos de manutenção e fabricação, visto que limitava-se ao concreto armado. Todavia, estas coberturas popularizaram-se novamente na década de 1990, com o advento de novas técnicas e tecnologias construtivas (MEDRANO; MEIRELLES, 2009). No caso da presente pesquisa, a análise não se limita ao estudo de coberturas de concreto armado, buscou-se aqui abranger às técnicas como o aço e a madeira.

Dentre as características que podem ser destacadas das coberturas curvilíneas está o poder de delimitação espacial do projeto que o arquiteto tem, visto que a cobertura cria um volume rígido, que restringe ações de modificações ou ampliações. Sob o aspecto da experiência do espaço criado, as vedações verticais/cobertura, passam a ter a capacidade de tornarem-se elementos com o poder de dilatar o espaço interno das residências ao mitigar as barreiras dos planos da caixa. É necessária a desarticulação da caixa e o uso de cálculos geométricos complexos como proposta formal de projetos, para assim libertar o arquiteto. Vê-se necessária a aplicação da tecnologia como elemento de projeto, a previsão tecnológica como previsão de ideias de forma imediata (ZEVI, 1989)

Torna-se clara a relação entre estrutura e partido arquitetônico no caso das coberturas curvilíneas, visto que o arquiteto deve ter conhecimentos a respeito dos esforços a que a cobertura estará sujeita, principalmente, às tensões que forçam a abertura da cobertura, e o resultado estético que se busca obter.

O conhecimento a respeito da estrutura não necessariamente era técnico, podendo advir do conhecimento comum a respeito da eficiência das cúpulas, paraboloides elípticos e paraboloides hiperbólicos (MEDRANO; MEIRELLES, 2005).

Esse processo contínuo de experimentação, muitas vezes registrados por seus autores, não geraram resultados positivos, como pode se observar em casos como a residência Milán de Marcos Acayaba. Apesar das técnicas de engenharia, com a proteção do concreto, apresentou pontos de fissuras, onde os esforços eram mais intensos na cobertura.

Tendo isso em mente, torna-se possível a criação de variações de um mesmo projeto, que possuem características comuns, mas que ao mesmo tempo são amplamente diferentes do projeto base.

Os estudos foram direcionados de forma a descobrir algumas das condicionantes e questões, tanto contextuais quanto pessoais dos arquitetos estudados, que levaram a escolherem coberturas curvilíneas como solução de projeto. Com isso, busca-se acrescentar os conhecimentos a respeito do uso desse elemento em projetos residenciais, apontando aproximações e afastamentos, em quesitos como materiais utilizados, formas das estruturas e formas de uso dos espaços, considerando-se que se tratam de obras de contextos distintos.

A outra questão a ser pensada refere-se à modelagem paramétrica e seus efeitos sobre projetos arquitetônicos que não aplicaram esse método projetual, numa demonstração prática de uma possível utilização dessa nova ferramenta, tendo em vista que a modelagem paramétrica em projetos arquitetônicos ainda é pouco trabalhada no meio acadêmico nacional.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Modelagem Paramétrica:

A modelagem paramétrica busca, por meio de um sistema de algoritmos, articular elementos únicos de um projeto e as complexas possibilidades que ele pode obter. A arquitetura produzida atualmente atende demandas do meio, cumprindo um programa de necessidades do cliente, por via do desenho bidimensional, com o apoio dos modelos tridimensionais. O parametricismo subverte esse tipo de concepção arquitetônica cartesiano, dando primazia aos modelos tridimensionais simulados no computador e acelerando o processo de experimentação na criação de novas formas e geometrias mais complexas. (VEIGA, 2016).

William Mitchell definiu o background teórico sobre a aplicação das novas tecnologias na arquitetura. As tecnologias que temos à disposição, como o software, afetam a produção, como notado pelo autor: “os arquitetos desenham aquilo que conseguem construir, e constroem aquilo que conseguem desenhar”.

(CASTRO E BUENO,2010). A partir da modelagem paramétrica, os arquitetos tornam-se capazes de superar a barreira do desenho ortogonal e da capacidade de construção convencional.

Antecedentes sobre residência paulistas de cobertura curva:

O uso de coberturas curvas, em São Paulo, encaixa-se no contexto do Novo Brutalismo, marcado por uma grande racionalidade. Os predecessores de uma das vertentes dessa técnica no Modernismo Paulista foram Sérgio Ferro, Rodrigo Lefèvren e Flávio Império, discípulos de Artigas, capazes de absorver os ensinamentos do mestre e reelaborá-los, abrindo as portas para uma segunda vertente arquitetônica em São Paulo no início da segunda metade do século XX.

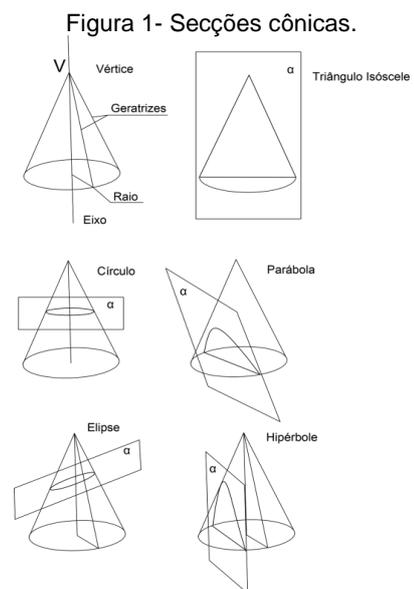
“As duas vertentes da arquitetura paulista desenvolveram a relação engajada entre arte e técnica propostas por Artigas, entretanto, a primeira considerava o canteiro de obra como a ponta de lança do desenvolvimento esperado para o país, enquanto a segunda mostrou-se avessa a esse princípio e desenvolveu essa mesma relação com inovações que estavam na contramão do suposto desenvolvimento industrial”. (KOURY, 2003, p.48).

Em relação ao espaço, o uso de abóbadas proposta pelo grupo fazia com que os mobiliários fossem colocados naturalmente nas paredes inclinadas, e a circulação próxima aos móveis. O espaço íntimo era colocado no pavimento superior, localizado no eixo central da abóbada e, em muitas das residências, o efeito criado remetia a primeira residência de Artigas, em que o espaço íntimo da casa (dormitório) localizava-se num espaço aberto, porém separado do resto da residência pela cota mais elevada.

A técnica apresentou falha em decorrência às forças de tensão que forçaram a abertura da cobertura, provocando rachaduras nas áreas de maior tensão, as bases.

Estudo de secções cônicas, curvas, calotas e superfícies dobradas:

Num cone regular, secções paralelas à base geram círculos como projeções bidimensionais. Em secções perpendiculares a base, são geradas Hipérboles, exceto no ponto



Fonte: David Chang, 2017

onde o plano de corte coincide com o vértice do cone. Se o plano de corte for paralelo a uma das geratrizes do cone, gera-se uma parábola. Por último, se o plano de secção for inclinado e não paralelo a qualquer geratriz, a projeção é uma elipse (Figura 1).

Para o desenvolvimento dessa pesquisa, viu-se necessário o aprofundamento no estudo das secções cônicas, dado que correspondem à base de composição de todas as superfícies curvas estudadas e projetadas.

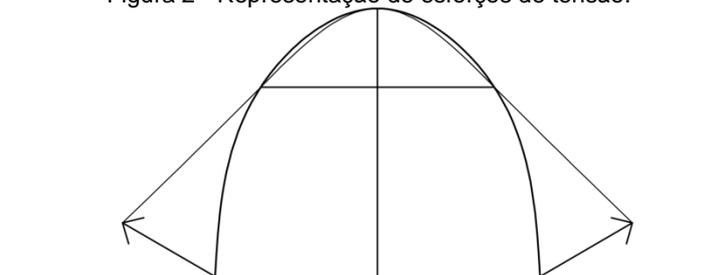
Superfícies curvas:

Ao se fazer uso da inclinação da superfície, na direção da força atuante por meio de uma curva, concilia-se a oposição entre eficiência horizontal da cobertura no espaço e a eficiência vertical na resistência às forças gravitacionais. A forma que a superfície adota determina o mecanismo pelo qual ela irá comportar-se sobre esforço. Para um bom funcionamento do sistema, se faz necessária a continuidade superficial e a noção da composição de um elemento de superfície ativa "(BUARRAJ, 2017). Outro fator de destaque das coberturas curvas referente a sua estrutura, segundo Medrano e Meirelles:

Uma estrutura em casca é uma superfície curva contínua onde a espessura é bem menor que as outras dimensões. O comportamento estrutural da casca é dividido em duas parcelas: a teoria da membrana e a teoria da flexão. Na primeira é considerado o mecanismo resistente de membrana, que resulta em solicitações por forças normais e cisalhamento. Na segunda são consideradas as flexões, que resulta na casca curva em solicitações por momentos, esforços normais, cortantes e cisalhamento longitudinal. No projeto das cascas deve-se ter uma especial atenção nas regiões dos apoios, pois nestas regiões podem ocorrer solicitações de flexão significativas. (MEDRANO;MEIRELLES, 2005, p.127)

Sob o aspecto dos esforços aos quais as coberturas estão submetidas, as cascas curvas transmitem os esforços ao longo de sua superfície, no caso do concreto, como citado anteriormente, devido às tensões de flexão e os apoios rígidos no encontro com o solo, acabam sofrendo maior esforço, tornando-se pontos de fragilidade na estrutura. O concreto é capaz de suportar grandes esforços de compressão, mas no caso de cascas, apresenta dificuldades de conter os esforços de flexão que forçam a abertura desta (Figura 2).

Figura 2 - Representação de esforços de tensão.

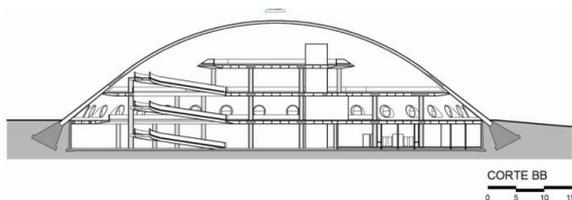


Fonte: David Chang, 2017.

Relação entre material e estrutura.

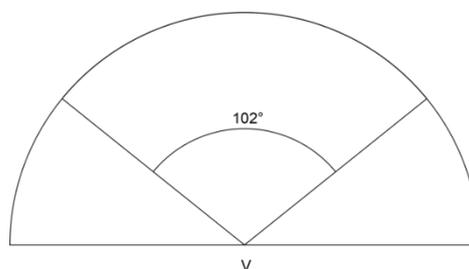
Estruturas em Concreto: Por conhecimento prático sobre estruturas de concreto, ao longo da história da arquitetura, descobriu-se um ângulo de equilíbrio das tensões presentes em coberturas calota, e de arcos plenos, tendo-se como vértice a projeção de um ponto do topo da cobertura, no solo; a abertura angular de 102° vê-se a mais estável estruturalmente (Figura 4). Todavia, a grande maioria dos projetos residenciais é de pequena escala, tornando-se um desafio aplicar uma cobertura com ampla angulação, devido ao espaço limitado. Como consequência, a grande parte dos projetos residenciais com cobertura curva, principalmente os projetados pelo grupo Nova Arquitetura, fogem desse número ideal.

Figura 3- Corte da Oca, Parque Ibirapuera de Oscar Niemeyer.



Fonte: Breno Veiga, 2016

Figura 4- Representação de ângulo de 102° .



Fonte: David Chang, 2017.

A Oca do Parque Ibirapuera é um excelente exemplo de projeto em que este conceito foi aplicado. Os esforços aos quais a grande cobertura está sujeita foram mitigados devido ao ângulo de abertura da curva e o reforço estrutural de concreto localizado próximo às escotilhas.

Estruturas em Madeira: No caso das estruturas em madeira, a técnica mais amplamente aplicada atualmente é a madeira laminada colada (MLC). Com essa técnica de fabricação de peças, tornou-se possível a criação de perfis de madeira arqueada, compostos de peças menores, coladas ou unidas por parafusos que compõem um conjunto maior, funcionando como uma unidade estrutural. Devido às fibras da madeira posicionadas em sentido longitudinal, o conjunto trabalha bem torção, flexão e compressão, permitindo grandes vãos. A madeira sobressai-se sobre o concreto também no quesito peso próprio *versus* resistência, visto que uma viga de madeira, com mesmo volume que uma viga de concreto, pode suportar uma carga até 5 vezes maior.

A limitação da curvatura ocorre pela técnica aplicada na usinagem. Um cuidado que se deve tomar com relação aos perfis de madeira é a colagem das lâminas deixando as fibras no sentido longitudinal do perfil, com isso a peça trabalha melhor os esforços de tração, na face superior, e compressão, na face inferior.

Figura 5 - Projeto Bodegas Protos.



Respectivamente: Fonte: site GuiaObra. Disponível em: <http://www.guiadaobra.net/midia/bodegas-protos-espanha.jpg>. Acesso em: janeiro 2017

Figura 6 - Centro de Eventos Iporanga



Fonte: Site ITA Construtora. Disponível em: <http://www.itaconstrutora.com.br/portfolio/centro-de-eventos-iporanga/#ip-carousel-994>. Acesso em: janeiro 2017

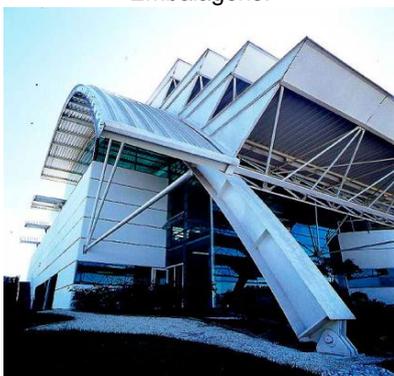
O projeto Bodegas Protos, fruto da parceria entre os escritórios de Richard Rogers e Alonso y Balaguer (Figura 5), devido a sua grande escala, exigiu a separação da parábola que compõe a base estrutural de cada módulo, em dois elementos arqueados de MLC, que se unem no vértice da curva por uma ligação metálica. No âmbito nacional, um dos maiores representantes da construção civil em madeira é a Construtora ITA, que usa MLC para criar estruturas curvas capazes de vencer grandes vãos. No caso do projeto do centro de eventos de Iporanga (Figura 6), usou-se a MLC para a criação de uma cobertura ondulada a partir de um par de vigas produzidas e transportadas como peças únicas.

As coberturas de madeira, assim como as metálicas, são compostas de vigas e planos de vedação. Além disso, os apoios têm a possibilidade de serem articulados,

permitindo melhor acomodação da estrutura e evitando esforços excessivos, como ocorre nos apoios das estruturas em casca de concreto.

Estruturas Metálicas: As estruturas em casca metálicas comportam-se de forma semelhante às de madeira, necessitando de vigas de suporte, e suportam bem a flexão e tração. A fabricação das peças curvas se dá por curvatura a frio, sendo soldadas ou parafusadas, para a produção de peças maiores, no caso das de perfil I ou H. Outra possibilidade é a criação de perfis treliçados bidimensionais ou tridimensionais a partir da composição de perfis de menor dimensão.

Figura 7 - Ipel Fábrica de Pincéis e Embalagens.



Fonte: Site Portal Metálica. Disponível em: http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=343. Acesso em: Junho 2017

Figura 8 – Cobertura estrutura Metálica



Fonte: Site Soluções Industriais. Disponível em: http://www.solucoesindustriais.com.br/imagens/produtos/imagens_893/p_estrutura-metalica-2.jpg. Acesso em: Junho 2017

No projeto da fábrica da Ipel, do escritório Sidonio Porto Arquitetos Associados (Figura 7), os arcos de perfis metálicos em “H” duplo, apoiam-se no solo e sustentam a cobertura metálica da fábrica, permitindo um grande vão, sem interferir negativamente no uso do espaço interno, com uma estrutura leve. Cobertura para galpões (Figura 8) é um uso comum para estruturas metálicas, devido à carga reduzida, e a capacidade de vencer grandes vãos. Nesse caso, pilares e vigas que formam os pórticos foram compostos por treliças planas.

3. METODOLOGIA

A primeira fase correspondeu a coleta de informações para iniciar o estudo de casos, compreendendo os motivos para a ocorrência das estruturas de cobertura curvilíneas, os conceitos envolvidos e as intenções projetuais dos arquitetos. Os objetos escolhidos para esta pesquisa foram a Residência Milan, do Arquiteto Marcos Acayaba a Residência Guaeca do arquiteto Vasco de Mello, e a Residência na praia do Félix do escritório Vidal Sant’Anna.

A segunda fase foi um aprofundamento nos estudos dos projetos em si, modelando os mesmos em softwares de prototipagem digital, como Autocad e Revit. Posteriormente, com base nos resultados obtidos, tanto da análise da bibliografia e dos modelos digitais, foi aprofundado o estudo da volumetria das residências, construindo uma base consistente para o processo de modelagem paramétrica.

As Residências Milan e Guaeca foram modeladas com Revit 2016, e a Residência na Praia do Félix foi modelada em Sketchup Pro 2016. A partir dos modelos computacionais, iniciou-se um processo de análise de cada projeto, buscando se compreender a disposição dos espaços internos, a geometria aplicada, a relação entre os volumes, etc.

Buscou-se um levantamento da geometria do projeto original, compreendendo os parâmetros básicos do projeto e as possíveis variáveis (PARK, 2008). Adiante, os projetos foram estudados, com o auxílio dos modelos digitais e representações bidimensionais dos projetos, fornecidas pelos próprios arquitetos. Por meio de Grasshopper, foram desenvolvidos projetos análogos aos estudados utilizando-se de parametrizações.

A palavra chave para o uso de processos digitais em projeto de arquitetura é “experimentação”. A FD tem como vantagem a produção de uma variedade de modelos e protótipos de alta precisão. Com a MP, é possível experimentar diferentes opções e ideias, experimentar diferentes possibilidades formais (VEIGA, 2016, p.92).

O processo de modelagem paramétrica iniciou-se por meio do Plugin de Dynamo, pertencente ao programa Revit, todavia, a falta de conhecimentos aprofundados no software, limitou muito o poder de criação das formas, por isso, optou-se pelo foco no software Grasshopper, que tem como base o Rhinoceros 5.

Por fim, foi realizado o processo de concretização das conclusões do trabalho, aliado à redação preliminar da pesquisa e seu conseqüente aprimoramento para a versão final.

4. RESULTADO E DISCUSSAO

Estudo das Residências:

Residência Milan

Arquiteto: Marcos Acayaba

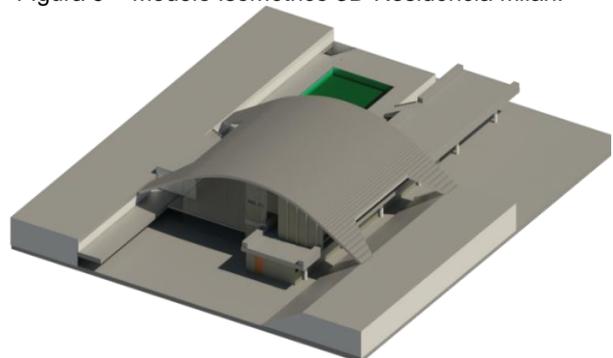
Ano: 1975

Local: Cidade Jardins - São Paulo -
São Paulo

Terreno: 300m²

Área construída: 180m²

Figura 9 – Modelo Isométrico 3D Residência Milan.



Fonte: David Chano. 2017.

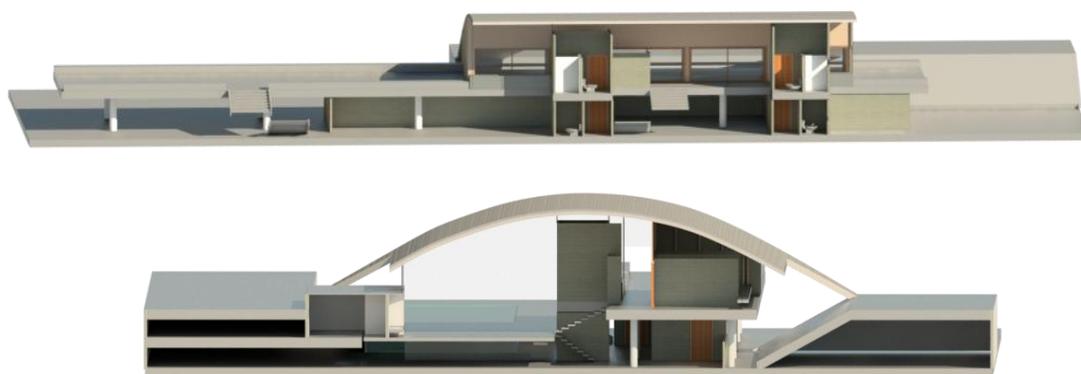
Materiais predominantes: Concreto armado

Análise: A ampla cobertura de concreto protendido, com 25 metros de vão foi, de acordo com o próprio arquiteto, muito custosa e com muito desperdício, principalmente em relação às formas para o concreto, que não podiam ser reaproveitadas, devido a variação de curvatura da casca. Apesar disso, variação do pé direito da cobertura traz ao projeto uma experiência espacial diferente do convencional. A abertura do grande vão permite o esmaecimento da separação entre lado externo e interno. Os cortes em forma de trapézio nos apoios, apesar de gerarem um ponto de fragilidade na cobertura, suavizam o contato da peça com a terra, trazendo leveza para o conjunto.

Queria também fazer alguma coisa bem leve e arejada. Adotei então uma solução típica do Oscar (Niemeyer), uma superfície curva que, mesmo muito delgada, pode vencer um grande vão livre, e abrigar um espaço generoso (ACAYABA, 2011, p.2).

A solução do programa em três meios níveis remete à uma solução comum da arquitetura paulista da década de 1950, adotada inicialmente por Vilanova Artigas na residência Baeta (ACAYABA, 2011).

Figura 10 – Secção longitudinal e transversal 3D Residência Milan.

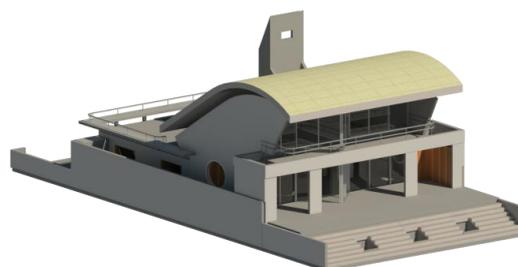


Fonte: David Chang, 2017.

Residência Guaeca:

Arquitetos: Vasco de Mello e Rodrigo de Mello
Ano: 2013
Local: Guaeca, Litoral Norte, São Paulo
Terreno: 300m²
Área construída: 180m²
Materiais predominantes: Aço e Concreto armado

Figura 11 – Modelo 3D Residência Milan.



Fonte: David Chang, 2017.

Análise: A residência projetada por Vasco e Rodrigo de Mello, na praia de Guaeca, no litoral paulista, tem como partido o não uso de madeira na estrutura, em seu lugar, os arquitetos optaram por usar estrutura mista de aço e concreto. As vigas, pilares, lajes e vedações foram elaboradas em concreto armado, revestido com massa forte de cimento e areia.

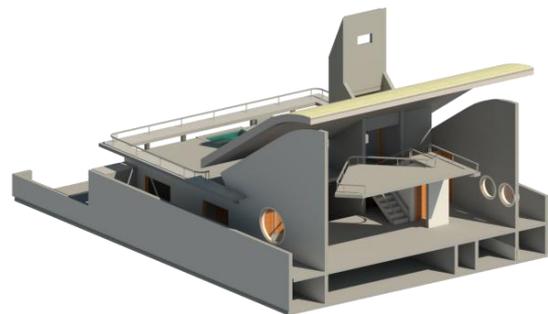
A cobertura curva foi projetada em aço corten, sendo apoiada em duas empenas de concreto. Uma grelha de perfis metálicos de secção quadrada de 15cmx15cm dispõe-se num perfil de onda, formatando a estrutura a cobertura que vence um vão de 9 metros. O fechamento da cobertura se dá por telhas metálicas duplas amarelas, com isolamento térmico de lã de rocha. Por se tratar de uma estrutura leve e modulada, foram projetadas aberturas reguláveis ao longo de toda a superfície da cobertura, permitindo a troca do ar de forma efetiva.

Figura 12 – Secção longitudinal 3D Residência Guaeca



Fonte: David Chang, 2017.

Figura 13 – Secção transversal 3D Residência Guaeca.



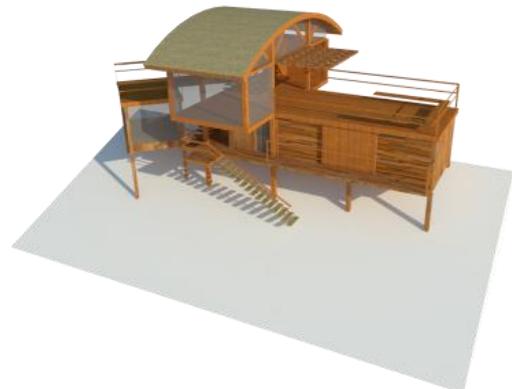
Fonte: David Chang, 2017.

Residência na Praia do Félix:

Arquitetos: Silvio Sant'Anna e Ana Vidal
Ano: 2010
Local: Praia do Félix - Ubatuba - São Paulo
Terreno: 900m²
Área construída: 153 m²
Material predominante: Madeira

A residência de madeira foi implantada num terreno de grande declividade, próximo a praia. Como partido de projeto, optou-se por manter a vegetação original do terreno, erguendo a edificação sobre o solo e evitando o processo de erosão. Na face frontal, a residência ergue-se 5 metros em relação ao plano do solo e, na face posterior, a diferença de cota reduz para 1 metro. A fundação firma-se num

Figura 14 – Modelo 3D Residência na Praia do Félix



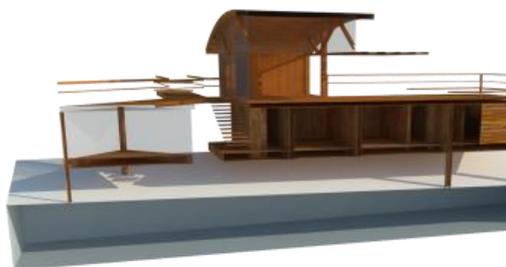
Fonte: David Chang, 2017.

entablamento rochoso natural localizado a 4 metros de profundidade no solo, dando suporte para os 11 pilares de madeira.

Para facilitar o processo de construção, optou-se pela racionalização e pré-fabricação das peças de madeira. A estrutura da residência é em itaúba e a cobertura curva foi feita em MLC, com o mesmo material do restante da casa, duas vigas coladas e tensionadas mantendo a curvatura.

A cobertura curva abriga a área comum da residência, correspondendo à cozinha e sala de estar. Mostra-se uma valorização do espaço de convivência, preenchido de luz e ventilação naturais.

Figura 15 – Secção longitudinal 3D Residência na Praia do Félix



Fonte: David Chang, 2017.

Figura 16– Secção transversal 3D Residência na Praia do Félix



Fonte: David Chang, 2017.

Algoritmos Gerados

O processo de modelagem paramétrica é acumulativo, a ideia surge de um algoritmo inicial, sem muitas variáveis e com formato simplificado, com o amadurecimento do objetivo que quer se obter, o algoritmo desenvolve-se otimizando etapas e complementando o resultado final. Grande parte da produção do início do processo é esquecida muito rápido, logo, é preciso agilidade no desenvolvimento. A parametrização é mais importante no momento intermediário de projeto (WHITEHEAD, 2013).

A modelagem paramétrica permite que um mesmo resultado seja atingido por diferentes “caminhos”, sendo que alguns são mais simples e menos trabalhosos. Com o uso do software é possível amplificar potenciais, permitindo disseminação de ideias e então maior produção. (CASTRO E BUENO, 2010)

Utilizando-se essa tecnologia é possível transformar tanto a forma como o método, o conhecimento alcançado no processo é cumulativo, onde projetos anteriores servem de bases para os seus sucessores.

Figura 17- Algoritmo 1:

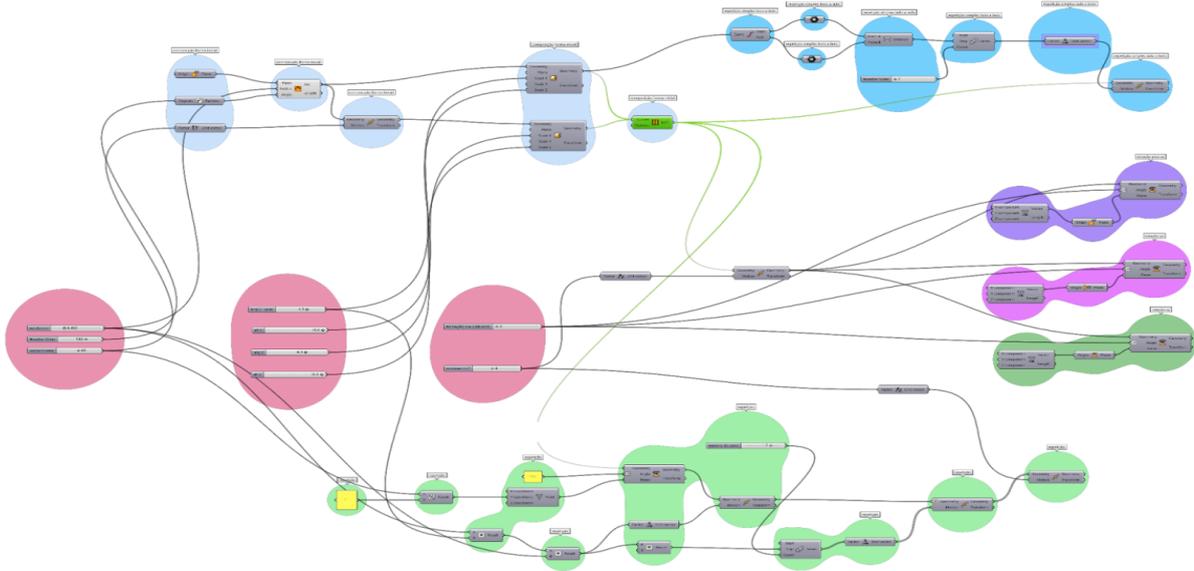
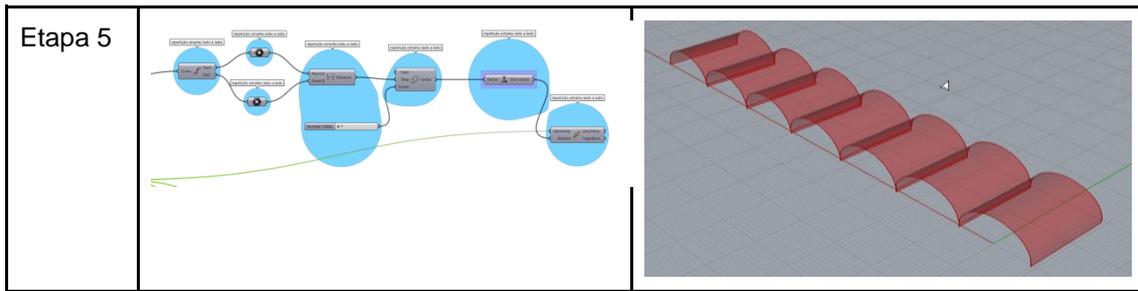


Tabela 1 - Explicação Algoritmo 1 (Figura 17):

<p>Etapa 1</p>		
<p>Etapa 2</p>		
<p>Etapa 3</p>		
<p>Etapa 4</p>		



Fonte: David Chang, 2017.

Para este algoritmo, a base foi um arco pleno, cujos parâmetros base, como altura do vértice, distância entre extremidades, escala e ângulo de abertura, tornaram-se variáveis (Etapa 1). O princípio adotado para o algoritmo criado foi a constituição de uma abóbada de berço com nove variáveis obtidas por *sliders*, que permitem gerar variações da forma da abóbada, como abatimento ou elevação dos vértices opostos, abertura e fechamento das extremidades das bases ou redução da dimensão de um dos apoios, baseado na angulação do arco básico construído inicialmente (Etapa 2). Com o objetivo de trazer maior dinâmica para os modelos, adicionou-se também a opção de rotacionar as coberturas dentro dos três eixos (x,y,z) (Etapa 2). Uma última etapa do algoritmo corresponde à possibilidade de multiplicar em série o módulo, possibilitando novas opções de coberturas, sendo a primeira gerando coberturas espelhadas lado a lado, e a segunda, gerando coberturas alinhadas em repetição simples (Etapas 4 e 5).

Figura 18– Algoritmo 2:

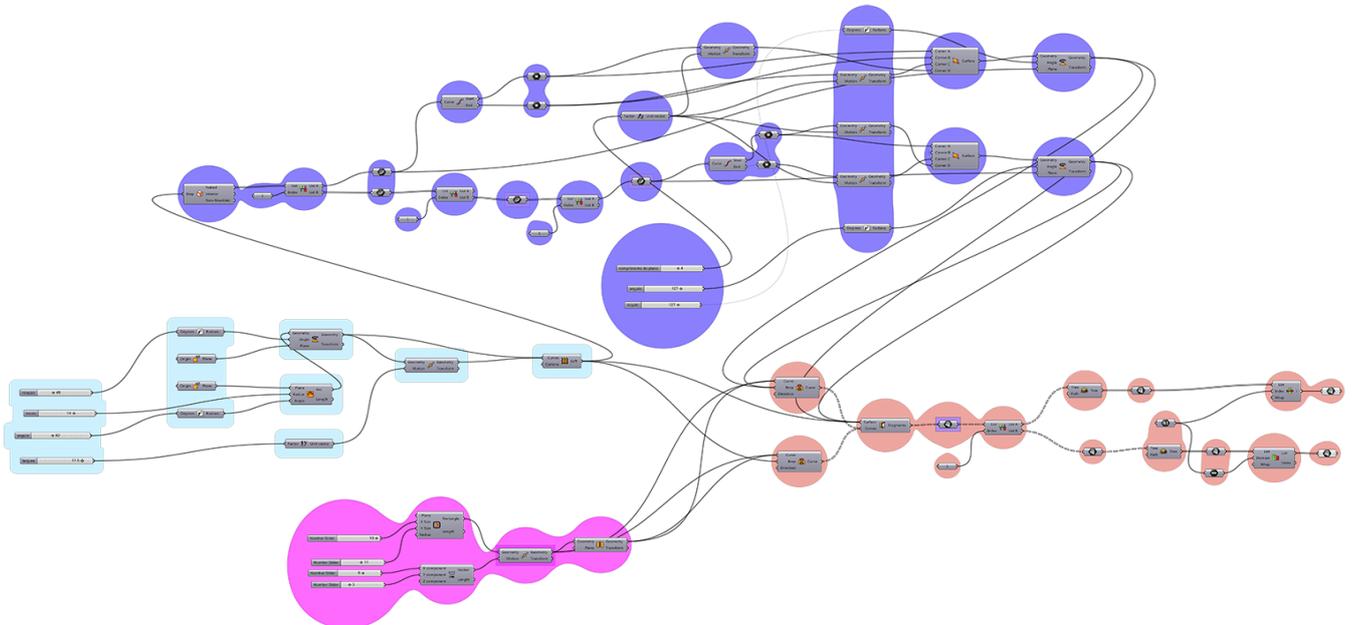
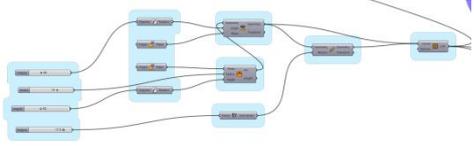
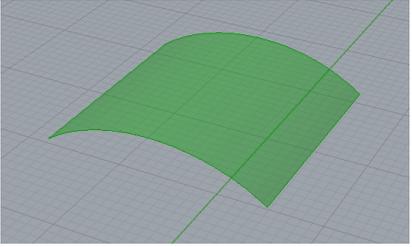
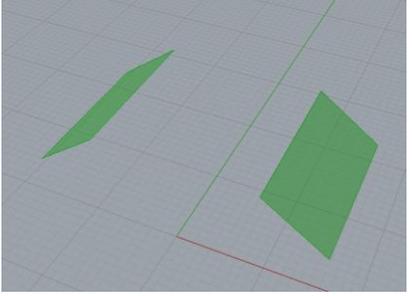
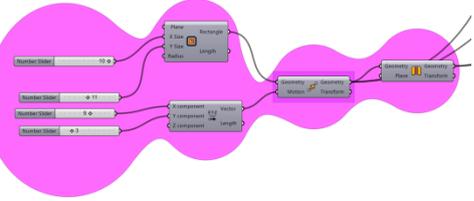
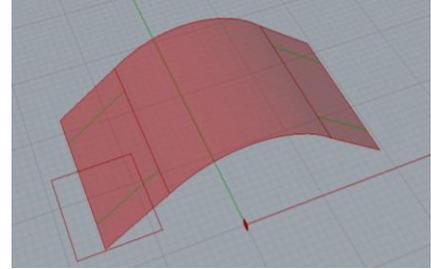
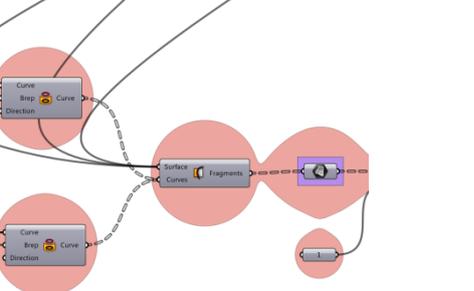
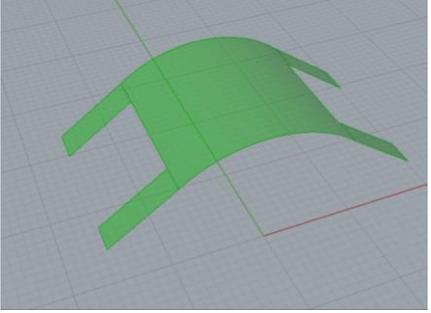
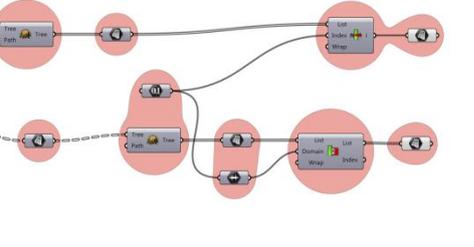
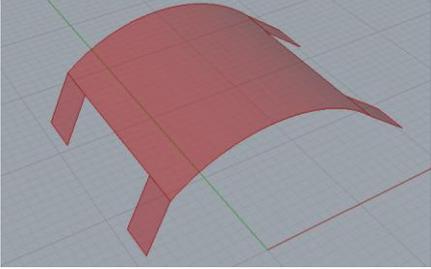


Tabela 2 - Explicação Algoritmo 2 (Figura 18)

<p>Etapa 1</p>		
<p>Etapa 2</p>		
<p>Etapa 3</p>		
<p>Etapa 4</p>		
<p>Etapa 5</p>		

Fonte: David Chang, 2017.

O início do algoritmo se deu pela composição de uma abóbada de arco pleno, construída a partir de um arco bidimensional posicionado no plano zx. Posteriormente, duplicou-se, movimentou-se o arco no eixo y. Posteriormente, criou-se uma superfície

limitada pelos arcos. (Etapa 1). Na sequência, formulou-se dois planos retangulares independentes, e com dimensões variáveis, cuja uma das arestas foi ligada às bases da abóbada.

Esses dois planos apresentam rotação livre dentro do eixo da aresta criada. (Etapa 2). Para realizar o rasgo desses planos retangulares, presentes na cobertura original da Residência Milan, modelou-se dois retângulos com dimensões variáveis, que se projetam nas faces retangulares da cobertura. (Etapa 3). A partir da projeção dos retângulos, extraiu-se das faces os trechos vazados (Etapa 4). A última fase do algoritmo corresponde à junção das três superfícies criadas (cúpula e planos retangulares) e o isolamento dessas faces para poderem ser exportadas para o Rhinoceros 5.

A construção dos algoritmos foi pensada para ser simples e didática, permitindo o aumento de sua complexidade no decorrer do processo, respondendo às demandas que foram surgindo.

O algoritmo desenvolvido para atender às necessidades dos parâmetros estudados para a residência Milan (algoritmo 2) apresentou algumas peculiaridades em relação aos outros projetados até então. Primeiramente, nas extremidades da casca curva, iniciam-se planos inclinados, que estão em concordância com a inclinação do arco, e esses planos apresentam recortes retangulares, incorporados no algoritmo. A base deste algoritmo foi usada para a elaboração do algoritmo básico da residência Guaecá, sendo necessário apenas desativar um dos retângulos da etapa 3 e as etapas 4 e 5 inteiras.

Apesar de ter-se clara a noção da importação das espessuras das cascas nos resultados estéticos das obras, em todos os casos, optou-se por desconsiderar a espessura real das coberturas, pois para obterem-se os resultados necessários, seriam demandados cálculos estruturais complexos que não convinham nessa pesquisa.

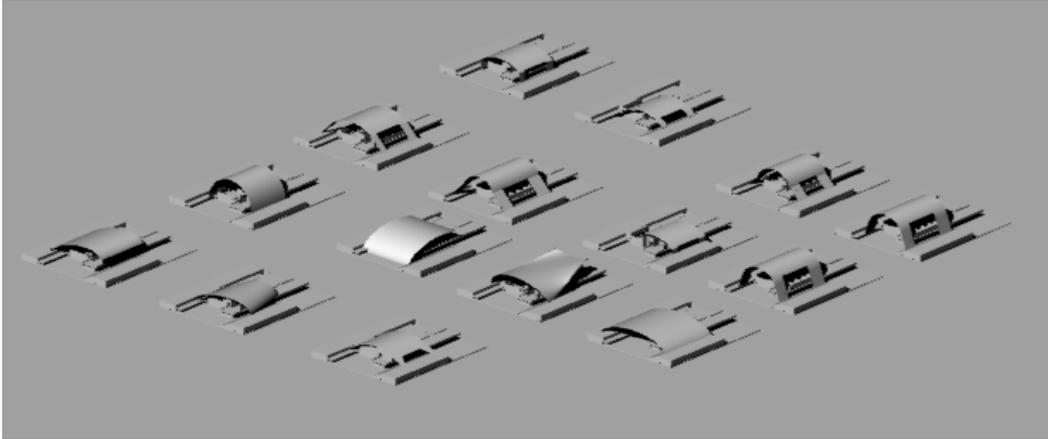
Concebidos os algoritmos e as residências, os modelos foram exportados para o Rhinoceros 5 por meio de um formato comum aos três softwares usados neste trabalho, .3DS. Por se tratar de um processo experimental e investigativo, foram testadas diversas formas de exportação, e a que mais adequou se às necessidades da pesquisa foi um formato vetorial de linhas e planos. Enquanto o Revit 2016 e o SketchupPro 2015 trabalham por linhas e planos o Rhinoceros 5 tem como base curvas NURBS.

Portanto ao exportar os arquivos os planos foram seccionados em triângulos, dificultando a leitura dos volumes.

Concepção das coberturas parametrizadas experimentação

Residência Milan:

Figura 20: Modelos parametrizados Residência Milan



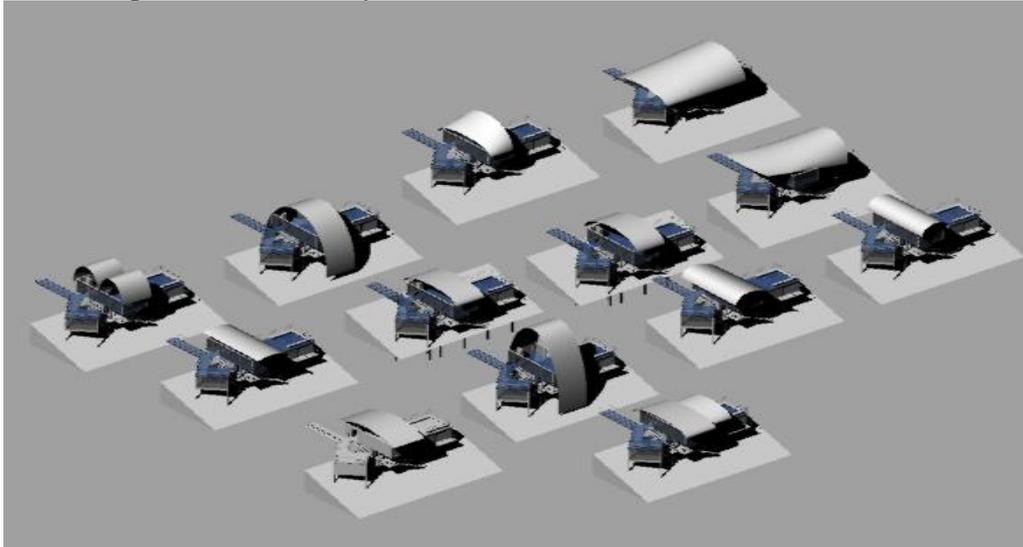
Fonte: David Chang, 2017.

Sobre o concreto, devido ao conhecimento experimental, sabe-se que devemos buscar a angulação correta de 102° da cobertura curva para evitar a ruptura da estrutura devido às tensões atuantes. O arquiteto, em seu desenho original, optou por seguir uma angulação mais leve, que apesar de trazer mais leveza para a curva, provocou efeitos negativos na resistência estrutural da cobertura devido às intensas forças atuantes, que tencionam para a abertura do ângulo. Apesar da liberdade de criação formal que o algoritmo permite, foi necessário ter atenção à questão estrutural do concreto para esse caso, a liberdade de construção se deu no aspecto da abertura transversal e longitudinal dos cortes da cobertura, e a escala da cobertura.

Residência na Praia do Félix

A limitação se dá pela relação entre a escala das peças que formam o perfil e a curva desejada. A cobertura projetada por Sant'Anna trabalha próxima do limite possível de ser fabricado, em relação à inclinação da cobertura. Devido à possibilidade de composição por diversas seções de perfis, tem-se maior liberdade de composição formal das coberturas, principalmente em relação à abertura e comprimento da forma.

Figura 21: Modelos parametrizado Residência na Praia do Félix



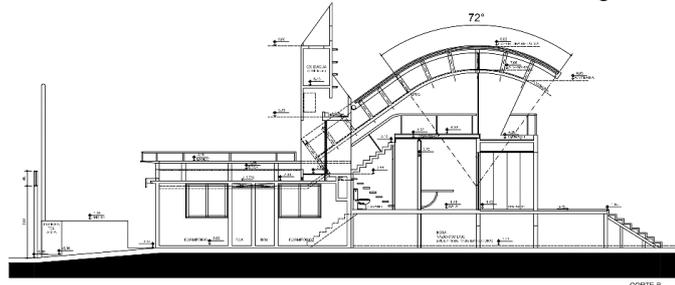
Fonte: David Chang, 2017.

Residência Guaca

Dos três materiais estudados, o que apresenta maior liberdade de criação é o aço, pois o material apresenta maior flexibilidade para arqueio dos perfis. Todavia, a forma da residência, que tem como partido as empenas laterais, veio como restrição para a criação formal.

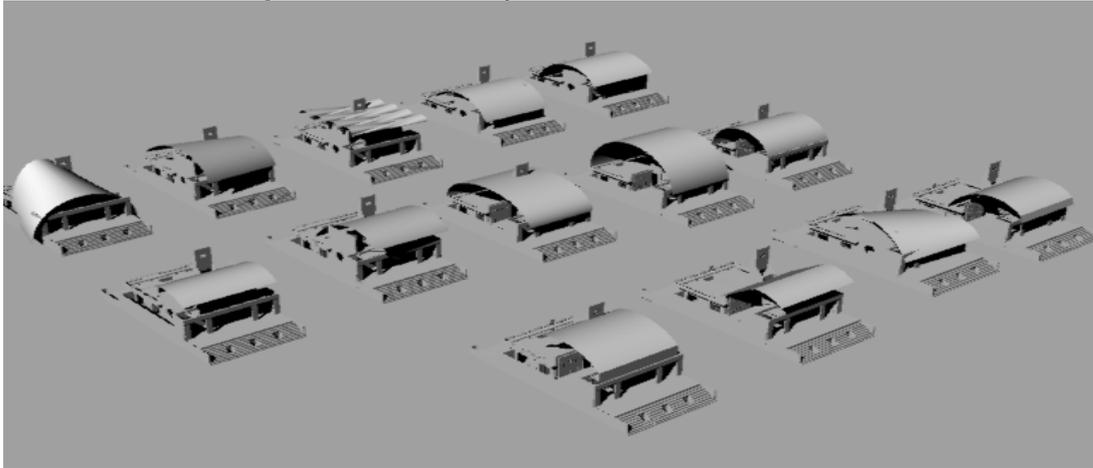
Após o processo de experimentação com o algoritmo simples, (Figura 17) chegou-se a conclusão de que a melhor forma de construir a cobertura original, foi por meio da adaptação do algoritmo 2 (Figura 18) com a angulação de 72° (Figura 21) e um plano alinhado ao fim do arco. Como consequência, os resultados obtidos da experimentação com esse algoritmo foram mais harmônicos com o projeto.

Figura 21- corte transversal da residência, indicando o ângulo da cobertura



Fonte: Imagem fornecida pelo escritório Vasco de Mello VMAA, 2016.

Figura 22- : Modelos parametrizado Residência Gueaca



Fonte: David Chang, 2017.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A definição paramétrica da geometria das coberturas permitiu alternativas e variações de design mantendo as restrições da concepção original. Com o controle do algoritmo, tornou-se possível estudar diferentes configurações da superfície exterior. Muito da análise se baseou no estudo estético dos projetos originais e das limitações estruturais estudadas.

Para essa pesquisa, o software Grasshopper veio como uma ferramenta computacional para investigar equilíbrio de proporções de três projetos do contexto paulista. Variações paramétricas do projeto que maximizam o equilíbrio do corpo do projeto e sua cobertura. Os resultados obtidos vieram a confirmar a capacidade dos arquitetos estudados de relacionar proporcionalmente seus projetos, visto que a grande maioria dos modelos gerados provocam ruídos visuais. Além disso, mostram-se vários descendentes formais dos desenhos originais. Sugerindo uma nova forma de aplicação da geometria paramétrica no estudo formal de um projeto pré existente, inicialmente buscou-se um levantamento da geometria do projeto original, compreendendo os parâmetros básicos do projeto e as possíveis variáveis.

O processo de aprendizagem que envolveu a criação do conjunto de formas e a redefinição dos modelos na busca de um design aprimorado envolveu uma rotina de tentativas e erros. A modelagem paramétrica reduz a sofisticação matemática do processo necessária no estudo de proporcionalidade na arquitetura. Proporciona uma interface interativa e um sistema de feedback com vários dados resultantes, tanto em forma numérica quanto formal, incluindo uma atualização em tempo real das mudanças em modelos tridimensionais.

6. REFERÊNCIAS

BUARRAJ, Munir. **Geometrando e Arquetando:** Ensinando e Aprendendo. São Paulo: Ziguarte Editora, 2017. 140 p.

FLORIO, Wilson. **Modelagem Paramétrica na Concepção de Elementos Construtivos de Edifícios Complexos.** Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ENTAC,15. Maceió. *Anais ...* Maceió: UFAL, 2014, p.1-11.

FLORIO, Wilson. **Raciocínio Analógico Paramétrico: Uma Experiência Criativa em Arquitetura.** Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital - SIGRADI,15, 2011, Santa Fé. XV Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital - SIGRADI: Cultura Aumentada. Santa Fé: FADU, 2011. p. 208-212

HENRIQUES, Gonçalo Castro; BUENO, Ernesto. Geometrias Complexas e Desenho Paramétrico. **Drops**, São Paulo, p.1-7, fev. 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Ernesto_Bueno2/publication/258345157_Geometrias_Complexas_e_Desenho_Parametrico/links/0deec52801cbaea299000000.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2016

KOURY, Ana Paula. **Grupo Arquitetura Nova: Flávio Império, Rodrigo Lefèvre e Sérgio Ferro.** São Paulo: Romano Guerra Editora, 2003. 136 p. (Coleção Olhar Arquitetônico)

Madeira Laminada Colada. Disponível em: <<http://madeiralaminadacolada.com/vantagens-mlc.php>>. Acesso em 3 de abril de 2017.

MEDRANO, Ricardo Hernán; MEIRELLES, C. R. M. . **Estruturas Espaciais em Cascas: Estudo de Casos Latino-Americano.** In: XXI Conferencia Latinoamericana de Escuelas y Facultades de Arquitectura - CLEFA XXI, 2005, LOJA. Ponencias : El rol de las Escuelas y Facultades de Arquitectura en el contexto regional. Loja: Editorial de la Universidad Técnica Particular de Loja, 2005. p. 487-491.

MEIRELLES, C. R. M.; DINIS, Henrique; MEDRANO, Ricardo Hernán. **A Aplicação da Modelagem em Elementos Finitos na Concepção das Cascas de Concreto Armado.** In: SIGraDi 2009 sp - Do Moderno ao Digital: Desafios de uma Transição, 2009, São Paulo. SIGRADI - anais. São Paulo: condensado, 2009. v. XIII. p. 135-137.

MEIRELLES, Célia Regina Moretti; MEDRANO, Ricardo Hernán. **Arquitetura e Concepção Estrutural: a Utilização de Cascas em Obras de Felix Candela, Eladio Dieste e Oscar Niemeyer**1. Cadernos do PROARQ (UFRJ), v. 15, p. 125-135, 2010.

PARK, Hyoung-june. **Parametric Variations of Palladio's Villa Rotonda.** International Journal Of Architectural Computing, [s.l.], v. 6, n. 2, p.145-169, jun. 2008. SAGE Publications.

VEIGA, Breno Tisi Mendes da. **Oscar Niemeyer: modelagem paramétrica e fabricação digital de edifícios curvilíneos do Parque Ibirapuera e do Memorial da América Latina.** 2016. 320 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2016.

WHITEHEAD, Hugh. **The Practice of Smartgeometry**, in: Inside Smartgeometry: Expanding the Architectural Possibilities

ZEVI, Bruno. **A linguagem moderna da arquitetura:** guia ao código anti-clássico. Lisboa: Edições 70, 2002. 174 p. (Arquitetura & urbanismo;6) ISBN 9724411494

Contatos: david.dalmas@uol.com.br ; wilson.florio@mackenzie.br