



# A CONTRIBUIÇÃO DA TECNOLOGIA NA REPRESENTAÇÃO DOS PROJETOS DE GEOMETRIAS COMPLEXAS

Silvana Rocha Brandão Machado  
UVA - Universidade Veiga de Almeida - Instituto de Ciência e Tecnologia  
silv.rocha@globo.com

## RESUMO

A representação de projetos com geometrias complexas vem sendo facilitada pelo suporte informatizado tanto no processo de concepção, como na apresentação do projeto e execução final. Este artigo tem como objetivo, apresentar alguns exemplos destas representações e como estes recursos auxiliaram na construção em obras internacionais, como o pavilhão de exposições da BMW em Frankfurt The Bubble, O abrigo de ônibus em Hoofddorp em Rotterdam e o museu Guggenheim em Bilbao.

**Palavras chave: geometrias complexas, representação do projeto, suporte informatizado.**

## ABSTRACT

The representation of projects with complex geometries has been facilitated by the support computerized so much in the conception process, as in the presentation of the project and finish execution. This article has as objective, to present some examples of these representations and how these resources aided in the construction in international works, as the pavilion of exhibitions of BMW in Frankfurt The Bubble, THE bus stop in Hoofddorp in Roterdã and the museum Guggenheim in Bilbao.

**Keywords: complex geometries, presentation of the project, computerized support.**

## 1. Introdução

Os recursos da computação gráfica deram aos projetistas a possibilidade do uso de um instrumental de representação que se baseia nos conceitos e fundamentos das técnicas de desenho tradicionais, mas que apresentam sofisticados recursos de visualização,

armazenamento, manipulação e intercâmbio de informações.

Estamos vivendo um período de grande transformação, na sociedade de informação atual. Um novo tipo de construção emerge, quebrando barreiras entre disciplinas profissionais antes separadas e especializadas, incentivando novas formas de interagir entre as equipes de projetos e de obras.

Com o avanço da tecnologia, novos tipos de ferramentas e mídia tornaram-se disponíveis, possibilitando manipulações e tratamentos gráficos cada vez mais complexos e rápidos, auxiliando o processo de construção de projetos com geometrias complexas.

Há atualmente projetos arquitetônicos pensados e executados de forma digital, com os recursos das novas tecnologias CAD. Neste tipo de processos, a concepção, a análise estrutural e escolha de materiais, fundem-se e resultam na produção do projeto diretamente através de máquinas de controle numérico.

## **2. A modelagem tridimensional da concepção à construção**

Em edificações de formas livres, ou seja, volumes não convencionais, os primeiros passos são a modelagem geométrica de forma tridimensional para dela gerarem outros desenhos que permitiram potencializar a interação do escritório com os fornecedores, construtores e canteiro de obras.

### **2.1 A bolha stand de exposições**



Figura 1: A Bolha

O edifício The Bubble, desenvolvido pelo grupo Bernhard Franken, sob o tema “Energia Limpa”, serviu por duas vezes como pavilhão da BMW em exposições na Alemanha (IAA – Internationale Automobil Ausstellung 1999, em Frankfurt; Expo2000, em Munique). Pretende, de forma metafórica e emocional, demonstrar a nova atitude da indústria face ao ambiente: “o desenho não é um recipiente para informação, mas comunicação por si só”.

Atua como um super signo, estando rodeada por um espaço designado de “Nuvem Solar” que alude ao hidrogênio como energia renovável.

Segundo Esteves (2005), Franken usa um processo contínuo desde desenho até à manufatura, que é executado digitalmente. As formas são geradas por campos e algoritmos e materializadas graças a máquinas de controle numérico (CNC).

## 2.2 As simulações contribuindo no desenvolvimento do projeto

O software utilizado para simulação foi o Alias WaveFront, baseado em forças físicas, através do qual se procurou criar uma forma dinâmica de duas bolhas unindo-se sobre a influência da gravidade KRAFT(1999).

A superfície, ou a “pele”, procura expressar o frágil balanço entre a pressão interna e tensão superficial, característica das bolhas de ar.



Figura 2: Estudos com as formas

## 2.3 Concepção estrutural/produção

A forma pouco convencional e o requisito de permeabilidade da luz através da superfície exterior, foram as principais condicionantes que constituíram os inputs para a análise estrutural do edifício.

A estrutura deveria, assim, ser dimensionada para suportar a casca do edifício com o mínimo de interrupções possíveis, pois afetariam a transparência global do conjunto. Procurou-se estabelecer um equilíbrio entre o ótimo estrutural e a imagem arquitetônica.

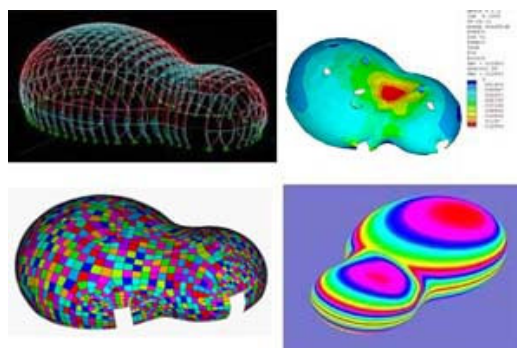


Figura 3: Estudos tridimensionais

A primeira abordagem baseou-se num modelo geométrico tridimensional em que a casca seria o único elemento estrutural. Verificou-se que este, embora fosse exeqüível, resultava numa considerável acumulação de esforços na zona de transição das “gotas” de água. Um dos

pontos fortes desta solução seria a possibilidade de produzir a quase totalidade dos elementos off-site (em fábrica), sendo depois transportado para o local por helicóptero.

Durante a execução, verificou-se que o resultado do conjunto não apresentava a robustez arquitetônica necessária, principalmente na ligação entre as unidades acrílicas, que havia sido prevista com elementos de madeira.

Estudou-se posteriormente uma nova solução em que os elementos de interligação seriam elementos principais da estrutura, denominados por “costelas”. A reavaliação estrutural comprovou a viabilidade desta solução, optando-se por uma estrutura em alumínio (previamente pensada para suporte durante a montagem), estabilizada por elementos transversais e confinada pelas unidades acrílicas exteriores.

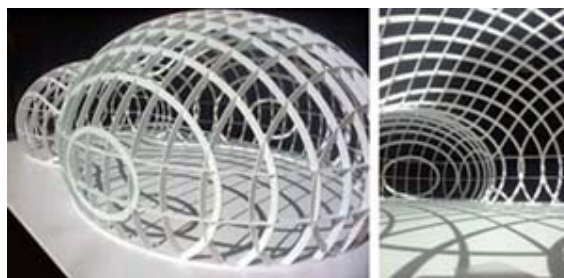


Figura 4: Estudo da parte estrutural

A fabricação das “costelas” foi efetuada em máquina de CNC de 3 eixos, por corte. Devido a razões econômicas (espessura da chapa de alumínio a cortar) e comerciais (dimensões disponíveis), decidiu-se por perfis acoplados em três camadas de 8 mm, formando uma secção de 230 X 24 mm. Cada pórtico é composto por três unidades aparafusadas entre si, transmitindo os esforços diretamente às fundações através de ligações mecânicas.

O processo de fabricação das unidades acrílicas dividiu-se em duas fases: a execução dos moldes em espuma de poliuretano (por desgaste) e a produção das peças da superfície exterior. Os abaixamentos do material acrílico foram obtidos por um processo térmico, adotando a forma dos moldes. As peças têm uma dimensão média de 1 – 1,7 m<sup>2</sup> e uma espessura de 10 mm. Foram fixadas à estrutura por intermédio de peças de interligação, aparafusadas no topo dos perfis entre os painéis, assegurando alguma mobilidade ao conjunto.

O sistema de construção permitiu que o edifício fosse transportado em peças e montado na obra, resultando a possibilidade de desmontar e reinstalar noutra local.

### **3. Fluid Vehicle – Abrigo para passageiros de ônibus**

Projetado pela equipe NIO Architecten, o abrigo de ônibus em Hoofddorp (Rotterdam, Países Baixos) foi executado graças à colaboração de diversas disciplinas, aplicando métodos de construção inovadores. O orçamento disponível significa que jamais poderia ser construída usando técnicas tradicionais.



Figura 5: foto noturna do abrigo de ônibus

O abrigo para passageiros encontra-se numa zona de passagem, rodeado por viadutos de circulação de veículos em alta velocidade, inserido no parque de um hospital. Procura, através da sua forma escultural e diferenciada, constituir-se como um elemento polarizador, juntando os serviços de ônibus locais e criando uma pequena praça com caráter próprio.

A sua forma curva e alongada, permite o abrigo dos passageiros e nela estão inseridos os bancos de espera, bem como a iluminação e outras funcionalidades. Contém no seu interior serviços e uma pequena área de descanso para os condutores. A sua forma, faz-nos pensar que caminhamos dentro do estômago de uma grande baleia.

### 3.1 Desenvolvimento do projeto

A forma orgânica do projeto relaciona os percursos e eixos de visão dos usuários. Os abrigos e os bancos estão virados para o acesso dos ônibus, conforme os acessos de desembarque ou embarque. Assim, em vez de linhas de simetria entre as elevações frontal e posterior, faz mais sentido falar numa relação dinâmica do próprio edifício e o observador, podendo-se considerar uma relação contínua em movimento. Daí o nome do projeto: Fluid Vehicle.

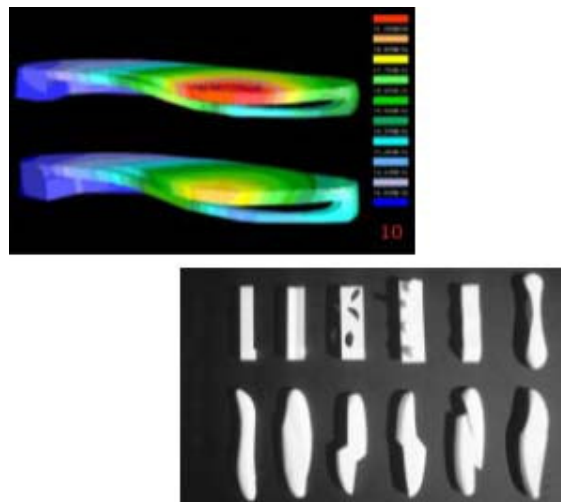


Figura 6: *Fluid Vehicle*, diagramas e maquetes de desenvolvimento

### 3.2 Concepção estrutural e produção

Para a concepção deste projeto, a equipe de NIO Architecten procurou estabelecer uma forma contínua, em que os elementos horizontais e verticais se fundem entre si, resultando numa estrutura única e solidária sem qualquer apoio intermédio (vão máximo de 32 m). A pele assume-se como elemento estrutural preponderante.

O edifício é completamente feito de espuma de poliuretano expandido (EPS), revestido com polyester e é, como tal, a maior estrutura sintética do mundo (51 X 10 X 5 m). Surge assim a necessidade de caracterizar os novos materiais constituintes e enquadrá-los nas normas aplicáveis para estruturas.

Segundo os engenheiros deste projeto, o EPS funciona apenas como preenchimento, não contribuindo desta forma para a resistência do conjunto. A casca em polyester, com espessura de 5-8 mm, absorve a totalidade das tensões geradas pela pressão do vento, sobrecargas devidas à neve e outras ações consideradas no cálculo. Foi otimizado o raio correspondente às zonas de transição da superfície arquitetónica, de forma a limitar as tensões excessivas que ocorreriam para raios inferiores a 100 mm. Quanto menor é o raio, maior será a força aplicada. O cálculo estrutural foi efetuado no software Pro-Engineer combinado com o Pro-Mechanica, através do método de elementos finitos.

Toda a estrutura foi produzida em fábrica através de máquina CNC de cinco eixos.

A grande, mas leve estrutura foi transportada para o local desmontada em módulos, para lá serem montados por colagem. Posteriormente, foi realizada a ligação da estrutura às fundações. As fundações consistem em estacas, ligadas entre si por uma viga de coroamento. A sua função, além de absorver as cargas da estrutura, é de evitar que esta voe sob a ação do vento.

Por último, a estrutura recebeu o revestimento final multifuncional, uma segunda camada de polyester, cuja função foi testada para proteção contra pinturas em grafite e outros atos de vandalismo, servindo de acabamento (calafetar as juntas de colagem) e proteção contra as ações climáticas, como se tratasse de uma “prancha de surf”.

## 4. As formas livres do Museu de Guggenheim de Bilbao



Figura 7: Museu Guggenheim, Bilbao, Espanha

O Museu de Guggenheim Bilbao foi desenvolvido pela a equipe de Frank Gehry. Ele foi construído no final dos anos 90. O edifício é composto de uma série de volumes interconectados, e foram utilizados como materiais a pedra calcária, vidro e revestimento metálico (titânio).

Devido à complexidade da forma do museu, foram projetados com recursos informatizados, as partes curvas de pedra, vidro e titânio. A cortina de vidro das paredes foram especialmente tratadas de forma que a luz natural não danificassem os trabalhos, enquanto que os painéis metálicos que recobrem grande parte da estrutura são folhas de titânio de meio milímetro.

#### **4.1 Desenvolvimento do projeto**

O software utilizado para simulação foi o CATIA, Machado, (2002). Sua vantagem é permitir a modelagem de formas altamente complexas. Primeiramente são feitas as maquetes de papelão para em seguida serem digitalizadas. Esta etapa produz uma série de pontos na tela do computador que juntos criam a forma na qual aparentemente se assemelham a forma do modelo físico.



Figura 8: Maquete sendo digitalizada

Basta movimentar uma caneta a laser – parecida com as utilizadas pelos neurocirurgiões – na superfície dos modelos de papelão para que o computador mapeie suas coordenadas e, a seguir, criar o esqueleto do prédio e calcular os componentes com tal precisão que, mesmo que cada peça tenha forma diferente, o conjunto se encaixe como um quebra-cabeça.

#### **4.2 Concepção estrutural e produção**

Para a concepção estrutural deste projeto, a equipe de Gehry procurou estabelecer uma estrutura primária mapeando o esqueleto de aço da edificação.



Figura 9: A estrutura secundária suporta por baixo da camada de aço do sistema de cobertura.

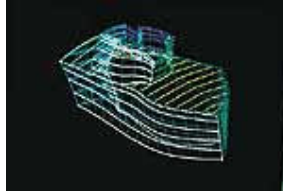


Figura 10: Em seguida é feita uma análise de curvatura das chapas para orçamento.

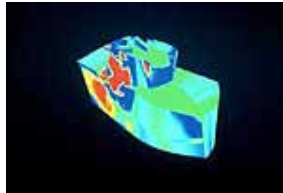


Figura 11: Análise das curvas dos painéis.

É feita para determinar se os painéis de metal vão aderir bem ou se eles precisam ser prensados de uma forma especial para aderir a uma determinada curva. Depois desta etapa é feito o desenho para execução e aquisição dos materiais, onde o programa CATIA de modelagem tridimensional no computador, é usado para gerar os desenhos de compra do aço.

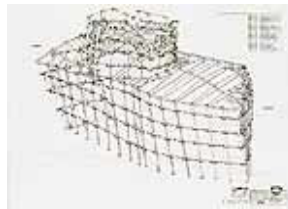


Figura 12- Dimensionamento dos painéis.

## 5 Conclusões

Os novos meios tecnológicos permitem projetar formas complexas e os exemplos citados não representam um paradigma perfeito, mas apontam novos caminhos que certamente evoluirão, enriquecendo novos conceitos.

Segundo HENRIQUE e Esteves (2005), estes tipos de processos construtivos baseiam-se no conceito de pré-fabricação diferenciada, na qual o limite da forma será o limite da mente. Conseqüentemente, a flexibilidade da arquitetura e da engenharia, aumenta significativamente, sendo mesmo, nos casos estudados, impossível de atingir os mesmos resultados com as técnicas de desenho convencional.

Não é por acaso que as formas habituais são perfeitamente retilíneas e ortogonais, pois facilitam o processo de construção tradicional com custos otimizados. Esta tecnologia pode implicar uma grande revolução na construção nomeadamente em concreto armado. Neste caso, a concepção/execução digital de geometrias complexas pode diminuir significativamente o custo final, por exemplo, ao diminuir o custo elevado das formas.



A concepção/construção digital integrada é recente. A sua aplicação em projetos de construção deve encontrar futuramente um espaço próprio. Para tal é necessária investigação multidisciplinar, que permita aprofundar o conhecimento das vantagens, limitações e oportunidades, pois constituem uma mudança radical face processo de construção tradicional.

## **Referências**

- [1] Borges, Marcos Martins. **A projeção e as formas de representação do projeto**, Dissertação (mestrado em Engenharia da Produção) - COOPE/ UFRJ, 1998.
- [2] HENRIQUES, Gonçalo Castro & ESTEVES, Luis Pedro . **Artigo - Novos processos de construção em arquitetura.** Arqtextos 060.03, maio 2005 site: [www.vitruvius.com.br/arqtextos/arq060/arq060\\_03.asp](http://www.vitruvius.com.br/arqtextos/arq060/arq060_03.asp)
- [3] KRAFT, Sabine; KUHNERT, Nikolaus; GÜNTHER, Uhlig. *Arch+148*. Aachens, Alemanha, **ARCH + publishing house**, 1999.
- [4] MACHADO, Silvana Rocha Brandão. **Procedimentos de projeto na era digital: um estudo sobre os impactos das novas tecnologias de computação gráfica aplicadas aos projetos de arquitetura e engenharia, 2002.** Dissertação (mestrado em arquitetura) – PROARQ FAU UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.
- [5] MACHADO, Silvana Rocha Brandão & MELUL, Maryse Hanan. **Computação gráfica em escritórios de projetos informatizados** - Rio de Janeiro- editora Braspot, 2005.