GRAPHICA'13
FLORIANÓPOLIS SC
XXI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO
X INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN

PROCESSOS DE ENSINO APRENDIZAGEM DA GEOMETRIA DE SUPERFÍCIES CURVAS EM ARQUITETURA E DESIGN

Janice de Freitas Pires
UFPel, Departamento de Arquitetura e Urbanismo
janicefpires@hotmail.com

Cristiane dos Santos Nunes
UFPel, GEGRADI
cristiane_sn@hotmail.com

Adriane Borda Almeida da Silva
UFPel, Departamento de Arquitetura e Urbanismo
adribord@hotmail.com

Felipe Etchegaray Heidrich
UFPel, Departamento de Arquitetura e Urbanismo
prof.felipe@hotmail.com

Resumo

Propostas projetuais de arquitetura e design cada vez mais têm se destacado pela adoção de formas complexas. Nesse contexto, a geometria passa a ser um elemento importante como conhecimento para apoiar o desenvolvimento de tais propostas. Neste trabalho, com interesse didático, realizam-se exercícios de reconhecimento da geometria de formas curvas, através da análise e geração de objetos de arquitetura e design, voltados para contextos de formação e aperfeiçoamento profissional em tais áreas. As etapas do trabalho contam com a identificação de referenciais sobre os tipos de superfícies curvas e configuração de processos de representação gráfica digital para estas superfícies, a identificação de um conjunto de obras de arquitetura e design associadas às superfícies curvas, o reconhecimento de processos de representação gráfica digital das obras com tais superfícies, e o reconhecimento de processos de transformação da forma a partir das obras representadas, como maneira de incentivar processos criativos. Esta proposta didática tem o interesse de ampliar o conhecimento das formas curvas com o objetivo de construir um referencial de geometria para o projeto de arquitetura e design.

Palavras-chave: geometria, superfícies curvas, obras de arquitetura e design, representação gráfica digital, projeto de arquitetura.

Abstract / resumen

The knowledge of geometry has been an important element of projective processes to support architecture that are characterized by the adoption of complex shapes. In this work, with interest didactic exercises are held to recognize the geometry of curved forms, through the analysis and generation of objects of architecture and design, focused on contexts of training and professional development in such areas. Job steps rely on the recognition of types of curved surfaces and configuration processes for digital imaging these surfaces, the identification of a set of works of architecture and design associated with curved surfaces, the recognition process of digital imaging works of architecture and design with such surfaces, and recognition of transformation processes of shape from works of architecture and design, as a way to encourage creative processes. Thus reaffirms the importance and interest to dispose of Geometric Modeling in practice it is possible to construct a reference geometry for the design of architecture and design.

Keywords: geometry, curved surfaces, works of architecture and design, digital graphic representation, architectural design.

1 **Introdução** (título à escolha do autor)

Propostas projetuais de arquitetura e design têm cada vez mais sido caracterizadas pela adoção de formas complexas, configurando novos objetos os quais, embora de uso habitual, têm adquirido formas e funções inovadoras. Nesse contexto, a geometria passa a ser um elemento importante como conhecimento para apoiar a criação de tais tipos de produtos. Diversos autores sistematizaram o conhecimento de arquitetura enfatizando a importância da geometria, ao longo da história, para a concepção da forma (ROWE, 1999; BAKER, 1991; LE CORBUSIER, apud BAKER, 1991; REIG, 1999).

Em trabalho anterior (Pires, 2010) destacou-se a importância da geometria como base conceitual para estabelecer processos projetuais de arquitetura, principalmente quando o objeto arquitetônico é caracterizado a partir de formas complexas.

No referido trabalho também se observou que a Arquitetura contemporânea tem se utilizado cada vez mais de formas complexas, apoiando-se nas tecnologias digitais de representação, as quais permitem um maior controle da forma. Destacou-se especialmente, quanto à apropriação destas tecnologias, sobre a necessidade de abarcar um conhecimento mais específico de geometria, para poder gerar e representar formas complexas.

O avanço das tecnologias digitais tem permitido cada vez mais um maior controle dos meios de representação e previsão da forma arquitetônica, acompanhado da viabilidade material e estrutural para executá-las. Frente a isto, em contextos didáticos, existe a necessidade de promover exercícios de análise de projetos de arquitetura apoiados em um conhecimento prévio de geometria. Considera-se que a atividade de

representação gráfica digital ou modelagem geométrica configura-se como importante estratégia para construção/ampliação de um conhecimento geométrico.

Em Pires et al (2011), configurou-se uma proposta didática a qual, a partir de um referencial sobre conceitos e classificação de superfícies curvas, buscou promover o reconhecimento dos processos de geração de superfícies complexas em obras de arquitetura. Neste trabalho descreve-se uma evolução deste estudo anterior, realizando-se exercícios didáticos que além do reconhecimento da geometria de formas curvas, através da análise e da representação gráfica digital, incluem atividades de criação de objetos de arquitetura e design, voltados para contextos de formação e aperfeiçoamento profissional em tais áreas. A presente proposta tem o objetivo de, através de práticas de Modelagem Geométrica, ampliar referenciais de geometria para o projeto de arquitetura e design.

2 Modelagem geométrica como conhecimento da geometria da forma

Pottmann et al (2007) sistematiza um conhecimento de representação gráfica digital associado à prática de arquitetura, demonstrando como estes novos conceitos passam a permear a atividade de representação arquitetônica. Estes autores consideram que tais conceitos atribuem maior liberdade à geração e ao controle da forma, principalmente por trazerem a possibilidade total de visualização dinâmica no ato da exploração/transformação da mesma. Destacam também que os processos digitais exigem um aprofundamento em conceitos e procedimentos geométricos, permitindo representar uma classe abrangente de formas, desde as poliédricas e quádricas até formas livres e fractais, por mais complexas que sejam. Tais autores constituem um discurso didático, defendendo que os processos de projeto em arquitetura, para poderem se valer amplamente das possibilidades disponibilizadas pela tecnologia informática, necessitam de uma sólida compreensão da geometria da forma. Desta maneira proclamam a ampliação do ensino da geometria, considerando que este não tem se utilizado dos avanços das tecnologias de representação gráfica digital.

Exatamente estas questões promoveram a delimitação de uma metodologia para atividades de ensino/aprendizagem de representação gráfica digital descrita em PIRES et al, 2011, sendo esta utilizada como referencial teórico e metodológico para o desenvolvimento da proposta didática deste trabalho.

3 A caracterização da forma geométrica em arquitetura e design

A proposta didática ficou configurada pelas etapas já estabelecidas em PIRES et al, 2011, tais como: Revisão, na qual foram identificados referenciais que tratam de superfícies curvas (RODRIGUES, 1960), e os seus processos de representação

gráfica digital (Pottmann et al, 2007; Mitchel, 2008); Identificação de um conjunto de obras de arquitetura e design associadas às superfícies curvas; Reconhecimento de processos de representação gráfica digital de obras de arquitetura e design; Adicionando-se então a etapa de Experimentação de processos de transformação da forma geométrica de obras de arquitetura e design.

3.1 Revisão

Identificação de referenciais sobre superfícies curvas: A classificação dada por Rodrigues (1969) e seus aspectos conceituais foram adotados como parâmetros para o reconhecimento de processos de modelagem de formas curvas. Estes parâmetros também foram adotados para a identificação destas formas em objetos reconhecidos de arquitetura e design, assim como para guiar os processos de geração de novos objetos.

Rodrigues (1969) configurou uma classificação para tipos de superfícies curvas (figura 1). Este autor reuniu tais superfícies a partir de características comuns que identificou, distribuindo-as em grupos e classes, de acordo com os tipos de entes geradores e as leis ou regras de geração comuns a estas superfícies.

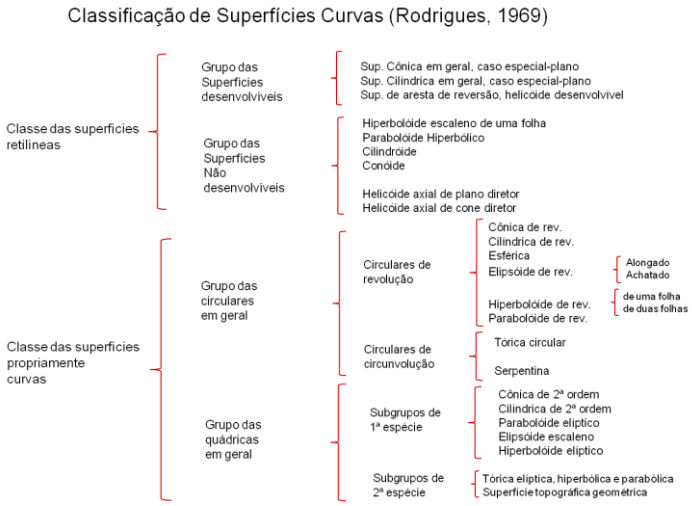

Figura 1: Classificação de superfícies curvas, segundo Rodrigues (1969).

Para o referido autor, as superfícies da classe retilíneas são geradas por linhas retas, e os grupos que as compõem são caracterizados pela possibilidade de planificação da superfície. Este tipo de classificação está associado à posição relativa entre suas retas geratrizes. Superfícies como as ilustradas na figura 2a, definidas como cilíndrica geral e cilíndrica de revolução, possuem o atributo de forma planificável ou desenvolvível (RODRIGUES, 1969).

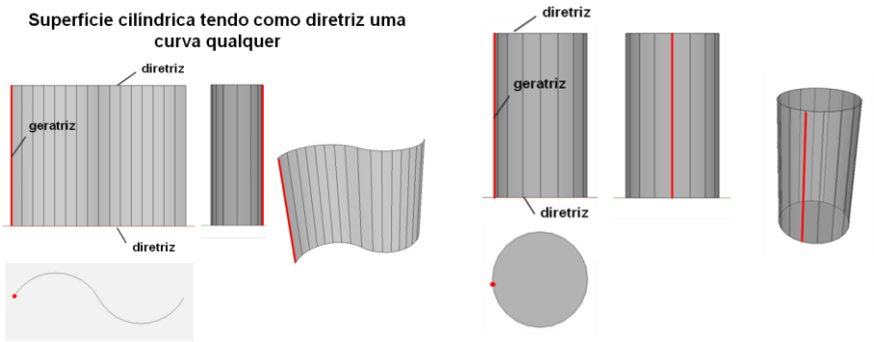

Figura 2: a) Esquema gráfico dos elementos principais da Superfície Cilíndrica Geral, pertencente a classe de superfícies retilíneas desenvolvíveis, segundo Rodrigues (1969); b) Esquema gráfico dos elementos principais da Superfície Cilíndrica de Revolução, pertencente a classe de superfícies propriamente curvas e circulares de revolução.

Fonte: autores, 2011.

As superfícies conceituadas pelo autor como propriamente curvas são geradas a partir de linhas curvas que se desenvolvem no espaço tridimensional segundo leis específicas de geração. De acordo com os tipos de entes geradores irão configurar os grupos de superfícies circulares em geral, geradas pelo movimento de circunferências, e superfícies quádricas em geral, geradas pelo movimento de outros tipos de curvas. As superfícies circulares e quádricas em geral ainda são distribuídas em subgrupos de acordo com a lei de geração: como superfícies de revolução (figura 2b) e de circunvolução, para as superfícies circulares em geral; e subgrupos de 1ª e 2ª espécies, para as superfícies quádricas em geral (RODRIGUES, 1969).

A configuração de processos de modelagem para os tipos de superfícies curvas: Foram reconhecidos processos de modelagem geométrica para cada tipo de superfície curva, segundo as suas características formais. A sistematização destes processos foi desenvolvida através de duas etapas. Inicialmente, foi voltada aos estágios iniciais de formação em arquitetura. Com este direcionamento, tinha o objetivo de explicitar as técnicas digitais de geração de superfícies curvas e de identificação de processos de modelagem geométrica de obras de arquitetura (Pires et al, 2011), configurando assim um vocabulário preliminar para a formação para a prática projetual. Em uma segunda etapa, constituída nesse trabalho, os processos foram otimizados, com interesse em ampliar o conhecimento sobre as técnicas digitais de geração. Utilizando-se de tais tipos de técnicas que geram dinamicamente modelos complexos, buscou-se um maior investimento na compreensão mais imediata sobre os diferentes tipos de superfícies e suas leis de geração disponibiliza um vocabulário geométrico mais abrangente no sentido de subsidiar processos criativos em arquitetura e design. Nesse momento, este tipo de proposta de otimização dos

processos de geração de superfícies curvas está sendo aplicado tanto em estágios iniciais de formação para a representação de tais superfícies, como em estágios diferenciados. A proposta abrange também atividades voltadas a uma formação continuada para profissionais de arquitetura e design, no âmbito de projetos de extensão, de ensino e em nível de pós-graduação.

Os processos desenvolvidos, em um primeiro momento, eram específicos para uma tecnologia digital que se encontra de acesso gratuito, através da Internet: o Google SketchUp. Esta ferramenta, apesar de apresentar de maneira intuitiva as técnicas de representação, exige desenvolver um número maior de etapas de desenho para configurar a geometria de formas complexas, em comparação com outros programas de modelagem tridimensional. Isto se deve ao fato de que possui um número limitado de tipos de técnicas de geração e parâmetros de manipulação das mesmas.

Os processos desenvolvidos neste segundo momento do estudo buscam gerar os tipos de formas tratadas no referencial teórico através da alteração em parâmetros básicos de primitivas de modelagem e transformações aplicadas a estas. Para tanto, é utilizado o software de modelagem tridimensional 3DMax, o qual permite um maior controle da forma através das técnicas implementadas e de seus parâmetros.

Por exemplo, as superfícies como o cilindro e o cone de revolução (figuras 3a e 3f), junto ao 3DMax, estão disponibilizadas como primitiva de programa. Promovendo-se operações geométricas como seções e simetrias, os estudantes podem manipular e transformar tais superfícies. Pode-se gerar formas retilíneas desenvolvíveis, como a superfície cilíndrica geral (figura 3e) e a cônica geral (figura 3l). Aplicam-se transformações geométricas, tais como o corte (*slice*) de porções da primitiva (figuras 3b e 3g), composição por simetria de reflexão (figuras 3c e 3i) e subtração de faces da superfície (figuras 3 d e 3j). Destaca-se que a transformação de corte é aplicada a partir da alteração de um parâmetro da primitiva de modelagem, o que demonstra o tipo de processo de otimização obtido a partir de esta tecnologia digital.

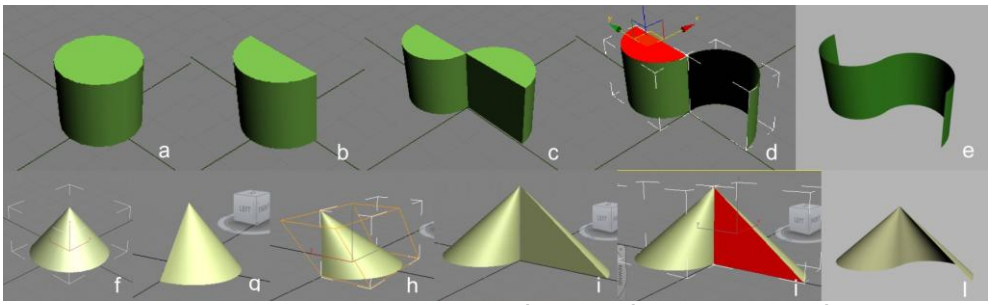

Figura 3: Processos de modelagem de superfícies retilíneas desenvolvíveis, a partir de superfícies de revolução.

Fonte: autores, 2013.

Para gerar a superfície cônica geral ainda é necessária uma etapa intermediária (figura 3h), de aplicação de uma transformação geométrica de deformação, para inclinar o eixo do cone. Para isto, desloca-se seu vértice para uma posição tal que permita configurar a posição de perpendicularidade de uma das geratrizes para com o plano que contém a base do cone.

Também foram exploradas as técnicas de modelagem para as superfícies propriamente curvas de revolução, partindo-se da obtenção e rotação das curvas cônicas, tendo-se os processos ilustrados na figura 4:circunferência, elipse, parábola e hipérbole (figuras 4a, 4b, 4c e 4d, respectivamente), esfera (figura 4e), elipsoides de revolução, alongado e achatado (figuras 4f e 4g, respectivamente), paraboloide de revolução (figura 4h) e hiperboloides de revolução, de uma e duas folhas (figuras 4i e 4j, respectivamente).

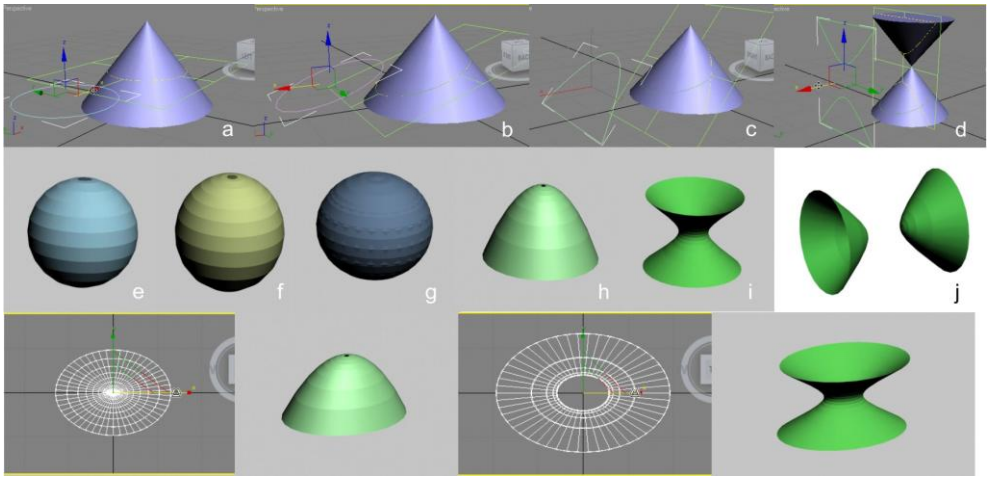

Figura 4: Processos de modelagem de superfícies circulares de revolução e quádricas em geral.

Fonte: autores, 2013.

Aplicando-se transformações de escala não uniforme (Pottmann, 2007), ou estiramento (Mitchell, 2008) geram-se as superfícies quádricas em geral, conforme é ilustrado na terceira linha da figura 4 para os paraboloide e hiperboloide elípticos.

O processo de geração de superfícies de circunvolução (superfícies curvas geradas pelo movimento de uma circunferência em que o seu centro descreve uma curva) é feito com a técnica de extrusão por uma trajetória qualquer. Com esta técnica, uma curva (geratriz) percorre a trajetória (diretriz), configurando uma superfície no espaço tridimensional. Na figura 5 é ilustrado este processo para gerar um toro (figura 5a), embora esta geometria seja disponibilizada como primitiva de modelagem. Da mesma maneira, configura-se uma serpentina (figura 5b), que é gerada pelo deslocamento de uma circunferência em torno de uma hélice. Superfícies quádricas do tipo geral podem ser geradas alterando-se a curva geratriz, porém mantendo-se o tipo

de diretriz e a maneira de geração, por circunvolução. A circunvolução de uma elipse em torno de uma circunferência diretriz gera o toro elíptico (figura 5c), superfície quádrica geral do subgrupo de 2ª espécie. A circunvolução de uma parábola e de uma hipérbole gera respectivamente os toros parabólico e hiperbólico, também quádricas geral do subgrupo de 2ª espécie. Conforme demonstram as figuras 5b e 5d, alterando-se a curva geratriz (neste caso de uma circunferência para uma forma similar à letra "J") e mantendo-se a circunvolução em torno de uma curva hélice, obtêm-se outras superfícies de circunvolução.

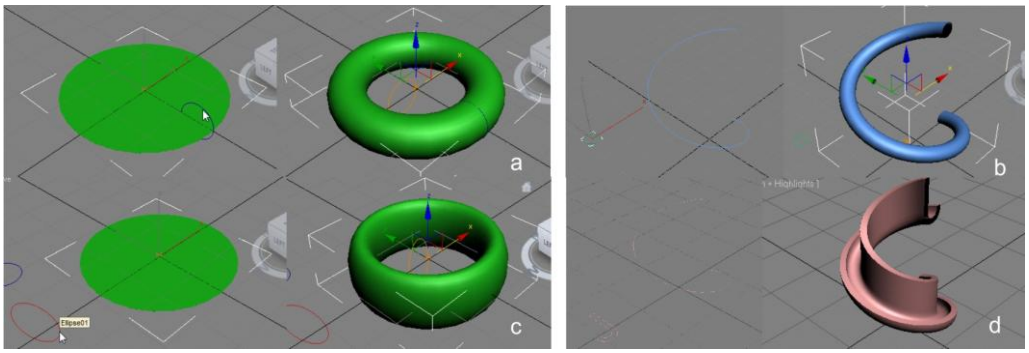

Figura 5: Processos de modelagem de superfícies quádricas em geral e de circunvolução.

Fonte: autores, 2013.

A geração de um helicoide de plano diretor, superfície retilínea não desenvolvível, pode ser dada pela extrusão de um perfil retangular ao longo de uma hélice cilíndrica normal (processo de extrusão com definição de trajetória), como ilustrado na figura 6a. No entanto, esta hélice poderá ser cônica ou esférica, gerando diferentes configurações de helicoides de plano diretor.

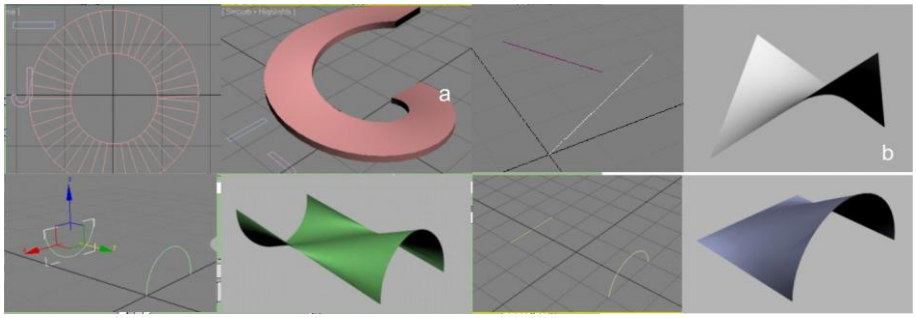

Figura 6: Processos de modelagem de superfícies retilíneas não desenvolvíveis.

Fonte: autores, 2013.

Outro exemplo de superfície retilínea não desenvolvível é o paraboloide hiperbólico. Este é gerado pelo deslocamento de retas reversas apoiadas em um par de diretrizes retas, também em posições reversas, e paralelas a um par de planos diretores. Esta forma pode ser configurada pelo processo de geração de superfícies paramétricas, utilizando-se a técnica de *loft* para o preenchimento do espaço tridimensional entre as retas reversas (diretrizes), através do deslocamento das retas

geratrizes (figura 6b). O mesmo tipo de técnica é utilizado para gerar cilindroides (figura 6c) e conoides (figura 6d), que possuem diretrizes curvas e retas.

3.2 Seleção de obras de arquitetura e design com superfícies curvas

Para sistematizar processos de representação gráfica digital, foram selecionadas em Pires et al (2011) obras reconhecidas de arquitetura. No âmbito do presente trabalho, ampliam-se os referenciais adotando-se obras de design que também se utilizam de superfícies curvas, conforme exemplificado na figura 7.

Figura 7: Exemplos de obras de design com superfícies curvas.

3.3 Reconhecimento de processos de representação gráfica digital de obras de arquitetura e design

São desenvolvidos processos de representação gráfica digital de obras de arquitetura (figura 8) e design através de análises da forma e de seus processos de geração. Após a seleção das obras por cada estudante, é promovida uma análise geométrica, buscando a compreensão sobre o tipo de forma e seu processo de geração, conforme a segunda coluna da tabela da figura 8. Os estudantes, a partir dos processos de representação gráfica digital, reconhecidos na etapa anterior, identificam as hipóteses de geração destas obras e selecionam uma destas hipóteses para representarem digitalmente a obra selecionada. É solicitado também que exercitem o controle dos parâmetros de visualização, explorando diferentes pontos de vista e identificando os sistemas e tipos de projeção nos quais são obtidas as imagens do modelo digital, conforme ilustrado na terceira coluna da figura 8 para cada obra representada.

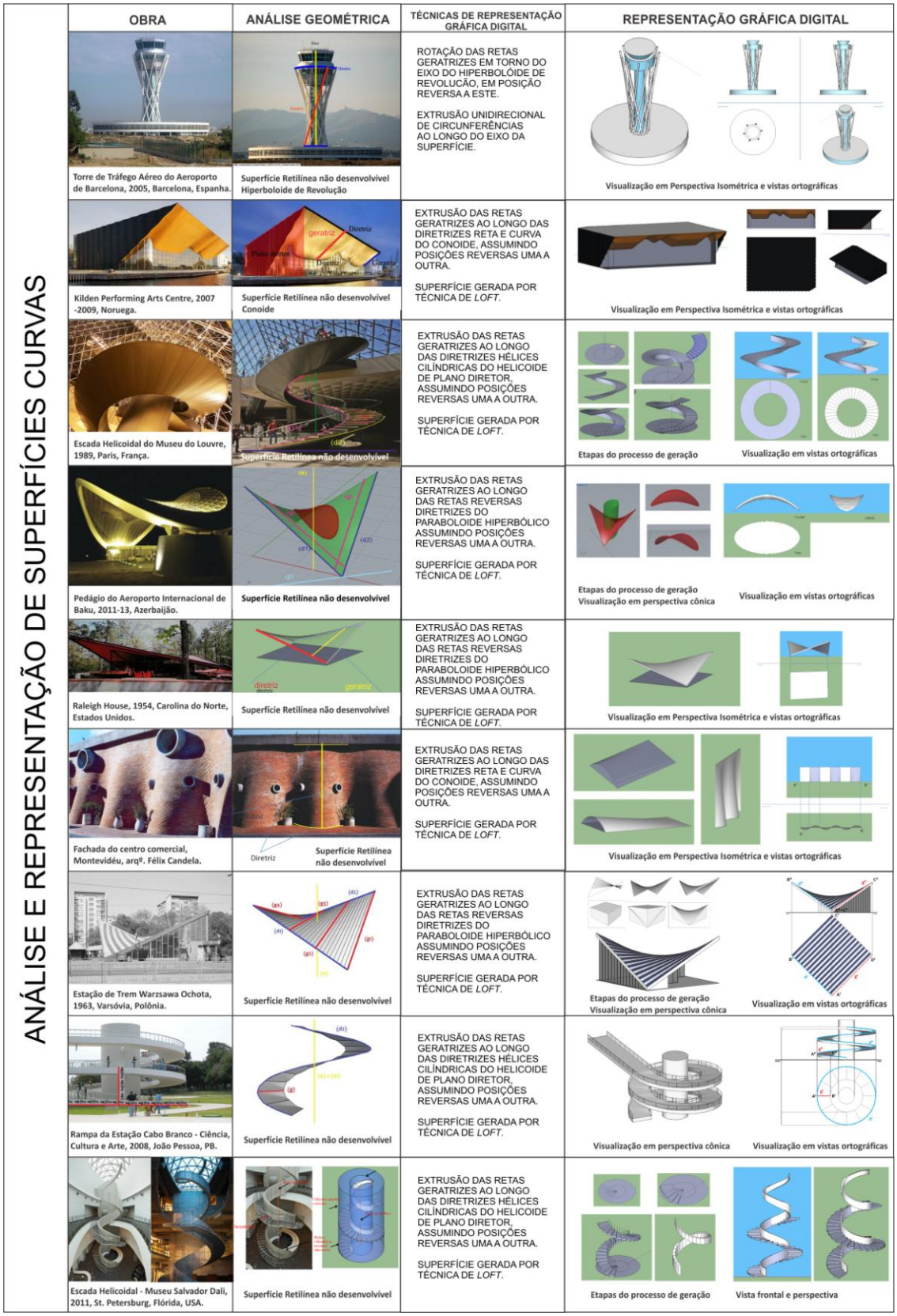

Figura 8: Análise e representação de obras de arquitetura.

Fonte: disciplina de GGD 3, FAURB/UFPel, 1º e 2º semestres de 2012.

3.4 Reconhecimento de processos de transformação da forma a partir de obras de arquitetura e design

Nesta etapa de trabalho, os estudantes são motivados a explorarem as formas estudadas e representadas por meio de processos de transformações geométricas. Utilizando as formas geométricas representadas, ou partes delas, é solicitado que gerem novas formas geométricas, que possam corresponder-se com objetos ou estruturas na escala da arquitetura, do mobiliário, urbanismo e design. A figura 9 ilustra um processo compositivo desenvolvido por estudante entre duas formas geométricas de obras de arquitetura, representadas digitalmente na etapa anterior (linhas 5 e 6 da figura 8). Neste exemplo, o estudante empregou processos de interseção entre as formas geométricas de um paraboloide hiperbólico e dois conoides, gerando uma nova estrutura arquitetônica. Esta, a partir de uma simetria de translação, ficou configurada por uma composição com sobreposição, caracterizando uma nova forma arquitetônica.

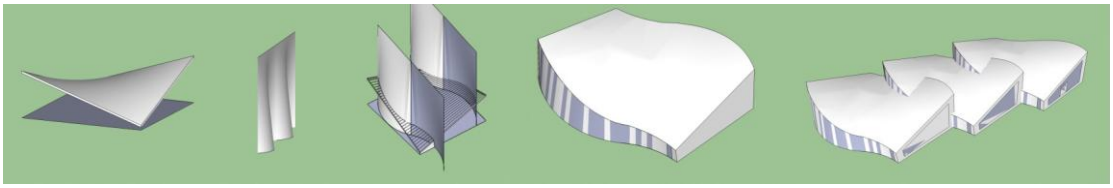

Figura 9: Geração de uma estrutura arquitetônica com superfícies curvas.

A figura 10 ilustra outra forma geométrica configurada na escala do mobiliário urbano, na qual a estudante desenvolveu uma composição por simetria de reflexão aplicada ao paraboloide hiperbólico que conforma a obra representada na linha 7 da figura 8. Foi aplicada uma transformação de escala não uniforme ou estiramento na forma geométrica representada conforme a linha 8 da figura 8, e logo foi feita uma composição por adição destas formas para gerar um abrigo de ônibus.

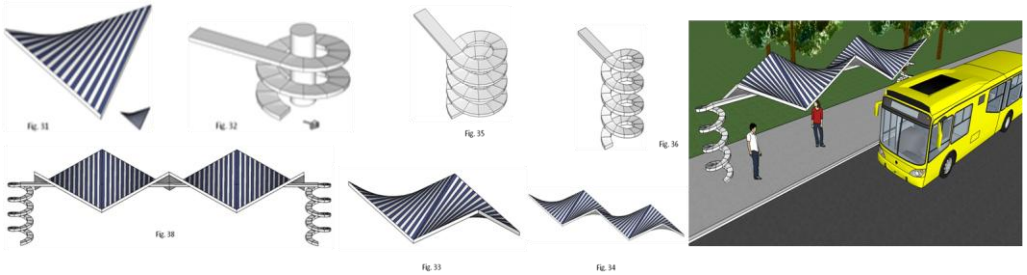

Figura 10: Geração de uma estrutura do mobiliário urbano com superfícies curvas.

Fonte: disciplina de Geometria Gráfica e Digital 3, FAURB/UFPel, 2º semestre de 2012.

A figura 11 ilustra propostas dos estudantes para objetos na escala do mobiliário. Na figura 11a o estudante utilizou uma composição por simetria de reflexão de um conoide da obra exemplificada na linha 1 da figura 8. Utilizou também uma adição ao

hiperboloide de revolução da obra exemplificada na linha 2 da mesma figura para gerar um pé de uma mesa. Na figura 11b a estudante aplicou uma transformação de escala não uniforme ou estiramento ao helicoide de plano diretor da obra ilustrada na linha 3 da figura 8. Caracterizou também uma composição por simetria de reflexão aplicada ao paraboloide hiperbólico da obra ilustrada na linha 4 da figura 8. E, por fim, através da adição de tais formas configurou uma luminária. Na figura 11 c a estudante utilizou uma composição por simetria de reflexão aplicada a um conoide de uma obra de arquitetura, e fechamento por planos para gerar uma lixeira. Na figura 11d foram aplicadas as transformações de escala não uniforme e simetria por reflexão a um helicoide de plano diretor da obra de arquitetura ilustrada na linha 9 da figura 8. Com isto configurou um suporte de tampo de mesa. Ainda, na figura 11e ilustra-se o processo de geração de uma floreira por processos de composição de simetria de reflexão aplicados a um cilindroide, além da adição da forma de um paraboloide hiperbólico, ambos representativos de obras de arquitetura.

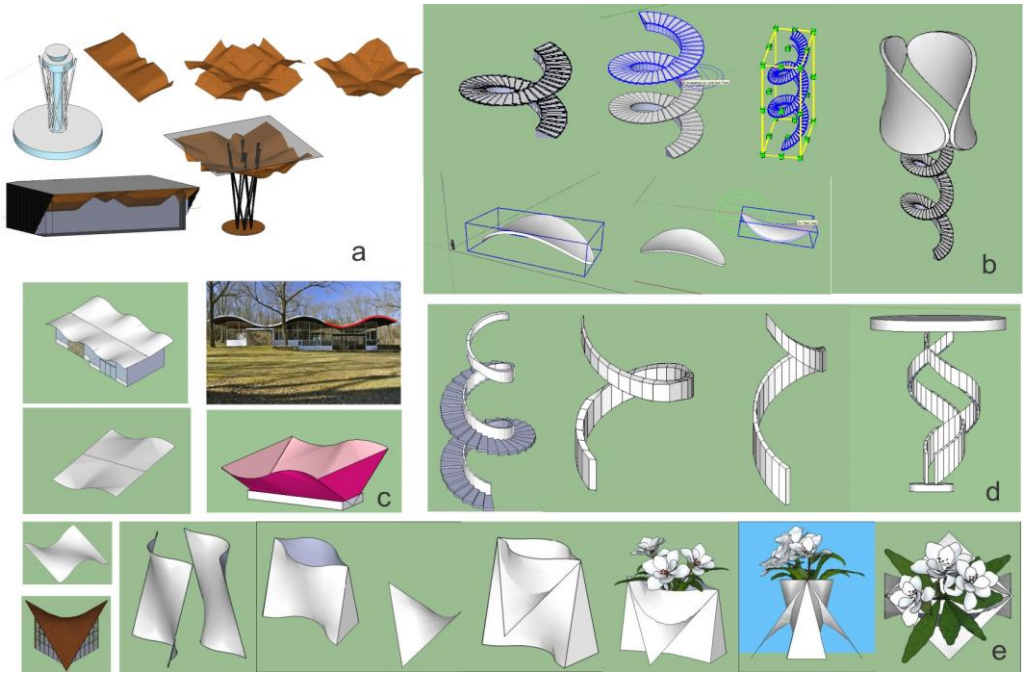

Figura 11: Geração de uma estrutura do mobiliário urbano com superfícies curvas.

Fonte: disciplina de GGD 3, FAURB/UFPel, 1º e 2º semestres de 2012.

4 Conclusão

A partir das atividades desenvolvidas, até o presente momento, foi possível observar que os estudantes sentiram-se motivados durante o processo de aprendizagem das superfícies curvas, devido à possibilidade de aplicarem concretamente tal estudo para a configuração da forma. Os processos de modelagem desenvolvidos pelos próprios estudantes configuram-se como materiais didáticos para a formação em arquitetura e

design. Este tipo de atividade contribui ao propósito de já em estágios iniciais, momento em que os currículos dos cursos nesta área de conhecimento investem em habilitar para a representação gráfica, invista-se também na ampliação do conhecimento da geometria. Considera-se que tal investimento habilite os estudantes para adquirir uma maior liberdade formal para as atividades de projeto.

Agradecimentos

Agradecemos a CAPES pela bolsa de mestrado e ao CNPQ pelo apoio ao Projeto PROBARQ - Produção e Compartilhamento de Objetos de Aprendizagem para o Projeto de Arquitetura, no qual se insere este trabalho.

Referências

BAKER, G. H. **Análisis de la Forma**. Urbanismo y Arquitectura. México: Gustavo Gili, 1998.

MITCHELL, W. J. 2008. **A Lógica da Arquitetura. Projeto, Computação e Cognição.** 1ª ed. Campinas: Editora Unicamp, tradução Gabriela Celani, 303 p.

PIRES, J. F. Construção do vocabulário e repertório geométrico para os estágios iniciais da prática projetual de arquitetura. Pelotas, 2010. 158f. **Dissertação**. (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

PIRES, J. F.; NUNES, C.; VASCONSELOS, T.; SILVA, A. B. A. Trajetórias de Geometria na Arquitetura. In: **XX GRAPHICA SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO**, **20**., e **INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, 9**., 2011, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: UFRJ, Escola de Belas Artes, 2011. p. p. 01-12.

POTTMANN, A.; ASPERL, A; HOFER, M.; KILLIAN, A. **Architectural Geometry**. 1ª ed. Exton: Bentley Institute Press, 2007.

REIG, C. La geometría en la obra de Eduardo Torroja. **Revista de Obras Públicas**. Dez.1999, n. 3393, p. 15-31. Disponível em: <http://ropdigital.ciccp.es/public/detalle_articulo.php?registro=18306 http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1999/1999_diciembre_3393_02.pdf > Acesso em: dez 09

ROWE, C. **Manierismo y Arquitectura Moderna y otros ensayos.** Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1999.

RODRIGUES, Álvaro. **Geometria Descritiva: Projetividades, Curvas e Superfícies.** 1ª ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico Ltda, 1960.