

A IMPORTÂNCIA DAS REFERÊNCIAS CIRCULARES, AÇÕES COLABORATIVAS, PROJETO DIGITAL E MODELAGEM ARQUITETÔNICA NO ENSINO DA ARQUITETURA

*Ivan Silvio de Lima Xavier*¹

Resumo. Este artigo apresenta as potencialidades da modelagem arquitetônica no processo de aprendizagem dos Sistemas Estruturais, incorporando novos métodos de aprendizagem e utilizando o processo de referências circulares. A baixa qualidade dos projetos, em termos de *design*, representação e compatibilidade, ainda são os principais problemas na nossa arquitetura. Apesar do CAD, BIM e outros softwares de modelagem, erros são detectados em muitos tipos de projetos (arquitetura, estrutura, instalações prediais etc.). A origem destes ocorre de forma sistemática, devido à falta de conhecimento das possibilidades estruturais e digitais, associada a não valorização dos sistemas de modelagem e às ações colaborativas integradas nesse processo. As experiências e as tarefas realizadas em sala de aula têm como base a literatura de Engel (2001), visitas ao campo e referências projetuais, demonstrando que essa combinação reforça os conceitos teóricos e estimulam a criatividade.

Palavras-chave: Modelagem, Projeto Digital, Ações Colaborativas, referências circulares.

Abstract. This article presents the potentialities of architectural modeling in the learning process of Structural Systems, incorporating new learning methods and making use of circular references processes. The low quality of the projects in terms of design, representation and compatibility are still the main problems in our architecture. Despite of CAD, BIM and other modeling software, mistakes are detected in many types of projects (architecture, structure, building installations etc.). The origin of these mistakes occurs in a systematic way, due to the lack of knowledge of the structural and digital possibilities, associated with the non-valuation of the modeling systems and the collaborative actions integrated in this process, which can be experienced at the beginning of the future architect's training. The experiments and tasks performed in the classroom are based on Engel's (2001) literature, field visits and project references, demonstrating that this combination reinforces theoretical concepts and stimulates creativity.

Keywords: Modeling, Digital Project, Collaborative Actions, circular references.

¹ Departamento de Arquitetura da Escola de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal Fluminense, Niterói. E-mail: ivan_xavier@id.uff.br.

1 Cenário arquitetônico

No cenário arquitetônico, a partir da última década do século XX, em decorrência da introdução de novos instrumentos baseados em tecnologias digitais, começam a surgir projetos com particularidades distintas no sistema de produção. O desenho paramétrico, a fabricação digital, a automação, a aplicação de sistemas responsivos e a possibilidade de simulações tornam-se poderosos instrumentos de inovação tecnológica, os quais ainda não são capazes de transformar as diretrizes dos atuais processos de representação.

O acesso facilitado aos equipamentos de ponta não provocou no ambiente acadêmico a experimentação de processos que utilizem essas tecnologias, ainda que tenham o alcance e o potencial de alterar o discurso arquitetônico e urbanístico do ensino.

As universidades têm aberto o que podemos denominar de “ilha tecnológica” com laboratórios de *design* diferenciado e aparelhos de última geração que compõem um ambiente criativo, oferecendo cursos na área do *design*, tecnologia e gestão. Esses espaços oferecem também criação gráfica, *design* de serviço, *marketing* de relacionamento e *design thinking*, com objetivo específico de aprender de forma prática e acessível as inovações tecnológicas, fundamentais para a ampliação do universo de projeto arquitetônico.

Existe a consciência de que o entendimento deste novo ferramental é capaz de influenciar e alterar a capacidade projetual, modificando os processos de representação e de utilização de materiais, bem como reformulando o processo produtivo e o entendimento da forma arquitetônica.

Essa realidade estabelece um desafio nos sistemas atuais de ensino e pesquisa e nos oferecem os recursos para definir uma nova linguagem de aprendizado na arquitetura.

Alguns desses tópicos de interesses nos envolvem e temos consciência de sua importância. O estudo do desenho paramétrico, desenho generativo, fabricação digital, modelagem paramétrica, desenho responsivo, interação humana-robótica e ambientes de simulação é fundamental no processo projetual.

Verifica-se uma discussão ainda rarefeita e lenta no sentido de incorporar estes processos no ambiente da escola de arquitetura e urbanismo, especialmente quando estes recursos não fazem parte da realidade acadêmica. O desafio foi a implementação de um método a qual denominamos de “*referências circulares*”, que permite o desenvolvimento de uma nova metodologia de ensino de arquitetura, a qual

utiliza a multidisciplinaridade de instrumentos associados a ações colaborativas que geram criatividade e que se retroalimentam.

2 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica relacionada ao artigo encontra em Engel (2001) – Sistemas Estruturais –, a grande base teórica para a realização deste trabalho. A obra descreve de forma detalhada os principais sistemas estruturais (forma ativa, vetor ativo, massa ativa, superfície ativa e sistemas estruturais verticais) e como o entendimento destes contribui no ensino dos sistemas estruturais.

Nessa literatura, diversos exemplos são demonstrados nos cinco sistemas. Além dos conceitos teóricos, a obra demonstra por meio de gráficos e imagens como as forças estruturais se comportam, Engel (2001) fundamenta a base sistemática do aprendizado explicando o que é significado e função, deixando claro que a estrutura ocupa na arquitetura uma posição que executa duas funções: outorgar existência e sustentar a forma, evidenciando que o agente responsável pela arquitetura, seu projeto e sua realização é o arquiteto. O autor relata ainda que o profissional de arquitetura deve desenvolver o conceito de estrutura para os seus projetos em linguagem profissional.

Engel (2001) apresenta os sistemas híbridos, combinados com sistemas de acoplamento. Na conclusão do livro é descrita a forma estrutural, conceituando a geometria e a imagem de forças, as superfícies dobradas e planas, as superfícies curvadas simples em cúpula ou em sela.

Os exemplos de imagens e gráficos de forças foram experimentados pelos alunos no processo de modelagem realizados em sala de aula, ou seja, a prática verifica a teoria e a comprovação é realizada na aplicação do trabalho.

O texto de Rebello (2000) em relação à concepção estrutural e à arquitetura estabelece uma visão geral das relações entre os materiais estruturais (madeira, aço e concreto armado) e as diversas variáveis de sua utilização, como esforços atuantes, formas das seções, forma de obtenção e aplicações.

Outro aspecto relevante do livro é o pré-dimensionamento dos diversos elementos estruturais, bem como o seu comportamento (arcos, vigas, treliças, pilar, laje, associação de cabo, viga Vierendel e pilar, abóbada, cúpula, chapas dobradas etc.), aplicação e limites de utilização.

Em relação à aplicabilidade, o autor define claramente os limites em torno dos intervalos por meio de tabelas de pré-dimensionamento, que ajudam o discente a entender os pontos de aplicação e de dimensionamento máximos e mínimos.

A obra de Rebello (2000) constitui referência importante para o aluno que está iniciando os estudos da concepção estrutural e da arquitetura, revelando a importância do entendimento e da aplicabilidade do pré-dimensionamento, mostrando os elementos constituintes dos sistemas como formadores das composições arquitetônicas.

No texto de Hernandez-Roz (2008) – *O que é estrutura?* –, amplia-se o debate em relação à estrutura e à arquitetura como a ciência das estruturas e a origem do tratamento científico em relação ao problema estrutural, os requisitos estruturais, a estrutura resistente e o desenho das formas estruturais das edificações e a sua complexidade: “o desejo de desenhar estruturas com o menor volume possível de material conduz em geral a desenhos complexos” (HERNANDEZ-ROZ, 2008, p. 19).

O autor apresenta os modelos geométricos superficiais e tridimensionais, estabelecendo as relações entre espaço e movimentos e as suas respectivas deformações. Finalmente, Hernandez-Roz (2008) orienta para o processo de análises, ou seja, a verificação sobre uma estrutura e cada uma de suas partes estarem em equilíbrio. Esta etapa é fundamental, pois instrumentaliza o sistema de modelagem com importante referencial para entendimento dos sistemas estruturais.

O estudo dos sistemas estruturais no curso de arquitetura apresenta lacunas no que se refere ao entendimento dos seus principais conceitos e em muitos casos não incorpora os métodos criativos para este aprendizado; o cálculo estrutural e as referências matemáticas são introduzidas aos alunos do primeiro período em disciplina ministrada pela escola de engenharia. O trabalho de Engel (2001), com a apresentação dos mecanismos *forma ativa, vetor ativo, massa ativa, superfície ativa e sistemas estruturais verticais*, é desenvolvido em sala de aula (Figura 1), sendo a fonte teórica inspiradora para os alunos que obterem uma nova metodologia no aprendizado dos sistemas estruturais na EAU (Escola de Arquitetura e Urbanismo).

Através da modelagem (Figura 2), o estudo mostrou-se mais promissor em relação ao entendimento de como a forma afeta a estrutura e vice-versa, e de como irão ocorrer as deformações devido às cargas atuantes em comparação ao ensino tradicional. A compreensão dos conceitos estruturais permite ao estudante produzir modelos de diferentes formas com segurança, habilidade e agilidade, proporcionando

diversas vantagens no processo de aprendizado, como entender o comportamento do conjunto das forças estruturais.



Figura 1 – Imagem do projeto Bigo Estrutura do Renzo Piano, Porto Velho Genova – Itália e maquete da releitura do projeto.

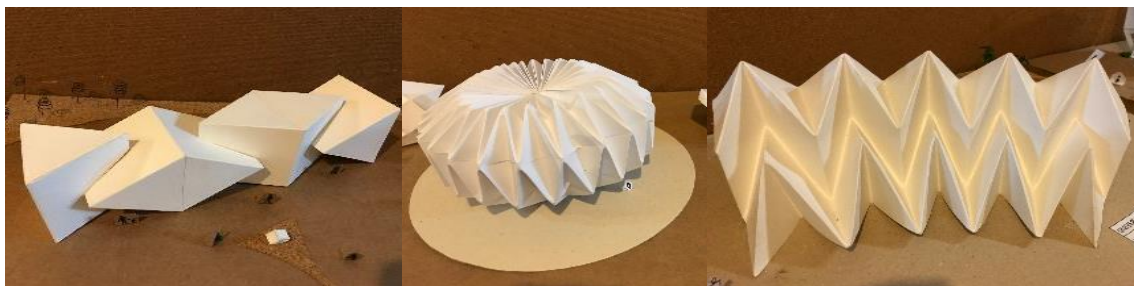


Figura 2 – Maquetes elaboradas em papel (superfície ativa) comprovando requisitos estruturais: resistência, rigidez e estabilidade.

Como declarou Rebello, “Mas o que é a estrutura afinal?”, a estrutura se encontra em todas as áreas de conhecimento humano, e pode ser entendida como “um conjunto de elementos – lajes, vigas e pilares – que se inter-relacionam – laje apoiando em viga, viga apoiando em pilar – para desempenhar uma função” (REBELLO, 2000, p. 15).

Para o aprendizado das estruturas, a realização de desenhos, maquetes (Figura 3) e a interpretação gráfica de projetos em plataformas digitais têm como objetivo mostrar como as forças atuam dentro daquele sistema e as possíveis soluções para eventuais problemas de sustentação, sem perder o partido arquitetônico proposto.

Deste modo é possível o aprendizado por parte dos alunos das diferentes formas que um projeto pode tomar, dependendo do programa que se deseja seguir, da melhor proposta estrutural e da definição estética. De maneira complementar os estudantes do primeiro período se apoiam no conteúdo da disciplina dos Sistemas Geométricos

de Representação que é fundamental para a compreensão e a percepção das formas. Assim, na sistemática do ensino dos sistemas estruturais, somam-se os conceitos de ações colaborativas por meio do compartilhamento das experiências realizadas no ambiente coletivo, contribuindo para a melhoria do desempenho.

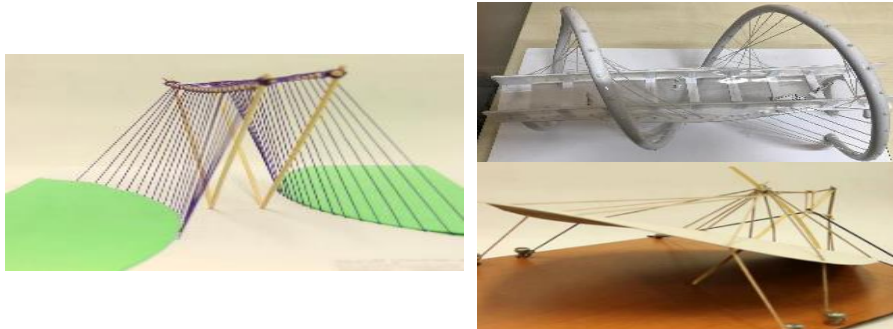


Figura 3 – Maquetes elaboradas a partir do conceito de Forma Ativa.

Conforme declara Rebello, ao abordarmos a integração da modelagem, o projeto digital e as ações colaborativas como uma nova ferramenta de pensar a arquitetura, de forma que não sejam vistos como sistemas separados, mas sim integrados,

Na maioria das vezes, o ensino da estrutura pressupõe que existam duas vertentes de aprendizado: o da arquitetura e o da engenharia, sendo visto, contudo, como um grande equívoco, já que não há dois estudos separados para este mesmo assunto, havendo, talvez, somente uma diferença de aprofundamento (YOPANAN REBELLO, 2000, p. 15-21).

3 Referências Circulares

O exercício do **Ensino Circular** com a aplicação do método de referências circulares tem como primeira finalidade a aproximação dos alunos à problemática estrutural associada à criatividade projetual na concepção do projeto de arquitetura.

No curso da EAU, ocorreu reforma curricular no ano de 2014, na qual novas disciplinas foram implementadas com o objetivo de facilitar o entendimento de determinados conteúdos que antes eram vistos de maneira abstrata. A partir disso, a disciplina de Fundamentos para Modelagem dos Sistemas Estruturais foi incorporada à grade. Sua metodologia consiste na realização de croquis, maquetes e ferramentas digitais que promovem a criatividade e permitem ao aluno compreender o funcionamento das estruturas e de como as cargas se comportam nas mesmas, após o entendimento dos conceitos teóricos.

A primeira leitura e o contato com a teoria dos sistemas estruturais introduz o estudante na discussão sobre o processo de aprendizagem de como atuam os elementos estruturais sobre o projeto arquitetônico, considerando o processo de produção e criação, a partir da percepção do aluno sobre os sistemas estruturais.

Outra atividade realizada é o reconhecimento e observação da arquitetura existente, considerando todos os elementos que compõem o edifício, sua concepção, como ocorreu a sua implantação, o entendimento do sistema estrutural e o uso de todos os elementos que compõem a edificação.

Outro objetivo inserido no exercício é a expressão de diversas formas de registro e compreensão por meio do desenho e as possíveis linguagens de representação da arquitetura no ambiente urbano.

Para alcançarmos os objetivos programáticos expressos, a estratégia didática adotada considera que o aluno precisa, inicialmente, aprender a olhar e a reconhecer os elementos constituintes do edifício. Esta observação deve evoluir para a aplicação das diversas formas de experimentação no processo de criação do projeto associado à aplicação do sistema estrutural. Várias atividades são previstas nas diversas aulas, incluindo levantamentos de campos por meio do desenho, representação gráfica, elaboração de maquetes, modelagem com diversos materiais, projetos eletrônicos, aulas expositivas e seminários interativos.

A tarefa de cada aluno, ora trabalhando em equipe, ora de forma individual, é produzir em cada aula o tema do exercício proposto, usando a liberdade criativa em conjunto com o entendimento dos sistemas estruturais. A representação destas informações é feita por meio da diversidade de materiais na produção das maquetes, que são sempre associadas ao desenho. A expressão é livre e a escolha dos materiais e da linguagem também.

Paralelamente a esse trabalho de construção dos modelos e projetos, os alunos são estimulados a buscar informações e referências de obras similares, com projetos de profissionais que evidenciam as decisões em relação ao ponto de vista da estrutura e da arquitetura.

A experimentação consiste em demonstrar, a partir da teoria dos sistemas estruturais dos edifícios (ENGEL, 2001), como os mecanismos se comportam e suas diferentes tipologias e técnicas no ensino da arquitetura. A técnica se inicia de diversas formas, não existindo modelo previamente definido. As referências circulares são as fontes inspiradoras neste processo, podendo começar por um vídeo de apresentação de uma obra arquitetônica (Zara Hadid Architects – Edifício Bee'ah) ou

uma exibição que demonstre a potencialidade da aplicação do bambu (Elora Hardy: *Magical houses, made of bamboo* - TED) ou, ainda, um conteúdo que forneça um projeto em CAD (Casa Y – Chita, Aichi. Japão). Esses exemplos podem ser explorados para o desenvolvimento da modelagem do sistema estrutural, para a elaboração de modelos de releitura de determinado projeto arquitetônico ou apenas para observar e desenhar o modelo arquitetônico no campo.

Segundo Sennett (2012), o arquiteto Renzo Piano explica da seguinte maneira o seu método de trabalho:

Começamos fazendo esboços, depois traçamos um desenho e em seguida fazemos um modelo, para então chegar à realidade – vamos ao espaço em questão –, voltando mais uma vez ao desenho. Estabelecemos uma espécie de circularidade entre o desenho e a concretização e de volta novamente ao desenho. Sobre a repetição e a prática, observa Piano: É perfeitamente característico da abordagem do artífice. Ao mesmo tempo pensar e fazer. Desenhamos e fazemos. O ato de desenhar (...) é revisitado. Fazer, refazer e fazer mais uma vez (SENNETT, 2012, p. 52).

As referências circulares, ou circularidade, ajuda neste processo onde “o medo de cometer erros é de vital importância em nossa arte (...). Para atingir esta meta, o processo de trabalho precisa fazer algo que desagrade à mente organizada: conviver temporariamente com a bagunça” (SENNETT, 2012, p.181).

O exercício é contínuo na sala de aula, laboratório e no campo. A cada semana há um novo desafio. O produto de cada aluno nesta etapa busca uma personalidade própria, uma marca registrada, um *design* novo e inspirador. Se a nossa atividade fosse somente pautada pelo CAD estaríamos remontando alguns problemas básicos ligados inicialmente pela subutilização do *software*, como a dificuldade da compreensão entre as diversas etapas do projeto e a visão limitada da imagem na tela com os efeitos do *zoom* que escondem os problemas e as falhas de projeto.

Também podemos citar os diferentes pontos de vista pelo “girar da imagem”, como as falhas de precisão pela inserção dos pontos referenciais, que aparentemente podem estar corretos, mas que no detalhamento do *zoom* nos mostra imprecisão. Outro fator relevante é a desconexão que envolve a avaliação das proporções que se apresentam na tela do projetista pelo manuseio das possibilidades de uso de diferentes escalas e que jamais será substituído pela observação de alguém que está no campo, que executa o desenho e que constrói o modelo, ou seja, o que aparece na tela representa soluções que nunca se verificarão na visão experimentada do campo e do modelo.

A experimentação da circularidade no ambiente do ensino da sala de aula possibilita a interação e a troca entre os indivíduos, no nível das experiências e dos resultados. O trabalho final da disciplina exige o modelo, a apresentação digital e verbal, o conhecimento da teoria da concepção estrutural e as referências arquitetônicas e bibliográficas, além do registro de todo o processo de realização. Todo o desenvolvimento é interativo e a criação dos grupos gera criatividade.

Os procedimentos metodológicos para aplicação do Ensino Circular consideraram as etapas de trabalho descritas a seguir. A primeira tarefa foi a apresentação aos alunos sobre a teoria da modelagem dos sistemas estruturais, tomando como referência a literatura de Engel (2001). Na etapa seguinte, estimulamos a realização de pesquisa bibliográfica de referências arquitetônicas. Na sequência, os alunos foram convidados a desenhar, estimulando-os a utilizar o repertório inicial, pessoal e o conhecimento adquirido nas atividades anteriores. A última etapa deste processo constituiu na elaboração da modelagem manual, associada ao modelo digital, com escolha livre e direcionado para um determinado material. A forma como essas fases ocorreram em sala e/ou campo considerou a teoria ensinada na primeira etapa da aula, após a assimilação destes conceitos, e, em pequenos grupos, se debateu a respeito da melhor técnica para o desenvolvimento do modelo final.

O desenvolvimento metodológico compreendeu quatro etapas básicas no processo denominado **Ensino Circular**: *Entrada, Atividade Inicial, Ampliação repertorial, Uso e Experimentação* (Figura 4). Essas etapas se fazem necessárias ao aprendizado e ao sucesso do trabalho, já que na etapa *Entrada* temos o repertório inicial e informal do estudante. Na segunda etapa, *Atividade Inicial* ocorre a apresentação do objeto e objetivos da ementa da disciplina e a teoria relacionada ao objeto de trabalho. Na *Ampliação Repertorial* é realizado a apresentação do tema do exercício para os sistemas estruturais através de apresentação de vídeos, consulta a sites e pesquisas bibliográficas; na sequência é efetuada visita ao campo – que pode ser um museu, uma instalação, o campus universitário, etc.; edifícios que exemplificam os diversos sistemas estruturais. Na última etapa *Uso e Experimentação*, elaboramos uma sequência de desenhos em função do repertório adquirido juntamente com a teoria apresentada, associada a elaboração da modelagem, ou vice-versa, podendo iniciar pelo modelo manual e depois pelo desenho.

Esta decisão é tomada de forma coletiva, e/ou de forma individual, podendo ser realizada simultaneamente, não existem regras. A cada fase podemos introduzir uma ferramenta nova, um material inusitado e um novo desafio. Nesta fase também

realizamos a modelagem digital, com a utilização de aplicativos de representação digital de forma livre (SketchUp, CAD, Revit etc.). Aqui o sistema também poderá ser invertido, iniciando com as ferramentas digitais, passando pela modelagem e concluindo com o desenho. Na ultima fase, ocorre a saída dos diversos produtos, podendo estes ser de caráter individual, em grupo ou coletivo, em função da definição do tema e da teoria a ser experimentada, conforme citado. O cenário do trabalho é criado tendo como pano de fundo as ações colaborativas desenvolvidas entre todos os integrantes do processo.

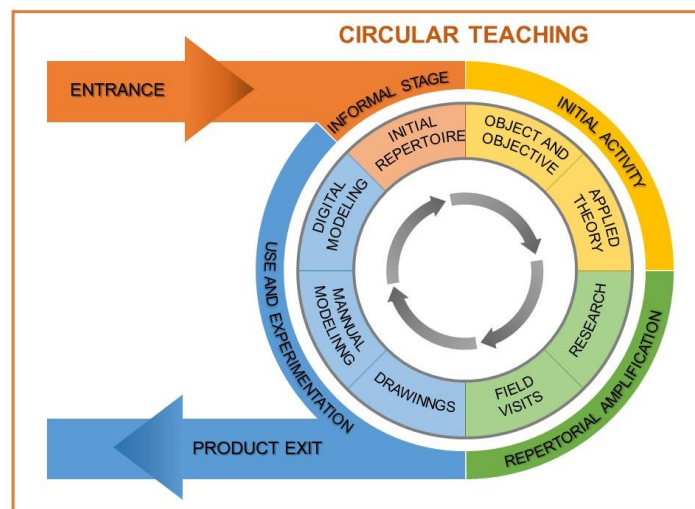


Figura 4 – Gráfico de ensino circular e as referências circulares.

4 Ações colaborativas

No desenvolvimento do **Ensino Circular** a abordagem fundamental e mais importante é a troca de experiências entre todos os participantes, onde o uso do instrumental é de livre escolha e os materiais de modelagem e de representação gráfica também são livres. Na atualidade, o uso das *Ações Colaborativas* já é consenso nos grupos de profissionais e de empresas que compartilhem conhecimento sobre determinada área específica e/ou situação problemática, sendo que os participantes esperam realizar as melhorias com base no que aprenderam com o grupo (BOXWELL, 1994). O compartilhamento de conhecimento por meio do *benchmarking colaborativo*² é

² O Benchmarking colaborativo é um processo de investigação em que uma empresa ou grupo de pessoas determina, de forma sistemática, o desenvolvimento de conhecimento através da troca de experiências entre os participantes, gerando inovação e dando transparência ao processo. Estabelece um ambiente aberto, igualitário e de confiança, principalmente para gerar compromissos entre os participantes.

fundamental para o desenvolvimento de indicadores, permitindo comparação de desempenho, compartilhamento de práticas relativas ao processo projetual, processos gerenciais e de indicadores nas ações relativas ao projeto arquitetônico, construção e sustentabilidade.

A criação de grupos colaborativos pode ser centrada tanto nos indivíduos participantes quanto nas empresas e instituições. Um exemplo é o processo projetual por meio de redes sociais na *internet*, em que é possível receber sugestões de ideias úteis para a concepção e necessárias ao processo de criação; formas e modelos de representação; elementos técnicos projetuais; tecnologia a ser utilizada e sistemas de planejamento, gerenciamento e sustentabilidade.

As ações colaborativas possibilitam a constituição de todas as atividades inerentes à criação de toda a infraestrutura necessária, pela apropriação de materiais locais, sistemas eficientes para construção de equipamentos solares, sistemas alternativos de saneamento, reciclagem e abastecimento de água, reaproveitamento de rejeitos da construção civil e beneficiamento da matéria prima local, além de modelos inovadores para a aquisição e compartilhamento do conhecimento.

Nestes grupos de *benchmarking* também está presente a concepção de projetos de *design* inteligente, implementação e avaliação. Com a adoção destas ações, associadas ao processo de modelagem, representação gráfica digital e desenvolvimento tecnológico, são gerados conhecimentos e inovações, trazendo transparência ao processo, estabelecendo um ambiente aberto, igualitário e de confiança para as trocas e principalmente gera compromisso entre os participantes.

O processo de aprendizado com a realização de tarefas em grupo e por meio de ações colaborativas (Figura 5) já é utilizado em outros ambientes acadêmicos. A Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (PERRONE, 2014), utiliza este processo para incorporar a leitura, a percepção e a representação da configuração da cidade, junto com a compreensão da constituição de suas edificações, ambientes, paisagens e seus elementos determinantes, além de introduzir a discussão dos processos e dos agentes produtores do espaço urbano na cidade de São Paulo.

Neste processo, cada equipe levantou o perfil longitudinal em ambos os lados do percurso, registrando os elementos constituintes da cidade em trabalho integrado, resultando em representação feita em desenho único e em papel alongado, onde o foco principal de expressão é a impressão dos alunos registrada no desenho. No exercício, a expressão e a escolha da linguagem foram livres. Paralelamente a esse

trabalho os alunos são estimulados a buscar informações históricas, demográficos e socioeconômicos por meio da troca de informações e experiências. O exemplo nos mostra por meio das imagens as fases de utilização das trocas e experiências, demonstrando a importância das ações colaborativas.



Figura 5 – Imagens de desenho em papel único e imagem de observação – FAU-USP.

5 Modelagem arquitetônica

A aplicação da modelagem arquitetônica nas atividades coletivas em sala de aula (Figura 6) é o momento crucial para o verdadeiro entendimento do conteúdo teórico. O procedimento metodológico consistiu na aplicação do método de referências circulares. É através dos materiais escolhidos, da concepção gráfica do projeto e do modo como as amarrações, articulações e a fixação do projeto à base são feitas que a forma arquitetônica é organizada no espaço disponível, seguindo os parâmetros estruturais propostos.



Figura 6 – Maquetes de bambu elaboradas no exercício de Vetor Ativo.

O modelo elaborado serve para o aluno verificar a estabilidade e a eficiência de seu projeto. É o momento de tensão, experimentação e medo. A constatação realizada no ambiente se caracteriza pela apreensão e muitos discentes acreditam que o produto não sairá do papel. A circularidade desenha, experimenta, desmancha, redesenha e constrói várias vezes – o medo é eliminado e a criação surge! É o êxtase!

Trata-se de um intenso exercício de tentativa e erro que acontece devido a distribuição de forças ao longo do sistema criado, considerando que as cargas simuladas nos modelos irão se comportar diferentemente, de acordo com o tipo de estrutura estudada. Dessa maneira, a disciplina fornece uma base de como tais formas se comportam na construção real.

É de máxima importância, portanto, que qualquer um preocupado com o desenho de estruturas deva ter a habilidade de visualizar como uma estrutura irá se comportar em um determinado cenário de circunstâncias, e como a forma da estrutura irá influenciar este comportamento. O estudante deverá desenvolver um sentimento intuitivo para o comportamento estrutural, fazendo com que todas as escolhas importantes sejam tomadas corretamente em relação a forma estrutural a ser usada (Figura 7). O resultado satisfatório de um projeto em termos da estética, economia e segurança depende desta importante decisão (HILSON, 1993, p. 3).

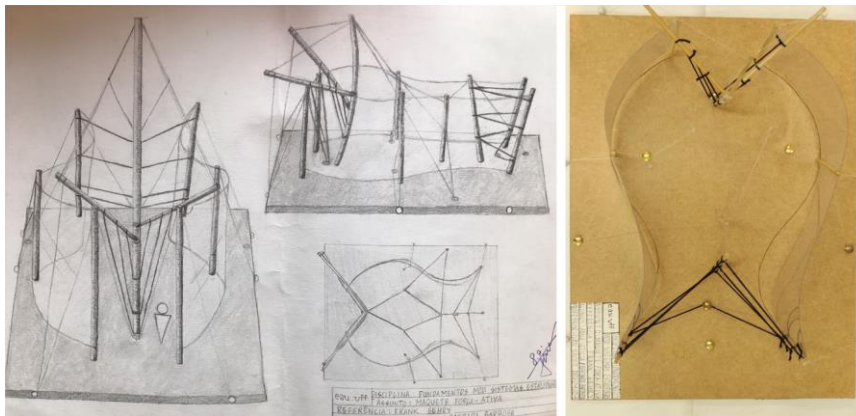


Figura 7 – Desenhos e maquete elaborada no exercício de Forma Ativa.

A partir da seleção de projeto com busca livre na *internet* das imagens (Figura 8) e o fornecimento do projeto eletrônico em CAD (MAC LEOD, 2009), o desafio proposto aos alunos é a constituição e o entendimento dos sistemas estruturais a partir dos dados fornecidos no sentido da constituição da concepção do sistema estrutural.



Figura 8 – Imagem Casa Y – Chita, Aichi. Japão, projeto CAD e modelo sintetizando a compreensão do projeto e a conceituação estrutural.

A primeira dificuldade encontrada foi o manuseio do sistema CAD, uma vez que o projeto definido não continha parâmetros e informações dimensionais e muitos alunos deste primeiro período não tinham conhecimento de como utilizar o sistema digital; esta dificuldade foi eliminada com a orientação do tutor da disciplina inicializando o estudante ao ambiente de produção virtual. Superada a etapa inicial de aprendizado do projeto e do próprio dimensionamento projetual, iniciou-se a etapa de conceituação do sistema estrutural (Figura 9), em que o autor do projeto conseguiu resolver o problema estrutural diante da forma e do material utilizado na construção.

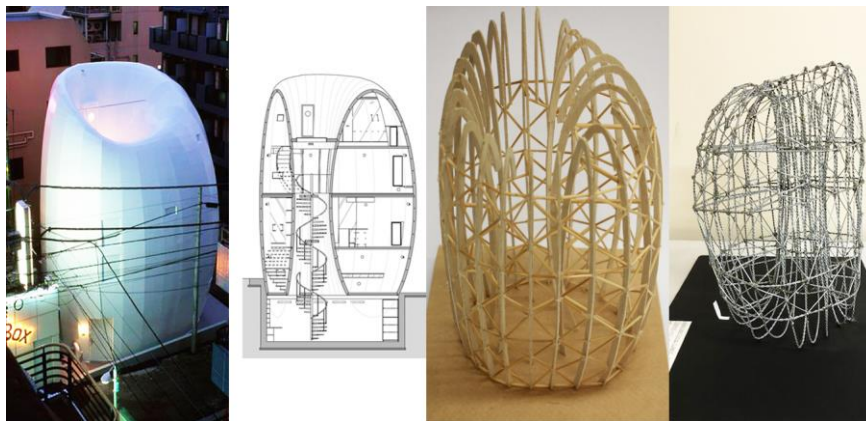


Figura 9 – Imagem Casa Elipse – Tóquio. Japão, projeto CAD e maquetes com estruturação em madeira e arame.

O entendimento destes aspectos possibilitou aos alunos desenvolverem a próxima etapa do trabalho, a construção e modelagem do referido projeto em escala apropriada, demonstrando claramente o sistema estrutural do edifício.

A atividade de modelagem associada ao desenho e o estudo da linguagem digital permite romper barreiras de complexidade estrutural e arquitetônica por meio da circularidade das diversas atividades para a concepção projetual do arquiteto.

Os trabalhos elaborados pela maioria dos estudantes ocorreram por meio da experimentação das referências circulares apresentadas através do aprendizado do projeto, a partir da gráfica digital e a sua consolidação na modelagem. As diversas tentativas complementadas pelo debate teórico dos sistemas estruturais e a sua concepção associada às ações colaborativas entre os participantes do grupo contribuiu para a criação de modelo do referido projeto, com características estruturais claras e adequadas, consolidando o aprendizado.

A atitude experimental, a repetição a cada etapa e a aplicação dos cinco sistemas estruturais propostos por Engel (2001) consolidam o conhecimento e o avanço sistemático gerando novas possibilidades de criação. Esses aspectos vão se concretizando com as novas formas estruturais onde podemos comprovar no modelo os requisitos estruturais: resistência, rigidez e estabilidade.

A experiência é concluída quando os grupos envolvidos nos trabalhos concebem os modelos com estrutura diferenciada, verificando a possibilidade de aplicações com outros materiais, melhorando a qualidade do desenho e do modelo.

Os resultados alcançados no desenvolvimento do Ensino Circular, na disciplina de Fundamentos para Modelagem dos Sistemas Estruturais, permitiram aos alunos do primeiro período do curso de arquitetura aumentar o seu repertório em relação ao entendimento e o comportamento dos elementos estruturais de uma edificação. Também foi alcançado a ampliação repertorial a partir das referências projetuais arquitetônicas e o entendimento de como as estruturas se comportam nos diversos projetos. O resultado foi surpreendente na capacidade de construção de modelos, com alto nível de criatividade, utilizando diversos materiais, juntamente com apoio da gráfica digital e do processo de trocas de experiências entre os alunos através das ações colaborativas.

6 Conclusão

A introdução aos alunos dos conceitos de sistemas estruturais por meio do método do **ensino circular** e a multiplicidade de tarefas no ambiente de ações colaborativas, embasado nas referências teóricas, estimularam o aprendizado na área de conhecimento dos sistemas estruturais; que associados aos conceitos de Engel (2001)

fez surgir a criatividade na disciplina de Fundamentos para Modelagem dos Sistemas Estruturais da EAU.

Os exercícios elaborados proporcionaram ao aluno a descoberta do seu potencial criativo, através das diferentes formas de aprendizado em cada etapa do ensino. Os resultados vistos pela produção das maquetes e pela apresentação final dos trabalhos demonstrou o processo de desenvolvimento, evidenciando assim a evolução dos estudantes em relação ao seu potencial criativo e de seu repertório inicial. A resistência em relação ao desafio de aprendizado dos sistemas estruturais foi superada com a diversidade vivenciada em sala de aula e em campo.

A introdução do Ensino Circular, com a aplicação do método de referências circulares, possibilitou o aumento do conhecimento em relação aos sistemas estruturais, gerando criatividade projetual na concepção do projeto arquitetônico. Este trabalho vivido em sala de aula e em conjunto, sem regras pré-fixadas, traz recomendações importantes para a área do ensino de arquitetura.

O primeiro aspecto a ser destacado é que apesar dos conceitos teóricos complexo, é possível efetuar simulações ao nível do experimento da modelagem que resultem na constatação de como os elementos estruturais se comportam. A segunda recomendação está diretamente relacionada com o aumento do conhecimento e do potencial criativo, quando se utiliza um conjunto de ações articuladas (vídeos, desenhos, gráfica digital, modelagem, visitas ao campo etc.). A troca de experiências foi importante neste processo. Outro aspecto relevante, é que os alunos conseguiram absorver os conceitos teóricos, e a ação da repetição e de experimentação foram fundamentais neste processo. Finalmente, além do domínio das questões relativas ao sistema estrutural propriamente dita, o aguçamento da experimentação foi extraordinário, o próprio aluno nesse processo de repetição conseguiu verificar que as possibilidades são infinitas e que o modelo é síntese neste processo.

O medo desapareceu e a circularidade dos processos possibilitou novas descobertas e talentos. Debruçados sobre o ato da repetição e experimentação com materiais diversificados, a vivência gerou conhecimento e motivação. Lemos, desenhamos e fazemos. O ato de projetar e aprender é revisitado.

Agradecimentos

Aos monitores e a todos os alunos da disciplina de Fundamentos para modelagem dos Sistemas Estruturais da Escola de Arquitetura e Urbanismo da UFF.

Referências

BOXWELL, Robert. **Benchmarking for a competitive advantage**. McGraw Hill, 1994.

ENGEL, Heino. **Sistemas estruturais**. Versão portuguesa de Esther Pereira da Silva, arqta. Editorial Gistavo Gili, SA, Barcelona, 2001.

HERNÁNDEZ-ROZ, Ricardo Aroca. **Que es estrutura?** Instituto Juan de Herrera. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Cuaderno 60.01 / 1-16-08.

HILSON, Barry. **Basic Structural Behavior: Understanding from Models**. London: Thomas Telford, 1993.

REBELLO, Yopanan. **A concepção estrutural e a arquitetura**. São Paulo: Zigurate Editora. 2000.

SENNET, Richard. **O artífice**. Tradução de Clóvis Marques. – 3a ed. – Rio de Janeiro: Record, 2012.

MACLEOD, Virginia. **Detalhes construtivos da arquitetura residencial contemporânea**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2009.

PERRONE, Rafael A. Cunha e VARGAS, Heliana Comin. **Fundamentos de Projeto: Arquitetura e Urbanismo**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 2014.