MARINA RODRIGUES DE OLIVEIRA

MODELAGEM VIRTUAL E PROTOTIPAGEM RÁPIDA APLICADAS EM PROJETO DE
ARQUITETURA

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Arquitetura (versão corrigida)

A versão original encontra-se disponível no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da EESC, junto ao Programa de Pós-graduação desta Unidade.

Área de Concentração:
Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia

Orientador:
Prof. Dr. Márcio Minto Fabricio

São Carlos
2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

O48m Oliveira, Marina Rodrigues de
Modelagem virtual e prototipagem rápida aplicadas em
projetos de arquitetura / Marina Rodrigues de Oliveira ;
orientador Márcio Minto Fabrício. -- São Carlos, 2011.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo e Área de Concentração em
Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2011.

1. Projeto de arquitetura. 2. Processo de projeto.
3. Modelagem virtual. 4. *Building Information Model*.
5. Prototipagem rápida. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): Arquiteto e Urbanista MARINA RODRIGUES DE OLIVEIRA.

Dissertação defendida e julgada em 14/02/2011 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Associado **MÁRCIO MINTO FABRICIO - (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof^a. Dr^a. **MARIA GABRIELA CAFFARENA CELANI**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

APROVADA

Prof^a. Dr^a. **ANJA PRATSCHKE**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADA

Prof. Titular **RENATO LUIZ SOBRAL ANELLI**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo

Prof. Associado **PAULO CÉSAR LIMA SEGANTINE**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

DEDICATÓRIA

À minha mãe, incansável incentivadora.

AGRADECIMENTOS

Ao Márcio, meu orientador, por oferecer esta oportunidade mostrando-me as diversas facetas da pesquisa com parcerias, amizades, eventos e muito cafezinho!

À minha amiga Iara, fada madrinha, mais do que ‘ajudante’ nos momentos difíceis, “meu pé” em São Carlos enquanto estive fora, sempre querida, abrindo as portas do seu lar, muitíssimo obrigada, bonita!

Aos integrantes do grupo de pesquisa Arquitec pelas trocas, artigos, livros, risadas e diversas ocasiões que nos identificaram como um grupo!

À Professora Anja, pesquisadora nata, sempre buscando novidades, renovando os anseios de alunos e professores. Com sugestões importantíssimas na banca de qualificação proporcionou a reestruturação deste trabalho.

À Professora Gabriela que me acolheu em uma disciplina na UNICAMP, despertando um olhar inovador no ensino de Arquitetura, mediando o importante contato com os professores José Duarte e Franklin Lee. Obrigada pelas contribuições na banca de qualificação.

Aos arquitetos Franklin Lee e Anne Save de Beaurecueil, docentes da AA, e Prof. Dr. José Pinto Duarte, da UTL, pela oportunidade oferecida, paciência e atenção durante as visitas técnicas.

Ao professor David Sperling pela troca de experiências e oportunidade de envolvimento com a docência, que, junto com a professora Anja, me orientou durante o estágio PAE.

Aos funcionários do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da EESC/USP que possibilitaram e auxiliaram meu desenvolvimento pessoal e profissional, em especial, Sérgio, Fátima, Evandro, Daniel, Marcelinho, Dinei e Dibo. E à Eleninha pela prestimosa revisão das citações e referências.

Aos escritórios que receberam a mim e ao Andrei, sempre atenciosos e dispostos a contribuir com a pesquisa acadêmica.

Ao Bidu, realizador de sonhos... por nunca ter me deixado desistir.

À Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo apoio financeiro a esta pesquisa de mestrado. Processo nº 08/52968-0.

RESUMO

OLIVEIRA, M.R. **Modelagem virtual e prototipagem rápida aplicadas em projeto de arquitetura**. 2011. 140p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

O presente trabalho de mestrado estuda a aplicação de tecnologias e ferramentas de modelagem virtual e prototipagem rápida em projeto de Arquitetura, abordando casos em escritórios brasileiros e instituições de ensino que utilizam Laboratórios de Prototipagem Rápida no desenvolvimento de projeto. A partir da revisão bibliográfica abrangendo processo de projeto, projeto paramétrico, modelagem virtual, *Building Information Model(ing)*, prototipagem rápida, buscou-se desenvolver a ligação do trabalho acadêmico desses temas com a prática e o desenvolvimento de projeto a fim de estudar as interferências, potencialidades e desdobramentos que tais tecnologias podem oferecer no desenvolvimento de projeto de arquitetura. Dois Estudos de Campo foram desenvolvidos para observar como as tecnologias estão influenciando a prática de projeto: através do Estudo de Campo Descritivo junto a cinco escritórios de arquitetura do estado de São Paulo, levantaram-se os diversos usos que têm sido feitos dessas ferramentas na prática de projeto. Utilizou-se também o Estudo de Campo Exploratório que contou com três instituições de ensino de excelência que utilizam métodos atuais com inserção de ferramentas de modelagem virtual paramétrica junto aos Laboratórios de Fabricação Digital da FEC/UNICAMP, Brasil, AA, Londres, Inglaterra e UTL, Lisboa, Portugal observou-se as mudanças na prática do ensino de projeto. Conclui-se que a inserção dessas tecnologias no ensino e na prática de projeto tem um papel transformador na forma de se projetar envolvendo mudança nas práticas decisórias, simulação, experimentação, representação de projeto, geração de documentos, colaboração entre projetistas, etc. Porém, esses grupos acadêmicos, que utilizam a tecnologia em prol da concepção e produção de uma arquitetura contemporânea, não refletem a realidade da prática profissional pesquisada onde os escritórios utilizam *software* com conceito BIM isoladamente já que escritórios de projetos complementares não utilizam a mesma tecnologia.

Palavras-chave: Processo de Projeto. Modelagem Virtual. Building Information Model. BIM. Prototipagem Rápida.

ABSTRACT

OLIVEIRA, M.R. **Architectural design aided by virtual modeling and rapid prototyping.** 2011. 140p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

This Master research work studies the employment of tools like virtual modeling and rapid prototyping on architectural designs through educational institutions and commercial offices case studies from that use Rapid Prototyping Laboratories during the design process. Based on a literature review regarding design process, parametric design, virtual modeling, Building Information Model(ing) and rapid prototyping, connection between academic knowledge and potential design were performed in order to study the potentials, interferences, and future these technologies can offer to architectural design process. Two field studies were employed to investigate how technologies are influencing the design projects. The descriptive work presents the professional practice reality in São Paulo, Brazil, through interviews with five architectural design offices that are using these tools in different ways during the design project. The exploratory study was performed at three Schools of excellence: University of Campinas, Brazil, Architectural Association in London, UK and Technical University of Lisbon, Portugal where the methodology employs parametric virtual modeling technology, giving evidence of changes in design teaching using the Digital Fabrication facilities. It concludes that the use of these technologies on design project teaching and practice changes the way of design, involving decision-making, simulation, design drawings, documents generation and collaboration between designers. However the academic research groups that use the technology for contemporary design conception and production do not represent the professional practice reality once they are using the BIM *software* on an isolated way given that complementary design offices don't have access to the same technology.

Key-words: *Design Process; Virtual Modeling; Building Information Model; BIM; Rapid Prototype.*

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Método de pesquisa.....	24
Quadro 2: Delineamento da pesquisa	29
Quadro 3: <i>Software</i> com tecnologia BIM.....	57
Quadro 4: Métodos de prototipagem rápida.....	61
Quadro 5: Síntese dos instrumentos e objetivos	66
Quadro 6: Perfil dos escritórios que utilizam modelagem virtual com tecnologia BIM no processo de projeto.....	68
Quadro 7: Equipamentos dos Laboratórios de Fabricação Digital.....	103
Quadro 8: Grupos e Laboratórios Nacionais de Pesquisa voltados a Informática para Arquitetura.....	107
Quadro 9: Prós e contras do uso de diferentes ferramentas de auxílio ao projeto na prática projetual em ambiente profissional ou acadêmico	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cronologia dos tipos das pesquisas na área de Projeto de Arquitetura.....	34
Figura 2: Caracterização do Projeto Paramétrico	51
Figura 3: Projeto conforme fases e especialidades.....	51
Figura 4: Linhas de comunicação no projeto ao longo do ciclo de vida do empreendimento.....	56
Figura 5: Categorias dos métodos de produção automatizados em arquitetura e construção	59
Figura 6: Complexidade do Projeto em Modelagem Única.....	64
Figura 7: Protótipos produzidos a partir de qualquer modelo digitalizado	66
Figura 8: Arquiteta do Escritório A trabalhando em dois monitores de vídeo.....	72
Figura 9: Arquiteto do Escritório B mostrando o modelo em <i>Revit</i>	72
Figura 10: LAPAC – (a) fresa CNC em primeiro plano, (b) 3DP a frente e cortadora laser ao fundo	84
Figura 11: Layout esquemático do LAPAC / UNICAMP	86
Figura 12: (a) Protótipo em papel paraná cortado a laser, (b) Trabalhos em 1:1 produzidos na fresa CNC, (c) Protótipo em gesso (a frente) e madeirite (ao fundo), (d) Trabalho em 1:1 cortado na fresa CNC.....	87
Figura 13: (a) AA Digital Prototyping Lab e (b) fresa CNC	89
Figura 14: Layout esquemático do AA'Lab	91
Figura 15: (a) Evolução do processo de projeto: estudo lumínico, (b) Protótipo Rápido de estudo e (c) Modelo virtual final.....	92
Figura 16: (a) Implantação – malha uniforme (acima) e malha parametrizada. (b) Protótipos rápidos produzidos em corte a laser	93
Figura 17: Modelos intermediários – (a) maquete em corte a laser e (b) modelo virtual ..	94
Figura 18: (a) Modelo virtual em <i>Rhinoceros</i> e (b) modelo físico – protótipo rápido em impressão 3D.....	94
Figura 19: (a) Modelos físicos de investigação: modelo em gesso, protótipo estrutural e volumétrico – corte a laser e (b) modelo virtual final em <i>Rhinoceros</i>	94
Figura 20: Modelos intermediários – investigação da volumetria e articulações	95
Figura 21: Modelos Virtuais em <i>Rhinoceros</i>	95
Figura 22: Pranchas do projeto final.....	95
Figura 23: Layout esquemático do LAC – ISTAR/UTL.....	97

Figura 24: (a) Impressão FDM em operação, (b) protótipos impressos na badeja, (c) pós-processamento e (d) protótipo final.....	98
Figura 25: LPR – FA/UTL	99
Figura 26: Layout esquemático do LPR / UTL	99
Figura 27: Maquete produzida por corte a laser.....	100
Figura 28: (a) Prancha com desenho gerado em <i>Rhinoceros</i> e (b) Maquete produzida com cortadora a laser.....	101
Figura 29: Mapeamento – formas em movimento	110
Figura 30: Implantação coletiva	110
Figura 31: Avaliação final do exercício ‘Formas em Movimento’	111
Figura 32: Etapas do exercício ‘Formas em Movimento’ - (a) Mapeamento, (b) Processo, (c) Modelo virtual , (d) Maquete física, (e) Protótipo rápido.....	111
Figura 33: (a) Apresentação final e (b) Modelo em papel a partir do Pepakura.....	112
Figura 34: Uso de <i>gates</i> de revisão como ferramenta de decisão de projeto – Academia x Prática.....	116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Três dimensões
AA	<i>Architetural Association – School of Architecture</i>
CAAD	<i>Computer Aided Architectural Design</i> – Projeto de Arquitetura auxiliado por Computador
CAD	<i>Computer Aided Design</i> – Projeto auxiliado por Computador
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i> – Engenharia auxiliada por computador
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> – Manufatura auxiliada por computador
CNC	<i>Computer Numeric Control</i> - Controle Numérico Computadorizado
DWG	extensão de arquivo do Autocad (.dwg)
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
FA	Faculdade de Arquitetura
FD	Fabricação Digital
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i> – Modelagem por fusão e deposição
IAI	<i>International Alliance for Interoperability</i> – atual <i>buildingSMART International</i>
IDM	<i>Information Delivery Manuals</i> – Manual de troca de informação
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
IFD	<i>International Framework for Dictionaries</i> – Quadro internacional de dicionários
IJP	Impressão a Jato de Tinta
ISO	<i>International Standardization Organization</i> – Organização Internacional de Padronização
IST	Instituto Superior Técnico
ISTAR	Laboratório de Pesquisa em Arquitetura do IST
LAPAC	Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção - UNICAMP
LENS	<i>Laser Engineered Net Shaping</i> - Modelagem Mecânica a laser de malha metálica
LOM	<i>Laminated Objet Manufacturing</i> – Objeto produzido em lâminas
MVD	<i>Model View Definitions</i> – Definições de vista (requerimento de troca de informação)
nD	número não estabelecido de dimensões, maior que três
PLT	<i>Paper Laminated Technology</i> – Tecnologia de laminação a laser
PR	Protótipo ou Prototipagem Rápida - <i>Rapid Prototyping or Prototype</i>
SLA	<i>Stereolithography</i> - estereolitografia
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i> - Sinterização seletiva a laser
STL	Dados enviados para as máquinas de prototipagem são gerados em sistema CAD no formato .stl

RVT	Extensão de arquivo do <i>Revit Architecture</i> (.rvt)
TI	Tecnologia da Informação
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USP	Universidade de São Paulo
UTL	Universidade Técnica de Lisboa

SUMÁRIO

1	Introdução	19
1.1	Delimitação da Pesquisa e Justificativa.....	22
1.2	Objetivos gerais.....	23
1.2.1	Objetivos Específicos.....	23
1.3	Método de Pesquisa.....	24
1.3.1	Levantamento e Revisão Bibliográfica	25
1.3.2	Estudo de Campo Descritivo – Prática Profissional	26
1.3.3	Estudo de Campo Exploratório - Laboratórios	28
1.3.4	Análise dos dados	29
1.4	Estrutura da dissertação	30
2	Modelagem virtual de projetos: da concepção à fabricação digital	31
2.1	Metodologia de projeto	33
2.1.1	Uso de modelos no processo de projeto	38
2.2	Desenvolvimento de Projeto.....	41
2.2.1	Futuras Gerações: Ensino de Projeto.....	44
2.3	Modelagem Virtual.....	45
2.3.1	Projeto Paramétrico	49
2.3.2	A Questão da Interoperabilidade.....	54
2.4	Fabricação Digital.....	58
2.4.1	Prototipagem Rápida	60
2.5	Modelo único.....	63
3	Prática Profissional	65
3.1	Escritório A	69
3.2	Escritório B	72
3.3	Escritório D	74
3.4	Escritório E	76

3.5	Escritório G	78
4	Um novo conceito de Laboratório	83
4.1	Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – Campinas-SP, Brasil	83
4.1.1	Disciplina Prototipagem Rápida e Fabricação Digital e o LAPAC.....	85
4.2	Architectural Association School of Architecture – AA - Londres, Inglaterra.....	88
4.3	Universidade Técnica de Lisboa – UTL – Lisboa, Portugal	96
4.3.1	Disciplina de Projeto e Fabricação Digital e o LAC/ISTAR	97
4.3.2	Disciplina de Projeto do 4º ano e o Laboratório da FA/UTL.....	99
4.4	University College London - Bartlett Architectural School - Londres, Inglaterra	102
4.5	Outros centros de excelência	103
4.6	Exercício ‘Formas em Movimento’ – Departamento de arquitetura e urbanismo - EESC/USP	108
4.7	Resultados	115
5	Conclusões	117
	Referências	123
	Glossário.....	135
	Apêndice.....	137

1 INTRODUÇÃO

O aumento da competição e a vigência do Código de Defesa do Consumidor (1991) têm contribuído para a melhoria da qualidade e produtividade em diversos setores no Brasil. Na construção civil o processo de projeto tem grande importância para a melhoria da produção de edificações já que os projetos subsidiam o processo de produção com soluções e especificações técnicas (NOVAES, 2002).

A tendência de desenvolvimento de projetos por equipes multidisciplinares amplia as atribuições dos diversos agentes valorizando o papel da coordenação de projeto com potencial de integração ao projeto nas variadas fases do processo (NOVAES, 2002). A modelagem virtual paramétrica¹ mostra-se competente no auxílio desta integração.

O projeto de arquitetura e urbanismo é caracterizado por ações de criação que envolvem abstrações e representações. Essas ações podem ser reguladas por métodos que orientam a concepção até o detalhamento de um projeto.

No ensino de projeto, o aluno aprende meios para o desenvolvimento das suas ideias desde a concepção de projeto passando por todo processo: detalhamento, produção e manutenção (FLORIO, 2007).

Os métodos propostos ao longo dos anos - dos anos 1960 até hoje - descrevem a associação do pensamento e explicações verbais com desenho projetual, porém, há os que defendem que a arquitetura deve ser proposta segundo um 'insight', ou inspiração, outros propõem o projeto baseado em metodologias ou técnicas, que é auxiliado por ferramentas matemáticas, como o computador (JONES, 1966).

¹ A Modelagem Paramétrica será apresentada no item **2.3 Modelagem Virtual**.

A informática e a tecnologia da informação e comunicação têm significativas aplicações em quase todas as áreas produtivas e criativas. Atualmente, no campo da arquitetura, o uso de *scriptings*, algoritmos e *software* paramétrico trazem profundas mudanças nas práticas projetuais e no ensino de arquitetura (MITCHELL; McCULLOUGH, 1995).

É cada vez mais comum o uso de modelos virtuais para o desenvolvimento do projeto. A tendência para utilização de programas que permitem modelagem integrada de diferentes subsistemas e projeto paramétrico já é realidade em diversas instituições de ensino.

O BIM – *Building Information Modeling*² tem sido amplamente estudado como ferramenta de auxílio à coordenação do projeto. O conceito BIM para modelagem parametrizada da construção facilita e aumenta a velocidade de troca e acesso da informação. A equipe de projetistas de diferentes áreas trabalha com um arquivo base usando a mesma linguagem e versões atualizadas do projeto do edifício.

Na área do ensino, Florio (2007) aponta o BIM como ferramenta para auxílio de novas descobertas e compreensões durante o processo de criação do aluno na fase projetual, já que permite a reflexão de suas ações na inserção de dados.

A parametrização é uma tecnologia que permite que o desenho seja automaticamente ajustado quando se modifica um elemento com um novo valor. O uso de programas que permitem esse tipo de desenho proporciona a diminuição do tempo de projeto e aumenta as possibilidades de variações de um mesmo modelo além de agilizar a visualização de cada uma delas (HORTA, 2009).

Lee e Beaurecueil (2009) afirmam que o desenho paramétrico permite que o arquiteto explore múltiplas alternativas já que o modelo é interativo possibilitando a visualização de diferentes soluções e auxiliando a tomada de decisão. Ou seja, há exploração de novas formas sem a necessidade de criar novos modelos para cada cenário.

² Algumas publicações em português como Nascimento e Santos (2003), Crespo e Ruschel (2007) apresentam possibilidades de tradução do conceito BIM como “Modelagem Integrada do Edifício”, “Modelagem da Informação da Construção” ou “Modelo Paramétrico da Construção Virtual”, por exemplo. Porém, o termo BIM ainda não possui uma versão convencional em nosso idioma, desta forma, neste trabalho, escolheu-se manter o termo em sua língua original.

Além disso, o modelo virtual – paramétrico ou não - automatiza o processo de tradução do virtual para o real, já que o objeto dotado de informações vetoriais é automaticamente enviado para fabricação ou prototipagem rápida (PR) – o computador envia o desenho diretamente com coordenadas para produção em fresa de Controle Numérico Computadorizado (CNC), corte a laser ou há apenas o processo de transformação do arquivo em *.stl* (formato aceito para impressão em diferentes impressoras 3D). Assim, junto às tecnologias de auxílio ao projeto vem crescendo a utilização de métodos de fabricação digital.

O desenvolvimento de ferramentas para fabricação digital, ou seja, produção automatizada de peças modeladas digitalmente podendo ser protótipos - modelos de avaliação - ou produção de elementos construtivos para serem empregados diretamente na obra (PUPO; CELANI, 2008), surgiu primeiramente para atender às necessidades de outras disciplinas que não a arquitetura, como a engenharia mecânica e o desenho industrial. Os profissionais e academias de arquitetura têm desenvolvido uma relação diferenciada com a produção de modelos automatizados pelo computador, onde há uma interação no processo de produção e tomada de decisão na fabricação do modelo (RYDER et al., 2002).

A aplicação da prototipagem rápida em arquitetura é justificada principalmente pela complexidade formal. Os projetos paramétricos, complexos em suas formas que podem ser chamadas líquidas, orgânicas entre outros. só são possíveis de sofrerem modelagem física pela tecnologia de automatização da produção (EEKHOUT; GELDER, 2009).

O uso do modelo virtual baseado em BIM como único repositório de informações do projeto onde diversas entradas - feitas por diferentes especialidades e projetistas – são automaticamente traduzidas em múltiplas saídas como documentos de planilhas, desenhos técnicos e dados para fabricação digital proporciona o Modelo Único - da concepção à produção.

A partir desse panorama será apresentada a estratégia proposta para a pesquisa da inserção de novas tecnologias no processo de ensino e desenvolvimento de projeto de arquitetura onde se investiga a aplicabilidade do Modelo Único.

1.1 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA E JUSTIFICATIVA

A pesquisa visa avaliar os benefícios da modelagem virtual e da PR no processo de projeto. Optou-se por abordar as questões da pesquisa usando como referência o uso dessas tecnologias no desenvolvimento de Projeto de Arquitetura tanto no campo profissional quanto no ambiente acadêmico que faz uso de laboratórios de PR.

As pesquisas da tecnologia BIM e o desenvolvimento de diferentes programas baseados nesse sistema têm proporcionado uma diferenciação no processo de projeto de arquitetura, o que foi observado no cotidiano dos profissionais de projeto.

O ensino de projeto auxiliado por novas tecnologias tem sido amplamente estudado em diversos laboratórios internacionais. Grupos em instituições acadêmicas como o *Massachusetts Institute of Technology*, a *Architectural Association*, a *Bartlett School of Architecture*, a Escola Superior de Arquitetura da Universidade Internacional da *Catalunya*, a *Ball State University*, o *Swiss Federal Institute of Technology*, a Universidade Técnica de Lisboa, a *Delft University of Technology*, dentre outras, mostram através de estudos exploratórios a importância da formação associada à informática, programação e geometria computacional com utilização de *software* paramétrico e *scripts* (ORCIUOLI, 2009b; PUPO, 2008).

O avanço digital, desde 1960 teve um papel importante na transformação do processo de projeto (MITCHELL, 1975). Desde proposições para sistemas generativos de projetos³, até a coordenação de uma obra virtual estão sendo pesquisadas há anos. Essa interface arquiteto/profissionais AEC e computador pede uma mudança na forma de se conduzir o processo de projeto e, também, de ensinar projeto nas universidades. Mesmo que a cultura digital no processo de projeto tenha tido início nos anos 1970 ainda existem lacunas na literatura que aborda esse tema, porém o que se percebe nas publicações e Instituições de ensino de excelência é como a mudança no processo de ensino de projeto com o advento da digitalização e do uso da prototipagem nas disciplinas de construção é imprescindível.

Como recorte desta pesquisa, estuda-se a viabilidade do uso de um Modelo Único no auxílio do processo de projeto, mais precisamente na concepção e geração de

³ Sistemas generativos de Projeto estão relacionados com produtividade, variedade e inovação formal. Uma das vantagens de usar um Sistema generativo de projeto é a possibilidade de desenvolver família de objetos com coerência formal e construtiva (FISCHER, T.; HERR, C. M., 2001).

documentos, modelos virtuais e físicos. Durante a etapa de projeto há possibilidade do uso de diferentes ferramentas digitais que permitem o trabalho remoto por diversas pessoas para desenvolver partes do projeto.

A estratégia de modelagem com apenas um repositório de informações (Modelo Único), tanto física como virtual, será investigada em ambiente profissional e acadêmico.

Por fim, são levantadas as aplicações dessas tecnologias nos escritórios de arquitetura brasileiros. Em alguns casos a modelagem virtual e a PR permitem o estudo, numa escala adequada, das melhores alternativas às soluções de interferência e/ou detalhamento adotadas em projeto.

A abordagem em instituições de ensino e laboratórios universitários justifica-se pela escassez de escritórios brasileiros que utilizam a PR no desenvolvimento de projeto, assim como no exterior que, também, são tecnologias restritas a poucos e grandes escritórios. Além disso, a prática de projeto exige uma preparação dos futuros arquitetos para o uso das tecnologias de modelagem virtual e física no mercado de trabalho. Cabe à universidade oferecer oportunidade por meio de ensino e pesquisa, preparando alunos para o mercado, cada vez mais exigente, em relação às tecnologias de projeto.

Assim, tais ferramentas terão seus potenciais explorados neste trabalho a fim de identificar as possíveis aplicações e benefícios daquelas no processo de projeto o que justifica o presente trabalho.

1.2 OBJETIVOS GERAIS

- Estudar o uso da modelagem virtual e PR aplicadas em Projeto de Arquitetura no que diz respeito às potencialidades e interferências dessas ferramentas no desenvolvimento de projeto;
- Investigar a possibilidade do desenvolvimento de um Modelo Único de projeto, ou seja, uma mesma base operacional que migra entre diferentes projetistas, especialidades e *software*.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar e analisar a produção bibliográfica sobre uso de modelagem virtual e PR em projeto de arquitetura e urbanismo;

- Caracterizar o uso de ferramentas de modelagem virtual e prototipagem rápida no desenvolvimento de projetos;
- Levantar o uso potencial dessas ferramentas no mercado profissional brasileiro; e
- Estudar em laboratórios de excelência as possibilidades da modelagem virtual e PR aplicadas em projeto de arquitetura.

1.3 MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa de abordagem sistêmica baseou-se nos Estudos de Campo realizados em Laboratórios de instituições de ensino e pesquisa de arquitetura e em escritórios de projeto que utilizam BIM em seu processo de projeto.

Segundo Gil (2002), o **estudo de campo** é definido pela caracterização do objeto estudado utilizando técnicas de observação. A imersão do pesquisador junto à comunidade do objeto estudado é importante para entender a dinâmica por meio da experiência baseada em observação, análise de documentos, fotografias, etc. O Quadro 1 sumariza o método aplicado nesta pesquisa.

	ESTUDOS DE CAMPO	
	LABORATÓRIOS	PRÁTICA PROFISSIONAL
Objetivos	Exploratório	Descritivo
Coleta de dados	Diferentes escalas de observação	Questionário e Entrevista
Primeiro contato	UNICAMP	Escritório D
Local	Laboratórios de Excelência	Escritórios que utilizam BIM

Quadro 1: Método de pesquisa

O propósito do estudo de campo é, dentre outros, “descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação” (GIL, 2002, p. 53). Neste trabalho de mestrado foram utilizadas duas frentes de estudo de campo: o Exploratório e o Descritivo, isso se deve ao tipo de acesso às informações, à possibilidade de imersão no ambiente pesquisado mais extenso que uma pesquisa, à disponibilidade dos profissionais acompanhados ou entrevistados, dentre outros; a seguir serão descritos os dois estudos.

O **Estudo de Campo Exploratório** proporciona maior familiaridade com o problema, de modo a torná-lo mais explícito ou construir hipóteses. O método envolve

levantamento bibliográfico, entrevistas com experiências práticas com o problema pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compreensão, ou seja, este estudo focaliza comunidades de ensino, nas quais se desenvolvem a pesquisa por meio da observação direta das atividades dessas comunidades e entrevistas com informantes envolvidos com a comunidade para captar suas explicações e interpretações do ensino auxiliado por modelagem virtual e/ou prototipagem rápida (GIL, 2002).

A coleta de dados no Estudo Exploratório utilizou diferentes escalas de observação: desde o acompanhamento dos atendimentos dos alunos até a entrega final de seus trabalhos. Também foi possível interagir com alguns alunos e participar da produção de modelos virtuais ou físicos.

Já o **Estudo de Campo Descritivo**, ainda segundo Gil (2002), visa descrever características de determinada população, estabelecendo relações entre variáveis. Há principalmente a preocupação com a atuação prática, proporcionando uma nova visão do problema, aproximando da pesquisa exploratória. A coleta de dados, neste caso, foi feita através de questionário e entrevistas com arquitetos e engenheiros envolvidos com a tecnologia BIM em seus escritórios como será detalhado a seguir.

A pesquisa pode ser dividida em quatro fases distintas:

1.3.1 LEVANTAMENTO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Levantamento de dados e revisão da produção bibliográfica sobre modelagem virtual e PR, com a finalidade de identificar as correntes aplicações dessas ferramentas nas práticas de projeto de arquitetura.

Foram utilizadas obras de referência como dicionários e normas; leitura corrente de livros, trabalhos científicos como teses e dissertações, publicação em periódicos nacionais e internacionais, artigos em anais de congressos e encontros científicos indexados em diversas plataformas, dentre elas *Cumincad* e *Scielo*. Para isso foram utilizadas as bibliotecas da USP e UNICAMP, as bases de dados: *Compendex*, *Web of Science*, *Scopus*, *Science Direct*, entre outras; por fim o sistema de busca Google Acadêmico, para levantamento de autores, títulos e assuntos referentes ao tema estudado.

As palavras-chave e expressões utilizadas para as buscas foram: modelagem virtual, 3D, digital modeling; prototipagem rápida/ rapid prototyping; building

information modeling; gestão e coordenação de projetos/ design management; processo de projeto/ design process, entre outros. Paralelamente, outros temas também foram pesquisados a fim de abranger o objeto de estudo de forma mais ampla, para isso foram usadas as seguintes palavras-chave: *Revit*, *Archicad*, *SketchUp*; *Rhinoceros*; projeto paramétrico/ parametric design; ensino de projeto/ design method; design lab.

Essa etapa foi realizada durante os dois primeiros anos do curso de mestrado para subsidiar uma primeira pesquisa do estado da arte do tema escolhido, e com a familiarização do tema no decorrer do trabalho foram propostas leituras mais críticas, buscando responder dúvidas, e proporcionando a tomada de posição frente aos assuntos e às questões discutidas.

1.3.2 ESTUDO DE CAMPO DESCRITIVO – PRÁTICA PROFISSIONAL

O estudo descritivo foi caracterizado como entrevista:

a. Identificação

* Local: São Paulo – SP.

* Tempo de entrevista: 1 (uma) hora (em média).

* Critérios para escolha dos escritórios:

i. Área de Atuação: escritórios de arquitetura e engenharia atuantes em qualquer ramo da construção civil.

ii. Localização: estado de São Paulo. Viabilidade da pesquisa dentro do estado onde esta pesquisa se realizou - Departamento de Arquitetura – EESC/USP.

iii. Ferramentas: o tema da pesquisa fecha o último critério quanto à utilização de ferramentas no desenvolvimento de projetos como modelagem virtual, uso de BIM e ainda a utilização de prototipagem rápida no processo de projeto.

b. Objetivos

* Geral - Estudar o uso da modelagem virtual e aplicada em Projeto de Arquitetura no que diz respeito às potencialidades e interferências dessas ferramentas no desenvolvimento de projeto;

* Específico – Descrever a utilização do *software* baseado em conceito BIM por escritórios brasileiros a fim de traçar um paralelo entre a pesquisa acadêmica e a realidade da prática profissional no Brasil.

c. Procedimentos Anteriores à Visita

* Elaboração e envio de carta explicativa da pesquisa [APÊNDICE 1] e questionário [APÊNDICE 2].

* Elaboração de roteiro de entrevista [APÊNDICE 3].

Com base nos critérios apresentados no item **a.**, foi realizado um levantamento de escritórios através do contato com as empresas que formam a Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção (ABNT/CEE-134) para elaboração do projeto de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR ISO 12006-2 que normaliza a estrutura para Classificação da Informação – equivalente à ISO 12006-2:2001. Além disso, alguns pesquisadores reconhecidos na área foram consultados a fim de apontar potenciais escritórios a serem pesquisados.

Com base nesses levantamentos foram definidos 12 escritórios que se enquadravam nos critérios estabelecidos. Entrou-se em contato, por telefone e e-mail, com cada escritório por meio de uma carta explicativa sobre esta pesquisa e um questionário objetivando traçar o perfil da empresa. Destes 12 escritórios contactados, 2 (dois) recusaram-se a responder o questionário enviado e, por fim, obteve-se resposta de 7 (sete).

d. Atividades de Campo

* Registro das atividades por fotos e gravação de áudio.

* Coleta de informações - Entrevista com os cinco escritórios que se enquadravam e se disponibilizaram para colaborar com as questões desta pesquisa a fim de se desenvolver levantamento do uso das ferramentas no mercado profissional brasileiro. A entrevista semi-estruturada seguiu um roteiro de perguntas previamente definidas, cabendo ao entrevistador encaminhar a discussão segundo interesse da pesquisa podendo propor novas questões conforme a necessidade de esclarecimento dos assuntos abordados como em uma conversa informal (SELLTIZ, 1987).

e. Procedimentos Posteriores

* Transcrição das entrevistas, interpretação dos dados em confronto com a bibliografia e apresentação de resultados através de relatórios e publicação de artigos.

1.3.3 ESTUDO DE CAMPO EXPLORATÓRIO - LABORATÓRIOS

O estudo exploratório junto aos Laboratórios de Fabricação Digital foi caracterizado como Visita Técnica:

a. Identificação

* Instituições de ensino de excelência que possuam em sua infraestrutura Laboratórios de alta tecnologia e utilizam algum tipo de tecnologia (modelagem virtual e/ou prototipagem rápida) no processo de projeto.

* Local: Campinas – SP, Londres – Inglaterra, Lisboa – Portugal.

* Tempo previsto: em média 15 dias em cada Instituição.

b. Objetivos

* Geral - Estudar o uso da modelagem virtual e PR aplicadas em Projeto de Arquitetura no que diz respeito às potencialidades e às interferências dessas ferramentas no desenvolvimento de projeto;

* Específicos - Contribuir para a construção de uma visão de como se dá o ensino de projeto com essas tecnologias dentro e fora do Brasil, observando o desenvolvimento de projeto de arquitetura e urbanismo apoiado por projeto paramétrico e fabricação digital;

- Conhecer a produção e pesquisas nos Laboratórios de fabricação digital / prototipagem rápida;

- Avaliar o desenvolvimento de projetos associados a modelagem virtual e prototipagem rápida.

c. Procedimentos Anteriores à Visita Técnica

* Contato com professores dispostos a receber a pesquisadora para coleta de dados.

* Leitura de textos científicos publicados pelos Laboratórios e Instituições e acompanhamento de palestras com o objetivo de se familiarizar com o tema e as abordagens praticadas na Instituição de Ensino visitada.

d. Atividades de Campo

* Registro dos elementos observados - caderno de anotações, fotografias e filmagens.

* Coleta de informações – entrevista com os professores responsáveis pelas disciplinas acompanhadas, conversa com os alunos e acompanhamento de entregas intermediárias e bancas de avaliação.

e. Procedimentos Posteriores

* Categorização qualitativa dos dados, interpretação com base na bibliografia revisada e apresentação de resultados por meio de relatórios e publicação de artigos.

1.3.4 ANÁLISE DOS DADOS

A análise e discussão dos dados coletados nos Estudos de Campo foram desenvolvidas pela comparação com a bibliografia apresentada no *Capítulo 2* e discutidas nos *Capítulo 3 e 4*.

O Quadro 2 esquematiza as diferentes etapas da pesquisa.

Quadro 2: Delineamento da pesquisa

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está organizada em cinco capítulos, contemplando: introdução, revisão bibliográfica (processo de projeto, modelo virtual e prototipagem rápida), desenvolvimento pesquisa (estudos de campo), conclusão e referências bibliográficas.

O **capítulo de introdução** apresenta a problematização da pesquisa, delimitação, método, objetivos e justificativa para o tema abordado, assim como o método de trabalho e a estrutura da dissertação.

A **revisão bibliográfica** baseada nos temas: Processo de Projeto, BIM, CAD orientado a objeto, parametrização e fabricação digital é apresentada no **Capítulo 2**, abordando questões do Modelo Único.

O **terceiro capítulo** apresenta o levantamento feito em escritórios de arquitetura que utilizam *software* com tecnologia BIM, configurando a realidade da profissão no Brasil.

O **quarto capítulo** descreve as visitas técnicas aos laboratórios das universidades de Campinas, Londres e Lisboa alimentando, na prática, a revisão sobre uso de modelagem virtual e PR no ensino de projeto de arquitetura.

Por fim, são apresentadas, no **quinto capítulo**, as conclusões, dificuldades encontradas no desenvolvimento do trabalho e as possibilidades de pesquisas futuras.

O item **Referências** apresenta as referências bibliográficas, citações e bases consultadas para elaboração deste trabalho.

2 MODELAGEM VIRTUAL DE PROJETOS: DA CONCEPÇÃO À FABRICAÇÃO DIGITAL

Este capítulo aborda a questão tecnológica ligada à modelagem virtual passando pelos problemas de interoperabilidade entre diferentes programas; o desenvolvimento de projeto aliado a essas tecnologias pontuando a coordenação do processo já que cada especialidade de projeto possui um método ou um caminho para desenvolver as soluções projetuais; a produção ou fabricação de protótipos e edifícios descrevendo os equipamentos pesquisados neste trabalho e por fim, aborda as questões das futuras gerações de arquitetos, utilizando a tecnologia de modelagem e fabricação em laboratórios de ensino e pesquisa universitários.

O processo de projeto pode ser caracterizado por um processo ininterrupto de mudança em que as informações são continuamente atualizadas, documentadas e estruturadas claramente (EMMITT, 2007). Compreende desde a concepção, o projeto, o detalhamento, a execução, o uso e a ocupação do objeto construído e a manutenção, demolição até eventual reciclagem.

Emmitt (1999) simplifica **Projeto** com a seguinte definição: um processo limitado por tempo e custo, cujo propósito é gerar um produto. O autor divide o processo de projeto da seguinte maneira: *briefing*, estudos de viabilidade, projeto conceitual, detalhamento, documentação administrativa, contratual e concursos, gerenciamento de obra e retroalimentação para projeto, monitoração e manutenção em curso; sendo que entre cada estágio, há uma revisão formal e operacional. Fabricio (2002) completa essa divisão de projeto com a avaliação pós-ocupação:

(...) o Processo de Projeto envolve todas as decisões e formulações que visam subsidiar a criação e a produção de um empreendimento, indo da montagem da operação imobiliária, passando pela formulação do programa de necessidades e do projeto do produto até o desenvolvimento da produção, o projeto “*as built*” e a avaliação da satisfação dos usuários com o produto (FABRICIO, 2002, p. 96).

Nesta pesquisa serão analisadas principalmente as fases de concepção e coordenação, abrangendo o desenvolvimento do projeto e as necessidades de compatibilização de soluções de diferentes especialidades projetuais (Estudo de Campo em escritórios brasileiros), assim como o uso de tecnologia de modelagem virtual e prototipagem rápida na fase de concepção (Estudo de Campo junto a Laboratórios).

Durante a fase de concepção de projeto, os arquitetos usam representações para experimentar possibilidades (MARQUES, 1999). Essas experimentações passam desde croquis, textos conceituais até maquetes físicas de estudos de esforços e representação fiel do objeto a ser construído. Diversas estratégias são utilizadas para o desenvolvimento de projeto. Algumas dessas estratégias serão discutidas adiante.

Com o advento da industrialização houve divisão entre o projeto e a obra com base em especialidades projetuais e subsistemas construtivos sendo eles: arquitetura, estrutura, instalações hidrossanitárias, instalações mecânicas, instalações elétricas, instalações eletrônicas, consultorias e projeto para produção (FABRICIO, 2002).

Porém, essa divisão acarreta a demanda de mais profissionais de diversas áreas interagindo em um só projeto. A existência de diversos intervenientes trabalhando com diferentes sistemas culmina na interferência projetual, ou seja, há participação de vários especialistas para complementação do projeto de arquitetura.

Esse processo gera diversos projetos com interferências mútuas. Não há clareza da interface entre subsistemas construtivos, e da compatibilidade entre eles. Para que tais interferências não resultem em incompatibilidade entre os diferentes projetos há necessidade da **Coordenação de Projeto**⁴.

⁴ A ser discutido no item **2.2 Desenvolvimento de Projeto**.

2.1 METODOLOGIA DE PROJETO

O projeto pode ser descrito como um processo cognitivo que cria e transforma informações, intercedido pelas habilidades humanas, conhecimento tecnológico e de determinadas 'técnicas', norteado para a formulação de soluções de forma a antecipar um produto. Também é caracterizado por ser um processo que envolve sentidos, abstrações, representações, métodos e conhecimentos tratados por diferentes estratégias mentais (JONES, 1966).

Dessa forma são mobilizadas diferentes funções cognitivas⁵, específicas para a criação e desenvolvimento de novas soluções projetuais, envolvendo diferentes habilidades intelectuais e motoras (FABRICIO, 2002).

As principais habilidades intelectuais exercidas no projeto estão relacionadas à capacidade de **análise e síntese** de informações e problemas que visam obter, ordenar, classificar e hierarquizar várias informações aparentemente desconexas e formular o problema a ser resolvido; à **criatividade e ao raciocínio**, que expressam a capacidade humana de propor soluções espaciais, técnicas, funcionais, financeiras, comerciais e desenvolver soluções coerentes dado o problema; ao **conhecimento** fundamentado nas experiências e formações anteriores dos projetistas e medeia a criação e o desenvolvimento das soluções projetuais e à capacidade de **representação e comunicação** e interação entre diferentes indivíduos visando apresentar as soluções desenvolvidas (desenhos técnicos, maquetes, modelos virtuais) para serem executadas ou analisadas, como uma forma de apoio e extensão ao desenvolvimento intelectual das soluções projetuais (esboços, simulações) (DORST; CROSS, 2001; LAWSON, 1994).

Com relação ao ferramental de apoio ao projeto é cada vez mais comum o uso de modelos virtuais para o desenvolvimento de projeto. A tendência para utilização de programas que permitem modelagem integrada de diferentes subsistemas e projeto paramétrico já é realidade em diversas instituições de ensino⁶.

⁵ Conforme declaração do lingüista Noam Chomsky (1971 *apud* PINKER, 1997), quando estamos diante de um problema pode-se não saber a solução, mas têm-se hipóteses e um conhecimento crescente sobre o assunto e, principalmente, tem-se alguma ideia do que se procura. De fato, a compreensão científica de como funciona o processo mental de criação e projeto parecem estar no campo das hipóteses e aponta um novo campo de investigação para compreensão do **processo de projeto**.

⁶ A ser discutido no item **2.2.1 Futuras Gerações: Ensino de Projeto**.

Desde o pós-guerra os acadêmicos buscam métodos que minimizem os erros projetuais. Chougui (2006) introduz seu artigo com a cronologia dos tipos de pesquisas na área de projeto de arquitetura contribuindo para uma leitura de como o campo da metodologia de projeto é vasto e varia conforme o passar dos anos (Figura 1). Além disso, o autor aponta que o rótulo “metodologia” não é bem encarado por profissionais ou acadêmicos, enumerando as razões:

- i. Descrições sistemáticas do projeto são produtivas para produções acadêmicas pois contém a base ou o suporte das ideias, porém são muito complexas e extensas demais para serem usadas efetivamente na prática;
- ii. A profissão de arquiteto e a Indústria da Construção não passam por muitas mudanças, perdendo a necessidade de se refletir sobre metodologia;
- iii. Necessidade de atualizar os Métodos de Projeto entrando de acordo com os questionamentos da prática atual – até hoje não houve essa atualização fazendo com que a credibilidade em métodos de projeto fosse perdida;
- iv. Em geral os arquitetos não transparecem na representação do projeto no processo de design com medo de ter seu método taxado como trivial;
- v. Mudança do foco do processo para o produto do projeto enfatizando o posicionamento por teoria e não por método arquitetônico.

Figura 1: Cronologia dos tipos das pesquisas na área de Projeto de Arquitetura

Em 1962 houve a 1ª conferência sobre método de projeto, a Conferência em Métodos Sistemáticos e Intuitivos na Engenharia, Desenho Industrial, Arquitetura e Comunicações (*“The Conference on Systematic and Intuitive Methods in Engineering, Industrial Design, Architecture and Communications”*) na qual Christopher Alexander apresentou suas ideias: havia uma conexão entre contexto e criação da forma, o que ele batizou de “linguagem de parâmetros”. Essa linguagem era definida pela subdivisão do problema de projeto em parâmetros, ou seja, define-se o processo de projeto partindo

de pequenas unidades, sendo trabalhadas em uma matriz de interação onde os problemas são organizados hierarquicamente (ALEXANDER, 1964).

Na década de 1980 surgiram também os “processos matemáticos (...) para racionalizar, organizar e estruturar os dados que irão responder à forma” (OLIVEIRA, 1979, p. 12). Aparece o papel do computador na otimização de soluções pré estabelecidas segundo o programa dado.

Jones (1966), arquiteto, engenheiro e pesquisador procura conciliar métodos científicos com intuitivos como mostram suas teorias:

- . Caixa preta – processo intuitivo, uso do ‘*insight*’ para resolução de problemas;
- . Caixa de vidro - fixar objetivos, variáveis e critérios onde há avaliação lógica (não experimental) das soluções; e
- . “Sistema Auto Organizado” - une as duas teorias anteriores com uso do computador.

Martinez (2000) diz que o processo de projeto, ou, como o arquiteto projeta, é inseparável de como se ensina projeto. Segundo o mesmo autor, Viollet-le-Duc, em 1863, definiu o processo de projeto segundo a satisfação do programa de necessidades, portanto há necessidade de se iniciar a resolução do problema de arquitetura de alguma forma, que segundo Martinez (2000) pode ser, por exemplo, relacionando o programa de necessidades com um plano de massas. O problema de projeto em arquitetura é confuso, um problema mal definido, ou seja, com múltiplas respostas e, portanto, cabe ao arquiteto simplificar, hierarquizando as necessidades projetuais em desenhos, plantas, elevações e fachadas, definindo seus objetivos e critérios (MITTCHELL, 1975). Hierarquização essa já proposta anteriormente por Jones (1966).

Já na escola de Belas Artes, no século XX, o domínio instrumental da arquitetura era iniciado com o desenvolvimento do objeto estético esboçando as linhas gerais, ou o ‘partido’ do projeto (MARTINEZ, 2000).

A busca de soluções é um processo definido por Martinez (2000): “Idealmente, o processo continua aumentando a definição de objeto, de modo que a sintaxe gráfica se torna mais precisa e o número de objetos possíveis de responder ao conjunto de representações se reduz; finalmente, é um único” (MARTINEZ, 2000, p.30).

O mesmo autor, do ponto de vista prático, define a finalidade do processo como produção da “(...) descrição do objeto para ser compreendido e aceito por terceiros em um primeiro momento, para ser compreendido por seus executores e para ser posteriormente materializado” (MARTINEZ, 2000, p. 47).

Por outro lado Schön (2000) defende o ensino de projeto prático reflexivo, aquele em que o aluno deve pensar o que faz, enquanto faz é o método de prática em atelier é a reflexão na ação. O autor ainda acredita que a interdisciplinaridade é essencial nesse método e acredita que o ensino prático reflexivo é promovido com a participação dos professores uns da aula dos outros. Este foi um período em que a prática da arquitetura decidiu que não havia mais necessidade de apelar à ciência para legitimar suas atividades, e o método de ensino de atelier que é *open-ended*, foi inserido como método de educação baseado em práticas de diálogo e especulação formal (SNODGRASS e COYNE, 2006). Terzidis (2006) contrapõe este empirismo como fonte de inspiração apoiando o estabelecimento de um modelo racionalista para produção da arquitetura.

Chougui (2006) afirma que as tecnologias CAAD permitem que os projetistas combinem diferentes métodos de projeto, usando cada um deles como questionamento do processo de projeto, tarefa, produto ou posicionamento do arquiteto frente as questões abordadas.

A intervenção da tecnologia no processo de concepção do projeto inicia com os programas CAD, uma tecnologia que o computador auxilia o projeto e não apenas o desenho (LIGGETT, 1979; MARTINEZ, 2000; MITCHELL, 2009; ORCIUOLI, 2009a; VINCENT, 2006).⁷

Alguns autores acreditam que a arquitetura deve tirar partido do computador utilizando as possibilidades de geração automatizada de soluções através de alternativas do projeto clássico intuitivo com o auxílio de operações matemáticas como uso de matrizes, fractais, grafos, algoritmos, *scripts* e uso da gramática da forma para desenvolvimento de projeto onde a função do arquiteto é inserir parâmetros e analisar soluções usando restrições pré-estabelecidas para decidir uma solução final.

⁷ É importante destacar que na literatura internacional o termo ‘*design*’ é empregado com sentido de ‘*projeto*’ quando o tema é arquitetura, urbanismo e construção, porém em alguns textos traduzidos ou interpretados em português há uma tradução do termo como ‘*desenho*’ o que muda completamente o sentido das ideias expostas aqui, portanto, neste trabalho o termo ‘*design*’ encontrado na bibliografia foi traduzido por ‘*projeto*’ para evitar perdas ou confusões.

Diversos grupos de pesquisas de diferentes países apontam para a importância da inclusão de matérias relacionadas à informática, matemática e geometria computacional por meio do uso de programas de desenho mais avançados o que mostra a interdisciplinaridade um fator importante no currículo contemporâneo da graduação em arquitetura e urbanismo (ORCIUOLI, 2009a).

Yessios (1987) defendia a utilização do computador no processo de investigação formal, hoje ocorre o contrário, a utilização do computador é como ferramenta de representação. Como exemplo o mesmo autor aponta o projeto de Eisenman onde a forma precede a função e ele via o computador como gerador de formas arquitetônicas, como ferramenta de produção. Por outro lado, os arquitetos em geral criticam a perda de tempo na aprendizagem da programação ou de outro *software* mais complexo para modelagem, Yessios (1987) conclui que há uma contradição no discurso do arquiteto já que este tem expectativa em usar o computador para projetar porém não tem interesse em desenvolver ferramentas computacionais. Portanto, as disciplinas de programação devem ser introduzidas no currículo promovendo interdisciplinaridade com possibilidade de parceria universidade/empresa fomentando a troca de informações quanto as reais necessidades da ferramenta de projeto.

O uso de ferramentas digitais na prática de projeto tem enfrentado a barreira do preconceito daqueles que acreditam que é essencial a fase manual do 'ato de projetar' na concepção de projeto; entretanto, a tecnologia aumenta a proximidade da tradição manual através de uso de *tablets* e lousas interativas no desenvolvimento de projeto (RIGHI; CELANI, 2008).

Snodgrass e Coyne (2006) escrevem que a Arquitetura envolve interpretação e posicionamento frente as questões históricas de proporções, etc. Frente a esse posicionamento Mitchell (2009) propõe que o uso do computador no processo de projeto é um procedimento lógico matemático que ocorre em um plano abstrato, regido por regras sintéticas e semânticas; ideia fielmente rebatida pelos primeiros autores.

Essa ideia foi reforçada com a retomada do positivismo no fim do século XIX e começo do XX abordando a Ciência do Projeto. Snodgrass e Coyne (2006) consideram essa postura um regresso porque a prática hermenêutica de atelier era vista como libertadora, produtiva e tradução do ato de projetar pois continha o fator '*humanistic-orientation*' caracterizando a 'reflexão na ação' diferente dos estudos '*computer-*

oriented'. Duarte, Celani e Pupo (2010) discordam desta visão, pois segundo as práticas do ensino de arquitetura relatados em seu capítulo *"Inserting computational Technologies in architectural curricula"* o ensino baseado em computador conduz os alunos para simular uma arquitetura criativa promovendo reflexão das decisões projetuais em tempo real como proposto por Schön.

O processo de criação do projeto de arquitetura é identificado por ações cognitivas que envolvem: pensamento visual (esboços), condução das escolhas projetuais, reflexão na ação e complementação de diferentes meios de representação para materializar as ideias "(...) tanto esboços e maquetes físicas como modelos digitais e protótipos rápidos são fundamentais para a concepção e comunicação do projeto" (FLORIO, 2007, p. 03).

Desta forma, os modelos, ou maquetes de representação têm papel importante como estratégia no desenvolvimento e materialização das ideias do arquiteto.

2.1.1 USO DE MODELOS NO PROCESSO DE PROJETO

Partindo desse ponto de vista os modelos sempre tiveram papel importante na representação arquitetônica. Já na Idade Média, as maquetes ilustravam os sistemas construtivos ou outras especialidades a fim de auxiliar o processo construtivo (MILLS, 2007).

Tradicionalmente, a maquete ou modelo entra como ferramenta de estudo da materialidade, volumetria e construtibilidade do projeto. Silva (2000) destaca que Michelangelo, na Capela de São Pedro, usou os modelos como mecanismo antecipador, ou seja, como ferramenta para driblar o problema da representação em desenho 2D com soluções construtivas.

A importância dos modelos foi fielmente defendida por Gaudí, que, no fim do século XIX, usava modelos físicos de catenárias para estabelecer formas arquitetônicas. Seu trabalho é a expressão da exploração formal e técnica das maquetes físicas. O arquiteto é conhecido pela condução muito individual e peculiar dos seus projetos, usando muitos modelos no desenvolvimento de projeto e processo das obras, na maioria dos casos, sem produzir nenhum desenho.

Atualmente, a "Sagrada Família" em Barcelona, sua obra inacabada, ganhou dois aliados da tecnologia: são usados modelos computacionais paramétricos e as técnicas de

CAD/CAM através da prototipagem rápida que produzem moldes para fabricação em concreto de elementos construtivos e peças complexas da obra (BURRY, 2003).

Na década de 1990, os modelos virtuais tomaram força no cenário de arquitetura, mas as maquetes físicas nunca foram esquecidas ou substituídas. Tais modelos apresentam uma grande importância, pois desempenham a função de aproximar arquitetura e ideia fisicamente, possibilitando interações, análises, e ainda, a manipulação e construtibilidade do modelo retomam a tectônica no processo de desenvolvimento de projetos.

Bonaldo et al. (2008) afirmam que maquetes ajudam na compreensão e na construção do espaço. As aplicações dos modelos podem ser classificadas em três categorias, segundo Ryder et al. (2002): Forma: avaliação estética; Montagem: maior grau de precisão e Funcionalidade: alto nível de resistência, detalhamento e maior escala.

Para o arquiteto Frank Gehry e Partners LLP, a maquete tem função muito importante (MILLS, 2007). O desenvolvimento de projeto é iniciado em modelos físicos e posteriormente é escaneado para que a forma seja digitalizada, retrabalhada e o modelo digital final pode ser diretamente transmitido para produção.

Krasny (2009) apresenta o Atelier Bow-Wow em Tokyo cujo processo de trabalho inclui, na maioria das vezes, o uso de maquetes para verificar o processo de projeto espacialmente, além disso, durante a apresentação do projeto ao cliente a discussão é feita com a maquete em mãos, onde mudanças sugeridas são inseridas imediatamente. Os arquitetos acreditam que o cliente não é um profissional de AEC, portanto não interpreta croquis, vistas, etc., para isso são utilizadas maquetes mais precisas possíveis. As maquetes são inicialmente feitas a partir dos primeiros esboços e cada mudança sugerida é examinada no modelo. Tudo é analisado em diferentes modelos: volumes, proporções, disposição interna e em diferentes escalas: desde 1:100 até 1:30; com este método eles chegam a produzir de 50 a 60 modelos por projeto.

Por outro lado, o SOM (Skidmore, Owings & Merrill LLP) é um escritório de projeto dinâmico com 1600 funcionários espalhados em escritórios do mundo todo. A tecnologia é uma forte aliada do grupo já que pode se trabalhar colaborativamente usando BIM. Diferentes disciplinas trabalham juntas no projeto digital. Nada é impresso, o trabalho é dentro do computador. Os arquitetos projetam em modelos virtuais e com maquetes

físicas para checar problemas pontuais, eles ensinam aos estagiários: “se você não pode fazer o modelo, você não pode construir a edificação” – tradução livre – (KRASNY, 2009, p. 117).

No *site* do escritório encontram-se textos sobre o processo projetual com a utilização de BIM desde a concepção do projeto e como essa ferramenta melhora a eficiência da produção de projetos e documentos reduzindo erros com a integração de diferentes disciplinas num modelo nD. Além disso, o papel do arquiteto e do engenheiro é exaltado neste ambiente colaborativo de trocas como o idealizador de ideias e gestor de conhecimento já que o computador desenvolve papéis importantes de simulação para posterior interpretação dos profissionais.

Quando perguntado sobre o futuro do projeto ou construção com uso das ferramentas computacionais Friesen (LEE; BEAURECUEIL, 2009b, p.44) leva em conta que as estratégias de projetos são conduzidas pelas mudanças da produção ou do ‘mundo da fabricação’ porém cabe aos projetistas serem inventivos e capazes de alterar a realidade preconcebida e entender como o arquiteto pode controlar os aspectos ambientais e computacionais na concepção de projeto.

Rivka Oxman (2006) identifica quatro componentes do projeto digital: representação, geração, avaliação e performance e quatro tipos de interação que aumentam os níveis de integração: interação com representação não-digital, interação com constructo digital, interação com uma representação digital gerada por um mecanismo e interação com o ambiente digital e assim, a autora define oito modelos de projeto:

- i. Modelo de papel: interação exclusivamente não-digital;
- ii. Modelo de CAD descritivo: interação com modelo CAD apenas pela representação;
- iii. Modelo de avaliação generativa: uso do modelo com técnicas analíticas de simulação;
- iv. Modelo de formação: interação dinâmica da representação com uso de projeto paramétrico e scripts;
- v. Modelo generativo: interações complexas na geração de formas;

- vi. Modelo performático: mecanismo de formação, manipulação deste mecanismo gera um determinado desempenho;
- vii. Modelo performático: mecanismo de geração, manipulação deste mecanismo gera um determinado desempenho;
- viii. Modelo composto: combinação de todos os outros modelos.

Esta pesquisa vê como ideal o modelo composto ou Único onde concepção, desenvolvimento, análise e produção estão interconectadas por diferentes tecnologias, como será discutido adiante.

2.2 DESENVOLVIMENTO DE PROJETO

No contexto da produção do projeto arquitetônico as equipes multidisciplinares e fragmentadas geram diferentes modelos de base conforme o profissional e a fase do projeto. Para tanto, ferramentas de colaboração entre os diversos agentes envolvidos e a coordenação as atividades projetuais e da documentação são peças-chave para o melhor desenvolvimento do processo de projeto.

É tarefa do coordenador de projeto organizar e planejar o processo de projeto e coordenar as soluções do projeto em desenvolvimento. O termo “coordenação” deve ser entendido como uma ação que “(...) envolve esforços sistemáticos do arquiteto e demais projetistas, desde as fases iniciais de concepção perpassando todo o desenvolvimento de projetos” (FABRICIO, 2008, p. 41). Ou seja, a **Coordenação de Projeto** é uma “(...) atividade de suporte ao desenvolvimento do processo, voltada a integração entre requisito dos clientes, as decisões das especialidades de projeto e entre o projeto e o processo produtivo do edifício” (FABRICIO, 2008, p. 40).

Já “**compatibilização**” pode ser definida como a ação de verificar as interferências através da superposição de projetos, a fim de evidenciar os problemas e propor suas soluções pela coordenação, ou seja, “(...) a coordenação deve anteceder a compatibilização, para que haja ganhos em termos da qualidade e racionalização das soluções de projeto” (MELHADO (Ed.), 2005, p. 58).

Para que isso ocorra, desde o início, o coordenador deve exigir padrões⁸ comuns a todos: os projetos devem ter siglas, carimbos, penas, folhas e *layers* (camadas)

⁸ Esses padrões podem estar estabelecidos estrategicamente em um modelo único baseado na tecnologia BIM. Tal afirmação será melhor discutida no item **2.5 Modelo Único**.

padronizados para facilitar a interoperabilidade de diferentes *software* de desenho, a análise e troca de arquivos pelas diferentes áreas (HOWARD; BJÖRK, 2007).

Outras ferramentas tradicionais como *check-lists*, reuniões e planilhas são usados para o entendimento global de um projeto, porém a dificuldade de ler globalmente um projeto, a fim de evitar problemas de interferência, é resolvida, hoje em dia, contando, quase que unicamente, com a experiência de projetistas.

A interdisciplinaridade do projeto leva a Coordenação a integrar os diversos projetistas (arquitetos, paisagistas, engenheiros de estruturas, de fundação, etc.) criando soluções que atendam positivamente de forma global as diversas interferências que podem ocorrer no desenvolvimento de um trabalho.

Cabe ao projeto de arquitetura resolver as interferências e compatibilizar as soluções, já que aquele é complementado por uma série de soluções especializadas para os diversos subsistemas construtivos.

Atualmente as novas ferramentas de TI são potenciais para o auxílio no processo construtivo. Entendendo o processo de projeto como sequência de informação racional deve-se reduzir etapas desnecessárias para melhorar o entendimento do fluxo de informações (CELANI; PINHEIRO; GRANJA, 2007). O uso de um Modelo Único, baseado em BIM⁹, pode auxiliar na coordenação dessa etapa do projeto, pois um único arquivo contém todas as informações do ciclo de vida da edificação.

Os programas capazes de avaliar a gestão do processo, acompanhar cronograma, alocar recursos, estimar custos, monitorar processos podem eficientemente e efetivamente auxiliar cinco funções de coordenação (ANANTATMULA, 2008):

1. Documentar os papéis definidos no projeto e implementar os processos;
2. Estabelecer processos formais e consistentes;
3. Comunicar expectativas de processos e papéis;
4. Comunicar-se abertamente com membros da equipe, mesmo que virtualmente e
5. Monitorar e gerenciar os produtos.

⁹ Ver item 2.3 *Modelagem Virtual*.

O uso de modelos - tanto virtuais e como físicos - é relacionado a três objetivos: (i) o estudo da forma, (ii) o encaixe dos elementos (“*fit*”) e (iii) a função dos elementos na montagem (RYDER et al., 2002). Logo, a Coordenação de Projetos, aliada à tecnologia BIM facilita o controle dos vários arquivos desenvolvidos pelos diferentes projetistas e promove melhor entendimento e controle visual do projeto final. Além disso, a associação do modelo 3D a análises e protótipos permite antecipar decisões e alterações na etapa de produção (SPERLING, 2002).

Portanto, já existem alternativas ao método de sobreposição de pranchas 2D sendo utilizadas e aperfeiçoadas. A ideia de se utilizar modelos (virtuais ou não) parece facilitar o processo de visualização do projeto como um todo já que a complexidade das relações espaciais muitas vezes demanda a construção de maquetes para melhorar a compreensão do sistema criado e das interferências indesejadas que surjam porventura (KOWALTOWSKI; PINA, 2006).

A Coordenação de Projeto consiste em três etapas: planejamento do projeto, gestão do processo de projeto e coordenação das soluções técnicas. O BIM proporciona ao coordenador meios para gerenciar a equipe, acompanhando as modificações e inserção de novas informações, controle de fluxo das informações, automatização o processo de compatibilidade. Facilitando, portanto, o envolvimento dos diversos projetistas desde as primeiras etapas do processo de projeto, no que diz respeito à discussão e viabilização de soluções para o projeto (FABRICIO, 2002).

A coordenação das informações do modelo BIM é assegurada por um repositório de informações padronizadas de desenhos da construção, cujos dados vão sendo acrescentados pelos diversos participantes do desenvolvimento do produto, garantindo a qualidade e a integridade do modelo (CRESPO; RUSCHEL, 2007). A equipe é dividida em grupos, e os diferentes sistemas recebem regras para acesso e controle de alterações do modelo do banco central de dados para que a validação seja coletiva.

O Projeto Colaborativo é pautado na troca de conhecimentos e experiências, onde riscos, responsabilidades e sucessos são coletivos a partir de contribuições individuais. O rápido acesso às informações oferecido pelo sistema BIM permite troca de ideias e tomada de decisões em conjunto mais eficiente.

Roschelle e Teasley¹⁰ (1995 *apud* Brna, 1998) definem o trabalho cooperativo através da divisão do trabalho entre os participantes, como uma atividade onde cada um é responsável por uma porção da solução do problema; em oposição à colaboração, que, por sua vez, é uma atividade sincrônica, coordenada, que envolve o empenho de um grupo coordenado para partilhar uma solução conjunta.

As ferramentas de coordenação estão modificando a forma de liderar porque as ferramentas baseadas na Internet (BIM associado à Extranet¹¹) apresentam sistemas essenciais para comunicação, resolução de conflitos, troca de conhecimento e integração de projetos complexos. O coordenador pode analisar, rever e sugerir mudanças através de pesquisas nas bases informacionais, planos, e escopo do projeto (ANANTATMULA, 2008). O *software* BIM além de agilizar o processo de coordenação, também auxilia na checagem e autorização das diferentes modificações que os projetistas podem fazer simultaneamente num mesmo arquivo.

2.2.1 FUTURAS GERAÇÕES: ENSINO DE PROJETO

As escolas de arquitetura têm se adaptado lentamente às novas tecnologias com a inserção de disciplinas de computação que introduzem *software* CAD/CAAD, programação ou outros programas que colaboram com o aluno durante o processo de concepção de projeto (RIGHI; CELANI, 2008). A maioria utiliza a possibilidade do projeto paramétrico.

Na área do ensino, Florio (2007) aponta o BIM como possibilidade de novas descobertas e compreensões durante o processo de criação do aluno na fase projetual já que permite a reflexão de suas ações na inserção de dados:

A inclusão do BIM no ensino de arquitetura facilita a compreensão da articulação entre elementos construtivos do edifício, tornando mais clara e precisa a comunicação das informações e intenções projetuais (FLORIO, 2007, p. 10).

¹⁰ ROSCHELLE, J.; TEASLEY, S. The construction of shared knowledge in collaborative problem solving. In O'Malley, C.E., (ed.), **Computer Supported Collaborative Learning**. pages 69-97. Springer-Verlag, Heidelberg. 1995.

¹¹ Com advento da internet, contratantes e projetistas tem se permitido trabalhar remotamente usando um ambiente virtual para gestão do processo de projeto com troca de informações e arquivos. O sistema, chamado de Extranet, funciona através de senha pessoal ou corporativa onde cada agente tem permissão ou não, para acessar determinadas pastas contendo desenhos, propostas ou projetos em desenvolvimento e nela fazer *upload* ou *download* dos arquivos.

As tecnologias de modelagem paramétrica e prototipagem rápida têm entrado vagarosamente no currículo das escolas de arquitetura. Duarte, Celani e Pupo (2010) descrevem a importância da introdução gradual desse processo para que não haja rejeição tanto do corpo docente quanto discente. A modelagem paramétrica é mais difundida, já que desde 1980 tem sido introduzida no campo acadêmico; porém, a tecnologia BIM ainda sofre preconceitos, enfrentando obstáculos na aplicação no ensino de projeto por ser algo relativamente recente.

A PR sofre não só com o preconceito, mas também com o custo de sua implantação. As universidades brasileiras que implantaram ou estão em processo de estabelecimento de Laboratórios com essa tecnologia conseguem financiamento para implantação do equipamento necessário por meio de programas e projetos de agências de fomento ou parceria com empresas privadas.

Quanto à metodologia de projeto, o BIM permite que o aluno compreenda a importância do projeto colaborativo, teste variações paramétricas dos componentes construtivos, envolva-se mais com questões da construtibilidade já que a modelagem proporciona melhor compreensão da sequência das operações que são realizadas pelos diversos profissionais no canteiro de obras, entre outros benefícios (FLORIO, 2007).

O objetivo da reestruturação curricular e a inserção dos Laboratórios de Fabricação Digital é alcançar o nível do modelo composto proposto por Oxman (2006) já apresentado anteriormente. Porém, cada caso, instituição ou disciplina usa uma determinada estratégia de aceitação já que tal modelo muda radicalmente a cultura tradicionalista projetual dos professores e instituições de ensino.

Turkienicz, Beck e Mayer (2008) apresentam um exercício desenvolvido no terceiro ano da graduação de Arquitetura cujo processo projetual inclui ferramentas computacionais e concluem que a exploração dos meios de representação e a inclusão de programas computacionais com ferramentas generativas têm um papel importante na capacidade de testar e analisar diferentes alternativas projetuais.

2.3 MODELAGEM VIRTUAL

O projeto auxiliado por computador (CAD) oferece não só a digitalização do projeto como facilita sua automação, compartilhamento de arquivos e elaboração de

banco de dados. O CAD possui três gerações distintas quando combinado com Tecnologia da Informação (TI) (BIRX, 2006):

1. Desenho auxiliado por computador - também chamado de 'prancheta eletrônica';
2. Modelagem geométrica, ou 'maquete eletrônica'; e
3. Projeto auxiliado por computador - modelagem do produto, ou seja, CAD orientado ao objeto¹².

Ou seja, o CAD orientado ao objeto simula componentes do edifício com foco no modelo virtual, gera automaticamente documentos 2D, e permite a extração, rápida e precisa de dados e propriedades dos componentes.

No final da década de 1980 deu-se início ao desenvolvimento da terceira geração do CAD, cujo principal objetivo foi a integração de informações geométricas com dados não geométricos através do estabelecimento de relacionamentos associativos e paramétricos (BIRX, 2006). Onde informações geométricas abrangem características espaciais do objeto como forma, posição, e dimensões; e dados não geométricos incluem características como custo, material, volume, resistência, especificações do fabricante, entre outros.

O BIM apresenta a terceira geração CAD/TI referente à modelagem da informação orientada ao objeto – o modelo 4D parametrizado contendo todo o ciclo de vida do projeto da construção. BIM é mais um conceito de modelagem integrada onde dados são compartilhados esperando-se consistência e confiabilidade entre os participantes de várias disciplinas no processo de projeto da construção, baseado na Engenharia Simultânea (CRESPO; RUSCHEL, 2007). BIM combina o modelo de dados (geometria e dados) com um comportamento do modelo (gerenciamento de alterações) que dá significado para o dado através de relacionamentos. Ainda providencia um sistema integrado que pode ser usado para simular o comportamento de um edifício. A coordenação de informação é um dos aspectos mais avançados deste tipo de sistema (AUTODESK, 2006).

¹² A modelagem orientada ao objeto visa reduzir a dificuldade no processo de modelar o real em um conjunto de componentes virtuais, tornando a representação das ideias mais fiel do que as outras tecnologias de representação.

A modelagem virtual pode ser utilizada como dado lógico a ser inserido no computador para fabricação digital, ou seja, o modelo já contempla o projeto para produção. No modelo virtual, a interpretação não é mais necessária porque as informações digitais do modelo já estão intrinsecamente ligadas à realidade, com possibilidade de produção automatizada, por exemplo, por CNC (GARBER, 2009), desta forma fechando a ideia de Modelo Único.

A interpretação do projeto pode gerar inconsistências relacionadas ao desempenho e à execução dos sistemas e entre os subsistemas da edificação criando problemas de construtibilidade¹³ (FERREIRA; SANTOS, 2007).

Uma das funções do projeto de arquitetura é fornecer informações para a produção de um objeto, se essas informações forem passadas diretamente do meio virtual para o real evita qualquer problema de interpretação ou erro humano, ou seja, o modelo completo, ou Único, é uma alternativa a este problema (ORCIUOLI, 2009a).

A visualização 3D e o método de construção do modelo usando componentes, ao invés de camadas (*layers*), leva ao usuário a reflexão sobre cada elemento a ser introduzido no modelo (OLIVEIRA, 2009).

Florio (2007), baseado em Jones (1966) mostra as visões contrárias de Cheng (2006 *apud* FLORIO, 2007)¹⁴ e Seletsky (2006 *apud* FLORIO, 2007)¹⁵ quanto ao uso do BIM já que cada um analisa seu emprego segundo diferentes perspectivas: divergente e convergente. Na fase divergente o projetista deve questionar os problemas criativamente e na convergente o projetista deve selecionar os problemas de forma técnica – onde na hora do projeto o BIM se mostra mais efetivo. O autor faz uma importante afirmação caracterizando as ferramentas digitais como antecipadoras de decisões logo nas fases iniciais de projeto já que é difícil determinar a divisão entre processo de criação (processo divergente) e execução (processo convergente).

¹³ Segundo Sabbatini (1989) o conceito de construtibilidade propõe a integração de projeto e construção dentro de uma visão holística, adotando prioritariamente, em todas as etapas, os dados provenientes das operações construtivas considerando que a solução ótima é a de maior construtibilidade. Os baixos níveis de construtibilidade são atribuídos ao projeto de produto - ou detalhamento - não completo, seja ele de arquitetura, estrutura, fundações ou instalações prediais (NOVAES, 1997).

¹⁴ CHENG, R. "Questioning the Role of BIM in Architectural education". **AECbytes Viewpoint** #26, July 6, 2006.

¹⁵ SELETSKY, P. "Questioning the Role of BIM in Architectural education: A Counter-Viewpoint". **AECbytes Viewpoint** #27, August 31, 2006.

O uso do computador na intermediação da representação tem caráter formador e não apenas operatório: a arquitetura deve buscar o potencial abstrato da ferramenta para auxiliar no projeto e não simplesmente na representação da realidade (MITCHELL, 1975; SILVA, 2000).

O modelo nD utilizado como ferramenta de investigação de problemas possibilita a solução destes na etapa anterior à produção. Nota-se que diversas pesquisas buscam otimizar as interfaces de desenho e cronograma caminhando para uma melhor leitura da sequência lógica da construção, assim, alia-se cronograma à maquete virtual (HARINK; VRIES, 2007).

Assim como nas indústrias metal-mecânica, manufatureira e aeroespacial, a visualização tridimensional do modelo permite verificar as inadequações e incompatibilidades instantaneamente. Na etapa de especificação o projetista pode experimentar diferentes soluções e automaticamente obtém uma relação de quantitativos, custo, e visualização do componente inserido no edifício. Esse processo de investigação certamente auxilia nas tomadas de decisões, economizando tempo e evitando futuros conflitos.

Crespo e Ruschel (2007) relatam os benefícios da visualização 4D (3D+tempo) percebidos pela GSA (*General Services Administration*, EUA), dentre elas destaca-se: visualização da preservação histórica do entorno, redução de erros e omissões, visualização e otimização das fases do projeto e sequência da construção, e a equipe conduz o projeto com eficiência, exatidão e segurança.

Esses benefícios são possíveis pela manipulação do modelo virtual. A simulação em BIM permite o entendimento espacial do entorno e da edificação, a compatibilização de projetos de diferentes especialidades – os conflitos são listados automaticamente às diferentes fases de construção aliadas ao cronograma de execução permitem a revisão da sequência e definição do canteiro de obras aliando as novas tecnologias em todas as etapas do processo de projeto aumentando a eficiência do produto.

A inserção desse tipo de tecnologia no processo de projeto repensa as necessidades do conhecimento do processo construtivo do edifício, ou seja, o método deve se aliar à produção (SPERLING, 2002). Burry (2003) considera que o alto custo e a mudança no processo de projeto pelo uso da tecnologia - considerada 'inimiga da

intuição' - são os dois obstáculos principais para que o projeto paramétrico entre definitivamente no mercado industrial.

As formas arquitetônicas contemporâneas requerem uma mudança de atitude e comportamento dos parceiros envolvidos em um projeto. A composição técnica complexa exige ferramentas virtuais que otimizem as formas e materiais, dentre outros aspectos, isto é, o *software* auxilia o arquiteto nas escolhas projetuais usando parâmetros de construtibilidade, informações dos componentes padrões de parceiros, disposição do canteiro de obras; o que facilita a execução da obra (EEKHOUT; GELDER, 2009).

Ultimamente, um dos problemas enfrentados pelas empresas é a dificuldade de visualizar corretamente o planejamento de uma obra no contexto urbano, em especial, em obras de grande porte mais complexas.

O modelo virtual aliado ao cronograma entra aqui permitindo a visualização do andamento da obra apresentando uma visão real da sequência de construção, permitindo interação com o canteiro em todos os estágios da construção. Essa interação não é possível com os meios de planejamentos mais utilizados como o diagrama de Gantt, onde a visualização espacial fica a desejar e o planejamento é pautado em diagrama de barras. Os *software* baseados em BIM permite a coordenação de canteiro de obras, materiais e principalmente a troca de informações entre partes envolvidas.

2.3.1 PROJETO PARAMÉTRICO

O projeto possui funções de comunicação e documentação o que permite interpretação e a posterior avaliação da proposta concebida. Durante todo processo de projeto são gerados desenhos, esquemas, tabelas e diversas outras informações pela equipe de projeto. Essas informações precisam ser organizadas para facilmente serem consultadas durante o desenvolvimento do trabalho, e, após sua conclusão, devidamente arquivadas.

O grande volume de informações, a complexidade dos novos empreendimentos e os diversos aspectos inerentes à elaboração dos projetos de edificações requer em que os processos sejam padronizados e informatizados. Nesse contexto, as tecnologias de CAAD e TI têm apoiado os escritórios de projeto a otimizar o fluxo e arquivamento das informações geradas em todo o processo, contribuindo para a coordenação e o acesso às informações.

A riqueza de informações proporcionada pelo uso de objetos paramétricos possibilita a extração automática de diversos tipos de representações de determinado elemento construtivo, sem que haja a necessidade de redesenhá-los: planta, corte, elevação, perspectiva e quantitativos são atualizados automaticamente com as novas dimensões ou especificações desejadas, ou seja, a parametria define as relações que as partes devem guardar entre si.

O desenho parametrizado é automaticamente ajustado quando se modifica um elemento com um novo valor. O uso de *software* que permite esse tipo de desenho proporciona a diminuição do tempo de projeto assim como aumenta as possibilidades de variações de um mesmo modelo e agiliza a visualização de cada uma delas (HORTA, 2009).

O Projeto paramétrico pode ser caracterizado de duas formas:

- i. parametrização de atividades, relações e informações como no caso do **conceito BIM**; e
- ii. proporções geométricas alteradas automaticamente, como no caso do Desenho ou **Projeto Paramétrico**.

A Figura 2 exemplifica essa caracterização: a representação 2D é feita apenas por linhas sem atributos, de relações fixas. O desenho paramétrico por sua vez, apresenta proporções geométricas dependentes, quando a alteração de uma parte as demais reagem em conjunto. Já a modelagem utilizando BIM proporciona o desenho simultâneo em planta, elevação e visualização em prancha com alteração automatizada de cada componente representado, não apenas linhas. Segundo Eastman et al. (2008), BIM é definido como tecnologia de modelagem coligada a processos de condução, comunicação e análise do modelo da construção.

Representação 2D

Linhas sem atributos
Relações Fixas

Controle de relações

Desenho Paramétrico

proporções geométricas dependentes

Linhas = componentes
(paredes)

Modelagem em BIM

atividades, relações e informações dependentes

Figura 2: Caracterização do Projeto Paramétrico

Souza e Amorim (2008) apresentaram no trabalho “Avaliação do uso do BIM em escritórios de projeto” um diagrama que mostra a rotina do processo de projeto e qual a especificação do projeto necessária para cada etapa, adaptado na Figura 3.

Figura 3: Projeto conforme fases e especialidades.

Fonte: Adaptado de Souza e Amorim (2008)

A Figura 3 explicita o projeto subdividido em sistemas, onde cada especialidade tem o papel de decidir e gerar informações (desenhos, planilhas, especificações) nas

diferentes fases (anteprojeto e projeto executivo). Esses projetos devem ser coordenados e compatibilizados para que não ocorram decisões durante a produção. O sistema **BIM** permite o gerenciamento deste processo e possui ferramentas que auxiliam a troca de informações e compatibilização de projeto.

O sistema BIM exige a modelagem por componentes da edificação que possuem propriedades reais: agregam dimensões, materiais, finalidade, especificações, fabricante e preço, além disso, o componente também permite a relação com outros componentes, como, por exemplo, o componente 'parede' permite que se agreguem componentes tipo 'janela' e 'porta' (CRESPO; RUSCHEL, 2007).

O **desenho paramétrico** permite a exploração de diferentes alternativas em um modelo interativo facilitando as decisões de projeto. A coordenação do processo de projeto é automatizada na criação do desenho permitindo interações rápidas com modificações complexas, baseadas em parâmetros, além disso, auxilia também no processo de fabricação já que se obtém desenhos e modelos automáticos, e no caso da fabricação digital, o desenho manda coordenadas diretamente para a produção em fresa CNC, por exemplo (LEE; BEAURECUEIL, 2009).

Lee e Beaurecueil (2009) afirmam que o desenho paramétrico permite que o arquiteto explore múltiplas alternativas já que o modelo é interativo possibilitando a visualização de diferentes soluções e auxiliando a tomada de decisão. Ou seja, há exploração de novas formas sem a necessidade de criar novos modelos para cada cenário.

Assim, a parametrização dá maior autonomia ao arquiteto, para pesquisa de novas soluções, e ainda, com o auxílio de programas de análise possibilita rapidamente a alteração de soluções projetuais com melhor desempenho e acelera o processo de concepção de projeto e produção de modelos (HORTA, 2009). Outros benefícios do uso do desenho parametrizado no processo de projeto também são apontados por diferentes arquitetos que fazem uso de tecnologias computacionais durante todo processo como a mediação entre criatividade e otimização para escolha do material, da fabricação dos componentes e da construção do edifício (LEE; BEAURECUEIL, 2009).

Em entrevista publicada por Lee e Beaurecueil (2009b) Lawrence Friesen comenta como o projeto paramétrico modifica o paradigma de projeto de Arquitetura:

Essa gama iterativa de soluções nos livra do reducionismo de projeto convencional orientado a função e promove um processo de projeto mais dinâmico, (...) isso permite ao arquiteto ser mais criativo ao usar a simulação da performance ambiental como critério de projeto (tradução livre¹⁶).

As principais características dos programas baseados na tecnologia de modelos paramétricos são: as informações de todo o edifício e o conjunto completo de documentos do projeto são armazenadas em um banco de dados integrado; todas as relações são paramétricas e, portanto totalmente interconectadas; mudanças em componentes geométricos podem ser feitas sem a necessidade de apagar ou redesenhar, permitindo flexibilidade e refinamento da representação; toda mudança nos relacionamentos entre objetos reflete sempre e instantaneamente ao resto do projeto e nas representações do projeto; maior rigor no desenvolvimento do projeto, já que os parâmetros apropriados permitem algumas transformações, enquanto restringem outras; todas as relações do modelo estão disponíveis para definição do usuário, não apenas relações que tenham sido pré-programadas, incluindo definições gráficas.

Os modelos virtuais podem ter distintas funções, dentre elas: representação volumétrica para estudo da forma; maquete virtual com renderização de objetos; texturas e outros aspectos simulando a realidade a fim de apresentação para o cliente ou venda final; modelo completo com quantitativos e qualitativos de cada componente da construção. Essa última função é possível com o uso de *software* baseado em BIM.

A tecnologia dos programas baseados em BIM está em constante desenvolvimento e evolução. Não só a melhoria da tecnologia, mas também os usos da ferramenta vêm crescendo. Segundo Birx (2006), o período de transição da utilização do CAD geométrico para os CADs BIM durará ao menos mais uma década.

No processo que utiliza o BIM ocorre uma inversão do processo desenvolvido pelos sistemas CAD: ao invés de uma série de desenhos bidimensionais, o projetista “constrói” virtualmente um modelo da edificação, utilizando objetos que simulam em forma e comportamento os elementos construtivos a serem empregados na construção. O modelo virtual é a base de dados onde são armazenados todos os parâmetros de cada

¹⁶ “This iterative range of solution frees us from the reductionism of conventional function-driven design and provides us with a more dynamic design process, (...) it lets the architect be more creative in using environmental performance as a design criterion.” Lee e Beurecueil (2009b, p.42).

elemento construtivo utilizados no projeto. A atenção do projetista é, portanto, focada às soluções projetuais, e não aos desenhos técnicos, que são em boa parte gerados automaticamente pelo computador (BIRX, 2006). Desta forma a atenção é voltada ao processo construtivo, especificações do componente, etc.

A implementação do BIM em um escritório altera o método de trabalho convencional, pois o sistema não modela apenas o produto, mas também, engloba aspectos como elementos, processos e documentos. A tecnologia permite a gerência do ciclo de vida com banco de informações integrado a um modelo tridimensional. Isso proporciona (SARSHAR, 2004):

- a. Documentação automatizada – não há risco de trabalho com versão antiga (formato datado);
- b. Entendimento completo do objeto modelado, pois há precisão na inserção de dados desde a fase inicial do projeto;
- c. Banco de dados unificado permite o arquivamento de todas as contribuições da equipe; e
- d. Retroalimentação facilitada pela organização dos documentos.

Portanto a ferramenta é capaz de sintetizar os resultados a partir de avaliações, identificar e estruturar os problemas e conflitos entre os resultados avaliados e, finalmente, produzir um conjunto de sugestões e opções para auxiliar o processo decisório (FU et al., 2006).

Robinson (2007) descreve que o sistema de modelagem do componente pleno de informações para formar um modelo único e depois gerar documentos é o mais apropriado para a gestão da informação na construção. Os diversos componentes são modelados sem detalhes e seus parâmetros (dimensão, material, relação com outros componentes, etc.) podem ser definidos e refinados durante o processo de projeto.

2.3.2 A QUESTÃO DA INTEROPERABILIDADE

A necessidade de troca de dados entre aplicativos não é algo novo, muito menos único da AEC. Os primeiros programas CAD 2D já possibilitavam a troca de algum tipo de dado (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

Em 1997, Anumba, Baron e Duke¹⁷ e Anumba, Baron e Evbuomwan¹⁸ (1997 *apud* FABRICIO, 2002), já identificavam sete níveis de comunicação entre agentes de projeto e *software* (Figura 4):

- Comunicação intradisciplinar entre as ferramentas de cálculo e apoio à engenharia (CAE) – nível 1;
- Comunicação entre cada projetista e suas ferramentas computacionais (interface homem-máquina) – nível 2;
- Comunicação entre os membros da equipe de projeto – nível 3;
- Comunicação entre cada disciplina e a coordenação de projeto – nível 4;
- Comunicações entre os diferentes estágios de amadurecimento do projeto – nível 5;
- Comunicação entre a equipe de projeto e os agentes do empreendimento e clientes – nível 6;
- Comunicação entre ferramentas interdisciplinares de apoio ao projeto – nível 7.

Dada a complexidade da comunicação intraprojetual, a necessidade do desenvolvimento de processos de gestão eficazes para apoiar o processo de troca de informações entre agentes e *software* é fundamental.

¹⁷ ANUMBA, C.J.; BARON, G., DUKE, A. Information and communications technologies to facilitate concurrent engineering in construction. **BT Technology Journal**, v.15, n.3, p.199-207, July. 1997a.

¹⁸ ANUMBA, C.J.; BARON, G., EVBUOMWAN, N.F.O. Communications issues in concurrent life-cycle design construction. **BT Technology Journal**, v.15, n.1, p. 209- Jan. 1997b.

¹⁹ ANUMBA, C.J.; BARON, G., DUKE, A. Information and communications technologies to facilitate concurrent engineering in construction. **BT Technology Journal**, v.15, n.3, p.199-207, July. 1997a.

²⁰ ANUMBA, C.J.; BARON, G., EVBUOMWAN, N.F.O. Communications issues in concurrent life-cycle design construction. **BT Technology Journal**, v.15, n.1, p. 209- Jan. 1997b.

CAD Geométrico	CAD com objeto paramétrico - BIM
Autocad (Autodesk) – primeira geração	Autocad (Autodesk) – terceira geração
ZwCAD	Revit (Autodesk)
ProgeCAD (Intellicad)	Archicad (Graphisoft)
Powerdraft (Bentley)	VectorWorks
QCAD	Active3D (Archimen)
	Allplan (Nemetschek)
	Rhinoceros + grasshoper
	MicroStation (Bentley)
	Solibri
	Tekla Structures
	MagiCAD
	Bentley Architecture
	Architectural Desktop
	Generative componentes

Quadro 3: *Software* com tecnologia BIM

O Quadro 3, apresenta **alguns** dos *software* comerciais, em sua maioria desenvolvidos recentemente, de projeto de arquitetura segundo as tecnologias que os diferenciam.

IFC é o modelo que vem sendo elaborado desde 1994 pela IAI (*International Alliance for Interoperability* – agora chamada *buildingSMART International*) e aprovado pela ISO (*International Standardization Organization*) que viabiliza o intercâmbio de informações arquitetônicas e construtivas entre *software* com inteligência baseada no objeto - tais como os BIM. Segundo Fu et al. (2006), o IFC é um tipo de linguagem que foca na modelagem do produto e processos da indústria da AEC/ FM (*Facility Management*) e é o principal instrumento pelo qual é possível estabelecer a interoperabilidade dos aplicativos de *software* AEC com conceito BIM.

A interoperabilidade é importante para que diversos especialistas de projeto em diferentes fases do processo possam adicionar informação, independente do *software* e da fase do empreendimento.

Os detalhes do sistema, como interoperabilidade em formato IFC, permitem que diferentes aplicativos sejam compatíveis (ROBINSON, 2007). Outras áreas que estão em desenvolvimento são as normas que incluem um código automatizado de verificação de conformidade (AC3) e estudo para troca de operações em BIM – COBIE - *Construction to Operations Building Information Exchange* (GARBER, 2009).

Santos (2009) apresenta as diferentes padronizações para interoperabilidade de BIM: o IFC é apenas o “como” a informação será trocada, a elaboração do IDM (*Information Delivery Manuals*) e MVD (*Model View Definitions*) são padrões responsáveis pela especificação de “qual” e “quando” a informação será trocada. Essa troca de informações ainda precisa de um quarto padrão, o IFD (*International Framework for Dictionaries*) que é “o que”, ou seja, o significado da informação que será trocada. Este é um ponto importante para a participação de diferentes agentes da Indústria da Construção, mais importante ainda são os profissionais do Brasil serem impositivos quanto a sua participação no desenvolvimento do *IFDLibrary*, a biblioteca Internacional que concentrará a semântica, significado e atributos dos componentes em várias línguas.

Porém as associações de modelos 3D a desenhos 2D reduzem a capacidade de atualizações automáticas no modelo, a eficiência na simulação das etapas de construção e a avaliação de custos do projeto (ANDRADE; RUSCHEL, 2009). Da mesma forma, Andrade e Ruschel (2009, p. 80) destacam que “um dos maiores obstáculos para a adoção do IFC é a perda de robustez na interface disponível nos aplicativos, tornando isso um grande obstáculo para um amplo e voluntário uso do IFC como protocolo preferido para troca de dados do edifício”.

Diversas pesquisas (ANDRADE; RUSCHEL, 2009; BACKAS, 2001; KIVINIEMI et al., 2008; PAZLAR; TURK, 2008; SANTOS, 2009) têm percorrido o caminho da interoperabilidade por ser um ponto crucial para melhor funcionamento dos programas e troca de informações entre as equipes de projeto. É possível perceber a gama de usos que a ferramenta BIM como modelagem virtual pode oferecer para o Projeto de Arquitetura e o seu potencial na melhoria da qualidade do processo de projeto, portanto a academia e o profissional brasileiro devem estar atentos às atualizações e mudanças no cenário do mercado, onde cada vez mais escritórios têm implantado *software* que utilizam BIM para desenvolvimento de projeto.

2.4 FABRICAÇÃO DIGITAL

Os métodos digitais no processo de projeto começam com a inserção de dados no computador pelo usuário. A fabricação digital inicia quando o usuário envia as

informações do computador para a máquina e a partir daí não tem mais como interferir no produto final.

O termo 'rápido' é referente à não assistência humana no processo de produção. Geralmente os sistemas chamados 'prototipagem rápida' são de adição e os de 'fabricação digital' são de subtração (PUPO; CELANI, 2009). Neste trabalho será adotado o termo 'fabricação digital' com referência a todo e qualquer tipo de produção 'rápida' independente de escala ou método de produção. O termo 'prototipagem rápida' fará referência aos modelos de escala investigativa (menor que 1:1) independente do método de produção.

A caracterização da **Fabricação Digital** está resumida na Figura 5. Ela pode ser dividida basicamente segundo os métodos de produção e finalidade. Esse processo de fabricação originou-se nas indústrias naval e mecânica e as máquinas foram criadas para esse propósito. Hoje as máquinas estão menores e com interfaces mais amigáveis tornando o processo mais aceitável, ou até possível para escritórios e ateliers de projeto, permitindo que esta facilidade seja definitivamente implementada no ofício de projeto.

Figura 5: Categorias dos métodos de produção automatizados em arquitetura e construção
Fonte: Adaptado de PUPO (2008)

2.4.1 PROTOTIPAGEM RÁPIDA

O ferramental de prototipagem rápida já é amplamente utilizado por disciplinas de engenharia mecânica, aeronáutica, medicina, eletro/eletrônicos, etc. Há alguns anos a Arquitetura começou a utilizar as facilidades e o potencial da Prototipagem Rápida.

Mitchell (1975) escreveu, em 1975, que um projeto sofisticado dependia do desenvolvimento de uma unidade de produção com interface com computação gráfica. Diversos autores na década de 1990 pesquisaram sobre as técnicas de fabricação de modelos físicos. Nos anos 2000, grupos de pesquisa de diversas universidades publicaram artigos descrevendo o uso de PR em arquitetura²¹.

A popularização dessa ferramenta vem baixando os preços das máquinas e materiais para fabricação digital o que é incentivador para professores, arquitetos e pesquisadores introduzirem e explorarem novos métodos de ensino e trabalho com projeto assistido por PR.

A partir da análise da Figura 5 percebe-se que a **finalidade do protótipo** é um ponto chave a ser discutido neste trabalho já que aborda tanto o desenvolvimento de projeto em escala reduzida, quanto a produção final de partes ou de todo edifício. Será abordado o uso da PR com a escala reduzida a fim de utilizar o protótipo como modelo de estudo de projeto, avaliação de soluções e apresentação do objeto arquitetônico projetado.

A produção destes protótipos também abrange uma vasta gama de materiais, equipamentos e métodos de produção. O Quadro 4 apresenta essas diferentes possibilidades.

²¹ Diversos trabalhos com este tema são encontrados na *Automation in construction*, dentre eles: Ryder, G. et al. *Rapid design and manufacture tools in architecture*. **Automation in Construction** - Volume 11, issue 3, April 2002, p.279-290., Koutamanis, A. *Digital architectural visualization*. **Automation in Construction** - Volume 9, Issue 4, July 2000, p.347-360, Oxman, R. *Design media for the cognitive designer*. **Automation in Construction** - Volume 9, Issue 4, July 2000, p.337-346, Chase, S.C. *Generative design tools for novice designers: Issues for selection*. **Automation in Construction** - Volume 14, Issue 6, December 2005, p.689-698, Wang, Y; Duarte, J.P. *Automatic generation and fabrication of designs*. **Automation in Construction** - Volume 11, Issue 3, April 2002, p.291-302.

	Técnica	Matéria Prima	Pós Processamento	Restrições	Vantagens	Empresa
Líquido	Stereolitografia (STA)	Resina fotocurável (laser)	Remoção do Suporte e Polimerização	Pouca diversidade de materiais	Boa qualidade superficial e boa precisão	3D Systems
	Impressão a jato de tinta (IJP)	Resina fotocurável (UV)	Remoção do Suporte	Pouca diversidade de materiais	Muito boa qualidade superficial e boa precisão	Polyjet - Invision
Sólido	Modelo de deposição fundida (FDM)	Polímero termoplástico	Remoção do Suporte	Processo lento e Pouca diversidade de materiais	Boa qualidade superficial e boa precisão	Stratasys
	Manufatura de objeto Laminado (LOM)	Folha de material adesivo (laser)	Remoção complicada do Suporte	Não indicado para superfícies delicadas e Pouca diversidade de materiais	Protótipo resistente e produto não tóxico	Cubic Technology
	Tecnologia de Papel Laminado (PLT)	Lâminas de papel (laser)	Remoção do Suporte	Protótipo frágil e Pouca diversidade de materiais	Processo rápido	Kira
	Impressão a jato de tinta (IJP)	Cera ou termopolímero	Remoção do Suporte	Pouca qualidade superficial e alto consumo de energia	Diversidade de materiais	Thermojet
Pó	Sinterização seletiva a laser (SLS)	Pó (laser)	—	Pouca qualidade superficial e alto consumo de energia	Alta qualidade mecânica	3D Systems e EOS GmbH
	Impressora 3D (3DP)	Pó e aglutinante	Limpeza e aplicação de resina	Pouca diversidade de materiais e qualidade superficial satisfatória	Processo rápido, possibilidade de protótipo colorido e não há desperdício de material	Z Corp e Prometal
	Modelagem Mecânica a laser de malha metálica (LENS)	Pó metálico (laser)	—	Alto consumo de energia e acabamento superficial não muito bom	Pode-se combinar diferentes métodos de fabricação para reparar peças	Optomec

Quadro 4: Métodos de prototipagem rápida.

Os três equipamentos mais comuns para elaboração de modelos de arquitetura são o corte a laser, a fresagem CNC e a impressão 3D. Esses métodos estão disponíveis no LAPAC - Laboratório da FEC/UNICAMP, nos laboratórios da FA/UTL e AA em Lisboa e Londres respectivamente, e serão descritos a seguir:

2.4.1.1 Corte a Laser

A máquina de corte a laser tem a função de produzir os componentes de uma maquete, e não ela pronta por inteiro. Há necessidade de trabalhar o desenho do modelo a fim de separá-lo em camadas ou fazer o rebatimento de faces para produção das partes que futuramente serão conectadas; para isso existem *scripts* para automatizar o processo de rebatimento ou separação em camadas. Há possibilidade de controlar a potência do laser e dessa forma gravar no material desenhos, textos ou outro padrão (MILLS, 2007). Podem-se cortar diversos materiais como MDF, acrílico, papel acartonado, dentre outros; porém, há necessidade de se controlar potência e velocidade de ação do raio nos diversos materiais para evitar que haja fogo, ou que o material simplesmente não seja cortado e haja apenas a gravação.

2.4.1.2 Impressão 3D

A impressora 3DP que utiliza pó e aglutinante para fabricação dos componentes produz protótipos relativamente frágeis com necessidade de dimensionamento mínimo e pós-processamento para cuidados com a peça. Esse equipamento é encontrado na UNICAMP e na AA.

A impressão por FDM é encontrada na UTL e utiliza polímero termoplástico para constituir um protótipo de acabamento regular e necessita de pós-processamento para remoção do suporte.

A impressão 3D tem maior custo que o corte a laser, porém permite que o modelo produzido seja fielmente igual ao arquivo digital enviado para impressão.

2.4.1.3 CNC

A fresa CNC é caracterizada por um processo de subtração que remove o material de blocos de madeira, metal, isopor, plástico ou papel no formato diretamente enviado do arquivo do computador. A fresadora pode cortar em 2 até 5 eixos e possui diferentes tamanhos, desde fresadoras de mesa para protótipos menores, até fresadoras que produzem painéis com mais de 2 m².

Orciuoli (2009b) afirma que o uso da CNC se destaca pela precisão, rapidez, qualidade de acabamento e a relação entre projeto e execução onde o projetista se aproxima do processo de fabricação, pois o desenho já contém as informações do projeto para produção.

2.5 MODELO ÚNICO

A modelagem única como solução para o projeto colaborativo onde diversos intervenientes atuam sobre o projeto em conjunto é uma tentativa de delinear as relações das ferramentas de modelagem e fabricação em um processo único e contínuo, como o modelo composto proposto por Oxman (2006).

Os padrões e parâmetros de um projeto podem estar limitados a um arquivo base com a tecnologia BIM, porém hoje ainda não se vê uma saída direta deste arquivo complexo para a produção de componentes de um edifício.

A adoção de um Modelo Único no processo de projeto promete a colaboração entre membros da equipe de projeto onde decisões são tomadas coletivamente. Neste contexto, o envolvimento de diversos profissionais acarreta a entrada (*input*) de diversos dados de projeto como concepção, orçamento, detalhamento, instalações, estruturas, etc. para conformação de um modelo consistente, que, por sua vez permite múltiplas saídas (*output*) como documentação – desenhos: cortes, fachadas, perspectivas - planilhas, projeto para produção, modelo virtual completo, prototipagem rápida (preparação do arquivo para impressão) etc.

Tal abordagem não é inédita nem impossível, porém exige planejamento: Kieran e Timberlake (2004) descrevem a reforma de um antigo galpão da Boeing em componentes pré-fabricados para construção civil: todo aparato da engenharia foi adaptado para receber o melhor tratamento tecnológico em que cada peça projetada, assim que produzida, recebesse uma etiqueta (ou *chip*) com metadados contendo informações desde sua montagem na obra e sua interação com outros componentes até a data de fabricação, informações de manutenção e fadiga do material.

A Figura 6 resume estas ideias que buscam abranger a complexidade do projeto que utiliza um modelo virtual paramétrico com base de dados única.

Figura 6: Complexidade do Projeto em Modelagem Única.

3 PRÁTICA PROFISSIONAL

Este capítulo apresentará as entrevistas junto aos escritórios de arquitetura que utilizam conceito BIM no desenvolvimento de projeto. Como já apresentado o software com conceito BIM auxilia na modelagem digital do edifício da concepção ao gerenciamento de informações, tudo de forma integrada, reutilizável e automatizada.

Todos os escritórios entrevistados utilizam ou utilizaram o software *Revit Architecture*, cujas informações são paramétricas e conectadas através de *links* reduzem a chance de erros²². A troca de informações é dinamizada pelos recursos de comunicação e visualização oferecidos pelo próprio suporte 3D vinculado à documentações automatizadas como planilhas de cálculo, gráficos, diagramas, apresentações, dentre outros. Desta forma as revisões ou alterações são mais ágeis e a possibilidade de erro ou incompatibilidade entre sistemas, informações ou versões do projeto é reduzida. O modelo é integrado e as simulações das interferências das diferentes especialidades de projeto detectam conflitos automaticamente.

No Brasil, o *Revit* foi inserido em 2002 e cada vez mais vem expandindo seu mercado. A cada ano a *Autodesk* lança nova versão do *Revit* trazendo inovações e mudanças segundo sugestões de seus usuários.

A Figura 7 apresenta as diferentes tecnologias de *software* de projeto e a possibilidade direta de sua ligação com a prototipagem rápida. A digitalização do projeto, seja ela em *software* 2D, 3D ou paramétrico permite esse tipo de interface direta com a Fabricação Digital.

²² *Revit* vem de do inglês *revise*, ou seja, revisar, trocar pelo correto, exato.

Figura 7: Protótipos produzidos a partir de qualquer modelo digitalizado²³

Pretende-se com o instrumento de coleta de dados obter informações a respeito do uso de programas baseados na tecnologia BIM para desenvolvimento de projeto de arquitetura alcançando informações relevantes à elaboração de recomendações passíveis de serem incorporadas em processos de projeto. O Quadro 5 apresenta resumidamente os instrumentos de coleta dos Estudos de Campo.

		INSTRUMENTOS	OBJETO	OBJETIVOS	DETALHES
ESTUDOS DE CAMPO	DESCRITIVO	QUESTIONÁRIO	Escritórios que utilizam programas com tecnologia BIM para desenvolvimento de projeto	Caracterização geral do escritório	. identificação do perfil do escritório: porte, atuação, experiência, etc.; . delimitação do uso do <i>software</i> : 2D, 3D, nD, etc.
		ENTREVISTA	Arquitetos e/ou engenheiros responsáveis pela coordenação do processo de projeto dos escritórios selecionados (questionário)	Obter informações pontuais que acrescentem às anteriormente obtidas com o levantamento	. identificação e contato com projetos desenvolvidos com a tecnologia BIM; . realização de entrevistas; . interpretação e análise de dados
	EXPLORATÓRIO	VISITA TÉCNICA	Prática de ensino e pesquisas acadêmicas em projeto paramétrico e Laboratórios de excelência	Acompanhar desenvolvimento de projeto com uso de modelagem virtual e PR como ferramentas de desenvolvimento de projeto	. abordagem junto aos professores, alunos e técnicos do laboratório

Quadro 5: Síntese dos instrumentos e objetivos

²³ Figura proposta pela Profa. Dra. Gabriela Celani durante banca de avaliação desta pesquisa.

O Estudo Descritivo do uso de ferramentas de modelagem virtual nos escritórios brasileiros iniciou-se com o levantamento do perfil dos escritórios atuantes em projeto de arquitetura, urbanismo, engenharia e instalações no estado de São Paulo através do questionário enviado por e-mail [APÊNDICE 2]. A escolha desses escritórios foi baseada na utilização, por esses escritórios, de *software* BIM no processo de projeto; o contato foi possível através do apontamento de pesquisadores reconhecidos na área, assim como o contato com os escritórios que formam a Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção para elaboração do projeto norma ABNT NBR – ISO 12006. A seguir, no Quadro 6 é possível consultar o perfil de sete empresas que se disponibilizaram a responder o questionário que foi enviado.

Dos cinco escritórios entrevistados (A, B, D, E e G), um realiza projetos complementares – sistemas hidráulicos e elétricos prediais e de infra-estrutura urbana – enquanto que os demais projetos de arquitetura e coordenação, constituindo um quadro proveitoso para pesquisa permitindo especulação prática do processo de projeto multidisciplinar e fragmentado, auxiliado – ou não – por modelagem nD, constituindo-se como um estudo do uso prático do conceito BIM, enquadrado nas proposições iniciais desta pesquisa.

O Escritório D, de engenharia estava em fase de estudo da implantação do *software* quando da entrevista. O escritório E, de arquitetura estava analisando o uso do *Archicad* no processo de projeto quando da resposta do questionário, porém na época da realização da entrevista já havia implementado o *Revit* como ferramental BIM de auxílio ao processo do escritório.

O Escritório A, por sua vez possui muitos anos de mercado e foi o primeiro a utilizar *Revit Architecture* no Brasil.

O Escritório B teve uma experiência diferenciada, devido ao longo prazo para execução do projeto (3 anos) e pela exigência do contratante para uso do *Revit*. A partir da introdução no cotidiano do escritório o *software* tem agilizado interações entre arquiteto e engenheiro estrutural.

O Escritório G é um dos que mais se adaptou ao uso do *Revit* no processo de projeto do escritório incorporando uma biblioteca própria com componentes recorrentes em seus projetos.

	Escritório A	Escritório B	Escritório C	Escritório D	Escritório E	Escritório F	Escritório G
Áreas de Atuação	Projeto de Arquitetura e Coordenação de Projetos	Projeto de Arquitetura, Coord. de Projetos	Projeto de Arquitetura	Projetos Complementares	Proj. para produção de vedações, Gestão e Coordenação de Projetos	Projeto de Arquitetura	Projeto de Arquitetura e Coordenação de Projetos
Número de Projetistas	06	04	11	12	02	24	08
Tempo de atuação	29 anos	07 anos	17 anos	30 anos	18 anos	28 anos	5 anos
Nicho de Mercado	Proj. Resid., Com./Serviços, Ind. e Edifícios de Saúde	Proj. Resid., Com./Serviços, Ind. e Edifícios de Saúde	Projetos Residenciais, Com./Serviços	Proj. Resid., Com./Serviços, Ind. e Edifícios de Saúde	Projetos Residenciais	Proj. Resid., Com./Serviços, e Edifícios de Saúde	Projetos Residenciais, Com./Serviços
Clientes	Públicos e Privados	Públicos e Privados	Privados	Privados	Privados	Privados	Públicos
Fases de Projeto	De estudo de viabilidade ao projeto executivo	De anteprojeto ao projeto executivo	De estudo de viabilidade ao projeto executivo	Hidráulicos e Elétricos, Prediais e de Infraestrutura Urbana	Anteprojeto e Executivo	De estudo de viabilidade a coord. de projetos complementares	De estudo de viabilidade ao projeto executivo
Software	Revit Architecture	AutoCAD 2010, Revit Architecture 2010	AutoCAD 2010, Revit 2010, Vray e SketchUp	ZWCAD customizado para empresa	AutoCAD 2005, 2007, Civil 3D 2010	3DMax, SketchUp, AutoCAD 2010	AutoCAD e Revit Architecture
Uso do Software	2D, 3D, tabelas	2D, 3D, BIM	2D, 3D, BIM	2D e Dimensionamento	3D	2D e 3D	2D e BIM
Dificuldades	Nenhuma	No começo: falhas operacionais do software	Dificuldades iniciais na migração para o Revit	Falta de padronização	Nenhuma	Necessidade de compatibilização entre projetos	Representação gráfica em pequenas escalas
Observação	Todos projetos desenvolvidos em Revit	Estudo preliminar e ante-projeto da Midiateca da PucRio em Revit	Adaptação ao novo software	Dificuldade de migração de software devido a falta de biblioteca	Estudando o uso de Archicad (provável início em 2011)	Equipe treinou o software Revit, porém não foi implantado	Revit é excelente ferramenta para modelagem, compatibilização e coordenação de projetos

Quadro 6: Perfil dos escritórios que utilizam modelagem virtual com tecnologia BIM no processo de projeto

Após este primeiro contato, foram marcadas entrevistas com os escritórios que se disponibilizaram para tal atividade. O roteiro de entrevista encontra-se em anexo [APÊNDICE 3] abordando o desenvolvimento do processo de projeto, contemplando os objetivos desta pesquisa no que diz respeito a investigar as interferências da aplicação destas ferramentas técnicas no auxílio da coordenação de projeto de arquitetura. A seguir serão apresentadas as principais discussões abordadas nas entrevistas junto aos escritórios **A, B, D, E e G**²⁴ já que os escritórios **C e F** não se disponibilizaram para esta etapa de aprofundamento das questões.

3.1 ESCRITÓRIO A

Atuante há quase 30 anos em São Paulo, o Escritório A possui seis arquitetos que trabalham em diferentes obras, sendo elas privadas, públicas ou concursos com distintos graus de detalhamento e complexidade. Todos os projetos do Escritório são desenvolvidos em *Revit Architecture*. Em 2002, foi o primeiro escritório do Brasil a usar o *software*.

O arquiteto responsável pelo Escritório A é também coordenador de um curso de Arquitetura, considera o *software* de fácil assimilação e percebe que a inserção do conceito BIM desde a formação na graduação, ajuda o aluno a compreender a prática construtiva (informação verbal)²⁵.

Quanto ao desenvolvimento do *software*, o arquiteto entrevistado - que é responsável pela tradução do *software* para Português, pois a *Autodesk* percebeu que a terminologia técnica não era assimilada pelos brasileiros relatou que a parte de detalhamento, padronização e parametrização ainda é pouco utilizada. Como desenvolvimento futuro do *software*, em versão PRO, que hoje contém *Revit* e *AutoCAD*, o arquiteto sugere que seja incluído no pacote o *Civil 3D light* para modelagem do terreno e do *3DMax* para reenderização.

Quanto à dinâmica no escritório, o arquiteto descreve que a divisão da equipe de projeto mudou com a entrada do BIM, pois

(...) é difícil pensar em termos de fases como era na época do AutoCAD, do desenho, fazia-se um estudo simplificado, e conforme

²⁴ Os escritórios não serão identificados devido à cláusula de sigilo presente no questionário aplicado.

²⁵ Informação verbal fornecida pelo arquiteto do escritório A em entrevista realizada em abril de 2010, em São Paulo.

ele fosse aprovado, havia o redesenho incorporando as demais soluções. Com o BIM você não tem desenho, tem o tempo inteiro construção, (...) o tempo inteiro são decisões de projeto, então de cara você elimina a figura do desenhista. (...) Na verdade você precisa de uma equipe reduzida, não precisa mais de trabalho braçal. Agora é uma equipe mais qualificada, o tempo todo você está projetando o executivo, está construindo (informação verbal)²⁶.

Essa mudança no desenvolvimento de projeto também mudou o sistema de produção, pois o arquiteto desenvolve desde o começo até o fim um projeto, trabalhando em equipe, esta etapa é exemplificada pelo arquiteto:

Um arquiteto está trabalhando a questão da fachada, e o outro a questão do núcleo do edifício, e eles vão trabalhando em paralelo porque a base de dados é a mesma. (...) Quando o sujeito que está trabalhando a questão da fachada resolve mudar algo que envolva a planta não é permitido, porque tem a ver com a planta, e precisa de autorização daquele outro, mas eles vão trabalhando independentes. (...) Depois há uma interferência das ações que precisa ser revista (informação verbal)²⁷.

O trabalho em equipe é possível dentro do escritório pois abrange apenas a disciplina de arquitetura. Não há integração com os projetos complementares na mesa base. Há exportação do arquivo para que a intervenção dos outros agentes seja feita no *software* comercial de maior uso na área da arquitetura: o *Autocad*.

A preferência pelo projeto em Revit se dá também porque o *software* permite definir a figura de um coordenador para limitar a função dos demais. Crespo e Ruschel (2007) antecipam que os modelos desenvolvidos na base BIM servem como modelos de referência para o fornecimento de informações relevantes a outras disciplinas:

Espera-se que o modelo do edifício virtual, modelado em um sistema CAD-BIM seja um modelo de referência, onde outros

²⁶ Idem.

²⁷ Idem.

modelos possam acessá-lo e apontar para a informação aonde é armazenado e fazer uso disto mas não embutir nele informações e sim realizar uma especialidade do seu próprio modo e passar a informação para o próximo fazer uso disto da mesma forma. Deste modo a informação pode caminhar para o local, onde se encontra a sua finalidade em sua jornada dentro do ciclo de vida do produto da construção (informação verbal)²⁸.

Há dificuldade na troca de arquivos que ainda é feita em *.dwg*. O arquiteto considera os escritórios de instalações atrasados e acrescenta que apenas poucos profissionais de engenharia civil que fazem cálculo estrutural estão usando *software* baseado em BIM. A consequência disso é a impossibilidade de trocar informações em *.rvt*, o que atrapalha a verificação automática de interferências. Porém, quando eles recebem o arquivo de estruturas em *.dwg* eles passam para o *Revit*, que segundo o entrevistado “dá trabalho, mas vale a pena.”

Essa lacuna entre projeto de arquitetura e complementares impossibilita a concretização do Modelo Único abordada nesta pesquisa. Para que houvesse a integração em uma base única de trabalho haveria a necessidade da troca mais fluida entre os agentes evitando o redesenho de soluções.

A padronização das bases de troca de informações entre os escritórios de arquitetura e complementares não é o único obstáculo a ser enfrentado. A necessidade de uma biblioteca com repositório de informações dos componentes pede que o escritório despenda um tempo inicial maior para estabelecer uma biblioteca própria. Atualmente os fornecedores de peças e componentes da indústria AEC tem bibliotecas em *Autocad* completas com especificações, códigos, parâmetros geométricos e não geométricos e não mostram interesse em desenvolver o mesmo produto com padrões de interoperabilidade para um modelo 3D desenvolvido em plataforma BIM.

As exigências do *software* em termos de *hardware* também foram abordadas e o entrevistado pontuou a necessidade de um processador veloz, pois não há necessidade de muita memória, mas sim de velocidade. Devido às muitas trocas de informações entre

²⁸ Idem.

os diversos projetistas houve a necessidade de se colocar um mini servidor para administrar e guardar todas as informações trocadas no escritório.

O uso de mais de um monitor de vídeo (Figura 8) se dá pela dinâmica do software com a abertura de diferentes janelas para o mesmo projeto. A visualização global do projeto em diferentes janelas (ou vistas) é facilitada pelo uso de dois ou mais monitores de vídeo.

Por fim, quando questionado sobre o uso da prototipagem rápida no desenvolvimento de projeto ele não vê isso como saída do BIM, nem como função no processo de projeto, principalmente na escala do edifício. Não vê sentido usar a PR porque a visualização já está pronta virtualmente, não precisa ser física. Ele entende que a potência da PR está na escala do objeto, ou seja, na fabricação digital.

Figura 8: Arquiteta do Escritório A trabalhando em dois monitores de vídeo
Foto: arquivo pessoal

3.2 ESCRITÓRIO B

Há sete anos desenvolvendo projetos de arquitetura, o escritório B trabalha com três arquitetos e um estagiário em tempo integral. A dinâmica do escritório é pautada na qualidade das propostas, e não no volume de projetos desenvolvidos.

Sobre a divisão da equipe o entrevistado explica que o escritório é pequeno então não tem nada específico, não há uma grande quantidade de projetos então não há preocupação com a eficiência de resposta com tempo, o escritório prefere trabalhar com prazos mais longos para permitir idas e voltas, pode-se refazer o projeto, assim eles consideram um projeto melhor, nas palavras dele: “a gente se arranja”. O arquiteto pontua que o uso do BIM no escritório nunca teve uma necessidade

Figura 9: Arquiteto do Escritório B mostrando o modelo em Revit
Foto: arquivo pessoal

de eficiência no sentido de tempo: mais projeto em menos tempo; assim, na experiência iniciada em 2006 para desenvolvimento de um projeto em específico (Midiateca) explorou-se o potencial de uma melhor compatibilização de pranchas.

Porém, na experiência que tiveram em projetar em *Revit* trabalharam com um arquivo base onde cada contribuição dos arquitetos ou estagiário separadamente foi integrada. Usualmente o escritório trabalha muito próximo com o calculista então há uma integração no processo, mas não no uso do *software*. Novamente a base Única de projeto ficou por conta apenas do escritório de arquitetura que desenvolvia o projeto simultaneamente em diferentes máquinas tendo o arquiteto responsável pela coordenação o poder de vetar ou autorizar as intervenções individuais.

O projeto abordado na entrevista, cujo desenvolvimento foi em *Revit* é o maior projeto que já foi feito no escritório, porém ainda não foi concluído, o desenvolvimento cessou no anteprojeto, pois se trata de um projeto de uma instituição e há necessidade de aguardar pela liberação da verba para dar continuidade ao projeto. O arquiteto considera o uso do *Revit* muito produtivo porque o pouco tempo de trabalho permitiu um projeto mais compatibilizado por conta da geração automatizada de cortes e plantas: “Nas mudanças do pré-dimensionamento após conversa com calculista era muito fácil, era só mudar um parâmetro que as trinta pranchas já estavam completas, atualizadas” (informação verbal)²⁹.

Há percepção de maior perda de tempo inicial, mas o esforço é compensado pelos benefícios em longo prazo são grandes. Ainda, quanto as dificuldades de uso do *software* o arquiteto aponta que o programa “(...) não te obriga a fazer nada, então se você quiser projetar algo que não é executável, construtível, pode acontecer, mas o *Revit* te força a visualizar algumas coisas: cada linha, cada ato, tem um significado mas nem por isso, tem uma conexão com a construtibilidade” (informação verbal)³⁰.

Numa análise comparativa geram entre *AutoCAD* e *Revit* o arquiteto explica:

Eu sempre achei que o *Revit* era bom para fazer o projeto executivo, (...) é um programa burocrático, cheio de parâmetros que você tem que definir, em *AutoCAD*, num projeto grande você

²⁹ Informação verbal fornecida pelo arquiteto do escritório B em entrevista realizada em abril de 2010, em São Paulo.

³⁰ Idem.

pode se perder com tanta informação e no *Revit* as informações são todas conectadas, (...) um desenho alimenta outro, e isso parece mais organizado (informação verbal)³¹.

Outra vantagem pontuada pelo arquiteto é a elaboração dos quantitativos quanto às informações que o modelo pode fornecer. As informações são mais fáceis de retirar, pois automaticamente obtém-se a tabela de portas ou de piso com as áreas, etc. sendo que se houverem mudanças no projeto como “(...) mexer numa laje, aumentar alguma coisa, colocar mais uma porta, a tabela vai mudar automaticamente” (informação verbal)³².

A questão paramétrica também foi abordada, no momento em que houve a necessidade em se trabalhar com representações 2D as linhas também obedeciam as proporções: “(...) até as linhas são paramétricas, então você mexe uma e as outras vão mudando”.

A facilidade do visualizador (*Autodesk Viewer*) também foi apontada pelo entrevistado: “um clique em um objeto pode-se ter acesso aos parâmetros como peso, custo, fabricante, etc.”; ou seja, o modelo em *Revit* favorece uma base de dados para manutenção do edifício, o que na visão do entrevistado “parece muito bom ter um registro muito fácil de manipular” (informação verbal)³³.

Questionado sobre a prototipagem rápida o arquiteto explicou que não há essa utilização no escritório, porém já houve uma experiência com a Fabricação Digital quando se utilizou um desenho direto do *AutoCAD* para fazer um corte personalizado de chapa de aço para uma fachada.

3.3 ESCRITÓRIO D

Há mais tempo no mercado que os outros entrevistados, o escritório D possui experiência na transição dos projetos feitos em papel e nanquim para o computador. A falta de padronização é um fator importante para a discussão do desenvolvimento dos projetos já que os 10 engenheiros e 2 estagiários do escritório trabalham com projetos de instalações prediais.

³¹ Idem.

³² Idem.

³³ Idem.

A entrevista com o Escritório D deu-se em caráter de pré-teste da metodologia adotada já que o escritório estava em fase de estudo da implantação de *software* BIM e não possuía experiência concreta no uso desse conceito no desenvolvimento de projeto. Serviu também para levantamento de dados relevantes quanto ao processo de projeto de um escritório de projeto complementar que presta serviços a outros escritórios, geralmente de arquitetura ou construtoras.

O escritório está estudando a implementação do BIM no escritório, mas isso ainda é uma realidade um pouco distante, pois, segundo ele, envolve inúmeros fatores dentro do escritório dentre eles a adaptação com treinamento, custo, tempo e realocação da equipe. O engenheiro responsável por esta adaptação vê o BIM como potencial no processo de projeto por permitir uma visão sistêmica da gestão de dados, e principalmente porque durante o projeto desprende-se muita energia para compatibilização e o BIM corta essa despesa (informação verbal)³⁴.

O processo de projeto do escritório é baseado nas seguintes etapas: recebem os projetos de arquitetura e estrutura lançada - que já é um problema, pois cada arquiteto usa o *AutoCAD* de forma diferente, quando o *AutoCAD* entrou com força nos escritórios a AsBEA fez um trabalho de padronização de *layers* para facilitar o processo, porém até hoje tem que limpar a base para lançar os projetos de hidráulica e elétrica - após isso, lançam-se os projetos de hidráulica e elétrica e este pacote é entregue para o cliente. A gestão destes documentos fica a cargo do cliente.

O escritório já faz a troca de informações de projeto entre clientes e contratante via sistema colaborativo virtual (Extranet), porém o escritório tem que saber mexer com todos os diferentes sistemas dos diferentes clientes, o que encarece e aumenta o prazo de trabalho, já que não há uma padronização, isso porque há no mercado diferentes aplicativos para o mesmo fim como Buzzsaw (da Workspace) e Citadon (da ProjectNet), ou até mesmo interfaces da própria incorporadora ou construtora.

Mesmo sem fazer uso da tecnologia BIM, o Escritório D, salienta uma corrente prática de desenvolvimento com projetos que se sobrepõe, tendo como ponto de partida o lançamento arquitetônico e estrutural, pouco amadurecido, e que corre paralelamente

³⁴ Informação verbal fornecida pelo engenheiro do escritório D em entrevista realizada em abril de 2010, em São Paulo.

as soluções dos projetos complementares. Este desenvolvimento assíncrono é registrado como um problema frequente:

É enviada uma versão muito “crua” do projeto, e quando você lança uma solução, na semana seguinte já não é o mesmo projeto que você recebeu, então você tem que adaptar, e isso acontece repetidamente. O projeto final é uma grande soma de remendos, está longe do projeto ideal (informação verbal)³⁵.

A engenheira entrevistada questiona a padronização da biblioteca ou família de componentes: “No caso de empresas de projeto terceirizadas, quem será o responsável pela geração destes desenhos?” (informação verbal)³⁶.

A questão da padronização é importante ao se adotar um Modelo Único. A equipe de projetos deve trabalhar nas mesas bases, utilizando os mesmos recursos e linguagem de representação. Assim como as empresas já fornecem seu catálogo de componentes e peças em *AutoCAD*, com a inserção do conceito BIM e das facilidades que o *software* orientado ao objeto pode trazer essas empresas deveriam fornecer os catálogos em *.ifc*.

Segundo a engenheira, neste mercado onde quem determina as coisas são as grandes construtoras e incorporadoras, são elas que tem que entender a dificuldade da padronização das bibliotecas; “cada construtora exige um padrão, então fica inviável para o escritório de complementares desenvolver uma biblioteca pra cada cliente” (informação verbal)³⁷.

3.4 ESCRITÓRIO E

O escritório E é pequeno, possui apenas dois arquitetos e foca principalmente a área de Coordenação de projetos. Na época em que respondeu ao questionário, a arquiteta explicou que o escritório estava estudando a implantação do *Archicad* para início em 2011, porém quatro meses depois, durante a entrevista explicou-se que o escritório optou por utilizar *Revit*, já há dois meses para testar suas facilidades

³⁵ Informação verbal fornecida pela engenheira do escritório D em entrevista realizada em abril de 2010, em São Paulo.

³⁶ Idem.

³⁷ Idem.

(informação verbal)³⁸. Eles também estavam testando outro *software*, também com conceito BIM, o *VectorWorks*.

As atividades de projeto do escritório são principalmente detalhamento e desenvolvimento, não há a fase de concepção. A dinâmica se inicia no projeto pré-executivo e os arquitetos dão continuidade a modelagem da informação: “Na verdade você tem ciclos de amadurecimento de projeto, que podem ser rotulados como anteprojeto, executivo, etc. No início tem uma visão global depois vai refinando até ter a visão pontual” (informação verbal)³⁹. Ela não usa os termos pré-executivo e executivo por que os termos estão associados a representação 2D em papel, ela acredita que a mudança desse rótulo ajuda a mudar a visão do processo do projeto.

O escritório recebe um cronograma de precedências para saber quando e como as outras sub-áreas (complementares) deverão receber o projeto e retornar a informação para alimentar o modelo.

A equipe é coordenada pelo contratante de todas as disciplinas, ou seja, a compatibilidade entre as soluções técnicas desenvolvidas pelos projetistas, que contribui para o aumento da qualidade do produto, fica dispersa a cargo de um agente externo à equipe. O Modelo Único poderia auxiliar nessa dinâmica de troca de informações fazendo da compatibilização (automatizada) o objetivo central da coordenação de projetos.

Quando questionada sobre o processo de projeto, a arquiteta marca a questão das informações não geométricas. Já habituada a projetar em 3D, a arquiteta percebe a vantagem de construir os parâmetros ou informações que deseja agregar a cada componente. No entanto esta vantagem já existia de outra forma no *AutoCAD*: a ferramenta *extendDATA* – atribui parâmetros não geométricos para o desenho, o que muda no *Revit* é que atribui-se valor a um componente e não ao desenho, ou mera representação.

Devido aos testes com diferentes programas BIM, o escritório percebeu que as deficiências do *Revit* são semelhantes aos outros *software* BIM e ainda há necessidade da troca de projetos em formato *Autocad* com as outras sub-áreas, ou seja, gera-se bases

³⁸ Informação verbal fornecida pela arquiteta do Escritório E, em entrevista concedida em agosto de 2010, em São Paulo.

³⁹ Idem.

em 2D para os projetistas – onde há perda de informações e necessidade de apagar e/ou juntar linhas que se perdem no desenho - e a documentação (folhas/pranchas) é feita em *Revit*.

O escritório ainda visa experimentar outros *software* BIM porque o *Revit* é muito ‘pesado’ (exige 4 a 8 GB de RAM) e alguns outros programas rodam os mesmos arquivos com as mesmas facilidades utilizando de 2 a 4 GB de RAM. Em uma experiência de implantação de um loteamento em *Civil 3D* (também da *Autodesk*) quando importado para o *Bentley* o arquivo ficou dez vezes menor, ou seja, mais rápido, aumentando a produtividade e eficiência do escritório. Na literatura, Crespo e Ruschel (2007, p.08) já apontavam que o *software* CAD BIM requer “uma plataforma robusta, técnica de subsistemas por baixo, incluindo APIs (*Application Programming Interface*), estrutura de dados, customizações, além de capacitação técnica”.

O conceito BIM permeia a ideia de Modelo Único, porém é criticado pela arquiteta já que há deficiência quanto às áreas de paisagismo, instalações e fundações. Esta crítica ocorre por parte da arquiteta, pois no Brasil, não utilizamos as outras bases do *Revit* (*Structural e MEP – instalações*), o que resolveria a deficiência apontada.

Segundo a arquiteta, a padronização da exportação em *IFC* - centrada na Norma ABNT/NBR ISO 12006-2, em desenvolvimento – é importante para leitura do arquivo por qualquer *software*, seja a leitura da representação, desempenho especificações, etc., ou seja, permissão de uma leitura global livre, assim como ocorre Internet: os diferentes *browsers*: Safari, Mozilla, Internet Explorer, Google Chrome lêem as mesmas informações sem perdas de conteúdo, porém ainda há problema de compatibilização.

Há uma tendência da indústria imobiliária tornar-se tão grande as empresas aeronáuticas ou automobilísticas, porém não se pode pensar em uma sofisticação de *software* ao nível dessas outras empresas para se executar programas simples como casas residenciais. A Embraer utiliza *software Microstation* e *CATIA* customizado, porém a customização pra cada empresa custa 10 vezes mais que a licença do *software*, o que provavelmente seria inviável na escala de um escritório de arquitetura.

3.5 ESCRITÓRIO G

Utilizando o *software Revit* há dois anos, o escritório já padronizou ferramentas e componentes segundo as necessidades do escritório que conta com oito projetistas.

O escritório alterou um pouco o processo de projeto concentrando o trabalho em menos etapas de projeto, suprimindo a etapa do anteprojeto e focando a fase do projeto executivo, isso devido à demanda dos projetos desenvolvidos. Essa estratégia de trabalho foi adotada com a inserção do *software* baseado em BIM. Todos os arquivos de base do escritório foram modelados em *Revit*, e caso o cliente exija o formato *.dwg*, há exportação para tal formato, que segundo o arquiteto entrevistado: “Não é fidedigna ainda, mas tem mostrado grandes avanços nas compatibilizações”(informação verbal)⁴⁰.

A concepção e coordenação de projeto são dinâmicas já que se passa dos estudos preliminares diretamente para o executivo, fase em que o escritório precisa dialogar com outras disciplinas. Essa comunicação é realizada de modo tradicional: produz-se pranchas 2D para troca de arquivos, o que não demanda muito tempo pois o *software* gera esse material automaticamente. Porém, desprende-se tempo transferindo as informações das outras especialidades para o *Revit* já que nenhuma outra disciplina utiliza *software* com conceito BIM. O arquiteto vê na criação da Norma Brasileira de padronização BIM⁴¹ a possibilidade de padronização das bases de trabalho, o que facilitaria muito o processo.

A coordenação interna do escritório é facilitada pelo uso do BIM quando diversos projetistas estão envolvidos com diferentes tarefas de projeto, onde as constantes revisões e atualizações do modelo passam pela validação do administrador. Para esta função ocorrer sem problemas todos os envolvidos devem estar a par dos padrões de transmissão das informações: “Todos os elementos da planta, das elevações, dos cortes estão parametrizados. Qualquer modificação desencadeia outras a ela interligadas, desde uma simples ‘tag’ até os elementos construtivos” (informação verbal)⁴².

Na parte de detalhamentos técnicos o escritório opta pelo desenho em *Autocad* pois os recursos gráficos do *Revit* não respondem satisfatoriamente a este nível de representação. O escritório começou a utilizar o *Revit* na versão 2008 e percebe os

⁴⁰ Informação verbal fornecida pelo arquiteto do Escritório G, em entrevista concedida em agosto de 2010, em São Paulo.

⁴¹ ABNT/NBR ISO 12006-2 - Construção de Edificação — Organização de Informação da Construção – Parte 2: Estrutura para classificação de informação. que passou a vigorar a partir de 18/4/2010. Também está sendo estudada a parte 3 da norma baseada na ISO 12006-3, cujo objetivo é a especificação de um modelo taxonômico que irá definir efetivamente os relacionamentos entre conceitos, objetos, coleções e entre as entidades básicas do modelo.

⁴² Informação verbal fornecida pelo arquiteto do Escritório G, em entrevista concedida em agosto de 2010, em São Paulo.

avanços nos recursos de documentação, como customização dos padrões de representação, porém percebe que a leitura de arquivos de outros formatos ainda é precária e com perda de informações.

A implantação do *software* exigiu um empenho inicial para a construção das bibliotecas, um trabalho que em longo prazo é visto como muito válido, uma vez que a atualização das bibliotecas hoje é um processo natural. No desenvolvimento dos projetos a biblioteca é utilizada e constantemente utilizada e customizada, que incrementam as famílias de componentes.

O escritório utiliza muito o recurso de concepção em massa (*massing*) que posteriormente atribui-se parâmetros construtivos para cada elemento pré-existent na base de dados do projeto. Os elementos estruturais, vedações, sistemas de ventilação, mobiliário etc. são modelados geométrica e parametricamente, o que requer um conhecimento relativamente elevado dos recursos do *software*. Esse fluxo de projeto contínuo é importante para a Modelagem Única onde a ideia é concebida na mesma base onde irá atribuir parâmetros geométricos ou não para cada componente.

Considerações sobre o Capítulo

Nos cinco casos apontados a padronização de desenhos, a compatibilização de projetos e a troca de informações foram pontos recorrentes no processo de projeto dos escritórios.

A implantação do *software* baseado em BIM nos escritórios de certa forma facilitou as atividades de compatibilização e coordenação de projetos e informações; porém, para isso se concretizar houve necessidade de investimento financeiro e de treinamento da equipe.

Percebe-se no contexto brasileiro, tanto pela bibliografia como pelas verificações em campo, uma utilização reduzida da tecnologia BIM pelos profissionais da indústria AEC, principalmente na área de projetos complementares. Já os profissionais da área de arquitetura são os que mais fazem uso desta tecnologia, concedendo ao modelo em BIM um caráter central, de referência e transmissão de dados que fomentam as demais disciplinas de projeto.

Por sua vez, a troca de informações é feita de forma tradicional: os escritórios que utilizam a modelagem BIM se vêem obrigados a gerar desenhos e planilhas em formatos comerciais (como AutoCAD em *.dwg* e Excel em *.xls*, por exemplo) possíveis de troca entre os profissionais. Porém, as versões mais recentes dos *software* com conceito BIM tem permitido uma interoperabilidade mais robusta com menos perda de informações.

O processo de redesenho necessário para compatibilização entre os diferentes agentes do projeto acarreta em perda de dados e perda de foco da equipe de projeto já que as informações são traduzidas e posteriormente reunidas ao modelo BIM, que por sua vez agiliza a revisão interna do escritório que, devido ao seu caráter paramétrico, automatiza as atualizações do Modelo Único.

4 UM NOVO CONCEITO DE LABORATÓRIO

Laboratórios de Prototipagem Rápida aliados a Projeto

O Estudo de Campo caracterizado como Visita Técnica realizado entre maio e junho de 2009 foi baseado em laboratórios de projeto apoiados por tecnologia de modelagem virtual paramétrica e PR no desenvolvimento de projetos.

A vivência junto a três Instituições de pesquisa no exterior foi muito importante para conhecer o cenário de uso da tecnologia de PR e o projeto paramétrico no desenvolvimento de projetos, assim como o ensino de projeto auxiliado por PR nos locais visitados. O objetivo das visitas foi levantar o estágio atual da pesquisa do uso da modelagem virtual e prototipagem rápida para fins de investigação do processo de projeto. Foram acompanhadas algumas disciplinas de projeto que exigem o uso destas tecnologias para o desenvolvimento de projetos. As visitas à Universidade de Campinas, *Architetural Association*, Universidade Técnica de Lisboa e *Bartlett School Association* estão descritas a seguir.

4.1 UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP – CAMPINAS-SP, BRASIL

A Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo – FEC/UNICAMP, através do projeto temático FAPESP e verbas CAPES e CNPq⁴³, montou o Laboratório de Prototipagem e Automação para Arquitetura e Construção – LAPAC, coordenado pela Profa. Dra. Gabriela Celani. O Laboratório é equipado com uma Impressora 3D - ZPrint

⁴³ A maioria da verba foi levantada pela Profa. Dra. Maria Gabriela C. Celani cuja formação aponta para busca da constante atualização do currículo com inserção de tecnologias e tendências de ponta: formada em 1989 pela FAU-USP, lecionou CAD nos cursos de engenharia civil e arquitetura desde 1992 enquanto desenvolvia estudos de mestrado na FAU-USP. Em 1997, mudou-se para os Estados Unidos, onde trabalhou em diversos escritórios de arquitetura. Em 1999 foi assistente de ensino e pesquisa dos professores William Mitchell, Terry Knight e Takehiko Nagakura enquanto cursava Ph.D. em *Design & Computation* no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Desde de 2004 é professora na FEC-UNICAMP e membro do Comitê Científico Internacional do SIGRADI (informação retirada do Currículo Lattes, disponível em < <http://lattes.cnpq.br/1900829386347923>>).

310 Plus da ZCorp®, uma cortadora a laser - X-660-60 da Universal Laser Systems, e uma Fresa CNC da MTC Robótica.

Figura 10: LAPAC – (a) fresa CNC em primeiro plano, (b) 3DP a frente e cortadora laser ao fundo
Foto: arquivo pessoal

O curso de Arquitetura da UNICAMP, criado em 1999, iniciou ministrando CAD tradicional nos quatro primeiros anos, postura que desagradou o governo estadual, portanto houve uma reestruturação curricular implantando um ensino diferenciado introduzindo BIM, fabricação digital e o uso do computador no processo criativo na grade de ensino.

A reestruturação do currículo e a implantação do Laboratório de excelência para fabricação digital tiveram cinco objetivos principais: dar suporte ao ensino e pesquisa de arquitetura, investigar como a tecnologia computacional e informacional pode integrar o processo de projeto, criar um ambiente de pesquisa que suporte o projeto inovador e criativo em termos de ensino e prática, desenvolver uma nova expertise através de novas soluções arquitetônicas, e prover serviço de consultoria tecnológica à indústria AEC (DUARTE; CELANI; PUPO, 2010).

Além do laboratório, o Programa de graduação em Arquitetura e Urbanismo na UNICAMP oferece disciplinas que subsidiam a formação do aluno com tecnologias e ferramentas contemporâneas. Desde 2003 o curso vem inserindo disciplinas na pós-graduação e gradualmente insere novidades na grade da graduação, isto porque a intervenção gradual possibilita uma maior aceitação da comunidade acadêmica frente as mudanças no método de ensino de projeto (DUARTE; CELANI; PUPO, 2010).

Atualmente há quatro disciplinas obrigatórias na graduação: Introdução a TI e computação gráfica, Desenho e modelagem em CAD, CAD no processo criativo e Modelagem e animação; e cinco disciplinas optativas: Tecnologias da informação e

comunicação, Prototipagem Rápida e Fabricação Digital, Projeto integrado em CAD 4D, Projeto de automação e Programação CAD e Sistemas Generativos de Projeto. Além disso, palestras e workshops também são oferecidos para que os alunos desenvolvam habilidades de projeto envolvendo o computador. Outra estratégia descrita por Duarte, Celani e Pupo (2010) para aproximar os alunos às tecnologias do LAPAC é o desenvolvimento de Iniciação Científica atentando o jovem pesquisador às tendências da academia.

Como resultado da implantação do LAPAC, Duarte, Celani e Pupo (2010) descrevem que é possível perceber o aumento do número de maquetes produzidas durante o processo de projeto contribuindo para a qualidade do projeto final.

Na primeira visita, descrita a seguir, realizada em 2008, o laboratório estava em fase de implantação. Em nova visita ao LAPAC, em 2010 foi possível registrar as atuais produções do Laboratório que também será apresentada a diante.

4.1.1 DISCIPLINA PROTOTIPAGEM RÁPIDA E FABRICAÇÃO DIGITAL E O LAPAC

A visita, em 2008, ao LAPAC permitiu o acompanhamento das diversas linhas de pesquisa: experimentação do uso de diversos materiais para composição do modelo, investigação formal de obras de arquitetos renomados, execução de modelos para utilização em túnel de vento, manipulação de maquetes que auxiliem reformas e ou composição do canteiro de obras (simulação física em escala reduzida) e pesquisa paramétrica de formas e volumes.

O Laboratório foi inaugurado em 2007 e tem sido utilizado por alunos da graduação e da pós-graduação. Além de produzir modelos a serem apresentados como produto de projeto para as disciplinas, os pesquisadores da instituição utilizam o LAPAC para pesquisar técnicas automatizadas de produção de maquetes arquitetônicas e de sistemas construtivos. O *layout* esquematizado do LAPAC pode ser visto a seguir na Figura 11. A sala tem aproximadamente 150m².

Figura 11: Layout esquemático do LAPAC / UNICAMP
Desenho sem escala

As reservas de horário para uso do equipamento são feitas pelo site do LAPAC e o uso do maquinário é supervisionado pelo monitor do laboratório. A cortadora a laser pode ser utilizada pelos alunos mediante pagamento por tempo de utilização do equipamento, sendo eles responsáveis também por levar os materiais a serem cortados. A impressora 3DP por sua vez, calcula automaticamente o volume de pó e aglutinante sendo cobrado um valor predeterminado segundo uso do material.

São produzidas pesquisas na área de metodologia da concepção de projeto usando o computador como aliado no processo criativo. Além de algoritmos, grafos e Gramática da Forma, foi possível observar que o projeto aliado ao computador se estende na prototipagem, já que os modelos virtuais podem automaticamente - ou por meio de *scripts* - serem impressos em 3D ou ter sua execução facilitada pelo uso da cortadora a laser.

A disciplina “IC075/AU910 – Prototipagem rápida e fabricação digital” oferecida no segundo semestre de 2010 foi ministrada pela Profa. Regiane Pupo. Oferecida para alunos de graduação e pós-graduação com o objetivo de explorar as tecnologias de prototipagem em cortadora a laser e impressão 3D e fabricação digital na fresa CNC apresentou diferentes resultados.

Os alunos, divididos em sete grupos desenvolveram projetos abrangendo as temáticas: objeto de decoração, mobiliário ou cobertura. O processo de cada grupo contou com modelagem virtual, experimentação em protótipos em 1:10, 1:5 ou 1:2 para auxiliar na tomada de decisão projetual, escolha de materiais, encaixes, etc. A Figura 12 ilustra os diferentes produtos desta disciplina.

Figura 12: (a) Protótipo em papel paraná cortado a laser, (b) Trabalhos em 1:1 produzidos na fresa CNC, (c) Protótipo em gesso (a frente) e madeirite (ao fundo), (d) Trabalho em 1:1 cortado na fresa CNC
Trabalho dos alunos da disciplina ic075/au910 do segundo semestre de 2010
Fotos: arquivo pessoal

Para concepção dos projetos alguns alunos simularam encaixes e módulos de formas utilizando a prototipagem rápida, outros utilizaram a programação para modelagem virtual paramétrica do projeto.

O processo apresentado pelos grupos foi o que chegou mais próximo da ideia de Modelo Único proposta neste trabalho já que desde a concepção projetual houve a utilização da modelagem virtual chegando a produção automatizada das peças possibilitando a fabricação digital. Alguns grupos tiveram que produzir pranchas de desenho para produção com os módulos das peças para o corte em CNC.

O processo de uso da prototipagem como fase intermediária ao modelo final foi importante para determinação tanto da forma final do objeto quanto ao entendimento do processo de fabricação, já que os alunos desenvolveram o projeto da produção de cada componente para fresagem em CNC.

4.2 ARCHITECTURAL ASSOCIATION SCHOOL OF ARCHITECTURE – AA - LONDRES, INGLATERRA

A *Architecture Association* (AA) é uma escola privada inglesa composta por professores e alunos de todo o mundo. A escola é dividida em unidades com interesses distintos de investigações e métodos de projeto em arquitetura e urbanismo. Porém, as unidades são permeadas por ferramentas que guiam o trabalho dos alunos usando desde métodos generativos de projetos até a fabricação final de pavilhões, como no caso da *Intermediate Unit 2* que explora técnicas contemporâneas de projeto digital assim como manufatura e construção utilizando o potencial de diversos materiais.

Todas as atividades das unidades são apoiadas pelos laboratórios disponíveis na escola. A AA tem quatro laboratórios independentes das Unidades que os alunos cursam e devem ser usados para combinar as tecnologias digitais com diferentes ferramentas e materiais como base de aprendizado sobre fabricação e processo de projeto. Os laboratórios oferecem maquinário para trabalho em diferentes escalas em madeira, metal e plástico, incluindo modelagem em cerâmica, vidro e formas a vácuo.

Os trabalhos são desenvolvidos utilizando fatores de combinatória, geometria lógica, reenderização virtual em diferentes cenários. Passando por tecnologia dos materiais, fabricação digital e processo de produção industrial cada unidade usa a interdisciplinaridade pontuando sua especificidade.

Outro exemplo, o Diploma 16 é uma unidade que, por exemplo, desenvolve projetos paramétricos apoiados em novos materiais, novos modos de fabricação envolvendo conceitos de espaço e ecologia produzindo uma arquitetura do futuro próximo (não acadêmico) onde, materiais inteligentes, adaptáveis e sustentáveis marcam os componentes dos edifícios inovadores.

Outra Unidade que se destaca na inserção de tecnologias CAAD e fabricação digital no currículo é o programa de especialização DRL – *Design Research Lab* que explora em 16 meses novas ferramentas, sistemas e discursos. Investiga ativamente desenvolvendo habilidades necessárias para controlar e formar cadeia de informações projetuais incluindo disciplinas de projeto digital. Explora caminhos para arquitetura associativa de sistemas que controlam a informação dinâmica dos espaços, usos, atividades, interfaces, estrutura e infraestrutura urbanas. A unidade encoraja a experimentação sequencial e recursiva com o projeto paramétrico gerando múltiplos sistemas e espaços.

O DPL – *Digital Prototyping Lab* é equipado com duas Impressoras 3D - ZPrint 310 Plus da ZCorp® (25x20x20cm), três cortadoras à laser - *Universal Laser Systems* e três *CNC Milling* de distintas dimensões capazes de produzir protótipos de diferentes tamanhos e com uso de diferentes materiais.

(a)

(b)

Figura 13: (a) AA Digital Prototyping Lab e (b) fresa CNC
Foto: arquivo pessoal

Além dos Laboratórios na unidade no centro de Londres, há o *Hooke Park*, um laboratório a 228 km da escola onde são pesquisados novos conceitos e materiais da indústria da construção e onde se realiza a construção experimental e sustentável. Os alunos podem explorar técnicas de fabricação produzindo trabalhos em escala 1:1 auxiliada por mão de obra especializada baseada no local. É no *Hooke Park* onde as peças do pavilhão do *Intermediate Unit 2* são fabricadas e posteriormente montadas na *Bedford Square*, praça em frente a AA, para exposição.

A seguir será apresentado o *Diploma 2* – unidade apoiada na ideia de projeto conectado ao meio onde é construído (topologia e tectônica), que utiliza o Laboratório de Fabricação Digital como extensão do desenvolvimento e produtos dos alunos.

4.2.1 Disciplina Diploma 2 – Environmental Design⁴⁴ e o AA'Digital Lab

A visita realizada no primeiro semestre de 2009 acompanhou a disciplina oferecida pelos professores Franklin Lee e Ane, Save de Beaurecueil como será apresentado a seguir.

O AA/DPL é utilizado por alunos de graduação e pós-graduação e conta com a possibilidade de produzir modelos para terceiros a fim de recolher fundos para

⁴⁴ O tempo de graduação em Arquitetura e Urbanismo na AA são cinco anos mais um de avaliações e provas, o Diploma 2 recebe alunos do quarto e do quinto ano e tem como proposta o projeto paramétrico com uso de *software* de simulação e prototipagem rápida.

manutenção do laboratório. O Laboratório tem o objetivo de subsidiar o trabalho de todos os alunos da AA, servir de ferramenta para pesquisas de mestrado e ainda prestar serviços para empresas exteriores à instituição. O contato para produção de protótipos é feito através de e-mail e se paga um montante pelo uso do equipamento e de materiais.

A cortadora a laser pode ser operada pelos alunos e as impressoras 3D são operadas pelos monitores e técnico do laboratório. O uso do laboratório é feito mediante marcação por e-mail. As fresas são confinadas em uma sala com acesso apenas ao técnico. Os usos das fresas CNC e da cortadora a laser estão condicionados ao pagamento apenas do material. Caso o usuário traga o próprio material não haverá cobrança. O laboratório dispõe de um estoque de materiais com o seguinte custo:

- . Espuma de alta densidade (CNC) – M300 – 40x50x5cm : £34.00
- . MDF – 81x40cm – 3mm - £0.75
- . MDF – 81x40cm – 6mm - £1.50
- . Polywood – 75.7x37.5cm - £2.75

O uso da Impressora 3D segue o seguinte custo: £1.50 por ml de *binder* (aglutinante), £0.88 por polegada cúbica de pó. Além disso, o pós-processamento com *cyanoacrylate* (supercola) tem um custo de £5.00/7.50/10.00 para modelos pequenos/médios/grandes.

O *layout* esquematizado do AA'Lab pode ser visto a seguir na Figura 14. A sala tem aproximadamente 90m².

Figura 14: Layout esquemático do AA'Lab
Desenho sem escala.

A partir do contato com os arquitetos Franklin Lee e Anne Save de Beaurecueil⁴⁵, responsáveis pelo Diploma 2 da AA, cujo trabalho desenvolvido com os alunos desde atendimentos, tutoriais, execução de modelos, apresentação intermediária e final foram acompanhados. A disciplina visa mediar o desempenho tecnológico e a manipulação dos espaços para organização social focando na sincronia dos fluxos do ambiente e da cultura. Através dos desafios contemporâneos de manipulação do ambiente a disciplina busca permear o uso de ferramentas de geração para experimentar as relações entre edifício, circulação e sociedade através da simulação de fatores ambientais.

Percebe-se que a dinâmica do ensino é como a tradicional: lança-se um tema, visita-se a área de intervenção para levantamentos, inicia-se a conceituação teórica e conceituação arquitetônica. A fase da conceituação arquitetônica conta com a utilização de ferramentas como prototipagem rápida e uso de *software* paramétrico - o que permite aos alunos uma investigação formal mais complexa, com possibilidade de verificação da construtibilidade e com acompanhamento de profissionais inseridos no mercado auxiliando as soluções de projeto.

⁴⁵ Formados na Columbia University Graduate School of Architecture, Planning and Preservation (GSAPP), com especialização na California Polytechnic State University em San Luis Obispo e na Ecole d'Architecture de Paris UP8 e com experiência em escritórios de Zaha Hadid, Bernard Tschum, Beyer Blinder Belle, em Nova Iorque e Ken Yeang em Kuala Lumpur, Malaysia. Atualmente são professores na AA, na Pratt Institute Graduate School of Architecture em Nova Iorque, na Universidade técnica de Viena e na Rensselaer School of Architecture ainda mantém um escritório de arquitetura em São Paulo. Informações retiradas do currículo disponível no site do escritório SUBdv <www.subdv.com>.

Foram acompanhados diversos trabalhos onde se notou uma dinâmica diferente no processo decisório do projeto que era baseado na prototipagem rápida e nos modelos virtuais parametrizados. Os alunos usam os programas *Rhinoceros* para modelagem e o *Ecotec* que fornece, em tempo real, dados de análise climática, orientação solar, acústica, ventos predominantes e inércia térmica proporcionando informações que auxiliam na definição de soluções (ORCIUOLI, 2009a). A Figura 15 apresenta o desenvolvimento de projeto iniciado com avaliação lumínica e maquetes físicas de estudos volumétrico e estrutural.

Figura 15: (a) Evolução do processo de projeto: estudo lumínico, (b) Protótipo Rápido de estudo e (c) Modelo virtual final

Trabalho do aluno William Yam. Fotos: arquivo pessoal

O exercício proposto teve como área de intervenção a zona portuária do Rio de Janeiro com o conteúdo programático livre proposto pelos alunos. Os trabalhos foram desenvolvidos em *software* paramétrico com modelos digitais e protótipos intermediários para avaliação.

Durante o desenvolvimento do projeto, os alunos usam a prototipagem rápida a partir do modelo virtual para auxiliar no processo decisório, e também para apresentação da maquete final. Por serem formas paramétricas complexas, os projetos seriam muito difíceis – ou até impossíveis – de serem modelados em maquete tradicional, por tanto, o uso da cortadora a laser e da impressão 3D é indispensável. O arquivo virtual é tratado para a produção automática do modelo (impressão 3D) ou usam-se scripts para rebatimento das faces ou separação em camadas para o corte a laser.

Figura 16: (a) Implantação – malha uniforme (acima) e malha parametrizada. (b) Protótipos rápidos produzidos em corte a laser

Trabalho da aluna Asako Hayashi. Fotos: arquivo pessoal

A Figura 16 mostra a implantação proposta por uma aluna, onde num primeiro momento, há uma malha uniforme, modular, e após a inserção de parâmetros levando-se em conta edifícios históricos, vias de acesso, caminhos para pedestre, vegetação existente, análise térmica e lumínica resultou em uma implantação baseada no módulo - cruciforme - porém, cada um com diferentes dimensões dependendo da necessidade. As diferentes maquetes apresentadas pela aluna durante o processo de projeto. As maquetes foram produzidas em corte a laser e apresentadas em distintos pontos de decisão do projeto, representando estrutura, implantação, vedação e relação espacial. O uso da PR neste trabalho se justifica pela complexidade da forma e repetição dos perfis.

Durante o acompanhamento dos trabalhos ficou claro que alguns alunos usam a maquete como ferramenta de projeto, auxiliando o processo decisório nas questões volumétricas e construtivas. A Figura 17 apresenta modelos intermediários de concepção de projeto, porém a aluna resolve o projeto em ambiente virtual e a forma final é modelada em protótipos rápidos, pois é complexa e a produção física do modelo envia automaticamente o modelo virtual para produção do protótipo como mostra a Figura 18 com o desenvolvimento do projeto após revisões do modelo virtual levando-se em conta aspectos de sombreamento e iluminação.

(a)

(b)

Figura 17: Modelos intermediários – (a) maquete em corte a laser e (b) modelo virtual
Trabalho da Aluna Ragnhildur Kristijansdottir. Fotos: arquivo pessoal

(a)

(b)

Figura 18: (a) Modelo virtual em *Rhinoceros* e (b) modelo físico – protótipo rápido em impressão 3D
Trabalho da Aluna Ragnhildur Kristijansdottir. Fotos: arquivo pessoal

A Figura 19 apresenta uma outra realidade: o uso de modelos físicos de estudo para desenvolvimento de projeto e apresentação do projeto final em modelo virtual.

(a)

(b)

Figura 19: (a) Modelos físicos de investigação: modelo em gesso, protótipo estrutural e volumétrico – corte a laser e (b) modelo virtual final em *Rhinoceros*

Imagem gentilmente cedida por Franklin Lee. Trabalho da Aluna Aelene Elizabeth Thorne. Fonte: arquivo pessoal

O trabalho apresentado nas Figuras 20 e 21 apresentam um desenvolvimento diferente dos demais onde um modelo de investigação formal foi produzido primeiramente.

Figura 20: Modelos intermediários – investigação da volumetria e articulações
Trabalho da aluna Anna Kirstine Schepper. Fotos: arquivo pessoal

Figura 21: Modelos Virtuais em *Rhinoceros*
Trabalho da aluna Anna Kirstine Schepper. Fotos: arquivo pessoal

Após análise espacial do modelo criado, a aluna buscou estabelecer articulações para o módulo do modelo construtivo (forma fluída). A geração do modelo virtual foi possível através do desenvolvimento de um *script* generativo de repetição do módulo construtivo proposto. A Figura 22 apresenta as pranchas com a proposta final.

Figura 22: Pranchas do projeto final
Trabalho da aluna Anna Kirstine Schepper. Fotos: arquivo pessoal

De maneira geral os trabalhos dos alunos não contemplam a ideia de Modelo Único sugerida nesta dissertação. O exercício utiliza tanto a tecnologia da modelagem virtual quanto da prototipagem rápida, porém de maneira dispersa e forçada. As propostas são concebidas de forma tradicional sem utilizar o potencial das ferramentas tecnológicas. A modelagem paramétrica é bem incentivada, mas a sua passagem para produção de maquetes físicas não explora as possibilidades de escala, diferentes materiais, encaixes ou outras decisões projetuais.

4.3 UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA – UTL – LISBOA, PORTUGAL

A Visita à Faculdade de Arquitetura, Universidade Técnica de Lisboa – FA/UTL e ao Instituto Superior Técnico – IST/UTL, foi acompanhada pelo Prof. Dr. José Pinto Duarte⁴⁶ responsável pelo LAC/ISTAR – Laboratório de Arquitetura Computacional do IST *Architecture Research Laboratories*. Este laboratório é equipado com uma fresa - Modela MDX- 40 da empresa Roland – fresa em 2.5 dimensões (apenas um eixo - *spindle*) capaz de realizar corte de figuras planas e modelagem de relevos (PUPO, 2008); um plotter de Vinyl – Roland, uma impressora 3D da Stratasys - Prototipagem pelo processo aditivo FDM (*Fused Deposition Modeling* - impressão 3D por deposição de polímero termoplástico aquecido). A cortadora a laser - Universal Laser Systems fica no Laboratório de Prototipagem Rápida (LPR) da Faculdade de Arquitetura,

A instalação do Laboratório de Arquitetura Computacional no ISTAR começou em 2005. No caso da UTL havia um curso criado em 1979, a Faculdade de Arquitetura era orientada as artes e em 1998 criou-se o curso de arquitetura junto ao IST (Instituto Técnico de Lisboa) orientado a tecnologia, porém, em 2000 sofreu duras críticas por não estar utilizando o computador de uma forma criativa como o esperado (DUARTE; CELANI; PUPO, 2010).

⁴⁶ Formado em Arquitetura pela Faculdade de Arquitetura da UTL, mestre em Arquitetura e PhD em *Design and Computation* no MIT. É professor Associado na FA/UTL e coordenador do programa de Doutorado da mesma instituição; chefe de pesquisa do projeto “*Mass Customization of Housing*” no MIT cujo objetivo principal é a aplicação de novas tecnologias em projeto de arquitetura e urbanismo visando projetos residenciais e o uso de CAD e tecnologias de fabricação para promoção de produtos customizados em massa. Autor de diversos livros e palestrante convidado na Alemanha, Brasil, Coreia do Sul, Japão, Estados Unidos e Inglaterra é reconhecido por suas pesquisas na área de fabricação digital e programação para arquitetura recebendo em 2008 o prêmio Santander/TU Lisbon como Melhor Pesquisa em Arquitetura. Informações retiradas do Currículo disponível em < <http://home.fa.utl.pt/~jduarte/>>.

As disciplinas ministradas na UTL visam subsidiar a complexa ideia do Digital Studio com interdisciplinaridade entre informática, programação e o Laboratório de Prototipagem. A estratégia é ensinar arquitetura enquanto se ensina representação como na disciplina Modelagem e visualização geométrica. Duarte, Celani e Pupo (2010) acreditam que o ensino baseado em computador como apresentado é uma forma de simular o projeto criativo conduzindo os alunos a refletir na prática como proposto por Schön.

Acompanhou-se algumas aulas ministradas pelo professor José Duarte da disciplina 'Projecto e Fabricação Digital' do Curso de Doutorado da FA /UTL, no primeiro semestre de 2009, o que permitiu contato com arquitetos que desenvolvem pesquisas sobre projeto arquitetônico auxiliado por ferramentas como algoritmos, *software* paramétrico e prototipagem rápida. Além disso, foram acompanhados os trabalhos de entrega final dos alunos do 4º ano de projeto, disciplina também ministrada pelo professor já mencionado.

4.3.1 DISCIPLINA DE PROJETO E FABRICAÇÃO DIGITAL E O LAC/ISTAR

Disciplina proposta para o programa de Doutorado que procura explorar o uso avançado de técnicas de projeto e produção assistidos por computador. A proposta foi a utilização dos laboratórios da FA e do IST para resolução de problemas complexos e desenvolvimento de soluções inovadoras em arquitetura. O LAC/ISTAR tem aproximadamente 70 m² e seu layout está esquematizado na Figura 23.

Figura 23: Layout esquemático do LAC – ISTAR/UTL
Desenho sem escala

A disciplina procurou explorar o uso avançado de técnicas de projeto e produção assistidos por computador assim como a ligação entre projeto e construção. O objetivo geral é a utilização futura destas ferramentas na resolução de problemas complexos e no desenvolvimento de soluções inovadoras em arquitetura.

Na perspectiva apresentada, o uso do computador não é visto como uma mera transposição para o meio digital das ferramentas tradicionais de desenho, mas como um processo de projetar que introduz uma perspectiva diferente na concepção, representação e construção de edifícios, levando o aluno a refletir no papel que os processos digitais podem desempenhar na integração entre projeto e construção.

Os alunos de doutorado desenvolveram formas a partir da manipulação virtual de volumes baseados em vegetais. O resultado obtido foi produzido em cortadora a laser, impressão em FDM e em 3DP.

O *software Insight* foi usado para dividir o modelo virtual em camadas e gerar os suportes necessários para impressão em FDM. Após a impressão é necessário o pós-processamento, ou seja um cuidado extra para retirar o suporte do protótipo (material marrom). O material do suporte é quebradiço e fino como fibra de vidro, por isso deve-se utilizar os óculos de proteção. O modelo final é de boa qualidade, tendo perfis delgados, em torno de três milímetros. Este processo está ilustrado na Figura 24.

Figura 24: (a) Impressão FDM em operação, (b) protótipos impressos na badeja, (c) pós-processamento e (d) protótipo final

Fotos: arquivo pessoal

4.3.2 DISCIPLINA DE PROJETO DO 4º ANO E O LABORATÓRIO DA FA/UTL

O LPR – Laboratório de Prototipagem Rápida da FA/UTL funciona por marcações que devem ser feitas pelo site da faculdade. O uso é permitido para todos os alunos da Universidade e o uso do equipamento é condicionado ao pagamento de uma taxa diferenciada para os docentes, pesquisadores e alunos da FA ou de outras escolas da UTL na realização de trabalhos acadêmicos e de investigação. Além dos alunos, escritórios externos à instituição de ensino podem usufruir a cortadora a laser. O laboratório encontrava-se em fase de implementação em junho de 2009 – época em que foi realizada a visita - e havia o pedido para adquirir verbas para aumentar o maquinário do Laboratório.

Figura 25: LPR – FA/UTL
Foto: arquivo pessoal

O LPR tem aproximadamente 15m² e está esquematizado na Figura 26. E sua hierarquia de uso segundo o site é a seguinte:

- . 10€ / hora, para os docentes, investigadores e alunos da FA, na realização de trabalhos acadêmicos e de investigação;
- . 15€ / hora, para os docentes, investigadores e alunos de outras escolas da UTL, na realização de trabalhos acadêmicos e de investigação;
- . 20€ / hora, para todas as outras utilizações.
- . em qualquer das situações referidas nas alíneas a) a c) cobrar-se-á, no mínimo, o valor correspondente a 15 minutos de utilização.

Figura 26: Layout esquemático do LPR / UTL
Desenho sem escala

Alunos de graduação, mestrado e doutorado têm desenvolvido pesquisas para calibragem da máquina com uso de diversos materiais, potências e outros parâmetros da cortadora a laser.

O trabalho dos alunos do quarto ano em projeto visava a investigação de novas tecnologias nos projetos da atualidade. Muitos alunos optaram pela pesquisa da condição contemporânea do conteúdo programático de suas propostas de intervenção. Usando matérias e métodos construtivos inovadores. Os alunos tiveram - paralelamente a disciplina - um workshop sobre o *software Rhinoceros*.

Apenas parte dos alunos levou em consideração que as “novas tecnologias” não estavam apenas nas novas espacialidades e materialidades, mas também viram a modelagem digital e a prototipagem rápida como ferramentas para o desenvolvimento do projeto.

A Faculdade de Arquitetura visa ensinar aos alunos que o projeto pode ser auxiliado por computador, usando scripts ou qualquer outra forma de auxílio na geração de formas ou decisões projetuais. Para isso é oferecida uma disciplina de Programação no segundo ano a fim de quebrar o paradigma da prancheta eletrônica: uso de CAD como ferramenta para desenvolvimento de projeto, e não apenas desenho (VINCENT, 2006).

Figura 27: Maquete produzida por corte a laser
Trabalho da aluna Sarah Dias. Foto: arquivo pessoal

A PR no trabalho apresentado na Figura 27 foi subutilizada, onde a própria aluna reconhece que o uso foi apenas para redução de tempo de produção da maquete. A maquete foi elaborada em fase intermediária e auxiliou a aluna a revisar a espacialidade

e estrutura do átrio. Por outro lado, o desenvolvimento completo do projeto em *Rhinoceros* gerou um modelo cuja documentação foi gerada automaticamente.

(a) (b)
Figura 28: (a) Prancha com desenho gerado em *Rhinoceros* e (b) Maquete produzida com cortadora a laser
Trabalho do aluno Carlos Condinho. Fotos: arquivo pessoal

As imagens da Figura 28 mostram a dificuldade de se reproduzir em maquete a forma complexa gerada em *Rhinoceros*. Os alunos tiveram maior facilidade em desenvolver modelos virtuais complexos, porém na passagem para o real houve problema, não só de representação, mas de tectônica. Fica claro que há dificuldades na definição de questões construtivas.

Outros cinco trabalhos foram expostos para avaliação e todos apresentavam certa dificuldade de aplicar as tecnologias apresentadas para modelagem virtual ou física do projeto. Acredita-se que esta dificuldade se dá pela complexidade do programa escolhido por cada aluno e a necessidade de responder aos objetivos do exercício com a pesquisa de novas tecnologias proposta para construção da edificação porém estas tecnologias não são extrapoladas na concepção projetual com exceção de um aluno que utilizou matriz de adjacências para definição hierárquica do programa; sendo o máximo da exploração a simulação formal *Rhinoceros* da arquitetura pré-definida em croquis.

Os projetos desenvolvidos na graduação exploraram a modelagem virtual no processo de amadurecimento de projeto, porém estão longe de contemplar o ideário do Modelo Único. A maioria das maquetes produzidas para apresentação não exploraram o

potencial do corte a laser, não fazendo a correspondência da complexidade virtual no modelo físico.

Já o exercício desenvolvido pela pós-graduação explorou os recursos da prototipagem rápida em diferentes máquinas disponíveis na Universidade. O Modelo Único pode ser parcialmente adotado já que a exploração paramétrica das formas foi traduzida na produção de diferentes maquetes físicas, sendo que para isso o projeto para produção para cada máquina foi desenvolvido individualmente.

4.4 UNIVERSITY COLLEGE LONDON - BARTLETT ARCHITECTURAL SCHOOL - LONDRES, INGLATERRA

A visita realizada por intermédio da professora Dra. Anja Pratschke, teve duração de duas horas. O Técnico Gregor Anderson nos acompanhou ao *DMC London Digital Manufacturing Centre* – laboratório de prototipagem de última geração com equipamentos capazes de produzir peças relativamente grandes (até 71.100cm³) àquelas produzidas normalmente em Universidades equipadas com impressoras 3D (até 10.000cm³). Os equipamentos disponíveis no laboratório são:

. Z510 printer (impressão 3D com pó e *binder*) - 35x25x20cm: possibilidade de impressão a cores.

.Z310 printer (impressão 3D com pó e *binder*) - 25x20x20cm

.P100 Formiga SLS System (*Selective Laser Sintering* - impressão 3D com pó de nylon e derretimento à laser) - 33x25x20cm. Modelos com ótimo acabamento final, ideal para peças com muitos detalhes.

.P385 SLS System (impressão 3D com pó de nylon e derretimento a laser) - 34x34x62cm

O laboratório oferece serviços para os alunos da Universidade e para escritórios externos à instituição. A maior renda e uso do Laboratório vêm dos serviços externos. Os trabalhos dos alunos são apenas uma pequena parcela da produção do *London Digital Manufacturing Centre*.

O Quadro 7 sumariza os equipamentos presentes nos Laboratórios da época do Estudo de Campo.

LABORATÓRIO	INSTITUIÇÃO	EQUIPAMENTOS	USO NO PROCESSO DE PROJETO
LAPAC	UNICAMP	<ul style="list-style-type: none"> • 01 Impressora 3D • 01 cortadora a laser • 01 Fresa CNC 	Processo de concepção; modelo intermediário, apresentação final
LAC	UTL	<ul style="list-style-type: none"> • 01 Impressora 3D • 01 Fresa CNC 	Processo de concepção; apresentação final
LPR	UTL	<ul style="list-style-type: none"> • 01 cortadora a laser 	Processo de concepção; modelo intermediário, apresentação final
AA'DPLab	AA	<ul style="list-style-type: none"> • 02 Impressoras 3D • 03 cortadoras a laser • 03 Fresas CNC 	Modelo intermediário, apresentação final
DMC London	Bartlett	<ul style="list-style-type: none"> • 04 Impressoras 3D 	Apresentação final

Quadro 7: Equipamentos dos Laboratórios de Fabricação Digital

4.5 OUTROS CENTROS DE EXCELÊNCIA

Diversas instituições de ensino têm desenvolvido pesquisas na área de projeto paramétrico com uso de tecnologia de prototipagem para desenvolvimento de projeto arquitetônico. Pesquisadores destas instituições têm contribuído muito com publicações de suas pesquisas em Projeto de Arquitetura e Fabricação Digital, diversos livros e artigos publicados em periódicos, assim como as informações postadas em suas páginas na Internet contribuíram para esta pesquisa. Abaixo estão listados algumas destas instituições e seus respectivos laboratórios:

INTERNACIONAIS:

- *Design Tooling - Massachusetts Institute of Technology (MIT);*
- *KCDC - Key Center for Design Computing, Austrália;*
- *Taller de Maquetes da ESARQ - Escola Superior de Arquitetura da Universidade Internacional da Catalunya;*
- *Ball State University;*
- *Rapid Manufacturing Group da Glasgow School of Art;*
- *Delft University of Technology;*
- *Prototype Design Lab - University of Toronto;*
- *USC Robotics Research Lab da University of Southern California;*

- *RAPLAB - Rapid Architectural Prototyping Laboratory do Swiss Federal Institute of Technology - (ETH Zürich).*

NACIONAIS:

Os Laboratórios voltados para Fabricação Digital na área de Arquitetura e Urbanismo no Brasil são poucos (Quadro 8). Apesar do MEC em 1994 (Portaria 1770/94) estabelecer a “Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo” como matéria profissional (disciplina obrigatória) abrangendo o tratamento da informação e a representação do objeto e prever espaços e equipamentos especializados para essa disciplina (BRASIL, 1994), havia também a crença que mudança no ensino de graduação com a utilização de novos meios tecnológicos para desenvolvimento de projetos, só era possível através de implantação com a parceria de empresas ou investimento de órgãos de pesquisa devido ao seu alto custo. O Quadro 8 sintetiza os principais laboratórios / grupos de pesquisa encontrados. O Diretório de Grupos de Pesquisas no Brasil do CNPq apresenta apenas três grupos cadastrados na área de interesse desta pesquisa: prototipagem rápida ou fabricação digital aplicadas em arquitetura, porém é possível encontrar - utilizando palavras-chave como simulação, projeto virtual, digital, dentre outras - o grupo da UFPB em fase de implantação, o da UFBA voltado a investigação de ferramentas computacionais no ensino de arquitetura e a montagem de Laboratórios existentes com novos equipamentos como no caso do SIMLAB da UFRGS e do *Design Lab* do Nomads EESC-USP.

Em termos de emprego da prototipagem rápida no ensino e desenvolvimento de projetos a engenharia brasileira tem um histórico maior do que o da arquitetura. Em uma busca no Diretório do CNPq é possível encontrar mais de 15 grupos ligados a engenharia ou desenho industrial com o objetivo de estudar modelos, técnicas de representação para projeto de sistemas e produtos, modelagem de superfícies, projeto assistido por computador, e prototipagem virtual. Nesta busca pode-se destacar alguns grupos, por exemplo: um dos primeiros grupos de pesquisa sobre o assunto, criado em 1993 é o CIMJECT da UFSC que desenvolve pesquisas voltadas ao entendimento de tecnologias e processos que integrem as atividades de projeto e fabricação de componentes de plástico moldados por injeção. Neste contexto estão inseridas as tecnologias de CAE/CAD/CAM, projeto e fabricação de moldes, prototipagem rápida e ferramental rápido.

Outro exemplo é o grupo NUMA (Núcleo de Manufatura Avançada), criado em 1996, na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) para estudar técnicas de fabricação de moldes utilizando diferentes máquinas de prototipagem, tanto por adição como por subtração.

A seguir será descrito o exercício aplicado na disciplina Informática para Arquitetura no segundo semestre de 2010 junto aos alunos no primeiro ano do departamento de Arquitetura e Urbanismo da EESC. O exercício está contido neste trabalho para exemplificar a parceria do NUMA no desenvolvimento de protótipos para avaliação dos projetos desenvolvidos pelos alunos de graduação em arquitetura.

Grupo de pesquisa / Laboratório	Instituição	Ano de Formação	Líder(es) do Grupo	Linhas de Pesquisa	Objetivos
LCAD - Laboratório de computação gráfica aplicada à arquitetura e ao desenho	Universidade Federal da Bahia - UFBA	1992	Gilberto Corso Pereira Arivaldo Leão de Amorim	Documentação Arquitetônica e de Sítios Urbanos Ensino de Desenho / Representação Gráfica Geoprocessamento e Urbanismo Tecnologias CAD / BIM	Investigar ferramentas computacionais no ensino de arquitetura * não dispõem dos equipamentos necessários para aprofundar suas pesquisas nessa área
Núcleo de Tecnologia Urbana SIMLAB – Laboratório para simulação e modelagem em arquitetura e urbanismo	Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS	1993	Benamy Turkienicz	Cognição no Ensino de Projeto Desenho Urbano Modelagem da Forma Urbana e da Edificação Morfologia Arquitetônica e Urbana Sistema de Apoio à Decisão em Planejamento Urbano	Estruturar conhecimento sobre processos de aprendizagem em Projeto Arquitetônico; Descrever diferentes atributos da forma urbana a partir de modelos de desempenho voltados para a aferição; Análise e Projeto urbano (simulação como apoio a tomada de decisão projetual).
Laboratório de Projeto de Arquitetura e Fabricação Digital	Universidade de Brasília - UNB	2000	Neander Furtado Silva	Ensino de Projeto de Arquitetura Prototipagem Rápida e Fabricação Digital Simulações computacionais em Projeto de Arquitetura	Investigar e desenvolver métodos de ensino de ateliê de projeto de arquitetura; Estudar e desenvolver métodos e técnicas de projeção e construção computadorizadas; Estudar e desenvolver sistemas de simulação computacional da performance dos edifícios bem com os sistemas BIM
NOMADS - Núcleo de Estudo sobre Habitação e Modos de Vida Design Lab (2009)	Universidade de São Paulo – EESC/USP	2000	Marcelo Tramontano Anja Pratchke	Ensino - processo de projeto, informação e comunicação no processo de design; espacialidades concretas; espacialidades híbridas; espacialidades virtuais.	Estudar processos de design de espacialidades concretas, híbridas e virtuais; Estudar princípios, concepções, características, possibilidades e aplicações de espaços apenas existentes em ambientes virtuais. * O Design Lab é um laboratório de caráter híbrido [físico e virtual] equipado com instrumentos que permitam a concepção, modelagem 3D e pequenas prototipagens de objetos interativos.
Arquitetura, processo de projeto e análise digital	Universidade Presbiteriana Mackenzie – MACKENZIE	2005	Wilson Florio	Cognição, criatividade e formação de repertório em arquitetura; Modelagem Paramétrica e Fabricação Digital de componentes não padronizados em Arquitetura;	Analisar o processo de projeto a partir dos meios e ferramentas analógicos e digitais, de modo a permitir a compreensão das atuais linhas de pensamento arquitetônico.

Grupo de pesquisa / Laboratório	Instituição	Ano de Formação	Líder(es) do Grupo	Linhas de Pesquisa	Objetivos
				O Papel da Experimentação no Processo de Projeto em Arquitetura; Protótipos Rápidos no Processo de Projeto em Arquitetura.	
Teorias e tecnologias contemporâneas aplicadas ao projeto LAPAC - Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP	2006	Maria Gabriela Caffarena Celani Regiane Trevisan Pupo	Digitalização 3D; Gramática da forma; Lógica da arquitetura; Projeto paramétrico; Prototipagem rápida e fabricação digital; Sistemas Generativos; Uso de displays interativos no processo de projeto.	Pesquisar e desenvolver teorias e métodos computacionais de apoio ao processo de projeto em arquitetura.
Cidade, Cultura Contemporânea e Urbanidade	Universidade Federal da Paraíba - UFPB	2010	Jovanka Baracuhy Cavalcanti Scocuglia Edson Leite Ribeiro	Projeto; ensino-aprendizagem; e ferramentas computacionais * responsável - Elisabetta Romano	Analisar as relações/implicações das ferramentas computacionais no ensino-aprendizagem de projeto de arquitetura e urbanismo.

Quadro 8: Grupos e Laboratórios Nacionais de Pesquisa voltados a Informática para Arquitetura
Fonte: Baseado em CNPQ (2010)

4.6 EXERCÍCIO 'FORMAS EM MOVIMENTO' – DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO - EESC/USP

O exercício '*Formas em Movimento*', aplicado na disciplina *Informática para arquitetura* no segundo semestre de 2010 junto a turma de primeiro ano de Arquitetura e Urbanismo da EESC/USP foi supervisionado pelo professor David Sperling e teve duração de dois meses.

O propósito de publicar este exercício junto a essa dissertação de mestrado se dá pelo mapeamento do uso de modelagem virtual e PR no desenvolvimento de projeto de arquitetura em ambiente acadêmico. A pesquisa-ação foi o método inicial proposto por esta pesquisa. Buscou-se organizar o método de pesquisa de forma a recolher evidências que sustentassem a proposição de que a utilização de modelos virtuais e RP na concepção de projetos é mais eficiente que o modelo tradicional de projetos no que diz respeito à qualidade, número de soluções propostas, redução de tempo de projeto e resultado final mais próximo do desejado inicialmente.

Thiollent (2004, p.15) define que

A pesquisa-ação é um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

Serra (2006) expõe o método de ação participativa como o envolvimento entre pesquisadores e determinados grupos sociais ou organizações para juntos encontrarem soluções para os problemas desses grupos.

A execução de um experimento exploratório tem em vista avaliar qualitativamente a inserção da modelagem virtual e RP no processo de projeto, mais especificamente no projeto de concepção e processo decisório.

O exercício foi estruturado da seguinte forma: investigação conceitual, experimentação projetual, inclusão de dispositivos digitais de modelagem e prototipagem, e proposição de relações entre criação espacial e cidade.

Para a investigação conceitual foram realizados seminários de leituras de projetos de arquitetura contemporânea selecionados previamente que se apropriam da noção de 'movimento' segundo três linhas principais: corpos, conceitos científicos, animações. Foram eles:

MOVIMENTOS 1 – CORPOS

1. Turning Torso – Santiago Calatrava
(www.arcspace.com/architects/calatrava/torso/)
2. Moebius House – UN Studio (Architecture and Urbanism A+U. 1999:03)
3. Ether/I – dECOi (ZELLNER, Peter. Hybrid Space. New Forms in Digital Architecture. London: Thames & Hudson, 1999)

MOVIMENTOS 2 – CONCEITOS CIENTÍFICOS

4. Simmons Hall – Steven Holl (www.stevenholl.com)
5. Klein bottle House – McBride Charles Ryan
(<http://www.mcbridecharlesryan.com.au>)
6. Oblique WTC – NOX (Gestão & Tecnologia de Projetos, Vol. 3, n.2, Nov 2008)

MOVIMENTOS 3 – ANIMAÇÕES

7. Embryological House – Greg Lynn (ZELLNER, Peter. Hybrid Space. New Forms in Digital Architecture. London: Thames & Hudson, 1999)
8. Of the Road – 5speed – Lars Spuybroek (Architectural Design, n. 70, jun 2000)
9. West Side – UN Studio (Architectural Design, n. 70, jun 2000)

A experimentação projetual foi incentivada por mapeamentos visuais em vídeo e em *stop-motion* de processos de emergência formal. A manipulação desse mapeamento foi feita no software *Rhinoceros* para o projeto de uma 'espacialidade escultural' que preservasse a lógica de cada emergência formal mapeada. A Figura 29 ilustra os nove mapeamentos realizados pelos grupos de alunos.

Mapeamento:

Fogo em papel de *Trident*;

Bexiga com água estourando;

Tinta de carimbo em água,

Bolhas de sabão;

Fumaça de cigarro;

Tinta guache em água;

Limalha de ferro;

Vela sendo apagada;

Movimento da baqueta de um maestro.

Figura 29: Mapeamento – formas em movimento

O uso de tecnologias de fabricação digital utilizou duas saídas: a primeira, utilizando software *Pepakura*, teve como resultado a realização de protótipos por planificação, impressos em impressora comum, montados e colados manualmente. A segunda, utilizando impressora 3D Z-Corp do NUMA, gerou protótipos por deposição de camadas de pó.

A avaliação das relações entre criação espacial e cidade, se deu pela inserção dos protótipos das ‘espacialidades esculturais’ projetadas em maquete da Praça XV de Novembro, em São Carlos, como ilustrado na Figura 30.

A Figura 31 apresenta a discussão coletiva durante entrega final do exercício.

Figura 30: Implantação coletiva

Figura 31: Avaliação final do exercício 'Formas em Movimento'

Fonte: arquivo pessoal.

A Figura 32 apresenta o processo completo do projeto de um aluno. Desde a leitura do mapeamento de um maestro executando movimentos de regência, em três e quatro tempos. A marcação do

ritmo também está presente no projeto desenvolvido. O processo ilustra a modelagem em *Rhinceros* e por fim os protótipos finais elaborados em isopor (feito por fatiamento do modelo) e em gesso impresso na 3DP.

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

Figura 32: Etapas do exercício 'Formas em Movimento' - (a)Mapeamento, (b)Processo, (c)Modelo virtual, (d)Maquete física, (e)Protótipo rápido

Trabalho do aluno Pedro Ivo Teixeira. Fonte: arquivo pessoal

Como produtos finais, os alunos apresentaram os protótipos e pranchas contendo o processo de emergência formal e palavras-chave do processo mapeado, etapas do processo projetual, a implantação em escala e a fotomontagem do projeto implantado na Praça (Figura 33).

O exercício proporcionou o desenvolvimento de projeto em base virtual utilizando o software paramétrico. A complexidade dos projetos limitou a materialização das maquetes, sendo necessário buscar

alternativas de produção de protótipos utilizando o *software Pepakura* (para planificar o sólido), o fatiamento do modelo virtual (para produção em camadas) ou a impressão em 3DP. O resultado foi estimulante no sentido da produção contemporânea da arquitetura utilizando-se tecnologia de ponta no processo de projeto e será discutido a seguir.

Figura 33: (a) Apresentação final e (b) Modelo em papel a partir do Pepakura
Trabalho do aluno Ivan Landivar. Fonte: arquivo pessoal

Considerações sobre o Capítulo

A Arquitetura está utilizando tardiamente o ferramental tecnológico para o processo de desenvolvimento de produto quando comparada a outras áreas como as engenharias e a medicina⁴⁷. Porém nos últimos dez anos há um grande avanço no desenvolvimento de equipamentos e *software* capazes de responder às necessidades do projeto arquitetônico.

Ainda no âmbito acadêmico, o protótipo apresenta grande precisão e relativa rapidez, podendo ser um meio para o processo decisório no ambiente construtivo já que detalhes fiéis ao projetados, mesmo que pequenos são mais fáceis de serem visualizados.

⁴⁷ É possível perceber tamanha intervenção da medicina e odontologia no campo de fabricação digital ao consultar os Anais dos congressos de Pesquisa avançada em prototipagem rápida e virtual (VR@P). Mais de 50% dos trabalhos abordam bioengenharia e materiais para produção de próteses e outros componentes bio-miméticos.

No cenário apresentado, o projeto parametrizado é amplamente utilizado como recurso de investigação formal e análises de conforto térmico e de iluminação e a automação da produção das maquetes onde o modelo virtual é diretamente enviado para impressão, facilita, ou até possibilita, a conformação do modelo final. A inserção de disciplinas que subsidiam a formação do aluno em relação às novas tecnologias é um passo importante para a qualificação de arquitetos para o mercado contemporâneo.

É fato que a implantação de Laboratórios de Prototipagem leva muito tempo, desde o projeto até levantamento de recursos, implantação e finalmente sua manutenção. A viabilidade de um laboratório deste nível em instituições públicas existe, porém, é lenta principalmente pela adaptação acadêmica com mudança de paradigma. Há muito que se investigar, em diversos níveis de aproximação: uso de novos materiais, aplicação no processo de projeto, otimização dos recursos computacionais para geração de formas e tomada de decisões.

Porém os avanços acadêmicos mundiais são pontuais, no caso do Brasil essa mudança é visível na UNICAMP, porém menos desenvolvida no resto do país. Quanto ao ambiente profissional esse tipo de tecnologia não aparece na produção dos escritórios brasileiros, seja pelo custo ou falta de acesso, seja pela arquitetura tradicional simplista que não exige algum tipo de intervenção tecnológica como a fabricação digital.

A experiência didática apresentada no item **4.6 Formas em movimento** possibilitou o contato com o exercício desde sua fase de elaboração, desenvolvimento até avaliação; fato que não ocorreu com as outras disciplinas apresentadas. A possibilidade permitiu o registro de um ciclo completo de desenvolvimento de projeto apoiado por fabricação digital.

É importante reconhecer que há vantagens no uso das tecnologias, tanto digitais como prototipagem, pois assim amplia as possibilidades de especulação formal, o processo decisório do projeto também é baseado na PR e nos modelos parametrizados. De certa forma este tipo de modelagem induz à reflexão tectônica/construtiva do projeto. Por outro lado, o uso dessas ferramentas traz dificuldades de ordem projetual e construtiva no ensino de projeto, já que o aluno tem que estar hábil a representar suas intenções projetuais em três dimensões em diferentes *software*. O Quadro 9 apresenta o cruzamento das informações levantadas na bibliografia e nos Estudos de Campo contendo prós e contras do uso de diferentes ferramentas de auxílio ao projeto.

O uso das ferramentas permeia diferentes fases do processo de projeto. O uso do BIM é vantajoso para trabalhos em escritórios onde estão envolvidas diversas disciplinas numa mesma equipe de trabalho e pela automatização da revisão de pranchas. Já a prototipagem rápida entra como alternativa à produção de modelos físicos das formas complexas porém percebe-se que há preferência na utilização da cortadora a laser tanto pela sua praticidade quanto pelo baixo custo nos casos em que a forma do objeto permite este tipo de produção. Observou-se que o uso de projeto paramétrico e tecnologias como PR desde a fase de concepção projetual até a produção final de modelos proporcionou mudança no método de ensino e processo de projeto tanto no âmbito representacional como no desenvolvimento formal.

	Representação 2D	Modelo Virtual 3D	Modelo Paramétrico BIM	Maquete Tradicional	Protótipo Rápido
Vantagens	Representação tradicional – maioria das pessoas detém a técnica	Processo relativamente rápido	Todo ciclo de vida do projeto em uma única base de dados e parametrização dos componentes	Baixo custo e fácil execução	Boa precisão, modelagem de formas complexas
Desvantagens	Redesenho de detalhes modificados ou mudança de escala	Representa com linhas e volumes o que na realidade são componentes	Alto grau de dedicação/ tempo no início da modelagem	Dificuldade em modelar formas complexas	Alto Custo, limitação na escala e uso restrito
Limites	Impressão conforme capacidade da <i>plotter</i>	Acesso e treinamento do <i>Software</i>	Acesso e treinamento do <i>Software</i>	Complexidade da forma	Escala e materiais
Quando utilizar?	Desde a concepção até apresentação final				Modelo de desenvolvimento e apresentação final

Quadro 9: Prós e contras do uso de diferentes ferramentas de auxílio ao projeto na prática projetual em ambiente profissional ou acadêmico

A representação 2D, por fim, é a documentação automatizada dos modelos virtuais 3D, não há mais a representação só pela representação já que o processo de projeto é concebido em 3D. Os modelos de desenvolvimento de projeto, ou seja, que permitem simulação e análise de comportamento são utilizados em sua maioria virtualmente mesmo havendo a possibilidade do uso da prototipagem rápida, essa preferência se dá pelo custo, pela agilidade e qualidade da virtualização que permite visualização do objeto de forma real e em seus detalhes.

4.7 RESULTADOS

A complexidade do Projeto de arquitetura é agravada pela intervenção de diferentes agentes durante o todo o processo. Para um processo de projeto robusto há necessidade de interoperabilidade entre diferentes ferramentas e colaborações entre os diversos agentes envolvidos, desta forma, o uso de gates controladores da qualidade do projeto é desejável:

4.7.1 *Uso de gates⁴⁸ no processo de projeto*

A qualidade do projeto pode ser determinada segundo o uso de revisões através de gates de controle (ROZENFELD et al., 2006), ou revisão formal e operacional nas palavras de Emmitt (1999).

Oliveira e Fabricio (2009) estabeleceram seis gates para controle de decisão de projeto, para que o produto final apresente decisões baseadas em modelos ou estudos intermediários, possivelmente proporcionando maior qualidade de projeto: G1: uso de sistema generativo de projeto; G2: modelo virtual; G3: parametrização; G4: análises ambientais (térmica, lumínicas, etc); G5: modelo físico intermediário / investigação; G6: modelo físico final e G7: modelo final (virtual ou físico) e documentação (desenho 2D) gerados automaticamente.

Porém, como foi apresentado, esta não é a realidade encontrada na prática profissional no Brasil. O desenvolvimento de projetos ainda segue uma linha tênue entre a prática tradicional e o uso de tecnologias como uso de BIM, objeto de pesquisa do Estudo de Campo Descritivo.

O processo de projeto pode ser delineado segundo os produtos das etapas de desenvolvimento de projeto como descrever a norma técnica NBR 13531/1995 (ABNT, 1995) baseados nas seguintes atividades: levantamento, programa de necessidades, estudo de viabilidade, estudo preliminar, anteprojeto (ou pré-execução), projeto legal, projeto básico e projeto para execução. Por outro lado, Lockhart e Johnson (2000) descrevem o processo de projeto como documentação das soluções de um problema, sendo a representação gráfica detentora de três propósitos: visualização da proposta, comunicação da proposta para análise e documentação para produção e arquivamento das informações.

⁴⁸ Termo empregado na Engenharia de Produção que significa etapas de validação. O uso do termo em inglês está incorporado ao vocabulário dessa engenharia, que a título de esclarecimento, tem sua tradução para língua portuguesa como “portões”.

A partir desta visão propõe-se um fluxograma de projeto onde os gates são as ferramentas investigadas nesta pesquisa: 3D – modelagem virtual em 3 dimensões; nD – modelagem paramétrica; BIM – uso de software BIM; CAD geom. – uso de CAD geométrico; PR – prototipagem rápida, FD – fabricação digital.

O fluxograma (Figura 34) apresenta uma releitura das duas vertentes apresentadas. As setas representam o Fluxograma de projeto, em preto apresentam-se o uso das ferramentas pela prática profissional dos escritórios ouvidos nas entrevistas. Em cinza claro o uso de ferramentas segundo a prática acadêmica das instituições estudadas onde o desenvolvimento é pautado na interdisciplinaridade com uso de modelos físicos e virtuais desde os primeiros instantes de concepção.

Figura 34: Uso de *gates* de revisão como ferramenta de decisão de projeto – Academia x Prática.
Fonte: Adaptado de Oliveira e Fabricio (2009)

A modelagem BIM e a nD se distanciam devido à falta de flexibilidade do *software* BIM necessária para a criação, onde há necessidade do arquiteto gerar seus próprios recursos generativos (LEE; BEAURECUEIL, 2009b). A simulação ambiental e a customização algorítmica dos processos projetuais permitem aos arquitetos retomarem o controle do projeto e da fabricação (LEE; BEAURECUEIL, 2009b). Porém é necessário entender que as diferentes ferramentas são etapas de um mesmo processo.

O Modelo Único como repositório de informações que alimenta a produção/fabricação do edifício não ocorre de fato pois não há diretrizes no modelo digital do como se produzirá o edifício, há apenas especulação formal.

5 CONCLUSÕES

Esta pesquisa de mestrado partiu de um cenário ideal onde as ferramentas de simulação virtual estão integradas com a produção automatizada, porém o que os Estudos de Campo indicam é que as ferramentas apresentadas correm paralelamente no mesmo fluxo de desenvolvimento de projeto, ou seja, a investigação das tecnologias de modelagem e produção não se mostram complementares no ensino e na prática profissional.

A Revisão Bibliográfica apontou para um caminho em que o uso computador não pára apenas na representação, mas também é capaz de auxiliar o projetista na exploração formal e construtiva, auxiliando com novas formas de visualização e possibilidades de se projetar em vários níveis de informação. Esta exploração é encontrada tanto na prática profissional quanto nas pesquisas laboratoriais nas universidades.

É possível destacar alguns dos benefícios do sistema BIM como melhor compreensão dos processos estudados e praticados, repositório do ciclo de vida do projeto para retroalimentação, aumento da produtividade e flexibilidade do projeto, maior agilidade para obtenção de informações, redução de erros e omissões na coordenação e associação de informações não geométricas aos componentes (e não aos desenhos ou representações dos componentes). Porém, para que o sistema seja implementado globalmente há necessidade da mudança do processo de projeto adotado hoje em dia por todas sub-áreas envolvidas no setor da Construção Civil.

O desenvolvimento de projeto apoiado por ferramentas computacionais permitem a investigação formal e posterior envio a produção automatizada, porém essa extensão não é encontrada quando o *software* utilizado para desenvolvimento de projeto é

baseado em conceito BIM, ou seja, nesse tipo de modelagem não há base informacional para fabricação digital do edifício, mas sim caracterização de cada componente.

O processo contemporâneo precisa integrar, via modelo virtual, as diferentes fases e disciplinas do projeto de edificações. Estamos num momento que se pode visualizar essa investigação com o uso de programas desde *Sketch Up* até a prototipagem para desenvolvimento do produto. Todo processo é permeado por ferramentas computacionais, porém ainda há necessidade de melhorar o diálogo entre essas ferramentas.

A PR permeia as fases de modelagem sendo utilizada na concepção e desenvolvimento de projeto como especulação formal e no fim do processo na construtibilidade do edifício, seja para entendimento da montagem de uma peça ou da fabricação da peça em si.

Por outro lado o modelo virtual baseado em BIM mostra-se importante para a produtividade dos desenhos de representação dentro de um escritório, no entanto não alimenta a produção de protótipos rápidos, por exemplo.

Portanto, a modelagem virtual BIM agiliza o processo de projeto na otimização de soluções, geração automatizada de desenhos e a prototipagem rápida por sua vez, proporciona produção de modelos físicos diretamente do modelo virtual e/ou partes do edifício, reduzindo tempo de projeto e auxiliando na experimentação de diferentes formas.

Porém, é explícita a distância entre produção acadêmica e prática profissional, cabendo desta forma esta dissertação responder como se dá a relação entre modelo virtual, BIM e PR:

- i. A possibilidade do Modelo Único é futura, onde academia e prática entendam uma a outra como extensão ou parceiras para desenvolvimento da profissão;
- ii. Não há uma ordem pré-determinada de uso das ferramentas, a modelagem virtual e PR se misturam durante todo o processo;
- iii. Será possível BIM complementar a PR quando as questões de interoperabilidade forem resolvidas e;

- iv. A prática profissional hoje tende para segmentação tanto da equipe quanto do uso de diferentes ferramentas, ou seja, a possibilidade de um processo de desenvolvimento único somente ocorrerá quando a equipe trabalhar interdisciplinarmente usando a mesma base digital.

A tendência do projeto desenvolvido por diferentes equipes separadas geograficamente torna a comunicação eficiente um ponto chave na coordenação de projetos, tornando ferramentas, como o BIM associado a Extranet, importantes para a efetivação da troca de informações atualizadas entre parceiros. É iminente a necessidade de investimento em treinamento e capacitação profissional, assim como o uso da modelagem em padrão aberto para que haja intercambio de informações entre os colaboradores do projeto.

É possível afirmar que o crescente uso de tecnologias CAAD proporciona o desenvolvimento de ferramentas, contribuindo satisfatoriamente para o aumento da produtividade e melhoria da qualidade dos projetos.

Cada vez mais os projetos têm entrado no campo complexo da modelagem nD onde dados referentes a todo ciclo de vida estão acumulados em um banco de dados único. A complexidade dos projetos e a equipe multidisciplinar têm que caminhar em um objetivo comum: concepção e construção de um edifício dotado de dados e especificações que podem ser alterados a cada revisão. Para isso, as ferramentas CAD auxiliam o arquiteto com parametrizações e automatização de etapas tornando o ato de projetar mais fluido e preciso. Como desenvolvimento futuro da modelagem há necessidade de refinar a fase de produção automatizada com a Fabricação Digital.

Diferentes Instituições de diversos lugares do mundo têm usado as tecnologias de CAAD e TI no desenvolvimento de projetos. Diversos grupos de pesquisas abordam a utilização de modelos virtuais e protótipos rápidos a fim de responder as exigências do mercado profissional com projetos flexíveis e formas livres, complexas.

O contato com diferentes instituições de ensino permitiu identificar que há mudança, ou mesmo a intenção de alguns docentes, de modificar a dinâmica do processo de projeto com a inserção de ferramentas que auxiliam a concepção e desenvolvimento de projeto.

As visitas foram de extrema importância para a aquisição de dados para subsidiar esta dissertação de mestrado. A possibilidade de interação com professores e alunos que usam a Prototipagem Rápida e o Projeto Paramétrico no processo de projeto assim como a coleta de materiais e informações sobre os Laboratórios foram de grande valia já que foi possível conviver com uma realidade promissora para o ensino de projeto.

A inserção de disciplinas que subsidiam a formação do aluno em relação às novas tecnologias é um passo importante para a qualificação de arquitetos para as novas tendências projetuais.

Além disso, a automação da produção das maquetes, onde o modelo virtual é diretamente enviado para impressão, facilita a conformação de modelos para estudo e modelo de apresentação final. Há de se ressaltar o cuidado com essas possibilidades tecnológicas no ensino, pois o aluno tem que estar a par da produção pensando na construtibilidade do objeto projetado.

Por outro lado, a adoção da PR no processo de projeto é limitada principalmente devido ao custo de implantação, manutenção e uso do equipamento. Além disso, o uso da tecnologia de PR por escritórios de arquitetura nacionais ainda é uma realidade distante, principalmente pela cultura na qual os profissionais de hoje quando foram formados – não havia o conhecimento da fabricação digital. Diversos escritórios utilizam maquete tradicional no desenvolvimento de soluções projetuais, ponto que, potencialmente no futuro será automatizado com cortadoras a laser e impressoras 3D. Neste ponto, o Escritório G é o mais próximo que se encaixaria num perfil de recém formados que utilizam tecnologias contemporâneas para desenvolvimento de projeto. Como foi apontado, são os únicos a customizar e utilizar o software segundo as necessidades do escritório desde a concepção de projetos.

Neste sentido é importante remeter à tese de doutorado de Pinto (2000) em que o autor entrevista diversos escritórios segundo a utilização de ferramentas digitais para desenvolvimento de projeto. É importante salientar que os próprios arquitetos entrevistados ressaltam a falta da cultura digital em sua formação acadêmica e a dificuldade que isso acarretava na inserção de novas tecnologias no desenvolvimento projetual.

No campo acadêmico, também se pode remeter a Dutra (2000) que estuda a introdução do computador no ensino de projeto de arquitetura, que conclui que “o computador pode ampliar a capacidade dos alunos de experimentar, sempre conscientes de que este não pode substituir a realidade”. O autor ressalta ainda que esse tipo de experimentação, ou seja, da inserção da informática no processo projetual, não é para ser transformado em disciplina; a informática deve ser incorporada, estar naturalmente introduzida em cada disciplina projetual. Este aspecto é gritante na comparação das visitas realizadas: no Brasil e em Portugal as experiências bem sucedidas são de disciplinas de informática aplicada, enquanto que a cultura projetual na Inglaterra já tem a informática inclusa em seu processo.

Da mesma forma, as soluções projetuais encontradas em Portugal e Brasil são tradicionais, com exceção ao exercício piloto aplicado no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da EESC, em que o objeto de investigação era a fabricação digital, então os projetos já eram direcionados para esse propósito desde a raiz do exercício.

No mesmo sentido caminha a dissertação de Pupo (2002) que estuda o uso do computador no ensino de projeto arquitetônico e na disciplina de informática aplicada à arquitetura, nas escolas de arquitetura nacionais. A autora apresenta a dificuldade de diversos professores de projeto em assumir a importância ou eficiência da inserção da informática no processo de desenvolvimento de projeto. Ao contrário da dificuldade nacional, também relatada em Portugal, a AA na Inglaterra apresenta-se mais avançada no que diz respeito a inserção das tecnologias de modelagem e PR na concepção e desenvolvimento de projetos. Tantos os alunos como os professores utilizam o Laboratório Digital como utilizamos a maquetaria tradicional, é algo já incorporado no processo.

No fim da década de 1980, Pinto (1989) já concluiu que “as escolas de arquitetura levam um tempo demasiado para absorver as novas manifestações arquitetônicas que ocorrem a nível internacional ou nacional. (...) esta defasagem ocorre sobretudo nas escolas mas antigas e portanto mais consolidadas e tradicionais”. A dificuldade da consolidação de propostas inovadoras tem razões de ordem financeira, política e administrativo-burocráticas. O esforço para ampliação de oportunidades tecnológicas contemporâneas dentro de um curso de arquitetura deve partir de um grupo sólido e comprometido com as mudanças desejadas.

Pontualmente, as principais dificuldades no desenvolvimento desta pesquisa foram a falta de acesso a informações sobre a existência ou implantação de Laboratórios de Prototipagem Rápida brasileiros voltados para cursos de arquitetura e o uso restrito de software paramétrico, com conceito BIM ou não, por parte dos escritórios de arquitetura nacionais.

A partir do panorama apresentado, acredita-se que a continuidade desta pesquisa se dá no campo prático na repetição das entrevistas junto aos escritórios que terão em seu corpo profissional arquitetos com uma formação contemporânea, ou seja, que já se familiarizaram na academia com software paramétrico e a possibilidade da PR; e desta forma verificar o impacto das tecnologias estudadas efetivamente no campo profissional.

Também seria de grande valia estudar exemplos da aplicação do gerenciamento de projeto utilizando BIM, FD e PR em escritórios internacionais, tanto na Europa como nos EUA.

Por fim, a exploração de exercícios praticados junto a escritórios de arquitetura com o intuito de comparar a prática projetual **com** e **sem** a inserção de PR e modelagem paramétrica no desenvolvimento de projeto seria valioso para comparar qualitativa e quantitativamente os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS⁴⁹

- ALEXANDER, Ch. **Notes on the synthesis of form**. Cambridge: Harvard University Press, 1964.
- ANANTATMULA, V.S. The Role of technology in the project manager performance model. **Project Management Journal**, Sylva, v.39, n.1, p.34-48, Mar. 2008.
- ANDRADE, M.L.V.X.; RUSCHEL, R.C. Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v.4, n.2, p.76-111, Nov. 2009.
- AOUND, G.; LEE, A.; WU, S. **The Utilization of building information models in nD modeling**: a study of data interfacing and adoption barriers. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2005/08>>. Acesso em: 10 Apr. 2005.
- ARAYICI, Y. An approach for real world data modeling with the 3D terrestrial laser scanner for built environment. In: **Automation in Construction**, Amsterdam, v.16, n.6, p.816-829, Sept.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13531**: elaboração de projetos de edificações – atividades técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- _____. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.
- _____. **NBR ISO 12006-2**: construção de edificação — organização de informação da construção – parte 2: estrutura para classificação de informação. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- AUTODESK. **Building Information Modeling in practice**. Disponível em: <http://images.autodesk.com/adsk/files/bim_in_practice.pdf>. Acesso em: 5 July 2008.
- AZUMA, F. et al. Inovação tecnológica: técnicas e ferramentas aplicadas ao projeto de edificações. **Revista Produção Online**, v.7, n.3, nov. 2007. Disponível em: <<http://producaoonline.org.br/index.php/rpo/article/view/70>>. Acesso em: 10 ago. 2010.

⁴⁹ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023, 2002.

BACKAS, S. **SPADEx**: short description of IFC project. 2001. (Final Report). Disponível em: <http://cic.vtt.fi/vera/Documents/spadex_final_report.pdf>. Acesso em: 15 Aug. 2009.

BIRX, G.W. **Getting started with building information modeling**. The American institute of architects - best practices, 2006. Disponível em: <http://www.aia.org/aiaucmp/groups/ek_members/documents/pdf/aiap016608.pdf>. Acesso em: 18 Feb. 2009.

BJÖRNFOT, A., JONGELING, R. "Application of line-of-balance and 4D CAD for lean planning". **Construction Innovation** 2007, vol. 7, nº 2.

BONALDO, T.; GRANJA, A. D.; CELANI, M. G. C.; SILVA, J. V. L. Prototipagem rápida no processo de produção digital de edificações. In: VIII Workshop Brasileiro - Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios, 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.arquitetura.eesc.usp.br/workshop08>>. Acesso em: 13 fev. 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO. **Portaria nº 1.770**. Brasília, 1994.

BRNA, P. Modelo de Colaboração. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, Florianópolis - SC, número 3, 9-15, Setembro 1998.

BURRY, M. Between intuition and process: parametric design and rapid prototyping. In: KOLAREVIC, B. (Ed.). **Architecture in the digital age: design and manufacturing**. New York: Spon Press; London: Taylor & Francis, 2003. p.147-162.

CELANI, M.G.C. CAD em arquitetura: indo além da representação. **Revista da UNIVAP**, São José dos Campos, v.8, n.14, p.46-53, 2001.

_____. **CAD criativo**. São Paulo: Campus, 2003.

CELANI, M.G.C.; GRANJA, A.D. Capítulo 18 – Prototipagem Rápida e Fabricação Digital. In: KOWALTOWSKI, D.C.C.K. **O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia**. 2010, "no prelo".

CELANI, M.G.C.; ORCIUOLI, A.D. A Tecnologia desvenda Gaudí - a fabricação digital e o patrimônio histórico: uma visita ao canteiro de obras da Sagrada Família. **AU: arquitetura e urbanismo**, São Paulo, n.177, Dez. 2008. Disponível em: <<http://www.revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/177/sumario.asp>>. Acesso em: 19 abr. 2009.

CELANI, M.G.C.; PINHEIRO, E.; GRANJA, A.D. Lean thinking and rapid prototyping: towards a shorter distance between the drawing board and the construction site. In: VIRTUAL AND RAPID PROTOTYPING, 2007, Leiria. **Proceedings...** Leiria: [s.n.], 2007.

CHANTAWIT, D.; HADIKUSUMO, B.H.W.; CHAROENNGAM, C. 4D CAD – safety: visualizing project scheduling and safety planning. **Construction Innovation**, Wagon Lane, v.5, n.2, p.99-114, 2005.

CHENG, R. **Questioning the role of BIM in architectural education.** Disponível em:<http://www.aecbytes.com/viewpoint/2006/issue_26.html>. Acesso em: 20 Aug. 2010.

CHOUGUI, A. The Digital design process: Reflection on architectural design positions on complexity and CAAD. In: COMPUTING IN ARCHITECTURE / RE-THINKING THE DISCOURSE: THE INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ARAB SOCIETY FOR COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN, 2., 2006, Sharjah. **Proceedings...** Disponível em:<http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?ascaad2006_paper20>. Acesso em: 10 Mar. 2010.

COELHO, S.B.S.; NOVAES, C.C. Modelagem de informações para construção (bim) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil. In: WORKSHOP BRASILEIRO - GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 8., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EP/USP, 2008.

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. **Diretório de grupos de pesquisa.** Disponível em:<<http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional/>>. Acesso em: 15 ago. 2010.

CRESPO, C.C.; RUSCHEL, R.C. Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3., 2007, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2007. CD-ROM.

DORST, K.; CROSS, N. Creativity in the design process: co-evolution of problem-solution. **Design Studies**, Amsterdam, v.22, n.5, p.425-437, Sept. 2001.

DUARTE, J.P. **Personalização em massa:** modelos e algoritmos. Palestra ministrada na FEC – Unicamp, 2009. Disponível em:<<http://www.cameraweb.unicamp.br/midia=0501002>>. Acesso em: 15 fev. 2009.

DUARTE, J.P.; CELANI, M.G.C.; PUPO, R. **Inserting computational technologies in architectural curricula.** 2010. No prelo.

DUARTE, R.B. **A Introdução do computador no processo ensino/aprendizado do projeto arquitetônico:** estudo de casos. 2000. 203p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook:** a guide to building information modeling for owners, managers, designers, and contractors. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.

EEKHOUT, M.; GELDER, B. Case study e-management of complex free form design and engineering processes. In: EMMITT, S. et al. **Architectural management:** internacional research & practice. Chichester: Wiley-Blackwell, 2009.

EL ANDALOUSSI, K. **Pesquisas-ações:** ciência, desenvolvimento, democracia. São Carlos: EDUFSCar, 2004.

EMMITT, S. **Architectural management in practice: a competitive approach**. Longman: Harlow, 1999.

_____. **Design management for architects**. Oxford: Blackwell, 2007.

FABRICIO, M.M. **Projeto simultâneo na construção de edifícios**. 2002. 328p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FABRICIO, M.M. O Arquiteto e a coordenação de projetos. **Pós: revista do programa de pós graduação em arquitetura e urbanismo da FAU/USP**, São Paulo, v.22, p.26-50, dez. 2008.

FABRICIO, M.M.; MELHADO, S.B. Globalização e a modernização industrial na construção de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002.

FERREIRA, R.C. **Uso do CAD 3D na compatibilização espacial em projetos de produção de vedações verticais em edificações**. 2007. 161p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FERREIRA, R.C.; SANTOS, E.T. Limitações da representação 2D na compatibilização espacial em projetos de edifícios e a aposta no CAD 3D como solução. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3., 2007, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2007. CD-ROM.

FISCHER, T.; HERR, C.M. Teaching generative design. In: INTERNATIONAL GENERATIVE ART CONFERENCE, GENERATIVE DESIGN`LAB DIAP, 4., 2001, Milão. **Proceedings...** Milão: Politecnico di Milano, 2001.

FLORIO, W. Contribuições do building information modeling no processo de projeto em arquitetura. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3., 2007, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2007. CD-ROM.

FU, C. et al. IFC model viewer to support nD model application. **Automation in Construction**, Amsterdam, v.15, n.2, p.178-185, Mar. 2006.

GARBER, R. Optimisation stories - the impact of building information modelling on contemporary design practice. **Architectural Design**, Hoboken, v.79, n.2, p.6-13, Mar./Apr. 2009. Special issue: closing the Gap.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GORNI, A.A. **Introdução à prototipagem rápida e seus processos**. Disponível em:<<http://www.gorni.hpg.ig.com.br/protrap.htm>>. Acesso em: 5 set. 2007.

HARINK, J.M.J.; VRIES, B. Generation of a construction planning from a 3D cad model. **Automation in Construction**, Amsterdam, v.16, n.1, p.13-18, Jan. 2007.

HEITOR, M.V. Why creating a new chair? Competence building for Innovation. In: WORKSHOP ON COLLABORATIVE DESIGN AND LEARNING: competence building for

- innovation, 2000, Hannover. **Proceedings...** Disponível em:<http://in3.dem.ist.utl.pt/hannover2000/papers/1_3.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2009.
- HORTA, M. Arquitetura paramétrica na sede da UMCP – SUBdv, São Paulo, 2008/2009. **AU: arquitetura e urbanismo**, São Paulo, n.181, abr. 2009. Disponível em:<www.revistaau.com.br>. Acesso em: 23 abr. 2009.
- HOUAISS, A.; VILLAR, M.S. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.
- HOWARD, R.; Björk, B. Use of standards for CAD layers in building. **Automation in Construction**, Amsterdam, v.16, n.3, p.290-297, May, 2007.
- HUANG, T. et al. A Virtual prototyping system for simulating construction processes. **Automation in Construction**, Amsterdam, v.16, n.5, p.576-585, Aug. 2007.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 12006-2:2001** - building construction - organization of information about construction works. Part 2: framework for classification of information. Washington: ISO, 2001.
- ITO, A.L.Y. **Gestão da informação no processo de projeto de arquitetura**: estudo de caso. 2007. 161f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- JONES, J.Ch. **Design methods**: seeds of human futures. London: Wiley Interscience, 1966.
- KENSEK, K.M.; KUMAR, S. Sustainable design through interoperability: BIM and energy analysis programs, a case study. **Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo Mackenzie**, São Paulo, v.8, n.1, p.42-58, 2008.
- KIERAN, S.; Timberlake, J.; Sullivan, C. **Refabricating architecture**: how manufacturing methodologies are poised to transform building construction. New York: McGraw-Hill, 2004.
- KILIAN, A. Design innovation through constraint modeling. Digital design: the quest for new paradigms. In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, 23., 2005, Lisboa. **Proceedings...** Lisboa: [s.n.], 2005. p. 671-678.
- KIVINIEMI, A. et al. **Review of the development and implementation of IFC compatible BIM**. [S.l.]: Erabuild Funding Organizations, 2008. Disponível em:<<http://www.ebst.dk/file/9498/ReviewoftheDevelopmentandImplementationofIFCcompatibleBIM.pdf>>. Acesso em: 23 Oct. 2009.
- KOLAREVIC, B. (Ed.). **Architecture in the digital age**: design and manufacturing. New York: Spon Press; London: Taylor & Francis, 2003.
- KOO, B.; FISCHER, M. Feasibility study of 4DCAD in commercial construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, Reston, v.126, n.4, p.257-260, July/Aug. 2000.

- KOWALTOWSKI, D.C.C.K.; PINA, S.A.M.G. **Prototipagem rápida - a maquete como ferramenta de projeto**. [S.l.:s.n.], 2006. (Plano de pesquisa: Projeto temático FAPESP - O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia - Processo: 2004 15737-0).
- KRASNY, E. (Ed.). **The Force is in the mind** – the making of architecture. Austria: Birkhauser, 2009.
- LAWSON, B. **Design in mind**. Oxford: Butterworth, 1994.
- LEE, F.; BEAURECUEIL, A.S. Museu Mercedes-Benz e o modelo de arquitetura paramétrica. UNStudio-Stuttgart, Alemanha, 2002/2006. **AU: arquitetura e urbanismo**, São Paulo, n.181, abr. 2009a. Disponível em:<www.revistaau.com.br>. Acesso em: 23 abr. 2009.
- LEE, F.; BEAURECUEIL, A.S. (Ed.). **AA agendas nº 7. Articulated grounds: mediating environment and culture**. Belgium: Cassochrome, 2009b.
- LI, X. et al. **Integrating information across construction supply chain using nD modelling**. 2008. Disponível em: <http://www.iglc.net/conferences/2008_Manchester/ConferencePapers/>. Acesso em: 14 Feb. 2009.
- LIGGETT, R.S. Automated facilities layout: past, present and future. **Automation in Construction**, Volume 9, Number 2, March 2000, pp. 197-215(19).
- LOCKHART, S.D.; JOHSON, C.M. **Engineering design communication: conveying design through graphics**. New York: Prentice-Hall, 2000.
- MARQUES, S.L.O. **Arquitetura e cibercultura: o olhar telemático e seus desdobramentos no processo projetual**. 1999. 176p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- MARTINEZ, A.C. **Ensaio sobre projeto**. Tradução de Ane Lie Spaltemberg. Brasília: Ed.Universidade de Brasília, 2000.
- MELHADO, S.B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação no caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. 294p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- _____. (Ed.). **Coordenação de projetos de edificações**. São Paulo: Nome da Rosa, 2005.
- MELHADO, S.B.; FABRÍCIO, M.M. Projetos de produção e projetos para a produção na construção de edifícios: discussão e síntese de conceitos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: qualidade no processo construtivo, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: NPC/UFSC, 1998. v.2, p.731-737.
- MILLS, C.B. **Projetando com maquetes: um guia para a construção e o uso de maquetes como ferramenta de projeto**. Tradução de Alexandre Salvaterra. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

MITCHELL, W.J. The Theoretical foundation of computer-aided architectural design. **Environment and Planning B**, London, v.2, n.2, p.127-150, 1975.

_____. **A Lógica da arquitetura**. Tradução de M.Gabriela C.Celani. Campinas: Ed.UNICAMP, 2009.

MITCHELL, W.J.; McCULLOUGH, M. **Digital design media**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995.

MODEEN, T. CADCAMing: the use of rapid prototyping for the conceptualization and fabrication of architecture. **Automation in Construction**, Amsterdam, v.14, n.2, p.215-224, Mar. 2005.

NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E.T. A indústria da construção na era da informação. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v3, n.1, p.69-81, jan/mar. 2003.

NOVAES, C.C. Um Enfoque diferenciado para o projeto de edificações: projetos para produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17., 1997, Gramado. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS/PPGEP, 1997.

_____. Adequação do processo de projeto de edificações aos novos paradigmas econômico-produtivos. In: WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2., 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: [s.n.], 2002.

OLIVEIRA, E.G. **Metodologia para o projeto arquitetônico**. 1979. 1v. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

OLIVEIRA, J.C.C.B. Construindo com bits: análise do processo de projeto assistido por computador. **PARC: pesquisa em arquitetura e construção**, v.1, n.3, 2008. Disponível em:<<http://www.fec.unicamp.br/~parc/vol.1/n3/vol1-n3-oliveira.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2010.

OLIVEIRA, M.R. Potential of building information modeling (BIM) system. In: BARTOLO, P.J.S. (Ed.). **Innovative developments in design and manufacturing advanced research in virtual and rapid prototyping**. New York: CRC Press, 2009. v.1, p.687-699.

OLIVEIRA, M.R.; FABRICIO, M.M. Prototipagem rápida como ferramenta de projeto e ensino e arquitetura - visita a laboratórios de prototipagem. In: SEMINÁRIO PROJETAR - PROJETO COMO INVESTIGAÇÃO: ensino, pesquisa e prática, 4., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo : Altermarket, 2009a. v.1.

OLIVEIRA, M.R.; FABRICIO, M.M. A Prototipagem rápida no ensino de projeto de arquitetura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Rima, 2009b. v.1, p.634-644.

ORCIUOLI, A. Arquitetura digital - TI aplicada à arquitetura: o antes e o depois. **AU: arquitetura e urbanismo**, São Paulo, n.181, abr. 2009a. Disponível em:<www.revistaau.com.br>. Acesso em: 10 abr. 2009.

_____. O Impacto das tecnologias de fabricação digital nos processos de design. **AU: arquitetura e urbanismo**, São Paulo, n.183, jun. 2009b. Disponível em:<www.revistaau.com.br>. Acesso em: 20 jul. 2009.

OXMAN, R. *Theory and design in the first digital age*. **Design Studies**, 27, 229-265. 2006.

PAZLAR, T.; TURK, Z. Interoperability in practice: geometric data exchange using the IFC standard, special issue case studies of BIM use. **ITcon**, v.13, p.362-380, 2008. Disponível em:<<http://www.itcon.org/2008/24>>. Acesso em: 5 May 2008.

PINKER, S. **Como a mente funciona**. Tradução de Lauro Teixeira Motta. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

PINTO, G.A. **Prática do projeto no ensino de arquitetura: investigação sobre algumas experiências - São Paulo - 1958/1985** (1989) Mestrado apresentado ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo – EESC/USP (Dissertação) São Carlos, 1989.

PINTO, G.A. **O impacto dos processos infográficos na produção da arquitetura**. (1999) Doutorado apresentado a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU/USP, São Paulo, 2000.

PUPPO, R.T. Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte. **PARC: pesquisa em arquitetura e construção**, v.1, n.3, 2008. Disponível em:<<http://www.fec.unicamp.br/~parc/vol.1,n.3/vol1-n3-pupo.pdf>>. Acesso em: 5 fev. 2009.

PUPPO, R.T. **Panorama do Uso do Computador no Ensino de Projeto Arquitetônico e na Disciplina de Informática Aplicada à Arquitetura**. Estudo de caso das escolas de arquitetura brasileiras. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

PUPPO, R.T.; CELANI, G. Prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção: definições e estado da arte no Brasil. **Cadernos de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo Mackenzie**, São Paulo, v.8, n.1, p.31-41, 2008. Disponível em: <<http://www.mackenzie.br/dhtm/seer/index.php/cpgau/article/view/244/103>>. Acesso em: 5 fev. 2009.

_____. **Prototipagem rápida e fabricação digital no processo criativo em arquitetura**. Disponível em:<<http://www.fec.unicamp.br/~lapac/public.htm>>. Acesso em: 17 jun. 2009.

RIGHI, T.A.F.; CELANI, G. Esboços na era digital - uma discussão sobre as mudanças na metodologia de projeto arquitetônico. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, 2008, Havana. **Proceedings...** [S.l.:s.n.], 2008.

ROBINSON, C. Structural BIM: discussion, case studies and latest developments. **The Structural Design of Tall and Special Buildings**, Malden, v.16, n.4, p.519-533, Dec. 2007.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

RYDER, G. et al. Rapid design and manufacture tools in architecture. **Automation in Construction**, Amsterdam, v.11, n.3, p.279-290, Apr. 2002.

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos**: formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. 336p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SANTOS, E.T. **Building information modeling – B.I.M.** Palestra ministrada em 25 May 2007 por vídeo conferência. Disponível em: <<http://www.cameraweb.unicamp.br/fe/IC072.html>>. Acesso em: 10 Aug. 2007.

SANTOS, E.T. Building information modeling and interoperability. In: CONGRESO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 13., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Comdesenho, 2009. p.466-438.

SARSHAR, M.; CHRISTIANSEN, P. Towards virtual prototyping in the construction industry: the case study of the Divercity project. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTION INFORMATION TECHNOLOGY, 2004, Langkawi. **Proceedings...** Disponível em: <http://it.civil.aau.dk/it/reports/incite_2004_langkawi.pdf>. Acesso em: 15 Feb. 2009.

SASS, L. Materializing design: the implications of rapid prototyping in digital design. **Design Studies**, Amsterdam, v.27, n.3, p.325-355, May 2006.

SCHÖN, D.A. **Educando o profissional reflexivo**: um novo design para o ensino e a aprendizagem. Tradução de Roberto C. Costa. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.

SCHRAMM, F.K.; FORMOSO, C.T. Uso de simulação interativa visual no projeto de sistemas de produção de empreendimentos da construção civil. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3., 2007, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2007. CD-ROM.

SELETSKY, P. **Questioning the role of BIM in architectural education**: a counter-viewpoint. Disponível em: <http://www.aecbytes.com/viewpoint/2006/issue_27.html>. Acesso em: 20 Aug. 2010.

SELLITZ, C. et al. **Métodos de pesquisa nas relações sociais**. 2.ed. São Paulo: EPU, 1987.

SERRA, G.G. **Pesquisa em arquitetura e urbanismo**: guia prático para o trabalho de pesquisadores em pós-graduação. São Paulo: Edusp; Mandarin, 2006.

SILVA, I.N. **O Processo de representação na arquitetura**: a imagem e os novos instrumentos de percepção e expressão da linguagem arquitetônica. 2000. 157p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

SILVA, N.F.; LIMA, E.M. O Uso simultâneo de modelos reduzidos e virtuais no Início do ensino de projeto de arquitetura. **Paranoá**: periódico eletrônico de arquitetura e urbanismo, v.10, 2008. Disponível em:<http://vsites.unb.br/fau/pos_graduacao/paranoa/paranoa.htm>. Acesso em: 16 mar. 2008.

SILVEIRA, S.J.; GÓMEZ, L.A.; JUNGLES, A.E. Metodologia para interoperabilidade entre *softwares* de planejamento e de visualização gráfica para o desenvolvimento do planejamento 4D. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABEPRO, 2006. CD-ROM.

SNODGRASS, A.; COYNE, R. **Interpretation in architecture**: design as way of thinking. New York: Routledge, 2006.

SOUZA, L.L.A.; AMORIM, S.R.L. Mesa redonda 1: perspectivas de BIM na gestão de projetos – avaliação do uso do BIM em escritórios de projeto. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES, 8., 2008. **Anais...** Disponível em:<<http://www.arquitetura.eesc.usp.br/workshop08/>>. Acesso em: 8 mar. 2009.

SOUZA, J.P. Introdução à tecnologia digital em arquitetura. Tecnologia digital, novos processos, nova arquitetura? (parte 1). **Revista Arquitetura e Vida**, Lisboa, n.61, p.28-33, jun. 2005.

_____. Convergência e não-linearidade no processo digital. Tecnologia digital, novos processos, nova arquitetura? (parte 2). **Revista Arquitetura e Vida**, Lisboa, n.62, p.28-32, jul. 2005.

_____. Tecnologia digital: (re)inventando a materialidade. Tecnologia digital, novos processos, nova arquitetura? (parte 3). **Revista Arquitetura e Vida**, Lisboa, n.63, p.32-36, set. 2005.

_____. Da Estandarização à personalização. Tecnologia digital, novos processos, nova arquitetura? (parte 4). **Revista Arquitetura e Vida**, Lisboa, n.64, p.56-61, out. 2005.

SPERLING, D.M. O Projeto arquitetônico, novas tecnologias de informação e o museu Guggenheim de Bilbao. In: WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 2002, Porto Alegre. **Anais...** Disponível em:<www.infohab.org.br>. Acesso em: 15 Jul. 2008.

SPUYBROEK, L. (2008). **The Architecture of continuity**. Rotterdam: V2, 2008.

- TERZIDIS, K. **Algorithmic architecture**. Londres: Architectural Press, 2006.
- THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez, 2004.
- TURKIENICZ, B.; BECK, M.P; MAYER, R. Computing and manipulation in design - a pedagogical experience using symmetry. In: CONVENCION CIENTIFICA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA, 14., 2008. **Proceedings...** [S.l.:s.n], 2008.
- VOLPATO, N. **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.
- WYATT, G. **Maintaining BIM integrity in the structural engineering office**. Disponível em:<http://images.autodesk.com/adsk/files/maintaining_bim_integrity_in_structural_engineering_office.pdf>. Acesso em: 24 Mar. 2009.
- YESSIOS, C.I. A Fractal studio. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTER AIDED DESIGN IN ARCHITECTURE, 1987, Chapel Hill. **Proceedings...** Chapel Hill: Ed.Barbara-Jo Novitski Raleigh; University of North Carolina, 1987. p.169-181.

GLOSSÁRIO DE TERMOS

A seguir serão apresentadas as definições de termos utilizados neste trabalho baseadas na bibliografia estudada:

BIM - Representação digital das características físicas e funcionais dos edifícios, passando por todo ciclo de vida da obra, utilizando o recurso de informação compartilhada; é constituído por um banco de dados que exhibe a geometria dos elementos construtivos em três dimensões, armazena seus atributos como custo, tempo de execução, fabricante, conexões, interações entre elementos, dimensões, materialidade, etc.

Fabricação Digital - Produção automatizada de peças modeladas digitalmente cujo produto pode ser tanto os modelos para simulação e avaliação como os produtos finais, como elementos construtivos de um edifício.

Modelo – representação em escala reduzida de objeto ou obra de arquitetura, que, por caracterizar uma representação possui características específicas, reduzidas de um objeto real. Quando virtual, oferece a possibilidade de percursos interativos, animação solar, cálculo de iluminação, construção de geometrias não Euclidianas complexas, fabricação digital e soluções personalizadas.

Processo de Projeto – Decisões e formulações que subsidiam a criação e a produção de um produto.

Projeto Colaborativo - Troca de conhecimentos e experiências, onde riscos, responsabilidades e sucessos são coletivos a partir de contribuições individuais.

Protótipo – Tipo especial de *modelo*. Produto fabricado unitariamente segundo as especificações de um projeto apresenta características ou aspectos em particular segundo interesse do avaliador podendo ser gerado por diferentes tecnologias de manufatura como impressão 3D, corte a laser ou CNC, caracterizando-o como **protótipo rápido**, ou seja, sem interferência ou interpretação humana para produção.

APÊNDICE

APÊNDICE 1

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Arquitetura e Urbanismo
Modelagem Virtual e Prototipagem Rápida aplicadas em Projeto de Arquitetura
Marina Rodrigues de Oliveira – Mestranda em Arquitetura e Urbanismo
marina.rodrigues.oliveira@usp.br 16 3373 9279 16 9171 3372
Prof. Dr. Márcio M. Fabrício – Orientador
marcio@sc.usp.br 16 3373 9279
www.arquitetura.eesc.usp.br/pesquisa/grupos/archtec

BREVE DESCRIÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa, intitulada **Modelagem Virtual e Prototipagem Rápida aplicadas em Projeto de Arquitetura**, está em desenvolvimento no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – EESC – USP, em nível de mestrado.

Devido ao uso de novas ferramentas como scriptings, algoritmos e programas paramétricos cada vez mais frequente nas universidades e escritórios de arquitetura fica claro que há uma mudança na prática tradicional de projeto. A elevada exigência das formas contemporâneas fluidas, livres, com elevada complexidade estrutural requer programas que comportem a modelagem, desenho e cálculos necessários para a fase construtiva, para isso as soluções geométricas são modeladas matematicamente. Assim, os programas CAD são utilizados para auxiliar o arquiteto/engenheiro na tomada de decisões, coordenação do processo de projeto abrangendo diferentes disciplinas.

O objetivo desta pesquisa é mostrar que a modelagem, seja ela virtual ou prototipagem rápida acelera o processo de desenvolvimento do projeto auxiliando os projetistas de diversos subsistemas a encontrar soluções espaciais compatíveis, evitando as interferências mal resolvidas como as limitações da representação 2D (planta, cortes, elevações e simbologias) que não permitem a visualização clara e prática das interferências. E, além disso, determinar diretrizes do uso das ferramentas de representação mais adequadas para auxílio no desenvolvimento de Projeto sejam elas 2D, nD ou prototipagem rápida e apontar os melhores momentos de aplicação e uso dos modelos virtuais ou não durante o processo de projeto.

Neste sentido, entramos em contato com empresas que utilizam *softwares* que utilizam a plataforma BIM (*Building Information Model*) e/ou prototipagem rápida para solicitar, num primeiro momento, o preenchimento de um questionário em anexo (questionário_escritorios.doc), com dez questões. Desta forma traçaremos um perfil das empresas que podem contribuir com o andamento desta pesquisa.

Os dados informados pela empresa serão utilizados exclusivamente para pesquisa científica, e a identidade da empresa ou de qualquer profissional envolvido no fornecimento de dados será mantida em sigilo.

Agradecemos a atenção que nos foi dispensada e ressaltamos a importância de sua colaboração para o desenvolvimento deste trabalho. Estamos à disposição para esclarecimento de dúvidas ou fornecimento de informações adicionais através do e-mail ou telefones fornecidos no cabeçalho.

Marina Rodrigues de Oliveira (mestranda)
Márcio M. Fabrício (orientador)

APÊNDICE 2

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Arquitetura e Urbanismo
Modelagem Virtual e Prototipagem Rápida aplicadas em Projeto de Arquitetura
Marina Rodrigues de Oliveira – Mestranda em Arquitetura e Urbanismo
marina.rodrigues.oliveira@usp.br 16 3373 9279 16 9171 3372
Prof. Dr. Márcio M. Fabrício – Orientador
marcio@sc.usp.br 16 3373 9279
www.arquitetura.eesc.usp.br/pesquisa/grupos/arquitec

QUESTIONÁRIO

Empresa: _____

Entrevistado (Nome e Função): _____

1. Áreas de atuação:

- () Projeto de Arquitetura
- () Projetos Complementares (Estruturas, Instalações, Paisagismo, etc.)
- () Coordenação de Projetos
- () Acompanhamento de Obra/Direção de Obra
- () Administração de Obra
- () Construção
- Outro: _____

2. Número de Projetistas: _____

3. Há quanto tempo está no mercado? _____

4. Raio de Atuação:

- () Municipal
- () Regional
- () Estadual
- () Nacional
- () Internacional

5. Nicho de Mercado:

- () Projetos Residenciais
- () Projetos Comerciais/Serviços
- () Projetos de Edifícios de Saúde
- () Projetos Industriais

6. Principais clientes:

- () Privados

() Públicos

7. Como funciona a divisão do processo de projeto? Quais ferramentas são utilizadas para coordenar os diferentes sistemas (paisagismo, arquitetura, instalações, estrutural, etc)?

8. Em relação às ferramentas de representação:

- () utiliza *software* livre
- () utiliza *AutoCAD* ou similar (desenho tradicional 2D)
- () utiliza *Revit*, *Archicad* ou similar (modelagem virtual 3D)
- () utiliza *Revit*, *Archicad* ou similar (modelagem baseada na plataforma BIM – nD)

9. A empresa encontra dificuldades na representação, compatibilização e coordenação dos projetos?

10. Atualmente, estão desenvolvendo algum projeto utilizando os *softwares Revit* ou *ArchiCAD*? Em caso afirmativo, a empresa se disponibiliza para entrevista e acompanhamento de algum projeto em desenvolvimento?

Comentários Adicionais:

Local e Data: _____

Os dados aqui fornecidos serão utilizados exclusivamente para pesquisa científica.
As identidades da empresa e do entrevistado serão mantidas em sigilo.

Agradecemos a colaboração para a realização desta pesquisa.

APÊNDICE 3

ROTEIRO DE ENTREVISTA

BLOCO A – Processo de projeto

1. Como se dá a divisão do projeto (etapas de projeto)?
2. Como é montada a equipe de projeto em cada etapa?
3. Como é o desenvolvimento da fase de concepção?
4. Como é o desenvolvimento da fase de coordenação?

*coordenação como troca de informação e integração das bases de projeto.

BLOCO B – Desenvolvimento de projeto

5. Existe algum projeto em desenvolvimento hoje usando as ferramentas discutidas que você pode apresentar?
6. As ferramentas foram usadas na fase de concepção, desenvolvimento, coordenação e documentação de projeto? Como?
7. Como são enviadas todas as informações inseridas no modelo para obra? Quais as potencialidades do emprego da tecnologia na interface projeto/obra?
8. O escritório conhece ou utiliza alguma ferramenta de fabricação digital ou prototipagem rápida no desenvolvimento de projeto?

BLOCO C – Uso de BIM

9. Quem monta as famílias/bibliotecas?
10. Há interação com outras especialidades e escritórios?
11. Como é a interação com outros projetistas? (dificuldades?)
12. O que o escritório espera no futuro como potencialidade do uso da tecnologia, do ponto de vista da integração com os outros projetistas?
13. Como se dá a troca de arquivos? (Problemas com interoperabilidade)
14. O que o *software* impacta no processo de projeto?