



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ANANIAS DE ASSIS GODOY FILHO

**CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DO PROJETO ARQUITETÔNICO:
POR UM NOVO PARADIGMA**

Londrina
2014

ANANIAS DE ASSIS GODOY FILHO

**CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DO PROJETO ARQUITETÔNICO:
POR UM NOVO PARADIGMA**

Dissertação apresentada ao Programa Associado de Pós-graduação em Metodologia de Projeto de Arquitetura e Urbanismo UEM-UEL [PPU], como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo - Metodologia de Projeto.

Orientação: Prof^a. Dr^a. Ercília Hitomi Hirota.

Londrina
2014

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

G577c Godoy Filho, Ananias de Assis.
Contribuições para o Ensino do Projeto Arquitetônico: Por um Novo Paradigma / Ananias de Assis Godoy Filho. – Londrina, 2014.
234 f.: il.

Orientador: Ercília Hitomi Hirota.
Dissertação (Mestrado em Metodologia de Projeto de Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, 2014.
Inclui bibliografia.

1. Arquitetura – Estudo e ensino – Teses. 2. Produtos novos – Arquitetura – Teses. 3. Arquitetura - Ações de projeto – Teses. I. Hirota Ercília Hitomi. II. Universidade Estadual de Londrina. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Metodologia de Projeto de Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDU 721:37.02

ANANIAS DE ASSIS GODOY FILHO

**CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DO PROJETO ARQUITETÔNICO: POR UM
NOVO PARADIGMA**

Dissertação apresentada ao Programa Associado de Pós-graduação em Metodologia de Projeto de Arquitetura e Urbanismo UEM-UEL [PPU], como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo - Metodologia de Projeto

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^a Dr^a Ercília Hitomi Hirota
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof^a Dr^a Mônica Santos Salgado
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Prof. Dr. André Augusto de Almeida Alves
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Londrina, 27 de junho de 2014.

Este trabalho é dedicado aos que lutam pela
continuidade da universidade pública, gratuita e de
qualidade em nosso país.

AGRADECIMENTOS

À Professora Dra. Ercília Hitomi Hirota, por ter me aceito como seu orientando, por toda a paciência, por seu estímulo, seu exemplo, seu conhecimento inesgotável, sua sabedoria, sua sensibilidade, e sua firmeza somente superada por sua delicadeza e humanidade.

À Professora Dra. Milena Kanashiro, pela ajuda nos assuntos acadêmicos e pelas sábias ponderações nos momentos de crise.

Ao Professor Dr. André Augusto de Almeida Alves, pelo valioso aprendizado e por ter aceitado participar de minhas bancas de qualificação e de defesa.

De igual modo, agradeço penhoradamente à professora Dra. Mônica Santos Salgado, do PROARQ FAU-UFRJ, por ter aceitado o convite de minha orientadora para fazer parte de minhas bancas de qualificação e de defesa, assim como por suas valiosas observações e críticas.

A todos os meus professores durante esta trajetória, em especial, Dr. Sidnei Guadanhim, Dr. César Imai, Dr. Renato Leão Rego e Dr. Ricardo Dias Silva, o meu muito obrigado, com estima e admiração.

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos Zani, pela orientação no estágio em docência e pelos momentos de convivência rica e agradável, bem como ao Prof. Dr. Eduardo Suzuki e aos nossos alunos.

À Prof. Dra. Eniuce Menezes, por ter me levado a superar meu temor de Estatística e pelas indicações precisas de leituras, através das quais passei a entender gostar do assunto.

À Prof. Dra. Diene Eire de Mello Bortotti de Oliveira, do Depto. de Educação da UEL, pelas acertadas indicações de leituras na fascinante área da Educação.

Aos secretários do PPU, Rose Pepinelli (UEM) e Francisco Lima (UEL), por toda ajuda e boa vontade no encaminhamento de nossos trâmites administrativos e acadêmicos.

A todos os colegas da primeira turma do primeiro Mestrado em Arquitetura no Paraná, em especial Vanessa Jones, Elise Savi, Thamine Ayoub, Fábria Rosas, Ana Carolina de Brito, Carla Olivo, Fernando G. Graton; e também aos colegas do Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento, Lucas Melchiori, Alessandro Kremer e Danilton Aragão, estes meus novos amigos. Vários seremos professores, por isso espero que este trabalho lhes seja útil.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos. Este trabalho teria sido impossível sem esses recursos. Espero ter devolvido à sociedade brasileira o mesmo valor, com elevados juros, sob forma de conhecimento.

Ao meu fiel amigo Eng. Civil Willys Rodrigues Coutinho, sem cuja preciosa ajuda no último minuto eu sequer teria conseguido chegar a me inscrever no programa. Quando tudo deu errado, ele estava lá, pronto a ajudar.

Uma gratidão sem fim tributo a meu pai Ananias (*in memoriam*) e a minha mãe, Professora Yara de Araújo Godoy, mestre e amiga para sempre, minha e de todos os que gozam do privilégio de seu convívio. Obrigado por me acolher em sua casa de novo após tantos anos, e por todos os cuidados impossíveis de descrever, cuidados de mãe, em suma.

Por fim, agradeço à minha esposa Elaine e à minha filha Luísa, pela compreensão, constante encorajamento e renúncia de minha companhia durante tão longo período de afastamento. Sem o apoio de todos vocês esta conquista nada mais seria que um projeto.

*Drawing will be directly in three dimensions from the start. No
two-dimensional representation will ever be stored.*

Ivan Edward Sutherland,
setembro, 1963.

GODOY FILHO, Ananias de Assis. **Contribuições para o Ensino do Projeto Arquitetônico**: Por um novo paradigma. 2014. 234 f. Dissertação. Mestrado Metodologia de Projeto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2014.

RESUMO

Este trabalho pretende trazer uma contribuição para a renovação do ensino do projeto arquitetônico no Brasil. Tendo como pano de fundo o conceito da *network society* de Castells, a visão sistêmica proposta por Fritjof Capra, e na consideração de que as nossas cidades e seus inumeráveis artefatos constituem o nosso ecossistema artificial, são também abordados alguns conceitos-chave na área de Educação, para compreensão de seus pressupostos e paradigmas contemporâneos, como a multidisciplinaridade, a interdisciplinaridade e a transdisciplinaridade, segundo Edgar Morin, Basarab Nicolescu, M. E. J. de Vasconcellos, M. C. de Moraes e outros autores. Aborda as metodologias ativas no ensino superior (PBL e PjBL) e discute sua relevância como métodos favoráveis ao desenvolvimento de pensamento sistêmico e integrativo nos estudantes. Questiona a consideração de BIM como um novo paradigma de projeção em Arquitetura e Urbanismo. Busca identificar, nos históricos de *Design Methods/Design Science* e do surgimento de CAD e BIM, visões de futuro coincidentes, afinidades e singularidades. Argumenta que as visões coincidentes apontam para um paradigma imaginado há cinquenta anos. Conclui demonstrando que BIM não é o paradigma, mas é um dos instrumentos de um paradigma que precisa ser construído a partir de uma *Weltanschauung* para o ensino do projeto de arquitetura, visão de mundo esta que surge a partir de um novo status epistemológico para a atividade de projetar o novo habitat humano.

Palavras-chave: Ensino do projeto arquitetônico. Transdisciplinaridade. *Design methods*. BIM. Paradigma.

GODOY FILHO, Ananias de Assis. **Contribuições para o Ensino do Projeto Arquitetônico: Por um novo paradigma.** (Contributions to Architectural Design Teaching: Towards a New Paradigm) 2014. 234 p. Dissertation (Master's Degree in Architecture and Urban Planning, Design Methodology) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2014.

ABSTRACT

This work intends to render a contribution to the renewal of Brazil's architectural design teaching. Against the backdrop of Castells's concept of the network society, the systemic approach proposed by Fritjof Capra, and from the consideration that our cities and their countless artifacts constitute our artificial ecosystem, some key Education concepts are also addressed, to know its contemporary assumptions and paradigms, namely, multi, inter and transdisciplinarity, as seen by Edgar Morin, Basarab Nicolescu, M. E. J. de Vasconcellos, M. C. de Moraes and other researchers. Addresses the active methodologies in higher education (PBL and PjBL) and discusses their relevance as favorable methods to developing systemic thinking and integrative skills in students. Questions the consideration of BIM as a new paradigm of Architectural Design and Urban Planning. Seeks to identify, in the history of Design Methods/Design Science and in that of the emergence of CAD and BIM, futuristic visions that coincide, hold resemblance or are unique. Argues that the coincident futuristic visions point to a paradigm imagined fifty years ago. Concludes by demonstrating that BIM is not the paradigm itself, but one of the tools of a paradigm that needs to be built from a *Weltanschauung* for the architectural design teaching, emerging this worldview from a novel epistemological status for the activity of designing the new human habitat.

Keywords: Architectural design teaching. Transdisciplinarity. Design methods. BIM. Paradigm.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O pensar-e-fazer do projeto em relação à noção kuhniana de paradigma.	23
Figura 2 - O pensar-e-fazer do projeto em relação aos elementos de um paradigma.	24
Figura 3 - Síndrome "por-cima-do-muro" no processo sequencial da construção.....	33
Figura 4 - Esquema genérico de um processo sequencial de produção do projeto.	34
Figura 5 - Espectro dos trabalhos de argumentação lógica.	38
Figura 6 - Encadeamento da construção do argumento.	43
Figura 7 - Delineamento da pesquisa.	44
Figura 8 - Ivan Sutherland operando o computador TX-2.....	63
Figura 9 - Interface gráfica do Apple Lisa (1982-1983).....	68
Figura 10 - Interface gráfica de uma das primeiras versões do AutoCAD (<i>circa</i> 1986).....	71
Figura 11 - Códigos e tela do <i>software</i> GLIDE, de Charles Eastman.....	81
Figura 12 - Gráfico estatístico da adoção de BIM pelo setor de AEC na América do Norte. ..	87
Figura 13 - Eixos das pesquisas sobre o processo projetual.....	91
Figura 14 - Os três pressupostos do paradigma científico tradicional.	104
Figura 15 - "Como manter uma mente sistêmica".	115
Figura 16 - Eixos de interesse para renovação do ensino do projeto arquitetônico.	148
Figura 17 - Esquema do processo de projeto com uso de BIM.	160
Figura 18 - O projeto arquitetônico no contexto da construção civil contemporânea.	162
Figura 19 - Antiga relação do projeto arquitetônico com outros projetos.	163
Figura 20 - Teia de relações em um empreendimento com IPD/BIM.....	164
Figura 21 - Pressupostos que guiam as conclusões.....	189
Figura 22 - Linhas do tempo da evolução das interfaces homem máquina.....	220

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Os dois sentidos do termo paradigma, segundo Thomas Kuhn.....	21
Quadro 2 - Os dois sentidos do termo epistemologia, segundo Vasconcellos (2009).	94
Quadro 3 - Adoção dos pressupostos do paradigma tradicional pelas ciências.	107
Quadro 4 - Comparação entre educação disciplinar e educação transdisciplinar.	117
Quadro 5 - Termos largamente usados em referência a BIM.	154
Quadro 6 - Comparação entre o processo tradicional de projeto e IPD.	158
Quadro 7 - Comparativo entre os paradigmas “Imaginado” e “Alegado”.....	166
Quadro 8 - Processo contemporâneo de projeto arquitetônico e relação com o ensino.....	190
Quadro 9 - Cronologia do desenvolvimento de CAD e BIM.	223

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AECO	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações
ARC	<i>Augmentation Research Center</i>
ARPA	<i>Advanced Research Projects Agency</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Machinery</i>
CGA&U	Cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo
CGi.br	Comitê Gestor da Internet no Brasil
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>
DMG	<i>Design Methods Group</i>
DTM	<i>Design Theories and Methods</i>
EDRA	<i>Environmental Design Research Association</i>
GC	<i>Ggraphic Computing</i>
IBIS	<i>Issue-Based Information System</i>
IFC	<i>Industry foundation Class</i>
IPD	<i>Integrated Project Delivery</i>
MIT	<i>Massachussets Institute of Technology</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
NLS	<i>On Line System</i>
NSF	<i>National Science Foundation</i>
PARC	<i>Palo Alto Research Center</i>
PBL	<i>Problem-Based Learning</i>
PC	Computador pessoal (<i>personal computer</i>)
PjBL	<i>Project-Based Learning</i>
RNP	Rede Nacional de Pesquisa
SAGE	<i>Semi-Automatic Ground Environment</i>
TIC	Tecnologias de informação e comunicação
WYSIWYG	<i>What you see is what you get</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	QUESTÃO DE PESQUISA	30
1.2	JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA	31
1.3	OBJETIVO	35
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	35
1.5	MÉTODO.....	37
2	O PARADIGMA IMAGINADO — <i>Design Methods</i> e as bases de CAD e BIM	45
2.1	BREVE HISTÓRICO DAS PESQUISAS EM MÉTODOS DE PROJETO	45
2.2	BREVE HISTÓRICO DAS TECNOLOGIAS PARA CAD	57
2.3	BREVE HISTÓRICO DAS TECNOLOGIAS PARA BIM.....	74
2.4	SINOPSE	89
3	O PARADIGMA ACEITO — Educação: Multi, inter e transdisciplinaridade.....	92
3.1	A DISCIPLINARIDADE TRADICIONAL	92
3.2	A COMPLEXIDADE E A TRANSDISCIPLINARIDADE	106
3.3	METODOLOGIAS ATIVAS NO ENSINO SUPERIOR — PBL E PjBL	118
3.3.1	Aprendizagem Baseada em Problemas — PBL.....	127
3.3.2	Aprendizagem Baseada em Projetos — PjBL.....	133
3.4	SINOPSE	144
4	O PARADIGMA ALEGADO — Building information modeling.....	149
4.1	PROJETO DA EDIFICAÇÃO COM BIM: UM PROCESSO SÓCIO-TÉCNICO	149
4.2	BIM E INTEGRATED PROJECT DELIVERY (IPD).....	152
4.3	SINOPSE	160
5	Conclusão — O PARADIGMA BUSCADO.....	169
5.1	A SOCIEDADE EM REDE E A RELAÇÃO SOCIEDADE-TECNOLOGIA-NATUREZA.....	173
5.2	ARTEFATOS INTELIGENTES, INTELIGÊNCIA DO ARTEFATO E EDIFÍCIOS INTELIGENTES.....	178
5.3	CONTRIBUIÇÕES EPISTEMOLÓGICAS PARA O ENSINO DO PROJETO ARQUITETÔNICO.....	185
5.4	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	193

REFERÊNCIAS.....	195
APÊNDICES.....	214
APÊNDICE A — Notas sobre a Conferência em Métodos de Projeto	215
APÊNDICE B — Notas sobre <i>Wicked Problems</i>	217
APÊNDICE C — Notas sobre a Teoria Geral dos Sistemas.....	219
APÊNDICE D — As universidades e o avanço das interfaces homem-computador.....	220
APÊNDICE E — Notas sobre a EDRA.....	221
APÊNDICE F — Cronologia do desenvolvimento de CAD e BIM	223
APÊNDICE G — IPD: Desenvolvimento Integrado de Projeto	226
ANEXOS	228
ANEXO A — Excertos do projeto de pesquisa de Eastman (1974)	229

1 INTRODUÇÃO

O ano de 1990 marca o início de uma transformação em escala global, iniciada a partir do momento em que o Departamento de Defesa dos Estados Unidos desmantelou a antiga ARPANET, estabelecida em 1957 e até aquele momento sob o controle militar, substituindo-a pela rede civil da National Science Foundation (NSF) e rebatizando-a NSFNET. As entidades encarregadas da administração dessa rede, que já dispunha de uns poucos milhares de conexões nos principais centros de pesquisa e universidades nos Estados Unidos e em alguns outros países, estabeleceram um protocolo-padrão de comunicação entre as diversas redes de pesquisa a ela conectadas, alteraram o modo de comercialização do direito de acesso aos recursos, agora sob a forma de assinaturas, e assim a rede popularizou-se em todo o planeta com a denominação de *International Network*, ou Internet, vindo a se constituir no que hoje conhecemos como a Teia Mundial, ou *World Wide Web* (ALMEIDA, 2005).

Em 25 de junho de 1994, a rede mundial de computadores ganhava espaço de destaque na revista norte-americana Time, que publicou pela primeira vez em sua capa a palavra Internet, termo que a partir desse momento se popularizou em todo o mundo. A chamada de capa¹, intitulada *The strange new world of the Internet – Battles on the frontiers of cyberspace*, contava a história da evolução dos BBS nos Estados Unidos, incluindo a trajetória da CompuServe, então com cerca de 950 mil assinantes, da Prodigy, uma *joint-venture* entre a Sears e a IBM, e da America Online (AOL), na época os maiores *players* naquele mercado. Quando a reportagem foi publicada, muitos empreendedores no Brasil estavam mais familiarizados com a Internet nos Estados Unidos do que os próprios norte-americanos (VIEIRA, 2003, p. 65), o que pode explicar em parte a grande rapidez com que se multiplicaram em nosso país os empreendimentos ligados à *World Wide Web*, provendo acesso e conteúdo a milhões de domicílios e empresas e mantendo o Brasil, entre

¹ Disponível no portal da revista, em: <<http://www.time.com/time/covers/0,16641,19940725,00.html>>. Acesso em 24 jul. 2013.

2004 e 2011, em quarto lugar no mundo entre os mercados que mais cresceram nesse setor² (CGI.br, 2012, p. 155).

A partir de 1995, ano em que o Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br) inicia suas atividades³, ocorre no País o fenômeno do barateamento dos computadores pessoais, fazendo com que máquinas mais acessíveis, cujos preços variavam entre US\$ 2,000.00 a US\$ 5,000.00, e já com capacidade de processamento suficiente para executar aplicativos gráficos, começassem a povoar nossos escritórios de arquitetura. Acompanharam essa popularização do computador e do acesso à Internet a utilização de sistemas operacionais mais intuitivos, com uso de janelas e interfaces gráficas mais aperfeiçoadas, bem como a entrada maciça de *software* de projeto auxiliado por computador ou *Computer Aided Design* (CAD) no mercado brasileiro. O fluxo de trabalho nos escritórios de arquitetura, desde então, vem se transformando significativamente, fazendo com que a rotina das equipes que projetam os artefatos do ambiente construído (arquitetura, engenharias e design em geral) e a própria estrutura física desses arranjos produtivos nunca mais fossem as mesmas (CARVALHO; SAVIGNON, 2012, p. 6).

Em que pese o fato de que ainda hoje, passados mais de dezoito anos desde o início desse processo chamado às vezes de “revolução”, uma parcela significativa dos escritórios de arquitetura continua a subutilizar as ferramentas de CAD, usando-as para produzir representações bidimensionais de plantas, cortes, fachadas e detalhes construtivos — desenhos técnicos — como se fossem meras pranchetas eletrônicas (PANIZZA, 2004; TZORZOPOULOS e FORMOSO, 2001; apud CRESPO e RUSCHEL, 2007), a mudança na práxis projetual do arquiteto que atua no mercado trouxe como inevitável rebatimento os questionamentos sobre a introdução das tecnologias de CAD no meio acadêmico, notadamente no ensino de graduação em Arquitetura e Urbanismo, engenharias e design em geral.

² Dados da pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação no Brasil: “TIC Domicílios e TIC Empresas 2011”, CGI.br, 2012, p. 155.

³ Segundo dados do do Comitê Gestor da Internet no Brasil, disponíveis no portal da instituição, no endereço: <<http://www.cgi.br/br.htm>>. Acesso em: 20 jul. 2013.

O lócus dos embates, inquietações, investigações e discussões sobre a influência das novas tecnologias aplicadas ao processo projetual em Arquitetura e Urbanismo passou a ser o espaço do processo ensino/aprendizagem, seja a sala de aula teórica, ou o antigo ateliê de projeto, chegando até as reuniões de colegiados dos cursos, repletas de controvérsias sobre o assunto. Nesse campo de batalhas, alguns arquitetos-professores mais experientes, porém formados na era analógica, ainda supervalorizam *design-by-drawing*⁴ e tentam fazer com que seus alunos desenhem à mão os projetos (que acabam plotados em papel sulfite e traçados “por cima”, em papel manteiga), enquanto professores mais jovens, formados na era digital atual e familiarizados com as ferramentas informáticas, repassam aos estudantes visões de projeção fragilizadas por sua falta de experiência prática no mercado e por sua escassez de referências teóricas estruturadas, sem conseguir fazer a ligação entre a teoria e a prática (MILLS; TREAGUST, 2003, p. 3). Sem ter a oportunidade, nos temas propostos pelos professores, de trabalhar em projetos de pessoas ou comunidades reais, nem o apoio reflexivo de fundamentos teóricos cujo ensino os tenha conectado às aplicações práticas que derivam de suas propostas, os alunos tendem a repetir irrefletidamente formas que veem nas revistas e sites de arquitetura, utilizando os poderosos *software* de CAD, meramente para descrição da forma e produção das representações gráficas dos projetos.

Teixeira (2005, p. 31, 53, 56) ressalta que o quadro é agravado pelo fato de que os arquitetos-professores⁵, em sua maioria, estão despreparados para as especificidades da docência no ensino superior, alguns chegando mesmo a desprezar conhecimentos específicos da área de Educação os quais lhes poderiam ser úteis.

⁴ *Design-by-drawing*: projetar desenhando. Expressão utilizada por John Chris Jones em seu livro *Design Methods* para designar o método tradicional de encontrar soluções em projeto. Sobre isto, declara Jones ao abrir o terceiro capítulo do livro: “Os escritos dos teóricos do projeto sugerem que o método tradicional de projetar desenhando resulta simples demais diante da crescente complexidade dos artefatos do mundo construído pelo homem. Esta crença é largamente aceita e não requer qualquer outra justificativa.” (JONES, 1992, p. 27).

⁵ Expressão usada pela autora para se referir aos graduados em arquitetura que atuam na docência, sem especificar se seriam arquitetos que trabalham como professores e profissionais de mercado concomitantemente ou se seriam professores em tempo integral e dedicação exclusiva cuja graduação tenha sido em Arquitetura e Urbanismo.

Especialistas, conhecedores do conteúdo da área de especialização, na maioria das vezes não tiveram formação pedagógica e nem manifestam qualquer interesse pela área; verdadeiramente duvidam de sua utilidade, pois as questões que ela aborda não fazem parte de seu paradigma de formação. (TEIXEIRA, 2005, p. 31).

Esta realidade apresenta-se conjugada às relações intrincadas entre a “racionalidade técnica” e o conflito “rigor *versus* relevância”, descritos por Schön (1995) como obstáculos para o sistema universitário em geral conseguir reconhecer e validar a experiência obtida na prática profissional. Mills e Treagust (2003), ao abordar o ensino de projeto nas escolas de engenharia australianas, britânicas e norte-americanas, fazem uma afirmação categórica que guarda alguma semelhança com o que ocorre, ao menos em parte, em outros países:

[...] [parte do] corpo docente carece de experiência prática, por isso não é capaz de relacionar adequadamente a teoria à prática, ou de prover experiências de projeto. Os atuais sistemas de promoção recompensam as atividades de pesquisa e não a experiência prática ou a expertise de ensino. (MILLS, TREAGUST, 2003, p. 3).

Ainda, segundo Rowntree (1998, p. 47), e Anderson, Herr (1999, p. 14), estes são fatores que tem contribuído para a perpetuação dos problemas hoje existentes na sala de aula, como é notório entre os professores de projeto arquitetônico⁶.

Se as razões que apresentamos para explicar os problemas que o ensino de projeto arquitetônico enfrenta hoje, as apontadas na literatura e outras constatadas empiricamente em nossa própria vivência⁷ não são suficientes, observe-se o presente momento: a comunidade docente ainda não tem muita clareza sobre o uso instrumental/pedagógico das tecnologias de informação e comunicação (TIC) no ensino de graduação em Arquitetura e Urbanismo, em especial o das ferramentas de CAD, e já é

⁶ Segundo Anderson, Herr (1999, p. 14), “Acadêmicos tendem a se sentir confortáveis com a pesquisa efetuada por profissionais, se for vista como uma forma de conhecimento local que leva a uma mudança no próprio contexto da prática, mas sentem-se menos à vontade quando ela é apresentada como conhecimento público com pretensões epistêmicas que possam ir além do contexto da prática profissional.”.

⁷ O autor atuou em arquitetura como profissional de mercado por nove anos na era analógica e outros vinte e um na era digital. Destes últimos, por dez anos dividiu seu tempo entre o escritório e a docência em Arquitetura e Urbanismo em universidades públicas.

expressiva a quantidade de trabalhos científicos discutindo a aplicação de *Building Information Modeling* (BIM), tanto no ramo de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO), quanto sua introdução na academia.

Embora o processo venha sendo chamado por vários autores de “novo paradigma” de projeto do empreendimento de construção civil, este trabalho apoia-se na literatura da área de filosofia, de história da ciência, de educação e de AEC/IPD/BIM para propor a consideração de BIM não como um paradigma em si mesmo, mas como um dos elementos de um novo paradigma, mais abrangente e profundo, das relações do ser humano com o ambiente que constrói, com os agentes promotores e construtores desse ambiente, com seus usuários, com a tecnologia que produz e utiliza, enfim, como um processo que é parte das transformações radicais por que passa o mundo e que atingem todos os aspectos da existência humana no planeta. Essas transformações, provocadas em grande medida pelas consequências socioeconômicas e culturais do rápido avanço tecnológico característico da era digital, implicam na formulação de uma nova visão de mundo e obrigam a repensar os parâmetros de atuação profissional dos arquitetos, na tentativa de definir uma nova epistemologia da projeção do artefato arquitetônico no século 21. Esta nova visão de mundo é essencial para a definição de novos princípios do ensino de arquitetura, cujo pivô é a disciplina de projeto arquitetônico.

Para Heath (1984, p. 12-13); Protzen e Harris (2010, p. 2), os desafios são decorrentes também de um conflito interno na própria profissão de arquiteto, “rodeada de apriorismos superados e tradições, encabulada em uma confusão histórica com respeito à sua arte, não sendo inspirada por ideias originais nem guiada por princípios definidos e bem entendidos”. Constatam-se ainda a enorme fragmentação do conhecimento no meio da construção civil, além de visões divergentes da profissão por parte de profissionais, acadêmicos e mercado comprador de projetos (GRILLO; MELHADO, 2003; KAMARA, ANUMBA e EVBUOMWAN, 2002, p. 6-8), e também entre os processos cognitivos díspares que possuem os projetistas das gerações formadas na era analógica e na digital (COSTA, 2010; ALVES, 2013). O grande número de artigos publicados desde 1995, especificamente sobre o tema da incorporação das TIC no desenvolvimento dos temas de projeto nas escolas, atesta a urgência de

[...]incorporar questões mais atuais, como a necessidade de construção de novos paradigmas, da delimitação de um campo de pesquisa para a área, de uma melhor inserção do Projeto de Arquitetura nas Pós-Graduações, além da renovação do ensino de graduação, diante dos desafios tecnológicos, socioculturais e econômicos do século XXI. (LARA; MARQUES, 2005, res., grifo nosso)⁸.

Entretanto, apesar dos esforços de tantos pesquisadores, muitos deles professores em cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo, o quadro do ensino da projeção arquitetônica, no que diz respeito aos esforços para sua renovação, é de pulverização de iniciativas. De fato, o panorama atual do ensino do projeto arquitetônico apresenta cores diluídas e contornos descontínuos, resultado da ausência de consenso em torno de uma *Weltanschauung*⁹ a ser amplamente compreendida, adotada e compartilhada pelos arquitetos, quer seja sua atuação no mercado ou na docência. Esta visão de mundo e da própria profissão deve ser construída coletivamente, sobre um entendimento amplamente compartilhado do que é propriamente o ofício de produzir Arquitetura hoje, qual seu território entre os campos do conhecimento e entre as disciplinas que com ela se relacionam, e quais os parâmetros contemporâneos do exercício profissional. Estes são alguns assuntos que este trabalho pretende abordar, mesmo que de maneira apenas tangencial, neste momento em que a disseminação de uma nova tecnologia para projetar, com todas as discussões que tem suscitado, cria a oportunidade para uma reflexão acerca dos conceitos fundamentais que orientam o pensar-e-fazer do projeto arquitetônico.

Há, de fato, um justificado desconforto na comunidade acadêmica da área, há muito ansiosa em razão da percepção de que algumas concepções e práticas tradicionais no ensino de projeto vão-se tornando indefensáveis. Porém, essa ansiedade não nos autoriza a simplesmente aceitar um recurso tecnológico emergente como paradigma, por quatro motivos: Primeiro, porque um paradigma, no sentido mais exato do termo, não se reduz apenas a uma tecnologia e aos processos sócio-técnicos necessários para sua

⁸ Excerto do texto-resumo redigido pelos organizadores do livro, originado de alguns artigos coligidos por eles após o I Seminário Nacional Sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura – Projetar 2003.

⁹ *Weltanschauung* (al.: visão do mundo, cosmovisão) 1. Concepção global, de caráter intuitivo e pré-teórico, que um indivíduo ou uma comunidade formam de sua época, de seu mundo, e da vida em geral. 2. Forma de considerar o mundo em seu sentido mais geral, pressuposta por uma teoria ou por uma escola de pensamento. (JAPIASSÚ; MARCONDES, 2001, p. 193). Visão de mundo abrangente e totalizante, cosmovisão.

utilização, é antes uma “estrutura mental”, uma visão de mundo consensual, partilhada por membros de uma comunidade científica (KUHN, 2011)¹⁰; ou, na metáfora empregada por Neto (2011),

[...] os paradigmas são algo como as lentes dos óculos – assim como as lentes corretivas, que clareiam o caminho para a visão turva e confusa do míope, o paradigma é um horizonte estruturante que põe em ordem os fenômenos e permite à comunidade dos cientistas se situar na realidade, compreendê-la e comunicá-la. (NETO, 2011, p. 347).

O termo origina-se do grego *parádeigma*, cujo significado é de “modelo”, “padrão”, “um conjunto de regras e regulamentos”, os quais estabelecem limites para nosso comportamento e mesmo para nossa compreensão do mundo (VASCONCELLOS, 2009, p. 30). Morin (1990, apud VASCONCELLOS, 2009), considera os paradigmas princípios “supralógicos” de organização do pensamento, princípios ocultos que governam nossa visão de mundo, que controlam a lógica de nossos discursos, que comandam nossa seleção de dados significativos e nossa recusa dos não-significativos, sem que nos apercebamos disso. De acordo com a autora, tomar consciência de nossos paradigmas de pensamento e ação requer esforço considerável chegando mesmo a ser “um processo doloroso”, pois a mudança de premissas implica, segundo Morin (1990), no “colapso de toda uma estrutura de pensamento”.

Ao referir-se especificamente ao significado do termo no campo das ciências, Vasconcellos (2009) argumenta que foram várias as definições fornecidas por Thomas Kuhn em seus escritos entre 1962 e 1971. Demonstra que, no pós-fácio de 1969 à edição original de 1962 de *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Kuhn reconheceu a necessidade de revisão de algumas de suas definições, porém manteve duas delas, consideradas as principais: Aquela que designou por TEORIA, vista como uma “matriz disciplinar”, e outra, que mereceu o uso do próprio termo PARADIGMA, constituído de “exemplares” (VASCONCELLOS, 2009). O Quadro 1, abaixo, foi adaptado da referida obra e representa as ideias deste subitem.

¹⁰ O ano aqui referido é o da obra consultada, uma reedição recente. O texto de Kuhn data de 1962.

Quadro 1 - Os dois sentidos do termo paradigma, segundo Thomas Kuhn.

DOIS SENTIDOS DO TERMO "PARADIGMA" NA CIÊNCIA	
TEORIA ("matriz disciplinar") regras e padrões da prática intradisciplinar (intratemático)	PARADIGMA ("exemplares") crenças e valores subjacentes à prática interdisciplinar

Fonte: Vasconcellos (2002, p. 37).

Inicialmente, o termo *paradigma* foi usado por Kuhn para se referir a uma "estrutura conceitual", partilhada pela comunidade de cientistas. Essa estrutura é o que lhes proporciona modelos de problemas e de soluções. Vasconcellos (2009) argumenta que o próprio Kuhn considerava o termo *paradigma*, nesta acepção, como inapropriado e defendia que o termo mais adequado nesse caso seria *teoria* (KUHN, 2011, p. 219, 228 *et seq.*), utilizado pelo autor quando em referência a regras e padrões da prática. Kuhn admitia, entretanto, que o termo *teoria* já tinha outras conotações na filosofia da ciência, e por essa razão propõe "matriz disciplinar": disciplinar porque se refere a algo que é posse comum dos praticantes de uma disciplina em particular, que lhes fornece *regras e padrões de prática*.

Em contrapartida, o termo *paradigma* seria mais adequado quando em referência a "realizações passadas dotadas de natureza exemplar" (KUHN, 2011, p. 220), e também às *crenças* e *valores* de uma dada comunidade científica. O próprio Kuhn considerava este sentido, com os componentes *crença* e *valores*, o mais importante e profundo filosoficamente, pois estes compõem, juntamente com os *exemplares*, o substrato sobre o qual se edificam as regras e padrões da prática. "Ao que tudo indica, essa sugestão de Kuhn não foi acatada pelos cientistas, que continuam a usar *paradigma* com esse sentido de *teoria*" (VASCONCELLOS, 2009).

Ou seja, Kuhn considerava que, antes de o cientista aprender a pesquisar, a **usar** as teorias (as regras e padrões da prática), ele precisa aprender uma visão de mundo específica, **aprender/apreender** um paradigma (exemplares significativos, crenças e valores). Capra (2005b)¹¹, na mesma linha de Kuhn, usa o termo paradigma para significar a totalidade de pensamentos, percepções e valores que formam uma determinada visão de realidade, que é a base do modo como um grupo se organiza e age, como é o caso de uma comunidade profissional ou da comunidade científica. É precisamente este sentido kuhniano, de exemplares, crenças e valores subjacentes à prática e aprendidos/apreendidos *a priori*, o adotado neste trabalho quando emprega o termo paradigma, seguindo o que afirma Vasconcellos (2009):

[...] quando Kuhn diz que cientistas imbuídos de diferentes paradigmas veem o mundo de modo diferente, não quer dizer que estão vendo a mesma coisa e apenas interpretando diferentemente. **Duas pessoas com paradigmas diferentes veem coisas diferentes.** Por exemplo, uma aglomeração de pessoas que um comerciante vê como um tumulto destrutivo, um revolucionário vê como uma produtiva e útil manifestação política. **Não há um fato que seja em si uma coisa ou outra.** Para saber as coisas que estão sendo vistas, temos que nos perguntar pelos paradigmas daqueles que estão vendo. (VASCONCELLOS, 2009, p. 39, grifo nosso).

Assim, partindo de alguns termos acima colocados em negrito sobre a noção kuhniana de paradigma, abraçada também por Fritjof Capra, e considerando a análise de seus significados feita por Maria José E. de Vasconcellos, destacam-se dois termos para essa noção: *teoria* e *paradigma*; este último, segundo Kuhn, o de sentido mais profundo e importante. Ao termo *teoria* aparece associada a noção de **usar** as regras e padrões da prática, enquanto que associadas a *paradigma* aparecem as ideias de **aprender** sobre os exemplares significativos e ao mesmo tempo **apreender** crenças e valores da comunidade, o que conforma coletivamente uma determinada visão de realidade a partir da qual os fenômenos são conceituados.

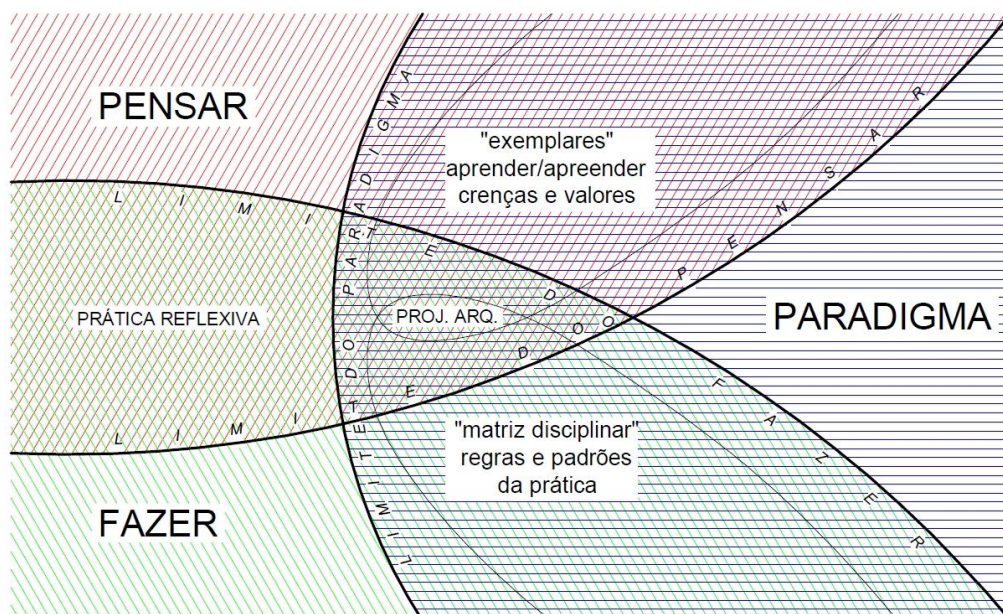
Caminhando pela longa via aberta por Schön (1983) quando investigou o “profissional reflexivo”, deparamo-nos com a ideia de que os projetistas — nós, arquitetos,

¹¹ O ano refere-se à obra consultada, 25ª edição em Português. O ano de publicação do livro é 1982.

por exemplo —, experimentamos em nosso cotidiano de trabalho um *continuum* de iterações cíclicas que se estabelecem na quase simultaneidade dos atos de **pensar** e de **fazer**, em direção ao resultado aceitável de um projeto. Na prática, esse é um pensar-e-fazer, uma díade cuja indissociabilidade de seus termos é aceita por toda a comunidade de arquitetos — ou seja, tanto a definição, quanto a concordância de que seus termos constituem uma díade, uma só ideia composta por dois núcleos de significados que se concretiza como ação no mundo (o projetar arquitetura) é, para nós, um paradigma. Portanto, a ideia de paradigma adotada para os fins deste trabalho se apoia em Vasconcellos (2009), Capra (2005b) e Kuhn (2011), embora sem a hierarquia que este último propõe entre os níveis *teoria* e *paradigma*. Como na prática do projeto arquitetônico não existe hierarquia entre o pensar (associado a *paradigma* = aprender com os exemplares, apreender crenças e valores) e o fazer (associado a *teoria* = usar as regras e padrões da prática), a definição de Kuhn, com a ressalva de sua adaptação para o nosso caso específico foi julgada apropriada.

A Figura 1 representa graficamente os três elementos que informam a prática reflexiva em projeto arquitetônico aqui discutidas, figuradas como territórios que se sobrepõem e completam: o das práticas (FAZER), o das ideias e conceitos (PENSAR) e o domínio do paradigma, que os dois primeiros orienta.

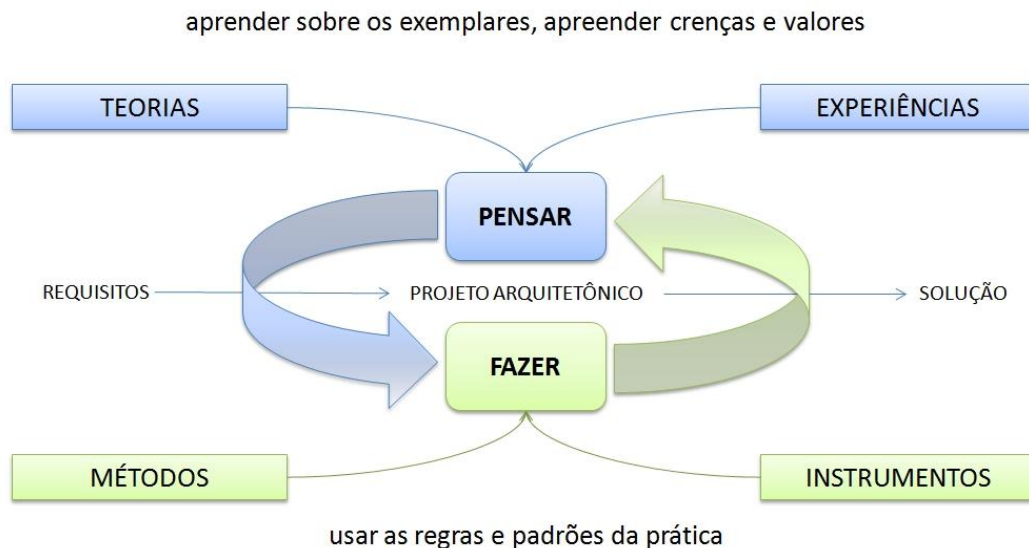
Figura 1 - O pensar-e-fazer do projeto em relação à noção kuhniana de paradigma.



Fonte: Autor.

Ainda em Kuhn (2011) e Neto, (2011) encontramos a ideia de um paradigma compreender as teorias¹², experiências, métodos e instrumentos relativos a um campo do conhecimento e da prática nesse campo. Numa articulação desta segunda noção com as que foram expostas, porém sem usar os termos *paradigma* e *teoria* (no singular), que poderiam suscitar alguma confusão, é possível discernir na práxis do projeto arquitetônico um vínculo claro entre *pensar* \leftrightarrow *teorias e experiências*, bem como entre *fazer* \leftrightarrow *métodos e instrumentos*. Sob essa ótica, sendo BIM uma plataforma tecnológica que permite a realização do projeto em um processo comumente denominado *Integrated Project Delivery* (IPD), o qual acontece na prática de acordo com certas regras e padrões, este trabalho defende a posição de que a plataforma não é “O” paradigma, mas ao mesmo tempo teoria e instrumento, ou seja, um componente do paradigma. A Figura 2 relaciona os quatro elementos de um paradigma, segundo Thomas Kuhn, aos âmbitos do pensar e do fazer o projeto arquitetônico.

Figura 2 - O pensar-e-fazer do projeto em relação aos elementos de um paradigma.



Fonte: Autor.

¹² Nesse contexto, Kuhn utiliza a palavra *teorias* (plural) no seu sentido mais geral, como conhecimento articulado, fruto de especulação intelectual e pesquisa, sem necessariamente uma relação com as regras e padrões da prática. No caso, o termo *teorias* pode ser associado corretamente ao *pensar* do projeto arquitetônico.

Segundo, porque tanto a tecnologia para CAD quanto a “que permite BIM”¹³ não foram desenvolvidas somente tendo em vista o uso que dela poderiam fazer os profissionais arquitetos, mas sim todos os profissionais envolvidos com os diversos projetos que convergem para uma obra de construção civil. Em se tratando do contexto brasileiro, nós apenas importamos os aplicativos e começamos a utilizá-los sem preocupação sobre os pressupostos metodológicos de projeto adotados pelos seus desenvolvedores e que os levaram a defini-los como se apresentam. Na graduação em Arquitetura e Urbanismo não se aborda o histórico da construção do conhecimento que levou à existência desses programas. Em geral não se estuda o trabalho dos pioneiros na busca dessa tecnologia: quem eram, sua filiação acadêmica e suas ligações com o mercado, o que faziam, o que pretendiam, que visão de futuro tinham, tampouco a contribuição deles para a realidade que temos hoje. Além disso, a maioria dos cursos de treinamento que se propõem ensinar a operar tais programas não confere ao aprendiz mais do que uma visão superficial de sua utilização, além de não considerar a dimensão social do trabalho com projetos. Muito devido ao ensino que prevalece nas escolas de arquitetura, nossos arquitetos sempre tenderam a subutilizar o potencial desses recursos, como ocorre neste momento no caso de BIM, não apenas por ser uma tecnologia recente no Brasil, mas também devido a dificuldades diversas, como relatam Menezes (2011, p. 161-164), Menezes et al. (2011, p. 13), Hilgenberg *et al.* (2012, p. 65), e outros.

Terceiro: Em nenhum momento da década de 1960, quando a tecnologia para CAD dava seus primeiros frutos concretos, existiu alguma escola de arquitetura no Brasil que tivesse grupos de pesquisa dedicados ao entendimento do processo de projeto sob o ponto de vista operacional e cognitivo, visando especificamente ao desenvolvimento de uma tecnologia computacional para aplicar à atividade, como no caso das pesquisas então realizadas na Universidade da Califórnia, no Instituto de Tecnologia de Massachussets

¹³ Em várias menções a essa tecnologia, será empregada a expressão preferida pela Dra. Regina Coeli Ruschel, da FEC-UNICAMP, com a nítida conotação de instrumento ou sub-processo, dentro de um processo maior, IPD.

(MIT), na *Hochschule für Gestaltung* - HfG Ulm, na Universidade de Sydney, e em vários outros centros, cujas investigações lançaram as bases dos atuais sistemas para CAD e BIM¹⁴.

Quarto: Nos países centrais, os sistemas para CAD surgiram, em muitos casos, de pesquisas **endógenas** às principais escolas de Arquitetura e Engenharia, lideradas por arquitetos que também eram professores e pesquisadores estreitamente ligados à área de tecnologia das universidades¹⁵, os quais construíram as fundações conceituais e tecnológicas dos sistemas para CAD e BIM atuais¹⁶. Somente depois é que esses aplicativos interessaram à indústria de *software* e começaram a ser comercializados, alavancando assim o seu aperfeiçoamento (cf. APÊNDICE D). Nesses países, portanto, foram as universidades, através das escolas de arquitetura, design e engenharia que, tendo fornecido à indústria de *software* o conhecimento, induziram à mudança da prática profissional no mercado, para o avanço tecnológico do *métier* (MYERS, 1998). No Brasil, dá-se justamente o contrário: os fornecedores de aplicativos desenvolvidos no estrangeiro, atentos à demanda dos profissionais nacionais, determinam a mudança na práxis projetual — ao menos no nível operativo —, e as escolas de arquitetura, mais tarde, põem-se às voltas tentando adaptar seu ensino a uma realidade exógena, de cuja criação nunca participaram como protagonistas, senão como espectadoras na última fila; quase inteiramente alheias ao desenrolar de uma cena cujo clímax transformaria a profissão de arquiteto anos depois.

Esta realidade se deve em grande parte ao abismo representado pelo subdesenvolvimento socioeconômico, científico e tecnológico que separava o Brasil das

¹⁴ O fato de que no primeiro semestre de 1968 era lançado o periódico *C. A. D. – Computer Aided Design*, contendo 27 artigos que abordavam desde o processo de projeto até plotters e impressoras, além de desenho em perspectiva e relatórios de dois simpósios sobre o assunto acontecidos anteriormente, mostra o grau de desenvolvimento que a pesquisa nessa área já atingira. O periódico existe até o presente, e está disponível no portal científico Sci Verse, desde o primeiro número.

¹⁵ Um exemplo é Nicholas Negroponte (1943 -), arquiteto, engenheiro mecânico, professor e pesquisador do MIT. Nesta instituição, desde 1965, fazia parte do currículo dos estudantes de arquitetura um semestre de programação de computadores, no mínimo, como parte dos créditos obrigatórios para obter o título de Arquiteto. (NEGROPONTE, 1970, p. 24-25).

¹⁶ Cf. o caso do *software* Sketchpad, originado da tese de doutoramento de Ivan Sutherland no MIT, sistema que já trabalhava com croquis em tempo real na tela e objetos paramétricos em 1963.

economias centrais norte-americana e europeias durante toda a primeira metade do século passado, chegando até a década dos oitenta. Felizmente, uma ponte sobre este fosso começou a ser construída em setembro de 1989, quando se instalou a Rede Nacional de Pesquisa (RNP), conectando as instituições de ensino e pesquisa do país à rede mundial de computadores e a importantes centros universitários no exterior¹⁷. Desde então, a distância tem sido atenuada, pelo menos no que tange à integração de nossas comunidades acadêmica e científica com as de países mais avançados.

Outra parte pode ser creditada à desconfiança das tecnologias informáticas que os arquitetos brasileiros (e também estrangeiros) nutriram durante muito tempo, sentimento este bastante condicionado por uma visão da concepção arquitetônica como algo artístico e intuitivo, muito ligado aos fazeres da Arte, e por isso refratário a qualquer tentativa de sistematização, como bem explicou Elvan Silva (1986), corroborando o que constataram Alexander (1964), Forwood (1979) e Lawson (2009) referindo-se aos arquitetos de seus países. Citando apenas Silva e Forwood:

Em trabalho de minha autoria, publicado em 1984, referi-me ao fato de que o projeto arquitetônico ainda é, em amplos setores, considerado como o exercício de uma atividade artística, comparável à produção pictórica, poética ou musical. Tal concepção, escandalosamente superada, demonstra a persistência da tradição acadêmica, engendrada no Renascimento e robustecida pelo pseudo-racionalismo do século XIX. [...] Com efeito, a origem da propalada crise no ensino do projeto arquitetônico está na insistência no emprego de uma didática ultrapassada que, em muitos casos, se converte numa autêntica antididática. (SILVA, 1986, p. 18).

O uso da palavra “projeto” no mesmo fôlego com a palavra “computador” é suficiente para desencadear medo e terror nos corações e mentes de provavelmente a maioria na profissão. [...] A história tem demonstrado que a classe é conservadora quando precisa responder às mudanças tecnológicas e sociais. Novamente, os arquitetos tem sido mais lentos do que outros profissionais da Construção para responder ao impacto da tecnologia computacional. [...] De longe, o fator mais significativo para isso tem sido a falta de membros apropriadamente educados (treinados, nem tanto) para levar adiante o desenvolvimento do trabalho necessário para implementar aplicativos computacionais e para promover uma consciência do computador no meio profissional. (FORWOOD, 1979, p. 1).

¹⁷ Dados do portal da RNP, disponíveis em <http://www.rnp.br/rnp/historico.html>.

Há que ser considerada ainda a velocidade com que a tecnologia evolui. Dado o tempo que as escolas levaram para assimilar o advento de CAD, mesmo sem uma integração mais estruturada nos cursos, é de se esperar que no momento em que a tecnologia para BIM for razoavelmente operacionalizada como recurso didático já existirá outra tecnologia mais avançada para projetar edificações.

Estes dilemas, portanto, justificam a pergunta: O ensino do projeto arquitetônico no Brasil dar-se-á assim, de “novo paradigma” em “novo paradigma”, de acordo com os pacotes de *software* lançados no mercado ou a própria realidade, nesta era digital em que vivemos faz quase 25 anos¹⁸ já nos apresenta elementos suficientes para encontrar nela evidências que nos permitam formular um conjunto de princípios epistemológicos suficientemente coesos, abrangentes, persuasivos e duráveis, característicos dos verdadeiros paradigmas?

Evidentemente, em um trabalho individual e de reduzido escopo como este, não será possível chegar a um constructo com tal coesão e força. Porém, pretende-se mostrar que existem tais evidências, a partir das quais a formulação de alguns princípios é possível. Para tanto, levaremos em conta autores que tratam da relação sociedade-tecnologia-ambiente, os trabalhos científicos em desenvolvimento sobre artefatos inteligentes, principalmente no Japão; e também serão abordados certos aspectos históricos pouco explorados da construção do conhecimento que levou à existência de CAD e BIM; o que inclui conhecer também as visões de futuro que seus pioneiros possuíam. Assim, será necessário revisitar os movimentos que propugnavam por um processo projetual metodológico, como o *Design Theories and Methods (DTM)*, *Design Methods Movement* e o

¹⁸ Para efeito deste trabalho, o autor considera como início da era digital o ano de 1990, quando o Departamento de Defesa dos Estados Unidos transfere a antiga ARPANET para o controle civil da NSF. Esta entidade acelerou o processo de ramificação e descentralização da rede que veio a ser a Internet.

Design Methods Group (DMG), *Design Science*, o projeto *ArchMach*¹⁹, dentre outros no mesmo período.

Como este esforço de argumentação focaliza o ensino do projeto arquitetônico, no intuito de produzir uma contribuição objetiva à construção daquela *Weltanschauung* que mencionamos, será indispensável também abordar alguns conceitos-chave na área da Educação, em busca das tendências, pressupostos e paradigmas contemporâneos do processo ensino/aprendizagem, como a interdisciplinaridade e a transdisciplinaridade, conforme as conceituam Edgar Morin, Basarab Nicolescu, Marilda Behrens, Humberto Maturana e Francisco Varela. Os estudos prévios que realizamos sobre o assunto apontaram ainda a relevância de uma discussão sobre as metodologias ativas no ensino superior, como a Aprendizagem Baseada em Problemas ou *Problem Based Learning* (PBL) e a Aprendizagem Baseada em Projetos ou *Project Based Learning* (PjBL). Tais métodos de ensino, por suas próprias características, tem sido considerados adequados à imersão dos estudantes em problemas multi e transdisciplinares reais, bem como favoráveis ao desenvolvimento de habilidades colaborativas e comunicacionais, dentro de uma abordagem sistêmica e integrativa (CAVALCANTE, VELOSO, 2012; SAVAGE, CHEN, VANASUPA, 2007; MILLS, TREAGUST, 2003; CAPLLIURE, MONTAGU, 2012; ZEILER, SAVANOVIĆ, 2012; FLEISCHMAN, HUTCHINSON, 2012).

Assim, tendo como pano de fundo o conceito da sociedade em rede, ou *network society*, como propõem Castells (2000a, 2000b, 2003, 2005) e Cardoso (2005), a visão sistêmica proposta por Capra (2005a, 2005b) e Maturana, Varela (2001), e na consideração de que as nossas cidades e seus inumeráveis artefatos constituem o nosso ecossistema artificial (MARQUES, 1994; CASTRO, 2012; SIMON, 1969), este trabalho pretende contribuir, através de um aporte teórico específico de cunho epistemológico, para a discussão sobre um novo paradigma do ensino do projeto arquitetônico.

¹⁹ ArchMach – *The Architecture Machine Group*. Iniciativa de Nicholas Negroponte, MIT.

1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Um estudo retrospectivo da construção do conhecimento que levou à existência dos aplicativos para CAD e BIM, a partir dos resultados das pesquisas em métodos de projeto para sistematização do processo projetual e sua utilização com/através de aplicações computacionais, parece indicar que o advento dessas tecnologias não é um fenômeno capaz de se constituir em paradigma de projeção em Arquitetura e Urbanismo *per se*. O processo de projeto de qualquer artefato, como hoje se apresenta em sua forma mais avançada, lança mão de meios de representação da realidade almejada já não mais apenas bidimensionais. A utilização da modelagem n-dimensional²⁰ das informações como subsídio às decisões de projeto evidencia características que foram antecipadas por aquelas pesquisas há várias décadas.

Assim sendo, é mister o enquadramento conceitual da atividade de projetar nosso ecossistema artificial dentro de uma nova noção, mais ampla e contemporânea, definida por um conjunto de princípios mais abrangente, na qual seja melhor compreendido seu papel social, valorizada sua importância econômica e considerada sua responsabilidade na construção de nosso ambiente. Portanto, colocamos a seguinte questão, numa perspectiva ampla:

Se os recursos computacionais atuais que permitem projetar artefatos utilizando a modelagem n-dimensional de suas características físicas, processo de produção e ciclo de vida são o suporte tecnológico capaz de viabilizar o processo projetual segundo um paradigma vislumbrado há cerca de 50 anos e preconizado pelos pesquisadores de *Design Methods*,

²⁰ Por modelagem n-dimensional ou *nD Modelling* (LEE *et al.*, 2003, *apud* SUCCAR, 2009) entende-se a descrição do objeto não mais apenas graficamente pelas três dimensões espaciais largura, comprimento e altura, mas também considera que as informações de custo, prazo de execução, construtibilidade, vida útil dos componentes, desempenho ambiental e outras fazem parte da representação do objeto em relação à realidade almejada pelo projeto.

então o ensino de projeto deve incorporar as teorias, experiências, métodos e instrumentos²¹ necessários à formação de profissionais capazes de definir e orientar sua atuação segundo aquele paradigma.

Em termos menos genéricos e mais breves, concentrando-nos especificamente no que concerne à teoria que deve embasar o ensino do projeto arquitetônico, foco deste trabalho, podemos então propor que:

Se

as ferramentas para BIM são a tecnologia que viabiliza o processo projetual do edifício²², segundo um paradigma vislumbrado há cerca de 50 anos e preconizado pelos pesquisadores de Design Methods,

então

o ensino do projeto arquitetônico deve incorporar as teorias, experiências, métodos e instrumentos necessários à formação de arquitetos capazes de definir e orientar sua atuação profissional segundo esse paradigma.

1.2 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa justifica-se, como já mencionado, por sua contribuição à epistemologia do projeto arquitetônico ao identificar alguns princípios capazes de apontar

²¹ Sobre o valor de “teorias, experiências, métodos e instrumentos” na consolidação de um paradigma, cf. KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2011, p. 221; e NETO, S. de A. e S. O que é um paradigma? **Revista de Ciências Humanas**, Florianópolis, v. 45, n. 2, p. 345-354, out. 2011.

²² Apenas substituímos “recursos computacionais que permitem projetar artefatos (no caso, edifícios) utilizando a modelagem n-dimensional de suas características físicas, processo de produção e ciclo de vida”, como formulado na questão mais geral, aplicável a todas as áreas do design.

direções mais seguras e contemporâneas para seu ensino. Este trabalho pretende também contribuir para a desejada “construção de novos paradigmas” da formação do arquiteto, como diagnosticaram Fernando Lara e Sônia Marques no prefácio de seu livro (LARA; MARQUES, 2005). Os autores também mencionam uma pulverização de iniciativas neste sentido, sem que tais ações se percebam unificadas por regras, pressupostos e pontos de vista comuns.

Quanto a este particular, seguimos a sugestão de Thomas S. Kuhn, que considera os paradigmas compartilhados a fonte de coerência para o que denominou “pesquisa normal”, distinguindo-os claramente das regras. Segundo o autor, “as regras derivam de paradigmas, mas os paradigmas podem dirigir a pesquisa mesmo na ausência de regras” (KUHN, 2011, p. 66). Assim sendo, mesmo uma pequena contribuição para a existência desse novo paradigma tão necessário poderá ser de valia à academia, como material de construção das futuras regras, pressupostos e pontos de vista do ensino do projeto arquitetônico.

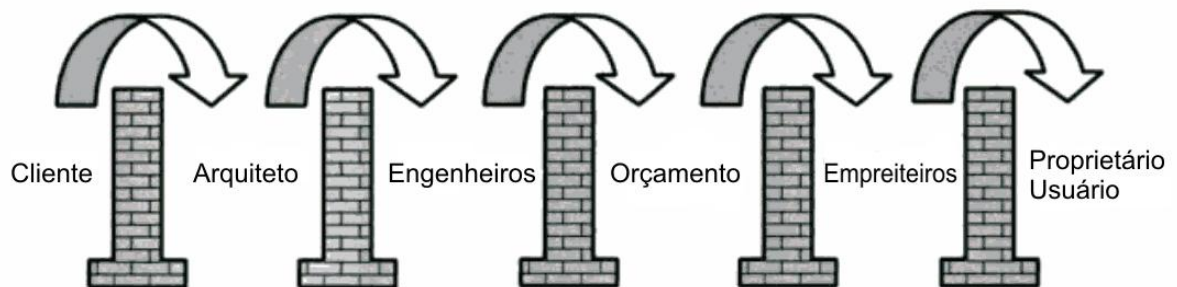
Há mais de cinquenta anos foi percebida a necessidade de renovação dos métodos de projeto, na busca de maior integração entre os agentes e disciplinas envolvidos no ato de conceber, desenvolver e entregar à sociedade um artefato de maior qualidade. Porém, na prática dominante do mercado de projetos brasileiro, ainda se desenvolvem esses serviços/produtos dentro da mesma visão sequencial e fragmentada cujas origens remontam ao Renascimento (ALEXANDER, 1964, p. 1-4).

A integração e a colaboração entre os diferentes agentes da cadeia de suprimentos do empreendimento tem sido vistas como necessárias para melhorar a eficiência da indústria da construção, que de outra maneira é atormentada com os problemas associados à fragmentação do processo (KAMARA, ANUMBA, EVBUOMWAN, 2002, p. 7).

A fragmentação do conhecimento nesse ramo é exacerbada pelo que os autores chamam de “síndrome por-cima-do-muro” (Figura 3), atuação na qual os

profissionais envolvidos nas atividades a jusante do fluxo de informações do empreendimento (*e.g.*, empreiteiros) geralmente não estão envolvidos com as decisões a montante do mesmo (*e.g.*, projetistas), as quais são jogadas para eles “por cima do muro” de separação entre as disciplinas. Este é um problema de ordem cultural e de formação dos profissionais, cuja superação efetiva depende da adoção de novas práticas de ensino capazes de formar mentes integrativas, com predisposição e mesmo preferência para atuar em coletivo, colaborativamente.

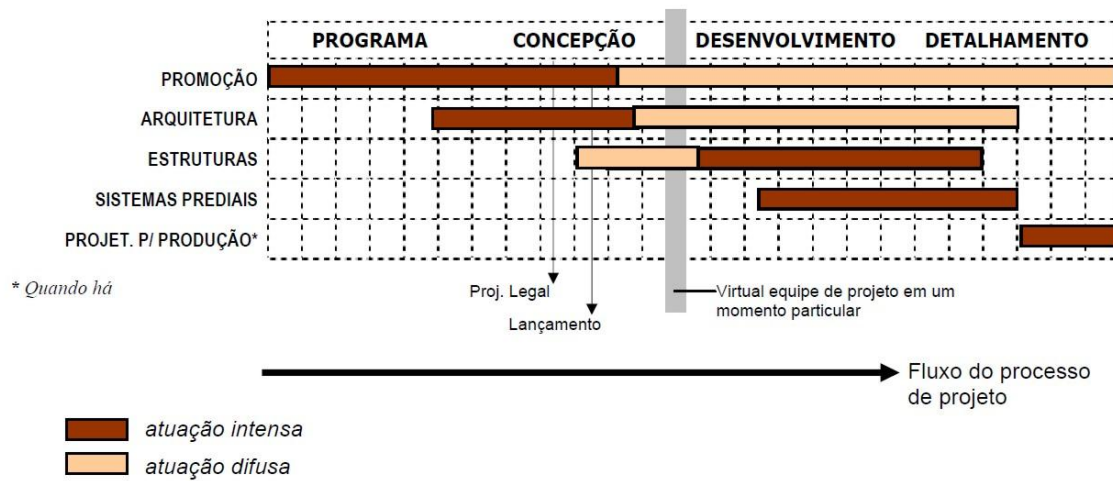
Figura 3 - Síndrome "por-cima-do-muro" no processo sequencial da construção.



Fonte: Kamara, Anumba e Egbuomwan (2002).

De acordo com Fabrício e Melhado (2001, p.2), a orientação cartesiana e sequencial do processo de projeto limita a integração entre os agentes e não estimula a geração de soluções técnicas coordenadas no desenvolvimento dos empreendimentos. É possível notar, inclusive, no gráfico elaborado pelos autores (Figura 4), que existe um momento particular no fluxo de desenvolvimento do projeto no modelo sequencial em que nenhum dos agentes possui uma atuação claramente definida (“atuação difusa”), o que pode implicar em uma momentânea descontinuidade do processo e diluição de responsabilidades prejudicial aos objetivos do empreendimento.

Figura 4 - Esquema genérico de um processo sequencial de produção do projeto de edifícios — participação dos agentes.



Fonte: Fabrício e Melhado (2001, p. 2).

Fabrício (2002, p. 73), em sua tese sobre projeto simultâneo na construção de edifícios, após caracterizar o processo tradicional de projeto, pontua que os diferentes agentes envolvidos no empreendimento apresentam uma atuação fragmentada e interesses próprios, às vezes divergentes, quanto às características e objetivos do empreendimento. Assim, considerando ainda que o processo de projeto é a etapa mais estratégica do empreendimento com relação aos gastos de produção e a agregação de qualidade ao produto (FABRÍCIO, 2002, *op. cit.*), investigar a educação do arquiteto, apontada pela literatura como a origem da maior parte dos problemas (GUIMARÃES; AMORIM, 2006, p. 52; MELHADO, 2001, p. 71), assume especial relevância.

A pesquisa justifica-se ainda por sua característica de interdisciplinaridade e possibilidade de aplicação dos resultados na renovação de diretrizes curriculares e de práticas de ensino do projeto arquitetônico. Aproveita-se ainda a oportunidade representada por este momento no qual as indagações suscitadas pelo advento de uma nova tecnologia para projetar desafiam a comunidade docente da área a redesenhar suas linhas de ação.

1.3 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é encontrar, nas teorias, experiências, métodos e instrumentos contemporâneos do projeto arquitetônico tanto quanto da Educação, aportes teóricos indicativos de diretrizes para renovação do ensino do projeto de arquitetura, considerando a tecnologia da informação no processo de projeto.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho organiza-se a partir do estudo de três fenômenos diretamente relacionados ao pensar-e-fazer da Arquitetura e, por conseguinte, à formação do arquiteto do século 21. Os capítulos referentes a cada fenômeno foram nomeados com títulos que expressam o ponto de vista adotado neste estudo e lhes favorecem a referência:

O PARADIGMA IMAGINADO — Trata do movimento pela compreensão dos métodos de projeto ocorridos no século 20, cujas pesquisas ocorreram em paralelo aos primórdios dos sistemas para CAD e BIM. Pesquisa bibliográfica e documental²³ consubstanciada em um breve histórico, no qual são estudados os principais autores e suas contribuições mais significativas, indicativas de uma visão de futuro. Sinopse.

O PARADIGMA ACEITO — A emergência, na filosofia, da visão de mundo holística, sistêmica e transdisciplinar, a qual consolidou-se como “o novo paradigma da Educação”, principalmente a partir da obra de Edgar Morin sobre a complexidade. Breve conceituação de disciplinaridade, multi, inter e transdisciplinaridade. As metodologias

²³ Documentos audiovisuais (vídeos de acesso público) contendo depoimentos e palestras dos pesquisadores, disponíveis na Internet e relacionados nas Referências.

ativas²⁴ no ensino superior como estratégias adequadas ao aprendizado profissional em situações de complexidade multi e interdisciplinar. Pesquisa bibliográfica. Sinopse.

O PARADIGMA ALEGADO — Caracterização do projeto da edificação com uso de BIM como um processo sócio-técnico para se atingir a integração de projetos, ou um processo de projeto integrado²⁵. Pesquisa bibliográfica. Comparação das características do processo de projeto com BIM com as do “paradigma imaginado” para evidenciar coincidências, afinidades e singularidades. Sinopse.

Estes três fenômenos são pesquisados separadamente, com vistas à caracterização de cada fenômeno, com os resultados apresentados em sinopses ao final de cada capítulo. O trabalho é concluído com um quinto capítulo, intitulado CONCLUSÃO - O PARADIGMA BUSCADO, no qual os resultados dos capítulos anteriores são articulados em uma síntese, cujos contornos serão vistos sobre o pano de fundo das reflexões filosóficas de Manuel Castells e outros autores sobre a sociedade em rede, conforme mencionado anteriormente.

São verificadas as coincidências, afinidades e divergências entre as características dos três fenômenos, apresentadas em sinopses. Considera-se que as coincidências e afinidades entre o “paradigma imaginado” e o “paradigma alegado” constituem as evidências que caracterizam de maneira inequívoca um pensamento orientador do processo de projeto contemporâneo, credenciando-o, portanto, a ser um dos elementos do “paradigma buscado”. De modo semelhante, considera-se que residem nas coincidências e afinidades entre as características comuns aos dois fenômenos anteriores e as do “paradigma aceito” as evidências fortemente indicativas de ações a serem implementadas para renovação substancial do ensino do projeto arquitetônico, as quais também adquirem força para integrar o “paradigma buscado”.

²⁴ Problem Based Learning (PBL) e Project Based Learning (PjBL).

²⁵ Por “processo de projeto integrado”, neste estudo, considera-se o designado em Inglês por *IPD — Integrated Project Delivery* (AIA, 2007) e outras estratégias semelhantes, como inventariadas por Succar (2009, p. 359).

1.5 MÉTODO

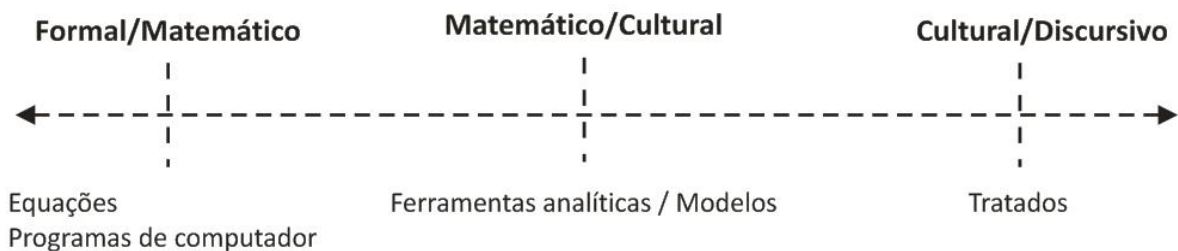
Este trabalho constitui-se em uma argumentação lógica em defesa da ideia de que é possível encontrar, na realidade desta era digital em que vivemos, elementos indicativos de direções para a renovação do ensino do projeto arquitetônico. Estes elementos indicativos, os quais em um trabalho deste tipo adquirem o status de **evidências**, são os **aportes teóricos e filosóficos** revelados na pesquisa bibliográfica, os quais tem sido validados pela comunidade científica através do reconhecimento e importância que seus autores adquiriram. (GROAT, WANG, 2002; LAKATOS, MARCONI, 1992, 2003)²⁶. Procura também mostrar que BIM não é um paradigma de projeção em Arquitetura e Urbanismo *per se*, mas um dos instrumentos que fazem parte de outro paradigma mais amplo, vislumbrado há cerca de cinquenta anos, o qual possui, além deste instrumento, outros; bem como métodos, experiências e teorias, relativos não apenas a esta tecnologia. Com tal intenção, aborda também temas educacionais como inter, multi e transdisciplinaridade, bem como as metodologias ativas no ensino superior, a saber: PBL e PjBL. Para tanto, o texto ajusta-se ao método explicitado no capítulo 11 de GROAT; WANG (2002, p. 301-340), *Logical Argumentation*. Outras obras de importância para o método adotado no estudo são LAKATOS; MARCONI, (1992, 2003) e SALVADOR (1986).

De acordo com Groat; Wang (2002), a literatura de arquitetura e assuntos relacionados incluem trabalhos cuja principal característica é a capacidade de dar uma ordem lógica a um conjunto de fatores aparentemente díspares. Segundo os autores, a argumentação lógica, também chamada de sistema lógico primário, pode ser definida de modo geral como a intenção de “fazer com que algum aspecto do cosmo faça sentido, de uma maneira sistematicamente racional.” (GROAT; WANG, 2002, p. 301). Pontuam ainda

²⁶ Sobre o papel dos aportes teóricos como evidências em trabalhos deste tipo, cf.: GROAT, L.; WANG, D. **Architectural Research Methods**. New York-NY: John Wiley & Sons, 2002, p. 310 (item 11.2.4.2 Testability for Cultural/Discursive Logical Systems: Normative Standards). Para um entendimento do papel de conceitos e constructos como variáveis, cf.: LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Metodologia do Trabalho Científico**. São Paulo: Atlas, 4. ed., 1992, p. 161 (item 5.3.4 Problemas, Hipóteses e Variáveis); e também MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 5. ed., 2003, p. 149 (item 4.5.2 Variáveis Componentes e Apresentação “em Bloco”).

que trabalhos desse tipo tendem a ser fins em si mesmos, cuja missão é o enquadramento de sistemas conceituais lógicos os quais, uma vez definidos, interconectam de maneira relevante fatores previamente desconhecidos ou não apreciados. Para os autores, escritos assim delineados podem ser classificados dentro de um espectro que abrange desde os que abordam temas e constroem seu argumento lidando com fenômenos de natureza predominantemente formal/matemática, indo até os de cunho essencialmente cultural/discursivo. O esquema a seguir, baseado em seu livro, esclarece sobre as naturezas diferentes dos trabalhos que usam como método a argumentação lógica. Existe uma variedade de trabalhos com base em argumentação lógica que se distribuem ao longo dessa linha. A Figura 5, reproduzida e traduzida da referida obra, esclarece graficamente esta posição.

Figura 5 - Espectro dos trabalhos de argumentação lógica.



Fonte: Groat e Wang (2002, p. 303).

Os sistemas lógicos cujo caráter é formal/matemático expressam-se tipicamente por equações matemáticas, programas de computador, ou apresentam outro problema qualquer cujo estudo necessite ser baseado em dados quantitativos, estatísticas e análises matemáticas. Programas de computador voltados à arquitetura são exemplos. Na outra extremidade do espectro, situam-se trabalhos que possuem força persuasiva porque conseguem capturar uma visão de mundo, articulando-a em argumentos lógicos com clareza teórica e poder retórico.

Sistemas como esses usam a linguagem discursiva para ancorar a validade de seus postulados a algum valor transcendental, como “natureza”, constructos éticos ou morais, raciocínio *a priori*, identidade nacional, a máquina, e outros. (GROAT; WANG, 2002,

p. 303). Nesses casos, se o sistema explanatório for bem sucedido, ele adquire larga aceitação, seja como base normativa para uma ação em projeto, seja como um caminho para o entendimento de algum aspecto da interação humana com o ambiente construído. A razão para isso é creditada ao fato de o trabalho ter conseguido capturar uma visão de mundo de alguma cultura em um sistema discursivo que é percebido como um sumário de sua lógica cultural relativa à projeção. O termo “Tratados” é usado para enfatizar a natureza sistemática desses trabalhos, no qual conexões lógicas detalhadas são reveladas de várias maneiras para conceituar um argumento todo-abrangente (GROAT; WANG, op. cit.). A lógica do argumento geralmente é derivada de sua conexão com um fenômeno maior.

Conforme argumentam Groat e Wang (2002, p. 308), todos os trabalhos científicos fazem uso de argumentos lógicos, mas a *argumentação lógica* é um tipo particular de delineamento de pesquisa, o qual lança mão de táticas específicas que vão do matemático ao discursivo. Listamos a seguir os quatro traços estratégicos peculiares, segundo os autores, ao mesmo tempo em que os relacionamos ao presente trabalho:

Grande aplicabilidade sistêmica: Trabalhos de argumentação lógica tendem a ter como resultado de pesquisa o enquadramento de um sistema conceitual que tem larga aplicabilidade explanatória. Aplicação: O trabalho procura evidências²⁷ para demonstrar as mudanças que o ensino de projeto arquitetônico precisa incorporar para se adequar a uma realidade da prática profissional que já não admite a permanência de determinadas tradições desse ensino.

Inovação paradigmática: Exercícios de argumentação lógica tendem a reunir um conjunto de fatores anteriormente díspares, ou fatores inicialmente desconhecidos ou subapreciados, e interconectá-los em enquadramentos conceituais unificados que possuem um poder explanatório significativo e às vezes inédito. Sistemas lógicos primários tendem a ser inovadores, a tal ponto que moldam seu discurso em um

²⁷ Naquele sentido antes mencionado de aportes teóricos, enunciados de caráter prescritivo ou indicativo que emergem da pesquisa bibliográfica.

nível paradigmático. O que Groat e Wang (2002) consideram instrutivo é que essas várias ideias, em si mesmas não relacionáveis, podem ser as raízes de onde crescerá um novo paradigma. Sistemas lógicos primários tem ainda a capacidade de desvelar a realidade em um nível mais profundo do que aquele visível na superfície empírica das coisas. E a realidade que é descoberta revela conexões que unificam as coisas na superfície. Aplicação: Os fatores aparentemente díspares são a complexidade, BIM, a sociedade em rede, a fragmentação do conhecimento, metodologias ativas PBL e PjBL, e outros, que o trabalho vai procurar relacionar. Como mencionado, o trabalho pretende encontrar na realidade evidências capazes de contribuir para a formação de um paradigma do ensino do projeto arquitetônico.

Argumentação sobre princípios *a priori*: O poder da argumentação *a priori* é que se o pesquisador consegue identificar os conceitos *a priori*, então certas consequências “necessariamente” ocorrerão devido a esses princípios (GROAT; WANG, 2002). Aplicação: Os fatos *a priori*, no caso do trabalho, são a dinâmica multi, inter e transdisciplinar da existência humana na sociedade em rede (grande plano geral de contextualização do trabalho e de seu ponto de vista) e a complexificação crescente do ambiente construído, dos artefatos/sistemas desenhados pelos arquitetos e urbanistas (fato relacionado diretamente à prática profissional). As consequências necessárias que derivam desse fato são discutidas no final do capítulo do Paradigma Buscado, mas apontam para o fim do isolamento das escolas de arquitetura em relação às outras áreas do saber que também contribuem para a construção do ecossistema artificial, dentre outros desdobramentos.

Testabilidade: Uma teoria deve permitir ser testada, geralmente por meios empíricos. Os autores ressaltam que uma das funções de um método de pesquisa é conduzir tal teste. O método serve como uma agenda, por meio da qual os argumentos de uma teoria podem ser verificados ou rejeitados. Segundo os autores, tais sistemas de argumentação lógica de feição cultural/discursiva também devem possuir testabilidade. Na extremidade cultural/discursiva do espectro, sistemas lógicos bem sucedidos são altamente influentes na formação de opinião sobre a projeção, e assim afetam os padrões normativos das ações em projeto. Em suma, todos esses sistemas tem uma meta comum, implícita ou explícita, que é o estabelecimento de padrões normativos de projeto. O teste, neste caso, é a

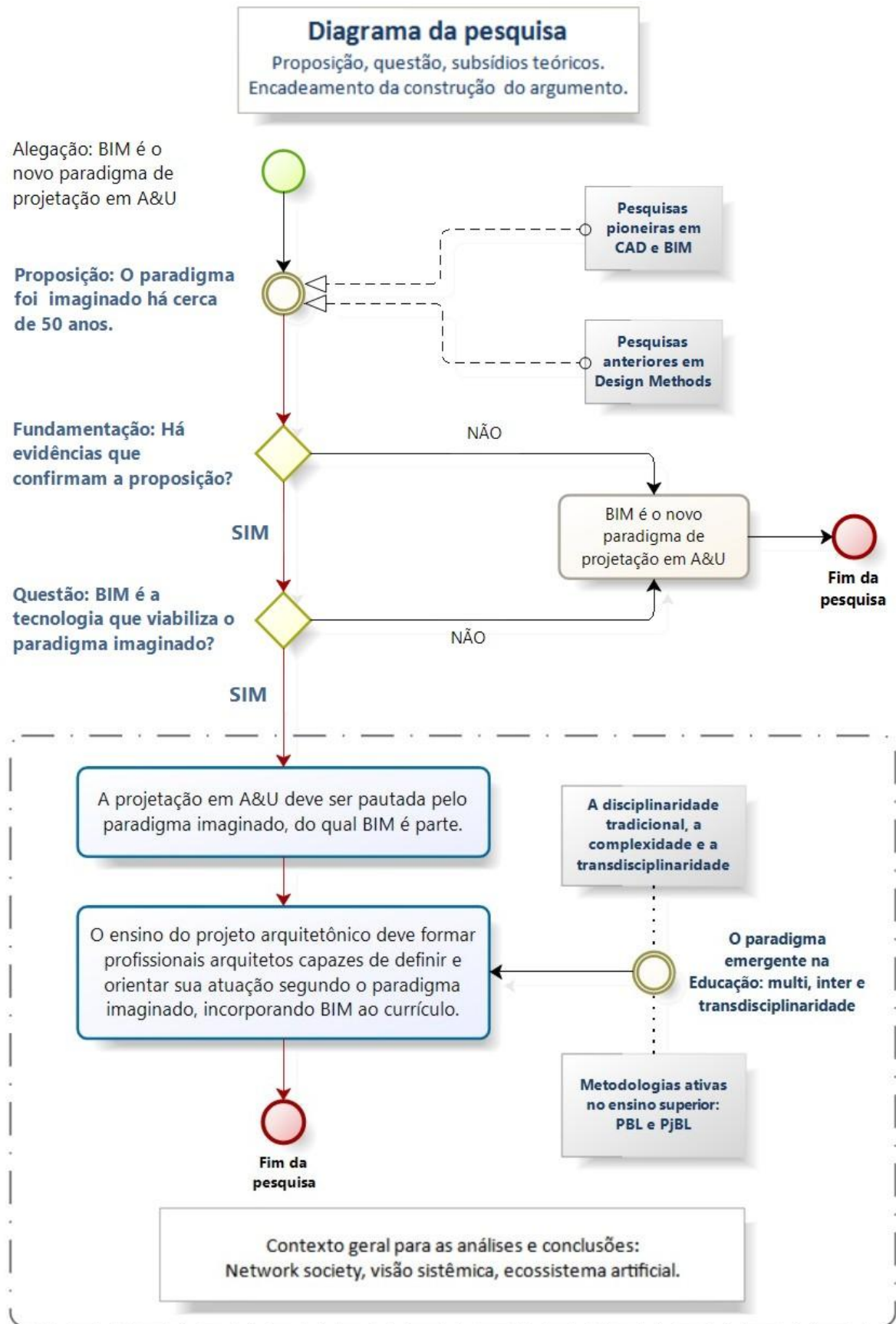
aceitação que o trabalho recebe da comunidade a que se destina, sua influência no *milieu*. Aplicação: Este trabalho situa-se mais à direita no espectro sugerido por Groat e Wang (2002), *i. e.*, tem um caráter distintamente cultural/discursivo (Figura 5), razão pela qual pôde prescindir de um estudo empírico relativo a alguma situação de ensino, por exemplo. No caso do trabalho, a busca não é por padrões de projeto arquitetônico, mas por elementos indicativos capazes de embasar a formulação de novos padrões ou diretrizes para o ensino do projeto arquitetônico. O trabalho poderá ter influência na comunidade de professores de projeto arquitetônico, pois a literatura aponta para uma carência de abordagens integrativas de conhecimentos nos cursos de arquitetura.

Quanto ao tipo de dissertação, Salvador (1986, p. 35) pontua que elas podem ser expositivas ou argumentativas, dependendo do seu propósito. A dissertação expositiva é usada quando é necessário reunir e relacionar material extraído de várias fontes. O trabalho deve apresentar uma exposição abrangente de um determinado assunto, a partir do que já foi dito sobre ele. A dissertação argumentativa, além dessa característica, “inclui também a interpretação das ideias expostas e a posição pessoal do autor” (SALVADOR, 1986). Envolve, portanto, a apresentação de razões e evidências, segundo os princípios e as técnicas da argumentação. Este trabalho, assim situa-se entre as dissertações argumentativas, de modo coerente com a estratégia delineada por Groat e Wang (2002).

Duas obras de Eva Maria Lakatos e Marina de Andrade Marconi (1992, p. 158-162; 2003, p. 137 *et. seq.*), ao estabelecer com precisão o papel de hipóteses e variáveis em argumentações deste tipo, foram úteis para a construção deste trabalho. A hipótese (no caso deste trabalho, proposição), é um enunciado geral de relações entre variáveis (fatos ou fenômenos) formulado como solução provisória de determinado problema, apresentando caráter explicativo ou preditivo, compatível com o conhecimento científico (coerência externa) e revelando consistência lógica (coerência interna), sendo passível de verificação em suas consequências. Uma variável pode ser considerada uma classificação ou medida, uma quantidade que varia; um conceito, constructo ou conceito operacional que contém ou apresenta valores; aspecto, propriedade ou fator, discernível em um objeto de estudo e passível de mensuração. Os valores que são adicionados ao conceito, constructo ou conceito operacional, para transformá-lo em variável, podem ser quantidades, qualidades,

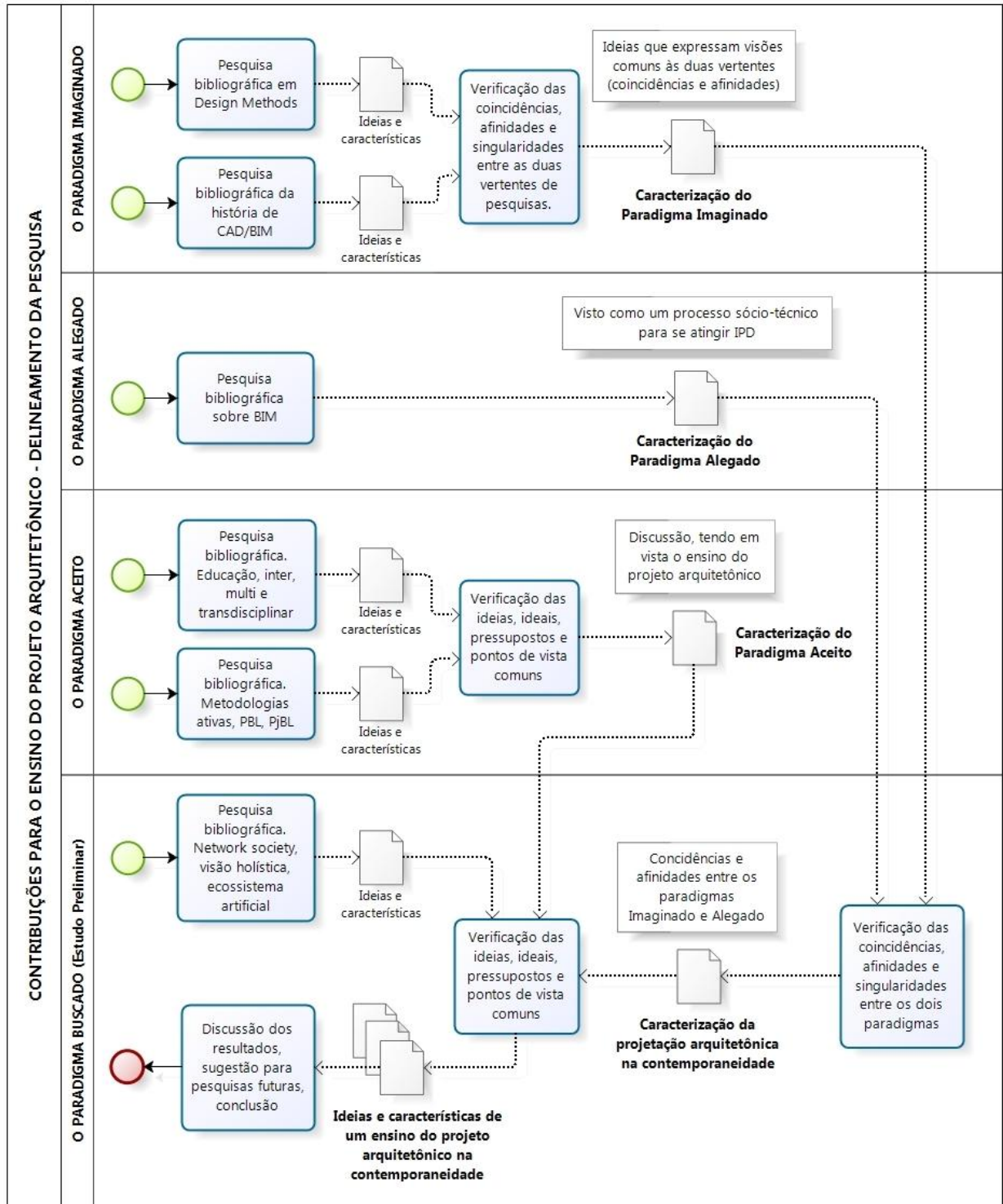
características, magnitudes, traços, etc., que se alteram em cada caso particular e são totalmente abrangentes e mutuamente exclusivos (LAKATOS; MARCONI, 1992). Os esquemas a seguir esclarecem o encadeamento da proposição que norteia este argumento e o delineamento da presente pesquisa (Figuras 6 e 7, respectivamente).

Figura 6 - Encadeamento da construção do argumento.



Fonte: Autor.

Figura 7 - Delineamento da pesquisa.



Fonte: Autor.

2 O PARADIGMA IMAGINADO — *Design Methods* e as bases de CAD e BIM

2.1 BREVE HISTÓRICO DAS PESQUISAS EM MÉTODOS DE PROJETO

A preocupação com a atividade de projetar artefatos surgiu fortemente em dois períodos importantes da história do design moderno: na década de 1920, com a busca por produtos de “design científico” (CROSS, 2001), e depois, na década de 1960, com um interesse por métodos científicos de projeto. Cross considera a época em que vivemos uma espécie de repetição de um ciclo, vislumbrado por ele como tendo uma frequência de aproximadamente quarenta anos, e argumenta que este é um tempo em que podemos esperar um renovado e crescente interesse pelo estudo dos processos de projeto.

Embora se reconheça a importância histórica das duas primeiras décadas do século passado para o pensamento arquitetônico moderno, não serão consideradas neste trabalho, tampouco será explorado em profundidade o primeiro período de quarenta anos mencionado por Cross (2001, *op. cit.*), ou seja, entre as décadas de 1920 e 1960, o que exclui todo o período da criação da Bauhaus por Walter Gropius, *e. g.*, e outras realizações relevantes no campo da Arquitetura, da construção civil e do Design. Assim procedemos porque nesse período havia ainda uma forte persistência de tradições antigas no processo projetual da vasta maioria dos arquitetos²⁸. Para os profissionais daquela época, não havia meios de produzir o projeto utilizando algum tipo de tecnologia computacional, pois não existia *graphic computing* (GC), cujos efeitos transformadores da prática arquitetônica constituem aspecto fundamental sob exame neste trabalho. Deste modo, para efeito do que interessa ao argumento, será estudado um período de aproximadamente cinquenta anos, que inicia na década de 1960 e chega até os dias atuais. São mencionadas apenas brevemente as origens da percepção da necessidade de estudos sobre os métodos de projeto, como forma de esclarecer sobre seus primeiros tempos.

²⁸ Segundo Alexander (1964), tradições renascentistas.

1923 — O desejo de cientificar o projeto pode ser delineado retrospectivamente até as ideias do movimento por um design moderno do início do século 20. Theo van Doesburg, um dos protagonistas do *De Stijl*, assim expressou sua percepção de um novo espírito nas artes e no design:

Nossa época é hostil a toda especulação subjetiva em arte, ciência, tecnologia, etc. O novo espírito, que já governa quase toda a vida moderna, é antagônico à espontaneidade animal, à dominação pela Natureza, à frivolidade artística. **Para construir um novo objeto nós precisamos de um método, vale dizer, um sistema objetivo.**” (van DOESBURG, 1923, *apud* VRIES, M. J. de; CROSS, N.; GRANT, D. P., 1993, p. 20, grifo nosso).²⁹

1924-1925 — Mais tarde, Le Corbusier escreveu sobre a casa como uma máquina projetada para se habitar³⁰, cujo uso consiste numa sequência regular e definida de funções. Para ele, a sequência regular dessas funções é um fenômeno de tráfego, e obter o tráfego exato, rápido e econômico é o esforço-chave da “moderna ciência arquitetônica”, como denominou. Em ambas as opiniões transparece um desejo de produzir artefatos de arte e design baseados em objetividade e racionalidade, ou seja, segundo os valores da ciência (CROSS, 2001).

1929 — Alguns anos mais tarde, Buckminster Fuller procurou desenvolver uma “ciência do design” que obteria a máxima vantagem para o ser humano a partir de um uso mínimo de energia e materiais. Em 1929, ele chamou o seu conceito de design *Dymaxion* ou *4-D*, em referência a uma quarta dimensão do objeto projetado, proposta por ele como sendo os custos de materiais e energia (BAYAZIT, 2004).

1960 — As aspirações de tornar o design algo científico vieram à tona novamente através do *Design Methods Movement* nos anos 1960. Neste período, profissões como a Arquitetura, o Urbanismo, as Engenharias e o Design Industrial foram confrontadas

²⁹ Tradução nossa.

³⁰ *Une maison est une machine à habiter*. Máxima proferida por Le Corbusier durante uma conferência na Sorbonne, em 12 de junho de 1924 (REGO, 1999.), mais tarde incorporada em seu livro *Urbanisme*, em 1925 (LE CORBUSIER. **Urbanisme**. Paris: Crès, 1925, p. 219. Obra não consultada).

com problemas cujo grau de complexidade era inédito, muitos dos quais tendem a permanecer ainda sem soluções aceitáveis, caso estas sejam buscadas apenas nos domínios disciplinares de seu conhecimento. A abordagem tradicional da solução de problemas de projeto nesses campos não mais fornecia respostas adequadas aos novos desafios com a rapidez necessária (MITCHELL, 1993, p. 35). As pesquisas resultantes deste movimento produziram muitas teorias e métodos. Talvez as facetas mais reconhecíveis dessas pesquisas hoje sejam o método conhecido como Avaliação Pós-Ocupação (APO) e os estudos de ambiente-comportamento.

1962 — Ocorrida em Londres, em setembro de 1962, a Conferência em Métodos de Projeto é geralmente considerada o evento que marcou o início da Metodologia de Projeto como objeto de pesquisa. A série de conferências foi organizada pelo designer galês John Christopher Jones juntamente com Peter Slann, projetista de aeronaves, os quais, assim como seus convidados³¹, estavam movidos pela preocupação sobre o modo como o ambiente humano e seus artefatos vinham sendo construídos. A pluralidade de visões manifestadas e compartilhadas naquela ocasião, o caráter multidisciplinar do encontro e o interesse de todos os participantes em estabelecer uma nova epistemologia da projeção, ambicionando construir uma visão sistêmica, integrativa e metodológica do ato de projetar teve grande repercussão. Vários dentre os participantes começaram a publicar, na tentativa de definir uma área de pesquisa com foco em projetos.

O desejo dos integrantes do novo movimento de basear o processo de projeto (e os produtos desse processo, os artefatos) em critérios objetivos e racionais estava ainda mais forte do que ocorrera décadas antes. As origens deste surgimento de novos métodos de projeto nos anos 1960 estavam no uso anterior de métodos científicos e computacionais para os novos e prementes problemas trazidos pela 2ª Guerra Mundial, a partir dos quais vieram desenvolvimentos civis, como a Pesquisa Operacional e as técnicas de gerenciamento de tomada de decisão (JONES, 2001).

³¹ Cf. Apêndice A.

Como desdobramento das conferências, três visões emergiram, na tentativa de integralizar o conhecimento que vinha sendo desenvolvido em *Design Methods*: A corrente behaviorista interpretava *Design Methods* como uma maneira de descrever o comportamento humano em sua relação com o ambiente construído. Sua abordagem tendia a concentrar-se nos processos comportamentais humanos (atividades taxonômicas)³². Dessa vertente originaram-se os Estudos de Ambiente-Comportamento. A segunda corrente, guiada pela abordagem científica tradicional, reducionista, separou *Design Methods* em várias partes constituintes. Esta visão tendia a apoiar-se no racionalismo e em processos objetivos. A terceira abordagem, através da Fenomenologia, partia de um ponto de vista vivencial, levando em conta a experiência e percepção humanas (MITCHELL, 1993).

1963 — Outro pioneiro na articulação entre ciência e projeto foi Horst Wilhelm Rittel (1930–1990)³³, o qual, no período em que foi professor na *Hochschule für Gestaltung - HfG Ulm* (Alemanha), entre 1958 e 1963, buscou especificamente suplantar as limitações do processo de projeto, então baseado exclusivamente na visão racional de ciência do século 19. Na Escola de Ulm, em suas aulas de Cibernética, Análise Operacional e Teoria da Comunicação, Rittel propôs novos princípios e métodos de projeto para lidar com tais limites. Em 1963, foi contratado pela Universidade da Califórnia - Berkeley para ministrar cursos de métodos de projeto, participando da fundação do *Design Methods Group* (DMG) e do periódico *DMG Journal*.

³² Taxonomia, ou categorização, na cognição humana, tem sido uma importante área de pesquisa em Psicologia. Os psicólogos sociais têm procurado estabelecer um modelo para explicar a maneira pela qual a mente humana categoriza estímulos sociais. A Teoria da Auto-categorização (TURNER *et al.*, 1987) é um exemplo. A abordagem behaviorista buscava estabelecer correlações entre categorias de comportamentos e de espaços.

³³ Teórico do Design e professor universitário. Ele é mais conhecido por ter criado a expressão *wicked problem*, mas a sua influência sobre a teoria e a prática do Design foi muito mais ampla. Seu campo de trabalho era a ciência do projeto - *Design Science*, ou, como também é conhecida, a área de Teorias e Métodos de Design (*Design Theories and Methods* — DTM), com o entendimento de que atividades como o planejamento, a engenharia e a política são formas particulares de *design*. Em resposta às falhas percebidas nas tentativas iniciais de um método de projeção sistemática, ele introduziu o conceito de "segunda geração de métodos de projeto" e um método de planejamento/projeto conhecido como *Issue-Based Information System* (IBIS) para o tratamento de *wicked problems*.

1964 — Alexander (1964, p. 1-4) declarou que os problemas de projeto tornavam-se cada vez mais complexos, e chamava a atenção para o fato de que os projetistas, quando não entendiam um problema de maneira clara o suficiente para propor respostas acertadas, preferiam refugiar-se em alguma ordem formal arbitrária. Referindo-se à tradição renascentista de projetar através de desenhos (*design-by-drawing*) e à crença no caráter intuitivo e individual da atividade de projeto comenta:

Como resultado, embora idealmente uma forma deva refletir todos os fatos conhecidos relevantes para o seu projeto, na verdade o projetista comum recolhe qualquer informação que lhe apareça, de vez em quando indaga a um consultor, quando confrontado por dificuldades extra-especiais, e introduz essa informação escolhida aleatoriamente em formas sonhadas de outro modo no 'estúdio de artista' de sua mente. As dificuldades técnicas para capturar todas as informações necessárias para a construção de uma dada forma estão fora do alcance — e bem além dos dedos de um único indivíduo. Ao mesmo tempo em que os problemas aumentam em complexidade, quantidade e dificuldade, eles também se alteram mais rapidamente do que antes. (ALEXANDER, 1964, p. 4).³⁴

Alexander (1964) argumenta ainda que, no passado, mesmo depois do Renascimento, o projetista individual trabalhava baseado em seus antecessores e, embora dele se esperasse que obtivesse mais e mais de suas próprias decisões enquanto as tradições se dissolviam, sempre restava algum corpo de tradição que tornava suas decisões mais fáceis. Entretanto, os últimos resquícios da tradição estavam sendo arrancados, e uma vez que as pressões culturais se alteravam tão rápido, qualquer desenvolvimento lento da forma tornava-se impossível. Alexander e Jones consideram a resolução intuitiva dos problemas de projeto contemporâneos como algo além da capacidade integrativa de um único indivíduo.

1967 — Nesse ano foi fundada, nos Estados Unidos, a *Environmental Design Research Association* (EDRA). Sua agenda, centrada nos aspectos sociais do ambiente, era claramente um produto daquele tempo. Estava cada vez mais claro para um número crescente de arquitetos, engenheiros, psicólogos que lidavam com as questões de ambiente e comportamento, filósofos, artistas e outros estudiosos que os pressupostos teóricos modernistas e a esperança de reformar a sociedade através da construção de melhores

³⁴ Tradução nossa.

espaços para as atividades humanas possuíam enormes limitações, e não mais se sustentavam em um mundo de ubíqua fragmentação sociopolítica e aparente caos. Durante cerca de 20 anos, até o final da década de 1980 a EDRA permaneceu como a mais influente organização dedicada à pesquisa de ambiente-comportamento e dos métodos de projeto³⁵.

Brooks (1967), *apud* Schön (1983) também já havia se referido a um crescente desprestígio das profissões de projeto, e mencionava o fato de a expansão do corpo de conhecimentos necessários ao seu exercício situar-se além do que a capacidade individual de um profissional pode assimilar e utilizar a favor de seus clientes:

O dilema do profissional hoje reside no fato de que ambas as margens do abismo que se espera dele que vença com sua profissão estão mudando muito rapidamente: o corpo de conhecimentos que ele deve usar e as expectativas da sociedade a que deve servir. Mas essas mudanças têm sua origem no mesmo fator comum — tecnologia [...] Isso coloca sobre o profissional uma exigência de adaptabilidade sem precedentes. (BROOKS, 1967; *apud* SCHÖN, 1983, p. 15).³⁶

Alguns parágrafos adiante no mesmo artigo citado por Schön (1983), mas não transcrito em seu livro, Brooks (1967) faz algumas considerações sobre o dilema do ensino de Engenharia as quais soam hoje, 47 anos depois, perfeitamente atuais, quando questiona:

Qual é o equilíbrio adequado, na formação, entre aprender as técnicas da profissão, ou seja, como aplicar o conhecimento existente, e o próprio corpo de conhecimentos? Quais virão a ser as expectativas da sociedade durante a trajetória do profissional, e como ele deve se preparar para adquirir o conhecimento científico relevante? (BROOKS, 1967, *op. cit.* p. 89, grifo nosso).³⁷

Uma resposta a essas perguntas encontra-se na afirmação de Jones (1992, p. 9), *apud* Mitchell (1993, p. 45), quando considera que a resposta final ao dilema não é “os projetistas se tornarem deuses”³⁸, mas o processo de projeto se tornar mais público³⁹, de

³⁵ Cf. APÊNDICE E.

³⁶ Tradução nossa.

³⁷ *Idem*.

³⁸ No dizer do próprio Jones.

modo que qualquer pessoa afetada pelas decisões de projeto possa antever o que pode ser feito e o que pode influenciar as escolhas que são feitas.

A década de 1960 foi chamada de *Design Science decade* por Buckminster Fuller, um radical entusiasta dos avanços tecnológicos, defensor de uma revolução através do Design baseada na ciência, no racionalismo e na tecnologia, para superação dos problemas que ele acreditava não podiam ser solucionados por via da política ou da economia (BALDWIN, 1996, p. 62 *et seq.*). Sob esta perspectiva, a década culminou com a formulação das Ciências do Artificial por Herbert Alexander Simon em 1969, e seu apelo por um desenvolvimento de uma ciência do projeto nas universidades:

As escolas profissionais podem reassumir suas responsabilidades até o grau em que elas descubram e ensinem uma ciência do projeto, um corpo de doutrina intelectualmente robusto, analítico, parcialmente formalizável, parcialmente empírico, ensinável sobre o processo de projeto. (SIMON, 1996, p. 112).⁴⁰

Mitchell (1993, *op. cit.*, p. 35), ao traçar um breve histórico das iniciativas de pesquisa em projetos, ou *Design Research*, declara que elas se desenvolveram em resposta ao manifesto fracasso das profissões ligadas a projetos em produzir ambientes satisfatórios. Adiante em seu texto, e seguindo a mesma linha de pensamento expressa dez anos antes por Schön (1983, p. 3-20), relativa à crise de confiança nas profissões tradicionais, faz uma contundente crítica aos *Environment-Behavior Studies*, quando afirma que eles começaram como uma revolução, mas que naquele momento a única instância onde os pesquisadores tinham algum impacto era como meros colaboradores no próprio processo de projeto que tentaram reformar. Segundo o autor, a pesquisa em ambiente-comportamento não era pura, tampouco efetivamente aplicada. Ao invés disso, afirmava que ela consistia apenas em exercícios acadêmicos sem qualquer relevância para o processo projetual, razão

³⁹ Mais “público” no sentido de compartilhado, conhecido por mais indivíduos, como vantagem capaz de tornar o processo de projeto mais aberto a opiniões e avaliações de outros agentes, e não como um processo presente apenas na mente do projetista.

⁴⁰ Tradução nossa. O ano da citação é o da obra consultada, a 3ª reimpressão da 3ª edição. A 1ª edição é de 1969.

porque considerava que os pesquisadores haviam falhado em seu intento de melhorar a qualidade do ambiente construído (MITCHELL, 1993, op. cit., p. 37).

Diante das facilidades tecnológicas à disposição do projetista atualmente, a posição de John Chris Jones parecia também antever o fazer contemporâneo do projeto, como será exposto no terceiro capítulo, especialmente quanto à projeção coletiva, simultânea, compartilhada e colaborativa, somente possível através de recursos tecnológicos para BIM, bem como a relação desses recursos com a integração dos diversos projetos do ambiente construído.

1970 — Na década de 1970 surgiram reações contrárias a uma metodologia de projeto e aos seus valores fundamentais, notadamente por parte de alguns pioneiros do movimento. Christopher Alexander, que originalmente havia dado origem a um método racional para o projeto arquitetônico⁴¹ e o planejamento urbano, em seus livros *A Pattern Language* e *Notes on the Synthesis of Form*, agora dizia:

Eu dissocie-me da área [...] Existe tão pouco no que é chamado 'métodos de projeto' que tenha algo útil a dizer sobre como projetar edifícios que eu nunca mais nem li a literatura. [...] Eu diria esqueça, esqueça a coisa toda. (ALEXANDER, 1971, *apud* CROSS, 2001).⁴²

Outro líder e pioneiro do movimento, John Chris Jones declarou que nos anos 1970 sentiu-se compelido a reagir contra os métodos de projeto: “Detesto a linguagem da máquina, o behaviorismo, a contínua tentativa de encaixar a vida inteira num enquadramento lógico.” (JONES, 1977, *apud* CROSS, 2001, *op. cit.*). Para compreender as posições de Alexander e Jones, é necessário considerar o contexto sociocultural do final da década de 1960: revoltas estudantis nas universidades, movimentos políticos radicais, o novo humanismo liberal e a recusa dos valores conservadores. Mas também deve ser levado em conta o fracasso na aplicação de métodos científicos na prática diária do projeto.

⁴¹ Cf.: ALEXANDER, C.; ISHIKAWA, S.; SILVERSTEIN, M. **A Pattern Language**: Towns, Buildings, Construction. Oxford: Oxford University Press, Center for Environmental Structure Series, Book 2, 1977. 1171 p., il.

⁴² Tradução nossa.

Questões fundamentais haviam sido levantadas por Rittel e Webber, os quais caracterizaram os problemas de design e planejamento como *wicked problems*⁴³, (CHURCHMAN, 1967; RITTEL, WEBBER, 1973); essencialmente inconciliáveis com as técnicas da ciência e da engenharia, as quais lidam com problemas determinados e mais bem definidos (CONKLIN, 2006; HORN, WEBER, 2007).

Ao refutar as críticas que o movimento sofreu na década de 1970, que contra-argumentavam dizendo que o estudo dos métodos de projeto não era relevante, ou que tais princípios não podiam ser adaptados ao modo particular de um projetista pensar, especialmente um arquiteto, por exemplo, Jones simplesmente declarou que o objetivo não era o conhecimento obtido adaptar-se a uma visão pessoal de fazer projeto, mas sim organizar o conhecimento de modo científico, epistemológico, passível de aplicação generalizada para qualquer situação de projeto, e que possibilitasse a projeção colaborativa e a criatividade em grupo (CROSS, 2011, p. 91-130).

1973 — Após um período de controvérsias sobre a validade de tal estudo, a Metodologia de Projeto foi salva, porém, pelo mesmo Horst Rittel (1973), quando propôs o conceito de “gerações” de métodos. Ele sugeriu que os acontecimentos da década de 1960 tinham sido apenas métodos “de primeira geração” que, naturalmente, numa apreciação retrospectiva, pareciam um pouco simplistas, mas mesmo assim tinham sido um começo necessário e que uma nova “segunda geração” estava começando a emergir. Essa sugestão deixou os pesquisadores livres de seu compromisso com os métodos da primeira geração, vistos como inadequados, abrindo assim uma perspectiva de futuro para geração após geração de novos métodos (CROSS, 2007, p. 2).

Ao passo que a primeira geração de *Design Methods* foi baseada na aplicação de métodos sistemáticos e racionais, “científicos”, a segunda geração migrou das tentativas de otimizar os métodos e da onipotência do projetista, especialmente para

⁴³ Cf. Apêndice B.

resolução de *wicked problems*, para o reconhecimento de soluções “satisfatórias” ou “apropriadas”⁴⁴ dentro de um processo participativo-argumentativo, em que os designers são parceiros com os “donos” do problema (contratantes, clientes, usuários, comunidade). Este reconhecimento aconteceu a partir da publicação de um sucinto *paper* de Horst Rittel e Werner Kunz pouco antes, em 1970, no qual expõem, em apenas nove páginas

um tipo de sistema de informações para apoiar o trabalho de cooperativas, como comitês ou agências governamentais ou administrativas, grupos de planejamento, etc., que são confrontados com um complexo de problemas⁴⁵ a fim de chegar a um plano para a decisão. O conceito desses Sistemas de Informação Baseados em Assuntos (SIBA) [ing. IBIS] reside em um modelo de resolução de problemas pelas cooperativas como um processo argumentativo. (KUNZ; RITTEL, 1970).⁴⁶

Ao conceituar a estrutura do que denominaram *Issue-Based Information System* (IBIS) naquele trabalho, os autores lançaram os fundamentos metodológicos do processo de gerenciamento de informações em um processo colaborativo (então chamado por eles de cooperativo). Os *expert systems* desenvolvidos pelas empresas *software* até hoje se baseiam nas ideias deste trabalho. No entanto, esta abordagem pareceu ser mais relevante para o planejamento em arquitetura, engenharia e design industrial, como observou Cross (2007).

1980 até o presente — Na década de 1980, a vertente sistemática da metodologia de projeto desenvolveu-se significativamente no campo das engenharias. Começou a surgir uma série de livros sobre métodos de projeto de engenharia escritos por Hubka (1980), Pahl, Beitz (1984), French (1985), Andreassen e Hein (1987), e Cross (1989). Após as dúvidas dos anos 1970, a década de 1980 viu um período de renascimento e consolidação da pesquisa em projeto. Desde então, tem havido um período de expansão

⁴⁴ Herbert Simon tinha ainda introduzido a noção de *satisficing solution*, algo que poderia ser livremente traduzido como “satisfazente” (SIMON, 1996, p. 28-30.).

⁴⁵ A expressão no texto original é *a problem complex*, e não *a complex problem*, que significaria “um problema complexo”.

⁴⁶ Tradução nossa.

através da década de 1990 até os dias atuais: o Design como um campo de estudos coerente foi definitivamente estabelecido (CROSS, 2007).

Voordt e Wegen (2005), entretanto, mostraram que Alexander se opunha ferozmente à classificação de qualquer nova ideia como metodologia (ALEXANDER, 1971). Vários autores, como Broadbent (1977), Lawson (2005), Zeisel (2006) e Cross (2006) apontam que o processo de projeto, de fato, corresponde em certa medida e com algumas variações segundo a visão de cada autor, em algo que pode ser expresso como um ciclo de análise-síntese-avaliação, mas que todo processo de projeto é único e por isso não pode ser descrito de forma padronizada (VOORDT e WEGEN, 2005).

Jones e Alexander reconheceram as falhas na aplicabilidade dos métodos de projeto de então e propuseram mudanças estruturais no próprio processo de projeto, a fim de desenvolver objetos que melhor se adequassem aos seus contextos e usos. Uma dessas mudanças seria substituir ou complementar a principal técnica de representação do projeto na era industrial, que sempre tinha sido *design by drawing*, por outros métodos que permitissem a **ampliação da percepção de todas as dimensões de um artefato**. Nesse sentido, a emergência das tecnologias computacionais para auxílio ao projeto, ou CAD na mesma época foi uma resposta que atendia parcialmente a essa demanda.

Jones concluiu que a falha dos métodos de projeto em afetar positivamente a projeção, como fora desejado, poderia ser atribuída ao fato de que as próprias metodologias não haviam reconhecido completamente que, para os métodos de projeto serem aceitos, as metas e a natureza do processo projetual em si teriam de ser mudadas — em suma, os problemas em processo de projeto não são meramente técnicos ou procedimentais, porém muito mais interpessoais e sociais (MITCHELL, 1993). Portanto, a visão expressa por Rittel desde 1964 de que no contexto complexo e multifacetado de nossa

época **projetar é um fato basicamente político** provava-se correta (RITTEL, 1964⁴⁷, 1966, 1972, 1973, 1988; RITH, DUBBERLY, 2007; PROTZEN, HARRIS, 2010).

Além disso, MacMillan *et al.* (1999), apud Zeiler, Savanović (2012) afirmam que nenhum dos modelos existentes do processo de projeto da edificação consegue capturar maneiras de ajudar uma equipe de projetistas novatos a superar o período inicial de um projeto, quando os membros do grupo tem objetivos, prioridades e expectativas conflitantes, e no qual é preciso encontrar metas comuns, bem como uma compreensão compartilhada do problema. Para melhorar o processo de projeto da edificação é necessária uma abordagem integral (ZEILER, SAVANOVIĆ, 2012). Tal abordagem representa uma visão ampla sobre o mundo em torno de nós, visão esta que precisa ser continuamente adaptada a partir de experiências relevantes bem documentadas, que emergem da interação entre prática, pesquisa e educação. Esta abordagem sistêmica pode levar à integração de métodos, de processos e da equipe, todos estes fatores condições necessárias para a concepção do produto final (ZEILER, SAVANOVIĆ, 2012).

Especificamente, o movimento *Design Methods* buscava permitir que mais pessoas participassem do processo de projeto em uma estrutura colaborativa, ao invés de confiar unicamente na expertise de um só indivíduo, e em sua capacidade de efetuar a síntese de todas as informações relevantes para o projeto. O aumento da complexidade das edificações a serem produzidas, compostas pela combinação de diferentes sistemas e subsistemas, já então inviabilizava essa opção. Mitchell (1993, p. 47) observa que muitas das ideias estruturantes do movimento *Design Methods* são extremamente importantes: O papel da colaboração; a melhoria do pensamento projetual através da incorporação tanto da racionalidade quanto da intuição; e a tentativa de encontrar alternativas para o desenho

⁴⁷ A palestra *The Universe of Design*, proferida por Rittel em 1964 encontra-se no livro de Protzen e Harris *The Universe of Design: Horst Rittel's Theories of Design and Planning*, com o nome de "Science and Design Seminars". Os autores tiveram acesso aos manuscritos originais de Rittel e descobriram que ele havia assim intitulado o texto, mudando-o depois para o título a que se referem Rith e Dubberly (2007). Protzen e Harris, por ocasião do lançamento do citado livro com a coletânea de todos os escritos de Rittel, aproveitaram para sua obra o segundo título dado por Rittel à palestra, *The Universe...*, mais conhecido do público interessado.

como principal modo da atividade de projetar. O trecho abaixo citado evidencia essas características:

Os tipos de habilidades de projeto requeridas ao se usar os mais novos métodos de projeto, as quais as profissões parecem ainda não levar a sério, são voltadas para a colaboração, para o compartilhamento de responsabilidades entre usuários e especialistas, e para projetar imaginativamente num processo coletivo, como foi o caso na evolução dos ofícios. (JONES, 1991, *apud* MITCHELL, 1993, p. 44).⁴⁸

2.2 BREVE HISTÓRICO DAS TECNOLOGIAS PARA CAD

Neste subitem é apresentado um relato sobre os principais desenvolvimentos da Computação Gráfica, com foco no desenvolvimento das interfaces homem-máquina. Devido a essa opção, a ordem de apresentação dos assuntos não segue uma cronologia rígida, como numa linha do tempo, por exemplo. Antes, procura estabelecer relações de proximidade e continuidade entre as pesquisas, seus personagens, as descobertas e invenções da época. A importância dada neste trabalho ao desenvolvimento dessas interfaces deve-se ao fato de que elas são o elemento primordial de interação da pessoa com os equipamentos, e é através delas que se concretiza hoje o ato de projetar o artefato arquitetônico, de produzir as representações da realidade espacial pretendida. É uma história das pesquisas em busca do maior realismo possível nas representações das ideias dos projetistas, rumo à ampliação de sua percepção do máximo de aspectos da realidade (dimensões) do objeto a ser representado.

Até trinta anos atrás, praticamente todos os desenhos de um projeto eram produzidos à mão, com lápis, papel e tinta. Pequenas modificações no projeto forçavam a apagar e redesenhar várias pranchas, sendo que as modificações maiores muitas vezes obrigavam a descartar todo o trabalho e recomeçar do zero. O advento dos aplicativos para CAD mudou fundamentalmente esse processo e permitiu projetos mais complexos. O uso de

⁴⁸ Tradução nossa.

sistemas CAD permitiu a criação de formas mais intrincadas, pois sua representação e manipulação tornaram-se mais rápidas. Com o aumento da complexidade dos projetos arquitetônicos, em função da crescente expectativa de desempenho do ambiente construído por parte de empreendedores e usuários, ampliou-se o uso de sistemas de CAD no processo de projeto (AOUAD, 2012, p. 1; KOWALTOWSKY *et al.*, 2006, p. 15). Uma razão adicional para a inclusão deste subitem é a virtual inexistência, em nossa língua, de um histórico dessas tecnologias, numa linguagem acessível e visto de um ponto de vista que possa interessar ao meio profissional e acadêmico de arquitetos, urbanistas e designers mais ligados à área tecnológica. Para um resumo do desenvolvimento dessas tecnologias numa ordem cronológica precisa, veja-se o APÊNDICE F.

Os sistemas para CAD foram desenvolvidos no mesmo período em que surgiram as pesquisas em métodos de projeto. A história da evolução dos sistemas para CAD e BIM é necessariamente a história do desenvolvimento das interfaces homem-máquina específicas para interação com sistemas computacionais. O primeiro sistema para CAD bem sucedido surgiu há 51 anos nos EUA, de modo apenas experimental, mas a maior disseminação dessa tecnologia ocorreu somente com o advento dos computadores pessoais, por volta de 1983, naquele país e na Europa. Essa pode ser uma razão pela qual são muito escassos os trabalhos em Português sobre a curta história do seu desenvolvimento. Os poucos trabalhos encontrados abordam de modo muito específico uma ou outra faceta do assunto, via de regra aprofundando questões técnicas sobre algoritmos de programação ou especificações de *hardware*, portanto irrelevantes para este argumento.

Dentre os trabalhos nos quais há relatos de valia para o estudo está o de Myers (1998), de caráter didático e histórico, o qual conta em ordem cronológica o aparecimento dos recursos que levaram *Graphic Computing* (GC) a ser como hoje utilizamos. O artigo mostra ainda o papel de pioneirismo das universidades norte-americanas no avanço das pesquisas nessa área⁴⁹. Possui muitas referências, o que possibilita um maior aprofundamento por parte do leitor interessado em aspectos mais detalhados que não serão

⁴⁹ Cf. APÊNDICE D.

focalizados aqui. Outros documentos relevantes são dois livros de Nicholas Negroponte⁵⁰, em que o autor traça um histórico da tecnologia em foco, e expressa sua visão pessoal da prática arquitetônica. Nesses trabalhos, Negroponte manifestou claramente sua visão de um futuro que se confirmou em grande parte.

Merece atenção um trabalho de Douglas Engelbart (1962), no qual lança as bases para o conceito de inteligência do artefato, relacionado mais tarde à programação orientada a objetos e a diversas soluções de interação homem-máquina. Outro trabalho, este em Português, é o de Gilda Menezes (2011), o qual fornece subsídios para um histórico de BIM, e aborda os aspectos de sua implantação nas empresas de projetos e nas instituições acadêmicas brasileiras e estrangeiras. Eastman *et al.* (2008, p. 32-57) oferece uma história dos sistemas orientados a objetos paramétricos que são a base do funcionamento dos *software* para BIM. O artigo de Bergin (2012)⁵¹ é de utilidade na construção deste histórico, por seu aspecto sintético e abundância de referências, e será mencionado algumas vezes, ao tratarmos de BIM. Especialmente útil será a extensa e detalhada cronologia de CAD e BIM elaborada por Marian Bozdoc (2003), cujas informações complementam este histórico. O recente livro de Ghassan Aouad *et al.* (2012) apresenta em sua introdução uma breve cronologia do desenvolvimento de CAD, em cujo quadro sinótico foi baseado o quadro que constitui o APÊNDICE F. Este subtítulo apresenta primeiro uma panorâmica do desenvolvimento de CAD e BIM, sendo apresentadas ao final algumas considerações sobre pontos significativos dessa história e das visões de alguns de seus personagens.

⁵⁰ NEGROPONTE, N. **The Architecture Machine** – Toward A More Human Environment. Cambridge MA; London: The MIT Press, 1970. 2. reimpr., 1972. 153 p. il.; e _____. **Soft Architecture Machines**. Cambridge MA; London: The MIT Press, 1975. 239 p., il.

⁵¹ Michael S. Bergin é arquiteto pela Universidade de Massachussets – Amherst e mestre em Arquitetura pela Universidade da Califórnia - Berkeley, *College of Environmental Design*. Em 2011, estudou Administração de Arquitetura e Engenharia Estrutural no *Skidmore, Owings & Merrill Integrated Design Studio*, com ênfase em projetos de edifícios de grande altura na China. Especialista em *Building Information Modeling* e Projeto de Sistemas Computacionais. A inclusão de seu nome neste trabalho deve-se ao fato de ele ter publicado, no site de seu escritório *Architecture Research Lab*, um histórico de BIM bastante estruturado e coerente com os trabalhos acadêmicos sobre o tema, e com muitas referências cruzadas, confirmadas em livros e artigos.

1953 — O primeiro sistema de computação gráfica surgiu em meados dos anos 1950, ligado ao sistema de defesa aérea norte-americano, denominado *Semi-Automatic Ground Environment* (SAGE). O sistema foi desenvolvido no *MIT Lincoln Laboratory*. As telas deste sistema faziam uso de tubos de raios catódicos (CRT) para mostrar dados de radar processados por computador e outras informações. Os desenvolvedores destes aplicativos tinham em mente não somente o projeto, mas o controle computadorizado de máquinas destinadas à produção, especialmente nas indústrias aeronáutica e automotiva, o que originou os *software* para *Computer-Aided Machinery* (CAM), um pouco antes da tese de Sutherland e seu Sketchpad.

1957 — Foi Patrick Hanratty, em 1957, quem desenvolveu o primeiro sistema desta natureza (CAM), o PRONTO, ferramenta de programação de controle numérico para o comando de máquinas, sendo por isso chamado de “O Pai de CAD/CAM” (AOUAD, 2012). Devido ao alto preço dos computadores de então e aos requisitos ímpares de aeronaves e automóveis, as grandes companhias das indústrias aeronáutica e automotiva foram os primeiros usuários em larga escala dos sistemas para CAD/CAM. A primeira geração de *software* para CAD consistia tipicamente de aplicativos para desenho 2D, para uso principalmente na automação de tarefas repetitivas de desenho, mas já permitiam *scale* (aumentar ou diminuir tamanhos) e rotação de elementos do desenho (AOUAD, 2012).

Alguns *software* para CAD foram desenvolvidos pelos departamentos de empresas de tecnologia da informação em colaboração com departamentos de pesquisa de universidades. Hanratty foi coautor também de um *software* para CAD denominado DAC (*Design Automated by Computer*), nos laboratórios de pesquisas da General Motors em meados da década de 1960. Programas específicos também foram desenvolvidos para as empresas McDonnell-Douglas (CADD, lançado em 1966), Ford (PDGS, em 1967), Lockheed (CADAM, em 1967) e muitos outros. (CADAZZ, 2010).

1960-1963 — Ivan Edward Sutherland ampliou as possibilidades dessa tecnologia em experimentos para sua tese de doutoramento iniciada em 1960, dando origem ao sistema Sketchpad em 1963 (SUTHERLAND, 1963, 2003, 2012), o qual é

considerado o primeiro *software* de CAD a funcionar do modo como conhecemos. Foi o primeiro sistema que possibilitava ao projetista interagir com o computador graficamente, em tempo real, ao utilizar um dispositivo de entrada de dados direto na tela, a *light pen*. Este dispositivo permitia desenhar de maneira intuitiva, sem planejamento prévio nem entradas de códigos de programação, decidindo *ad hoc*, diretamente no monitor do computador. Uma apreciação abrangente desse sistema é-nos fornecida por Blackwell e Rodden⁵², na qual se baseiam os três parágrafos seguintes em sua quase totalidade. Os autores e trabalhos por eles citados, embora não os tenhamos consultado todos, aparecem entre parênteses no texto e também nas Referências, por uma questão de rigor.

A influência do sistema Sketchpad para o desenvolvimento dos programas de CAD atuais é capital. Blackwell e Rodden (2003) afirmam que foi um dos mais importantes programas já escritos por um único indivíduo, a tal ponto que, em 1988, vinte e cinco anos depois de sua tese, Ivan Sutherland recebeu por ele o *A. M. Turing Award*, o mais alto prêmio no ramo de Ciências da Computação no mundo⁵³. O sistema Sketchpad em si, *i.e.*, o código-fonte do *software*, teve distribuição limitada a um computador customizado no *MIT Lincoln Laboratory*, o TX-2, que já havia sido usado no desenvolvimento de outros programas para o SAGE. A influência do Sketchpad é muito mais em razão das ideias introduzidas por seu autor do que com relação aos resultados da execução do programa propriamente dito. A tese de Sutherland descrevendo o programa foi um canal essencial pelo qual tais ideias se propagaram, junto com um filme do programa em uso e a publicação de uma conferência de Sutherland que acabou amplamente citada. Cópias da tese foram muito distribuídas, mas ela nunca foi publicada comercialmente.

Mesmo depois de cinquenta anos, as ideias introduzidas pelo Sketchpad ainda influenciam como cada usuário de computador pensa sobre computação. O sistema

⁵² Allan Blackwell e Kerry Rodden são pesquisadores do *University of Cambridge Computer Laboratory* e autores do prefácio da reedição da tese de Sutherland (1963) em formato digital, comemorativa de quarenta anos de invenção do Sketchpad, em 2003. Este documento é a fonte primária para a história deste aplicativo relatada nos próximos parágrafos.

⁵³ Láurea concedida pela ACM – *Association for Computer Machinery*. Cf.: www.acm.org.

trouxo contribuições fundamentais para a área de interação homem-máquina, e foi uma das primeiras interfaces gráficas de uso simples e intuitivo, ao explorar o potencial da *light pen*, precursora do mouse, permitindo ao usuário apontar diretamente na tela e interagir com o objeto sendo desenhado, e em tempo real. A *light pen* fornecia as coordenadas para comandos de desenho, inseridos via teclado. Primitivas geométricas previamente desenhadas poderiam ser recortadas, giradas, escaladas e movidas. Desenhos acabados poderiam ser armazenados numa fita magnética e editados num momento posterior. O Sketchpad introduziu inovações importantes, incluindo estruturas de memória hierárquicas para organizar objetos e a possibilidade de *zoom in* e *out*. Suas inovações incluíam desenhos hierárquicos⁵⁴, métodos de restrição⁵⁵ e de satisfação de certas condições, e uma interface gráfica muito interativa. Quando perguntado por Alan Kay⁵⁶: "Como você pôde ter feito o primeiro programa de gráficos interativos, a primeira linguagem de programação não-procedimental, o primeiro sistema de *software* orientado a objetos, tudo em um ano?" Sutherland respondeu: 'Bem, eu não sabia que era difícil.' ". Segundo Burton (2012) e Kay (1987), o modo de o Sketchpad interagir com seu usuário e sua funcionalidade continuam a despertar admiração entre os profissionais de computação gráfica.

O sistema Sketchpad deparou-se com um desafio crítico que permanece central até os dias de hoje na interação homem-computador: O propósito original de Sutherland era fazer os computadores acessíveis a novos tipos de usuários, como artistas, desenhistas e outros, enquanto mantinha os poderes de abstração que eram (e são) fundamentais para programadores. Em contrapartida, as interfaces de manipulação direta de objetos tem sido bem-sucedidas em detrimento da redução da abstração exposta ao usuário. As pesquisas de ponta em andamento atualmente continuam a lutar com essa questão de como reduzir os desafios à cognição representados pela manipulação abstrata

⁵⁴ Por desenho hierárquico entende-se o que hoje denominamos no AutoCAD e outros *software* de blocos (*parent object*), que uma vez modificados, efetuam as mudanças automaticamente em todas as repetições do bloco (*stances*).

⁵⁵ Chamados *constraints*, que mais tarde viriam a ser expandidos e se tornariam parâmetros.

⁵⁶ Palestra de Alan Kay gravada em vídeo, em 1987, disponível em: <http://www.archive.org/details/AlanKeyD1987>.

das informações. Não obstante, a tentativa de Sutherland de remover a divisão entre usuários e programadores não foi a única que, ao falhar em fazê-lo, forneceu o salto imaginativo para um novo paradigma de programação. A linguagem de programação Simula, de Nygaard e Dahl foi a primeira a incorporar os princípios da orientação a objetos, mas a estrutura do Sketchpad, na verdade, embora não chamasse suas entidades gráficas de “objetos”, antecipou-se à linguagem Simula em vários anos (BLACKWELL, RODDEN, 2003). A Figura 8 mostra uma foto de Ivan Sutherland operando o computador TX-2 no MIT Lincoln Laboratory, em 1963, tendo na tela o desenho de uma ponte em treliça de aço.

Figura 8 - Ivan Sutherland operando o computador TX-2.



Fonte: Sutherland (2012, p. 83).

1965 — Uma vez que a programação orientada a objetos ganhava importância, ao retirar do usuário a necessidade de digitação de extensas linhas de códigos de programação para que o computador executasse as tarefas, fazia-se necessário um dispositivo de entrada de dados mais robusto, barato e fácil de usar do que as *light pens*, inventadas em 1954 para o sistema SAGE. A solução veio com a invenção do *mouse*, por Douglas Engelbart, em 1965, um dispositivo ao mesmo tempo apontador dos objetos na tela e de entrada de dados. O *mouse* foi inventado como resposta a um desenvolvimento da programação que visava criar a possibilidade de manipular as representações dos objetos como se reais fossem. Isso incluía executar sobre as representações as mesmas ações que se

aplicariam aos objetos reais, como mover, copiar, alterar a forma, o tamanho, a proporção, a cor; utilizá-los como componentes de outros, associar a documentos, armazenar versões-testes com diferentes alterações, etc.; enfim, executar sobre as representações realistas ou sobre símbolos todas as ações que hoje fazemos em nosso cotidiano de projetar com o computador. Para quem projeta criativamente, dispondo de tamanha liberdade de ação sobre representações realistas e convincentes dos objetos que imagina, tais simulacros são tomados como a própria realidade, naquele momento, tal sua identificação perceptual com a imagem na mente do projetista. O instrumento que possibilitou essa rapidez de interação e aproveitar as vantagens da programação orientada a objetos foi o *mouse*, daí sua importância.

1968 — Muitos dos usos atuais do *mouse* foram demonstrados por Engelbart, como parte do projeto NLS, cujas conquistas foram divulgadas num filme criado em 1968. O próprio projeto NLS (sigla derivada da expressão *oN Line System*), liderado por Douglas Engelbart em 1968, no *Stanford Research Institute*, a partir de seu conceito de expansão do intelecto humano (ENGELBART, 1962), teve repercussão em todos os campos afetados pelo desenvolvimento da Ciência da Computação nas décadas de 1960 e seguintes, e sua influência chega até os dias atuais. O NLS era um sistema de trabalho colaborativo por computador, o qual já incluía recursos de videoconferência para comunicação à distância em tempo real com vários participantes.

Projetado por Douglas Engelbart e implementado por pesquisadores do *Augmentation Research Center* (ARC) em Stanford, o sistema NLS foi o primeiro a reunir de modo prático *links* de hipertexto, o *mouse*, monitores de vídeo *raster-scan*⁵⁷, informações organizadas por relevância, tela dividida em janelas, programas de apresentação⁵⁸, e outros conceitos de computação modernos. O projeto teve financiamento conjunto da ARPA, NASA e Força Aérea dos EUA. Foi sucedido pela *ARPA Network* a partir de 1969, ou ARPANET, a

⁵⁷ Monitores capazes de exibir simultaneamente uma área da tela com gráficos tipo bitmap, e. g., texto, figuras (*raster*) e outra com vídeo em tempo real gerado por câmeras do tipo utilizado em TV (*scan*) para conversação, como os atuais.

⁵⁸ Precusores de aplicativos como o Microsoft Office Power Point, p. ex.

qual, ao utilizar a estrutura de links de hipertexto⁵⁹, também inventada por Engelbart e seu grupo de pesquisa, contribuiu para a existência da Internet mais tarde, ao transferir o controle à rede civil da NSF. Porém, foi o físico britânico Tim Barners-Lee, em 1989, quem inventou um protocolo de transferência de dados de hipertexto (HTTP) entre um computador cliente e um servidor, além da linguagem de escrita de páginas de acesso via rede (HTML) estabelecendo a partir do C.E.R.N. a *World Wide Web*; nome criado por ele.

Outro sistema pioneiro foi o AMBIT/G, implementado no *MIT Lincoln Laboratory* em 1968 e financiado pela ARPA. Empregava em sua interface, dentre outras técnicas, representações icônicas, reconhecimento de gestos, menus dinâmicos com itens selecionados utilizando um dispositivo apontador, a seleção de ícones por apontamento e estilos de interação com a máquina predeterminados e também livres (MYERS, 1998)⁶⁰. David Canfield Smith cunhou o termo ícones em sua tese de doutorado em 1975, da qual se originou o sistema Pygmalion, financiado pela ARPA e pelo *National Institute of Mental Health* (NIMH). Smith, mais tarde, quando era um dos principais designers do computador Xerox Star popularizou os ícones.

1970 — O *mouse* populariza-se como um prático dispositivo de entrada, após ter sido aperfeiçoado no Xerox PARC, em 1970. Muitas das técnicas de interação que se tornaram interfaces de manipulação direta populares, como por exemplo, o modo como objetos e texto são selecionados, abertos e manipulados, foram pesquisados na Xerox PARC em 1970. Em particular, a ideia de "WYSIWYG"⁶¹ (o que você vê é o que você obtém) originou-se lá com sistemas como o editor de texto Bravo e o programa de desenho Draw.

⁵⁹ Texto na tela do computador em que é possível clicar em palavras ou frases e ser levado a outra tela com outras palavras, frases ou páginas que se relacionam com o assunto, como nas páginas da Internet atuais.

⁶⁰ Os parágrafos seguintes baseiam-se neste trabalho. O artigo de Myers, dentre outras fontes consultadas, é o mais completo, sucinto e didático em suas nove páginas textuais. Possui uma lista de 55 referências úteis para o leitor interessado. Como muitas delas tratam de assuntos eminentemente técnicos da área de informática, optamos por citar e referenciar no texto apenas as mais relevantes para o presente estudo.

⁶¹ WYSIWYG: *What you see is what you get*. Aperfeiçoamento da interface do usuário até hoje usado e que permite antever, na tela do computador, exatamente como um trabalho de texto ou desenho sairá

1974 — As primeiras pesquisas na *Stanford University* em sistemas como COPILOT (1974) e no MIT com o editor de texto Emacs (1974) também exibiam janelas lado a lado. Alan Kay já propusera a ideia de janelas sobrepostas em sua tese de doutoramento em 1969. Elas apareceram pela primeira vez em 1974, no sistema Smalltalk, escrito por Kay para a Xerox PARC, e logo depois no sistema Interlisp. No mesmo ano foi lançado o primeiro monitor de 19", o qual possibilitou um aumento de produtividade na utilização de CAD/CAM, sobre os antigos monitores de no máximo 11".

1975 — A empresa aeronáutica francesa Avions Marcel Dassault (AMD)⁶² adquiriu da norte-americana Lockheed o programa CADAM (*Computer-Aided Drafting and Manufacturing*), se tornando uma das primeiras usuárias da tecnologia 3D integrada à manufatura, permitida por esse programa (BOZDOC, 2003).

1977 — O conceito de interfaces de manipulação direta para todos foi imaginado por Alan Kay, do Xerox PARC, em 1977, num artigo sobre o processador de textos Dynabook.

1979 — Alguns dos primeiros usos comerciais de janelas estavam em Lisp Machines Inc. (LMI) e Symbolic Lisp Machines (1979), que surgiram a partir de projetos do *Artificial Intelligence Laboratory* do MIT.

1981-1984 — O *mouse* apareceu pela primeira vez no mercado como item de série dos computadores Xerox Star (1981), PERQ, da *Three Rivers Computer Company* (1981), no Apple Lisa (1982), e no Apple Macintosh (1984). (MYERS, 1998). Em 1981, o *Cedar Window Manager*, da Xerox PARC, foi o primeiro gerenciador de janelas sobrepostas, logo

impresso. Um exemplo popular é o modo de visualização chamado "Layout de Impressão" no Microsoft Word.

⁶² Não se trata da empresa AMD fabricante de *hardware*. A AMD norte-americana é a Advanced Micro Devices Inc.

seguido pelo gerenciador de janelas escrito por Andrew, do *Information Technology Center*, da *Carnegie Mellon University* (CMU) (1983), financiado pela IBM.

Ben Shneiderman, da Universidade de Maryland, cunha o termo "manipulação direta", em 1982, tendo identificado os componentes desse sistema. Ele descobriu inclusive, como vantagens da manipulação direta, motivações psicológicas e ainda no quesito curva de aprendizado do uso das interfaces (SHNEIDERMAN, 1983, apud MYERS, 1998). Os motivos listados por Shneiderman foram: a) fácil domínio do sistema; b) rápida aquisição de competência no desempenho das tarefas; c) facilidade de aprender o sistema básico e de assimilação dos recursos mais avançados; e) confiança do usuário na própria capacidade de reter o domínio do *software* ao longo do tempo; f) prazer no uso do programa; g) impulso de mostrar os recursos do programa para os novatos e; h) desejo de explorar aspectos mais poderosos do sistema. Após listar estes características, Shneiderman conclui:

Esses sentimentos não são, é claro, universais, mas o amálgama transmite mesmo uma imagem de usuário realmente satisfeito. Enquanto eu falava com esses entusiastas e examinava os sistemas que eles usavam, comecei a desenvolver um modelo das características que produziam tal prazer. As ideias centrais pareciam ser a visibilidade do objeto de interesse; ações rápidas, reversíveis e incrementais, e a substituição da complexa sintaxe da linguagem de comandos pela manipulação direta do objeto de interesse - daí o termo 'manipulação direta'". (SHNEIDERMAN, 1983).⁶³

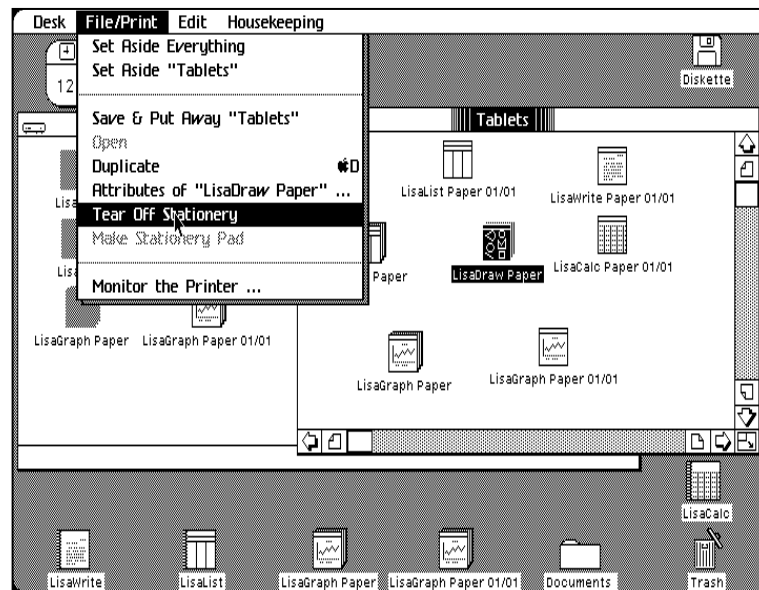
Parágrafos adiante no mesmo artigo citado por Myers (1998), Ben Shneiderman, no subtítulo que trata de CAD/CAM, refere-se aos aplicativos de então, que já faziam uso de manipulação direta dos objetos para projetar automóveis, placas de circuitos eletrônicos, arquitetura, aeronaves, e layout gráfico. Nesse trecho, o autor menciona recursos já em aplicação naquele tempo, os quais evidenciam um direto vínculo de origem com o trabalho de projeto arquitetônico do modo como se faz hoje com BIM, usando a modelagem n-dimensional das informações do artefato:

⁶³ Tradução nossa.

Quando o projeto está concluído, o computador pode fornecer informações sobre corrente, quedas de tensão, **custos de fabricação** e **avisos sobre inconsistências ou problemas de fabricação**. Da mesma forma, diagramadores de jornal ou designers de carroceria de automóveis podem **tentar vários projetos em minutos** e gravar as abordagens promissoras até uma melhor ser encontrada. O prazer em usar estes sistemas decorre da capacidade de manipular o objeto de interesse diretamente e gerar múltiplas alternativas rapidamente. (SHNEIDERMAN, 1983, grifo nosso).⁶⁴

Os principais sistemas comerciais que usaram extensivamente manipulação direta com janelas sobrepostas e se tornaram populares foram o Xerox Star (1981), o Apple Lisa (1982) e o Apple Macintosh (1984). As primeiras versões do sistema Microsoft Windows eram de janelas lado a lado, e vieram mais tarde a permitir também janelas sobrepostas como nos sistemas Lisa e Macintosh, da Apple Computing. (MYERS, 1998). A Figura 9, abaixo, retrata a interface gráfica dos computadores Apple Lisa, modelo imediatamente anterior ao Macintosh, nos quais já se trabalhava com ícones e janelas, de maneira semelhante às interfaces contemporâneas.

Figura 9 - Interface gráfica do Apple Lisa (1982-1983).



Fonte: ToastyTech (2013).

⁶⁴ Tradução nossa.

Na parte final deste subitem, aborda-se o desenvolvimento de recursos específicos, que ocorreu quase simultaneamente aos mencionados anteriormente.

MULTIMÍDIA — No que concerne ao desenvolvimento da chamada multimídia, o projeto FRESS na *Brown University*, também usava várias janelas para isso, além de texto e gráficos integrados (1968, financiamento pelo setor privado do ramo). O projeto *Interactive Graphical Documents* da *Brown University* foi o primeiro sistema hipermídia (em oposição ao hipertexto) e utilizava gráficos *raster* e texto, mas não vídeo (1979-1983, financiado pela ONR⁶⁵ e NSF). O projeto *Diamond* na BBN⁶⁶ (a partir de 1982, financiado pela ARPA) explorou uma combinação de informações multimídia (texto, planilhas, gráficos e fala). O *Movie Manual*, desenvolvido pelo *Architecture Machine Group*, de Nicholas Negroponte (MIT) foi um dos primeiros a misturar vídeo e computação gráfica (1983, financiado pela ARPA). (MYERS, 1998).

REPRESENTAÇÃO EM 3D — O primeiro sistema 3D foi o sistema CAD 3D de Timothy Johnson, (1963, financiado pela Força Aérea dos EUA). O Wand Lincoln, por Larry Roberts, era um sistema de detecção de locais por ultra-som 3D, desenvolvido no *MIT Lincoln Laboratory* (1966, financiado pela ARPA). Esse sistema também apresentava pela primeira vez, em gráficos 3D, a eliminação interativa de linhas ocultas no desenho de sólidos. O uso inicial deste sistema era para a modelagem molecular. Os anos 1960 e início dos anos 1970 viram o florescimento de gráficos 3D *raster* (hoje chamados de “renderizados”), frutos de pesquisas da Universidade de Utah, na qual participaram Dave Evans, Ivan Sutherland, G. W. Romney, Henri Gouraud, Bui-Tuong Phong, e G. S. Watkins, projetos estes em grande parte financiados pelo governo dos EUA. Além disso, no trabalho de construir um simulador de voo militar-industrial nas décadas de 1960 e 1970, esses pesquisadores foram líderes ao tornar as interfaces 3D capazes de operar em tempo real, rodando nos sistemas comerciais da General Electric, de Evans & Sutherland, Cantor/Link

⁶⁵ *Office of Naval Research*, órgão da marinha dos EUA.

⁶⁶ Bolt, Beranek and Newton Inc., companhia mais tarde absorvida pela Raytheon. Atualmente denomina-se Raytheon BBN Technologies.

(financiados pela NASA, Marinha dos EUA e outros). Outro importante centro de investigações sobre as interfaces 3D é o laboratório de Fred Brooks em Chapel Hill, na Universidade da Carolina do Norte. (MYERS, 1998).

Os primeiros programas de modelagem tridimensional começaram a ganhar popularidade no final da década de 1970. A partir de sólidos geométricos básicos como esferas, cilindros, cunhas e outros, tais aplicativos já executavam operações booleanas⁶⁷, e. g., remover um cilindro de um paralelepípedo para nele criar um orifício. Por volta de 1977, a Avions Marcel Dassault confiou à sua equipe de engenheiros a criação de um *software* para representações tridimensionais interativas. Este programa se tornou o precursor do CATIA, sigla para *Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application*. A maior vantagem deste programa em relação ao CADAM era a facilidade de manipulação da forma tridimensional. Enquanto o CADAM automatizava as tarefas em 2D primeiro para depois produzir as representações 3D, o *software* da Avions Marcel Dassault levou os engenheiros da empresa ao mundo da modelagem diretamente em três dimensões, acabando com a possibilidade de interpretações erradas dos desenhos no momento da produção das representações bidimensionais, o que gerava imediatamente uma série de benefícios (BOZDOC, 2003).

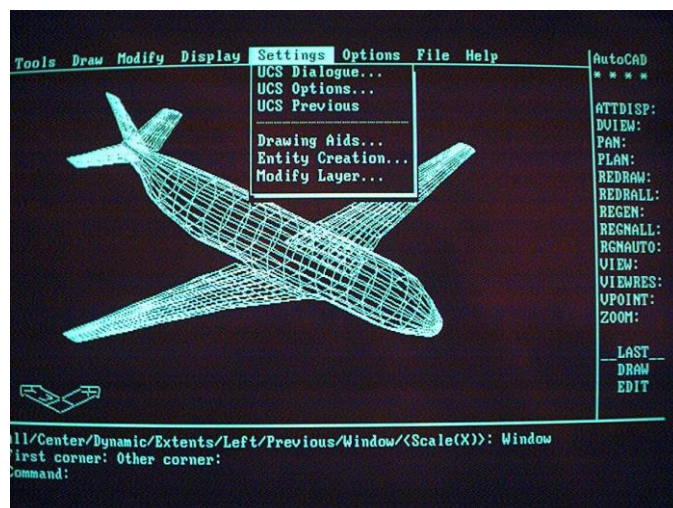
Em 1979 a empresa Auto-trol tornou-se a primeira a comercializar um aplicativo de CAD específico para a produção dos complexos desenhos em perspectiva requeridos em manuais técnicos de serviços e catálogos de peças para a indústria, e para documentação de engenharia. No mesmo ano, um esforço conjunto da Boeing, da General Electric e do *National Institute of Standards and Technology* (NIST) desenvolveu um formato de arquivo neutro, como parte do cumprimento de uma cláusula contratual com a Air Space, chamado IGES (*Initial Graphic Exchange Standard*). Esta ação visava estabelecer a interoperabilidade de diversos sistemas. Este formato de arquivo se tornou o padrão do ramo e o mais aceito para transferência de informações relativas às complexas superfícies

⁶⁷ Operações matemáticas em que os operandos são porções do espaço bi ou tridimensional (*i. e.*, formas geométricas), usadas como recurso para a modelagem de sólidos em GC.

NURBS usadas na indústria aeronáutica e automotiva. No final daquela década, um sistema para CAD típico consistia em um minicomputador de 16 bits, com um máximo de 512 kB de memória, capacidade de armazenamento de 20 a 300 MB em disco, a um custo em torno de US\$ 125 mil (BOZDOC, 2003).

A partir de 1982, minicomputadores com muito mais poder de processamento e a um custo muito menor começaram a surgir, fazendo com que a tecnologia para CAD se tornasse competitiva para outras indústrias além da aeronáutica e automotiva. Passou a ser economicamente viável para as indústrias de objetos domésticos, por exemplo, projetar seus produtos com uso de CAD, o que permitiu formas mais complexas para esses artefatos. Em abril do mesmo ano é fundada a Autodesk, com dezesseis pessoas, na Califórnia, por John Walker. A ideia era criar um programa para CAD com preço abaixo de mil dólares, e capaz de ser executado em um computador pessoal (PC). A base para esse programa foi um outro, escrito em 1981 por Mike Riddle, chamado MicroCAD. Ainda em 1982, mês de novembro, foi demonstrado na COMDEX em Las Vegas o primeiro programa para CAD capaz de rodar em um PC: o AutoCAD R.1, cujo início de comercialização se deu no mês seguinte. O sucesso foi imediato e no ano seguinte surgiam as versões francesa e alemã do aplicativo (BOZDOC, 2003). Quatro anos depois, o programa já era capaz de trabalhar com gráficos em três dimensões, como no exemplo da Figura 10, abaixo.

Figura 10 - Interface gráfica de uma das primeiras versões do AutoCAD (circa 1986).



Fonte: <http://paulaxford.com/images1/acad1_1.jpg>. Acesso em: 1 set. 2013.

MODELAGEM PARAMÉTRICA EM 3D — O passo seguinte na evolução dos aplicativos para CAD seriam a modelagem paramétrica e várias outras inovações que conduziram, mais tarde, ao que conhecemos atualmente por *Building Information Modeling*, como será visto mais adiante.

1989-1990 — O primeiro programa a incorporar a nova tecnologia seria o Pro/Engineer, em 1989 (BOZDOC, 2003). Em 1990 a Autodesk lança o AutoCAD Release 11, o qual definiu o modo como atualmente se opera este *software*. As inovações eram muitas, sendo as principais: Suporte ao trabalho em rede, possibilitado por um modelo que poderia ser armazenado em um servidor e trabalhado por diversos projetistas quase simultaneamente; a separação entre uma interface para trabalho com o modelo, denominada *Model Space* e outra para produção dos documentos técnicos (pranchas) chamado de *Paper Space*⁶⁸; além de suporte a plotagem em rede e um *add-on* para sombreamento⁶⁹ do modelo 3D, o Auto Shade 2.0.

1991 — A Microsoft começa a aplicar um aperfeiçoamento a ser usado nos programas de GC, uma interface de programação de aplicativos (API) chamada de Open GL, utilizada até o presente. Essa API é o que permite sombreamento, renderização, criação de efeitos fotorrealistas, iluminação, efeitos de nevoeiro e muitos outros em modelagens tridimensionais e animações gráficas. A invenção de Open GL é creditada à empresa Silicon Graphics, e desde então se tornou o padrão para toda programação voltada a gráficos 3D, inclusive jogos (BOZDOC, 2003).

1992 — A Autodesk lança o AutoCAD Release 12, o primeiro a permitir integração dos desenhos com bancos de dados estruturados em SQL⁷⁰, dos quais se podia

⁶⁸ O qual veio a ser o *Layout* nas versões atuais, a partir da versão “2000”.

⁶⁹ Entendido como o preenchimento das faces de formas geométricas definidas por uma estrutura de linhas no “espaço”, chamada *wireframe*.

⁷⁰ *Structured Query Language*, ou Linguagem Estruturada de Pesquisa, recurso de armazenamento, classificação e busca de informações em bancos de dados de informações não-gráficas, como preços, quantidades, fornecedores, especificações diversas, antecipando o que viria a ser oferecido através de BIM.

extrair atributos não-gráficos, de natureza quantitativa, dos componentes de um desenho. Estas novas possibilidades, aliadas a uma versão para o sistema operacional Windows, já com ícones e uma grande margem para personalização da interface de trabalho do programa, tornaram o AutoCAD R.12 um dos mais bem-sucedidos aplicativos para CAD no mundo (BOZDOC, 2003). Em 1993, as funcionalidades do AutoCAD passam a ser complementadas pelos recursos do 3D Studio R.3 para MS-DOS⁷¹, totalmente compatível com este, o que permitia produzir animações arquitetônicas sofisticadas e realistas com certa facilidade e rapidez. Outros programas para CAD dos anos 1990 e que também tiveram sucesso foram o MicroStation e o MiniCAD, ambos em sua quinta versão. Em fins de 1994, a Autodesk já havia vendido um milhão de cópias do AutoCAD em todo o mundo. Os concorrentes, na ordem de vendas, eram o Cadkey, com 180 mil cópias e o MicroStation, com 155 mil (BOZDOC, 2003).

1995-2012 — Outro marco importante na direção dos atuais aplicativos que permitem BIM ocorreu em 1995, com o lançamento do *CATIA-CADAM AEC Plant Solutions*. A plataforma se utilizava do estado-da-arte em programação orientada a objetos e sua principal finalidade era no planejamento e projeto de plantas industriais. Para tanto, incorporou o conceito de *knowledge-based engineering* (KBE)⁷², o que agilizava dramaticamente o processo de planejamento, construção e operação de indústrias (BOZDOC, 2003), pois incorporava aos objetos do projeto toda sorte de informações não-gráficas que permitissem análises de orçamento, prazos, técnicas, especificações, fornecedores e outras. Foi um dos primeiros sistemas que possibilitava o projeto do edifício desde uma perspectiva global do empreendimento, a partir dos estudos de sítio, passando pelo projeto da edificação, seu processo de produção e sua operação (BOZDOC, 2003).

⁷¹ Sistema operacional sobre o qual rodava plataforma Windows. *Microsoft Disk Operation System*.

⁷² Para uma síntese dos principais conceitos de *Knowledge-Based Engineering*, cf. PLANT, R.; GAMBLE, R. Methodologies for the development of knowledge-based systems, 1982-2002. **The Knowledge Engineering Review**, Cambridge, UK, Cambridge University Press, v. 18, n. 1, p. 47-81. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1017/S026988890300064X>>.

A partir de 1996, é fundada a DATACAD LLC, através da compra dos direitos sobre a comercialização dos produtos da Micro Control Systems Inc. Quatro anos depois, em 2000, o aplicativo DataCAD, um programa profissional de CAD voltado para o setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) e que oferecia recursos de renderização fotorrealista e animações, supera as 250 mil cópias vendidas mundialmente e se torna o segundo *software* mais utilizado pelos arquitetos. Nesse mesmo ano, em agosto, uma empresa iniciante, a @Last Software lança o programa SketchUp, com a proposta de “3D para todos”. O programa rapidamente conquistou os projetistas de diversas áreas devido à sua simplicidade de operação e rápida curva de aprendizado. Em 2007 a empresa @Last Software foi comprada pela Google, e passou a oferecer plena integração com a plataforma Google Earth. Em 2012, a Google concluiu a venda do SketchUp para a Trimble Navigation Limited.

2.3 BREVE HISTÓRICO DAS TECNOLOGIAS PARA BIM

As bases conceituais de BIM remontam aos primórdios da computação. Em 1962, Douglas C. Englebart descreveu o que imaginou seria a cena de um arquiteto do futuro em pleno processo de projeto:

[...] o arquiteto em seguida começa a digitar uma série de especificações e dados - uma laje de quinze centímetros, paredes de concreto com trinta centímetros, dois metros e quarenta centímetros de altura de escavação, e assim por diante. Quando ele termina, a cena revisada aparece na tela. Uma estrutura está tomando forma. Ele a examina, ajusta-a [...] Ele sempre repassa [...] as suas listas de trabalho com especificações e considerações para se referir a elas, modificá-las ou acrescentar a elas. Estas listas crescem em **uma estrutura cada vez mais detalhada, interligada, que representa o pensamento em maturação por trás do projeto real.** [...] Em tal relação de trabalho futura entre o ser humano solucionador de problemas e o computador seu 'funcionário', a capacidade do computador para a execução de processos matemáticos seria usada sempre que fosse necessário. No entanto, o computador possui muitos outros recursos para manipulação e exibição de informações que podem ser um benefício significativo para o ser humano em processos não-matemáticos de planejamento, organização, estudo, etc. **Toda pessoa que exerce o seu pensamento com conceitos simbolizados** (seja na forma

do idioma Inglês, pictogramas, lógica formal ou matemática) **seria capaz de se beneficiar de forma significativa**. (ENGELBART, 1962, p. 5-6, grifo nosso).⁷³

No restante do texto, Englebart sugere projeto baseado em objetos, manipulação paramétrica e um banco de dados relacional; sonhos que se tornariam realidade muitos anos depois. Há uma longa lista de pesquisadores do processo de projeto, incluindo Herbert Simon, Nicholas Negroponte e Ian McHarg que estavam desenvolvendo uma trilha paralela com Sistemas de Informação Geográfica (*Geographic Information Systems - GIS*). Os trabalhos de Christopher Alexander, *Notes on the Synthesis of Form* e também *A Pattern language*, tiveram significativo impacto, influenciando uma escola pioneira de cientistas da computação voltados para a programação orientada a objetos. Como esses sistemas foram concebidos complexos e robustos, seus marcos conceituais não poderiam ser concretizados sem uma interface gráfica através da qual fosse possível interagir de tal maneira com o modelo complexo de uma edificação (BERGIN, 2012).

1973 — Como mencionado, os primeiros programas para CAD usavam algoritmos simples para mostrar padrões de linhas em duas dimensões e mais tarde em três. Desde a década de 1960 a modelagem de geometrias em 3D tem sido um campo de pesquisas em expansão. Mas foi somente a partir de 1973 que surgiram programas capazes de lidar de modo mais intuitivo com a criação e modificação arbitrária, *ad hoc*, de formas em 3D. Três grupos trabalharam nesse tema separadamente: O de Ian Braid, na *University of Cambridge* (Reino Unido); o de Bruce Baumgart, na Stanford University e o de Ari Requicha e Herb Voelckler, na *University of Rochester* (EASTMAN, 2011, p. 47). Estas pesquisas produziram a primeira geração de ferramentas para modelagem em três dimensões de maneira prática, chamada de *solid modelling*. Dessas pesquisas, dois métodos de representação computacional emergiram e competiram durante certo tempo: CSG e B-Rep, cada um com vantagens e desvantagens em relação ao processo de projeto. Uma descrição detalhada das questões referentes à programação nesses formatos consta em EASTMAN et

⁷³ Tradução nossa.

al. (2011, p. 33-38)⁷⁴. Mais tarde, desenvolvimentos posteriores levaram à fusão dessas duas abordagens de lidar com a representação 3D e ao uso de objetos paramétricos, como atualmente. Eastman *et al.* (2011, *op. cit.*) descrevem no trecho acima citado a diferença entre uma escada construída automaticamente no AutoCAD 3D, dados os parâmetros de *dpp*⁷⁵, largura, ponto inicial, forma em planta e alturas mínimas e máximas de espelho, por exemplo, e objetos verdadeiramente paramétricos.

Segundo os autores, objetos realmente paramétricos possuem uma “inteligência”, denominada em Informática “comportamento”, propriedade que confere a esses objetos a capacidade de a geometria ser automaticamente reavaliada e o formato redefinido, primeiramente a partir da exigência do usuário do *software*. Num segundo momento, são dados ao programa sinalizadores (*flags*) para marcar onde houve modificação no objeto, de modo que somente as partes modificadas são redefinidas. Pelo fato de que uma mudança pode se propagar para outros objetos, o desenvolvimento de arranjos espaciais em que existiam interações complexas levou à necessidade de desenvolver uma capacidade “solucionadora” nesses objetos, que analisava as mudanças efetuadas e escolhia a ordem mais eficiente de atualização do restante. Portanto, objetos verdadeiramente paramétricos são **representações n-dimensionais inteligentes** dos componentes que integram um modelo virtual da edificação, cujo comportamento, no momento da projeção, *i. e.*, no exato instante em que acontece o ato de sua inserção no modelo pelo projetista, estão programados para “analisar” o contexto em que são inseridos e “se comportar” de acordo com seus próprios atributos e as várias inter-relações presentes naquele contexto. A capacidade de processar tais alterações é o estado-da-arte atual em BIM e modelagem paramétrica (EASTMAN, 2011, p. 38).

1974 — Um trabalho consistente na direção da tecnologia para BIM foi realizado pelo próprio Eastman em 1974, quando na Universidade Carnegie Mellon,

⁷⁴ O livro traz uma descrição aprofundada do modo como tais formatos deveriam ser manipulados, suas vantagens e desvantagens, tecnicidades julgadas não relevantes para o estudo.

⁷⁵ Distância de piso a piso.

intitulado *Building Description System* (BDS) (EASTMAN *et al.*, 1974; BOZDOC, 2012; MENEZES, 2011). O desenvolvimento deste projeto de pesquisa de Eastman levaria à criação de uma biblioteca digital com centenas de milhares de elementos arquitetônicos, os quais poderiam ser escolhidos e ajustados na tela para conceber um projeto completo⁷⁶. No *Abstract* do projeto de pesquisa que deu origem ao BDS, está uma visão de futuro que imaginava um sistema computacional para projeto e análise do artefato edificação como altamente desejável e necessário. Excertos desse projeto de pesquisa constituem o ANEXO A deste trabalho, cujo *Abstract* aqui é traduzido:

Abstract - Muitos dos custos de projeto, construção, operação da construção derivam da dependência dos desenhos como registro da descrição do prédio. Este documento descreve, **como um substituto**, o projeto de um sistema de computador útil para armazenar e manipular informações de projeto em um grau de detalhe que permite **projeto, construção e análise operacional**. A construção é considerada como a composição espacial de um conjunto de peças. O sistema, chamado Sistema de Descrição do Edifício (SDE) [BDS, em Inglês] tem associado a ele: (a) um meio fácil de entrada gráfica de formas de elementos arbitrariamente complexos, (b) uma linguagem gráfica interativa para editar e compor arranjos de elementos, (c) capacidade gráfica de produzir perspectivas ou desenhos ortográficos de alta qualidade para gerar cópias físicas, (d) capacidade de classificar e formatar que **permite a classificação do banco de dados por atributos, por exemplo, tipo de material, fornecedor ou compor um conjunto de dados para análise**. O sistema funciona em um Equipamento Digital PDP-11/20 [nome do computador], com memória de disco estendida e gráficos. Este é um relatório de progresso, delineando as metas e status atuais do trabalho em SDE. (EASTMAN *et al.*, 1974, p. 4, tradução e grifo nossos.).

Pode-se objetar que não houve ineditismo na proposta de incorporar capacidades de concepção e manipulação da forma em 3D, tampouco na possibilidade de gerar perspectivas ou vistas em projeção ortogonal, pois esses recursos já estavam presentes, com maior ou menor aperfeiçoamento, em outros programas da época. Mas o *Abstract* deixa bastante claro que a intenção ia muito além, pois BDS visava prover **um recurso computacional para substituir o desenho**, assim como **incluir no projeto da**

⁷⁶ De acordo com estimativas dos autores, em outra parte do projeto de pesquisa, num edifício de escritórios hipotético, com dez pavimentos-tipos e dois pavimentos de embasamento, num total de 11.002 m², haveria cerca de 156 mil componentes. Estes elementos, quando “traduzidos” para a base computacional do BDS resultariam ser entre 200 e 400 mil. Este seria o número de elementos de uma biblioteca de componentes, a maioria paramétricos, a ser usada na modelagem tridimensional do edifício.

edificação o projeto também de sua construção e operação, dentro de uma abordagem racional e analítica, como atualmente é possível com BIM. O trabalho vislumbrava também a possibilidade de **enriquecer a representação dos objetos** — no caso, os elementos construtivos do edifício — **com um banco de dados de tipos de materiais e fornecedores**, algo que Shneiderman (1983) já havia também descrito como meio de permitir análises que subsidiassem o planejamento dos empreendimentos de construção civil.

Nos cinco parágrafos da seção seguinte do documento, o capítulo *I. The Problem*, no qual os autores caracterizam o problema de pesquisa, constata-se a semelhança da realidade que descrevem com a introdução de muitos artigos ou outros trabalhos acadêmicos contemporâneos brasileiros que abordem BIM.

No capítulo seguinte, *II. Conceptual Design of a General Building Description System*, os autores explicitam a visão que possuíam de como deveria ser esse sistema computacional e as vantagens que traria, além de fazerem afirmações consistentes com as tentativas de reduzir a importância de *design-by-drawing* e de ampliar a percepção de todas as dimensões dos componentes no processo de produção das representações dos elementos da construção, como pretendiam os pesquisadores de *Design Methods*. Veja-se a transcrição:

Nossa premissa é que **um banco de dados computacional** poderia ser desenvolvido, que permitiria a descrição geométrica e espacial de um número muito grande de elementos físicos, dispostos no espaço e **"conectados" como em um edifício real**. Conceitualmente, o modelo seria semelhante a um modelo de madeira balsa, mas com detalhamento muito maior. Além disso, os espaços bem como os sólidos seriam explicitamente descritos. A base de dados forneceria **uma descrição única de cada elemento ou espaço da construção, em relação aos outros**, e, assim, permitiria que qualquer alteração seria descrita somente uma vez, ao invés de copiada para um grande número de desenhos. **As peças elementares de um edifício seriam trazidas para dentro do projeto pelo usuário ou guardadas em uma ou mais bibliotecas de componentes**. Assim, não haveria nenhuma restrição quanto à gama de modelos possíveis. Por outro lado, este banco de dados poderia facilmente lidar com todos os sistemas de construção industrial ou pré-fabricada, bem como edifícios formados por componentes personalizados ou fabricados no canteiro.

Uma característica importante do modelo de SDE [BDS, em Inglês] é a sua **capacidade para gerar os desenhos**. A partir deste banco de dados único, o projetista poderia pedir qualquer planta ou corte, perspectiva ou vista explodida e receber **documentos de alta qualidade dos detalhes da construção em um curto**

período de tempo e com baixo custo. Todos os desenhos produzidos a partir da mesma base de dados **seriam automaticamente consistentes.**

Na mesma linha, devido à descrição edifício estar agora em uma forma legível por máquina, **qualquer tipo de análise quantitativa pode ser diretamente, acoplada ao sistema.** Toda a preparação de dados para tais análises seria automática, reduzindo o seu custo. (EASTMAN et al., 1974, p. 6, tradução e grifo nossos.).

Este trecho evidencia que Eastman e sua equipe tiveram, em 1974, uma visão de futuro que se tornou o nosso presente. Distinguem-se as cinco características principais da projeção com uso de BIM, no que concerne à tecnologia empregada (cf. os trechos grifados na transcrição acima):

a) A percepção de que somente através de uma tecnologia computacional seriam atingidos os objetivos propostos, e que ela deveria ser desenvolvida para esse fim, ou seja: a visão da projeção em Arquitetura e Engenharia como uma atividade passível de sistematização, a ser baseada no uso intensivo e indispensável do computador;

b) A visão da representação da edificação não mais através de desenhos produzidos com ou sem auxílio do computador, mas em 3D total, como uma maquete virtual, composta por “um conjunto muito grande de elementos físicos dispostos no espaço” e conectados entre si, “como em um prédio real”;

c) A ideia de que cada componente da edificação constitui em si próprio um banco de informações além das geométricas, conectado com e em relação aos demais, esboçava o conceito de objetos inteligentes;

d) A possibilidade de o sistema lidar com objetos que poderiam ser customizados ou pré-fabricados, armazenados em uma coleção de componentes de série;

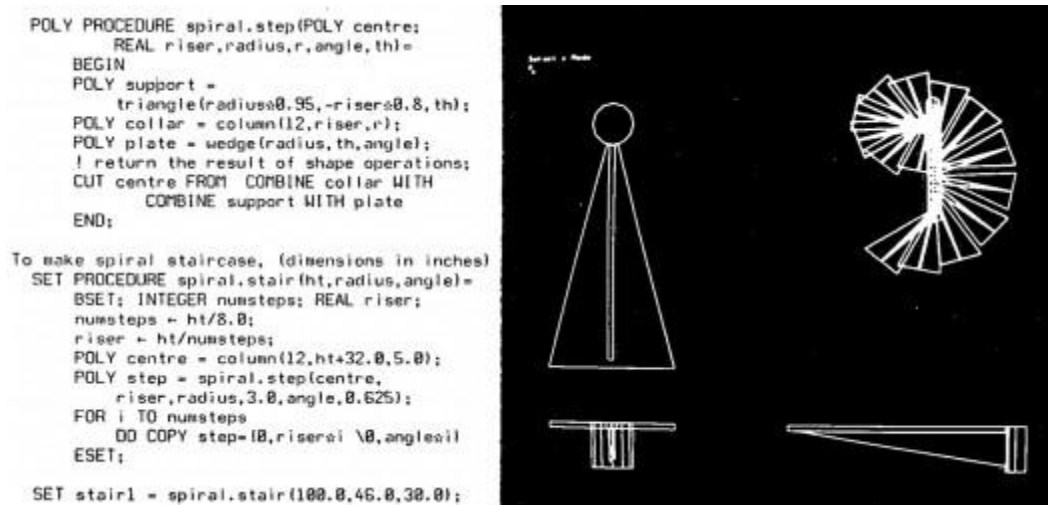
e) A capacidade de o programa gerar rapidamente, a partir do modelo tridimensional, desenhos de plantas, cortes e detalhamentos com alta qualidade e baixo custo, e que os desenhos seriam automaticamente consistentes uns com os outros;

f) A possibilidade de extrair do modelo várias análises quantitativas, pois este tipo de informação passaria a fazer parte da configuração dos componentes do modelo tanto quanto suas características geométrico-morfológicas.

Os autores concluem seu relatório de pesquisa dizendo que o objetivo era desenvolver um sistema computacional capaz de descrever a edificação até o nível de detalhe construtivo e elaborar um poderoso conjunto de operadores para esse sistema. No texto declaram expressamente que o sistema poderia ser usado também para o desenvolvimento das etapas preliminares do projeto, além de ser útil para o projeto de outros artefatos, não somente edificações. A flexibilidade do sistema foi um requisito importante, pois não pretendiam fornecer análises especializadas nem pacotes com instruções rígidas de operação que implicassem na adoção de uma filosofia de projeção em particular. Ao contrário, eles pretendiam que o sistema fosse redundante, de maneira a possibilitar muitas maneiras de definir o mesmo projeto, cada uma com diferentes resultados. Com tal atitude, os autores esperavam que diferentes projetistas e programadores desenvolvessem extensões personalizadas diversas para o programa (EASTMAN *et al.*, 1974, p. 22), exatamente como ocorre atualmente com os sistemas que permitem BIM.

Eastman concluiu que o BDS reduziria o custo do projeto, através da "eficiência de desenhos e análises" em mais de cinquenta por cento. O projeto de Eastman foi financiado pela *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA), e foi escrito antes da era dos computadores pessoais, em um computador PDP-10. Muito poucos arquitetos foram capazes de trabalhar no sistema BDS e não está claro se algum projeto real foi realizado usando o *software*. BDS foi uma experiência que identificou alguns dos problemas mais fundamentais a serem abordados no projeto arquitetônico ao longo das décadas por vir. O projeto seguinte de Eastman, a GLIDE (*Graphical Language for Interactive Design*), criada em 1977, também na *Carnegie Mellon University*, exibia a maioria das características de uma plataforma BIM moderna. (BERGIN, 2012). Uma tela desse programa é mostrada abaixo, na Figura 11.

Figura 11 - Códigos e tela do *software* GLIDE, de Charles Eastman.



Fonte: Eastman e Henrion (1977, p. 33).

Laiserin (2008) descreve pesquisas semelhantes levadas a cabo em fins da década de 1970 e início da seguinte na Europa, notadamente no Reino Unido, em paralelo com os primeiros esforços para comercialização dessa tecnologia. Afirma que durante os anos 1980 esse método ou abordagem era mais comumente descrito nos EUA como *Building Product Models*, e na Europa, particularmente na Finlândia, como *Product Information Models*, sendo que a palavra *product* era usada para distinguir da modelagem de processos. Segundo o autor, o próximo passo na evolução da nomenclatura seria eliminar o termo duplicado *product*, para que a fusão das duas expressões resultasse em *Building Information Model*. Laiserin ressalta que na língua alemã já existia o termo *BauInformatik*, mas que o sentido seria mais genérico, em referência ao uso da informática na construção civil. Também em Holandês já havia um termo, *Gebouwmodel*, usado na segunda metade da década de 1980, o qual, no contexto em que era empregado, poderia ser traduzido para o Inglês muito mais como *Building Product Model* do que *Building Model*, que seria a tradução literal (LAISERIN, 2008).

1982 — Enquanto os desenvolvimentos aconteciam rapidamente nos Estados Unidos, havia no antigo Bloco Soviético dois programadores que iriam acabar definindo o mercado de BIM, como conhecemos hoje: O ucraniano Leonid Raiz e o húngaro Gábor Bojár. O primeiro viria a ser o co-autor do Revit, e o segundo o criador do ArchiCAD. O programa ArchiCAD foi desenvolvido em 1982, em Budapeste, Hungria por Gábor Bojár, um

físico que se rebelou contra o governo comunista e começou uma empresa privada escondido. Relatos não confirmados (BOZDOC, 2003; BERGIN, 2012) contam que Bojár teria empenhado as jóias de sua esposa para poder adquirir e contrabandear para a Hungria dois computadores Apple Lisa, nos quais teria escrito as primeiras linhas de código do programa. Na época, a posse de computadores pessoais era ilegal naquele país. Usando uma tecnologia similar ao BDS de Eastman, Bojár lançou o *software* Radar CH, em 1984, para o sistema operacional do Apple Lisa. Este *software*, mais tarde, se tornou o ArchiCAD, e a empresa de Bojár a Graphisoft. ArchiCAD é considerado por essa razão o primeiro *software* para BIM a rodar em um computador pessoal, e a Graphisoft um dos poucos negócios iniciados em um país socialista a dar certo fora de suas fronteiras e se tornar multinacional (BERGIN, 2012).

O *software* era lento para iniciar, e como Bojár teve que lutar contra um clima de negócios hostil na Hungria e as limitações do sistema operacional de um computador pessoal como o Apple Lisa e depois o Apple Macintosh, o ArchiCAD não foi usado em projetos de maior porte até muito mais tarde. O ArchiCAD recebeu melhorias substanciais entre 2007 e 2011, e tem sido usado principalmente como uma ferramenta para o desenvolvimento de projetos residenciais e comerciais pequenos na Europa. As recentes melhorias firmaram o ArchiCAD no mercado, embora deficiente em alguns recursos fundamentais, como um componente para planejamento da obra, além do complexo (porém flexível) ambiente de programação para seus componentes nativos usando GDL (*Geometric Description Language*) (BERGIN, 2012).

1985 — Não muito tempo depois que a Graphisoft começou a vender as primeiras licenças do Radar CH, a Parametric Technology Corporation (PTC) foi fundada em 1985 e lançou a primeira versão do Pro/ENGINEER, em 1988. Este era um programa de CAD para Engenharia Mecânica que utilizava um recurso de modelagem paramétrica baseada em restrições (*constraints*).

1986 — O primeiro uso documentado da expressão inglesa *Building Modeling*, no sentido em que *Building Information Modeling* é usado hoje, apareceu no título de um artigo publicado por Robert Aish em um congresso sobre o uso de

computadores nos projetos de engenharia ambiental relacionada aos edifícios, ocorrido em Hong Kong, em 1986 (AISH, 1986; LAISERIN, 2008; MENEZES, 2011). Nessa publicação, Aish estabeleceu as características do que atualmente se conhece por BIM e a tecnologia para sua implementação: Modelagem em 3D da edificação, extração automática dos desenhos a partir do modelo, componentes paramétricos inteligentes, bancos de dados relacionais, faseamento temporal do processo de construção, e outros (AISH, 1986). Aish ilustrou seu artigo com um estudo de caso onde o *software* britânico RUCAPS fora utilizado por ele para o projeto e o planejamento da reforma do terminal nº 3 do aeroporto londrino de Heathrow, em fases. O sistema RUCAPS havia sido desenvolvido pela GMW Computers em 1986, e o primeiro programa a usar o conceito de faseamento temporal⁷⁷ dos processos da construção, razão porque foi o *software* eleito pela equipe que planejou a reforma do terminal nº 3 (BERGIN, 2012). Laiserin (2008) esclarece ainda que, ao contrário do que ficou registrado em muitos textos sobre as origens de BIM, não foi a construção do terminal nº 5 do aeroporto de Heathrow o primeiro exemplo da aplicação da tecnologia e dos processos envolvidos no uso de BIM.

1988 — A fundação, por Paul Teicholz, em 1988, do *Center for Integrated Facility Engineering* (CIFE) na Universidade de Stanford estabeleceu mais um marco no desenvolvimento de BIM, ao fomentar a criação de uma forte colaboração entre estudantes de doutorado da instituição e membros da indústria de AECO, com o objetivo promover o desenvolvimento de modelos de edificações 4D, neste caso a quarta dimensão eram os atributos de tempo para a construção. Isto marca um ponto importante, onde duas tendências no desenvolvimento da tecnologia BIM se dividiriam e se desenvolveriam ao longo das próximas duas décadas. De um lado, o desenvolvimento de ferramentas especializadas em várias disciplinas para servir à indústria da construção e melhorar a eficiência no processo de construir. Por outro lado, foi o tratamento do modelo BIM como um protótipo que possibilitou testes e simulações de acordo com critérios de desempenho (BERGIN, 2012).

⁷⁷ Inovação que permitia o planejamento da construção por fases ao longo de um dado período de tempo, com base em uma espécie de cronograma que se podia obter a partir da base de dados do modelo da edificação.

1993 — Um exemplo posterior de uma ferramenta de simulação que fornecia soluções com base em um modelo é o *Building Design Advisor*, desenvolvido no *Lawrence Berkeley National Lab*, iniciado em 1993. Este *software* utiliza um modelo de um edifício e seu contexto para realizar as simulações. Este programa foi um dos primeiros a integrar análise gráfica e simulações para fornecer informações sobre como seria o desempenho do projeto frente a diversos fatores condicionantes em relação à orientação solar, geometria, propriedades dos materiais e sistemas de construção. O programa também inclui assistentes de otimização básicos, para subsidiar a tomada de decisões lastreadas em uma série de critérios que eram armazenados em conjuntos, chamados de *Solutions* (BERGIN, 2012).

2000-2002 — Tendo conhecido a fundo o trabalho com o Pro/ENGINEER, Irwin Jungreis e Leonid Raiz deixaram a PTC e começaram sua própria empresa de *software*, chamada *Charles River Software* em Cambridge-MA. Os dois pretendiam criar uma versão arquitetônica do *software*, capaz de lidar com projetos mais complexos do que com o ArchiCAD. Contrataram David Conant, arquiteto de formação, como seu primeiro funcionário, o qual projetou logo de início uma interface gráfica que durou por nove versões. Em 2000, a empresa desenvolveu um programa chamado Revit, uma palavra inventada, com as conotações de “revisão” e “velocidade” ou “vitalidade”. O programa foi escrito em linguagem C++ e utilizava um motor⁷⁸ de alterações paramétricas, tornado possível através da programação orientada a objetos. Em 2002, a Autodesk comprou a empresa *Charles River Software* e começou a promover fortemente o Revit, em concorrência direta com seu próprio *software* baseado em objetos, o *Architectural Desktop* (BERGIN, 2012).

2002-2012 — Desde 2002 o Autodesk Revit tem sido o *software* mais utilizado para *Building Information Modeling*. O programa consiste em uma plataforma que utiliza um ambiente visual de programação para criação de famílias de objetos paramétricos e permite, *e. g.*, que um atributo de tempo, dentre outros muitos, possa ser adicionado a um

⁷⁸ Parte de um *software*, geralmente um poderoso executável, dedicado a desempenhar determinada tarefa muito específica de vital importância para o funcionamento do programa em geral.

componente como a "quarta dimensão", vinculando assim o modelo à construção. Este recurso permite aos empreiteiros gerar cronogramas de obra com base nos modelos BIM e simular o processo da construção. Um dos empreendimentos mais antigos com uso de Revit para o projeto e a programação da construção foi o da *Freedom Tower*, em Manhattan⁷⁹. Este projeto foi concluído em uma série de modelos BIM separados, porém vinculados uns aos outros, os quais por sua vez foram atrelados a planilhas para fornecer em tempo real estimativas de custos e quantidades de materiais. Embora o cronograma de construção da *Freedom Tower* tenha sido sacrificado por questões políticas, melhorias evidentes na coordenação dos projetos e eficiência no canteiro de obras catalisaram o desenvolvimento de *software* integrados que podem ser usados para visualização e interação com arquitetos, engenheiros e empreiteiros simultaneamente dentro de um esquema de trabalho colaborativo (BERGIN, 2012).

No que tange especificamente à parte de elaboração do modelo tridimensional do projeto arquitetônico, dentro de uma dinâmica de trabalho simultânea e colaborativa, tem existido uma tendência para que um mesmo arquivo seja composto por dados do projeto arquitetônico junto com os de sistemas prediais (BERGIN, 2012). Neste sentido, a Autodesk lançou versões do Revit especificamente para engenheiros estruturais e mecânicos. Este aumento da colaboração tem tido impactos generalizados sobre o ramo de AECO, induzindo a um deslocamento dos contratos do tipo projeto-orçamento-construção (*design-bid-build*) rumo a um processo integrado de projeto (*Integrated Project Delivery – IPD*)⁸⁰, no qual, tipicamente, várias disciplinas trabalham sobre um conjunto mutuamente acessível de modelos BIM que são atualizados com diferentes graus de frequência. Em geral, um usuário do sistema tem acesso a um componente do modelo que fica em um servidor central. Pode selecionar este objeto e aplicar a ele um atributo de proprietário, por exemplo, de modo que outro usuário que está trabalhando em um determinado subprojeto desse mesmo modelo pode ver todos os objetos, mas só pode alterar aqueles para os quais tem

⁷⁹ Edifício hoje denominado One World Trade Center, ou WTC 1, de autoria do escritório de Daniel Libeskind e David Childs.

⁸⁰ Cf. AIA. **Integrated Project Delivery: A Guide**. New York NY, Sacramento CA: The American Institute of Architects (AIA National e AIA California Council). 2007.

um protocolo de acesso e edição. Este recurso permite que grandes equipes de arquitetos e engenheiros possam projetar simultaneamente com um modelo n-dimensional integrado, em um esquema de trabalho colaborativo intensivamente apoiado em TIC. Concretiza-se assim a possibilidade vislumbrada em 1968 por Douglas Engelbart no projeto NLS, e com todas as características imaginadas por Eastman *et al.* em 1974.

Entretanto, mesmo com a hegemonia de um fornecedor no mercado mundial de *software* para BIM, uma grande variedade de programas usados por arquitetos e engenheiros costuma tornar difícil a colaboração entre as diferentes equipes, por falta de interoperabilidade entre aplicativos de fornecedores diferentes, e até do mesmo fabricante. Diversos formatos de arquivos perdem fidelidade ao serem convertidos para várias plataformas, especialmente modelos em BIM, cuja informação é hierárquica e específica. Para combater essa ineficiência, foi desenvolvida em 1995 a *International Foundation Class* (IFC), um formato de arquivo com a promessa de eliminar ou pelo menos reduzir as perdas de informações nas conversões de arquivos. Este formato de arquivo continua em evolução para permitir a troca de dados entre plataformas BIM sem perda de informações. Este esforço tem sido expandido através do desenvolvimento de alguns aplicativos de visualização como o Navisworks, por exemplo, projetado especialmente para coordenar o trabalho com diversos formatos de arquivo. O Navisworks permite coleta de dados, construção, simulação e detecção de interferências (*clash detection*) e tem sido usado nos maiores empreendimentos dos EUA atualmente (BERGIN, 2012).

A importância de BIM como suporte tecnológico a IPD tem sido amplamente reconhecida. Não existem dados estatísticos de abrangência nacional sobre a utilização da plataforma no Brasil. Uma pesquisa feita pela McGraw-Hill Construction com os profissionais e empresas do setor de AEC na América do Norte mostrou que a porcentagem de empresas do ramo de AEC que utilizam BIM saltou de 28% em 2007 para 49% em 2009, e para 71% em 2012. Houve também neste período uma mudança no perfil dos agentes que mais adotaram a tecnologia, sendo hoje os empreiteiros norte-americanos e canadenses o grupo majoritário de usuários de BIM, suplantando pela primeira vez os arquitetos. A Figura 12 apresenta um gráfico estatístico da adoção de BIM pelos vários profissionais da

construção civil na América do Norte, segundo os tipos e tamanhos de empresas, entre 2009 e 2012.

Figura 12 - Gráfico estatístico da adoção de BIM pelo setor de AEC na América do Norte.

Adoção de BIM por tipo e tamanho de empresa na América do Norte (2009 e 2012)

■ 2009 ■ 2012



Fonte: McGraw Hill Construction, (2012). Tradução nossa.

Existem atualmente no mercado programas de avaliação de desempenho ambiental da edificação, como o Building Design Advisor, Ecotect, Energy Plus, IES e Green Building Studio. Esses programas permitem importação direta do modelo BIM para obter resultados a partir de simulações. Em alguns casos, há simulações construídas diretamente no *software* de base. Este método de visualização do desempenho ambiental do projeto foi introduzido pelo *software* experimental Vasari, da Autodesk, versão beta⁸¹ de um programa autônomo semelhante ao Revit *Conceptual Modeling Environment*, onde os estudos solares e níveis de insolação podem ser calculados utilizando dados climáticos semelhantes ao pacote Ecotect.

2012 até o presente — No final de novembro de 2012, a empresa Autodesk lançou o Formit, um aplicativo para dispositivos móveis que permite modelar intuitivamente o croqui em 3D de uma edificação, de maneira muito semelhante ao trabalho com o Trimble

⁸¹ Versão Beta: Versão experimental de um *software*, disponibilizada pelos fabricantes a certas parcelas do público-alvo, como forma de submeter o produto a testes e condições não totalmente previstas pela equipe de desenvolvimento. O objetivo é o aperfeiçoamento do programa via sugestões e críticas dos usuários.

SketchUp, porém com a vantagem de o modelo criado ser inteiramente compatível com o Revit Architecture (BERGIN, 2012).

Até a existência do Formit, nenhum outro programa havia se equiparado ao Sketchpad de Sutherland (1963), no que diz respeito à naturalidade e simplicidade de operação, e à semelhança imediata com o uso do lápis, representado pela *light pen*. A visão de futuro de Sutherland (1963, 2012) pode ser discernida claramente no próprio nome dado por ele ao seu programa de projeto. É relevante destacar que o termo inglês *sketchpad* já existia há muito, com o significado literal de “bloco de croquis”⁸², e a óbvia conotação de simplicidade e portabilidade. Porém, quando se assiste aos filmes e se veem as fotos de Ivan Sutherland e Timothy Johnson a operar o computador TX-2 do *MIT Lincoln Laboratory*, tão grande que justificava um edifício exclusivo, é difícil associar aquela máquina gigantesca a um bloco de esboços. A simplicidade de um *sketchpad* eletrônico, como a pesquisa indica, estava na mente de Sutherland e dos pioneiros, mas não ainda em suas mãos nem diante de seus olhos.

Significativamente, quase como num retorno às origens do pensar-e-fazer arquitetural, os arquitetos mais alinhados com as tecnologias atuais voltam a levar para todo lugar seus inseparáveis caderninhos de croquis. Agora, porém, eles possuem o irresistível apelo estético e funcional da alta tecnologia, e se apresentam sob a forma de tablets e *smartphones*, nos quais *design-by-drawing* reaparece expandido (*augmented*) e n-dimensional, a possibilitar uma percepção ampliada do projeto em uma realidade expandida⁸³, como imaginavam Engelbart, Negroponte e os pesquisadores de *Design Methods*. O que os pioneiros não poderiam supor é que o desenho, agora eletrônico, viesse a reassumir seu status de principal ferramenta de concepção da forma do projeto

⁸² Uma consulta a dicionários da língua inglesa mostra que o termo deriva da palavra *sketch*, traduzida como croqui, esboço + *pad*, que possui, dentre vários significados o de bloco de papel. A ideia desse termo é equivalente ao francês *cahier d'artiste*, pequeno bloco de croquis que cabia no bolso e era levado para todo lado pelos viajantes, artistas e arquitetos dos séculos anteriores, como recurso para o registro de ideias e desenhos em seu processo de criação de projetos, quadros e esculturas.

⁸³ Augmented reality.

arquitetônico. Desenho, sim, mas agora multidimensional, interativo e mutante, possibilitando ao projetista uma percepção expandida de todas as características da edificação, não apenas a forma e a geometria — ou seja: com todas as características daquilo a que chamamos “realidade”.

2.4 SINOPSE

A literatura consultada não evidenciou vínculos claros entre os pensadores que propuseram e desenvolveram estudos em *Design Methods* e os que se dedicaram ao desenvolvimento das tecnologias para CAD e BIM. Provas da existência dessa relação seriam projetos de pesquisa, artigos em periódicos ou outras publicações em simpósios e eventos científicos da época, programas de computador e outras produções, cuja co-autoria tivesse sido de dois ou mais personagens pertencentes a essas duas linhas de expansão do conhecimento projetual e tecnológico. Parece não ter existido, de fato, um intercâmbio mais direto entre os pesquisadores dos dois campos, com poucas exceções, como Negroponte, Lawson e Alexander. As histórias da construção do conhecimento nessas áreas se mostram como duas vertentes tão contemporâneas quanto paralelas e com pouca comunicação direta entre seus respectivos personagens, embora ambas com o mesmo objetivo de tornar o processo de projeto mais conhecido, metodológico, sistemático e eficaz.

Trabalhos como o mencionado artigo eletrônico de Bergin (2012), *e. g.*, referem-se a uma influência do pensamento de Christopher Alexander e sua linguagem de padrões sobre os cientistas da computação que mencionam, mas não explicitam até que ponto, ou de que modo, não citam fontes nem fundamentam a menção com outras informações relevantes. A recíproca é verdadeira. Autores de *Design Methods*, como Lawson, em *Computers, Words and Pictures*, *e. g.*, mencionam as tecnologias para projetar, no caso CAD (LAWSON, 1997), mas sem explicitar uma influência do pensamento dos métodos de projeto no desenvolvimento deste recurso ou vice-versa. Lawson chega a mencionar Negroponte (1995), mas o artigo é de 1997, quando já começava a se manifestar um movimento de convergência dos saberes produzidos pelos dois caminhos e o uso de CAD

pelos arquitetos já era corriqueiro, ao menos nas economias desenvolvidas. A consulta às muitas fontes primárias encontradas para subsidiar o estudo revelou ainda que nos escritos dos pensadores de uma corrente praticamente não aparecem citações aos trabalhos dos pesquisadores da outra.

O que fica claro, entretanto é que houve efetivamente uma influência da produção científica de uma vertente sobre a outra, pois os pesquisadores de *Design Methods* referem-se reiteradas vezes à tecnologia que se desenvolvia, e como ela poderia auxiliar no processo de projeto, enquanto que os trabalhos dos pesquisadores de CAD e BIM frequentemente desvelam visões e conceitos presentes na obra daqueles, sem citação dos autores, porém. Somente um estudo mais aprofundado desses movimentos, que poderia inclusive valer-se de entrevistas com vários sujeitos desta história recente que ainda estão vivos e atuantes, poderá explicitar essas ligações e o modo como aconteceram.

Para o propósito do estudo, o julgado relevante foi a constatação de que a atuação dos pesquisadores deu-se em duas instâncias bem distintas, que chamaremos de eixos de interesse, em torno dos quais giravam suas preocupações com relação ao processo de projeto como deveria ser no futuro. Os pesquisadores de cada eixo consideravam o conhecimento produzido no outro eixo como algo capaz de complementar ou justificar o aspecto que enfatizavam.

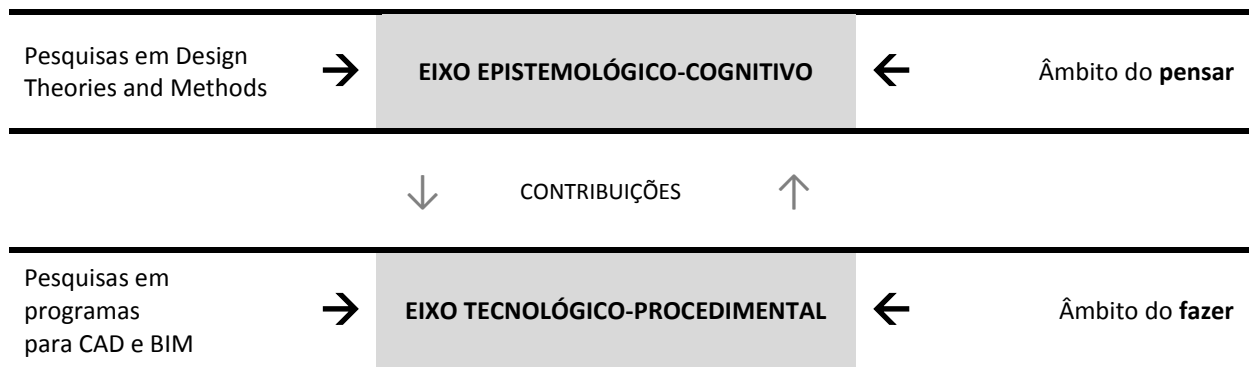
O primeiro eixo é representado pelos pesquisadores de *Design Theories and Methods*, que buscavam **avançar e sistematizar o conhecimento** do processo projetual com ênfase no seu aspecto **epistemológico-cognitivo**, para quem os recursos computacionais eram vistos como auxílio à colocação em prática de suas visões de projeção e implementação dos diversos métodos que foram propostos; além da busca pela delimitação de um campo de pesquisas para a área, o que veio efetivamente a ocorrer.

O segundo eixo é representado pelos pesquisadores de CAD e BIM, que buscavam **avançar e sistematizar as operações do processo projetual** com ênfase no seu aspecto **tecnológico-procedimental**, para quem as pesquisas em *Design Methods* eram

assimiladas como conhecimento útil para a construção da estrutura lógica dos sistemas que desenvolviam.

A atividade dos profissionais reflexivos, como Donald Schön classificou os arquitetos, engenheiros, planejadores urbanos, designers e outros (SCHÖN, 1983) é descrita como um ciclo iterativo de pensar-e-fazer, tornar a pensar sobre o que foi feito e tornar a fazer, diferente e melhor. A relação desses dois eixos com a prática reflexiva em Arquitetura e Urbanismo pode ser descrita como no esquema da Figura 13, abaixo.

Figura 13 - Eixos das pesquisas sobre o processo projetual.



Fonte: Autor.

3 O PARADIGMA ACEITO — Educação: Multi, inter e transdisciplinaridade

3.1 A DISCIPLINARIDADE TRADICIONAL

O objetivo desta pesquisa, expresso em seu título, é prestar uma contribuição ao ensino do projeto arquitetônico que seja significativa para a discussão sobre “um novo paradigma” capaz de delinear novas diretrizes do ensino do projeto arquitetônico na graduação, naquele sentido mencionado por Lara e Marques (2005). Um trabalho que pretendeu abordar um processo de ensino/aprendizagem não poderia deixar de incluir uma breve conceituação sobre o paradigma educacional atualmente aceito, baseado nos conceitos da complexidade e da transdisciplinaridade. Porém, se expostos isoladamente, tais conceitos pareceriam inaplicáveis à prática docente do projeto arquitetônico, ou mesmo desconectados do cotidiano da profissão e de seu ensino; ou ainda, não ter a importância que tem sido reconhecida para o estabelecimento de novos referenciais da Educação em geral e, por conseguinte, do ensino do projeto arquitetônico.

Uma vez que este trabalho foi desenvolvido dentro de um curso de mestrado em área outra que não a da Educação, na qual esses termos e as visões de ciência que representam já são bem conhecidos, tais considerações poderão ser úteis, principalmente para os jovens arquitetos que ingressam na carreira docente e ministram a disciplina de projeto arquitetônico. Faz-se necessária, assim, uma introdução a alguns tópicos da História da Ciência, raramente abordados nos cursos de graduação, a partir dos quais o estabelecimento de comparações entre **epistemologias**⁸⁴ de épocas diferentes pretende tornar claros os conceitos contemporâneos da complexidade e da transdisciplinaridade. Inicia-se, portanto, com uma sucinta conceituação do termo epistemologia, cuja compreensão do significado e sua relação com a noção de paradigma são essenciais.

⁸⁴ Neste caso, “paradigmas da ciência”.

Segundo Bunge (1980; apud VASCONCELLOS, 2009, p. 40), o conceito de epistemologia tem passado por diferentes mudanças. O termo significa, tradicionalmente, o ramo da teoria do conhecimento que se ocupa da natureza e da extensão do conhecimento científico, bem como do que se pode afirmar acerca do próprio conhecer, em oposição ao conhecimento vulgar e ao chamado senso comum. A epistemologia coloca questões do tipo “como se pode conhecer o mundo?”; ou: “como se pode conhecer um objeto de estudo?”; ou ainda: “em que se distingue o conhecimento científico do leigo?”. Considerava-se inicialmente, até cerca de 1920, que o “modo de conhecer” cientificamente um objeto, ou o “processo de conhecer”, seria condicionado pela concepção que se tem do mesmo objeto. Assim sendo, era comum admitir que, subjacente à epistemologia, encontrava-se a ontologia, ramo da Filosofia que se ocupa das especulações ou teorias sobre a natureza, o “ser” ou a “essência” daquilo que se pode conhecer.

A partir de 1921, os escritos dos filósofos do Círculo de Viena, notadamente Ludwig Wittgenstein e seu *Tractatus Logico-Philosophicus* (WITTGENSTEIN, 2008)⁸⁵, passam a ter grande influência. Wittgenstein introduziu o conceito de “lógica da proposição”, e considerava que as proposições científicas, ou seja, aquilo que se pode dizer, na linguagem, sobre o mundo, reflete de maneira especular o mundo. A Filosofia Analítica, como foi chamada, ou análise das proposições científicas deveria indicar como reconhecer as proposições verdadeiras, aquelas que descrevem adequadamente o mundo. Durante esse período, a epistemologia ficou reduzida à análise da linguagem da ciência, das proposições científicas (VASCONCELLOS, 2009). O mesmo Wittgenstein, anos mais tarde, em *Investigações Filosóficas* (WITTGENSTEIN, 1996)⁸⁶, muda drasticamente suas posições e passa a não mais considerar que “a linguagem reflete de maneira especular o mundo”, mas que “a linguagem *constitui* o mundo”. Esta afirmação do filósofo austríaco foi, sem dúvida, uma das primeiras rachaduras na concepção que se tinha até então de ciência, segundo a qual supostamente existiria uma realidade independente de um observador, pronta a ser

⁸⁵ O ano aqui referido é o da obra consultada. O livro foi publicado pela primeira vez em 1922.

⁸⁶ O ano refere-se à obra consultada. *Investigações Filosóficas* é uma coletânea póstuma dos escritos do filósofo, e o volume foi publicado pela primeira vez em 1953.

descoberta por este, se usasse os métodos, técnicas e instrumentos adequados. É também formulado de modo muito semelhante à afirmação de Maturana, Varela (2001), segundo a qual “existimos na linguagem”, como será visto em outro momento.

Finalmente, num estágio seguinte da formação do conceito, o termo epistemologia volta a ter seu sentido primitivo, o de filosofia da ciência, e não o de estudo da linguagem da ciência. Ela se propõe abordar vários aspectos da ciência e devido a isso possui algumas ramificações, como lógica da ciência, semântica da ciência, teoria do conhecimento científico, metodologia da ciência, ontologia da ciência, axiologia da ciência⁸⁷, e ética da ciência. Vasconcellos (2009, p. 41) refere-se a um artigo de Paul Dell (DELL, 1985) em que este menciona os diferentes significados que o termo epistemologia tem assumido, desde o tradicional, de teoria do conhecimento, até o de visão pessoal do mundo, passando pelos de paradigma e de cosmologia. A autora destaca dois sentidos freqüentes, cujas características aparecem sintetizadas no Quadro 2, a seguir:

Quadro 2 - Os dois sentidos do termo epistemologia, segundo Vasconcellos (2009).

DOIS SENTIDOS DO TERMO EPISTEMOLOGIA NA CIÊNCIA	
<p>Perguntas sobre o conhecer (perguntas epistemológicas)</p> <p>e</p> <p>Perguntas sobre o ser (perguntas ontológicas)</p>	<p>Respostas às perguntas sobre o ser e o conhecer</p> <p>ou</p> <p>pressupostos implícitos que configuram a visão de mundo que “todo mundo tem”</p>

Fonte: Vasconcellos (2009).

⁸⁷ Estudo dos valores da ciência.

No domínio das perguntas básicas que o ser humano vem sempre se colocando, e que toda disciplina busca responder, estão as questões: “Que é o mundo?”; “Que é e como é o conhecimento que o homem pode ter do mundo?”; “Que é conhecer, em sentido amplo?”. A epistemologia é, portanto, uma reflexão sobre como um campo do saber ou um campo de práticas responde a essas perguntas sobre o ser e o conhecer, perguntas essas epistemológicas e também ontológicas. Essas reflexões epistemológicas realimentam esse saber e essas práticas, evitando assim dogmatismos e facilitando o seu desenvolvimento. Então, tem-se que o primeiro uso do termo epistemologia refere-se ao estudo das **perguntas** sobre o conhecer, propriamente dito, ou **perguntas epistemológicas**, as quais sempre se apresentam relacionadas às perguntas sobre o ser, ou seja: são também perguntas **ontológicas** sobre um campo teórico ou prático (VASCONCELLOS, 2009).

O segundo uso frequente do termo se refere às **respostas** obtidas com tal estudo. Bateson (1979, p. 319 *et seq.*); em Vasconcellos (2009) argumenta que esses significados, embora diferentes, são indissociáveis. Neste sentido, pode-se dizer que uma pessoa, uma família, um grupo social, uma comunidade profissional possuem uma epistemologia, mesmo que não se deem conta disso. É nesta linha que Bateson (1979) afirma que “Todo mundo tem uma epistemologia, e quem diz que não tem, tem uma epistemologia muito ruim.”. Bateson quis compreender como alguém chega a ter uma epistemologia. À medida que aprendemos, desenvolvemos premissas básicas de conduta e de comunicação. Assim, adquirimos, ou vamos definindo para nós mesmos uma “epistemologia implícita, que todo mundo tem” (VASCONCELLOS, 2009), e que não é, portanto, algo herdado ou intuitivo, mas construído a partir de nossas experiências e comunicações. Se não reconhecemos esses fatos como premissas, na direção do que apontou Bateson (1979, 2000⁸⁸), podemos ficar sujeitos a uma ideologização e dogmatização de nossa visão de mundo, tomando-a como a única verdadeira. Assim, entendemos o dizer de Bateson de que uma epistemologia que não reconhece a si mesma como tal, ou como apenas mais uma epistemologia dentre várias possíveis e válidas, é uma epistemologia “muito ruim”.

⁸⁸ Ano da edição consultada. A obra é de 1972.

Portanto, quando se fala de uma “nova epistemologia da ciência”, está-se falando de uma nova visão ou concepção de mundo e de atividade científica, de uma nova concepção de conhecimento, implícita na atividade científica — **em suas teorias e práticas**. (VASCONCELLOS, 2009, p. 43, grifo nosso).

Assim, retornamos aos termos que intitulam este subitem, e uma vez compreendidos estes dois conceitos básicos de filosofia da ciência, a saber: “paradigma”⁸⁹ e “epistemologia”, entendemos que disciplinaridade tradicional, complexidade e transdisciplinaridade são termos de natureza essencialmente epistemológica mas ao mesmo tempo paradigmática. Epistemológica porque dizem respeito a maneiras diferentes de definir o mundo, e, por extensão, o conhecimento; e paradigmática porque “existimos na linguagem” (MATURANA, VARELA, 2001); e, sendo assim, uma epistemologia é um discurso que construímos *sobre* ou *a partir de* uma determinada visão de mundo e do conhecimento do mundo; sendo o mundo e o conhecimento modelados pelo que dizemos sobre eles, e este dizer tem tal força de persuasão que chega ao ponto de condicionar nosso pensar e nosso fazer, portanto, adquire o poder de um paradigma.

Neste sentido é que, ao tentar estabelecer um novo status epistemológico para o ato de projetar o artefato arquitetônico, requisito indispensável para uma heurística das teorias, experiências, métodos e instrumentos a serem aplicados na renovação do ensino do projeto arquitetônico, faz-se necessária esta breve conceituação do termo. Se alguém não sabe **o que é** uma coisa, não sabe onde nem como procurá-la e nem o que pode dela vir a conhecer. Tal como se procedeu com relação à noção de paradigma, na introdução deste trabalho, quando foi adotada a abordagem kuhniana do termo, aqui se trata de esclarecer o sentido em que será adotado doravante o termo epistemologia: Adota-se o sentido mais simples e útil para os objetivos propostos, ou seja, o de estudo da natureza e dos limites do conhecimento, porém sem excluir as demais conotações. Ao falar de “natureza”, a pergunta é do tipo “o que é?”; ao falar de limites, deseja-se saber “até onde?”; portanto, é necessária, antes de tudo, uma definição epistemológica para o projeto

⁸⁹ V. Introdução.

arquitetônico, pois sem ela não se pode conceituar a natureza desse pensar-e-fazer, nem até onde começa a se diluir a esfera de suas teorias e práticas.

Muitos foram os pensadores que contribuíram para a formação da chamada ciência moderna, ou “paradigma científico tradicional” como denominam Vasconcellos (2009), Moraes (1999), ou “ciência normal”, no dizer de Kuhn (2011). Existe uma grande quantidade de obras de referência que tratam da história do pensamento científico, por isso o panorama brevíssimo aqui apresentado ressaltará apenas os fundamentos e os construtores mais importantes desse “edifício filosófico”, como auxílio à compreensão — por contraste —, do “novo paradigma científico”. Os autores e obras citados neste parágrafo formam a base do exposto nos próximos.

A noção de disciplinaridade, como hoje se compreende o termo, é resultado da prevalência do “paradigma científico tradicional”, que se originou há cerca de 400 anos, organizou o conhecimento em disciplinas separadas, e ainda retém muito do paradigma newtoniano do mundo como máquina, do século 17 (VASCONCELLOS, 2009). A origem da atual forma de pensamento, valores e percepções que prevalecem na nossa concepção de realidade decorre de uma associação de várias correntes de pensamento da cultura ocidental, dentre elas a Revolução Científica, o Iluminismo e a Revolução Industrial, que estiveram presentes a partir dos séculos 17 a 19. As ideias iniciais, entretanto, que influenciaram de forma intensa a era moderna, são um pouco anteriores, e surgiram no século 16. (MORAES, 1999, p. 32).

Antes de 1500, prevalecia na Europa a visão de mundo orgânica, segundo a qual os fenômenos da natureza eram vistos numa relação de interdependência com os fenômenos materiais e espirituais. No campo das relações interpessoais, prevalecia o interesse da comunidade em detrimento dos interesses individuais. A estrutura científica predominante repousava nessa visão de mundo orgânica, e eram da maior significância as questões referentes à divindade, à alma humana e à ética. O objetivo principal da filosofia era servir de base à teologia e tinha como causa de suas preocupações religiosas a salvação da alma após a morte. Para o homem medieval, a realidade era sagrada, por ter origem

divina, e cabia ao homem contemplar e compreender a harmonia presente no universo. Predominava o autoritarismo na organização social, o respeito cego às autoridades, aos textos bíblicos e gregos. Foi um período de muita repressão ao livre pensamento e de quase inexistente desenvolvimento científico. Quem ousava discordar dos textos bíblicos arriscava-se a morrer na fogueira para expiar bruxarias associadas às inovações (MORAES, 1999, p. 33).

A partir dos séculos 16 e 17, a ciência medieval começa a mudar radicalmente, pois a visão de um mundo orgânico, vivo, espiritual e encantado deu lugar à noção de mundo-máquina, composto por objetos diferenciados, em razão das descobertas na física e na astronomia, promovidas por Nicolau Copérnico, Galileu Galilei e Isaac Newton. O Renascimento inaugurou o antropocentrismo, ao recolocar o homem no centro dos significados históricos, promoveu os descobrimentos marítimos que caracterizaram o mercantilismo, e possibilitou a emergência do racionalismo, com o advento da experimentação científica então possibilitada pela diminuição da influência da religião. De acordo com essa visão de ciência, a natureza existe não mais como “mãe nutridora” (CAPRA, 2005), mas para servir aos propósitos do humano, que pode explorá-la à vontade e dela extrair todos os segredos.

O racionalismo, segundo Morin (1996; apud MORAES, 1999), reafirma a visão de mundo em que há perfeita concordância entre o racional e a realidade do universo, concebida metafisicamente⁹⁰, excluindo, dessa forma, o irracional. Essa visão se baseia em uma afirmação lógica e dela deduz todas as consequências práticas, negando assim outras possibilidades de explicação. Estas ideias tiveram consequências nas relações humanas, em todos os seus aspectos sociais, culturais e políticos, e também na relação do homem com a natureza, pois ela já não representava, como antes, a linguagem divina.

⁹⁰ Uma concepção metafísica da realidade é aquela que supõe haver uma realidade maior, total, verdadeira, além e independente da nossa percepção, ideia esta fundamental para o paradigma científico tradicional. As descobertas no campo da física quântica e o desenvolvimento das neurociências, em especial o conhecimento sobre os nossos mecanismos perceptuais e cognitivos, a chamada “biologia do conhecer” (MATURANA, VARELA, 2001) em que assume especial relevância a linguagem, colocaram em xeque a noção de uma realidade independente de um observador.

Para explicar o desenvolvimento da ciência moderna, Vasconcellos (2009) e Moraes (1999) citam, quase na mesma ordem e com mesmo grau de destaque, alguns cientistas cujas contribuições foram capitais para a formação do paradigma científico moderno⁹¹:

Francis Bacon (1561 – 1626) defendia um novo método de investigação científica, que envolve a busca por descrições matemáticas da natureza. Suas ideias contrastavam radicalmente com a noção herdada da antiguidade clássica, segundo a qual a investigação do objeto visava à sabedoria, à ordem natural, à vida em harmonia com o universo. O período que se chamou de Revolução Científica inicia-se com Copérnico, quando este se opôs à concepção de um universo geocêntrico, alicerçada na Bíblia e em Ptolomeu, a qual vinha sendo defendida por mais de mil anos.

Galileu Galilei (1564 – 1642) também cria que a natureza podia ser descrita pela matemática, e introduziu os princípios da investigação empírica que se tornaram a característica predominante do pensamento científico do século 17, e que sobreviveram como importantes critérios de validação das teorias científicas atuais. Com Galileu inicia-se a valorização, na pesquisa, da verificação dos aspectos quantitativos da realidade observada: quantidade, peso, frequência, posição, movimento e outras. Estas qualidades eram vistas como propriedades objetivas dos corpos, inerentes a eles, em oposição às características ditas subjetivas, como cor, paladar, cheiro e som. Através de seus métodos, nasce o experimentalismo científico, que substituiu a argumentação da dialética formal pelo relato da observação dos fenômenos como se apresentam. Galileu submeteu a teoria de Copérnico à prova do telescópio, e aplicou sistematicamente o método experimental, combinado com a observação, a indução e a dedução matemática. É de Galileu a máxima “O livro da natureza está escrito em linguagem matemática”.

⁹¹ Ou seja, aquele anterior à física quântica e seus desdobramentos no campo filosófico, como por exemplo a complexidade.

David Hume (1711 – 1776) foi quem transformou o empirismo em visão de mundo, ao afirmar que nossas ideias são fruto das impressões de nossos sentidos. Para ele, toda a atividade do espírito era explorar fatos, e a reflexão nada acrescenta de essencial aos fatos. Portanto, só a experiência nos daria a ideia de sucessão dos fatos, e assim, de causalidade. Por sua ênfase no sujeito que percebe a realidade aliada à crença no conhecimento empírico a posição de Hume foi chamada de “subjetivismo empirista” (MORAES, 1999).

René Descartes (1596 – 1650), considerado o pai da ciência moderna, foi quem concluiu a formulação filosófica que embasou o conceito de ciência que vigorou até grande parte do século 20, quando começou a se formar o “novo paradigma da ciência”. Para Descartes, o fundamento do empreendimento científico era o raciocínio dedutivo, e a razão a única base segura para compreender o homem e a natureza. Reconhecia a superioridade da mente sobre a matéria e concluiu que eram duas coisas distintas e separadas. O dualismo mente/corpo \leftrightarrow espírito/matéria teve repercussões profundas no pensamento do Ocidente. O universo material, na concepção de Descartes, seria uma máquina sem vida e sem espiritualidade, a tal ponto que convenceu os biólogos a adotar uma “mecânica de relojoeiro” como modelo dos processos vitais (MORAES, 1999). Para Descartes, a natureza funcionava segundo leis matemáticas exatas, as quais, se conhecidas, possibilitariam a previsibilidade dos fenômenos. Seu pensamento passou a orientar a observação científica e a formulação de todas as teorias relativas aos fenômenos naturais até o início do século passado, quando então a Teoria da Relatividade e a física quântica provocaram mudanças significativas nessa visão de ciência e de natureza.

Isaac Newton (1642 – 1727) complementou o pensamento de Descartes, dando realidade à visão do mundo como máquina perfeita ao desenvolver uma completa formulação matemática da concepção mecanicista da natureza, a partir de uma grande síntese das obras de Copérnico, Kepler, Bacon, Galileu e Descartes. Por ter fornecido uma consistente base matemática aos estudos sobre o mundo da natureza, a física newtoniana se tornou o alicerce do pensamento científico até grande parte do século 20. Para Newton, todos os fenômenos físicos estavam reduzidos ao movimento das partículas causado pela atração mútua, pela força da gravidade. Era um mundo estático, flutuando num espaço

vazio, que, para ser conhecido, necessita ser decomposto em seus elementos constitutivos (MORAES, 1999). Como um exemplo clássico, Gell-Mann (1991; apud MORAES, 1999) escreve que, nessa concepção, o mundo era um sistema mecânico possível de ser descrito objetivamente e sem se relacionar com o observador humano, fazendo com que tal descrição objetiva da natureza se tornasse o ideal de toda ciência. Essa visão de um mundo-máquina que funciona da mesma maneira, sempre igual, deu origem ao mecanicismo como uma das grandes hipóteses universais da era moderna, e constituiu um dos pilares da ideia de progresso, influenciando todo o pensamento da burguesia ascendente a partir do século 18.

A comunidade científica, a partir da obra e das ideias desses pensadores, reconheceu a matemática como o instrumento por excelência para a análise, a lógica da investigação e o modelo de representação dos fenômenos físicos. Com base nesta influência, surgiram duas consequências importantes, que repercutiram em todos os âmbitos da pesquisa científica: A primeira é a ideia de que para conhecer é preciso quantificar; e que, portanto, o rigor científico é dado pelo rigor das medições. As qualidades do objeto não possuem valor científico. A outra está relacionada ao pensamento científico moderno, de que para conhecer é preciso dividir, classificar, isolar o objeto, para depois tentar entender separadamente as relações entre esse objeto e o contexto.

Segundo Boaventura de Sousa Santos, em seu artigo sobre as ciências (SANTOS, 1988), embora tenha havido algumas iniciativas pioneiras no século 18, foi somente no século 19 que esse modelo de racionalidade se estendeu também às ciências sociais emergentes à época.

A partir de então pode falar-se de um modelo global de racionalidade científica que admite variedade interna mas que se distingue e defende, por via de fronteiras ostensivas e ostensivamente policiadas, de duas formas de conhecimento não-científico (e, portanto, irracional) potencialmente perturbadoras e intrusas: o senso comum e as chamadas humanidades ou estudos humanísticos (em que se incluíram, entre outros, os estudos históricos, filológicos, jurídicos, literários, filosóficos e teológicos). (SANTOS, 1988, p. 48).

O autor defende ainda que a então nova racionalidade científica, sendo um modelo que se acreditava possuir aplicação generalizada, constituiu-se também em um paradigma totalitário, “na medida em que negava o caráter racional a todas as formas de conhecimento que não rezavam pela mesma cartilha epistemológica e pelas suas regras metodológicas”. (MORAES, 1999, p. 41).

Em um segundo momento da Modernidade, do final do século 18 até o início do século passado, buscou-se compreender a pessoa, sua personalidade e inteligência, por meio da aplicação de testes quantificadores matemáticos e estatísticos. Neste período, a Psicologia torna-se uma ciência separada da Filosofia, e começam a emergir as teorias psicológicas, dentre as quais destaca-se a Teoria Comportamental. Todas essas teorias buscavam explicar o comportamento humano, dentro de uma visão simplificadora de “causa e efeito”. A Sociologia, a partir da proposta positivista de Auguste Comte (1798 – 1857), tentaria explicar o comportamento social, porém na crença de que o conhecimento está fundamentado no objeto e não no sujeito. As afirmações, para serem aceitas dentro da lógica positivista, devem ser objetivas, impessoais e neutras, sendo os resultados da pesquisa restritos aos dados fornecidos pela experiência e pelas observações confiáveis e fidedignas. “A racionalidade no meio científico positivo envolve afirmações que devem ser impessoais, pois desmerecem qualquer posicionamento pessoal e de juízos de valor.” (BEHRENS, THOMÉ OLIARI, 2007, p. 59).

A respeito da influência do pensamento de Comte, Vasconcellos (2009, p. 63-65) acrescenta que este cientista propôs uma hierarquia entre as ciências segundo um critério de generalidade decrescente e rigor crescente, a que denominou “Lei dos Três Estágios”, separando as que atingiram das que não alcançaram o estágio dito “positivo”. Daí vem a ideia de que as diversas disciplinas científicas foram se desprendendo da Filosofia, deixando o estágio metafísico e se consolidando como ciência, ao passar para o estágio positivo. Assim, matemática, física, química e astronomia, por exemplo, já seriam ciências positivas, cada uma com seu objeto específico. Mais tarde, Comte introduz a Sociologia, termo criado por ele, ou ciência da sociedade humana, que deveria seguir o exemplo das demais e se transformar numa espécie de “física social”. Nessa ótica, só as ciências naturais já estariam no estado positivo, satisfazendo o padrão de cientificidade vigente e merecendo

o rótulo de *hard sciences*, ou ciências rigorosas. As ciências humanas, portanto, seriam *soft sciences*, pois não conseguiam satisfazer totalmente os critérios de rigor estabelecidos pelas *hard sciences*.

O modelo de racionalidade hegemônica da ciência moderna estendeu-se então do estudo da natureza ao estudo da sociedade, sob o argumento de que, tal como fora possível descobrir as leis da natureza, seria também possível descobrir as leis da sociedade. Usando esse modelo científico, os fenômenos sociais passaram a ser estudados como se naturais fossem, apesar das inúmeras diferenças entre eles. Os fatos sociais foram reduzidos, dada sua nova epistemologia formulada com base nas ciências da natureza, às suas dimensões externas, observáveis, mensuráveis, uma redução que quase nunca ocorre sem distorção dos fatos.

Vasconcellos (2009) e Behrens; Thomé Oliari (2007) concordam que três crenças orientaram a formação e a longa hegemonia da ciência tradicional e de seus pressupostos epistemológicos fundamentais, até grande parte do século passado:

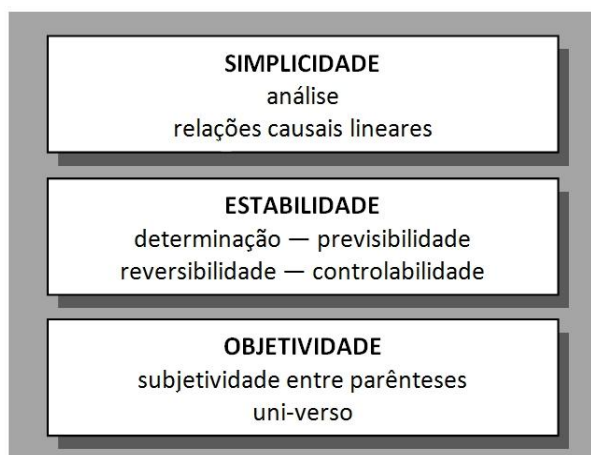
O pressuposto da simplicidade: a crença em que, separando-se o mundo complexo em partes, encontram-se elementos simples; em que é preciso separar as partes para entender o todo, ou seja, o pressuposto de que “o microscópio é simples”. Daí decorrem, entre outras coisas, a atitude de análise e a busca de relações causais lineares.

O pressuposto da estabilidade do mundo: a crença em que o mundo é estável, ou seja, em que “o mundo já é”. Ligados a esse pressuposto estão a crença na determinação, com a consequente previsibilidade dos fenômenos, e a crença na reversibilidade, com a consequente controlabilidade dos fenômenos.

O pressuposto da objetividade: a crença em que é possível conhecer objetivamente o mundo tal como “ele é” “na realidade” e a exigência da objetividade como critério de cientificidade. Daí decorrem os esforços para colocar entre parênteses a subjetividade do cientista, para atingir o “universo”, ou versão única do conhecimento.

A Figura 14, abaixo, extraída de VASCONCELLOS (2009), apresenta uma síntese dos pressupostos do pensamento orientado pelo paradigma científico tradicional:

Figura 14 - Os três pressupostos do paradigma científico tradicional.



Fonte: Vasconcellos (2009).

Embora a visão cartesiana do mundo venha sendo questionada, o desenvolvimento da ciência moderna possibilitou um grande salto evolutivo no conhecimento dos fenômenos, traduzido na democratização do conhecimento, no surgimento de técnicas extremamente eficazes para a construção de novos artefatos, e pela presença de um espírito científico de investigação aberta e validação pública do conhecimento (MORAES, 1999). Porém, essas conquistas aconteceram à custa de ter sido retalhada a visão de totalidade, e com a consequência, percebida atualmente como negativa, de supervalorizar os aspectos externos das experiências ignorando as vivências do indivíduo, ao fundamentar sobretudo na razão as sensações expressas pelos cinco sentidos. Contrário a essa noção, Morin (1983, p. 17-18; apud VASCONCELOS, 2009, p. 46), declara:

[...] a maior parte dos cientistas ainda não fez a grande descoberta científica de que a ciência não é totalmente científica. A cientificidade é a parte emersa de um *iceberg* profundo de não-cientificidade, constituído pelos pressupostos ou postulados: [...] o postulado do determinismo universal, o princípio da causalidade são indemonstráveis, necessários à demonstração. (MORIN, 1983, p. 17-18; apud VASCONCELLOS, 2009, p. 46, *itálico no original*).

Moraes (*op. cit.*, p. 46-61 e 137) aprofunda uma crítica ferrenha ao paradigma tradicional da ciência, em uma longa sequência de exemplos solidamente

fundamentados, os quais não cabe detalhar em um trabalho desta dimensão, por isso são destacados nos tópicos a seguir os principais, finalizando este subitem. Escrevendo em tom que é quase um libelo, a Prof^a Maria Cândida Moraes observa que:

- A excessiva ênfase dada ao método cartesiano impregnou fortemente o paradigma dominante da ciência moderna, o que, com o passar dos séculos, provocou a fragmentação de nosso pensamento e a unilateralidade de nossa visão.

- A exclusão do pensador em relação ao seu próprio pensar, em consequência do tipo de ciência que passou a predominar, ou seja, uma ciência materialista, determinista, cheia de certezas, ignora o diálogo e as interações que existem entre os indivíduos, e entre ciência e sociedade, técnica e política.

- Insensível aos valores, o método reducionista enraizou-se em nossa cultura e levou-nos a um processo de alienação e a uma crise planetária de abrangência multidimensional, traduzida pela fragmentação, atomização e desvinculação. Em consequência, a cultura foi ficando dividida, os valores cada vez mais individualizados, e os estilos de vida cada vez mais patológicos (MORAES, 1999).

- O paradigma tradicional direcionou nossa educação à supervalorização de determinadas disciplinas acadêmicas em detrimento de outras, e levou à superespecialização, uma vez que todos os fenômenos complexos, para serem compreendidos, necessitam ser reduzidos às suas partes constituintes.

- No paradigma tradicional, a organização do ensino obedece a um modelo de organização burocrático, com estruturas hierarquizadas, em que as decisões são tomadas no topo da instituição, num nível não muito próximo dos alunos. Normalmente, as regras de controle e as propostas curriculares são feitas por pessoas distantes dos locais onde os alunos aprendem. O ensino é organizado por especialidades, funções, e cada disciplina é pensada separadamente.

- O paradigma científico tradicional levou a uma escola que continua dividindo o conhecimento em assuntos, especialidades, subespecialidades, fragmentando o todo em partes, separando o corpo em cabeça tronco e membros, as flores em pétalas, a história em fatos isolados, sem se preocupar com a integração, a interação, a continuidade e a síntese, na qual o professor é o único responsável pela transmissão do conteúdo. Uma escola que, em nome da transmissão do conhecimento, continua vendo o aluno como uma *tabula rasa*. Segundo Paulo Freire (1987; apud MORAES, 1999), é uma educação “domesticadora”, “bancária”, que “deposita” no aluno as informações, dados, fatos, uma educação em que o professor é quem detém o saber, a autoridade, é quem dirige o processo e representa um modelo a ser seguido.

Tendo conceituado o termo epistemologia e esboçado os contornos do paradigma cartesiano-newtoniano da ciência e suas consequências na educação, serão exploradas no subitem a seguir as características do novo paradigma científico, o qual vem provocando importantes desdobramentos no pensamento científico presente bem como na área da Educação, em que já constitui o paradigma aceito pelos seus pesquisadores mais eminentes.

3.2 A COMPLEXIDADE E A TRANSDISCIPLINARIDADE

Vasconcellos (2009) oferece-nos uma síntese útil para a compreensão das mudanças por que passa a ciência contemporânea, na transição do paradigma cartesiano-newtoniano, ou “paradigma tradicional”, como o designa a autora, para o chamado paradigma emergente. Por essa razão, a maioria dos quadros apresentados neste subitem foi obtida na referida obra. Aqui, outra vez, assumem especial relevância o livro da Profa^a Maria Cândida Moraes (1999) sobre o paradigma emergente na Educação, o artigo de Boaventura de Sousa Santos (1988), bem como os escritos de Edgar Morin, Basarab Nicolescu e Ilya Prigogine, os quais constituem as principais referências para este capítulo.

Foram muitos os fatores que levaram ao questionamento e consequente desestabilização do paradigma da ciência moderna, que se iniciou com as pesquisas da física e a Teoria da Relatividade nas primeiras décadas do século passado, e se intensificaram mais a partir dos avanços da física quântica e da “biologia do conhecer” de Maturana e Varela. Porém, segundo Moraes (1999), o início da mudança data do final do século 19. A autora mostra como, a partir daquele período, o paradigma cartesiano-newtoniano que havia se tornado a referência para todas as ciências e as fundamentou começava a perder seu poder explicativo tanto para as ciências ditas exatas ou físicas, como para as ciências biológicas e, sobretudo para as humanas. Vasconcellos (2009, p. 99) fornece um quadro em que mostra a adoção dos três pressupostos fundamentais do paradigma tradicional pelas três maiores áreas do conhecimento (Quadro 3, abaixo), indicando os graus de dificuldade da aplicação completa de seus métodos para o avanço das pesquisas.

Quadro 3 - Adoção dos pressupostos do paradigma tradicional pelas ciências.

	Ciências físicas	Ciências biológicas	Ciências humanas
simplicidade	tranquilo	difícil	difícil
estabilidade	tranquilo	especialmente difícil	difícil
objetividade	tranquilo	tranquilo	especialmente difícil

Fonte: Vasconcellos (2009, p. 99).

A ruptura entre o mundo moderno e o mundo contemporâneo inicia-se com Lamarck (1744 – 1829) e suas propostas segundo as quais todos os seres vivos teriam evoluído partindo de formas mais simples e chegando a graus de complexidade crescente. Suas ideias foram a base para a Teoria da Evolução das Espécies, de Charles Darwin (1809 – 1882), anos mais tarde. A teoria darwiniana da origem das espécies e de sua evolução, em razão de interações com o ambiente e da seleção natural, fizeram com que os cientistas abandonassem a ideia cartesiana de que o mundo era uma máquina perfeita construída por um ser divino. Segundo Prigogine (1996; apud MORAES, 1999), Darwin demonstrou que podemos compreender como as variações individuais sujeitas às pressões de seleção produzem um redirecionamento, um deslocamento da evolução. O universo passou então, a ser descrito como um sistema dinâmico, em permanente estado de mudança, no qual formas mais simples davam origem a formas mais sofisticadas.

Em paralelo à teoria de Darwin sobre as espécies, no campo da física os novos conceitos da termodinâmica indicavam a superação do modelo cartesiano-newtoniano, pois toda energia acaba dissipada sob a forma de calor, e esse fenômeno constatou-se ser irreversível. A partir de 1900, a física moderna, em especial a teoria quântica, formulada por Max Planck (1858 – 1947), introduziu o conceito de átomos de energia ou *quantum*, dando origem à mecânica quântica e à teoria quântica dos corpos. Esta teoria levantou uma série de questões não apenas relativas à física, mas também suscitou especulações sobre o papel do observador na conceituação do fenômeno, e questões sobre a possibilidade de simplificar o todo em partes menores mais inteligíveis; o que por sua vez colocava sérios problemas de natureza filosófica e epistemológica diante da comunidade científica. A questão fundamental, e que desafiava o paradigma dominante era: Até onde é possível objetivar nossas observações a respeito da natureza ou a experiência sensorial, independente do observador?

Com as novas descobertas, os físicos foram além do desenvolvimento da física atômica, buscando encontrar soluções para os problemas enfrentados pela humanidade e que, à primeira vista, interessavam somente aos filósofos ou historiadores da ciência. Em suas reflexões, começaram a deparar com princípios orientadores que possibilitavam novas percepções e conexões valiosas a respeito dos problemas da humanidade. (MORAES, 1999, p. 57).

Foi Albert Einstein (1879 – 1955), no entanto, quem fez a primeira grande investida contra o paradigma tradicional, com a publicação em 1905 de dois artigos, um sobre a teoria da relatividade da simultaneidade dos acontecimentos e outro sobre a maneira de conceber a radiação eletromagnética que caracterizaria a teoria dos fenômenos atômicos. Na Teoria da Relatividade, os conceitos tradicionais de espaço e tempo absolutos da física clássica não mais se sustentavam, ou seja, o conceito newtoniano de espaço absoluto como palco dos fenômenos físicos foi colocado de lado, o mesmo ocorrendo com a noção de tempo absoluto. (MORAES, 1999).

As descobertas relacionadas à teoria quântica acabaram de esfacelar os principais conceitos da visão de mundo cartesiana e da mecânica newtoniana, relacionados à noção de espaço e tempo absolutos, às partículas sólidas elementares, à objetividade científica, à causalidade e à separatividade, fazendo com que nenhum desses conceitos

pudesse sobreviver às novas descobertas da física. Obviamente, todos esses avanços também desafiavam a noção de uma realidade objetiva, independente de quem a observa.

Nos trabalhos desenvolvidos por Werner Heisenberg (1901 – 1976), descobriu-se que o comportamento das partículas é totalmente imprevisível, e que esta “incerteza” não é consequência de deficiências nos mecanismos de aferição, e sim um princípio que poderia ser demonstrado experimentalmente. Uma de suas grandes realizações como cientista foi ter expressado as relações matemáticas do Princípio da Incerteza, em 1927 (MORAES, 1999). Em referência a este princípio, Santos (1988, p. 55), explica que “não se pode reduzir simultaneamente os erros da medição de velocidade e da posição das partículas, o que for feito para reduzir o erro de uma das medições aumenta o erro da outra.”. Isso tem sérias implicações, pois faz desaparecer o conceito da física moderna de que os objetos tem uma forma, posição e movimento definidos e absolutos, substituindo essa noção pela de *probabilidade de existência* em determinado local e em determinado momento.

Outro aspecto importante da integração sujeito-objeto e do processo de observação é a dependência do ser em relação ao seu ambiente geral, ou seja, o contextualismo. Segundo Ilya Prigogine, a realidade só será revelada ao indivíduo através de uma construção ativa na qual ele participa. De acordo com Moraes (1999), Isso tem importantes implicações educacionais, como será visto adiante.

Além da ilusória natureza do ideal de objetividade e do fato de que não há nenhuma certeza científica, pois o rigor de nosso conhecimento é limitado, John Lukács (1987; apud MORAES, 1999) resumiu o pensamento de Heisenberg em várias proposições e, dentre elas, o reconhecimento da natureza ilusória da verdade factual e o surgimento de um antigo princípio que reconhece a mudança como componente essencial da natureza. Com base na compreensão da impossibilidade de determinar a exata posição e a exata velocidade da partícula atômica, conseqüentemente, uma unidade básica da matéria não é mensurável, não é averiguável. Portanto, como esclarece Moraes (1999), no nível subatômico, o que temos certeza para afirmar é que a existência das partículas não é fixa, e sim definida na

linguagem matemática por tendências, padrões de probabilidade de interconexões, em que as partículas, se consideradas isoladamente, não possuem significado ou inexistem.

Além do desenvolvimento da física, o desenvolvimento da química e da biologia também tem desafiado a coerência e a estabilidade do paradigma cartesiano-newtoniano. As investigações desenvolvidas pelo físico-químico Ilya Prigogine (1917 – 2003), prêmio Nobel de Química de 1977, por sua teoria das estruturas dissipativas e pelo princípio da ordem através das flutuações, vêm sendo de grande relevância para o desenvolvimento da ciência a partir da inclusão da probabilidade e da irreversibilidade nas leis da natureza, trazendo novas perspectivas (MORAES, 1999).

Para Prigogine (1986; apud MORAES, 1999), estruturas dissipativas ou dissipadoras são sistemas abertos, considerados sistemas organizacionais sem equilíbrio, ou quase sem equilíbrio, e que caracterizam os sistemas vivos. Os sistemas vivos, como complexos organizacionais abertos, refletem sua interação com o meio ambiente, com o qual as estruturas dissipativas estão trocando, constantemente, energia; mantendo assim um fluxo dinâmico e infundável. Nessa visão, um óvulo, uma semente, uma sociedade humana são sistemas abertos⁹². Para Prigogine, são processos aleatórios que demonstram que os sistemas abertos, ou seja, as estruturas dissipativas ou dissipadoras, que constituem a maior parte do universo, não são mecânicas, mas aleatórias. Para o cientista, aleatório significa não-determinado, espontâneo, novo e criativo. (MORAES, 1999).

Segundo Moraes (1999), a visão de Prigogine em relação às sociedades traduz uma profunda visão coletiva, uma nova perspectiva cultural, um reconhecimento de que a vida é possível numa perspectiva mais elevada. Sua teoria nos alerta para o fato de que a vida possui uma capacidade de inovação ilimitada, seja na arte, na ciência ou na sociedade, decorrente da compreensão de que tanto as moléculas como as ondas cerebrais,

⁹² Conceito que traz grandes implicações educacionais, por se colocar frontalmente oposto à visão de mundo segundo o paradigma científico tradicional, voltado para a estabilidade de sistemas vistos como fechados e com elevado grau de determinação e, conseqüentemente, de previsibilidade.

os indivíduos e as sociedades possuem um potencial ilimitado de transformação. Segundo Moraes (1999), na concepção de tempo em Prigogine,

O tempo é construção [...]. Não podemos ter a esperança de prever o futuro, mas podemos influir nele [...] as visões de futuro e até as utopias desempenham um papel importante nessa construção [...]. Há pessoas que temem as utopias, eu temo a falta delas. (PRIGOGINE, 1996, p. 268; apud MORAES, 1999, p. 69).

Vasconcellos (2009), corroborada por Behrens, Thomé Oliari (2007), argumenta que, diante da amplitude dos desenvolvimentos da ciência contemporânea, é possível distinguir três aspectos, correspondentes a avanços nas três dimensões epistemológicas, ou “nos três eixos” que adota como descrição do paradigma tradicional. A autora distingue os avanços, ou transições:

Do pressuposto da simplicidade para o pressuposto da *complexidade*: o reconhecimento de que a simplificação obscurece as inter-relações de fato existentes entre todos os fenômenos do universo e de que é imprescindível ver e lidar com a complexidade do mundo em todos os seus níveis. Daí decorrem, entre outras coisas, uma atitude de contextualização dos fenômenos (contextualismo) e o reconhecimento de uma causalidade recursiva.

Do pressuposto da estabilidade para o pressuposto da *instabilidade* do mundo: o reconhecimento de que o mundo não “é”, mas “está em processo de tornar-se”. Daí decorre necessariamente a consideração da indeterminação, com a consequente imprevisibilidade de alguns fenômenos, e de sua irreversibilidade, com a consequente incontornabilidade desses fenômenos.

Do pressuposto da objetividade para o pressuposto da *intersubjetividade* na constituição do conhecimento do mundo: o reconhecimento de que “não existe uma realidade independente de um observador” e de que o conhecimento do mundo é uma construção social, em espaços consensuais, por diferentes sujeitos/observadores. Como consequência, o cientista coloca a objetividade “entre parênteses” e trabalha admitindo autenticamente o *multi-versa*: múltiplas versões da realidade, em diferentes domínios linguísticos de explicações. (VASCONCELLOS, 2009, p. 101-102. Itálico no original).

A ideia de várias “versões da realidade” pode ser encontrada também nos escritos do físico e filósofo Basarab Nicolescu. Em seu Manifesto da Transdisciplinaridade (NICOLESCU, 1999)⁹³, bem como em dois artigos originados de uma palestra que proferiu em

⁹³ Ano da publicação consultada. O texto foi originalmente publicado em 1996.

2011⁹⁴ (NICOLESCU, 2012, 2013), este pensador conceitua o que se compreende por níveis distintos de realidade e faz importantes relações com o ensino nas universidades e a educação numa perspectiva geral.

Por “nível de realidade”⁹⁵ Nicolescu (1985) designa um conjunto de sistemas que são invariantes sob certas leis, por exemplo: as entidades quânticas estão subordinadas às leis quânticas, que se afastam radicalmente das leis do mundo macrofísico. Isso quer dizer que dois níveis de Realidade são diferentes se, ao ser feita a passagem de um para outro, produz-se uma ruptura nas leis aplicáveis e uma ruptura em conceitos fundamentais (por exemplo, a causalidade linear). O surgimento de pelo menos três diferentes níveis de realidade⁹⁶ no estudo dos sistemas naturais é um grande evento na história do conhecimento. Nesta concepção, dois níveis adjacentes estão conectados pela “lógica do terceiro incluído”. Uma explicação dessa proposição pode ser encontrada em Nicolescu (1999) e vários outros escritos desse autor. Ela se compõe de declarações lógicas sobre três objetos hipotéticos quaisquer (aos quais se refere como “termos” — “A”, “não-A” e “T”), definidos epistemologicamente como tais, e evidencia a limitação do paradigma cartesiano diante do paradigma da complexidade. As declarações são as seguintes:

A é A.

A não é não-A

Não existe um terceiro termo **T** que seja ao mesmo tempo **A** e **não-A**.

Esta é a lógica do terceiro termo excluído, ou seja, a lógica da simplicidade, de acordo com o paradigma científico tradicional. Segundo tal visão algo **é** ou **não é**⁹⁷, e

⁹⁴ Discurso central do Congresso Internacional de Educação Superior, ocorrido em Istambul, entre 27 e 29 de maio de 2011.

⁹⁵ Noção introduzida por ele pela primeira vez em NICOLESCU, B. **We, the Particle and the World / Nous, la particule et le monde**. 2. ed., Paris: Le Mail, 1985.

⁹⁶ Nicolescu (1985) refere-se aos níveis microfísico, macrofísico e o ciber-tempo-espaço, e menciona um quarto nível, o das supercordas, que unifica todas as interações físicas. Cf. NICOLESCU, B. **We, the Particle and the World / Nous, la particule et le monde**. 2. ed., Paris: Le Mail, 1985.

⁹⁷ Este “não ser” deve ser entendido no sentido de ser outra coisa, ser de outra natureza. Segundo a visão tradicional da ciência, tudo o que é diferente de “A” necessariamente é alguma outra coisa que não “A”. Daí

nada pode existir que seja ao mesmo tempo igual àquilo que a coisa é e àquilo que a coisa não é. Entretanto, como visto anteriormente, esta lógica só faz sentido dentro de um mesmo nível de realidade, ou, mais precisamente, dentro da ideia de que existe apenas UMA realidade, não várias, em “níveis”. A “lógica do terceiro incluído” considera que, em outro nível de realidade, ou seja, de acordo com a visão que um observador tem de seu ponto de vista sobre a realidade que ele mesmo constrói com seu próprio ato de observar e com o discurso explicativo que estabelece sobre o que observa, um terceiro termo “T” pode ser ao mesmo tempo “A” e “não-A”, sendo, portanto *incluído* entre as possibilidades.

A ideia de níveis de realidade só é concebível caso previamente seja aceito o pressuposto da impossibilidade de conhecimento de uma realidade metafísica externa e absoluta, e de que existem tantas “realidades”⁹⁸ quanto observadores. A ideia de níveis de realidade é o conceito fundamental do enfoque transdisciplinar da natureza e do conhecimento. De acordo com Nicolescu (2013), a universidade é um dos lugares centrais para superar as dificuldades impostas à aquisição de visão sistêmica pelos estudantes, geradas pela fragmentação do conhecimento e pela superespecialização. O autor considera indispensável estabelecer pontes entre as disciplinas e localiza na segunda metade do século passado a percepção da necessidade de enfoques multi, inter e transdisciplinares, os quais assim define:

a) A multidisciplinaridade aborda um tema de pesquisa de modo não restrito a uma disciplina apenas, mas aborda várias ao mesmo tempo. Nicolescu (2013) cita, como exemplo, a Mesquita Azul, que pode ser estudada não só no contexto da história da arte, mas também dentro do contexto da história das religiões, história da Europa, ou geometria. Desse modo, o tema de pesquisa resulta enriquecido ao incorporar as visões de

decorre que nada pode existir que seja ao mesmo tempo igual a “A” e àquilo que não é “A”, pois a coisa seria forçosamente “não-A”, ou seja, seria algo de outra natureza.

⁹⁸ Uma argumentação bastante detalhada no sentido de conceituar “realidades” e “real”, dentro de uma abordagem transdisciplinar, encontra-se em NICOLESCU, B. La necesidad de la transdisciplinariedad en la educación superior. **Trans-pasando Fronteras**, Cali-Colombia, n. 3, 2013, p. 23-30.

diferentes disciplinas. Embora sua meta se situe no campo disciplinar, a abordagem multidisciplinar ultrapassa as fronteiras disciplinares.

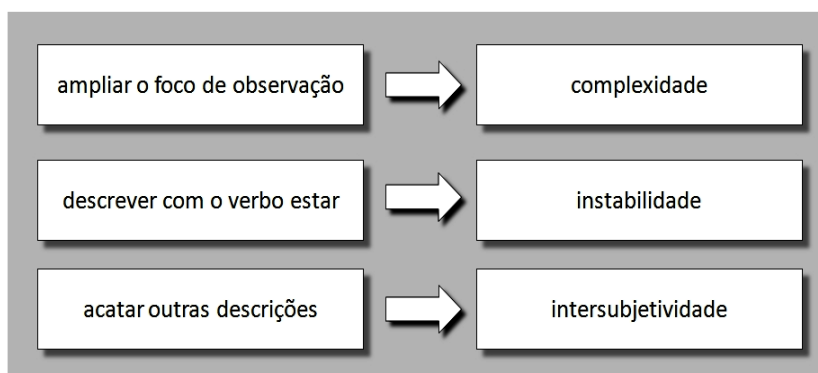
b) A interdisciplinaridade tem um propósito diferente da multidisciplinaridade. Ela ocorre quando se transferem ou aplicam os métodos e conhecimento de uma disciplina no campo de outra. O autor exemplifica ao mostrar que a transferência dos métodos e conhecimentos da física nuclear para a medicina levou ao surgimento de novos tratamentos radioterápicos para o câncer. Assim como a multidisciplinaridade, a interdisciplinaridade vai além dos limites disciplinares, mas seu objetivo ainda é no âmbito da pesquisa disciplinar.

c) A transdisciplinaridade considera, além desses aspectos multi e interdisciplinares, aquilo que está entre as disciplinas, através e além de qualquer disciplina. Seu objetivo é compreender o mundo de hoje. Para isso, um dos imperativos é a unidade do conhecimento. A pesquisa transdisciplinar é claramente diferente da pesquisa disciplinar, mesmo sendo-lhe totalmente complementar. A pesquisa disciplinar dá-se em um nível de realidade apenas; além disso, na maioria dos casos, está interessada somente em um “recorte” ou fragmento dessa realidade. Por outro lado, a transdisciplinaridade preocupa-se com a dinâmica gerada pela ação de vários níveis de realidade ao mesmo tempo, pois compreende que cada nível de realidade só é o que é em relação aos demais, isolado dos quais não seria sequer uma realidade passível de estudo, e que sem esta consideração não há parâmetro científico de pesquisa. A pesquisa transdisciplinar requer a ampliação do foco de pesquisa com vistas a não isolar o objeto de pesquisa de outros objetos que com ele se relacionam, observando-o em seu contexto, no qual compreender as relações entre eles é, por vezes, mais importante do que os próprios objetos sob observação. A descoberta desta dinâmica passa necessariamente pelo conhecimento disciplinar, condição complementar para o estabelecimento das correlações entre os fenômenos.

Vasconcellos (2009, p. 151) afirma que ao contextualizar o fenômeno, ampliando o foco, o observador percebe em que circunstâncias o fenômeno acontece, vê relações intrassistêmicas e intersistêmicas. Vê não mais um fenômeno, mas uma teia de

fenômenos recursivamente interligados e, portanto, terá diante de si a **complexidade**⁹⁹ do sistema. Ao distinguir o dinamismo das relações presentes no sistema, o observador defronta-se com um processo em curso, um sistema em constante mudança e evolução, auto-organizador, com o qual não poderá pretender ter uma interação instrutiva, e estará, portanto, assumindo a **instabilidade**, a imprevisibilidade e a incontrolabilidade do sistema. Ao reconhecer a influência de sua própria participação na construção do nível de realidade com que está trabalhando, e ao validar as possíveis realidades instaladas por visões diferentes, o observador se inclui verdadeiramente no sistema que distinguiu, e passa a atuar no espaço de **intersubjetividade** que ele mesmo constitui com o sistema com que trabalha. A Figura 15 a seguir, reproduzida da obra da autora, resume os verbos que considera essenciais para “manter uma mente sistêmica” (VASCONCELLOS, 2009) e sua relação com os pressupostos do novo paradigma da ciência:

Figura 15 - "Como manter uma mente sistêmica".



Fonte: Vasconcellos (2009, p. 151).

Nicolescu (2012) defende que o conhecimento transdisciplinar é *in vivo*¹⁰⁰, interessado na correspondência entre o mundo exterior do objeto e o mundo interior do sujeito. Por definição, o conhecimento transdisciplinar inclui um sistema de valores que leva

⁹⁹ Complexidade aqui entendida não como complicação ou dificuldade, mas no sentido primitivo do termo latino *complexus*, i. e., “aquilo que é tecido junto”, entretecido como numa rede, acepção esta presente em muitos escritos de Edgar Morin.

¹⁰⁰ Em oposição a *in vitro*, i.e., em condições de laboratório, artificialmente, dentro do paradigma científico tradicional, que recorta o objeto e o isola de seu contexto.

em conta os valores humanísticos. Ele conduz a um novo tipo de educação, transdisciplinar, distinta da educação disciplinar, porém complementar a esta. O autor considera a construção da mente transdisciplinar na universidade o maior desafio dos dias de hoje, e pontua que para explorar esta nova educação, é necessário aplicar a metodologia transdisciplinar, fundada sobre três postulados de suma importância para a educação superior (NICOLESCU, 2012):

a) O postulado ontológico: Existem, na natureza e em nosso conhecimento da natureza, diferentes níveis de realidade do objeto e diferentes níveis de realidade do sujeito.

b) O postulado lógico: A possibilidade de passagem coerente de um nível de realidade a outro é assegurado pela lógica do terceiro incluído.

c) O postulado epistemológico: A estrutura da totalidade dos níveis de realidade é uma estrutura complexa: cada nível só é o que é porque todos os níveis existem ao mesmo tempo.

Assim, tomando como referência esses postulados, Nicolescu conclui afirmando que se a universidade pretende ser um ator válido no desenvolvimento sustentável, tem primeiro de reconhecer o surgimento de um novo tipo de conhecimento: o conhecimento transdisciplinar. A nova produção do conhecimento, segundo o filósofo, exige uma abertura multidimensional necessária do processo de aprender: dirigido à sociedade civil, dirigido ao ciberespaço-tempo, buscando o objetivo da universalidade, no sentido de uma redefinição dos valores que governam sua própria existência (Nicolescu, 2012; 2013).

O Quadro 4, abaixo, reproduzido e traduzido dos artigos mencionados, estabelece a comparação entre a educação disciplinar e a transdisciplinar, na visão desse autor.

Quadro 4 - Comparação entre educação disciplinar e educação transdisciplinar.

Educação Disciplinar (ED)	Educação Transdisciplinar (ET)
<i>IN VITRO</i>	<i>IN VIVO</i>
Um nível de Realidade	Vários níveis de realidade
Mundo externo - Objeto	Correspondência entre o mundo externo (Objeto) e o mundo interno (Sujeito)
Acumulação de conhecimento	Compreensão
Inteligência analítica	Novo tipo de inteligência – Harmonia entre mente, emoções e corpo
Lógica binária	Lógica do terceiro incluído
(Verdade absoluta / Falsidade absoluta)	(Verdade relativa)
Voltada para o poder e a posse	Orientada para o alumbramento ¹⁰¹ e o compartilhamento
Exclusão de valores	Inclusão de valores

Fonte: Nicolescu (2012, p. 12; 2013, p. 25). Maiúsculas, parênteses e negritos no original. Tradução nossa.

Conclui-se este subitem com as considerações da Prof^a Maria Cândida de Moraes, para quem a modificação do atual modelo de ensino passa necessariamente pela superação da educação voltada para a “transmissão” de informações pelo professor, para a cópia da cópia e para a reprodução do que o estudante encontra nos livros. Para a autora, o importante não é mais *o que* o aluno sabe, *o quanto* ele sabe ou *o quanto* ele é capaz de absorver, e sim *como* ele pensa, a qualidade de seu pensamento. “O modelo tradicional de ensino já não é compatível nem com o modelo de ciência atual nem, muito menos, com as necessidades e características de nossa época.” (MORAES, 1999, p. 163). Portanto, uma vez que “a arquitetura é uma disciplina que usa conhecimentos de ciências humanas, ciências sociais e naturais, tecnologia, ciências ambientais, artes e humanidades” (UNESCO/UIA, 2011), a formação do arquiteto, cuja *pièce de résistance* continua sendo o aprendizado do projeto arquitetônico, deve acontecer através de um processo necessariamente transdisciplinar.

¹⁰¹ Tradução do autor. No artigo de Nicolescu em idioma castelhano (2013), é utilizada a palavra *asombro*, e no outro artigo citado (2012), muito semelhante, porém em língua inglesa, o físico e filósofo romeno utilizou o termo *astonishment*. Em ambos os escritos o sentido é o de maravilhar-se, extasiar-se, ser tomado de surpresa e emoção diante de algo que se desvela impressionante e belo a iluminar a mente. Assim, a tradução *alumbramento* foi julgada a mais adequada, excluindo-se os correspondentes portugueses mais diretos *assombro* (com uma conotação de temor ou espanto) e *deslumbramento* (termo mais vulgarizado, com a conotação de admiração ingênua ou passageira).

3.3 METODOLOGIAS ATIVAS NO ENSINO SUPERIOR — PBL E PJBL

A atual estrutura universitária, da forma como se encontra organizada em torno da fragmentação do conhecimento em disciplinas e departamentos estanques, é fruto da centenária prevalência do paradigma cartesiano-newtoniano de ciência, segundo o qual, para se adquirir compreensão de um fenômeno, é preciso isolá-lo de seu contexto, efetuando o menor recorte possível, para então, num momento posterior, quando já se considera compreendido o objeto de estudo, buscar o entendimento das relações entre ele e um determinado contexto. Porém, com a crescente complexificação do mundo que construímos e das relações sociais contemporâneas, e com a emergência de problemas ambientais, sociais e econômicos de tipo e escala inéditos na história, já na segunda metade do século passado ficaram patentes as limitações das teorias, experiências, métodos e instrumentos daquele antigo paradigma em alguns campos do saber.

O enquadramento da pesquisa científica nos pressupostos da simplicidade, da estabilidade e da objetividade mostrou-se especialmente difícil nas ciências sociais e nas ciências biológicas, conforme observou Vasconcellos (2009, p. 99)¹⁰². Diante do desafio de ensinar, professores que já haviam sentido os efeitos das limitações do paradigma científico tradicional criaram e experimentaram métodos de ensino originais, com vistas ao desenvolvimento de visão sistêmica nos estudantes, a envolvê-los com situações de aprendizado quase autônomo, frente a problemas complexos, mais semelhantes aos encontrados no contexto *in vivo*, no dizer de Basarab Nicolescu. As chamadas metodologias ativas concebem a educação como forma de apontar caminhos para a autonomia, a autodeterminação pessoal e social, indispensáveis para o desenvolvimento da consciência crítica no sentido de transformar a realidade em que se vive. Desse modo, a motivação do aluno é o ponto-chave da relação ensino/aprendizagem. Nela o docente revela-se parceiro, motivador e catalisador desse processo.

¹⁰² Cf. Quadro 3.

A razão de se incluir este tema em um trabalho com o objetivo proposto é que para um número cada vez mais expressivo de profissionais de Arquitetura e Engenharias, e também para um ainda pequeno, porém importante grupo de contratantes está claro que a produção de um artefato somente atenderá a seus diversos *stakeholders*¹⁰³ se o processo de projeto for, desde o início, coletivo, multidisciplinar, simultâneo, compartilhado e colaborativo; na máxima extensão possível permitida pela tecnologia disponível e levando em alta consideração os custos de produção, os prazos de entrega e o ciclo de vida do produto (FABRÍCIO, 2002). São esses profissionais e contratantes os agentes econômicos que impulsionam a superação de práticas de projeto e visões do empreendimento já percebidas como inadequadas, mas ainda presentes na economia do setor da Construção Civil, em especial no sub-setor Edificações.

Quando se trata, então, do processo de projeto no setor da Construção Civil brasileira, no nicho de mercado das pequenas obras de edificações¹⁰⁴, existe um arcaico círculo vicioso no qual, do lado comprador o contratante típico não percebe valor em um projeto, nem o enxerga como um produto final, e sim como uma etapa compulsória, espécie de “pedra no meio do caminho” para se chegar a uma edificação. Sobre o projeto, Oliveira e Melhado (2006, p. 41) afirmam que é um produto difícil de ser compreendido pelos clientes, sendo que a maioria não percebe sua importância e não sabe comprá-lo, reduzindo sua avaliação à simples comparação de preços. Já aos profissionais e empresas de projetos, lado vendedor desse mercado, faltam capacitação profissional e estímulo financeiro para investir mais tempo na determinação precisa, na abrangência e no adensamento das informações do

¹⁰³ Partícipes e interessados no empreendimento. O Glossário do Guia PMBOK (PMI, 2004, p. 332 da edição eletrônica em PDF) assim traduz o termo inglês *stakeholder*: “Pessoas e organizações, como clientes, patrocinadores, organizações executoras e o público, que estejam ativamente envolvidas no projeto ou cujos interesses possam ser afetados de forma positiva ou negativa pela execução ou término do projeto. Elas podem também exercer influência sobre o projeto e suas entregas.”.

¹⁰⁴ Segundo dados do Comitê Brasileiro da Indústria da Construção - CBIC, relativos ao ano de 2011, apoiado em dados do Relatório Anual de Informações Sociais do Ministério do Trabalho e Emprego – RAIS 2011-MTE e na Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE 2.0/IBGE de novembro de 2006, havia no País 195.954 empresas formais de construção civil. Dessas, mais de um terço (39,55% ou 77.507 empresas) tinham até quatro empregados. Se somarmos a esse grupo o das empresas com até nove empregados, esse universo se amplia para mais de três quartos do total nacional (77,23% do total, ou 151.333). É notória a carência de capacidade técnica e gerencial nesses pequenos negócios, que representam o grosso dos construtores brasileiros.

produto, sendo em geral os *deliverables*¹⁰⁵ finais um conjunto espartano de desenhos, nada além de representações gráficas bidimensionais definidoras somente da geometria da obra de modo a atender aos parâmetros mínimos permitidos para viabilidade legal e que, na realidade do canteiro de obras, “em meio a um virtual caos, acabará sendo desobedecido e alterado com toda sorte de improvisações” (KOSKELA, BALLARD, TANHUANPÄÄ, 1997, p. 2).

Para sanar esta situação problemática, no que concerne à esfera de ação do arquiteto em um empreendimento de construção civil, o aprendiz precisaria ser exposto, durante sua formação, a conteúdos teóricos estreitamente vinculados a exercícios práticos que lhe conferissem uma predisposição a integrar conhecimentos, uma visão abrangente do artefato que projeta, vendo-o como parte do ecossistema artificial. Precisaria ser treinado para entender o processo de projeto como ação política, coletiva e além dos conhecimentos teóricos ministrados nas aulas, desenvolvido no âmbito de uma equipe multidisciplinar governada pela interdependência, confiança e colaboração (MELHADO, 1994, p. 179 *et. seq.*); totalmente devotada ao atendimento dos requisitos do cliente, do empreendimento e à qualidade do produto, que é o ambiente construído, numa perspectiva ampla.

A formação do arquiteto tem sido descrita como inadequada tanto para a projeção arquitetônica em si (pois na educação dele é concebida como ação individual isolada ou vagamente vinculada à concepção dos projetos complementares), como também para a gestão do processo de projeto, uma vez que esta atividade não é reconhecida como pertinente ao *métier* do arquiteto, e por isso disciplinas relacionadas ao assunto raramente existem nos currículos dos cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo (CGA&U). Guimarães e Amorim (2006, p. 52) pontuam que as funções de gerenciamento do projeto não costumam ser atribuídas aos arquitetos, visto que poucos possuem capacitação adequada. Os autores localizam as razões desse fato nas deficiências de formação e numa

¹⁰⁵ Ou “entregáveis”, no jargão utilizado pelos profissionais de gestão de projetos. Produtos que devem ser entregues a um cliente. O Glossário do Guia PMBOK (PMI, 2004, p. 305 da edição eletrônica em PDF) traduz o termo inglês *deliverables* como: “Qualquer produto, resultado ou capacidade para realizar um serviço único e verificável e que deve ser produzido para concluir um processo, uma fase ou um projeto. Muitas vezes utilizado mais especificamente com referência a uma *entrega* externa, que é uma entrega sujeita à aprovação do patrocinador ou do cliente do projeto.”. (itálico no original).

visão restrita que ainda permanece na categoria, e ressaltam que a superação desses problemas seria uma contribuição importante para a melhoria da qualidade do projeto e do empreendimento. Melhado (2001) também coloca especial ênfase na postura do arquiteto diante desse aspecto de seu próprio ofício quando afirma:

Dentro desse quadro, constata-se que **a atitude dos arquitetos** face à atividade de coordenação do projeto torna-se cada vez mais crucial para os resultados do empreendimento. (MELHADO, 2001, p. 71, grifo nosso).

A gestão do processo de projeto e a projeção arquitetônica requerem visão abrangente, sistêmica, integrativa, capacidade de estabelecer a organização geral do processo de projeto e de responsabilizar-se pela eficiência da construção, além de influir na organização das construtoras. Guimarães e Amorim (2006, p. 51) diferenciam, inclusive, o coordenador de projetos do gestor do processo de projeto, mostrando que o primeiro coordena todos os projetos, informações, alterações e soluções técnicas; enquanto o segundo centraliza todo o processo de projeto, integrando os projetos de arquitetura e os projetos dos sistemas da edificação, traduzindo os anseios do cliente e coordenando a equipe de projetistas. O gestor interage em todos os projetos, para perfeita cooperação entre eles. Assim sendo, é preciso que os cursos de Arquitetura e Urbanismo ministrem tais conteúdos, e usem para isso uma estratégia pedagógica cujo retorno para a sociedade seja um profissional com elevada capacidade integrativa de informações, tecnologias e processos; porém mais que isso, integrativa de políticas, vale dizer, de pessoas, de modo a reuni-las em torno de um objetivo comum, o que pressupõe estratégias de convencimento e geração de sinergia.

Sobre este ponto, Salama (2008, p. 100) observa que a arquitetura é criada em um campo de tensão entre razão, emoção e intuição, e sugere que a pedagogia do projeto arquitetônico deveria ser vista como “um treinamento rumo à manifestação da capacidade de conceber, coordenar e executar a ideia de construir”. Segundo o autor, este ato deve ser enraizado na tradição humanística e obriga a um entendimento abrangente da importância do conhecimento na projeção em arquitetura, ao mesmo tempo em que deve englobar a capacidade de integrar diferentes modalidades de produzir conhecimento.

A carência de um ensino universitário capaz de criar nos estudantes uma visão abrangente e integrativa não é fenômeno exclusivo de países periféricos como o Brasil. Nos Estados Unidos, nação que é em grande parte liderada por diplomados em cursos superiores (VANASUPA et al., 2011, p. 172), já se constatou a carência de profissionais capazes de enxergar suas expertises em relação a outras áreas do conhecimento, e de colaborar em iniciativas integradas. A situação da educação superior dos Estados Unidos, relatada com detalhes em um documento de 2007 que ficou conhecido em toda a sua comunidade acadêmica como *The LEAP Report*¹⁰⁶, foi considerada tão preocupante que seus redatores chegaram mesmo a questionar se as universidades daquele país estariam cumprindo seu contrato com a sociedade.

Savage et al. (2007), apud Vanasupa et al. (2011, op. cit.) mostraram que os autores do *LEAP Report*, em consonância com outros agentes econômicos pertencentes à comunidade dos negócios, chamaram a atenção para o alto nível de fragmentação do conhecimento no seio das organizações educacionais, com prejuízo do aprofundamento das abordagens do aprendizado e da colaboração entre disciplinas. Na prática, atesta o *LEAP Report*, essa fragmentação criou silos acadêmicos que impedem os esforços de professores e funcionários para promover uma abordagem mais sistêmica e integrativa da aprendizagem na universidade, e acrescenta que é necessário criar novas conexões e espaços comuns que ofereçam suporte à colaboração entre os diversos núcleos da instituição educacional. No entanto, advertem os autores, para o trabalho colaborativo ser bem sucedido, precisa ser baseado em objetivos comuns. Os resultados essenciais de uma aprendizagem que coloca forte ênfase em estimular os alunos a integrar e aplicar na prática o que aprenderam nas aulas convencionais fornecem esse sentido mais amplo aos interesses compartilhados. (AAC&U, 2007, p. 18).

¹⁰⁶ ASSOCIATION OF AMERICAN COLLEGES & UNIVERSITIES - AAC&U. College Learning for the New Global Century – A Report from the National Leadership Council for Liberal Education & America’s Promise. Washington – DC, 2007, 71 p. Disponível em: <<http://www.aacu.org>>. Acesso em 29 abr. 2013. A sigla “LEAP” refere-se a “Liberal Education and America’s Promise”, e também significa “salto”, na conotação de superação de obstáculos ou mudança para um *statu quo* superior, no idioma inglês.

Savage, Chen e Vanasupa (2007, p. 15), em artigo sobre o ensino de Engenharia, vão na mesma direção ao reconhecer a inadequação dos currículos existentes nos Estados Unidos, e questionam se os jovens engenheiros formados dentro dos paradigmas tradicionais seriam capazes de atuar no contexto complexo e multifacetado do presente século. Os autores argumentam que para os alunos de Engenharia atuarem como engenheiros bem sucedidos no mundo corporativo internacionalizado do século 21 eles precisam ser preparados para trabalhar globalmente, ser tecnicamente versáteis (multidisciplinares), capazes de resolver problemas a partir de uma perspectiva sistêmica, ser comunicadores eficazes, trabalhar em equipes com diversidade étnica e demonstrar responsabilidade social.

Mills e Treagust (2003, p. 3), em artigo que discute o ensino de Engenharia e estratégias de ensino-aprendizagem, afirmam que o engenheiro, ao exercer sua profissão, lida constantemente com a incerteza, com dados incompletos e exigências díspares, algumas vezes até conflitantes, de clientes, governos, grupos ambientalistas e do público em geral. Enquanto tentam incorporar habilidades ditas “mais humanas” em sua base de conhecimentos, os engenheiros de hoje precisam também enfrentar mudanças tecnológicas e organizacionais contínuas no local de trabalho. Além disso, precisam lidar com a realidade comercial da prática profissional e arcar com as consequências legais de cada decisão que tomam. Os autores mencionam pesquisas sobre o ensino de engenharia conduzidas em diversos países, na tentativa de determinar as competências pessoais e técnicas que a indústria requer dos engenheiros atualmente. Segundo os autores,

Os graduandos em engenharia hoje em dia precisam apresentar fortes habilidades comunicacionais e de trabalho em equipe, mas não o fazem. Devem ter uma perspectiva mais ampla dos assuntos que dizem respeito à sua profissão, tais como temas sociais, ambientais e econômicos, mas não tem. Finalmente, eles estão se formando com um bom conhecimento da ciência para engenharia e proficiência no uso do computador, mas não sabem como aplicar isso na prática. (MILLS e TREAGUST, 2003, p. 3).

Embora existam numerosos trabalhos e periódicos sobre o ensino das engenharias, principalmente em centros universitários no exterior, trabalhos de maior fôlego como teses, dissertações e livros sobre o ensino de Arquitetura e Urbanismo são ainda escassos no Brasil. Em sua tese sobre a integração dos conteúdos pedagógicos em 91

cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo (CGA&U), em vários países de línguas neolatinas, Teixeira (2005, p. 13) observa que

Embora a produção acadêmica sobre o ensino de arquitetura e urbanismo seja excessivamente reduzida — justamente pela pouca tradição da área — com freqüência as reflexões que apresentam fazem referência a vários dos aspectos aqui mencionados, atestando a sua generalização e persistência nos vários cursos. (TEIXEIRA, 2005, p. 13).

O problema da formação de nossos jovens arquitetos e engenheiros sem capacitá-los para efetuar a integração entre disciplinas, entretanto, pode ser considerado um fenômeno global característico de nosso tempo, não apenas no ensino dessas profissões nas universidades, mas ocorre no sistema educacional como um todo. Ele se manifesta nos ciclos de aprendizado anteriores, isto é, desde os ensinamentos fundamental e médio, e apenas se aprofunda no ensino superior. Sobre a fragmentação do conhecimento e a dificuldade dos estudantes brasileiros em estabelecer ligações coerentes entre os conteúdos ministrados no ensino médio, Braslavsky¹⁰⁷ (2001, p. 30-36) e Ivanissevich (2003) afirmam que os currículos são compartimentados entre as diversas ciências, com muita dificuldade de se estabelecer a interdisciplinaridade e a transdisciplinaridade necessárias ao século 21. Cunha (1992), no livro baseado em sua tese sobre o “bom professor”¹⁰⁸ e sua prática, obra que abordou as ações docentes de professores dos ensinamentos médio e universitário, mostrou que os professores entrevistados também se referiram à falta de preparo dos alunos, no que diz respeito à ciência e ao pensamento crítico, motivada por um ensino compartimentado:

Neste aspecto, há como que uma voz comum entre os professores, no sentido de que os alunos não sabem pensar, não foram preparados para o desenvolvimento do espírito crítico e científico. **A própria estrutura universitária que atomiza o ensino** é vista como um entrave à iniciativa do aluno. (CUNHA, 1992, p. 99, grifo nosso).

¹⁰⁷ Paulina Cecilia Braslavsky (Buenos Aires, 1952 – Genebra, 2005) foi educadora e consultora internacional em Educação. Foi Titular da Cátedra de História Geral da Educação da Universidade de Buenos Aires (UBA), Coordenadora Educacional da Faculdade Latino-Americana de Ciências Sociais (FLACSO) e Diretora do Escritório Internacional de Educação da UNESCO.

¹⁰⁸ As aspas fazem parte do título da tese, por esse motivo foram mantidas nesta menção.

Assim, seja qual for o campo de conhecimento ou o contexto educacional em que for considerado, compreende-se por que o tema da integração dos conteúdos pedagógicos em uma **síntese** coerente e útil para o futuro profissional/cidadão e, portanto, útil também para a complexa sociedade contemporânea, tem motivado muitos trabalhos na área da Educação em todos os níveis, da formação básica ao ensino das profissões nas universidades.

De maneira particular, no que interessa a este trabalho, o ensino do projeto arquitetônico, constata-se que existe uma expectativa de que tal síntese seja feita pelo estudante, e nas disciplinas de projeto. Sobre este ponto, parece haver consenso entre os autores pesquisados, muitos deles arquitetos envolvidos com a atividade docente em cursos de Arquitetura e Urbanismo. Dentre as declarações mais sucintas e claras reveladas na pesquisa, transcrevemos três:

Esse entendimento [o de que o ato de criação é uma síntese, ligada à ideia de autonomia do autor, cf. § anterior], transportado para o ensino superior institucionalizado, autoriza, em boa medida, a compreensão de que **cabe ao estudante, na elaboração dos projetos, proceder à síntese dos conhecimentos teóricos e técnicos que vai adquirindo**, ministrados separadamente, nas diversas disciplinas das várias áreas que integram a sua formação.” (TEIXEIRA, 2005, p. 11, grifo nosso).

Qual seria então a melhor maneira de representar esse futuro [falando sobre projeto do edifício] no TFG, quando **se espera que os alunos promovam e expressem a síntese dos conhecimentos adquiridos na faculdade?**”. (MARQUES, SOUZA e MACEDO, 2010, p. 2, grifo nosso).

Nos CAUs [cursos de Arquitetura e Urbanismo] brasileiros, o TFG é a ocasião em que o graduando experimenta maior autonomia, pois **precisa**: (i) **condensar / integrar parte dos conteúdos apreendidos no curso**; (ii) demonstrar sua capacidade para realizar um trabalho consistente; (iii) fazer escolhas e responsabilizar-se por elas perante uma banca, o que significa a necessidade de assumir-se como sujeito autônomo no contexto do processo projetual.” (MARQUES e ELALI, 2011, p. 3, grifo nosso).

Em artigo¹⁰⁹ originado de uma experiência pedagógica da qual participaram, e que se tornou seu estudo de caso, quatro professoras de áreas diferentes¹¹⁰

¹⁰⁹ VANASUPA, L. et al., (2012), op. cit.

relatam o que aprenderam com seu próprio fracasso em estabelecer uma colaboração interdisciplinar entre elas, com o objetivo de ministrar um curso de dez semanas de aulas de projetos integrados transdisciplinares em 2007. As autoras discerniram que os principais motivos para o resultado negativo foram a dificuldade dos membros do corpo docente para lidar com seus próprios modelos mentais e a falta de capacidade delas para se envolver em conversas construtivas que perpassassem tais modelos, o que finalmente as impediu de colaborar com eficácia.

Semelhantemente, em outro trabalho que menciona uma iniciativa pedagógica interdisciplinar envolvendo professores, estudantes, profissionais de Design e membros da comunidade em torno do projeto de interfaces e jogos para telefone celular, como exercício acadêmico dentro de uma dinâmica denominada *Creative Exchange*¹¹¹, Fleischmann e Hutchinson (2012, p. 25) afirmam que a colaboração entre cursos diferentes e mesmo entre os departamentos de uma mesma escola é difícil, sendo a mentalidade de “silos” disciplinares nas universidades um assunto recorrente na literatura. Ressalvam, entretanto, que embora os professores de disciplinas ligadas à criatividade, em geral, se mostrem entusiásticos diante de oportunidades colaborativas envolvendo áreas diferentes, existe uma carência de soluções que abracem o conceito de colaboração multidisciplinar de um modo metodologicamente formalizado. A presente pesquisa apontou que as metodologias ativas PBL e PjBL constituem justamente as estratégias pedagógicas capazes de responder mais adequadamente a essas demandas e anseios da comunidade universitária, e isso de um modo satisfatoriamente estruturado e operacionalizável.

¹¹⁰ São elas e suas diferentes formações: a) Linda Vanasupa, Ph.D., professora de Engenharia de Materiais, California Polytechnic State University (Cal Poly); b) Kathryn E. McCormick, professora Associada do Departamento de Artes e Design, Cal Poly; c) Carolyn J. Stefanco, vice-presidente para Assuntos Acadêmicos e professora de História e Estudos da Mulher no Agnes Scott College, Ph.D. da Universidade de Duke; e d) Roberta J. Herter, professora de Educação na Cal Poly, Ph.D. em Inglês e Educação, Universidade de Michigan, Ann Arbor.

¹¹¹ Ou “Intercâmbio Criativo”, numa tradução livre.

3.3.1 Aprendizagem Baseada em Problemas — PBL

O primeiro curso universitário a adotar em seu currículo a abordagem baseada em problemas ou *Problem-Based Learning* (PBL) foi o curso de medicina da Universidade McMaster¹¹², em 1969, através da experiência do médico neurologista e professor emérito Howard Barrows (NEVILLE, 2009; BARROWS, TAMBLYN, 1985). Esta revolução na educação médica teve enorme impacto no desenvolvimento dos currículos de medicina, em que pese o fato de essa introdução ter-se dado sem qualquer embasamento teórico, filosófico ou cognitivo explicitamente declarado pelos fundadores da McMaster School. De fato, Barrows não tinha qualquer formação em psicologia da educação ou ciência cognitiva, e a lógica que ele e seus colegas propuseram para o currículo da McMaster School, o qual incluía o aprendizado em pequenos grupos para o estudo de problemas clínicos, foi para tornar o estudo mais relevante e interessante para seus alunos. De acordo com Neville (2009), ainda mais notável foi a adoção generalizada desse método educacional e sua homologação pela *Association of Medical Colleges* e pela *World Federation of Medical Education*; sendo que até 1989 mais de sessenta escolas de medicina ao redor do mundo haviam adotado o método, total ou em parte.

Neville (*op. cit.*, 2009)¹¹³, em artigo baseado numa extensa revisão bibliográfica, analisa um período de quarenta anos de aplicação de PBL em cursos de medicina entre 1969 e 2009, e argumenta que para ser entendida a base psicológica de PBL é preciso primeiro compreender os objetivos dessa forma de instrução. Segundo o autor, o próprio Howard Barrows identificava quatro objetivos principais de PBL, a saber: 1) estruturação do conhecimento e do contexto clínico; 2) raciocínio clínico; 3) habilidades para o aprendizado auto-dirigido; e 4) motivação intrínseca. De acordo com o criador do método (BARROWS, 1986), os estudantes trabalham em pequenos grupos, usando um caso clínico como assunto, e com o pressuposto de que através da exposição contínua a problemas da

¹¹² Ontario, Canadá.

¹¹³ Professor na própria McMaster University, Faculdade de Ciências da Saúde.

vida real eles irão adquirir a capacidade de avaliar o problema de um paciente, definindo o *que o problema é*, e tomando as decisões clínicas corretas para lidar com o caso.

O trabalho com “casos” era central na proposta de Barrows, e ele descreveu vários níveis nos quais os casos poderiam ser usados para o aprendizado através de uma variedade de aulas expositivas. Os casos eram usados simplesmente para demonstrar a relevância da informação fornecida nas aulas tradicionais. Desde sua origem, portanto, PBL almeja estabelecer uma clara ligação entre a teoria e a prática, exercitando habilidades de comunicação, trabalho em equipe, e de um modo motivador para os estudantes.

Segundo Neves (2009), Logo após a implantação de PBL na Universidade McMaster, três outras escolas médicas aderiram ao método: A Universidade de Limburg, em Maastricht na Holanda, a Universidade de Newcastle na Austrália e a Universidade do Novo México nos Estados Unidos. A partir de então, essas quatro instituições espalharam um importante movimento educacional, primeiramente entre as escolas de medicina, e que hoje vem sendo aplicado em diversas áreas, dentre as quais Engenharias e Design.

Traça-se a seguir um panorama sucinto dos passos e características dessas abordagens educacionais e sua relação com o ensino do projeto arquitetônico. Ressalvamos que a estratégia denominada Metodologia da Problematização (MP), também uma metodologia ativa de uso no ensino superior não será abordada, fazendo-se dela apenas uma rápida referência para efeito de comparação com PBL, como se verá adiante, a partir do artigo de Berbel (1998).

PBL não é apenas uma teoria. O método é uma abordagem educacional, um movimento internacional de adequação curricular. No Brasil, as primeiras instituições a implantar o método foram a Faculdade de Medicina de Marília - SP (FAMEMA) em 1997 e o Curso de Medicina da Universidade Estadual de Londrina - PR (UEL) em 1998 (NEVES, 2009, f. 54; BERBEL, 1998, p. 141-142). Berbel (1998) é consistente com Neville (2009) na menção a um emprego inadequado da expressão *Problem-Based Learning* para designar adaptações

superficiais de currículos ou planos de ensino, feitas apressadamente e sem levar em consideração as características definidoras dessa proposta curricular¹¹⁴. Segundo a autora, muitos tem sido os termos para designar esse conjunto de ações: técnica de ensino, método de ensino, metodologia, pedagogia, proposta pedagógica, proposta curricular, estratégia de ensino, currículo PBL, procedimento metodológico etc. Menciona também as repercussões positivas dessa prática, já citadas; e as negativas, em geral provocadas pela resistência às mudanças e também por aqueles que, apressados, fazem pequenas adaptações em suas práticas tradicionais e passam a denominá-las erroneamente como PBL, o que produz resultados aquém do esperado.

Os quatro traços característicos que devem estar todos presentes para que uma proposta curricular possa ser denominada PBL são levantados por Berbel (1998) e agrupam-se de acordo com seu aspecto:

Primeiro: Quanto à natureza da proposta curricular:

- 1) A filosofia pedagógica é o aprendizado centrado no aluno;
- 2) É baseada no estudo de problemas propostos com a finalidade de fazer com que o aluno estude conteúdos determinados;
- 3) Predomina para o aprendizado de conteúdos cognitivos e integração de disciplinas pelos estudantes;

¹¹⁴ A Prof^a. Neusi Aparecida Navas Berbel, no referido artigo de 1998, emprega a expressão **Proposta Curricular de Aprendizagem Baseada em Problemas** (PBL), a partir de suas observações sobre o modo como vinha sendo desenvolvida em escolas de Medicina da UNESP Botucatu, na FAMEMA-Marília, na UEL-Londrina, entre outras instituições do país, e a diferencia da Metodologia da Problematização. Este trabalho adota a denominação sugerida pela professora, e também sua categorização como proposta curricular e não metodologia ou método.

4) É uma proposta curricular formativa¹¹⁵, na medida em que estimula uma postura ativa do aluno em busca do conhecimento, e não meramente informativa, como é o caso da prática pedagógica tradicional.

Segundo: Quanto à organização discente e docente para o estudo:

1) Ao lado dos problemas, são organizadas situações para treinamento das habilidades necessárias, em graus crescentes de complexidade;

2) A esfera cognitiva de PBL deve garantir que o aluno estude situações suficientes para se capacitar a *procurar o conhecimento por si mesmo* quando se deparar com uma situação problema;

3) A proposta curricular de Aprendizagem Baseada em Problemas tem o *grupo tutorial* como apoio para os estudos;

4) O grupo tutorial é composto de um tutor e 8 a 10 alunos. Dentre os alunos, um será o coordenador e outro será o secretário, rodiziando de sessão a sessão, para que todos exerçam essas funções;

5) No grupo, os alunos são apresentados a um problema pré-elaborado pela comissão de elaboração de problemas, formada por docentes do curso.

Terceiro: Quanto às duas fases de desenvolvimento dos trabalhos:

¹¹⁵ Em Educação, o adjetivo *formativo* é usado em referência às práticas, teorias, saberes e fazeres cujo caráter filosófico fundamental e de aplicação generalizada tem o poder de configurar todo o processo de aprendizado do indivíduo que é *formado por* uma escola, ou *segundo uma* escola, no caso de uma corrente de pensamento.

Na primeira fase de discussão, os docentes apresentam o problema e os alunos formulam objetivos de aprendizado a partir da discussão sobre ele;

Na segunda fase, após estudo individual realizado fora do grupo tutorial, os alunos reúnem-se novamente e discutem o problema à luz dos novos conhecimentos adquiridos.

Quarto: O método, no grupo tutorial, é seguido em sete passos, necessariamente nesta ordem:

- 1) Leitura do problema, identificação e esclarecimento de expressões e termos desconhecidos;
- 2) Identificação dos problemas propostos pelo enunciado;
- 3) Formulação de hipóteses explicativas para os problemas identificados no passo anterior (nesta fase, os alunos utilizam-se dos conhecimentos que adquiriram sobre o assunto);
- 4) Resumo das hipóteses;
- 5) Formulação dos objetivos de aprendizado. Trata-se da identificação, pelos alunos, do que deverão estudar para aprofundar os conhecimentos incompletos formulados nas hipóteses que levantaram para explicar o problema;
- 6) Estudo individual dos assuntos levantados nos objetivos de aprendizado;
- 7) Retorno ao grupo tutorial para discussão do problema frente aos novos conhecimentos adquiridos na fase de estudo anterior.

Uma carga horária é estabelecida para a apreciação de cada problema, em torno de dezesseis horas. O grupo deve ser organizado para cumprir os sete passos acima descritos dentro desse tempo — em geral quatro manhãs ou tardes, para poder passar para o problema seguinte.

São várias as formas de avaliação possíveis dentro do currículo baseado em problemas. São previstas avaliações por módulos, avaliação progressiva dos conhecimentos dos alunos, avaliação das habilidades esperadas em cada série e avaliações informais, em que se observam as atitudes dos alunos. Com relação à avaliação realizada ao final de cada módulo temático, sua finalidade principal é avaliar a qualidade do módulo. Um módulo temático deve levar os alunos a atingirem determinados objetivos de conhecimento. O núcleo central do módulo temático são os problemas desenvolvidos para a abordagem dos temas. Um bom problema deve ensejar uma rica discussão no grupo tutorial, culminando, ao fim da mesma, com a eleição dos objetivos de aprendizado adequados ao conhecimento do tema em estudo pelos alunos.

Em seu artigo, Berbel (1998) admite não pretender esgotar todas as características de um currículo baseado em problemas, porém estabelece importante diferenciação entre a chamada Metodologia da Problematização¹¹⁶ e PBL, e demonstra que “a primeira é uma opção do professor e a segunda é uma opção de todo um corpo docente, administrativo e acadêmico, já que as consequências afetam a todos, durante todo o curso.” (BERBEL, 1998, p. 148).

Para o gerenciamento de uma proposta curricular de aprendizagem baseada em problemas, várias comissões são necessárias, como a Comissão de Currículo, a Comissão de Avaliação, as Comissões Diretoras e outra, essencial, a Comissão de Proposição de Problemas. Esta deve reunir um grupo habilitado na técnica de propor problemas adequados ao desenvolvimento dos temas que foram elaborados pela Comissão de

¹¹⁶ Cf. o artigo citado, no qual a autora expõe detalhadamente esta metodologia, que não será abordada neste trabalho.

Currículo. Como decorrência da opção da instituição por construir-se sobre a proposta curricular PBL, passam a ser necessidades:

- 1) Definir porções de conteúdo que serão tratadas agora de modo integrado dentro da nova proposta curricular;
- 2) Definir novos “modos de agir para ensinar, para aprender, para administrar, para apoiar, para organizar materiais”. (BERBEL, 1998);
- 3) Providências quanto à organização da biblioteca, que deve ser suficientemente equipada e espaçosa;
- 4) Organização de laboratórios com bastantes horários disponíveis para as atividades opcionais, uma vez que grande parte do estudo dos alunos será auto-dirigido;
- 5) Distribuição criteriosa de temas *versus* tempo.

Enfim, todos os envolvidos devem estar preparados para desempenhar novos papéis. Todas essas características são bastante distintas dos moldes tradicionais de ensinar e aprender e da organização curricular a que a maioria quase absoluta das escolas está acostumada. (BERBEL, 1998, p. 148).

3.3.2 Aprendizagem Baseada em Projetos — PjBL

A proposta curricular para a Aprendizagem Baseada em Projetos (PjBL) no ensino superior originou-se em meados dos anos 1970, na Universidade McMaster¹¹⁷, mesma instituição que formulara, em 1969, os procedimentos de PBL, porém desta vez no Departamento de Engenharia, curso de Engenharia Química. Na década seguinte tomou sua forma mais conhecida atualmente. Em 1974, os professores Don Woods, Cam Crowe, Terry Hoffman e Joe Wright obtiveram a aprovação da Universidade McMaster para iniciar um

¹¹⁷ Cidade de Milton, província de Ontário, Canadá.

programa com a finalidade de estudar as formas pelas quais os estudantes resolviam problemas e vinham a dominar o conhecimento técnico necessário. Os docentes haviam percebido que os alunos aprendiam as matérias de diferentes maneiras e que “suas habilidades na resolução de problemas técnicos eram, para dizer o mínimo, casuais” (CROWE et al., 2011).

Don Woods e seus colegas iniciaram o estudo em setembro de 1974, recrutando estudantes voluntários do primeiro ano de um programa experimental direcionado à resolução de problemas. Este programa envolvia quatro reuniões semanais de uma hora de duração, e se debruçava sobre os problemas reais abordados em disciplinas como física ou matemática. Don Woods estabeleceu uma sequência de etapas, e a denominou Estratégia McMaster de Solução de Problemas. Seu método foi estabelecido com base em estratégias tentadas anteriormente, como a de George Polya e numa pesquisa dos mecanismos cognitivos para resolver qualquer problema, de forma que qualquer aluno seria capaz de seguir os passos e construir confiança em que tais passos seriam fáceis de realizar e poderiam mais facilmente levar a uma solução. (CROWE et al., 2011, p. 18).

A aprovação pela Universidade McMaster do projeto de pesquisa de Don Woods em resolução de problemas liberou sua carga horária para que ele pudesse assistir a todas as aulas expositivas que os alunos tiveram, e assim ele foi capaz de acompanhar os alunos voluntários através dos quatro anos de seu curso. Uma de suas primeiras observações foi a variabilidade no rigor e precisão (ou falta dela) das anotações dos alunos.

Don Woods levaria suas próprias notas em uma palestra e, em seguida, mostraria o que ele havia escrito em comparação com as anotações dos estudantes. Nos três anos seguintes, Woods continuou a liderar este grupo de alunos de graduação. Entre outros aspectos da resolução de problemas foram utilizadas as dinâmicas de estudo em pequenos grupos de desenvolvimento de habilidades, auto-avaliação e *brainstorming*.

Uma das consequências da pesquisa foi o pedido da instituição para o professor desenvolver três *workshops* e um novo curso sobre formulação e resolução

numérica de diversos problemas de Engenharia Química. Cameron Crowe criou este último curso, *Formulação e Solução de Problemas*, que foi pensado para superar as deficiências dos cursos anteriores. Em engenharia, fenômenos físicos particulares são modelados por equações. Por outro lado, os cursos de métodos numéricos para a solução de várias equações muitas vezes começavam com equações que não tinham nenhuma base física clara. Esse novo curso tentou preencher essa lacuna, usando a Estratégia McMaster de Solução de Problemas para formular um problema e, em seguida, analisar os métodos numéricos apropriados para resolvê-lo. Porém, na verdade, como constataram os professores envolvidos na pesquisa, a maioria dos problemas reais não pode ser resolvida de forma exata. Outra consequência foi a adoção da estratégia PBL como base, como vinha sendo realizada pela Escola de Medicina de McMaster. Este programa, como já mencionado, envolve uma forma inovadora de aprendizagem em pequenos grupos, o estudo auto-dirigido e a auto-avaliação, com a orientação de um tutor. Esta abordagem PBL precisou ser um pouco modificada para trabalhar mais eficazmente em Engenharia Química, em grupos, mas sem a presença de tutores. (CROWE *et al.*, 2011).

Mills e Treagust (2003), em artigo sobre o ensino de Engenharia na Austrália, Reino Unido e Estados Unidos, ao questionarem se a resposta às demandas por renovação do currículo desse curso seria PBL ou a Aprendizagem Baseada em Projetos (*Project-Based Learning* – PjBL), relacionam alguns fatores referentes à prática profissional e aos aspectos críticos da educação do engenheiro, os quais são bastante semelhantes aos constatados também no ensino de Arquitetura e Urbanismo. Segundo os autores,

a) Os currículos são focados demais na parte científica para engenharia e em disciplinas técnicas, sem fornecer integração suficiente entre esses tópicos, ou sem relacioná-los à prática no ramo. Os programas são orientados para os conteúdos;

b) Os programas de então não proporcionavam aos estudantes uma quantidade suficiente de experiências com projetos;

c) Os formados por esse sistema ainda saíam da escola sem habilidades comunicacionais nem experiência de trabalho em equipe, portanto, os programas deveriam incorporar mais oportunidades para os alunos desenvolvê-las;

d) Os programas precisavam desenvolver nos estudantes mais consciência sobre as questões ambientais, sociais, econômicas e legais que passaram a integrar a realidade da prática profissional do engenheiro;

e) Parte do corpo docente carecia de experiência no mercado, assim sendo, não conseguia relacionar adequadamente teoria e prática, e não provia um número maior de experiências de projeto. Os sistemas de promoção recompensavam as atividades de pesquisa e não a experiência prática no ramo, tampouco as habilidades de ensino;

f) As estratégias de ensino e aprendizagem ou a cultura dos programas de Engenharia estava desatualizada e precisava se tornar mais centrada no aluno.

Projetar é uma das atividades fundamentais na construção do ambiente. A estratégia para o ensino de projeto, como tem sido praticada nos cursos de arquitetura e engenharia por muitos anos, apresenta semelhanças com as propostas curriculares PBL e PjBL. De acordo com as observações de Mills e Treagust (2003):

a) Ambas as estratégias têm um grande número de fases ou estágios de passagem durante o desenvolvimento do projeto ou formulação do problema.

b) Ambas começam com um problema ou situação identificada que dirige os estudantes para a área ou contexto de estudo.

c) A pesquisa iniciada pelo aluno serve de base para ele progredir através das fases do projeto ou conceituação do problema, construindo sua própria aprendizagem.

d) Ambas as propostas curriculares exigem alto nível de iniciativa do estudante. Os alunos precisam desenvolver habilidade de organização e motivação próprias.

e) Ambas se prestam a projetos de longo prazo. Embora PBL possa ser utilizada ao longo de um período de tempo mais curto, isso não diminui a sua capacidade de ser empregada com eficácia ao longo de um período de tempo maior, como acontece geralmente nos projetos da área de tecnologia da informação.

f) Ambas deixam os resultados em aberto, permitindo aos alunos a oportunidade de escolher, após investigação apropriada, um resultado que lhes interessa.

g) As habilidades de observação são identificadas como de elevada prioridade, especialmente nas fases iniciais, durante a identificação do problema.

h) A prática reflexiva do aluno é um aspecto importante de ambos os modelos. Neles os alunos são estimulados a avaliar completamente os resultados que conseguiram.

i) Ambas as propostas tem como ponto essencial serem baseadas no trabalho em equipes.

Com respeito aos cursos de Design, Neves (2009) pontua que são encontradas nas práticas atuais das disciplinas de projeto ações que se aproximam dessas duas abordagens pedagógicas. O chamado método projetual como modelo de trabalho, objetiva instrumentalizar o designer na realização do produto, mas deixa a desejar como processo formativo hegemônico, mesmo se apresentado desde o começo do curso, prevalecendo muitas vezes como modelo único e podendo dificultar novas maneiras de perceber e trabalhar.

O chamado método projetual apresentado geralmente nas disciplinas de Design, quase sempre se apropria de modelos projetuais de autores como: Gui Bonsiepe, Bruce Archer, [John] Christopher Jones, Morris Asimow, Bernhard E. Bürdek e Siegfried Maser, entre outros. (NEVES, 2009, f. 63).

Perrenoud (2000, p. 12-22; apud NEVES, 2009, f. 69), diz que para desenvolver competências é preciso, antes de tudo, trabalhar por resolução de problemas e por projetos, e relata ainda a importância de propor tarefas complexas e desafios para instigar os alunos a mobilizar seus conhecimentos, o que pressupõe uma pedagogia ativa, cooperativa e aberta.

Em sua atuação recente, tanto na área acadêmica quanto na política e educacional, o físico, filósofo e ativista Fritjof Capra tem advogado em favor da causa da sustentabilidade, vista por ele como a única capaz de mobilizar a humanidade para uma mudança de direção em todos os aspectos da existência, a partir da adoção do novo paradigma da ciência, o pensamento sistêmico. Dentro dessa proposta, também defende mudanças na educação de nossas crianças e jovens, colocando a aprendizagem por projetos como recurso pedagógico privilegiado para inserir os estudantes em situações transdisciplinares e vivenciais concretas, através das quais são desenvolvidas habilidades de colaboração, comunicação e visão sistêmica que os capacite a compreender a importância de uma civilização sustentável, na qual uma intrincada teia de relações sustenta os sistemas vivos.

Em um documento datado de 20 de março de 1999, transcrito de uma palestra sua em evento promovido periodicamente pelo Schumacher College (Reino Unido), centro pioneiro em educação ecológica, Capra declara:

As relações conceituais entre as várias disciplinas podem ser explicitadas apenas se existirem relações humanas correspondentes entre professores e administradores. [...], professores, alunos e administradores estão todos conectados em uma rede de relações, trabalhando juntos para facilitar a aprendizagem. O ensino não acontece de cima para baixo, mas existe uma troca cíclica de informações. O foco está na aprendizagem, e todos no sistema são ao mesmo tempo mestres e aprendizes. Laços de realimentação são intrínsecos ao processo de aprendizagem, e a realimentação passa a ser o principal objetivo da avaliação. O pensamento sistêmico é crucial para a compreensão do funcionamento das comunidades de aprendizagem. Na verdade, os princípios da ecologia podem ser também interpretados como princípios da comunidade. (CAPRA, 1999, tradução nossa.).

O autor conclui sua palestra defendendo o aprendizado baseado em projetos como a ferramenta pedagógica adequada para a integração dos conteúdos

disciplinares dentro de uma nova proposta curricular e para a formação de uma atitude ecologicamente responsável, além de inculcar uma visão sistêmica nos estudantes.

Savage, Chen e Vanasupa (2007), professores de Engenharia na Escola Politécnica da Universidade Estadual da Califórnia (Cal Poly), em um trabalho que propõe a implementação de PjBL em todas as séries dos cursos de Engenharia e relata a experiência que eles desenvolveram com algumas turmas, enfatizam a importância do pensamento sistêmico para o profissional. De acordo com os autores, o pensamento sistêmico enfatiza uma visão do todo e estabelece um quadro para ver inter-relações em vez de apenas os componentes individuais. Exige ver padrões de mudança, em vez de condições estáticas e citam autores que tem identificado a necessidade de adotar este tipo de abordagem no desenvolvimento de soluções de projeto¹¹⁸. A abordagem sistêmica da concepção projetual envolve a aprendizagem de que os sistemas complexos não podem ser otimizados simplesmente otimizando os subsistemas individuais, o que exige um conhecimento profundo de como os subsistemas interagem uns com os outros. Ela ocorre depois de um projeto conceitual ser estabelecido, mas antes que a solução de projeto detalhada esteja concluída. A abordagem sistêmica exige que os alunos avaliem a arquitetura da solução de projeto e explorem as inter-relações de seus requisitos funcionais e do ambiente operacional.

Mills e Treagust (2003, p. 8), no citado artigo em que comparam a aplicação de PBL e PjBL em cursos de Engenharia na Austrália, Reino Unido e Estados Unidos, defendem a ideia de que PBL não seria a estratégia de ensino mais adequada à formação do engenheiro, e fazem importantes considerações a partir de uma embasada comparação

¹¹⁸ Cf.: SAVAGE, R. N., CHEN, K. C.; VANASUPA, L. Integrating Project-based Learning throughout the Undergraduate Engineering Curriculum. **Journal of STEM Education**, Cal Poly — California Polytechnic State University, San Luis Obispo-CA, v. 8, n. 3 e 4, jun./dez. 2007. Disponível em: <[http://ojs.jstem.org/index.php?journal=JSTEM&page=article&op=view&path\[\]=1387](http://ojs.jstem.org/index.php?journal=JSTEM&page=article&op=view&path[]=1387)>. Acesso em: 03 maio 2013.

entre a natureza dos problemas e do conhecimento nas áreas da Medicina e da Engenharia¹¹⁹.

Segundo esses autores, o termo projeto é universalmente utilizado na prática de engenharia como uma "unidade de trabalho", geralmente definida a partir da demanda do cliente. Quase todas as tarefas realizadas por um engenheiro na sua prática profissional serão em relação a um projeto, no sentido de um empreendimento. Projetos existem com vários graus de complexidade, mas todos se relacionam de alguma forma com as teorias fundamentais e técnicas da disciplina de especialização de um engenheiro. Pequenos projetos podem envolver apenas uma área de especialização de engenharia, mas em empreendimentos maiores será necessário um time multidisciplinar, envolvendo não só engenheiros de diferentes especialidades, mas profissionais de várias outras áreas. O sucesso na conclusão de um projeto exige a integração de todas as áreas de conhecimento que entram na formação do profissional.

Nos países de língua inglesa, a aprendizagem por projetos é frequentemente usada no ensino fundamental, por isso o conceito e o método de ensino são familiares para a maioria dos estudantes e professores. Muitos dos resultados não são essencialmente diferentes daqueles obtidos pela aplicação de PBL. Os autores citam uma comparação entre PBL e PjBL feita por Perrenet, Bouhuijs e Smits (2000). Estes observaram que as duas estratégias apresentam semelhanças, pois ambas são baseadas no estudo auto-dirigido e enfatizam a colaboração; e necessitam que os alunos sejam orientados por uma equipe multidisciplinar de docentes. Entretanto, existem diferenças significativas. As mais importantes que observaram foram:

¹¹⁹ Os autores referenciam solidamente sua justificativa para mostrar que PBL tem aplicabilidade apenas parcial dentro do currículo de Engenharia, e defendem a estratégia PjBL como a mais adequada ao ensino dessa profissão. Fornecem uma série de exemplos concretos de aplicação dessa abordagem de ensino em algumas universidades no mundo e muitas referências ao leitor interessado, as quais não se mencionam aqui, devido a restrições de espaço.

a) As tarefas do projeto são mais próximas da realidade profissional e, portanto, tem um período maior de tempo do que os problemas propostos numa abordagem PBL, cuja dinâmica pode estender-se por apenas uma sessão, uma semana ou algumas semanas;

b) As tarefas de um projeto estudantil na dinâmica PjBL são mais direcionadas para a *aplicação* do conhecimento, enquanto que PBL é mais direcionada para a *aquisição* de conhecimentos;

c) O trabalho com projetos é geralmente acompanhado de estudos de assuntos específicos em aulas expositivas (por exemplo, no caso da engenharia: cálculo, física, etc.), enquanto que um processo de definição de um problema por alunos trabalhando segundo a abordagem PBL não necessariamente vai requerer um curso específico;

d) A gestão de tempo e recursos por parte dos alunos, bem como a diferenciação de papéis no desempenho da tarefa, são muito importantes na aprendizagem baseada em projetos, guardando grande semelhança com as instâncias práticas do exercício profissional, nas quais restrições de prazo e custos são fatores sempre presentes;

e) O estudo auto-dirigido é mais forte em PjBL em comparação com PBL, uma vez que o processo de aprendizagem é menos orientado para a definição do problema e muito mais voltado para a proposição de uma solução, o que requer criatividade. Esta orientação da ação muito mais para a solução do que para o problema é típica das profissões ligadas ao design, o que constitui mais uma semelhança importante de PjBL com o mundo do trabalho dos engenheiros, arquitetos e demais designers em geral.

O portal científico Cengage Learning¹²⁰, reconhecido na comunidade acadêmica mundial pela qualidade e variedade dos materiais que disponibiliza, dispõe de uma área especialmente dedicada à aprendizagem baseada em projetos¹²¹, onde pesquisadores podem encontrar material organizado de modo sucinto e rico em referências bibliográficas¹²². Esta foi a fonte consultada para a última parte deste subitem. De acordo com a base de dados, coordenada por Anthony Petrosino, Ph.D.¹²³, PjBL é uma abordagem de ensino abrangente, com o objetivo de envolver os alunos em investigações colaborativas, assessorados pelos docentes. PjBL difere da aprendizagem convencional por sua ênfase no aspecto cooperativo. No sistema tradicional, o estudo é geralmente feito como uma atividade individual isolada. Além disso, a instrução baseada em projetos difere da tradicional por focalizar *a construção de um artefato* pelos alunos, como forma de representar o que é aprendido. A busca de soluções pelos estudantes se dá através dos seguintes passos:

- a) Formulação e refinamento de perguntas;
- b) Debate de ideias;
- c) Tentativa de fazer previsões;
- d) Elaboração de planos e/ou experimentos;
- e) Coleta e análise de dados;

¹²⁰ Cf.: <http://www.cengage.com/us/>, acesso em 1 dez. 2013.

¹²¹ Cf.: <http://college.cengage.com/education/pbl/index.html>, acesso em 1 dez. 2013.

¹²² Como as referências utilizadas pelos organizadores da página não foram consultadas, não constam neste texto nem nas Referências Bibliográficas. O leitor interessado as encontra na página de referências do site.

¹²³ Professor pós-doutorado, conferencista e educador, residente em Hoboken-NJ. Docente também na Universidade do Texas, tem forte atuação acadêmica e política na área da Educação nos Estados Unidos. Um currículo resumido deste profissional pode ser obtido em <https://www.blogger.com/profile/10115534661613149019>. Acesso em 1 dez. 2013.

- f) Estruturação de conclusões;
- g) Apresentação de suas ideias e descobertas para os outros alunos;
- h) Proposição de novas perguntas;
- i) Criação de um artefato (traço característico de PjBL).

Há dois componentes essenciais de PjBL, a saber: 1) Uma pergunta ou problema motivador que serve para organizar e dirigir as atividades na busca por um projeto significativo, sendo este a resposta ao problema ou à pergunta; e 2) A culminância do processo com a proposição de um ou mais produtos, ou múltiplas representações de uma série de artefatos, que são apresentados aos colegas, ou ainda uma tarefa subsequente mais significativa, que aborda a questão/motivo.

Apesar de seu potencial considerável, a educação baseada em projetos não é um processo sem problemas. A ideia de que os projetos representam um “aprender fazendo” não é nova, tendo sido proposta no início do século passado por educadores como Kilpatrick em 1918 e Dewey, em 1933. No entanto, um histórico da proposta sugere que, sem a devida atenção, cuidadoso planejamento prévio e apoio institucional a professores e estudantes, estas abordagens educativas inovadoras não serão amplamente adotadas.

Embora as evidências sugiram que essa proposta curricular reforça a aprendizagem dos alunos e sua motivação, sua adoção não tem sido tão bem sucedida e generalizada como desejado. A razão disso é o fato de que muitas vezes os projetos são elaborados e propostos sem apreciação suficiente, dada a natureza complexa da motivação e conhecimento necessários para envolver os alunos em um trabalho difícil e reflexivo. Foi constatado que tem havido pouca atenção para considerar as questões do ponto de vista dos alunos. Por fim, pouca atenção tem sido dada à natureza e à extensão do conhecimento que os professores precisam dominar e ao grau de compromisso deles com a complexidade da organização da sala de aula nesse sistema. (HOUGHTON MIFFLIN COMPANY, 1998).

De acordo com as fontes pesquisadas, estas são, em linhas gerais, as características mais destacadas das propostas curriculares de aprendizagem baseada em problemas (PBL) e em projetos (PjBL), com o que se conclui este subitem.

3.4 SINOPSE

Conforme previamente exposto, o problema da fragmentação do conhecimento causada pela prevalência do paradigma científico tradicional levou à atual estrutura universitária, compartimentada em “silos acadêmicos” e departamentos estanques, resultando em cursos incapazes de formar profissionais arquitetos¹²⁴ dotados de pensamento sistêmico; quando a necessidade da sociedade contemporânea é de que eles saiam da escola tão predispostos quanto preparados a integrar conhecimentos, relacionando de modo produtivo a teoria com a prática, entendendo seu ofício como possuidor de uma dimensão sociopolítica de grande alcance e inalienável responsabilidade ambiental, e capazes de definir a si mesmos não como uma espécie de artistas, mas como pertencentes epistemologicamente a uma das várias classes de designers envolvidos ao mesmo tempo na atividade coletiva de configurar nosso ecossistema artificial.

A pesquisa deparou também com a relativa escassez de trabalhos inovadores e propositivos sobre o ensino do projeto arquitetônico, sejam artigos, dissertações ou teses. Carência ainda maior é verificada quando se procuram referências sobre a aplicação das metodologias ativas PBL e PjBL em cursos de Arquitetura e Urbanismo, tanto em nosso país quanto em outros. Mesmo quando se trata de reflexões e relatos de experiências em cursos de Engenharia, é reduzido o número de pesquisadores e trabalhos sobre este assunto, em comparação com os existentes a respeito de outros relacionados à prática profissional.

¹²⁴ Os problemas verificados nos cursos de Arquitetura e Urbanismo ocorrem de modo muito semelhante também nos de Engenharias e Design, conforme apontado.

No entanto, uma constatação e um paradoxo emergem da pesquisa:

A constatação de que a fragmentação do conhecimento é um fenômeno global, ocorrendo em todos os níveis da educação formal, e reconhecido como grande entrave a um ensino profissional que vise conferir ao graduando um pensamento sistêmico. Este modo de pensar o mundo é visto hoje como extremamente necessário, não somente como elemento construtivo de uma nova cidadania, mais responsável diante dos desafios planetários, mas essencial para o desempenho de certas profissões que lidam diariamente com problemas mal formulados, instáveis e de grande complexidade, tais como a de médico, enfermeiro, engenheiro, arquiteto, designer, administrador, e outras.

O paradoxo de que, embora o ensino do projeto arquitetônico (e também das Engenharias e do Design), sempre tenha sido fundado sobre a prática de exercícios projetuais propostos pelos professores, em que os estudantes devem definir um *partido*, a partir de conhecer e definir *o que o problema é*, como em PBL, para em seguida produzir o design de *um artefato* — no caso, um edifício ou intervenção urbana —, figurado através das representações contidas no projeto arquitetônico ou urbanístico, numa dinâmica muito semelhante a PjBL, como visto; os cursos de arquitetura brasileiros sequer tem considerado a existência dessas duas metodologias ativas de ensino (ou propostas curriculares), quanto mais as estudado e sobre elas estruturado metodologicamente os cursos e temas de projeto arquitetônico lançados aos estudantes.

Diante dessa constatação e desse paradoxo, relacionados ao ensino das profissões de projeto em geral, não só o arquitetônico, é possível inferir que esses dois fatores podem estar na origem da maioria das dificuldades encontradas hoje pelos envolvidos no processo ensino-aprendizagem do projeto arquitetônico, tanto professores como alunos. Com a crescente complexificação de nosso ambiente construído, diante dos desafios sociais, econômicos, políticos e ambientais de nossa época, e frente a uma crise cada vez mais profunda do paradigma científico tradicional, que certamente está a exigir uma nova epistemologia da projeção em arquitetura, torna-se necessário uma organização de nossos cursos dessa disciplina sobre novas bases filosóficas e metodológicas. A literatura

indica também que este é o momento de repensar as práticas vigentes no ensino universitário das profissões de projeto em geral, o que inicia pela necessidade de incluir os conteúdos de Educação na formação dos professores, abandonando-se a crença de que bastam, para a docência no século presente, pertencer à profissão e possuir as qualificações acadêmicas requeridas (TEIXEIRA, 2005).

Quanto à aplicabilidade das metodologias ativas PBL e PjBL no ensino do projeto arquitetônico, em que pese o fato de a pesquisa não ter localizado qualquer trabalho referente ao assunto, os trabalhos sobre o emprego dessas abordagens pedagógicas em cursos de engenharia e de design no exterior parecem indicar sua viabilidade também no ensino do projeto arquitetônico. As chances de sucesso dessa implementação, conforme as fontes pesquisadas, aumentam se forem tomadas antecipadamente certas providências tais como: planejamento cuidadoso, apoio institucional, mudança de visão sobre o processo ensino-aprendizagem adequando as ações docentes ao novo paradigma da Educação, dentre outras.

A pesquisa mostrou também a importância de uma discussão acerca dos conceitos de paradigma e de epistemologia, nem sempre claros para a comunidade de arquitetos, e ainda, do conhecimento sobre a história da construção do pensamento científico atual. Sem o conhecimento desses conceitos, as ações docentes para implantação das metodologias ativas PBL e PjBL ficam sem uma base conceitual sólida e incapazes de gerar a sinergia necessária para um resultado que se pretende alinhado com o novo paradigma científico, o pensamento sistêmico. Para implantação de um ensino que vise desenvolver nos estudantes um pensamento sistêmico, os primeiros a possuí-lo tem de ser os professores. A mudança, embora vista como necessária, envolve profundas questões culturais, filosóficas e políticas, como tradições do ensino, conflito entre gerações de docentes com diferentes paradigmas, superadas epistemologias e divergentes visões de mundo, estruturas de poder e hierarquias estabelecidas, a própria estrutura universitária “que atomiza o ensino” (CUNHA, 1992, p. 99), e as relações da profissão com a sociedade, de maneira geral.

A investigação sobre os métodos de projeto e sobre o desenvolvimento das interfaces homem-máquina que resultaram nos sistemas para CAD e BIM atuais, reportada no segundo capítulo, mostrou que os esforços dos pesquisadores da área concentraram-se no entendimento dos fenômenos que ocorriam na prática profissional dos projetistas, e deram-se em dois eixos de ações paralelas e complementares:

O eixo **epistemológico-cognitivo**, em que se situam as pesquisas sobre teorias e métodos de projeto, nitidamente focalizado no **âmbito do pensar** o projeto.

O eixo **tecnológico-procedimental**, em que se situam as pesquisas que resultaram no desenvolvimento de CAD e BIM, direcionadas ao **âmbito do fazer** o projeto.

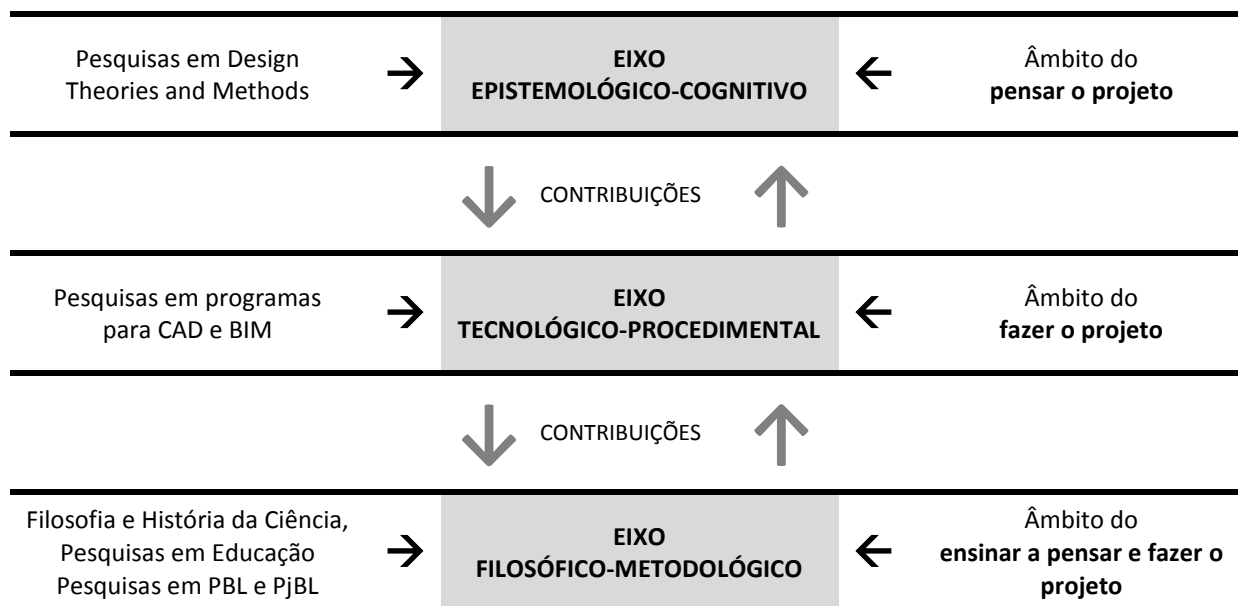
A investigação de que tratou este terceiro capítulo, sobre o paradigma aceito na Educação e a aplicação de metodologias ativas PBL e PjBL evidenciou que existe, para os que desejam efetivar uma renovação substancial das ações docentes no ensino de Arquitetura e Urbanismo, a necessidade de conhecimentos pertencentes a um terceiro eixo, de cunho **filosófico-metodológico**, essencial para uma discussão produtiva e para a proposição de ações renovadoras eficazes no **âmbito do ensinar a pensar e fazer** o projeto arquitetônico. A Figura 16 relaciona esse terceiro eixo de interesse aos outros dois levantados anteriormente.

Finaliza-se este capítulo com as considerações de Maurício J. L. Campomori¹²⁵, o qual considera a transdisciplinaridade como uma etapa posterior às experiências multi e interdisciplinares. Sua implementação sob forma de proposta de ensino demanda uma significativa mudança nas estruturas acadêmicas, as quais, argumenta, representam mais exatamente estruturas políticas e de poder do que de saberes. Segundo o

¹²⁵ Arquiteto e Urbanista, mestre em Arquitetura e doutor em Educação pela UFMG. Professor do Departamento de Projetos da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais. É membro do conselho curador da Fundação Rodrigo Mello Franco de Andrade, instituição que tem como principal objetivo a preservação e o estudo do patrimônio histórico e arquitetônico do município de Tiradentes-MG. Atua nas áreas de Arquitetura e Urbanismo e de Educação de nível Superior, com ênfase em Ensino de Arquitetura e Teoria e Prática do Projeto Arquitetônico.

autor, o discurso que defende e mantém a autonomia dos campos de conhecimento somente cristaliza os silos departamentais existentes, e não é adequada nem à realidade contemporânea nem “à própria vocação transdisciplinar da arquitetura e do urbanismo”. (CAMPOMORI, 2004.).

Figura 16 - Eixos de interesse para renovação do ensino do projeto arquitetônico.



Fonte: Autor.

4 O PARADIGMA ALEGADO — Building information modeling

4.1 PROJETO DA EDIFICAÇÃO COM BIM: UM PROCESSO SÓCIO-TÉCNICO

O processo de projeto através da modelagem das informações da construção, cuja denominação mais difundida em nosso país é *Building Information Modeling* (BIM)¹²⁶ tem sido apresentado algumas vezes apologeticamente, como “um novo paradigma” de projeção em arquitetura (EASTMAN et al., 2011, p. xi; IBRAHIM, KRAWCZYC, SCHIPPORIET, 2004, p. 1; ALDRICH, 2011, p. 30), ou o caminho para resolução dos conflitos entre comunicações e informações diferentemente formatadas, originadas dos variados universos de conhecimento que concorrem para a realização de uma obra de construção civil (ASHRAE, 2009, p. 11; ARAYICI *et al.*, 2011, p. 190; KYMMELL, 2008, *apud* SOUZA, AMORIM, LYRIO, 2009, p. 32; ALDRICH, *op. cit.*, p. 31 *et seq.*). Outras vezes, tem motivado trabalhos mais densos, analíticos e conceituais, sem o autor assumir-se defensor nem cético, como em SUCCAR (2009), *e. g.*; e também artigos que discutem os obstáculos e desafios no processo de assimilação das ferramentas para BIM nas empresas e na academia, como em CARVALHO; SAVIGNON (2012), BARISON; SANTOS (2011, 2010), RUSCHEL; ANDRADE; MORAIS (2013) e outros autores.

É na disciplina de projeto arquitetônico que o estudante produz os planos dos artefatos que configuram a intenção dele de materialização de sua visão a respeito do problema de projeto específico e da construção do ambiente, noção esta de caráter eminentemente cultural e bastante influenciada pela visão de mundo e de sociedade que lhes é apresentada pelos professores. Porém, como visto, também influenciam a formação dos estudantes o modo de funcionamento da escola, o relacionamento desta com as demandas da sociedade (ou o isolamento em relação a elas), as relações de seu curso com os de outras áreas do conhecimento na própria universidade (ou a inexistência de tais

¹²⁶ Em Succar (2009, p. 359) encontra-se um quadro em que o autor elenca doze denominações com que o processo tem sido denominado.

relações). Portanto, este não é um capítulo que pretenda aprofundar-se nos detalhes do projeto com uso de BIM, dado que há milhares de trabalhos acadêmicos sobre o tema. A ênfase, aqui, é nas implicações práticas e epistemológicas deste processo na cultura profissional dos arquitetos, e, por extensão, no ensino do projeto arquitetônico.

Ao servir-se de uma abordagem transdisciplinar, na qual amplia-se o foco da pesquisa para abranger um conjunto maior de relações (VASCONCELLOS, 2009, p. 51), por vezes vistas como mais importantes do que o próprio objeto que lhe serve de pretexto (NICOLESCU, 1999, 2013), este capítulo procura estabelecer correlações entre o processo de projeto com BIM, (aleadamente um “novo paradigma” de projeção em arquitetura), e o exposto nos dois capítulos anteriores, quando tratou-se do PARADIGMA IMAGINADO e do PARADIGMA ACEITO. Esta abordagem é feita a partir da adoção de um ponto de vista cultural em sentido amplo, o que é consistente com a feição cultural/discursiva deste trabalho explicitada no subitem 1.5 Método, conforme Groat, Wang (2002, p. 303).

Assim sendo, inicia-se por uma sucinta caracterização do processo de projeto com aplicação de BIM, somente na extensão até onde interessa aos objetivos do argumento, evitando-se um histórico de seu desenvolvimento, já exposto no segundo capítulo. Caracterizadas as linhas gerais do processo, explicita-se a importância de BIM no processo de desenvolvimento integrado de projeto ou *Integrated Project Delivery* (IPD). Em seguida estabelecem-se correlações entre este capítulo e os dois anteriores, concluindo o item. Outras discussões, e.g., sobre o processo e seu ensino, serão objetos do capítulo final, O PARADIGMA BUSCADO (Estudo Preliminar), dentro de uma perspectiva cultural ainda mais ampla.

Em Succar (2009) encontra-se que BIM é um conjunto de políticas, processos e tecnologias interativos que resultam em uma metodologia para gerenciar o projeto de construção e os dados do projeto em formato digital, desde a fase de projeto e ao longo de todo o ciclo de vida do edifício. BIM é uma importante mudança tecnológica e procedimental na indústria de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO). O autor comenta que, enquanto a mera presença de um rótulo ou uma sigla seja vista por alguns pesquisadores como sinal de pobreza vocabular, outros os consideram vitais para a

comunicação e úteis para a compreensão de uma situação. Ainda que inicialmente a adoção da sigla tenha sofrido resistência por parte de alguns pesquisadores e membros da indústria, outros têm argumentado a favor da aceitação do termo devido à sua generalizada adoção pelos principais desenvolvedores de programas para CAD. “Se o termo em si é útil, se sobre ele há acordo ou não, BIM continua a sua proliferação em ambos os círculos, o profissional e o acadêmico como ‘o novo paradigma em CAD’”.¹²⁷ (SUCCAR, 2009).

Dobelis (2013), em artigo sobre os revezes na implantação de BIM enfrentados pela indústria, conceitua o processo enfatizando seus aspectos operacionais e constitutivos, em uma descrição breve, porém abrangente. BIM é descrito por este autor como um processo de geração e gerenciamento de dados da construção durante o seu ciclo de vida. BIM consiste na representação computacional do projeto como um conjunto de objetos virtuais, que carregam a sua geometria, relações e atributos. Os recursos tecnológicos para projetar com BIM permitem a extração de diferentes pontos de vista de um modelo virtual da construção para gerar os desenhos de produção e para outros usos. Todos os diferentes pontos de vista são sincronizados automaticamente, no sentido de que os objetos são todos consistentes uns com os outros em tamanho, localização e especificação, uma vez que cada instância do objeto é definida apenas uma vez, assim como na realidade. Os programas para BIM usam visualização 3D em tempo real para a modelagem dinâmica da construção a fim de aumentar a produtividade do projeto e da obra. O processo de modelagem das informações da construção coordena as informações de produtos e processos, além de controlar toda introdução de novos produtos, processos de produção e serviços distribuídos entre os diferentes atores, internos e externos, que devem colaborar para realização do projeto.

¹²⁷ Devido ao modo como se popularizaram no Brasil os *software* para CAD, e mesmo em razão da recorrente subutilização dos mesmos pelos arquitetos brasileiros, referida no início deste trabalho, o termo CAD passou a designar mais recentemente “projeto em 2D”, em oposição a BIM como um recurso de “projeto em 3D”. Assim, afirmar que “BIM é um novo paradigma em CAD” soa contraditório ao arquiteto brasileiro. A contradição se desfaz quando se verifica que CAD significa “projeto auxiliado por computador”, o que confere o sentido original à alegação citada por Bilal Succar.

De acordo com Ilizor; Kelly (2012, p. 23-24), em trabalho que relaciona BIM e IPD no ramo das empresas comerciais de construção, BIM é uma tecnologia relativamente nova no setor de construção comercial. Eastman *et al.* (2011) definiram o modelo tridimensional construído com BIM como uma réplica eletrônica de um projeto que contém a geometria precisa e os dados necessários para a construção, fabricação, orçamentação e aquisições. Ao possibilitar uma antevisão realista e multidimensional do empreendimento, o modelo virtual torna explícita a natureza altamente interdependente da estrutura, do layout arquitetônico, e dos sistemas mecânicos, elétricos e hidráulicos, “acoplando tecnologicamente” (ILIZOR; KELLY, 2012) os diversos participantes do projeto em um conjunto no qual a colaboração é essencial. O termo BIM também é usado para descrever uma variedade de aplicativos computacionais utilizados por profissionais de projeto e construção tanto para desenvolver o layout, como para o planejamento da construção, orçamentos, além do detalhamento e fabricação de vários componentes de um edifício (op. cit.).

Eastman *et al.* (2011), organizaram os benefícios da utilização do BIM em quatro categorias: 1) benefícios pré-construção (conceito e viabilidade), 2) benefícios de projeção (visualização, correção automática de mudanças, geração automática de representações 2D, como plantas, cortes e elevações), 3) benefícios de construção e benefícios de fabricação (projeto simultâneo, detecção de conflitos, fabricação automatizada, levantamento e de quantidades, orçamentação, etc.); e também: 4) benefícios pós-construção (gestão e operação da construção), ao longo de todo o ciclo de vida da edificação.

4.2 BIM E INTEGRATED PROJECT DELIVERY (IPD)

A natureza fragmentada e às vezes contraditória da indústria da construção comercial tem sido considerada um impedimento para a plena realização dos benefícios de BIM. Dossick, Neff (2010), citados por Ilizor, Kelly (2010) realizaram um estudo etnográfico e concluíram que as obrigações concorrentes de subcontratados da área de sistemas

mecânicos e elétricos acabam limitando a extensão da colaboração no processo de projeto. Além disso, os autores afirmam que sem uma liderança forte a colaboração pode ser reduzida a uma simples troca de informações, em vez de otimizar o processo de solução de problemas. Contudo, para ser bem sucedido, o projeto de edificação baseado no uso de uma maquete eletrônica¹²⁸ construída em BIM e compartilhada pelos vários *stakeholders* necessita ser regido por um protocolo de processo de projeto reconhecido por todos os envolvidos, um conjunto de procedimentos de gestão de contratos e regras para coordenação de ações a fim de que contratantes, arquitetos, engenheiros, empreiteiros e usuários finais reconheçam um objetivo comum, motivando-os para o compartilhamento de riscos e benefícios.

Nesse contexto, algumas estratégias de gestão do processo de projeto tem sido implementadas, sendo que as mais difundidas foram listadas por Bilal Succar (2009, p. 359 e 365). O Quadro 5 a seguir, traduzido e adaptado de seu artigo¹²⁹, mostra aquelas que o autor considerou mais significativas, bem como as organizações ou pesquisadores que deram origem a esses termos. No referido trabalho, o quadro apresenta ao leitor interessado as referências bibliográficas em que tais termos são empregados¹³⁰.

¹²⁸ No contexto da projeção em arquitetura o autor considera o modelo montado através de *software* para BIM como uma maquete, embora diferente das maquetes físicas porque construída no ciberespaço-tempo. Assim como no passado (e ainda hoje) os arquitetos construíam várias maquetes físicas para poder estudar alternativas e apreciar integralmente mais dimensões do artefato em estudo, a fim de suplantar as limitações do desenho e tornar mais clara a volumetria para contratantes e profissionais parceiros no empreendimento, hoje são construídas tais réplicas eletrônicas, capazes de incorporar todas as dimensões objetivas da edificação. O propósito permanece o mesmo das maquetes físicas: ampliar a percepção do objeto com vistas à maior compreensão possível de sua inerente complexidade espacial, o que tende a contribuir para uma melhor coordenação dos projetos dos sistemas do edifício, da qual resulta maior previsibilidade das ações na construção. Para uma definição clara do conceito de ciberespaço-tempo, cf.: MIHALACHE, A. The Cyber Space-Time Continuum: Meaning and Metaphor. **The Information Society**, Indiana University, Bloomington, v. 18, n. 4, 2002.

¹²⁹ Cf.: SUCCAR, B. Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, Oxford, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009.

¹³⁰ As referências constam da terceira coluna do quadro na obra original. Com exceção do documento de 2007 do American Institute of Architects (AIA), não figuram nas REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS deste trabalho porque não foram consultadas.

Quadro 5 - Termos largamente usados em referência a BIM.

EXEMPLOS DE TERMOS	ORGANIZAÇÃO OU PESQUISADOR
Asset Lifecycle Information System (Sistema de Informação do Ciclo de Vida do Imóvel)	<i>Fully Integrated & Automated Technology</i> (Tecnologia Plenamente Integrada e Automatizada)
Building Information Modeling (Modelagem da Informação da Construção)	Autodesk, Bentley Systems e outros desenvolvedores
Building Product Models (Modelos de Produtos para Edifícios)	Charles Eastman
BuildingSMART™	<i>International Alliance for Interoperability</i> (Aliança Internacional para Interoperabilidade)
Integrated Design Systems (Sistemas de Projeto Integrados)	<i>International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB)</i> (Conselho Internacional para Pesquisa e Inovação no Edifício e na Construção)
Integrated Project Delivery (Desenvolvimento Integrado de Projeto)	<i>American Institute of Architects</i> (Instituto Americano de Arquitetos)
nD Modelling (Modelagem nD)	<i>University of Salford — School of the Built Environment</i> (Universidade de Salford – Escola do Ambiente Construído)
Virtual Building™ (Edifício Virtual)	Graphisoft
Virtual Design and Construction & 4D Product Models (Projeto e Construção Virtual & Modelos de Produtos 4D)	<i>Stanford University — Centre for Integrated Facility Engineering</i> (Universidade Stanford – Centro para Engenharia de Edificações Integrada)

Fonte: Succar (2009). Adaptação e tradução nossa.

O autor menciona ainda outros termos utilizados: *Integrated Model* (Modelo Integrado), *Object Oriented Building Model* (Modelo de Edifício Orientado a Objetos), e *Single Building Model* (Modelo Único do Edifício). Succar (2009) prossegue explicitando sua opção pela expressão *Integrated Project Delivery* (IPD), ou Desenvolvimento Integrado de Projeto¹³¹, um termo popularizado pelo Instituto Americano de Arquitetos, Conselho da Califórnia, que é, segundo o autor, adequado para representar a visão de longo prazo do processo de projeto com BIM como uma fusão de tecnologias, processos e políticas. Considera a expressão genérica o suficiente e mais facilmente compreensível pela indústria do que "Tecnologia Plenamente Integrada e Automatizada" ou "Modelagem nD".

¹³¹ Para os fins do argumento defendido neste trabalho, a expressão *Integrated Project Delivery* foi traduzida como Desenvolvimento Integrado de Projeto, e não Entrega de Projeto Integrado, ou ainda Processo de Projeto Integrado. Uma explicação dessa opção é fornecida em detalhes no APÊNDICE G.

No documento intitulado *Integrated Project Delivery: A Guide* (AIA, 2007), cuja introdução é citada literalmente por Succar (2009), encontra-se a definição de IPD como sendo uma abordagem de desenvolvimento de projeto que integra pessoas, sistemas, estruturas e práticas de negócios em um processo colaborativo que explora os talentos e idéias de todos os participantes para otimizar os resultados do projeto, aumentar o valor para o proprietário, reduzir o desperdício e maximizar a eficiência em todas as fases do projeto, fabricação e construção. Ainda de acordo com o documento, quanto à aplicação dos princípios de uma projeção integrada, eles podem ser aplicados a uma variedade de arranjos contratuais. As equipes de IPD podem incluir membros muito além da tríade básica de proprietário, arquiteto e empreiteiro. O processo de projeto nessa modalidade distingue-se do tradicional pela colaboração eficaz entre proprietário, projetista principal e construtor principal, com início no projeto preliminar e continuando até entrega do empreendimento.

Segundo Ilozor, Kelly (2010), os que defendem IPD afirmam que, se devidamente implementado, o processo tende a remover a maioria dos problemas observados por Dossick e Neff (2010). No guia (AIA, 2007, p.2) está a declaração de que as peças centrais de um desenvolvimento integrado de projeto são a equipe do empreendimento e seus membros individuais. O trabalho evolui com base nas contribuições antecipadas das expertises individuais. As equipes são orientadas por princípios de confiança, processos transparentes, colaboração efetiva, compartilhamento aberto de informações, sendo o sucesso da equipe vinculada ao sucesso do projeto. Os riscos do trabalho e a recompensa são compartilhados, as tomadas de decisão fazem-se baseadas na perspectiva de criação de valor, e o processo é viabilizado através da utilização intensiva de ferramentas digitais ou TIC (AIA, 2007, p. 2). Quanto a este particular, o documento do AIA é bastante claro sobre o papel dessas tecnologias:

Novas tecnologias têm surgido, as quais, quando utilizadas em conjunto com processos colaborativos, tem demonstrado um aumento substancial na produtividade e uma diminuição de pedidos de informação, conflitos de campo, desperdícios, e encurtado cronogramas de projetos. Os proprietários tem cada vez mais buscado metodologias que proporcionam esses resultados. (AIA, 2007, p. 3).

As TIC, neste caso, como pontuam Succar (2009), Ilozor, Kelly (2012) e o próprio guia, em sua seção 4.1.4 (AIA, 2007, p. 10), são as necessárias para Building Information Modeling, o que indica que BIM é visto pelos participantes de um empreendimento como uma ferramenta de apoio ao processo. A ampla adesão à utilização de BIM como meio de se atingir IPD, ou como o suporte tecnológico que o viabiliza, verificada nos últimos dois anos por parte dos empreiteiros na América do Norte¹³², superando a porcentagem de arquitetos, reforça o argumento de que BIM é um elemento no interior de um processo de IPD. A literatura e os dados disponíveis mostram, portanto, que BIM não se constitui em um “novo paradigma” específico para o projeto arquitetônico, como afirmam alguns autores. Na mencionada seção do guia, lê-se:

Building Information Modeling (BIM), um modelo digital tridimensional ligado a um banco de dados de informações sobre o projeto, é uma das mais poderosas ferramentas de apoio a IPD. Porque BIM pode combinar, entre outras coisas, o projeto, informações de fabricação, instruções de montagem e logística de gerenciamento de projetos em um banco de dados, ele fornece **uma plataforma para a colaboração** em toda a concepção e construção do projeto. Além disso, como o modelo e o banco de dados podem existir por toda a vida útil de um edifício, o proprietário pode usar BIM para gerenciar a edificação bem além da conclusão da obra, para fins tais como planejamento do espaço, mobiliário, monitoração do desempenho energético no longo prazo, manutenção e reforma. [...] **BIM é uma ferramenta, não um método de desenvolvimento do projeto**, mas os métodos no processo IPD trabalham de mãos dadas com BIM e aproveitam os recursos da ferramenta. A equipe do projeto em IPD constrói um consenso a respeito de como o modelo será desenvolvido, acessado e utilizado, e como as informações podem ser trocadas entre os modelos e participantes. Sem uma compreensão clara, o modelo pode ser usado de forma incorreta ou para um propósito não intencional. (AIA, 2007, p. 10, tradução e grifo nossos).

A implementação de IPD exige que os participantes do projeto sigam novos e inovadores protocolos, verdadeiros *scripts* que regulam as interações entre eles. Abordando o aspecto colaborativo e de políticas, a literatura consultada indica que IPD exige uma mudança de visão a respeito do empreendimento, e demanda novos comportamentos por parte de proprietários, construtores e profissionais de projeto, não habituados a trabalhar de maneira colaborativa. Todas essas características podem ser resumidas nos seguintes tópicos (AIA, 2007):

¹³² Cf. Figura 12: Gráfico estatístico da utilização de BIM na América do Norte (2009 – 2012).

- 1) Os diversos participantes (*stakeholders*) estão totalmente envolvidos desde as etapas mais iniciais do processo de projeto;
- 2) Os processos são orientados para resultados e as decisões não são tomadas com base apenas em um orçamento preliminar;
- 3) Todas as comunicações ao longo do processo são claras, concisas, abertas, transparentes e confiáveis;
- 4) Os projetistas compreendem cabalmente as ramificações e consequências de suas decisões no momento em que elas são tomadas;
- 5) O risco e a remuneração são baseados em geração de valor e corretamente equilibrados entre todos os membros da equipe durante a existência do projeto;
- 6) A indústria produz um ambiente construído sustentável e de maior qualidade.

O Quadro 6 a seguir, adaptado de AIA (2007), traz uma síntese dessas características, em comparação com o processo tradicional de projeto.

Quadro 6 - Comparação entre o processo tradicional de projeto e IPD.

QUADRO COMPARATIVO ENTRE O PROCESSO TRADICIONAL DE PROJETO E IPD		
Processo tradicional de projeto	Aspectos do processo,	Integrated Project Delivery
Fragmentadas, reunidas sob o princípio de “conforme a necessidade” ou do “mínimo necessário”; fortemente hierárquicas, controladas.	quanto às equipes:	Um time integrado, composto pelos partícipes-chave do projeto e constituído antecipadamente no processo, o qual é aberto e colaborativo.
Linear, separado, segregado; conhecimento reunido “apenas na medida do necessário”; informação reservada; silos de conhecimento e expertise.	quanto ao processo:	Simultâneo e multinível; contribuições antecipadas de conhecimento e expertise; informações abertamente compartilhadas; confiança e respeito entre os partícipes.
Gerenciado individualmente, transferido na máxima extensão possível.	quanto ao risco:	Gerenciado coletivamente, compartilhado adequadamente.
Buscada individualmente; mínimo esforço para o máximo de retorno; (em geral) baseada no custo inicial.	quanto à remuneração/ao prêmio ou benefício:	Sucesso do time vinculado ao sucesso do projeto; baseada em valor.
Baseada em papel, bidimensional, analógica.	quanto às comunicações/à tecnologia	Digitalmente alicerçada, virtual; Modelagem das Informações da Construção – BIM (em 3, 4 e 5 dimensões).
Encoraja o esforço unilateral; o risco é destinado e transferido; nenhum compartilhamento.	quanto aos acordos de trabalho:	Encoraja, fomenta, promove e apoia a colaboração e o compartilhamento abertos e multilaterais; risco partilhado.

Fonte: AIA (2007). Adaptação e tradução nossa.

A modelagem da informação da construção como ferramenta de processo de projeto, portanto, de acordo com as características levantadas a partir das fontes consultadas, é uma ferramenta que viabiliza um processo integrado de projeto. BIM também pode ser considerada um caso particular de um processo maior, a modelagem da informação do produto ou *Product Information Modeling*. Em artigo publicado no periódico *JBIM - Journal of Building Information Modeling*, Richard See pontua que ao longo da década de 1980, iniciativas de modelagem tridimensional semelhantes surgiram em várias indústrias de transformação e de construção mais especializadas. Interesses comuns e necessidades desses grupos acabaram por levar à formalização do conceito de Modelo de Informação do

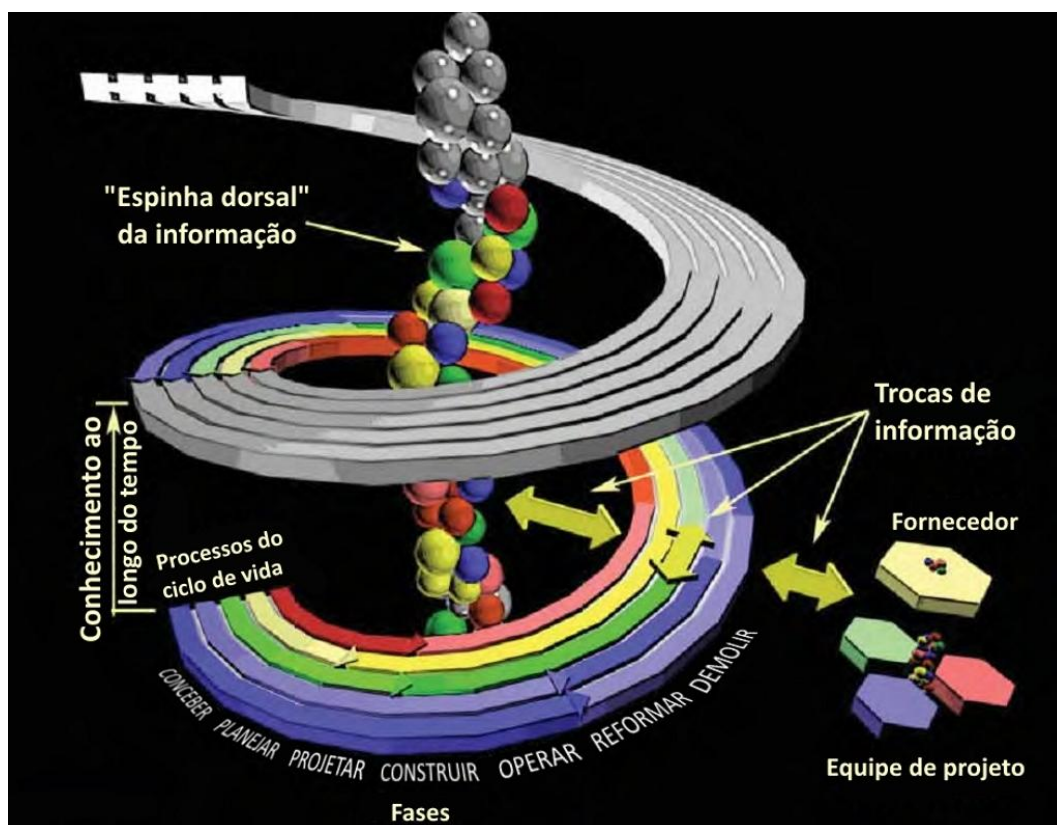
Produto (EASTMAN, 1999), ao desenvolvimento de um padrão para intercâmbio de dados dos modelos de produtos¹³³, chamado STEP, e também da norma ISO 10.303.¹³⁴ O padrão STEP foi adotado amplamente nas indústrias automotiva, aeroespacial, de plantas industriais e de construção naval, onde os benefícios dos modelos de informação do produto tem sido observados e relatados, principalmente a melhoria do compartilhamento de informação, a eficiência dos processos e o aumento da qualidade do produto final (SEE, 2007).

Pode-se pensar em um modelo de informação do produto como uma base de dados do objeto a ser fabricado. Esse banco de dados pode incluir uma grande variedade de informações sobre o artefato, incluindo geometria, materiais, fabricação e montagem, tolerâncias, custos e até mesmo informações de apoio à gestão da cadeia de suprimentos; ou pode incluir apenas alguns deles. A melhoria significativa dos modelos de informações do produto sobre as representações anteriores do artefato é que eles são conjuntos de informação integrados, o que significa que os dados são referenciados em vez de repetidos. Essa eliminação de redundância e reutilização de dados leva a maior consistência, precisão, eficiência e qualidade — todos esses fatores levando a melhores produtos e aumento de produtividade. See (2007) considera que os modelos de informações da construção (ou “BIM’s”, como os chama) são uma aplicação particular à indústria de construção dos conceitos da modelagem das Informações do produto, onde o produto é um edifício. A Figura 17, baseada em SMITH (2007), representa o processo de projeto com uso de BIM como uma espécie de espiral ascendente a integrar todos os agentes durante todo o ciclo de vida da construção.

¹³³ Padrão que ficou conhecido pela sigla STEP - *Standard for the Exchange of Product Model Data*.

¹³⁴ A consulta ao portal da Organização Internacional para a Padronização (*International Organization for Standardization* – ISO) mostra que a ISO 10.303 agrega uma coleção de mais de 600 normas, todas com foco na capacidade de troca de informações entre sistemas de modelagem de informação de produtos, com aplicações em campos como mobiliário, Design de Interiores, propriedades dos materiais em engenharia, montagem de aparelhos eletrônicos, design de embalagens, desenho técnico, representações visuais em projetos, Engenharia de Sistemas, tecnologias de fabricação, relação entre modelos e desenhos, estruturas de navios, organização da documentação técnica do projeto, entre outras. Cf.: <http://www.iso.org/iso/home.htm>, acesso em 13 abr. 2014.

Figura 17 - Esquema do processo de projeto com uso de BIM.



Fonte: SMITH (2007). Adaptação e tradução nossa.

4.3 SINOPSE

Em setembro de 1963, no gozo da liberdade de manifestação do pensamento próprio permitida aos pesquisadores acadêmicos de sua época, Edward Sutherland, nas últimas linhas de sua tese sobre o *software* Sketchpad, vaticinou:

Desenhar será diretamente em três dimensões, desde o início. Nenhuma representação bidimensional será jamais armazenada. (SUTHERLAND, 1963).

De fato, o estudo evidenciou semelhanças significativas entre o processo de projeto com uso de *Building Information Modeling* e os objetivos que possuíam tanto os pesquisadores de *Design Methods* quanto os que desenvolveram os sistemas para CAD voltados ao setor de AEC e que culminaram em BIM, como mostrado no segundo capítulo. Como afirmaram Khemlani *et al.* (1998), a busca por uma representação inteligente da

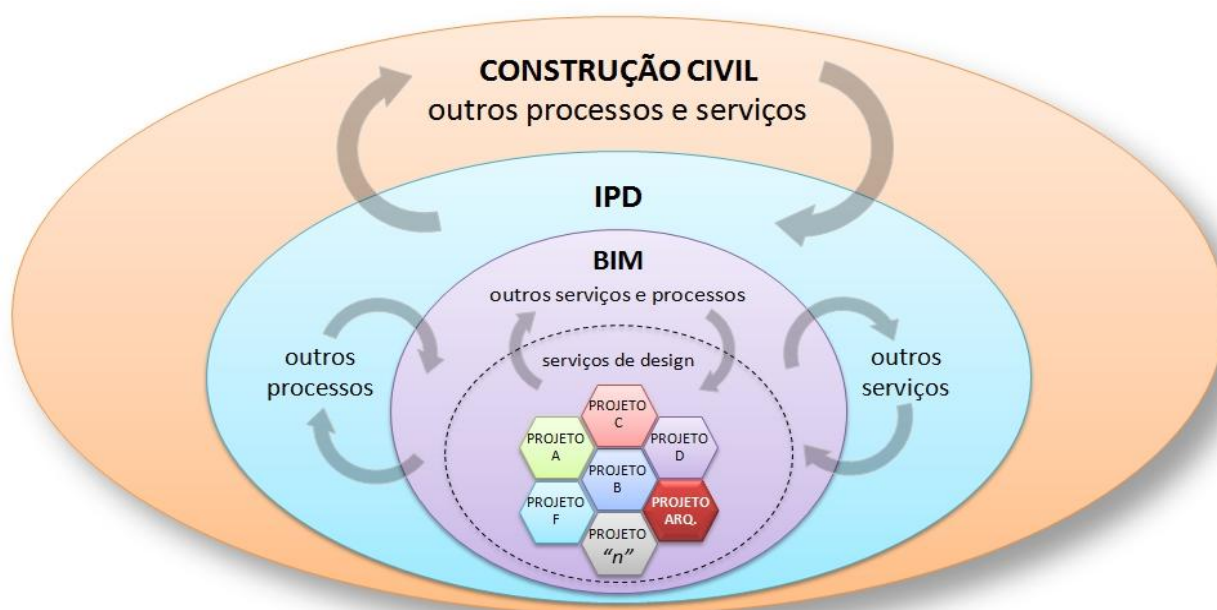
edificação foi (e tem sido) a principal meta dessas pesquisas. A programação orientada a objetos, base da representação simbólica de elementos construtivos e ações muito próximas das reais, foi um passo decisivo para o desenvolvimento dos sistemas computacionais atuais, em especial dos aplicativos voltados à projeção em AEC, como os que dão suporte a BIM. Shneiderman (1983) referiu-se à facilidade de operação e ao prazer experimentado pelos usuários dos aplicativos baseados nesse tipo de programação, o que pode ter contribuído para a grande aceitação que obtiveram.

O modo como se trabalha o projeto da edificação com BIM atualmente foi vislumbrado com clareza por Engelbart (1962, p. 5-6), e consolidado através da contribuição de muitos pesquisadores, com destaque para as iniciativas de Eastman *et al.* (1974) e seus sistemas BDS (1974), Glide (em parceria com HENRION, 1977) e Building Product Models (1999).

Outros desenvolvimentos importantes constam do segundo capítulo, subitem 2.3. O processo de projeto arquitetônico do edifício com uso de *software* para BIM, como atualmente se apresenta no contexto da construção civil, é um sub-processo de um processo maior, de natureza essencialmente política, envolvendo mudança cultural e com forte ênfase nos aspectos procedimentais e contratuais que regem a colaboração multiprofissional indispensável para realização de um empreendimento. Este processo maior tem sido mais comumente designado por IPD.

A Figura 18 situa o projeto arquitetônico no contexto dos empreendimentos de construção civil contemporânea com utilização de IPD/BIM. As setas no gráfico indicam as trocas de informações entre os diversos domínios de conhecimento e ação envolvidos no processo.

Figura 18 - O projeto arquitetônico no contexto da construção civil contemporânea.



Fonte: Autor.

A pesquisa evidenciou ainda que, no que tange ao ofício próprio do arquiteto ou à esfera de aplicação sua expertise específica, houve um reposicionamento dessa profissão no conjunto dos saberes envolvidos num empreendimento de construção civil, o que aponta para a necessidade de uma nova epistemologia do projeto arquitetônico.

Se no passado este projeto era visto pelos arquitetos, pelos contratantes e pelos demais partícipes do empreendimento como o projeto principal, do qual derivavam todos os demais a ele obedientes e dele dependentes, hoje a arquitetura da edificação é um projeto dentre outros, pouco mais importante que os complementares. Constata-se que este pequeno privilégio é devido somente ao fato de ser o primeiro que precisa tomar forma para que os demais possam ser elaborados. Porém, tão logo o sejam, reflui deles em direção ao arquitetônico uma torrente de necessidades de adaptações de toda ordem, limitando a autonomia de proposição formal do arquiteto. Embora mantenha a posição privilegiada de ser a especialidade de projeto da qual derivam os complementares, na vasta maioria dos empreendimentos de construção civil comercial a relação do arquiteto com os outros projetistas não é mais de rígida hierarquia, mas de interdependência. A Figura 19 mostra a

antiga relação do projeto arquitetônico com outros projetos e partícipes do empreendimento de construção civil.

Figura 19 - Antiga relação do projeto arquitetônico com outros projetos e partícipes do empreendimento de construção civil.



Fonte: Autor.

A Figura 20 mostra a teia de relacionamentos em um empreendimento imobiliário desenvolvido dentro da estratégia IPD/BIM. O papel do arquiteto deslocou-se do centro para a periferia das instâncias de decisão do empreendimento, mantendo, apesar disso, uma posição privilegiada quanto aos fluxos de informações, pois se relaciona intensamente com todos os demais agentes. No centro da figura, os originadores de informações com o maior poder de influência nas decisões de projeto. Em cinza, a comunidade de técnicos envolvidos. As setas em vermelho indicam os relacionamentos do arquiteto.

Norte, verificado em 2012¹³⁷ evidencia a importância maior dada ao processo por esses *stakeholders* do empreendimento mais diretamente ligados ao canteiro de obras.

Caberia então perguntar se BIM seria o “novo paradigma” de trabalho dos empreiteiros (o que seria questão de outra pesquisa que não esta); ou, caso afirmativo, se um paradigma de exercício profissional em um campo de práticas pode se tornar o de outro. Ou ainda, na mesma linha de questionamento, pode-se perguntar se o projeto arquitetônico, sendo atualmente apenas um serviço dentre vários no escopo de um empreendimento de construção com IPD/BIM deve buscar seu paradigma numa fórmula de processo de projeto mais do que numa **visão de mundo** balizada por conceitos humanísticos, históricos, culturais, filosóficos e epistemológicos mais abrangentes. Este trabalho defende que a busca por um paradigma do projeto arquitetônico — essencial para os rumos de seu ensino—, deva se dar a partir de tal cosmovisão, e nesse propósito aprofunda a discussão no capítulo seguinte, no qual se pretende realizar uma síntese dos aportes teóricos até aqui levantados.

Conclui-se este capítulo com o Quadro 7, abaixo, no qual é apresentado um resumo comparativo entre os paradigmas “Imaginado - pesquisas em *Design Methods* e desenvolvimentos de CAD e BIM” e “Alegado - *Building Information Modeling*”.

¹³⁷ Cf. fig. 12, e McGRAW HILL CONSTRUCTION. **The Business Value of BIM in North America: Multi Year Trend Analysis and User Ratings (2009 – 2012)**. [S.l.]: McGraw Hill Construction, 2012.

Quadro 7 - Comparativo entre os paradigmas “Imaginado” e “Alegado”.

Características do processo de projeto, de acordo com		
o Paradigma Imaginado, (pesquisas em <i>Design Methods</i> e desenvolvimentos de CAD e BIM)	quanto	o Paradigma Alegado, (<i>Building Information Modeling</i>),
O desenho visto como meio útil, mas insuficiente para descrição do artefato arquitetônico, como uma tradição ligada ao Renascimento. Crença na possibilidade de uso do computador como ferramenta de auxílio à projeção.	(1) ← à importância do desenho (<i>design-by-drawing</i>): →	O desenho visto como meio útil, mas insuficiente para descrição do artefato arquitetônico motivou a busca por representações computacionais capazes de dar conta da complexidade da representação.
Crença na possibilidade de os projetistas serem criativos em grupo, em que o grupo chega a soluções melhores que o indivíduo. A grande maioria dos aplicativos foi, desde o início, desenvolvida para o trabalho em equipe.	(2) ← ao processo criativo: →	A literatura consultada não menciona explicitamente o processo criativo em um processo de projeto nos moldes de IPD/ BIM, mas coloca forte ênfase no aprendizado mútuo entre os diversos partícipes como fator de melhoria do empreendimento.
Os pesquisadores de métodos de projetos defendiam que o processo de projeto deveria se tornar mais público e compartilhado, de modo a possibilitar críticas e sugestões dos interessados. Os pesquisadores de CAD e BIM criam na possibilidade de sistematização das ações de projeto para sua operacionalização através de aplicativos para computador.	(3) ← ao conhecimento do processo de projeto: →	<i>Building Information Modeling</i> é a consequência concreta dos avanços obtidos em razão da crença dos pesquisadores da área e também de <i>Design Methods</i> , em que o processo de projeto poderia ser sistematizado para se tornar mais conhecido e também passível de operacionalização com uso de computadores.
A percepção de que a complexidade dos problemas de projeto estava bem além da capacidade integrativa de um único indivíduo levou os pesquisadores dos dois eixos a dar grande importância à colaboração como forma de superar essa limitação. As pesquisas pioneiras em BIM já partiam desse pressuposto, e os aplicativos foram desenvolvidos para uso em trabalho de equipe.	(4) ← à importância da colaboração: →	A colaboração antecipada, aberta, constante e intensa é um fator primordial para um processo de projeto regido pela estratégia IPD/BIM, em que são levadas em conta e aproveitadas da maneira mais eficaz as diversas expertises na comunidade de técnicos e não-técnicos que participam do empreendimento.
Não foi encontrada, nos trabalhos de <i>Design Methods</i> consultados, menção explícita à gestão das comunicações em um processo colaborativo de projeto. No eixo das pesquisas que levaram a BIM, pode-se depreender que tenha sido ou um pressuposto ou uma necessidade evidenciada pelas dificuldades de implementação das primeiras experiências de trabalho concreto com a metodologia.	(5) ← à gestão das comunicações: →	Em um processo de projeto regido pela estratégia IPD/BIM, a gestão das comunicações assume especial importância, dada a natureza essencialmente colaborativa desse arranjo produtivo para concretização do empreendimento.

Características do processo de projeto, de acordo com		
o Paradigma Imaginado, (pesquisas em <i>Design Methods</i> e desenvolvimentos de CAD e BIM)	quanto	o Paradigma Alegado, (<i>Building Information Modeling</i>),
<p>Pesquisadores como Nigel Cross, John “Chris” Jones, Henry Sanoff e outros, ao defenderem a publicização do processo decisório em projetos, desde o princípio defendiam a importância da participação mais efetiva de contratantes e da comunidade de futuros usuários.</p>	<p>(6)</p> <p>← à participação de outros agentes de fora da comunidade de técnicos: →</p>	<p>IPD/BIM preconiza as participações antecipadas de todos os interessados no empreendimento (<i>stakeholders</i>) como meio de garantir o atendimento mais eficaz possível aos requisitos do empreendimento.</p>
<p>Não houve maior interação entre as pesquisas nos dois eixos. Para os pesquisadores de <i>Design Methods</i>, as TIC seriam um recurso dentre outros, complementar ao processo de projeto. Para os desenvolvedores dos aplicativos para CAD e BIM, as TIC e a crença na possibilidade de sua utilização na projeção do edifício elevou-as ao nível de condição indispensável de existência do processo de projeto.</p>	<p>(7)</p> <p>← às tecnologias de informação e comunicação (TIC): →</p>	<p>As TIC assumem especial relevância, tanto como suporte imprescindível à construção do modelo único n-dimensional da edificação, compartilhado pelos agentes que nele trabalham em diferentes graus de autonomia, como também no papel de plataforma para a gestão de diversos outros processos, serviços e registros de comunicações relacionados ao empreendimento.</p>
<p>Os pesquisadores das duas áreas percebiam a necessidade de que a representação da edificação incorporasse outras dimensões além das três tradicionais: largura, comprimento e altura. O advento da programação orientada a objetos e Iniciativas pioneiras como o BDS de Eastman, RUCAPS ou CATIA possibilitaram incorporar aos objetos representados informações além das geométricas, como meio de aumentar a previsibilidade dos eventos da construção, além da extração automática de dados quantitativos.</p>	<p>(8)</p> <p>← ao modo de representação da edificação: →</p>	<p>BIM baseia-se na representação computacional do projeto como um conjunto de objetos virtuais, que carregam a sua geometria, relações e atributos. Os recursos tecnológicos para projetar com BIM permitem a extração de diferentes pontos de vista de um modelo virtual da construção para gerar os desenhos de produção. Todos os diferentes pontos de vista são sincronizados automaticamente. Os objetos são todos consistentes uns com os outros em tamanho, localização e especificação. Extração automática de dados quantitativos.</p>
<p>A percepção pelos pesquisadores de <i>Design Methods</i> da importância da colaboração e das contribuições dos vários interessados no projeto reflete a importância dada aos aspectos sociais e políticos do projeto. Horst Rittel afirmava que “projetar é político”. Os desenvolvedores dos sistemas para CAD e BIM partiram da premissa de que o processo de projeto deveria ser colaborativo, em que a dimensão social e política está sempre presente.</p>	<p>(9)</p> <p>← aos aspectos sociais e políticos do projeto: →</p>	<p>Um processo de projeto nos moldes de IPD/BIM envolve outros aspectos além da projeção do artefato arquitetônico propriamente dito, a edificação. No documento AIA (2007) encontram-se diretrizes de cunho nitidamente político, quando trata das relações contratuais, partilha de responsabilidades, riscos e recompensas. Succar (2009) inclui o aspecto político como um dos aspectos de BIM, juntamente com processos e tecnologias.</p>

Características do processo de projeto, de acordo com		
o Paradigma Imaginado, (pesquisas em <i>Design Methods</i> e desenvolvimentos de CAD e BIM)	quanto	o Paradigma Alegado, (<i>Building Information Modeling</i>),
Os pesquisadores de ambos os eixos consideravam o projeto como um evento num período de tempo que vai além da duração da construção. Percebiam a crescente demanda dos usuários por durabilidade e desempenho, inclusive ambiental. Suas pesquisas chamaram a atenção para as etapas de operação e demolição da edificação, até então desconsideradas pelos projetistas.	<p>(10)</p> <p>← à abrangência do projeto no tempo: →</p>	O processo de projeto em IPD/BIM é a resposta procedimental e tecnológica a essas demandas da sociedade percebidas pelos pesquisadores pioneiros. BIM é considerada a ferramenta essencial para o planejamento da edificação, de sua construção, sua operação durante todo seu ciclo de vida e de seu descarte, desmonte ou demolição.

Fonte: Autor.

5 CONCLUSÃO — O PARADIGMA BUSCADO

O objetivo deste trabalho foi trazer contribuições históricas, teóricas e epistemológicas para aqueles que se dedicam ou pretendem dedicar-se ao ensino do projeto arquitetônico, diante da necessidade de construção de novos paradigmas e da renovação do ensino de graduação, como diagnosticaram Fernando Lara e Sônia Marques (2005). Outros autores também localizaram nas deficiências de formação e na atitude dos arquitetos frente aos problemas de projeto do empreendimento de AEC a origem dos problemas percebidos atualmente (GUIMARÃES, AMORIM, 2006; MELHADO, 1994, 2001; SALAMA, 2008). Como mencionado na Introdução, a pulverização de iniciativas renovadoras do ensino dessa disciplina verificada hoje entre as escolas de Arquitetura e Urbanismo, deve-se, dentre outros fatores, à ausência de uma visão de mundo mais contemporânea e abrangente a ser adotada nos cursos, visão capaz de aglutinar em torno dela um conjunto simples e eficaz de princípios a serem compreendidos e seguidos por profissionais de projeto tanto quanto por acadêmicos.

É preciso edificar uma **cosmovisão transdisciplinar**, compartilhada por um número significativo de arquitetos e docentes de Arquitetura, a ponto de se estabelecer como verdadeiro paradigma desse campo de teorias e práticas, no dizer de Kuhn (2011 [1962]); ou uma *Weltanschauung*, no profundo sentido filosófico desse termo, como explicado por Japiassú, Marcondes (2001): o de visão abrangente do mundo e da vida humana. Prover à comunidade de professores de projeto arquitetônico uma pequena contribuição para a formação desse paradigma e dessa cosmovisão foi o que motivou este trabalho e o que, de fato, constituiu seu principal objetivo.

Para lidar com esse propósito e chegar a alguns princípios simples e operacionalizáveis, apreendidos dos aportes teóricos encontrados (evidências)¹³⁸ e dentro de um enfoque transdisciplinar, o trabalho foi estruturado em seis diferentes frentes de

¹³⁸ Sobre os aportes teóricos como evidências em trabalhos deste tipo, cf. item 5.1 Método.

pesquisa bibliográfica, em torno de temas não diretamente relacionados entre si nem só e especificamente com o ensino de Arquitetura e Urbanismo, a saber:

Primeira: Pesquisas em Métodos de Projeto (*Design Methods and Theories*) que se intensificaram na segunda metade do século passado; estudo que revisitou os movimentos, personagens e visões de futuro que propugnavam por uma maior compreensão dos processos criativos, cognitivos e sociais envolvidos no ato de projetar um artefato. O movimento buscava melhor inserir entre as ciências a atividade de projetar, então percebida como defasada frente ao *statu quo* que outros campos de saberes e práticas desfrutavam, *e.g.*, Física ou Biologia. A meta era um melhor ambiente construído: melhores objetos, edificações e cidades. Ao contrário de uma maioria que ainda considerava a atividade do arquiteto como algo artístico e intuitivo, e, por isso, impossível de ser conhecido e sistematizado, pensadores como Christopher Alexander, Nicholas Negroponte, John Christopher Jones, Nigel Cross e outros produziram importantes contribuições práticas e também de natureza **epistemológico-cognitivas** para a compreensão e a melhoria do processo de projeto.

Segunda: Pesquisas sobre as visões de futuro e o desenvolvimento das tecnologias que levaram ao surgimento dos sistemas computacionais para auxílio à projeção de artefatos, sistemas estes genericamente designados por *Computer Aided Design* – CAD. De tais sistemas genéricos derivaram, como consequência da programação orientada a objetos e da busca por representações multidimensionais “inteligentes” que pudessem ser manipuladas na tela, os *software* para modelagem n-dimensional das informações do produto — *Product Information Modeling* (EASTMAN, 1999). Os conceitos de *Product Information Modeling*, que enxerga os artefatos como conjuntos de componentes regidos por parâmetros, quando aplicados ao caso específico do projeto de edificações, deram origem a *Building Information Modeling* (BIM), cuja operacionalização de suas políticas, processos e tecnologias específicos (SUCCAR, 2009) dá-se no contexto do assim chamado processo integrado de projeto ou *Integrated Project Delivery* (IPD). A contribuição para o avanço do processo de projeto fornecida por esses pesquisadores concentrou-se em torno de um eixo de conhecimentos de natureza nitidamente **tecnológico-procedimental** do processo de projeto.

Terceira: Pesquisas na área da Educação e da História da Ciência, para conhecer o paradigma aceito no presente momento para os saberes e práticas necessários à atuação do professor. Conceituação de epistemologia em sentido amplo e contemporâneo, e pesquisa sobre disciplinaridade tradicional, multi, inter e transdisciplinaridade, segundo Edgar Morin, Basarab Nicolescu, Ilya Prigogine, Marilda Behrens, Maria Cândida de Moraes, Maria José Esteves de Vasconcelos e outros autores. A partir da posição desses autores, foram discutidos fenômenos e princípios relacionados ao ensino superior em geral, e ao ensino do projeto arquitetônico em particular.

Quarta: Pesquisa sobre as metodologias ativas no ensino superior, em especial as propostas curriculares de Aprendizado Baseado em Problemas ou *Problem-Based Learning* (PBL) e Aprendizado Baseado em Projetos, ou *Project-Based Learning* (PjBL), com o intuito de conhecer suas origens, características e seus princípios norteadores, bem como sua relação com o ensino das profissões de projeto em geral, e do projeto arquitetônico em especial. Os aportes teóricos e de relatos de experiências que emergiram da terceira frente de pesquisa, juntamente com os verificados nesta quarta etapa evidenciaram a natureza **filosófico-metodológica** dos conhecimentos necessários para ensinar a pensar e fazer o projeto arquitetônico.

Quinta: Pesquisa sobre o processo de projeto com utilização de Building Information Modeling (BIM), com vistas a caracterizá-lo e discuti-lo, não como paradigma de projeção em Arquitetura e Urbanismo per se, mas como consequência dos vários desenvolvimentos tecnológicos e procedimentais ocorridos na segunda metade do século passado, em estreita relação com os dois tópicos abordados nas duas primeiras frentes de pesquisa deste trabalho. O estudo revelou o papel coadjuvante de BIM no processo integrado de projeto ou Integrated Project Delivery (IPD), o qual envolve outras dimensões além da técnica/tecnológica, embora não se realize sem ela. O estudo evidenciou que IPD é o macroprocesso contemporâneo de projeto dos empreendimentos no setor de AECO, e que BIM é um sub-processo de IPD, também de natureza sócio-técnica, intensivamente colaborativo e tecnológico, no interior do qual o projeto arquitetônico é um dentre vários outros serviços de design com igual importância. A conclusão desta frente de pesquisa é a de que BIM, à parte ser a concretização das visões de futuro que tiveram pioneiros como

Douglas Engelbart, Edward Sutherland, Timothy Johnson, Charles Eastman, Leonid Raiz ou Gábor Bojár, não é o paradigma de projeção em Arquitetura e Urbanismo, embora apresente elementos que podem ser classificados em alguns dos quatro elementos de um paradigma, a saber, teorias, experiências, métodos e instrumentos (KUHN, 2011 [1962]). Ficou evidente também a posição do projeto arquitetônico no contexto da indústria da construção civil, bem como a inserção do arquiteto numa rede de relacionamentos com diversas áreas e profissões na qual sua expertise específica não mais desfruta a mesma importância, autonomia e liberdade de proposição formal que a caracterizavam no passado, ao menos quando se trata do processo de projeto no ramo da construção civil comercial. Em outras esferas de produção do projeto arquitetônico, em que o contratante permite ou mesmo requer um aspecto icônico para a edificação pretendida, as TIC aplicadas ao processo de projeto tem permitido uma riqueza e complexidade formais sem precedentes, como observaram Kowaltowski et al. (2006, p. 15).

Sexta: A última frente de pesquisa deste trabalho é consubstanciada no presente capítulo, no qual são apresentadas as evidências para uma mudança de direção no ensino do projeto arquitetônico que emergiram da pesquisa bibliográfica. De caráter manifestamente cultural e sociológico, pretende abordar um conjunto de reflexões e visões altamente influentes no pensamento contemporâneo acerca do ecossistema artificial (as nossas cidades, os territórios adjacentes que as sustentam e a dinâmica de relações na nossa sociedade mediada, moldada e somente possível pela tecnologia da era digital). Baseia-se em sua maior parte nas contribuições para pensar o mundo trazidas por autores que se dedicam aos aspectos históricos e sociológicos da tecnologia, como Manuel Castells e Rosalind Williams. Este capítulo, no qual se delineia um rápido esboço das características da “sociedade em rede” e suas relações com a ecologia, a ciência em geral e a economia, é complementado por reflexões transdisciplinares sobre os chamados artefatos inteligentes e sobre o próprio conceito de inteligência do artefato, num esforço de vincular esses assuntos a todos os estudados anteriormente. O capítulo conclui-se com uma sinopse das evidências para renovação das práticas de ensino do projeto arquitetônico e sugestões para pesquisas futuras.

5.1 A SOCIEDADE EM REDE E A RELAÇÃO SOCIEDADE-TECNOLOGIA-NATUREZA

Para Manuel Castells¹³⁹, a sociedade contemporânea pode ser pensada como uma sociedade em rede possibilitada pelas novas tecnologias de informação e comunicação, as quais são tanto uma condição necessária quanto uma dimensão inextricável dessa sociedade, e juntas levam-na a resultados e desafios complexos. A prevalência das redes significa que entramos em um novo paradigma tecnológico e em uma nova forma de estrutura organizacional que mudou das formas verticais de rede para outras alternativas mais flexíveis e adaptáveis de atividade na economia, sociedade, política e cultura. Problemas históricos das redes são superados pelas novas tecnologias. Na sociedade em rede, a integração do núcleo de atividades financeiras globais funciona através de interações causais e da capacidade de avaliar e alterar o valor de qualquer título no mercado global. Isso só é possível através das telecomunicações e sistemas de informação poderosos que avaliam os riscos e fornecem alternativas rapidamente (CASTELLS, 2000b).

De acordo com o autor, a rede é, por definição, um instrumento de cooperação e competição com outras redes e de cooperação no âmbito da própria rede, em que cada nó precisa do outro para a rede funcionar. O autor explica seu ponto de vista usando uma comparação com os processos biológicos, em oposição ao processo mecânico que estamos acostumados a usar como uma metáfora para a nossa sociedade. As redes, portanto, tem essa capacidade de adaptação e flexibilidade, capacidade de organizar os recursos e organizar atividades. Enquanto reagem ao meio ambiente, transformando-se em

¹³⁹ Manuel Castells é professor de sociologia e diretor do Instituto Interdisciplinar de Internet da Universidade Aberta da Catalunha (UOC), em Barcelona. Ele é também Professor Titular de Tecnologia da Comunicação e Sociedade na Escola Annenberg de Comunicação da Universidade do Sul da Califórnia, Los Angeles. Professor Emérito de Sociologia, e Professor Emérito de Planejamento Urbano e Regional da Universidade da Califórnia, em Berkeley, onde lecionou por 24 anos. De acordo com o *Social Science Citation Index* (SSCI), o sociólogo foi o quinto intelectual mais citado no mundo na área de Ciências Sociais em geral, no período de janeiro a dezembro de 2012, e o quarto no período de 2000 a 2012. No campo das Ciências Sociais – Comunicação, Manuel Castells foi o mais citado no mundo em ambos os períodos, de acordo com o SSCI. Dados referentes ao ranking do SSCI e um currículo completo de Manuel Castells podem ser obtidos no website do professor: http://www.manuelcastells.info/en/cv_index.htm. Acesso em 20 abr. 2014.

vez de se chocarem contra outras estruturas ou contra outras organizações, elas são arranjos muito mais poderosos em qualquer competição (CASTELLS, 2000b).

Ao analisar, sob uma perspectiva histórica, as vantagens e as desvantagens das redes, Castells (2000b) mostra que o problema das redes, historicamente, tem sido a de que elas sempre tiveram e ainda têm uma dificuldade inerente para concentrar os recursos e para manter a unidade do projeto na realização de suas tarefas. Em outras palavras, as redes são muito boas em descentralizar atividades de uma forma flexível, mas não são muito boas em coordenar, centralizar a tomada de decisão e alocar recursos para um propósito particular. Além de certo grau de complexidade, a tarefa de gerenciar é outro problema — a tarefa de gerenciar tantos componentes diferentes e fazendo tudo trabalhar em conjunto para um propósito. Esta tarefa prova-se praticamente impossível de realizar além de um certo nível de complexidade. É por isso que as redes, ao longo da história, tem sido perfeitas para as relações interpessoais, família, amizade e comunidades, porém

terríveis para realizar tarefas centralizadoras como dominação estatal, a produção, negócios de todos os tipos e conquistas. Para todos esses, embora fossem instâncias de interação, as redes não foram a melhor organização. A burocracia centralizada, hierárquica e vertical tornou-se um instrumento muito mais poderoso para realizar a tomada de decisões sobre tarefas cujo controle era centralizado. (CASTELLS, 2000b, p. 153).

No mesmo artigo, Manuel Castells argumenta que as redes atuais, devido às tecnologias de informação, funcionam de modo diferente. Elas permitem, ao mesmo tempo, centralizar a execução e coordenar a tomada de decisão pelo fato de que são capazes de interagir em todas as relações de causa e efeito, de se ajustar em tempo real às mudanças e de gerenciar todos os graus de complexidade no interior da rede. Nesta nova economia organizada em redes, geração de valor, competitividade e produtividade são essencialmente dependentes de conhecimento e informação. Em outro trabalho de sua autoria, que aborda a dinâmica espacial da era da informação em face da globalização e da urbanização, acrescenta que a sociedade em rede é uma sociedade global porque as redes não têm limites. A transformação espacial é uma dimensão fundamental da nova estrutura social. O processo global de urbanização que estamos vivendo no início do século 21 é caracterizado pela formação de uma nova arquitetura espacial em nosso planeta, composta

de redes globais que ligam as principais regiões metropolitanas e suas áreas de influência (CASTELLS, 2010). Castells (2000a) aprofunda ainda mais sua visão, adotada neste trabalho, sobre as relações sociedade-tecnologia¹⁴⁰, quando define a tecnologia como uma “camada” das relações sociais.

No conceito e contexto utilizados por Castells em seus escritos sobre a sociedade em rede, *tecnologia* é “o uso do conhecimento científico para especificar modos de fazer as coisas de uma maneira reproduzível”. A tecnologia está incorporada nas relações técnicas, as quais são socialmente condicionadas, e por esse motivo não é, em si mesma, uma dimensão não-humana, algo independente da cultura. A tecnologia desempenha um papel essencial na definição dos relacionamentos da experiência humana. O autor exemplifica seu ponto de vista citando a tecnologia relacionada à reprodução humana, que interfere nas relações familiares e na sexualidade (CASTELLS, 2000a). Ainda segundo Castells, devemos entender a tecnologia em seus próprios termos como uma camada específica da estrutura social (CASTELLS, op. cit.). “Sabemos que a tecnologia não determina a sociedade: ela é a sociedade. A sociedade molda a tecnologia de acordo com as necessidades, valores e interesses das pessoas que usam a tecnologia.” (CASTELLS, 2005)¹⁴¹. No entanto, declara:

a tecnologia é uma condição necessária, embora não suficiente, para o surgimento de uma nova forma de organização social em rede, vale dizer, baseada na difusão da rede em todos os domínios de atividades que se desenvolvem através de redes de comunicação digitais. (CASTELLS, 2005, p. 3.).

Rosalind Williams (2003, p. 19)¹⁴², afirma que vivemos em um “novo habitat humano”. Esta expressão foi adotada nos mesmos termos e no exato sentido por um

¹⁴⁰ Cf. no artigo a conceituação dos quatro “elementos fundamentais da ação humana”, em torno dos quais Castells tece suas considerações sobre a sociedade em rede: 1) produção/consumo, 2) experiência, 3) poder e 4) cultura.

¹⁴¹ Tradução nossa, itálico no original. Cf.: CASTELLS, M.; CARDOSO, G. (Ed.). **The Network Society - From Knowledge to Policy**. Washington-DC: Johns Hopkins Center for Transatlantic Relations, 2005. p. 3.

¹⁴² Historiadora da cultura e tecnologia, escritora e professora de História da Ciência e da Tecnologia no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade no Instituto de Tecnologia de Massachussets (MIT). Um currículo resumido da pesquisadora pode ser consultado em <http://web.mit.edu/sts/people/williams.html>. Acesso em 5 maio 2014.

documento recente emitido pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2013), o qual define as cidades como esse novo habitat. Em Williams (2003) lemos que a computação estará em todos os lugares, “nossos quartos lerão nossos pensamentos, o ar vai sussurrar-nos mensagens, a Internet se tornará uma omninet, e seremos levantados do pântano do localismo para o globalismo digital.”. (*op. cit.*, p. 19). Segundo a autora, no coração da tecnologia atual, está a manipulação de símbolos, não de objetos materiais, e isso não simplesmente impacta a cultura e a sociedade: a tecnologia em si mesma é cultural e social desde o início; e afeta direta e indiretamente as experiências humanas de espaço, tempo, comunicação e consciência. Cita autores que fornecem definições desse novo habitat e rotulam-no “artificial” ou “especial”, mas a autora contra-argumenta que não existe nada mais natural do que a criatividade e engenhosidade humanas que conformaram este novo meio ambiente. Williams (*op. cit.*) afirma que para nós, humanos, a produção de tecnologia é “tão natural como a produção de enzimas por certas bactérias”. Defende que tampouco o meio ambiente artificial esteja “substituindo” o natural.

A natureza acabou não no sentido de ter desaparecido, mas apenas no sentido de estar tão misturada e amalgamada com processos humanos que não pode mais ser identificada como uma entidade separada. Nas palavras do cientista social Ulrich Beck¹⁴³: “Nem um cabelo ou uma migalha dela ainda é ‘natural’, se ‘natural’ significa natureza deixada a si mesma.”. (WILLIAMS, 2003, p. 23).

A autora prossegue pontuando que, desde os primórdios da história escrita da humanidade, e mesmo antes, a natureza “não-humana” tem sido o cenário da vida humana. Esta relação entre tecnologia e natureza, entre figura e fundo, a qual vem se alterando lentamente ao longo dos séculos, inverteu-se decisivamente no século passado. Em sua visão, o mundo construído tornou-se o território da existência humana, agora estruturando e incorporando a natureza não-humana, sendo que usávamos tecnologia para controlar e explorar nosso habitat¹⁴⁴ e hoje usamo-la para nos desvincular dele. Nos termos da autora, o nosso é um mundo “híbrido”, no qual tecnologia e natureza estão

¹⁴³ Cf.: BECK, Ulrich. **Risk Society: Towards a New Modernity**. London: Sage Publications, 1992 [1986], p. 81.

¹⁴⁴ Aqui entendido como habitat natural, condições da natureza deixada a si mesma.

indissociavelmente integradas. Nenhum dos dois termos significa mais algo possível de ser visto como “puro”, separado.

No capítulo seguinte de seu livro, no qual menciona a crise de identidade na profissão de engenheiro, decorrente precisamente desse desaparecimento do conceito de natureza como algo independente da tecnologia, Rosalind Williams argumenta que não se cogita de um fim da engenharia, mas que a engenharia está desaparecendo como uma profissão coerente e independente, definida por relacionamentos bem entendidos com as organizações industriais e sociais, com o mundo material e com princípios norteadores como funcionalidade, por exemplo (WILLIAMS, 2003). Esta posição é muito semelhante ao que declaram Heath (1984, p. 12-13); Protzen e Harris (2010, p. 2), a respeito dos arquitetos, quando afirmam que as dificuldades enfrentadas por eles ao procurar bases conceituais para a projeção são decorrentes de um conflito interno da profissão, cercada de pressupostos superados e tradições, “encabulada em uma confusão histórica com respeito à sua arte, não sendo inspirada por ideias originais nem guiada por princípios definidos e bem entendidos”¹⁴⁵.

Conclui-se este subitem com a consideração de que o complexo cenário contemporâneo em que se formam os jovens arquitetos (e engenheiros) — o contexto da sociedade em rede, da descentralização de decisões, de ampla possibilidade de participação coletiva nas decisões de projeto, do desaparecimento das categorias de tecnologia e natureza como coisas separadas, da ruína das estruturas de poder ou de prestígio verticalizadas, da virtual impossibilidade de ação projetual individual que não leve em conta um esquema colaborativo multidisciplinar de trabalho —, está a demandar um novo paradigma de formação, substancialmente diferente do que orientou as gerações anteriores e que considere essas características da contemporaneidade, discernidas nos autores pesquisados. Nesse cenário, começam surgir outros elementos, diretamente decorrentes do avanço das TIC, os quais possuem um potencial ainda não pesquisado de impactar o

¹⁴⁵ Cf. Introdução.

exercício das chamadas profissões de projetos. Tais são os artefatos ditos *inteligentes*, tema do próximo subitem.

5.2 ARTEFATOS INTELIGENTES, INTELIGÊNCIA DO ARTEFATO E EDIFÍCIOS INTELIGENTES

Em um artigo de uma época pouco anterior ao período de consolidação das tecnologias para BIM, Khemlani *et al.* (1998), pesquisadores do Departamento de Arquitetura da Universidade da Califórnia – Berkeley, analisam e propõem sistemas para representações inteligentes de edificações. Segundo Eastman *et al.* (2011), objetos ou suas representações possuem uma “inteligência”, denominada em Informática “comportamento”, quando esses objetos “entendem e reagem” a contextos, primeiramente a partir da exigência do usuário.

Os conceitos e ideias expostos por Khemlani *et al.* (op. cit.) refletem tanto as pesquisas dos pioneiros em *Design Methods and Theories* quanto daqueles que se dedicaram a desenvolver sistemas computacionais para CAD e BIM, quando afirmam que os métodos de representação tradicionais utilizados por arquitetos e engenheiros por centenas de anos, como os desenhos em escala, perspectivas, e modelos tridimensionais, contêm apenas uma pequena parte da informação necessária para interpretar e avaliar a qualidade do projeto. Desenhos, por exemplo, representam apenas a geometria do edifício de modo altamente simbólico. Mesmo quando esta informação é acompanhada por rótulos textuais e especificações, por exemplo, de materiais, produtos, técnicas de construção, etc., ela ainda depende muito da inteligência e formação profissional do observador humano, que deve expandir¹⁴⁶ a informação acrescentando o seu próprio conhecimento do ramo. De acordo

¹⁴⁶ Orig.: *to augment*. Nos textos consultados para este subitem, aparecem com frequência o verbo *to augment* e o adjetivo dele derivado *augmented*, exatamente na mesma acepção usada por Douglas Engelbart em seu projeto de pesquisa de 1962, anteriormente mencionado neste trabalho: *Augmenting Human Intellect – A Conceptual Framework*. Esses termos não possuem equivalente exato em Português, e na língua inglesa tem o significado de tornar maior, mais forte e mais eficaz pelo acréscimo de algo à coisa. (Cf.: Dicionário **Collins COBUILD Advanced Learner’s English Dictionary**. Glasgow: HarperCollins Publishers, 5.ed., 2006 e dicionário **Longman English Larousse**. Paris: Librairie Larousse, 1968). O dicionário e tesouro on-line The

com os autores, a importação quase direta desses métodos de representação tradicionais para o projeto auxiliado por computador, até a consolidação dos sistemas para BIM, havia propagado as mesmas deficiências de informação.

A expansão dos dados com tal "conhecimento" inteligível por um computador é difícil, dado que a inferência de significado é uma das habilidades humanas mais difíceis de transmitir às máquinas. Esforços para conferir inteligência a aplicativos específicos até então haviam sido geralmente mal sucedidos em aumentar a utilidade dos computadores no projeto de edificações, exceto em alguns domínios estritos e muito bem definidos, como sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, por exemplo. Ainda hoje persiste a necessidade de uma representação mais "inteligente", que incorpore um acionamento, pelo aplicativo, de "conhecimentos" análogos aos requeridos para a interpretação de desenhos por observadores humanos. A história das pesquisas em projeto auxiliado por computador, desde o final da década de 1970 em diante, tem sido marcada pela busca por esse "santo graal"¹⁴⁷ da representação de edifícios inteligentes (KHEMLANI *et al.*, 1998).

Nessa direção, redefinições do conceito de inteligência do artefato sugeridas a partir da década passada, principalmente no Japão, na área da robótica, abriram novas possibilidades de se pensar a representação computacional dos objetos n-dimensionais componentes de um projeto, e os próprios componentes físicos. Takeda, Terada e Kawamura (2002)¹⁴⁸, em trabalho que propôs uma nova definição de inteligência

Free Dictionary (<http://www.thefreedictionary.com/>) apresenta como significado de *augment* "fazer com que algo (já desenvolvido ou bem encaminhado) fique maior, como em tamanho, extensão ou quantidade". Vistos os contextos em que o termo vem sendo empregado na área, desde o trabalho pioneiro de Engelbart, a tradução "expandir" foi a preferida neste trabalho. Assim, por exemplo, o autor dá preferência à tradução de *augmented reality* como "realidade expandida" ou "estendida", e não "aumentada", como na maioria das traduções.

¹⁴⁷ Expressão dos autores.

¹⁴⁸ O artigo figura na seção Temas Filosóficos (*Philosophical Issues*), à p. 176 dos anais do evento em que foi apresentado. Os autores relacionam também a inteligência do artefato ao conceito de *affordance* emergente, o qual, embora se relacione com o assunto em questão, não será abordado. Cf. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

do artefato, discutem o acoplamento entre a inteligência artificial e a corporalidade¹⁴⁹ do objeto. Com vistas à implantação de inteligência em robôs não necessariamente antropomórficos (ou humanoides) bem como em outros artefatos, defendem que a inteligência do artefato deve acompanhar o grau de complexidade dessa corporalidade, e que a forma nem sempre deverá seguir a função.

Para os autores, *Inteligência do Artefato* significa um grau de inteligência para artefatos que se encaixa na sua corporalidade, isto é, de acordo com a complexidade de suas estruturas e funções. A inteligência deve ser menor em termos de complexidade, se a complexidade da estrutura e funções do artefato é menor. Em outro trabalho da área, Morikawa; Oka (2003) propõem o conceito de *triface*, supostamente capaz de fornecer uma visão unificada das interações entre humanos, robôs e meio ambiente. O conceito tradicional de *interface* centra-se principalmente sobre a relação entre dois elementos, por exemplo: humano e robô, humano e computador, humano e máquina.

A triface inclui as interações com um terceiro elemento: o ambiente, que não pertence ao ser humano nem ao robô ou artefato qualquer. O meio pode desempenhar um papel importante para as interações robô-humanos, especialmente no caso em que um robô tem de aprender ambos os modelos humano e ambiental, de forma autônoma. Os autores descrevem também as variações das possíveis interações por trifaces, e descrevem os conceitos essenciais de inteligência sintética para ajudar o robô a aprender a se comunicar com o ser humano, bem como interagir com dados que obtém do meio ambiente (MORIKAWA; OKA, 2003)¹⁵⁰.

Assim como no caso dos robôs, o conceito da triface, ao considerar simultaneamente no estudo as interações entre o humano, o artefato e o ambiente é útil para a compreensão e o avanço da automação predial ou doméstica, no caso da arquitetura.

¹⁴⁹ Ing. *embodiment*.

¹⁵⁰ O artigo apresenta detalhadas informações sobre o conceito da triface, em linguagem acessível, estabelecendo correlações entre os mecanismos cognitivos que levam as crianças a aprender e os conceitos de inteligência artificial no caso de artefatos capazes de aprender.

Gadakari; Musharat; Newman (2014), em artigo que investiga as relações entre a inteligência do edifício e a sustentabilidade, apresentam um panorama abrangendo os últimos trinta anos de existência do conceito de sustentabilidade e um período de aproximadamente dezesseis anos de discussões do conceito de edifício inteligente¹⁵¹. Os três requisitos de inteligência do edifício que adotam no artigo, embora tenham sido formulados em 1987¹⁵², continuam sendo os mais exatos e abrangentes, segundo os autores. Sua formulação é consistente com o ponto de vista dos pesquisadores de inteligência do artefato na área da robótica. Os requisitos são os seguintes:

- Os edifícios devem “saber” o que está acontecendo dentro e imediatamente fora.
- Os edifícios devem “decidir” a maneira mais eficiente de proporcionar um ambiente prático, confortável e produtivo para os ocupantes.
- Os edifícios devem responder prontamente às demandas dos ocupantes. (GADAKARI; MUSHARAT; NEWMAN, 2014, p. 2-3, aspas dos autores).

Os autores concluem seu artigo com a afirmação de que a inteligência do edifício é, de fato, o caminho para a sustentabilidade total. Ora, para os edifícios *saberem*, *decidirem* e *responderem*, é necessária não apenas a modelagem das informações de sua construção. Uma vez que é notória e crescente a importância do conceito sustentabilidade em todos os ramos da indústria, pode-se inferir que, em breve, será necessário ao arquiteto lidar não somente com a modelagem das informações da construção, mas também com a modelagem da inteligência do edifício, ou *Building Intelligence Modeling*, algo que se poderia designar pela sigla BIM-2, ou segunda geração de BIM.

¹⁵¹ O trabalho é útil ao pesquisador interessado neste tema, e possui setenta e quatro referências bibliográficas do período abrangido, através das quais os autores localizam o estado-da-arte dos dois conceitos que correlacionam. Úteis também são os relatos sistematizados de seu estudo de cinco grandes edifícios, todos significativos do ponto de vista arquitetônico, concebidos como inteligentes e sustentáveis, localizados em diferentes países, a saber: Reino Unido (1), Estados Unidos (2), Cingapura (1) e Taiwan (1).

¹⁵² Os autores do conceito foram Bennett *et al.* (1987), citado por Atkin, B. (1988), trabalhos não consultados. Cf.: ATKIN, B. **Intelligent buildings**: applications of IT and building automation to high technology construction projects. Surrey-UK: Gower Publishing Ltd., Série Unicom Applied Information Technology, 1988. 275 p.

À luz desses conceitos de *artefatos inteligentes* e de *inteligência do artefato*, aqui sumariamente apresentados, apenas como exemplo de alguns desenvolvimentos nesses campos na última década, trata-se então de discutir a inteligência do artefato no caso de o artefato ser uma edificação. Não serão exploradas aqui outras definições de *edifício inteligente*, posto que há grande quantidade de trabalhos sobre o tema. Será usada aqui essa expressão no sentido anteriormente mencionado de objeto inteligente (EASTMAN *et. al.* 2011), ou seja, objeto capaz de apresentar determinado comportamento, dar certa resposta e/ou capaz de mudar seu estado, posição, forma ou funcionamento conforme as informações que consegue obter do contexto em que está inserido, e usando para tanto seus próprios recursos: sua corporalidade (*hardware*) que permite a obtenção dos dados e sua programação (*software*) que fornece as respostas, reações ou comportamentos.

Assim, para efeito do ponto de vista defendido neste trabalho, *inteligente* é o edifício capaz de reagir, de se comportar de acordo com dados ambientais que seus componentes conseguem obter e processar, provendo respostas adequadas e programadas segundo uma perspectiva de conforto ambiental, sustentabilidade e integração com a cidade. Capacidades que já vem sendo empregadas em muitos edifícios, como por exemplo o controle autônomo de intensidade do ar condicionado de acordo com a temperatura externa, a movimentação de brise-soleils em função da posição do sol, controles computadorizados de tráfego de elevadores para otimização de tempos de espera e do consumo de energia, controles informatizados de monitoramento e sistemas de acesso e segurança, e outros, colocam os edifícios contemporâneos em outra relação com seus usuários e com o meio ambiente artificial. O processo de projeto de tais *edifícios inteligentes* ou com componentes inteligentes é profundamente diferente da concepção do artefato arquitetônico no passado, em que o arquiteto idealizava um objeto visto como “artístico” para ser depositado sobre uma base, que poderia ser um terreno em meio à natureza ou o tecido urbano; de certo modo, como uma figura contra um fundo. O problema, culturalmente falando, é que esses dois componentes básicos de nossa percepção do mundo não são mais tão nítidos, alternam-se dependendo da perspectiva adotada.

Os edifícios do passado eram invólucros estáticos (como muitos ainda são), cuja reação de seu *embodiment* em função do ambiente não ia além das pequenas modificações de seus materiais, como a dilatação, o desgaste e outras ocorrências físicas naturais. Eram edifícios que não possuíam capacidade de obter do ambiente informações e processá-las para otimizar seu funcionamento, sob a ótica da responsabilidade ambiental com o sistema vivo a que servem. Sua construção interferiu no meio, mas não havia com ele uma troca de dados objetiva. Pode-se argumentar que a arquitetura do passado, que ajudou a configurar nossas cidades, sempre esteve, em maior ou menor grau, integrada com os contextos econômico, tecnológico, social, político ou filosófico da época, mas isso ocorria porque tais contextos eram muito menos dinâmicos, interligados e mutantes do que o mundo da era digital. Para aqueles contextos, estavam adequados. Prova-o a constatação de que muitos edifícios antigos considerados de alto valor pecuniário, histórico ou simbólico tem necessitado de adaptações para se tornarem compatíveis com os parâmetros atuais de desempenho, conforto, sustentabilidade e acessibilidade. Precisam também incorporar sistemas que não haviam sido previstos ou sequer existiam, pois a expectativa de desempenho das edificações é hoje muito maior do que antes.

As visões contemporâneas da relação sociedade-tecnologia discernidas nesta pesquisa, como a de Williams (2003), que considera a inseparabilidade de tecnologia e natureza, a fusão da figura (ser humano) com o fundo (o meio ambiente artificial), ou como a metáfora empregada por Manuel Castells, de que “a tecnologia é a sociedade” (CASTELLS, 2005), convergem para o novo paradigma da ciência, o pensamento sistêmico, especialmente para seus dois traços mais distintivos: 1) a dependência que o fenômeno observado tem do observador, o que torna os dois — observador e fenômeno — partes indissociáveis de um mesmo sistema de conhecimento, assim como os autores pesquisados neste subitem consideram a tecnologia e a sociedade aspectos diferentes do mesmo sistema vivo¹⁵³; e 2) a transdisciplinaridade, perspectiva sob a qual se admite a inseparabilidade de todos os fenômenos, em vários níveis de realidade, o que impede, ao menos nas ciências

¹⁵³ Veja-se a afirmação de Rosalind Williams sobre a produção de tecnologia pela sociedade, comparada à naturalidade da produção de enzimas por certas bactérias.

sociais, a visão do mundo como um arranjo mecânico de fragmentos independentes, cujo isolamento é essencial para serem conhecidos, como no paradigma científico tradicional.

Na visão de mundo e ciência advogada pelos autores pesquisados e adotada neste trabalho não existe espaço para imaginar o projeto e a construção de um artefato qualquer, edificações inclusive e especialmente, como algo separado do ecossistema humano ou meramente a ele acrescentado, sem ter maiores responsabilidades do que a de satisfazer a um programa de necessidades diretas de seus usuários e às ambições financeiras de seus propositores. Essa nova visão de mundo, a pesquisa revelou, é a que tem sido defendida por intelectuais de renome como Manuel Castells, Rosalind Williams, Fritjof Capra, os biólogos Humberto Maturana e Francisco Varela, o filósofo e educador Edgar Morin, físicos como Ilya Prigogine e Basarab Nicolescu, o sociólogo Boaventura de Souza Santos, dentre outros citados neste trabalho. Para este último, por exemplo, neste período de transição em que vivemos, “é necessário voltar às coisas simples, à capacidade de formular perguntas simples, perguntas que [...] só uma criança pode fazer mas que, depois de feitas, são capazes de trazer uma luz nova à nossa perplexidade”. (SANTOS, 1988, p. 46). Sobre como se afigurava o panorama da ciência no final do século passado e como seria no princípio do atual, o pensador afirma:

Estamos no fim de um ciclo de hegemonia de uma certa ordem científica. As condições epistêmicas das nossas perguntas estão inscritas no avesso dos conceitos que utilizamos para lhes dar resposta. É necessário um esforço de desvendamento conduzido sobre um fio de navalha entre a lucidez e a ininteligibilidade da resposta. São igualmente diferentes e muito mais complexas as condições sociológicas e psicológicas do nosso perguntar. (SANTOS, 1988, p. 47).

O pensamento sistêmico e a abordagem transdisciplinar do conhecimento requerem um firme propósito de formulação de novas epistemologias dos saberes e práticas tradicionais, o que necessariamente deverá aos poucos impactar todas as instâncias da ação humana no planeta, uma vez que a civilização construída através do paradigma científico tradicional tornou-se insustentável. O projeto arquitetônico, e por consequência seu ensino, não constituem exceções. Como contribuição a este propósito, desenvolvem-se as ideias do subitem a seguir, no qual se pretende discorrer sobre a natureza e extensão do conhecimento necessário ao ensino do projeto arquitetônico, a partir de uma tentativa de

articular os dados levantados nesta pesquisa que apontam para uma epistemologia contemporânea do projeto arquitetônico.

5.3 CONTRIBUIÇÕES EPISTEMOLÓGICAS PARA O ENSINO DO PROJETO ARQUITETÔNICO

Esta pesquisa evidenciou, em sua primeira parte, que o processo contemporâneo de projetar edificações desenvolve-se hoje de maneira profundamente diferente da que orientava a concepção do artefato arquitetônico até um passado relativamente recente, distante cerca de trinta ou quarenta anos atrás. Porém, a percepção da inadequação do processo de projeto às demandas da sociedade pós-industrial ocorreu antes, há pouco mais de cinquenta anos, e motivou as pesquisas pioneiras relatadas no início deste trabalho. Dentre as várias consequências da busca por um processo de projeto mais público, metodológico e colaborativo, a que mais se destaca atualmente talvez seja *Building Information Modeling* (BIM), a ponto de esse processo de projeto ser considerado um novo paradigma de projeção em arquitetura.

Tratou-se de questionar esta alegação, contra-argumentando que um paradigma é antes de tudo um fato de matriz social, cultural e filosófica, não redutível a apenas um de seus elementos, nesse caso um tipo de processo de projeto ou ao suporte tecnológico que o possibilita, tendo sido adotada a definição de paradigma oferecida por Thomas S. Kuhn (2011 [1962]). Para a defesa desse ponto de vista, foi assumido como pressuposto que as matérias-primas para a construção do paradigma buscado para o ofício de projetar arquitetura podem ser encontradas tanto no conhecimento do *métier* do arquiteto, de seu processo de trabalho na atualidade e nas relações dessa profissão com as demais dentro de um empreendimento de construção civil quanto no conhecimento dos contextos econômico, social, cultural e tecnológico que configuram *uma ideia de Ocidente* e tudo influenciam, inclusive a profissão.

Neste último capítulo, que tratou de estabelecer relações entre a sociedade em rede, a tecnologia e a natureza, e também abordou resumidamente os

artefatos inteligentes, os conceitos de inteligência do artefato e de edifício inteligente foram investigadas as visões de contemporaneidade propostas pelos autores consagrados já citados. Eles veem o mundo como um só sistema, uma gigantesca teia hiperdinâmica de relações multidirecionais entre teias menores e seus nós, cujos fios visíveis e invisíveis alcançam todas as esferas da presença humana no planeta. Um mundo reconfigurado pela sociedade que configura a tecnologia que reconfigura a sociedade e o mundo, num ciclo cuja continuidade depende dramaticamente de um consenso global sobre a sustentabilidade do ambiente que o sistema vivo humano continua a construir (CAPRA, 1999, 2005a, 2005b). Nesse mundo redefinido pelas possibilidades trazidas pelas TIC, a natureza desapareceu, no sentido a que se referiu Williams (2003), o de que todos os espaços do planeta hoje constituem o que chamamos de ambiente construído, visto que praticamente não há mais locais onde a natureza, deixada a si apenas, seja capaz de prover os recursos de que a civilização necessita para continuar existindo.

Por se tratar de um esforço de argumentação lógica no sentido de prestar uma contribuição a um processo de ensino-aprendizagem específico, no caso, o do projeto arquitetônico no contexto dos cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo, foram explorados conceitos-chave da área de Educação, para conhecer os paradigmas que devem orientar as práticas e teorias a serem abraçadas por aqueles dedicados a compartilhar seu saber com os aprendizes. No percurso trilhado através desse território estranho à formação do arquiteto, impôs-se como essencial explorar o conceito de epistemologia, bem como o estudo de duas metodologias ativas de ensino-aprendizagem, ou “propostas curriculares” (BERBEL, 1998), a Aprendizagem Baseada em Problemas – PBL e a Aprendizagem Baseada em Projetos – PjBL. Portanto, para que o ensino do projeto arquitetônico seja capaz de entregar à sociedade profissionais aptos a responder adequadamente às demandas contemporâneas relativas ao ambiente construído, é necessária uma nova epistemologia desse ensino, a partir da qual a comunidade de profissionais e docentes de arquitetura possa decidir os elementos que constituirão o paradigma que tem sido buscado para o exercício profissional.

Ficou claro na pesquisa que o exercício do projeto arquitetônico não comporta mais ser visto como um fazer artístico, nos moldes da criação literária ou musical,

como Elvan Silva já afirmava há quase trinta anos (SILVA, 1986), mas também não meramente tecnológico e passível de sistematização total. Um crítico atual dessas duas vertentes de pesquisa e que defende a sustentabilidade como a causa capaz de coadunar as conquistas positivas delas tem sido Fernando Luiz Lara. Criticando a chamada primeira geração dos métodos de projeto¹⁵⁴, (LARA, 2007, 2008¹⁵⁵, 2009) escreve:

1. O foco na pesquisa estava menos interessado em aprender com a prática existente e mais em reinventar toda a disciplina projeto arquitetônico. Isso levou à dissociação entre pesquisa e prática que acabou isolando a comunidade de pesquisa.
2. O fascínio com o computador como gerador de forma de criou uma cultura de auto-suficiência na comunidade de pesquisa. Programas e códigos foram escritos para o avanço da computação em si e não para avançar a interface com o trabalho de projeto. A obsessão com o desenvolvimento de *software* generativo criou ainda mais mal-entendidos e, compreensivelmente, não foi abraçado pela comunidade de projeto. Enquanto isso, a evolução do *software* para CAD fez os computadores amplamente disponíveis no estúdio como substitutos para elaboração e ferramentas de visualização, e não para o avanço do esforço de investigação.
3. Outro grande problema com a convergência de pesquisa e projeto de 1970 era uma percepção generalizada de pesquisa como algo contra a cultura do estúdio. (LARA, 2007, p. 170, numeração dos tópicos no texto original)¹⁵⁶.

O autor prossegue argumentando que, em vez de abraçar o *ethos* do ateliê para transformá-lo ou aprimorá-lo por dentro, os pioneiros da pesquisa tentaram instaurar um ensino de regras lógicas e teorias normativas, com pouquíssimo espaço para a experimentação. Para ele, a lição a ser aprendida a partir dessas iniciativas é o fato de que, em sua opinião, o ateliê é e continuará sendo o cerne do ensino de arquitetura. Por isso, argumenta, em vez de evitá-lo, como fizeram os pesquisadores do passado, os arquitetos e professores de projeto arquitetônico devem abraçá-lo como componente fundamental da criatividade e da invenção na qual se baseia a profissão. (LARA, 2009). Por outro lado,

¹⁵⁴ Expressão criada por Horst Rittel em 1972. Cf.: RITTEL, H. W. J. On the Planning Crisis: Systems Analysis of the 'First and Second Generations'. *Bedrifts Økonomen*, n. 8, 1972, p. 390-396.

¹⁵⁵ A comunicação do arquiteto e professor Fernando Luiz Lara no simpósio *50 Years On, resetting the agenda for* de abril de 2007, publicado nos anais de outro evento, parece ter sido o que originou os outros dois mais recentes. *architectural education*, ocorrida em julho de 2008 originou o artigo publicado na revista aU, ed. 179 de fevereiro de 2009. Na citação, foi preferida a tradução publicada pelo autor no artigo da revista em 2009. Já o artigo datado

¹⁵⁶ Os tópicos 1, 2 e 3 foram traduzidos da versão de 2007 do artigo, e não constam nas outras duas pesquisadas.

adverte, ignorar a importância da pesquisa na produção e sistematização do conhecimento em arquitetura significa abandonar uma parte grande da responsabilidade pública dos arquitetos na constituição de um ambiente construído melhor. Coerente com a importância dada à questão da sustentabilidade pelos pensadores pesquisados, como sendo a única causa capaz de unir a humanidade para superar as consequências negativas do modelo de progresso que vem sendo repetido desde o século 19, O autor conclui:

No momento em que o planeta passa uma crise ambiental sem precedentes, parece óbvio que a sustentabilidade ambiental (que por sinal deve andar de mãos dadas com a sustentabilidade social) passa a ser uma prioridade inadiável. [...] Mais ainda que um imperativo, a necessidade de se construir melhor e com menos desperdício de matéria e energia se coloca como uma oportunidade ímpar para **reorganizar nossa base do conhecimento** e reconquistar nosso esgarçado papel social. Por mais que vários cursos sejam ministrados sobre o assunto nas escolas de arquitetura, defendo a ideia de que tal conhecimento [construção sustentável] não vai se impor na prática da arquitetura enquanto não for integrado ao ateliê. (LARA, 2009, grifo nosso.).

Todas essas considerações levantadas pelos autores pesquisados nesta parte do trabalho apontam, direta ou indiretamente para questões de cunho epistemológico com relação ao pensar e fazer arquitetura. Como visto, o conceito de epistemologia adotado neste trabalho é o de **natureza e extensão do conhecimento**. Assim, as contribuições a seguir são as que emergiram da pesquisa, elencadas numa ordem que se deseja lógica, porém não rígida, tampouco com a pretensão de construir paradigma algum, posto que a tarefa não é individual. São conexões possíveis em vista do estudo dos assuntos que constituíram as seis frentes de pesquisa envolvidas neste esforço de reflexão crítica, e as inferências que se pode fazer a partir de tais dados relacionando-os ao ensino do projeto arquitetônico.

A importância maior dada aos aspectos epistemológicos do que se pretende conhecer, (neste caso, as características da projeção arquitetônica na atualidade e seu território entre outros campos disciplinares), é devida ao fato de que primeiro é preciso conhecer, definir, configurar claramente o objeto de conhecimento, para então, uma vez reconhecível, poder ser adotado por uma parcela significativa de uma comunidade de saberes e práticas, tornando-se mais tarde um paradigma. Quanto aos termos *epistemologia* e *paradigma*, como visto, embora sejam conceitos entrelaçados, existe uma anterioridade

do primeiro, e sem este não se forma o segundo. Antes de um conjunto coeso de teorias, experiências, métodos e instrumentos se tornar paradigma, é preciso que seja amplamente compartilhado e aceito por uma comunidade. Não é possível compartilhar e aceitar o que não se conhece, e não se conhece o que não está definido em sua natureza e extensão. Daí a importância maior e a anterioridade da epistemologia na formulação do paradigma buscado para o ensino do projeto arquitetônico. Por essa razão as *contribuições* a que se refere este subitem são *epistemológicas*. Os pressupostos que guiam esta parte do trabalho podem ser sintetizados no seguinte esquema, representado na Figura 21:

Figura 21 - Pressupostos que guiam as conclusões.



Fonte: Autor

Com finalidade didática, a fim de melhor estruturar por tópicos as contribuições/reflexões, será utilizada uma categorização por aspectos característicos da projeção arquitetônica atual, a mesma proposta nos itens da coluna central do Quadro 7 (p. 157-159). Desse modo, são elencadas no Quadro 9 a seguir dez características do processo contemporâneo de projeto arquitetônico e as inferências possíveis relativas ao seu ensino, a partir desses dados.

Quadro 8 - Processo contemporâneo de projeto arquitetônico e relação com o ensino.

Características do processo contemporâneo de projeto arquitetônico	Inferências possíveis relativas ao ensino do projeto arquitetônico
<p>1) Quanto à importância do desenho (<i>design-by-drawing</i>):</p> <p>O desenho continua sendo visto como meio útil, mas reconhecido como insuficiente para descrição do artefato arquitetônico.</p> <p>Uso corriqueiro do computador como ferramenta de desenho e auxílio à projeção em 2D e 3D.</p> <p>Representações computacionais realistas e “inteligentes” começam a se tornar realidade, através do aperfeiçoamento dos programas para BIM, dos conceitos de inteligência do artefato e dos recursos de Realidade Expandida (ou Aumentada).</p>	<p>Necessidade de adequar os currículos para um ensino de desenho técnico, croquis e de maquetes físicas capaz de estabelecer conexões com o modo de representação em computador.</p> <p>Necessidade de uma abordagem didática específica para o aprendizado de BIM na academia, através das diversas séries.</p> <p>Nesse particular, um desafio importante seria atingir o equilíbrio entre o tempo destinado ao desenvolvimento de habilidades individuais, como o desenho manual, p. ex., com as coletivas, de projetar em colaboração, item essencial para o entendimento dos recursos disponíveis para um processo de projeto com BIM.</p>
<p>2) Quanto ao processo criativo:</p> <p>Em um processo de projeto em IPD/BIM é valorizada a criatividade do grupo, é assumido que o grupo chega a soluções melhores que o indivíduo.</p> <p>A grande maioria dos aplicativos disponíveis para a projeção foi desenvolvida para o trabalho em equipe, dentro de um esquema colaborativo de trabalho, situação em que seus recursos são mais bem aproveitados.</p> <p>Na literatura consultada não foram encontrados dados especificamente relacionados ao processo criativo em arquitetura e Urbanismo, com ou sem adoção de estratégias projetuais como IPD/BIM, por exemplo.</p>	<p>O reconhecimento de que a complexidade do artefato arquitetônico contemporâneo está acima da capacidade integrativa de um único indivíduo deveria refletir-se num currículo com um mínimo de trabalhos individuais. Ao contrário do que define a Resolução Nº 6, de 2 de fevereiro de 2006 - Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo (BRASIL, 2006), os trabalhos finais de graduação deveriam ser de grande porte e em equipe, pois refletiriam de maneira mais semelhante o ambiente da prática profissional.</p> <p>A projeção coletiva e as técnicas de registro e acompanhamento de um processo desse tipo deveriam ser bem conhecidas pelos docentes e compartilhadas com os aprendizes.</p> <p>Pesquisas sobre a aplicação das propostas curriculares PBL e PjBL no aprendizado do projeto arquitetônico possivelmente fornecerão aportes úteis nesse sentido.</p>
<p>3) Quanto ao conhecimento do processo de projeto:</p> <p>Não foi pesquisado se os arquitetos que atuam na esfera profissional conhecem e/ou aplicam Métodos de Projeto, no sentido dos propostos pelos pesquisadores de Design Methods and Theories.</p> <p>O processo de projeto em IPD/BIM é necessariamente mais público e compartilhado, mais aberto a críticas e sugestões dos interessados.</p>	<p>Necessidade de abordar, no ensino de graduação, conhecimentos de Metodologia de Projeto, bem como da história do desenvolvimento dessa área de conhecimento, suas teorias, seus personagens e visões de projeção.</p> <p>Conhecimentos de gerenciamento do processo de projeto também deveriam ser incluídos na graduação em Arquitetura e Urbanismo, pois é uma deficiência de formação reconhecida e documentada na literatura.</p>

Características do processo contemporâneo de projeto arquitetônico	Inferências possíveis relativas ao ensino do projeto arquitetônico
<p>4) Quanto à importância da colaboração:</p> <p>O processo contemporâneo de projeto em IPD/BIM é necessariamente colaborativo.</p> <p>As instâncias para uma atuação individual ou autoral do arquiteto são reduzidas ao mínimo possível no âmbito da construção civil comercial.</p>	<p>Uma vez que a colaboração antecipada, aberta, constante e intensa é um fator primordial para um processo de projeto regido pela estratégia IPD/BIM, o ensino do projeto arquitetônico deveria privilegiar as atividades em equipe, nas quais as habilidades de comunicação e colaboração podem ser mais bem desenvolvidas.</p> <p>Outro fator que poderia trazer benefícios para o ensino do projeto arquitetônico seriam atividades que permitissem a integração do processo de projeto com alunos e professores de arquitetura e engenharia projetando juntos em projetos para clientes reais, desenvolvidos em extensão universitária.</p>
<p>5) Quanto à gestão das comunicações:</p> <p>Este quesito não foi pesquisado. No entanto, é notório que dentro de um processo de projeto em IPD/BIM a gestão das comunicações assume especial relevância, ao possibilitar rastreamento de informações e determinação de responsabilidades, para fins de compartilhamento dos riscos e bônus, e também de eventual aplicação de penalidades contratuais.</p>	<p>Tanto quanto possível, as comunicações entre os professores e as equipes de estudantes deveriam ser documentadas, e a visão de cumprimento de um contrato deveria ser inculcada desde o início.</p> <p>Em um ensino do projeto arquitetônico com ênfase nas atividades em equipe, as técnicas básicas de registros de reuniões e acompanhamento de resultados poderiam ser compartilhadas com os alunos, sendo cobrados esses registros como um dos quesitos de avaliação da <i>qualidade do processo</i> de projeto.</p>
<p>6) Quanto à participação de outros agentes de fora da comunidade de técnicos:</p> <p>IPD/BIM preconiza as participações antecipadas de todos os interessados no empreendimento (<i>stakeholders</i>) como meio de garantir o atendimento mais eficaz possível aos requisitos do empreendimento.</p>	<p>O ensino do projeto arquitetônico poderia se beneficiar da integração de seus corpos docente e discente com outras áreas relacionadas, na própria universidade e também junto à comunidade em que a escola se insere, onde poderiam ser buscados temas de relevante interesse social a serem desenvolvidos através de projetos de extensão universitária.</p>
<p>7) Quanto às tecnologias de informação e comunicação (TIC):</p> <p>No processo de projeto em IPD/BIM as TIC assumem especial relevância, tanto como suporte imprescindível à construção do modelo único n-dimensional da edificação, compartilhado pelos agentes que nele trabalham como também no papel de plataforma para a gestão de diversos outros processos, serviços e registros de comunicações relacionados ao empreendimento.</p>	<p>Os cursos ou módulos de disciplinas destinados ao aprendizado de operação dos aplicativos deveriam ser capazes de ensinar seus recursos mais avançados, em especial os destinados à colaboração.</p> <p>As escolas precisariam adaptar seu espaço físico, mobiliário, horários e recursos disponíveis para a utilização intensiva e onipresente das TIC.</p> <p>O aprendizado do projeto arquitetônico numa situação de simulação de um processo de projeto em IPD/BIM apresenta desafios importantes, relacionados à constituição de equipes multidisciplinares com docentes e discentes de outros cursos, em diferentes graus de maturidade e conhecimento.</p>

Características do processo contemporâneo de projeto arquitetônico	Inferências possíveis relativas ao ensino do projeto arquitetônico
<p>8) Quanto ao modo de representação da edificação:</p> <p>O projeto da arquitetura em IPD/BIM baseia-se na representação computacional do projeto como um conjunto de objetos virtuais, que carregam a sua geometria, relações e atributos. Os recursos tecnológicos para projetar com BIM permitem a extração de diferentes pontos de vista de um modelo virtual da construção para gerar os desenhos de produção. Todos os diferentes pontos de vista são sincronizados automaticamente. Os objetos são todos consistentes uns com os outros em tamanho, localização e especificação. Extração automática de dados quantitativos.</p>	<p>Necessidade de o ensino do projeto arquitetônico reforçar os aspectos normativos da representação em desenhos, entendendo-os como parte de um sistema integrado de informações. A manipulação de um modelo em BIM com todas as suas dimensões implica um pensamento sistêmico a respeito da edificação.</p> <p>Necessidade de o ensino do projeto arquitetônico abordar também, de modo metodológico e consistente, os aspectos técnicos e quantitativos da edificação, inculcando a ideia de que os artefatos do projeto não são suas representações, e que possuem outras dimensões além das geométricas.</p> <p>Ao se incorporar no curso o aprendizado do processo de projeto com uso de BIM, o acoplamento entre o projeto arquitetônico e os demais sistemas da edificação ficaria muito mais claro para o estudante, bem como a responsabilidade e as consequências das alterações na forma.</p>
<p>9) Quanto aos aspectos sociais e políticos do projeto:</p> <p>Como mencionado, o processo de projeto nos moldes de IPD/BIM envolve outros aspectos além da projeção do artefato arquitetônico propriamente dito, a edificação. No documento AIA (2007) encontram-se diretrizes de cunho nitidamente político, quando trata das relações contratuais, partilha de responsabilidades, riscos e recompensas. Succar (2009) inclui o aspecto político como um dos aspectos de BIM, juntamente com processos e tecnologias.</p>	<p>No ensino do projeto arquitetônico seria desejável possibilitar aos estudantes oportunidades de trabalhar com situações reais, de clientes reais. Uma das vias para tanto seria através de projetos de extensão universitária, envolvendo discentes das séries finais dos cursos de arquitetura e engenharia juntos.</p> <p>Ao tomar contato com situações e pessoas reais, muitos dos aspectos políticos envolvidos em um projeto seriam evidenciados na prática, além do benefício do desenvolvimento de habilidades de relacionamento interpessoal, de habilidades de comunicação e de colaboração, indicadas pela literatura como necessárias a engenheiros e arquitetos.</p> <p>A literatura consultada aponta que as abordagens PBL e PjBL favorecem o desenvolvimento de tais habilidades. Porém, não foram localizados trabalhos que relatem experiências de aplicação dessas propostas curriculares em cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo.</p>
<p>10) Quanto à abrangência do projeto no tempo:</p> <p>O processo de projeto em IPD/BIM é considerado essencial para o planejamento da edificação, de sua construção, sua operação durante todo seu ciclo de vida e de seu descarte, desmonte ou demolição.</p>	<p>A pedagogia do projeto arquitetônico, se orientada para a sustentabilidade desde o início, como preconiza Fernando Lara, poderia levar em conta também os aspectos relacionados ao término da vida útil da edificação e descarte de seus materiais.</p>

Fonte: Autor.

5.4 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

O presente argumento, dirigido desde o início à comunidade de professores de Arquitetura e Urbanismo, em especial aos mais jovens e nascidos na era digital que em breve ingressarão na carreira docente, pretendeu abordar uma variedade de tópicos julgados relevantes para a construção de um pensamento abrangente e contemporâneo acerca do ensino do projeto arquitetônico. No desenvolvimento de cada capítulo, como sói ocorrer em trabalhos de feição cultural/discursiva com este, algumas questões ficaram sem resposta, as quais ensejam outras pesquisas que poderão ser valiosas na construção do paradigma buscado para o ensino do projeto arquitetônico. São elas:

Do capítulo 2 — O Paradigma Imaginado: Uma investigação sobre as possíveis ligações entre as linhas de pesquisas em *Design Methods and Theories* e as que levaram ao desenvolvimento de CAD e BIM, bem como sobre se havia iniciativas com a participação comum dos seus protagonistas seria de interesse. Este trabalho não encontrou evidências claras disso, embora se depreenda a influência de uma vertente sobre a outra. Dado o fato de que vários pesquisadores dessa época ainda estão vivos e atuantes, um trabalho historiográfico, possivelmente baseado em entrevistas e documentos seria oportuno.

Do capítulo 3 — O Paradigma Aceito: Também seria de interesse da comunidade de docentes em CGA&U um estudo empírico de aplicação das propostas curriculares de PBL e PjBL nesses cursos, ao menos na disciplina de projeto arquitetônico. A pesquisa não localizou relatos de pesquisadores brasileiros que tenham se dedicado a um experimento pedagógico desse tipo, tampouco algum CGA&U estruturado sobre tais propostas curriculares. Os relatos obtidos referem-se a cursos de engenharia no exterior e indicam a pertinência dessas propostas de ensino para o desenvolvimento de pensamento sistêmico, habilidades de colaboração, comunicação e estudo auto-dirigido nos estudantes.

Do Capítulo 4 — O Paradigma Alegado: Este trabalho não abordou a dinâmica de um processo criativo de arquitetura dentro de um processo de projeto guiado

pela estratégia IPD/BIM. Uma investigação sobre a autonomia de proposição formal e desenvolvimento criativo de formas originais pelo arquiteto envolvido em um processo multiprofissional e colaborativo nesses moldes seria de grande interesse, não apenas para a comunidade de docentes em CGA&U, mas também para os profissionais de mercado. Os resultados de uma pesquisa desse tipo possivelmente poderiam, inclusive, lançar as bases para a delimitação de um território comum de práticas de ensino da representação gráfica na projeção arquitetônica, tanto no processo de invenção da forma quanto no desenvolvimento da documentação técnica do projeto, estabelecendo as pontes entre os sistemas tradicionais de pensamento projetual, baseados em *design-by-drawing* e os baseados em uso intensivo de TIC e representações computacionais.

Do Capítulo 5 — O Paradigma Buscado: Uma exploração transdisciplinar da aplicação dos conceitos da robótica tais como a *inteligência do artefato* e *triface* com relação aos *edifícios inteligentes* seria de interesse. A partir do conceito da sociedade em rede, um estudo empírico voltado para investigar os processos de projeto coletivo e as práticas colaborativas em rede utilizados nos grandes escritórios de arquitetura transnacionais também poderia trazer conhecimentos úteis, além de elementos para reflexão crítica sobre a produção arquitetônica desses arranjos produtivos. Outra pesquisa oportuna relacionada aos tópicos abordados nessa parte do trabalho seria uma que investigasse as relações da inteligência do artefato edificação com o conceito de sustentabilidade. Os resultados de tal pesquisa também forneceriam dados úteis à renovação do ensino do projeto arquitetônico, carente da abordagem de tal conceito, o qual, de acordo com Lara (2009), deveria ser inculcado no aprendiz, em ateliê, desde os momentos iniciais do curso.

REFERÊNCIAS

AIA. **Integrated Project Delivery: A Guide**. New York NY, Sacramento CA: The American Institute of Architects (AIA National e AIA California Council). 2007. Disponível em: <<http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/document/aiab085539.pdf>>. Acesso em: 16 abr 2013.

AISH, R. Building Modelling: The Key to Integrated Construction CAD. In: **Proceedings of the CIB 5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings**. Hong Kong, 7-9 jul., 1986.

ALDRICH, R. S. A whole systems approach: why Integrated Building Design spurs better, more sustainable projects from start to finish. **Library Journal**, Plain City-OH, Library Journals LLC, v. 136, n. 17, p. 30-33, 15 set. 2011. Disponível em: <<http://go.galegroup.com.ez79.periodicos.capes.gov.br/ps/i.do?id=GALE%7CA267202212&v=2.1&u=capes58&it=r&p=AONE&sw=w>> Acesso em: 30 ago. 2012.

ALEXANDER, C. **Notes on the Synthesis of Form**. Cambridge-MA: Harvard University Press. 1964. 224p.

_____. The State of the Art in Design Methods, **DMG Newsletter**, Beverly Hills, Sage Publications, University of California, Berkeley. College of Environmental Design, v. 5, n. 3, 1971.

ALEXANDER, C.; ISHIKAWA, S.; SILVERSTEIN, M. **A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction**. Oxford: Oxford University Press, Center for Environmental Structure Series, Book 2, 1977. 1171 p., il.

ALMEIDA, J. M. F. de. **Breve história da INTERNET**. Universidade do Minho, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Departamento de Sistemas de Informação – DSI, Sociedade da Informação de Portugal. 3 nov. 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/3396>>. Acesso em 14 nov. 2012.

ALVES, C. A. D. **Tecnologias e novos modos de comunicação: a (re) invenção do conhecimento no ciberespaço na percepção dos docentes imigrantes digitais de uma universidade pública**. 2013. 94 f. Dissertação. (Mestrado em Cognição e Linguagem). Centro de Ciências do Homem, Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes-RJ, 2013. Disponível em: <<http://pgcl.uenf.br/2013/pdf/Carlos%20Ant%C3%B4nio%20Dias%20Alves%202013.pdf>>. Acesso em 23 jan. 2014.

ANDERSON, G. L., HERR, K. The New Paradigm Wars: Is There Room for Rigorous Practitioner Knowledge in Schools and Universities?. **Educational Researcher**, Washington-DC, American Educational Research Association, v. 28, n. 5, p. 12-40, jun. 1999. Disponível em: <<http://edr-sagepub-com.ez79.periodicos.capes.gov.br/content/28/5/12.full.pdf+html>>. Acesso em: 15 ago. 2013.

ANDREASEN, M. M.; HEIN, L. **Integrated Product Development**. London: Springer, 1. ed., 1987. 205 p., il.

AOUAD, G. *et al.* **Computer Aided Design Guide for Architecture, Engineering and Construction**. Abingdon; New York: SPON Press, 2012.

ARAYICI, Y. *et al.* Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. **Automation in Construction**, Oxford, v. 20, n. 2, p. 189-195, mar. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez79.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.autcon.2010.09.016>>. Acesso em: 28 jul. 2013.

ASHRAE. **An Introduction to Building Information Modeling (BIM)** – A Guide for ASHRAE Members. Atlanta-GE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., 2009. 27 p., il. Disponível em: <<https://www.ashrae.org/resources--publications/free-resources/free-publications>>. Acesso em: 30 ago. 2012.

ASSOCIATION OF AMERICAN COLLEGES & UNIVERSITIES - AAC&U. **College Learning for the New Global Century** – A Report from the National Leadership Council for Liberal Education & America's Promise. Washington — DC, 2007, 71 p. Disponível em: <<http://www.aacu.org>>. Acesso em 29 abr. 2013.

BALDWIN, J. **BuckyWorks: Buckminster Fuller's Ideas for Today**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1997.

BARISON, M. B.; SANTOS, E. T. Ensino de BIM: tendências atuais no cenário Internacional. **Gestão & Tecnologia de Projetos**: Revista científica do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP, São Carlos, v. 6, n. 2, p. 67-80, dez. 2011. Disponível em: <<http://www.iau.usp.br/gestaodeprojetos/index.php/gestaodeprojetos/article/view/218/244>>. Acesso em 26 mar. 2014.

_____. Review and Analysis of Current Strategies for Planning a BIM Curriculum. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLICATIONS OF IT IN THE AEC INDUSTRY & ACCELERATING BIM RESEARCH WORKSHOP, 27., Cairo, 2010. **Proceedings...** Cairo: Virginia Tech, 2010. Disponível em: <<http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2010-83.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2014.

BARROWS, H. S. A taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education*, v. 20, n. 6, p. 481-486. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2923.1986.tb01386.x/pdf>>. Acesso em: 1 fev. 2014.

BARROWS, H. S.; TAMBLYN, R. **Problem-Based Learning: An Approach to Medical Education**. New York: Springer, 1980.

BATESON, G. **Mind and nature: A Necessary Unit**. New York: Hampton Press, 2002. 220 p.

_____. **Steps to an ecology of mind: Collected Essays in Anthropology, Psychiatry, Evolution, and Epistemology**. With a new foreword by Mary Catherine Bateson. Chicago, London: The University of Chicago Press, 2000.

BAYAZIT, N. Investigating Design: A Review of Forty Years of Design Research. **Design Issues**, Cambridge-MA, MIT Press Journals, v. 20, n. 1, Winter 2004. Disponível em: <http://design.osu.edu/carlson/id785/bayazit_des_research.pdf>. Acesso em 28 ago. 2013.

BECK, U. **Risk Society: Towards a New Modernity**. London: Sage Publications, 1992.

BEHRENS, M. A.; THOMÉ OLIVARI, A. L. O paradigma da complexidade na formação e no desenvolvimento profissional de professores universitários. **Educação: Revista da Faculdade de Educação – Programa de Pós Graduação em Educação da PUCRS, ediPUCRS, Porto Alegre**, v. 30, n. 3, p. 439-455, set./dez. 2007.

BERGIN, MICHAEL S. **A Brief History of BIM**. Matéria do portal ArchDaily, Dec 7, 2012. Disponível em: <<http://www.archdaily.com/302490>>. Acesso em: 01 jul. 2013.

BLACKWELL, A; RODDEN, K. Preface to this Electronic Edition. *In*: SUTHERLAND, I. E. **Sketchpad: A man-machine graphical communication system**. 1963. Tese (Doutorado) — Massachusetts Institute of Technology, set. 1963. Versão eletrônica comentada, set. 2003, p. 3-6. Disponível em: <<http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2013

BOZDOC, M. **The History of CAD**. Auckland: MB Solutions, 2003, banco de dados na Internet. Disponível em: <<http://www.mbdesign.net/mbinfo/CAD-History.htm>>. Acesso em: 24 ago. 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. **Resolução Nº 6, de 2 de fevereiro de 2006** - Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília-DF, fev. 2006, 5 p.

BRASLAVSKY, P. C. **As novas tendências mundiais e as mudanças curriculares na educação secundária latino-americana na década de 90**. Cadernos UNESCO Brasil, Série Educação, v. 8. Brasília: UNESCO, 2001, 80 p. Versão eletrônica em formato PDF. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/ue000298.pdf>>. Acesso em 20 maio 2013.

BROADBENT, G. **Design in Architecture: Architecture and the Human Sciences**. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1977. 518 p., il.

BROOKS, H. Dilemmas of the engineering education. **IEEE Spectrum**, New York, v. 4. n. 2, fev. 1967, p. 89-91. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez79.periodicos.capes.gov.br/10.1109/MSPEC.1967.5216210>>. Acesso em: 17 nov. 2012.

BUNGE, M. A. **Epistemologia: curso de atualização**. São Paulo: T. A. Queiroz: Ed. da Universidade de São Paulo, 1980. 246 p.

BURTON, R. **Ivan Sutherland – A. M. Turing Award Winner**. ACM – ASSOCIATION FOR COMPUTER MACHINERY, 2012. Página na Internet. Disponível em: <http://amturing.acm.org/award_winners/sutherland_3467412.cfm>. Acesso em 31 ago. 2013.

C. A. D. – Computer Aided Design. Elsevier – ScienceDirect, v. 1, n. 1. Disponível em: <<http://www.sciencedirect-com.ez79.periodicos.capes.gov.br/science/journal/00104485/1/1>> Acesso em: 10 ago. 2013.

CADAZZ. **CAD software – history of CAD CAM**. Página na Internet. Disponível em: <<http://www.cadazz.com/cad-software-history.htm>>. Acesso em: 29 ago. 2013.

CAMPOMORI, M. J. L. A transdisciplinaridade e o ensino de projeto de arquitetura. *Arquitextos*, Texto Especial nº 234. São Paulo, **Portal Vitruvius**, maio, 2004. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp234.asp>>. Acesso em: 5 ago. 2013.

CAPRA, F. **As Conexões Ocultas – Ciência Para uma Vida Sustentável**. Trad. Marcelo Brandão Cipolla. São Paulo: Pensamento-Cultrix, 2005. 296 p., il.

_____. *Ecoliteracy: The Challenge for Education in the Next Century*. In: **The Liverpool Schumacher Lectures**. Liverpool, Schumacher College, 20 mar. 1999. Disponível em: <<http://athenianvoice.wordpress.com/2013/04/28/ecoliteracy-the-challenge-for-education-in-the-next-century/>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

_____. **O Ponto de Mutação**. Trad. Álvaro Cabral. São Paulo: Pensamento-Cultrix, 25. ed., 2005. 432 p., il.

CARVALHO, R. S. de; SAVIGNON, A. P. de. O professor de projeto de arquitetura na era digital: desafios e perspectivas. **Gestão & Tecnologia de Projetos: Revista científica do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP, São Carlos**, v. 6, n. 2, fev. 2012. Disponível em: <<http://www.iau.usp.br/posgrad/gestaodeprojetos/index.php/gestaodeprojetos/article/view/215>>. Acesso em: 5 ago. 2013.

CASTELLS, M. Globalisation, Networking, Urbanisation: Reflections on the Spatial Dynamics of the Information Age. **Urban Studies**, Glasgow, v. 47, n. 13, nov. 2010, p. 2737-2745. Disponível em: <<http://usj.sagepub.com/content/47/13/2737>>. Acesso em: 27 abr. 2014.

_____. Materials for an exploratory theory of the network society. **The British Journal of Sociology**, London, The London School of Economics and Political Science, v. 51, n. 1, p. 5-24, 24 mar. 2000. Disponível em: <<http://onlinelibrary-wiley-com.ez79.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1111/j.1468-4446.2000.00005.x/pdf>>. Acesso em: 4 ago. 2013.

_____. The contours of the network society. **foresight**, v. 2, n. 2, p. 151–157. Bingley-UK: Emerald Group Publishing Limited, 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/14636680010802591>>. Acesso em 14 nov. 2012.

_____. The Cultural Crisis of Engineering in the Information Age: Rosalind Williams Retooling. **Technology and culture**, v. 44, n. 3, p. 586-590, jul. 2003. Disponível em: <http://muse-jhu-edu.ez79.periodicos.capes.gov.br/journals/technology_and_culture/v044/44.3castells.pdf>. Acesso em 30 jul. 2013.

CASTELLS, M.; CARDOSO, G. (Ed.). **The Network Society - From Knowledge to Policy**. Washington-DC: Johns Hopkins Center for Transatlantic Relations, 2005. 434 p., il.

CASTRO, E. A. S. de. Segregação socioespacial, constituição do sujeito e significação do cotidiano. **Psicologia e Sociedade**, Belo Horizonte, v. 24, n. 1, abr. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez79.periodicos.capes.gov.br/10.1590/S0102-71822012000100009>>. Acesso em 15 nov. 2012.

CAVALCANTE, E. S.; VELOSO, M. Complexidade e ensino de projeto - a integração de conteúdos disciplinares na concepção do projeto arquitetônico. *In: ENANPARQ - Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2., UFRN, UFPB, UFPE, Natal, 18-21 set. 2012.* Disponível em: <**Erro! A referência de hiperlink não é válida.**> Acesso em: 8 ago. 2013.

CHURCHMAN, C. W. Guest editorial: Wicked problems. **Management Science**, Application Series, v. 14, n. 4, B-141 a B-142, dez. 1967. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2628678>>.

COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL — CGI.br. **Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação no Brasil: TIC Domicílios e TIC Empresas 2011**. São Paulo: 2012, il., 604 p. Versão eletrônica em formato PDF disponível em: <<http://op.ceptro.br/cgi-bin/cetic/tic-domicilios-e-empresas-2011.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2013.

CONKLIN, J. Wicked Problems and Social Complexity. *In: Dialogue Mapping: Building Shared Understanding of Wicked Problems*. Chichester, England; Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2006.

COSTA, B. C. G. da. Comunicação e educação na era digital: reflexões sobre estética e virtualização. **Comunicação, Mídia e Consumo**, São Paulo, v. 7, n. 19, p. 87-103, jul. 2010. Disponível em: <<http://revistacmc.espm.br/index.php/revistacmc/article/download/196/194>>. Acesso em 22 jan. 2014.

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., Porto Alegre, 11 a 12 jul. 2007. Disponível em: <<http://noriegec.cpgec.ufrgs.br/tic2007/artigos/A1085.pdf>>. Acesso em: 26 jul. 2013.

CROSS, N. A History of Design Methodology. *In: Design Methodology and Relationships with Science*. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Design Methodology and relations with Science, Eindhoven, 29 set.-2 out., 1992. Dodrecht: Kluwer academic Publishers, NATO ASI Series, n. 71, 1993, p. 15-27.

_____. **Design Thinking**. Oxford; New York: Berg, 2011. 165 p., il.

_____. Designerly Ways of Knowing: Design Discipline versus Design Science. **Design Issues**, Cambridge-MA, MIT Press Journals, v. 17, n. 3, pp. 49-55, 2001. Disponível em: <<http://oro.open.ac.uk/3281/1/Designerly-DisciplinevScience.pdf>>. Acesso em 22 ago. 2013.

_____. Editorial Forty years of design research. **Design Studies**, Philadelphia, Elsevier, v. 28, n. 1, p. 1-4. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez79.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.des.tud.2006.11.004>>. Acesso em 24 ago. 2013.

_____. **Engineering Design Methods**. Chichester: John Wiley & Sons, 1989.

CROWE, C. M. *et al.* **Chemical Engineering at McMaster University** - The Formative Years: A Brief History 1958-1982. Milton-ON: Global Heritage Press, 2011. 100 p., il. Versão eletrônica em formato PDF disponível em: <<http://chemeng.mcmaster.ca/sites/default/files/media/History-of-Chemical-Engineering-at-McMaster-University-Crowe-Baird-Hamielec-Hoffman-Shemilt-Woods.pdf>>. Acesso em 19 mar. 2014.

CUNHA, M. I. da. **A prática pedagógica do “bom professor” – Influências na sua educação**. 1988. 187 f. Tese (Doutorado em Educação – Metodologia de Ensino)—Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, orientador: Prof. Dr. Newton César Balzan. Campinas, 1988.

_____. **O bom professor e sua prática**. Campinas: Papyrus, 1992.

DELL, P. F. Maturana’s constitutive ontology of the observer. **Psychotherapy: Theory, Research, Practice, Training**, US, v. 24, n. 3S, p. 462-466, 1987. Disponível em: <<http://psycnet-apa-org.ez78.periodicos.capes.gov.br/journals/pst/24/3S/462.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2014.

_____. Understanding Bateson and Maturana: Toward a biological foundation for the social sciences. **Journal of Marital and Family Therapy**, Washington, v. 11, n. 1, p. 1–20, jan. 1985. Disponível em: <<http://onlinelibrary-wiley-com.ez78.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1111/j.1752-0606.1985.tb00587.x/pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2014.

DOBELIS, M. Drawbacks of BIM concept adoption. *In: International Conference on Engineering Graphics*, 12., BALTGRAF 2013, Riga, Latvia, 5-7 jun. 2013. Disponível em: <<https://ortus.rtu.lv/science/en/publications/16040/fulltext.pdf>>. Acesso em 25 ago. 2013.

DOSSICK, C. S., NEFF, G. Organizational Divisions in BIM-Enabled Commercial Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, Reston-VA, v. 136, n. 4, p. 459-467, abr. 2010. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000109](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000109)>. Acesso em: 31 mar. 2014.

EASTMAN, C. *et al.* **An Outline of the Building Description System**. Research Report No. 50, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh-PA, Institute of Physical Planning, set. 1974. 23 f. Versão eletrônica disponível em: <<http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED113833.pdf>>. Acesso em 31 ago. 2013.

_____. **BIM Handbook** - A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. 2. ed., New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2011. 648 p., il.

EASTMAN, C. M. **Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction**. Boca Ratón-FL, London, New York, Washington-DC: CRC Press LLC, 1999. 424 p., il.

EASTMAN, C.; HENRION, M. Glide: a language for design information systems. *In: SIGGRAPH '77 Conference*, San Jose-CA, 1977. **Proceedings of the 4th annual conference on Computer graphics and interactive techniques**, 1977, p. 24-33. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez79.periodicos.capes.gov.br/10.1145/965141.563863>>. Acesso em 5 set. 2013.

ENGELBART, D. C. **Augmenting human intellect: A conceptual framework**. Menlo Park-CA, Research Report AFOSR-3293, Stanford Research Institute, out. 1962. Disponível em: <<http://www.princeton.edu/~hos/h598/augmenting.pdf>>. Acesso em 28 jun. 2013.

FABRÍCIO, M. M. **Projeto simultâneo na construção de edifícios**. 2002. 350 f. Tese (Doutorado em Engenharia – Engenharia de Construção Civil e Urbana)—Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, orientador: Prof. Livre Docente Sílvio Burratino Melhado, São Paulo, 2002.

FABRÍCIO, M. M.; MELHADO, S. B. Desafios para integração do processo de projeto na construção de edifícios. *In: WORKSHOP NACIONAL: GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL*, 1, 2001, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EESC/USP, 2001. CD-ROM: il.

FLEISCHMANN, K.; HUTCHINSON, C. Creative exchange: an evolving model of multidisciplinary collaboration. *Journal of Learning Design*, Brisbane, v. 5, n. 1, p. 23-31, 2012. Disponível em: <<https://www.jld.edu.au/article/view/92>>. Acesso em: 6 set. 2012.

FORWOOD, B. Teaching Computer Aided Design in a School of Architecture. **Computers & Education**, Elsevier Inc., Philadelphia, v. 3, n. 1, p. 1-6, 1979. Disponível em: <[http://dx.doi.org.ez79.periodicos.capes.gov.br/10.1016/0360-1315\(79\)90020-4](http://dx.doi.org.ez79.periodicos.capes.gov.br/10.1016/0360-1315(79)90020-4)>. Acesso em: 5 ago. 2013.

FRENCH, M. J. **Conceptual Design for Engineers**. London: The Design Council, 2. ed., 1985. 252 p., il.

GADAKARI, T.; MUSHARAT, S.; NEWMAN, R. Intelligent Buildings: Key to Achieving Total Sustainability in the Built Environment. **EPPM - Journal of Engineering, Project, and Production Management**, Pingtung, Taiwan, Association of Engineering, Project, and Production Management, v. 4, n. 1, jan. 2014, p. 2-16. Disponível em: **Erro! A referência de hiperlink não é válida.**. Acesso em 11 maio 2014.

GREGOLIN, M. do R. V. Análise do Discurso: Conceitos e Aplicações. **Alfa: Revista de Linguística UNESP**, São José do Rio Preto, v. 39, p. 13-21, 1995. Versão eletrônica disponível em: <<http://seer.fclar.unesp.br/alfa/article/view/3967/3642>>. Acesso em: 10 jun. 2013.

GRILO, L. M.; MELHADO, S. B. Desafios e oportunidades para os escritórios de projeto frente às tendências para a gestão do processo de projeto e do empreendimento. *In: Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP*, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/336. São Paulo: EPUSP, 2003, 20 p. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00336.pdf>. Acesso em: 8 maio 2012.

GROAT, L.; WANG, D. **Architectural Research Methods**. New York-NY: John Wiley & Sons, 2002. 304 p., il.

GELL-MANN, M. **O quark e o jaguar: Aventuras no simples e no complexo**. Rio de Janeiro: Rocco, 1996.

GUIMARÃES, I. B.; AMORIM, S. R. L. Gestão da informação e competência em processo de projeto. **Gestão & Tecnologia de Projetos: Revista científica do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP**, São Carlos, v. 1, n. 1, p. 48-58, nov. 2006.

HARPERCOLLINS (Ed.). **Collins COBUILD Advanced Learner's English Dictionary**. Glasgow: HarperCollins Publishers, 5.ed., 2006.

HEATH, T. **Method in Architecture**. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1984. 256 p., il.

HILGENBERG, F. B. *et al.* Uso de BIM pelos profissionais de arquitetura em Curitiba. **Gestão & Tecnologia de Projetos: Revista científica do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP**, São Carlos, v. 7, n. 1, p. 62-72, maio 2012. Disponível em: <<http://www.iau.usp.br/posgrad/gestaodeprojetos/index.php/gestaodeprojetos/article/download/196/249>>. Acesso em: 8 ago. 2013.

HODKINSON, P. Learning as cultural and relational: moving past some troubling dualisms. **Cambridge Journal of Education**, Cambridge, v. 35, n. 1, p. 107-119, 2005. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=16573223&lang=pt-br&site=ehost-live>> . Acesso em: 4 ago. 2013.

HORN, R. E.; WEBER, R. P. **New Tools for Resolving Wicked Problems: Mess Mapping and Resolution Mapping Processes**. Stanford CA, Stanford University, Macro VU inc. e Strategy Kinetics, LLC, Menlo Park CA, 2007, v. 1.2, 34 p., 2007. Documento eletrônico em formato PDF. Disponível em: <http://www.strategykinetics.com//New_Tools_For_Resolving_Wicked_Problems.pdf> Acesso em 10 jun. 2013.

HOUGHTON MIFFLIN COMPANY. **Houghton Mifflin's PROJECT-BASED LEARNING SPACE**. Página na Internet. Desenvolvida por Anthony Petrosino, Ph.D.. Madison-WI: Wisconsin Center for Education Research, 1998. Disponível em: <<http://college.cengage.com/education/pbl/index.html>>. Acesso em: 20 jan. 2014.

HUBKA, V. **Principles of Engineering Design**. London: Butterworth-Heinemann, 1980. 124 p.

IBRAHIM, M. M.; KRAWCZYK, R. J.; SCHIPPORIET, G. A web-based approach to transferring architectural information to the construction site based on the BIM object concept. *In: CAADRIA Conference, 9.*, 28-30 abr. 2004, Seoul, South Korea. **Proceedings of the 9th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia**. 2004, p. 613-622. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/30872544_A_Web-Based_Approach_to_Transferring_Architectural_Information_to_the_Construction_Site_Based_on_the_Bim_Object_Concept/file/50463516466b83256e.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2013.

ILOZOR, B. D., KELLY, D. J. Building Information Modeling and Integrated Project Delivery in the Commercial Construction Industry: A Conceptual Study. **Journal of Engineering, Project, and Production Management**, Taiwan, v. 2, n. 1, p. 23-36, jan. 2012. Disponível em: <http://www.ppml.url.tw/EPPM_Journal/volumns/02_01_January_2012/ID_013_2_1_23_36.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2013.

IVANISSEVICH, A. Saber fragmentado — Um retrato do conhecimento científico de nossos jovens. **Revista Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 200, p. 26-33, 5 dez. 2003.

JAPIASSÚ, H.; MARCONDES, D. **Dicionário Básico de Filosofia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2001, 3. ed. rev. e ampl., 212 p.

JONES, J. C. **Designing Designing**. London; Oxford: Phaidon Press Ltd, 1991. 320 p., il.

_____. **Design Methods**. New York, Chichester: John Wiley & Sons, 1982. 2. ed., 472 p.

_____. How My Thoughts About Design Methods Have Changed During the Years, **Design Methods and Theories**, San Luis Obispo-CA, Design Methods Group, v. 11, n. 1, 1977.

KAMARA, J. M.; ANUMBA, C. J.; EVBUOMWAN, N. F. O. **Capturing Client Requirements in Construction Projects**. London: Thomas Telford Publishing, 2002.

KHEMLANI, L. *et al.* Intelligent representation for computer-aided building design. **Automation in Construction**, Oxford, v. 8, n. 1, p. 49-71, nov. 1998. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0926-5805\(98\)00065-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0926-5805(98)00065-X)>. Acesso em: 28 jul. 2012.

KOSKELA, L.; BALLARD, G.; TANHUNPÄÄ, V. Towards Lean Design Management. *In: Conference of the International Group for Lean Construction*, 5, 1997, Gold Coast. Proceedings. Gold Coast, 1997. (16-17 July, p. 1-12).

KOWALTOWSKY, D. C. C. K. *et al.* Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 07-19, abr./jun. 2006. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/viewArticle/3683>>. Acesso em 20 ago. 2013.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 11. ed., 2011. 262 p. (Série Debates, n. 115), 1. ed. original em inglês: Chicago, 1962.

KUNZ, W.; RITTEL, H. W. J. **Issues as Elements of Information Systems**. Working paper no. 131, Institute of Urban and Regional Development, University of California at Berkeley, 1970. Versão eletrônica disponível em: <<http://www.cc.gatech.edu/fac/ellendo/rittel/rittel-issues.pdf>>. Acesso em 26 jun. 2013.

KYMMELL, W. **Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Project with 4D CAD and Simulations**. Columbus-OH: McGraw-Hill, Construction Series, 2008. 270 p.

LAISERIN, J. Foreword. *In: EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. BIM Handbook - A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. 1. ed., New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008. p. xi-xii.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Metodologia do Trabalho Científico**. São Paulo: Atlas, 4. ed., 1992.

LARA, F. L. Ambiente fecundo - A urgência da sustentabilidade como janela de oportunidade para a arquitetura. **aU - Arquitetura e Urbanismo**. São Paulo: PINI, ed. 179, fev. 2009.

_____. Lab-Coats Back in Studio. Can Sustainability Bring Design and Research Back Together? *In: 50 Years On, resetting the agenda for architectural education*. 2008. Oxford-UK, 22-23 jul. 2008, **Proceedings...**, Oxford-UK, University Schools, University of Oxford, 2008. Anais eletrônicos disponíveis em: <<http://oxfordconference2008.co.uk/>>. Acesso em: 10 maio 2014.

_____. Lab-Coats Back in Studio. Can Sustainability Bring Design and Research Back Together? *In*: ARCC Spring Research Conference. 2007. Eugene-OR, 16-18 abr. 2007, **Proceedings...**, Eugene-OR, Architectural Research Centers Consortium, 2007, p. 169-174. Anais eletrônicos completos disponíveis em <http://arccweb.org/conferences/proceedings/ARCC2007_UO_Conference%20Proceedings.pdf>. Acesso em 12 maio 2014.

LARA, F. L.; MARQUES, S. (org.). **Projetar: Desafios e conquistas da pesquisa e do ensino de projeto**. Rio de Janeiro: Editora Virtual Científica, 2005, 172 p.

LAWSON, B. **How designers think** – The design process demystified. Oxford: Elsevier, Architectural Press, 2005, 4. ed., 321 p., il.

LUKACS, J. Heisenberg recognitions: The end of the scientific world view. *In*: BURKE, J. G.; **Science and culture in the western tradition: Sources of interpretation**. Scottsdale, Arizona: Gorsuch Scarisbrick Publishers, 1987.

MACMILLAN, S. *et al.* Mapping the early stages of the design process - a comparison between engineering and construction. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN – ICED 1999. Munich, 24-26 ago. 1999. **Proceedings...** Disponível em: <<https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/5408/1/Austin.pdf>>. Acesso em 24 ago. 2013.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 5. ed., 2003. 311 p.

MARQUES, R. B.; ELALI, G. V. M. A. Em busca da autonomia: a percepção do Trabalho Final de Graduação em Arquitetura e Urbanismo pelos fomandos. *In*: **Projetar - Processo de Projeto: Teorias e Práticas**, 5., 2011. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2011, v. 1. p. 1-15. Disponível em: <<http://projedata.grupo.projetar.ufrn.br/dspace/handle/123456789/948>>. Acesso em: 5 jun. 2012.

MARQUES, S., SOUZA, P.; MACEDO, D. Desenhado ou escrito? Reflexões sobre a representação dos trabalhos de graduação em arquitetura. *In*: COLÓQUIO INTERNACIONAL “EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE”, 4., set. 2010, São Cristóvão-SE. Universidade Federal de Sergipe, **Anais eletrônicos...** São Cristóvão-SE: UFSE, 2010. Disponível em: <http://www.educonufs.com.br/IVcoloquio/cdcoloquio/eixo_12/e12-13.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2012.

MARQUES, V. S. Notas sobre Ambiente Urbano. **Philosophica**: Centro de Filosofia da Universidade de Lisboa, Lisboa, n. 4, p. 141-147, nov. 1994. Disponível em: <http://www.centrodefilosofia.com/uploads/pdfs/141-147_.pdf>. Acesso em 14 nov. 2012.

MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. **A Árvore do Conhecimento** – As Bases Biológicas da Compreensão Humana. Trad. Humberto Mariotti e Lia Diskin. São Paulo: Palas Athena, 2. ed., 2001. 288 p., il.

McGRAW-HILL CONSTRUCTION. **The Business Value of BIM in North America: Multi-Year Trend Analysis and User Ratings (2009 – 2012) – Smart Market Report.** [S.l.]: McGraw-Hill Construction, 2012. 72 p., il. Disponível em: <http://download.autodesk.com/us/offercenter/smartmarket2012/SmartMarket_2012_Prelim.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2014.

MELHADO, S. B. **Gestão, cooperação e integração para um novo modelo voltado à qualidade do processo de projeto na construção de edifícios.** 2001. 235 f. Tese (Livre Docência)—Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Construção Civil, São Paulo, 2001.

_____. **Qualidade do projeto na construção de edifícios:** aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção. 1994. 294 f. Tese (Doutorado em Engenharia)—Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, orientador: Vahan Agopyan, São Paulo, 1994.

MENEZES, A. M. *et al.* A contribuição dos aplicativos BIM às novas práticas de projeto de edificações com base nas teorias contemporâneas de ensino. *In: Projetar*, 5., 2011, Processos de Projeto: teorias e práticas. Belo Horizonte, 2011. Anais eletrônicos em CD-ROM.

MENEZES, G. L. B. B. de. Breve histórico de implantação da plataforma BIM. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Belo Horizonte, PUC Minas – Departamento de Arquitetura e urbanismo, v.18, n.22, p. 153-171, 2º sem. 2011. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/Arquiteturaeurbanismo/article/download/3363/3719>> Acesso em: 15 maio 2012.

MIHALACHE, A. The Cyber Space-Time Continuum: Meaning and Metaphor. **The Information Society**, Indiana University, Bloomington, v. 18, n. 4, 2002. Disponível em: <<http://personal.lse.ac.uk/whitley/allpubs/timespecialissue/time06.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2014.

MILLS, J. E.; TREAGUST, D. F. Engineering Education — Is Problem based or Project based Learning the Answer? **Australasian Journal of Engineering Education**, The Australasian Association for Engineering Education Inc., Sydney, 2003, ed. 2003-04, 20 dez. 2003. Disponível em <http://www.aee.com.au/journal/2003/mills_treagust03.pdf>. Acesso em 8 maio 2013.

MITCHELL, C. T. **Redefining Designing: From Form to Experience.** New York: Van Nostrand Rheinhold, 2. ed., 1993, 162 p.

MORAES, M. C. **O Paradigma Educacional Emergente.** Campinas: 3. ed., Papyrus, 1999. 239 p. (Coleção Práxis).

MORIKAWA, K; OKA, N. Triface: The Interactions between Human Robot and Environment. 2003 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication. Millbrae, California, 31 out. a 2 nov. 2003. **Proceedings...**, p. 187-192, 2003. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1251843>>. Acesso em: 2 abr 2014.

MORIN, E. **Ciência com Consciência**. Tradução: Maria D. Alexandre e Maria Alice Sampaio Dória. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 344 p.

_____. **Introdução ao Pensamento Complexo**. Tradução de Eliane Lisboa. 3. ed., Porto Alegre: Sulina, 2007. 120 p.

_____. **O problema epistemológico da complexidade**. Lisboa: Publicações Europa-América, 2. ed., 1996. 134 p., Coleção Biblioteca Universitária.

MYERS, B. A. A brief history of human-computer interaction technology. **Interactions**, Association for Computer Machinery, v. 5, n. 2, mar./abr. 1998. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1145/274430.274436>>. Acesso em: 24 ago. 2013.

NEGROPONTE, N. Research In Progress – The Architecture Machine. **Computer-Aided Design**, Cambridge-MA, v. 7., n. 3, jul. 1975, p. 190-195. Massachusetts Institute of Technology, Department of Architecture. Relatório de pesquisa. Disponível em: <[http://dx.doi.org.ez79.periodicos.capes.gov.br/10.1016/0010-4485\(75\)90009-3](http://dx.doi.org.ez79.periodicos.capes.gov.br/10.1016/0010-4485(75)90009-3)>. Acesso em: 20 ago. 2013

_____. **Soft Architecture Machines**. Cambridge-MA; London: The MIT Press, 1975. 239 p., il.

_____. **The Architecture Machine – Toward A More Human Environment**. Cambridge-MA; London: The MIT Press, 1970. 2. reimpr., 1972. 153 p. il.

NETO, S. de A. e S. O que é um paradigma? **Revista de Ciências Humanas**, Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, v. 45, n. 2, p. 345-354, out. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5007/2178-4582.2011v45n2p345>>. Acesso em: 18 jul. 2013.

NEVES, L. F. A. **APRENDIZADO BASEADO EM PROBLEMAS, UM NOVO CONCEITO PARA A FORMAÇÃO DO DESIGNER E A SUSTENTABILIDADE**. 2009. 117 f. Dissertação. (Mestrado em Design). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2009. Disponível em: <<http://www4.faac.unesp.br/posgraduacao/design/dissertacoes/pdf/leticianeves.pdf>>. Acesso em: 1 fev 2014.

NEVILLE, A. J. Problem-Based Learning and Medical Education Forty Years On - A Review of Its Effects on Knowledge and Clinical Performance. **Medical Principles and Practice**, Ontario, v. 18, n. 1, 2009, p. 1-9. Disponível em: <<http://www.karger.com/Article/Pdf/163038>>. Acesso em: 1 fev. 2014.

NICOLESCU, B. La necesidad de la transdisciplinariedad en la educación superior. **Transpasando Fronteras**, Cali-Colombia, n. 3, 2013, p. 23-30. Disponível em: <http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/trans-pasando_fronteras/article/download/1624/2132>. Acesso em: 12 fev. 2014

_____. **O Manifesto da Transdisciplinaridade**. Trad. Lúcia Pereira de Souza. São Paulo: TRIOM, 1999. 167 p.

_____. The Need for Transdisciplinarity in Higher Education in a Globalized World. **Transdisciplinary Journal of Engineering & Science**, TheATLAS, 2012, v. 3, p. 11-18, dez 2012. Disponível em: <http://www.theatlas.org/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=129:the-need-for-transdisciplinarity-in-higher-education-in-a-globalized-world-by-b-nicolescu&id=16:vol-2012&Itemid=76>. Acesso em: 12 fev. 2104.

_____. **We, the Particle and the World / Nous, la particule et le monde**. 2. ed., Paris: Le Mail, 1985.

OLIVEIRA, O. J. de; MELHADO, S. B. **Como Administrar Empresas de Projeto de Arquitetura e Engenharia Civil**. São Paulo: PINI, 2006. 64 p., il.

ONU. UN System Task Team on the Post-2015 UN Development Agenda. UN Habitat. **Sustainable Urbanization – Thematic Think Piece**. [S.l.]: Documento eletrônico, maio 2013. Disponível em: <http://www.un.org/millenniumgoals/pdf/Think%20Pieces/18_urbanization.pdf>. Acesso em: 08 maio 2014.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design**. Ken Wallace, ed. London: Design Council; Springer-Verlag, 1984.

PANIZZA, A. de C. **Colaboração em CAD no projeto de Arquitetura, Engenharia e Construção: Estudo de Caso**. 2004. 171 p. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

PERRENET, J.C.; BOUHUIJS, P.A.J.; SMITS, J.G.M.M., The suitability of problem-based learning for engineering education: theory and practice. **Teaching in higher education**, v. 5, n. 3, p. 345-358, (S.l.), 2000. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/713699144>>. Acesso em 21 mar. 2014.

PERRENOUD, P. (entrevista). *In*: GENTILE, P.; BENCINI, R. Para aprender (e desenvolver) competências, **Revista Nova Escola**, São Paulo, n. 135, p. 12-22, set. 2000.

PLANT, R.; GAMBLE, R. Methodologies for the development of knowledge-based systems, 1982-2002. **The Knowledge Engineering Review**, Cambridge, UK, Cambridge University Press, v. 18, n. 1, p. 47-81. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1017/S026988890300064X>>. Acesso em: 3 set. 2013.

PRESS, L. Before the Altair: The History of Personal computing. **Communications of the ACM**, New York, v. 36, n. 9, set. 1993, p. 27-33. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez79.periodicos.capes.gov.br/10.1145/162685.162697>>. Acesso em 20 ago. 2013.

PRIGOGINE, I. O fim da ciência. *In*: SCHNITMAN (org.). **Novos paradigmas, cultura e subjetividade**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1986.

_____. O reencantamento da natureza. *In*: R. Weber (org.). **Diálogos com cientistas e sábios: A busca da unidade perdida**. São Paulo, Cultrix, 1986.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **A nova aliança: Metamorfose da ciência**. Brasília: UnB, 1991.

PROTZEN, J. P.; HARRIS, D. J. **The Universe of Design: Horst Rittel's Theories of Design and Planning**. Abingdon; New York: Routledge, 2010. 264 p.

REGO, R. L. (Org. e trad.) **A palavra arquitetônica**. São Paulo: Arte e Ciência, 1999. 96 p.

RITTEL, H. W. J. On the Planning Crisis: Systems Analysis of the 'First and Second Generations'. **Bedrifts Økonomen**, n. 8, 1972, p. 390-396. Disponível em: <Erro! A referência de hiperlink não é válida.> Acesso em: 24 ago. 2013.

_____. Some Principles for the Design of an Educational System for Design. *In*: PASSONNEAU, J. (ed.), **Education for Architectural Technology**. St. Louis: Washington University and the AIA Educational Research Projects, 1966. p. 103-151.

_____. **The Reasoning of Designers**. Arbeitspapier A-88-4. Stuttgart: Institut für Grundlagen der Planung, Universität Stuttgart, 1988. Disponível em: <<http://www.cc.gatech.edu/~ellendo/rittel/rittel-reasoning.pdf>> Acesso em: 24 ago. 2013.

_____. **The Universe of Design: Faculty Seminar, College of Environmental Design, Spring 1964**. Berkeley: Institute of Urban and Regional Development, University of California, 1964.

RITTEL, H. W. J., WEBBER, M. M. Dilemmas in a General Theory of Planning. **Policy Sciences**, Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, v. 4, n. 2, p. 155-169, jun. 1973. Versão eletrônica disponível em: <http://www.uctc.net/mwebber/Rittel+Webber+Dilemmas+General_Theory_of_Planning.pdf>. Acesso em 5 jun. 2013.

RITH, C.; DUBBERLY, H. Horst W. J. Rittel's Writings on Design: Select Annotations. **Design Issues**, Cambridge-MA, MIT Press Journals, v. 23, n. 1, p. 75-77, winter 2007. Disponível em: <<http://search-ebshost-com.ez79.periodicos.capes.gov.br/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=23843794&lang=pt-br&site=ehost-live>>. Acesso em: 26 jun. 2013.

ROWNTREE, D. Motivating teachers for materials-based learning. **International Journal for Academic Development**, London, ICED - The International Consortium for Educational Development, v. 3, n. 1, 1998, p. 47-53. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/1360144980030107>>. Acesso em: 4 ago. 2013.

RUSCHEL, R. C.; ANDRADE, M. L. V. X. de; MORAIS, M. de. O ensino de BIM no Brasil: onde estamos? **Ambiente Construído**, Porto Alegre, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v. 13, n. 2, p. 151-165, abr./jun. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ac/v13n2/a12v13n2.pdf>>. Acesso em: 8 ago. 2013.

SALAMA, A. M. A theory for integrating knowledge in architectural design education. **Archnet-IJAR — International Journal of Architectural Research**, MIT Libraries, Cambridge - MA, v. 2, n. 1, mar. 2008, p. 100-128. Disponível em: <<http://archnet.org/library/pubdownloader/pdf/10329/doc/DPC1835.pdf>>. Acesso em 4 nov. 2012.

SALVADOR, A. D. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Bibliográfica** – Elaboração de trabalhos Científicos. 11. ed. rev. amp. Porto Alegre: Sulina, 1986. 254 p.

SANTOS, B. de S. Um discurso sobre as ciências na transição para uma ciência pós-moderna. **Estudos Avançados**: Revista do Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 46-71, maio / ago. 1988. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40141988000200007>>. Acesso em: 25 ago 2012.

SAVAGE, R. N., CHEN, K. C.; VANASUPA, L. Integrating Project-based Learning throughout the Undergraduate Engineering Curriculum. **Journal of STEM Education**, Cal Poly — California Polytechnic State University, San Luis Obispo-CA, v. 8, n. 3 e 4, jun./dez. 2007. Disponível em: <[http://ojs.jstem.org/index.php?journal=JSTEM&page=article&op=view&path\[\]=1387](http://ojs.jstem.org/index.php?journal=JSTEM&page=article&op=view&path[]=1387)>. Acesso em: 03 maio 2013.

SCHÖN, D. A. **The Reflective Practitioner**: How Professionals Think in Action. New York: Basic Books, 1983. 374p.

_____. The new scholarship requires a new epistemology. **Change**, Oxfordshire, v. 27, n. 6, p. 26 -34, nov./dez. 1995. Disponível em: <<http://go.galegroup.com/ps/i.do?id=GALE%7CA17839288&v=2.1&u=capes58&it=r&p=AONE&sw=w>>. Acesso em: 14 ago. 2012.

SEE, R. Building Information Models and Model Views. *In*: **Journal of Building Information Modeling**, Houston-TX, Matrix Group Publishing (Publ.), NIBS - National Institute of Building Sciences/NBIMS-US - National BIM Standard - United States (Ed.), Washington-DC, n. 1, p. 20, fall 2007. Disponível em: <http://www.wbdg.org/pdfs/jbim_fall07.pdf>. Acesso em 2 abr. 2014.

SHNEIDERMAN, B. Direct manipulation: A step beyond programming languages. **IEEE Computer**, v. 16, n. 8, p. 57 69, 1983. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/MC.1983.1654471>>. Acesso em 30 ago. 2013.

SILVA, E. Sobre a Renovação do Conceito de Projeto Arquitetônico e sua Didática. *In: COMAS, C. E. (org.). Projeto Arquitetônico Disciplina em Crise Disciplina em Renovação*. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1986, p. 15-31, 96 p., il.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. Cambridge-MA: The MIT Press, 3. ed., 1996, 3. reimpr. 1999 (1. ed. 1969).

SKYTTNER, L. **General Systems Theory – Problems, Perspectives, Practice**. Cingapura: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2. ed., 2005. 536 p.

SMITH, D. C. **Pygmalion: A Computer Program to Model and Stimulate Creative Thought**. Basel: Birkhäuser, 1977.

SMITH, D. K. D. An Introduction to Building Information Modeling (BIM). **Journal of Building Information Modeling**, Washington-DC/Houston-TX, n. 1, p. 12, fall 2007. Disponível em: <http://www.wbdg.org/pdfs/jbim_fall07.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2014.

SOUZA, L. L. A. de; AMORIM, S. R. L.; LYRIO, A. de M. Impactos do uso do BIM em escritórios de Arquitetura: oportunidades no mercado imobiliário. **Gestão & Tecnologia de Projetos**: Revista científica do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP, São Carlos, v. 4, n. 2, jan. 2010. Disponível em: <<http://www.iau.usp.br/posgrad/gestaodeprojetos/index.php/gestao-deprojetos/article/view/26>>. Acesso em: 4 ago. 2013.

STERNBERG, R. Prerrequisitos de los programas para la capacitación de las habilidades intelectuales. *In: A. MOLES (org.). Educación y desarrollo da la inteligencia*. Venezuela: Cinterplan, 1985.

SUCCAR, B. Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, Oxford, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez79.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.autcon.2008.10.003>>. Acesso em: 23 mai. 2013.

SUTHERLAND, I. E. **Sketchpad: A man-machine graphical communication system**. 1963. Tese (Doutorado) — Massachusetts Institute of Technology, set. 1963. Versão eletrônica prefaciada por Alan Blackwell e Kerry Rodden, set. 2003, disponível em: <<http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2013.

_____. The TX-2 Computer and Sketchpad. **Lincoln Laboratory Journal**, Cambridge-MA, Massachusetts Institute of Technology, v. 19, n. 1, p. 82-84, 2012. Disponível em: <http://www.ll.mit.edu/publications/labnotes/LookingBack_19_1.pdf>. Acesso em 29 ago. 2013.

TAKEDA, H.; TERADA, K.; KAWAMURA, T. Artifact Intelligence: Yet Another Approach for Intelligent Robots. *In: IEEE ROMAN 2002, 11th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2002*. Berlin, 25-27 set. 2002. **Proceedings...** p. 176-172. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1045618>>. Acesso em: 4 ago. 2013.

TEIXEIRA, K. de A. **Ensino de projeto**: integração de conteúdos. 2005. 233 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Estruturas Ambientais Urbanas)—Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, orientador: Prof. Dr. Adilson Costa Macedo, São Paulo, 2005.

TZORTZOPOULOS, P.; FORMOSO, C. T. **Gestão da Qualidade na Construção Civil**: Estratégias e Melhorias de Processos em Empresas de Pequeno Porte. Porto alegre: UFRGS/PPGEC/NORIE, 2001. 101 p. Relatório de Pesquisa: Gestão da qualidade no processo de Projeto – Volume 3.

UNESCO/UIA. **Carta para a Educação dos Arquitetos**. Edição revisada 2011, aprovada pela Assembléia Geral da UIA. Tokio: UNESCO/UIA, 2011. Documento eletrônico. Disponível em: <<http://www.abea-arq.org.br/wp-content/uploads/2013/03/Carta-UNESCO-UIA-2011.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2013.

VANASUPA, L. *et al.* Challenges in Transdisciplinary, Integrated Projects: Reflections on the Case of Faculty Members' Failure to Collaborate. **Innovative Higher Education**, Springer Science+Business Media, LLC, Amsterdam, v. 37, n. 3, 25 jun. 2012, p.171-184. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10755-011-9199-3>>. Acesso em: 04 nov. 2012.

VASCONCELLOS, M. J. E de. **Pensamento sistêmico**: o novo paradigma da ciência. Campinas: Papirus, 8. ed., 2009. 275 p., il.

VIEIRA, E. **Os Bastidores da Internet no Brasil** – As histórias de sucesso e de fracasso que marcaram a Web brasileira. Barueri-SP: Editora Manole Ltda., 2003.

VOORDT, T. J. M. van der; WEGEN, H. B. R. van. **Architecture In Use** - An Introduction to the Programming, Design and Evaluation of Buildings. Oxford: Elsevier, Architectural Press, 2005. 237 p., il.

VRIES, M. J. de; CROSS, N.; GRANT, D. P. (Ed.). **Design Methodology and Relationships with Science**. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Design Methodology and relations with Science, Eindhoven, 29 set.-2 out., 1992. Dodrecht: Kluwer academic Publishers, NATO ASI Series, n. 71, 1993.

WATSON, O. C. (Ed.). **Longman English Larousse**. Paris: Librairie Larousse, 1968.

WILLIAMS, R. H. **Retooling**: A Historian Confronts Technological Change. Cambridge-MA: The MIT Press, 2003. 272 p.

WITTGENSTEIN, L. **Investigações Filosóficas**. Trad. José Carlos Bruni. São Paulo: Nova Cultural, 1996. 207 p. (Coleção Os Pensadores).

_____. **Tractatus Logico-Philosophicus**. Tradução, apresentação e estudo introdutório de Luiz Henrique Lopes dos Santos; [Introdução de Bertrand Russell]. São Paulo: EdUSP – Editora da Universidade de São Paulo, 3. ed., 1. reimpr., 2008.

ZEILER, W; SAVANOVIĆ, P. Integral design pedagogy: Representation and process in multidisciplinary master student projects based on workshops for professionals. **AI-EDAM - Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, Cambridge, Cambridge University Press, v. 26, n. 1, p. 39-52, fev. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez79.periodicos.capes.gov.br/10.1017/S0890060410000557>> . Acesso em 3 ago. 2013.

ZEIZEL, J. **Inquiry by Design**: Environment/Behavior/Neuroscience in Architecture, Interiors, Landscape, and Planning. New York: W. W. Norton & Co., 2006. 416 p., il.

APÊNDICES

APÊNDICE A — Notas sobre a Conferência em Métodos de Projeto

O evento foi intitulado *The Conference on Systematic and Intuitive Methods in Engineering, Industrial Design, Architecture and Communications*. O local escolhido pelos organizadores foi o Departamento de Aeronáutica do Imperial College, Londres. As palestras aconteceram entre os dias 19 e 21 de setembro de 1962. O website de John Chris Jones, www.softopia.co.uk, traz um resumo das palestras e pode ser acessado em <http://www.softopia.demon.co.uk/2.2/dmconference1962.html>.

É extremamente significativo o fato de que, desde o início, os fundadores do movimento por maior compreensão dos métodos de projeto já percebiam que somente uma visão plural, multidisciplinar e sistêmica, envolvendo profissionais de projeto das mais diversas áreas, como acadêmicos, professores, artistas, agentes públicos, produtores culturais e empresários seria capaz de gerar contribuições relevantes para uma mudança dos paradigmas tradicionais de projeto, originários do Renascimento, e cuja permanência se mostrava cada vez mais anacrônica, incapaz de fornecer à sociedade melhores espaços e produtos.

Participaram das conferências, como palestrantes e debatedores: 1) O próprio John “Chris” Jones, então professor de Design Industrial no Instituto de Ciência e Tecnologia de Manchester, que trabalhara com Design Industrial e Ergonomia na indústria do setor elétrico; 2) Peter Slann, professor de Design Aeronáutico no Imperial College of Science and Technology, Londres; 3) D. G. Christopherson, vice reitor da Durham University e autoridade na educação de engenheiros e tecnólogos; 4) L. S. Jay, funcionário público do setor de planejamento do Conselho do Condado de East Sussex, conhecido por seus métodos operacionais e uso de computação eletrônica em planejamento urbano e regional; 5) William Gosling, projetista de sistemas na indústria aeronáutica e autor do livro *The Design of Engineering Systems*, Haywood, Londres, 1962; 6) G. M. E. Williams, chefe do Departamento de Tecnologias de Produção e Engenharia de Controle no Northampton College of Advanced Technology, Londres, que havia atuado na indústria e no serviço científico civil; 7) D. G. Thornley, professor titular de Arquitetura na Manchester University,

professor visitante na Hochschule für Gestaltung em Ulm e conhecido pelo uso de métodos sistemáticos no ensino de Arquitetura; 8) Joseph Esherick, professor de Arquitetura na University of California, Berkeley, e arquiteto praticante; 9) Christopher Wolfgang Alexander, professor emérito (fellow) na Harvard University. Tendo estudado Matemática e Arquitetura na Cambridge University, à época estava envolvido com o projeto de um vilarejo rural na Índia e com a formulação de uma teoria sobre padrões, que viria a se consolidar em seu livro *A Pattern Language*, New York, 1977; 10) K. W. Norris, diretor da Norris Brothers, empresa de engenharia consultiva, conhecido principalmente pelos projetos de um barco e um automóvel-conceito que quebraram os recordes de velocidade sobre a água e em terra, na época; 11) A. H. Lucas, engenheiro na Norris Brothers, conhecido por seu trabalho com métodos de aplicar análise de tensões como parte integral do design de estruturas complexas; 12) Gordon Pask, diretor da empresa Systems Research Ltd., e conhecido por suas teorias originais e experimentos em Cibernética, neurociências, sistemas auto organizáveis e sistemas de aprendizado; 13) B. N. Lewis, psicólogo na Systems Research Ltd., em sistemas de aprendizado adaptáveis. Trabalhara no Birbeck College, focado em aquisição de competências sob condições de incerteza; 14) Robby Denny, pintor e professor na Bath Academy; 15) Roger Coleman, crítico de arte e artista gráfico; 16) Howard Hodgkin, pintor e professor na Bath Academy; 17) E. F. O'Doherty, professor de Lógica e de Psicologia no University College, Dublin, padre da Igreja Católica, membro do Comitê da ONU para a Saúde Mental e do Comitê Irlandês de Ciências Humanas, com interesse em julgamentos de valor e preferências estéticas; 18) J. K. Page, professor de Ciências da Construção na Sheffield University, conhecido por suas pesquisas em Física do Meio ambiente e por suas críticas aos métodos de projeção em Arquitetura; 19) Anthony Froshaug, artista gráfico e teórico, professor na Hochschule für Gestaltung, Ulm, e no Royal College of Art; e, 20) Peter Booker, do Institute of Engineering Designers, Westbury.

APÊNDICE B — Notas sobre *Wicked Problems*

Horst Wilhelm Jacob Rittel e Melvin M. Webber eram professores da Universidade da Califórnia, Berkeley, e ministravam nas áreas de Ciência do Projeto e de Desenho Urbano, respectivamente. O artigo aqui referido, uma revisão do primeiro publicado em 1969, e classificado pela casa publicadora Elsevier sob Política Econômica e em Ciência Política, foi o segundo a utilizar a expressão *wicked problem*, cunhada por C. W. Churchman dois anos antes, a qual consagrou-se a partir desta publicação. Mais tarde, foram percebidas propriedades de *wicked problems* em dilemas de campos variados, como Ciência das Decisões em Projetos, Gestão do Conhecimento, Estratégias de Negócios e outras. Os autores elencaram as dez características desse tipo de problemas:

- 1) Não existe uma formulação definitiva para um *wicked problem*;
- 2) *Wicked problems* não tem uma regra de parada;
- 3) As soluções para *wicked problems* não são do tipo falso ou verdadeiro, mas boa ou ruim;
- 4) Não existe teste para uma solução imediata nem definitiva para um *wicked problem*;
- 5) Toda solução para um *wicked problem* é uma “operação de um tiro só”, e porque não há oportunidade para aprender via tentativa e erro, toda tentativa de solução conta significativamente;
- 6) *Wicked problems* não têm um conjunto de soluções potenciais enumeráveis (ou exaustivamente descritíveis), nem existe um conjunto de operações admissíveis bem descrito que possa ser incorporado ao plano;
- 7) Todo *wicked problem* é essencialmente único;
- 8) Todo *wicked problem* pode ser considerado um sintoma de outro problema;
- 9) A existência de uma discrepância que representa um *wicked problem* pode ser explicada de várias maneiras. A escolha da explicação determina a natureza da resolução do problema; e,
- 10) O planejador não tem o direito de estar errado (ou seja: planejadores são responsáveis pelas consequências das ações que geram).

O termo *wicked* foi originalmente usado em teoria do planejamento para se referir a problemas que são difíceis, se não impossíveis de resolver porque os requisitos para resolvê-los se apresentam incompletos, contraditórios e mutantes. *Wicked problems* são difíceis de determinar com precisão, em primeiro lugar. Em segundo lugar, eles estão incorporados nas hierarquias de sistemas socioeconômicos que atendem as necessidades diárias da sociedade (por exemplo, fornecimento de energia, água, comida, abrigo, transporte, etc.). O esforço para determinar e resolver um aspecto de um problema tão complexo pode revelar ou até mesmo criar outros problemas relacionados, o que torna impossível postular respostas diretas ou adotar soluções simples, sem que se tenha qualquer certeza sobre seus possíveis resultados (às vezes catastróficos). Ao lado do risco de realmente fazer as coisas piores, tentando resolver os problemas persistentes, isso coloca sérias preocupações epistemológicas e metodológicas para lidar com tais problemas.

APÊNDICE C — Notas sobre a Teoria Geral dos Sistemas

A Teoria Geral dos Sistemas, ou simplesmente Teoria dos Sistemas é o estudo interdisciplinar de sistemas em geral, com o objetivo de elucidar princípios que possam ser aplicados a todos os tipos de sistemas, em todos os níveis de abrangência e a todos os seus subsistemas, em todos os campos de pesquisa. O termo se originou a partir da Teoria Geral dos Sistemas, do biólogo Bertalanffy (1969), e tem sido usado em outros campos, como a Teoria da Ação, de Talcott Parsons e a Teoria dos Sistemas Sociais, de Niklas Luhmann. Nesse contexto, a palavra sistema é usada para designar especificamente os sistemas auto regulatórios, ou seja, que se auto corrigem através de retroalimentação ou *feedback*. Sistemas com essa característica de autorregulação são encontrados na natureza, incluindo os sistemas fisiológicos do nosso corpo, nos ecossistemas locais e globais, no clima e nos processos de aprendizagem humanos. Segundo Skytner (2005), o objetivo é

[...] compreender o Homem e seu ambiente como elementos de sistemas que interagem, e estudar essa interação a partir de múltiplas perspectivas, holisticamente. Inerente a essa abordagem, impõe-se uma visão histórica, contemporânea e futurística abrangente. (SKYTNER, 2005, p. 3, Tradução nossa).

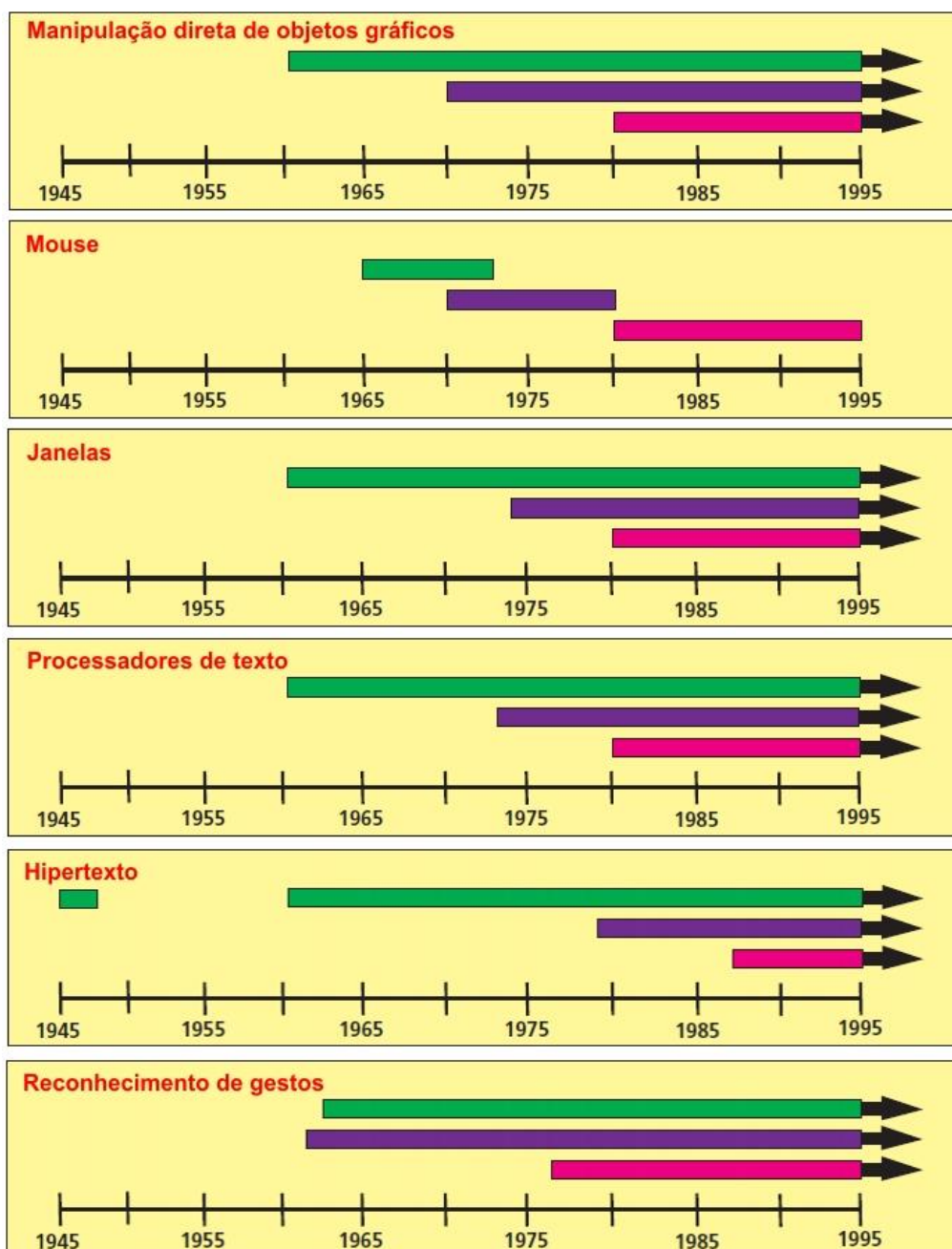
A Ciência dos Sistemas, com tal ambição e embasada na Teoria dos Sistemas, fornece uma linguagem geral com a qual conectar áreas diferentes através de uma comunicação interdisciplinar. Como tal, ela procura estabelecer uma “ciência universal”, i.e., reunir as diversas e fragmentadas disciplinas sob uma “lei das leis”, aplicável a todas elas e capaz de integrar todo o conhecimento científico (SKYTNER, 2005, p. 4).

APÊNDICE D — As universidades e o avanço das interfaces homem-computador

Figura 22 - Linhas do tempo da evolução das interfaces homem máquina 1945-1995.

LEGENDA:

- Pesquisa em universidades
- Pesquisa em corporações
- Produtos comerciais



Fonte: MEYERS (1998).

APÊNDICE E — Notas sobre a EDRA

A *Environmental Design Research Association* (EDRA) foi um desdobramento do *Design Methods Group* (DMG), que foi extinto como uma organização formal após uma reunião no MIT, em junho de 1968. Um pequeno grupo de 30 participantes daquela conferência, reunido por Henry Sanoff, concordou em expandir os interesses do DMG em uma reunião a ser realizada na Carolina do Norte, no ano seguinte. Da mesma forma, houve acordo na reunião original para combinar os esforços de organizações independentes e de publicações destinadas objetivos semelhantes, a fim de superar a duplicidade e redundância de tópicos para a organização dos grupos e a participação dos membros. Nesse ínterim, e depois de muita deliberação sobre o nome adequado, a *Environmental Design Research Association*, foi formada por Henry Sanoff, em agosto de 1968, o qual organizou a primeira reunião em 1969. Sanoff foi seu presidente até 1973 e o responsável pelo estabelecimento da EDRA como uma organização sem fins lucrativos, em 1972, na Carolina do Norte.

A EDRA foi inicialmente concebida como uma organização que não incluía apenas os interesses do DMG, mas também de um grupo designado pela sigla SIGCAPUS - *Special Interest Group on Civil Engineering, Architecture Planning, and Urban Data Systems*. Como resultado, foi empreendido um esforço coordenado para agregar cientistas sociais e comportamentais ao núcleo já formado de projetistas. Várias outras publicações desse período foram: *Esser's*; o boletim *Man And His Environment*; o *Directory of Behavior and Design*, por David Shea e Studer Ray; *Environment and Behavior*, editado por Gary Winkel; e o *Design Research Society Journal*, publicado na Inglaterra.

O evento EDRA 1 foi organizado por Henry Sanoff e realizado em Chapel Hill, Carolina do Norte, em junho de 1969, patrocinado pela *North Carolina State School of Design* e pelo *University of North Carolina's Department of City and Regional Planning*. A convocação para apresentação de trabalhos incluía questões relacionadas com a percepção visual, jogos operacionais, ensino de projeto, projeto auxiliado por computador, teoria da decisão, *Design Methods*, inteligência artificial, gestão ambiental, sistemas de informação,

respostas comportamentais para a qualidade ambiental do projeto, além de sistemas de comunicação.

John Archea descreveu este período da EDRA como sendo de "visões inclusivas", as quais abrangeriam comportamento e meio ambiente, ou uma visão holística do ambiente. Essa atitude multidisciplinar surgiu de um interesse, na época, pela Teoria Geral dos Sistemas (cf. APÊNDICE C), e era vista como uma forma de efetivar uma mudança significativa no ambiente construído.

APÊNDICE F — Cronologia do desenvolvimento de CAD e BIM

Quadro 9 - Cronologia do desenvolvimento de CAD e BIM.

ANO	DESENVOLVIMENTO
Meados de 1950	Primeiro sistema gráfico lançado pelo SAGE — <i>Semi-automatic Ground Environment</i> (Ambiente Terrestre Semi-automático) da Força Aérea dos EUA, sistema de defesa aérea – desenvolvido no Laboratório Lincoln do Instituto de Tecnologia de Massachussets (MIT).
1957	Dr. Patrick J. Hanratty, conhecido como “o Pai do CADD/CAM”, desenvolveu o PRONTO, primeiro sistema comercial de programação de controle numérico.
1962	Os primeiros programas de CAD usavam algoritmos simples para exibir padrões de linhas, inicialmente em 2D e depois em 3D. Iniciou-se o trabalho pioneiro do Prof. Charles Eastman na Universidade Carnegie-Melon que veio a resultar, em 1974, no <i>Building Description System</i> , uma biblioteca de várias centenas de milhares de elementos arquitetônicos que podiam ser conjugados e desenhados para formar um projeto conceitual completo.
1971	A MCS foi fundada. Desfrutou de uma reputação invejável por sua liderança tecnológica em <i>software</i> mecânico para CADD/CAM. Além de vender produtos com seu próprio nome, nos anos anteriores a MCS também forneceu <i>software</i> CADD/CAM utilizados por companhias como McDonnell Douglas (Unigraphics), Computervision (CADDs), AUTOTROL (AD380) e Control Data (CD-2000) como núcleo de seus próprios produtos. Estima-se que 70% de todos os sistemas 3D para projetos mecânicos com CADD/CAM disponíveis possuem raízes que remontam aos códigos originais da MCS.
1972	O terminal Intergraph mais antigo (M&S Computing) foi projetado para criar e visualizar informação gráfica. Composto por peças de estoque inalteradas de vários fornecedores, os terminais consistiam em um terminal de exibição com uma tela Tektronix 1014, um teclado anexado e um tablet 11” X 11” que fazia as vezes de um “menu” comprimido, que fornecia ao operador uma seleção de comandos de desenho.
1974	Primeira venda comercial do sistema M&S baseado em um processador central PDP da Digital Equipment Corporation, executava a primeira versão do núcleo original do <i>software</i> gráfico da Intergraph, o Interactive Graphics Design System (IGDS), e foi utilizado para aplicativos de mapeamento.
1975	Avions Marcel Dassault (AMD) comprou da Lockheed a licença de uso do equipamento para <i>software</i> CADAM (Computer-Augmented Drafting and Manufacturing), tornando-se assim um dos primeiros clientes da CADAM.
1977	Avions Marcel Dassault designou à sua equipe de engenharia a meta de criar um programa interativo, tridimensional, o precursor do CATIA (Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application). Seu maior avanço em relação ao CADAM foi a importantíssima terceira dimensão. Enquanto o CADAM automatizou o mundo existente da engenharia em duas dimensões, essencialmente elaborando e calculando com base em geometria descritiva plana, o <i>software</i> CATIA elevou os engenheiros da Dassault para o mundo da modelagem 3D, removendo a possibilidade de erros de interpretação das representações bidimensionais, gerando assim uma quantidade de benefícios imediatos.
1981	É criada a empresa Dassault Systems.
1982	O CATIA Versão I é anunciado como um produto <i>add-on</i> para o projeto em 3D e modelagem de superfícies.
1982	A empresa Autodesk é fundada por 16 pessoas na Califórnia sob a iniciativa de John Walker, cuja ideia era criar um programa CAD por um preço de US\$ 1 mil, e que pudesse funcionar em um PC. Lançada a primeira versão do AutoCAD, baseada em um programa CAD chamado MicroCAD, escrito em 1981 por Mike Riddle.

ANO	DESENVOLVIMENTO
1984	O físico húngaro Gábor Bojár contrabandeou dois Macs para seu país. Na época, possuir computadores pessoais era ilegal pelas leis comunistas. Usando linguagem Pascal, ele e um adolescente chamado Tamas Hajas trabalharam para escrever um programa CAD 3D para o Mac, que foi o começo da Graphisoft Company.
1985	Keith Bentley funda a Bentley Systems, Inc. Originalmente chamada PseudoStation, o <i>software</i> desenvolvido pela Bentley Systems permitia que usuários visualizassem arquivos de desenho IGDS sem precisar do <i>software</i> da Intergraph. A versão seguinte da PseudoStation foi renomeada como MicroStation e incorporou a capacidade de editar arquivos IGDS. Depois que a Intergraph comprou 50% da Bentley Systems, uma nova versão da MicroStation adicionou extensões proprietárias ao IGDS e o renomeou como DNG.
1985	A Diehl Graphisoft Inc. foi fundada e a primeira versão do MiniCAD foi lançada no mesmo ano. O MiniCAD se tornou o programa CAD mais vendido para computadores Macintosh.
1986	O AutoCAD recebe o prêmio “Best CAD Product” pela revista PC World. Repetiria o feito pelos dez anos seguintes.
1988	O CATIA Versão 3 foi lançado com funcionalidades para o setor de AEC. O CATIA é levado para estações de trabalho IBM com processador RISC System/6000, baseadas em UNIX, e se tornou o aplicativo líder na indústria automotiva.
1989	A Autodesk compra a empresa Generic Software e o programa Generic CADD, criando mais de 600 aplicativos <i>add-on</i> para o AutoCAD.
1990	Fundada a Visio Corporation, produzindo <i>software</i> de gráficos e desenhos.
1991	A Microsoft possibilita o uso da Linguagem Aberta para Gráficos (<i>Open Graphics Language</i> — Open GL) com o Windows NT. Open GL é um <i>software</i> de processo com interface avançada de programação (<i>Advanced Programming Interface</i> — API) para produzir gráficos 3D e 2D, e inclui aproximadamente 120 comandos para desenhar variações de primitivas geométricas como pontos, linhas e polígonos. A Open GL, desenvolvida inicialmente pela Silicon Graphics, é o padrão utilizado até o presente para programação e renderização de gráficos 3D coloridos.
1991	Primeiro programa AutoCAD para plataforma SUN.
1992	A Dassault Systems decide junto com a IBM transferir a responsabilidade do CADAM para A Dassault Systems of America, uma companhia criada em 1992 como uma subsidiária integral da Dassault Systems. A IBM concorda em adquirir uma participação minoritária na Dassault Systems. Desde então, CATIA e CADAM se tornaram progressivamente unificados através da fusão das melhores características tecnológicas de ambos os sistemas.
1993	John Hirschtick da Computervision funda uma nova companhia CAD chamada SolidWorks, Inc.
1993	Primeiro AutoCAD para plataforma Windows (R.12). Requeria 8 MB RAM e espaço de 34 MB de disco rígido para instalação completa. A versão do AutoCAD para Windows incluía uma caixa de ferramentas com 36 ícones, permitia múltiplas sessões do AutoCAD, a janela Render era separada, suporte para a interface gráfica de usuário do Windows (Windows Graphical User Interface — GUI), troca dinâmica de dados (<i>Dynamic Data Exchange</i> — DDE), e vinculação e incorporação de objetos (<i>Object Linking and Embedding</i> — OLE), bem como recursos de arrastar-e-soltar, capacidade de visualização aérea (<i>Bird’s Eye</i>). O AutoCAD 12 para Windows foi um dos mais bem sucedidos programa CAD de todos os tempos.
1995	O <i>software</i> da Unigraphics estreou no sistema Microsoft Windows NT.
1995	Anunciado o lançamento do CATIA-CADAM AEC Plant Solutions. Essa geração de sistemas de modelagem de plantas industriais orientada a objetos apresentava poderosas capacidades para Engenharia Baseada em Conhecimento (Knowledge-based Engineering — KBE) que podiam simplificar drasticamente o processo de projeto, construção e operação de indústrias. Isso trouxe o poder dos aplicativos “inteligentes” para a área de trabalho da geração seguinte dos sistemas de modelagem orientada a objetos.
1995	A Autodesk lança a primeira versão do 3D Studio para plataforma NT, chamada 3D Studio MAX.

ANO	DESENVOLVIMENTO
1995	A Parametric Technology lança o Pro/E versão 15, o primeiro programa CAD/CAM de modelagem paramétrica e o primeiro pacote <i>high-end</i> de modelagem de sólidos em 3D disponíveis em plataforma NT.
1995	A Dassault Systems lança o ProCADAM, uma versão menor do CATIA para uso nos sistemas NT.
1996	A General Motors assina o maior contrato de aquisição de <i>software</i> CAD/CAM da história, selecionando a Unigraphics como sua única plataforma de <i>software</i> de desenvolvimento de veículos. A Parasolid rapidamente alcança penetração no mercado e difunde-se como o padrão <i>de facto</i> para desenvolvimento de programas CAD/CAM/CAE de qualidade alta, média, e comercial.
1996	O CATIA-CADAM Solutions versão 4 é disponibilizado para plataformas Silicon Graphics, Hewlett Packard e Sun.
1997	A Autodesk lança o 3D Studio MAX 2 e uma versão reduzida, chamada 3D Studio Viz.
1997	Norma ISO 13567 – Padrões para Estruturação de Camadas em CABD – um esforço internacional para estruturar a nomeação de camadas para tradução em várias línguas e fornecedores.
1997	Revit Technology Corporation revoluciona o design da construção com o Revit, o primeiro modelador paramétrico de edifícios do mundo, desenvolvido para o ramo de AEC.
1998	A Dassault Systems e a IBM anunciam uma nova Aliança Estratégica de abordagem do mercado de Gerenciamento de Desenvolvimento de Produtos II (<i>Product Development Management II</i> – PDM II). A Dassault Systems adquire Matra Datavision, e é nomeada Parceira Internacional de Negócios IBM (<i>IBM International Business Partner</i>) para promover, vender e dar suporte ao CATIA, CATweb, e ENOVIA, bem como às Soluções de Negócios da IBM (IBM's e-business Solutions).
1998	A Unigraphics Solutions se torna a primeira organização CAD/CAM/CAE/PDM a ser premiada com Certificação ISO 9001/TickIT.
1998	O AutoCAD Mechanical Desktop, que integra uma ferramenta de projetos mecânicos em AutoCAD R.14, é lançado.
1998	O AutoCAD Architectural Desktop, uma solução integrada para arquitetura, baseado no AutoCAD R.14 é lançado.
1998	Viso Enterprise, um programa de desenho técnico e documentação de projetos, é lançado.
1999	O <i>National CAD Standard</i> (NCS) 1.0 é lançado – o primeiro compêndio voltado para a coordenação de esforços por parte dos utilizadores de plataformas CAD.
1999	O VectorWorks é lançado como substituto do MiniCAD.
2000	A Graphisoft oferece um conjunto de ferramentas para Web, para ajudar a encorajar a comunidade AEC CAD a adotar seu formato de arquivo, o GDL (<i>Geometric Description Language</i>). O <i>plug-in GDL Object Web</i> para usuários ArchiCAD transmite objetos GDL pela internet.
2000	A IBM e a Dassault Systems lançam a versão 5 da edição 5 do CATIA, disponível para Windows e UNIX.
2008	A Autodesk lança o <i>Revit Series 2007</i> , que veio a se tornar um dos mais populares aplicativos CAD para BIM.
2010	A GoBIM lança o primeiro aplicativo BIM para iPhone e iPad da Apple.

Fonte: Adaptado de AOUAD et. al, 2012 (tradução nossa).

APÊNDICE G — IPD: Desenvolvimento Integrado de Projeto

A expressão inglesa *Integrated Project Delivery* tem sido traduzida para o Português algumas vezes como “Entrega de Projeto Integrado”, “Processo de Projeto Integrado” ou “Desenvolvimento de Projeto Integrado”. Este apêndice tem por objetivo explicitar a preferência neste trabalho pela tradução “Desenvolvimento Integrado de Projeto”, na visão do autor a que mais precisamente comunica a ideia subjacente às palavras e à visão do processo preconizada em AIA (2007). Assim, analisa:

Devido à diferença de posicionamento dos adjetivos na língua inglesa, via de regra antes dos substantivos, alguma confusão costuma acontecer quando da tradução de expressões um pouco mais longas, nas quais o adjetivo aparece um tanto distanciado do substantivo que qualifica. A situação é mais complexa quando se tem na expressão um substantivo com função adjetivadora ou de complemento nominal, como é o caso de *Integrated Project Delivery*, uma expressão que, se desconhecido o seu significado, descrito no documento de 2007 do AIA, pode parecer ambígua ao leitor brasileiro se este buscar uma tradução literal.

Na expressão não há dúvida de que a palavra *integrated* — integrado(a) é um adjetivo. Mas os dois substantivos seguintes, *project* — projeto e *delivery* — entrega precisam ser bem compreendidos no contexto em que o AIA descreve um determinado conjunto de diretrizes e procedimentos. Para o leitor brasileiro, dois sentidos diferentes podem ser extraídos da expressão, dependendo de como se considera a questão da adjetivação dos substantivos em questão.

Sendo assim, ou *integrated* está qualificando o substantivo *project*, e então teríamos a ideia de **projeto integrado**, em que a entrega — *delivery* (no sentido de processo, não do ato de entregar ou fornecer) é desse “tipo” de projeto; ou então *integrated* se refere a *delivery*, e temos daí outro significado, em que integrado é o processo, não somente o projeto, e assim teríamos **processo integrado** ou **desenvolvimento integrado**.

Não é possível argumentar que integrados são ambos os substantivos, porque na língua inglesa, nesses casos, usa-se a palavra *and* para dirimir quaisquer dúvidas. Seria o caso se tivéssemos a expressão *Integrated Project and Delivery*. A ambiguidade, para nós brasileiros aparece em expressões como, por exemplo, *green mountain rocks* que parece ter tanto o sentido de “pedras da montanha verde” como “pedras verdes da montanha”. Nesse caso, é a adjetivação de algum dos substantivos ou seu papel como complemento nominal que causa a ambiguidade. Porém no caso em foco, dado o contexto e as ideias do documento do AIA, *Integrated* se refere prioritariamente **ao processo de projeto**, projeto aqui visto como empreendimento e não apenas design, ou — mais especificamente no sentido que os arquitetos dão ao termo —, o processo de gerenciar todo o projeto. Veja-se o sumário do documento, em que os quatro primeiros capítulos tratam de aspectos basicamente políticos (cf. tb. SUCCAR, 2009, p. 369, fig. 15, BIM polices). No caso de IPD, que aborda todos os aspectos do empreendimento, o que deve ser *integrated* é **project delivery**, os dois termos juntos, ou seja, o que se deseja integrado é o processo de desenvolvimento do empreendimento como um todo. Portanto, as expressões **processo integrado de projeto** ou **desenvolvimento integrado de projeto** impõem-se como traduções mais apropriadas ao contexto, embora o autor não considere totalmente inválidas as duas outras mais usuais, **processo de projeto integrado** e **desenvolvimento de projeto Integrado**, mencionadas no início deste apêndice.

Quanto à ressalva, faz-se necessário observar inclusive que, no quinto capítulo, o guia do AIA apresenta numerosas ocorrências de uso da expressão *integrated project*, com o sentido mesmo de **projeto integrado**. Porém, nesses contextos, as diretrizes se referem aos produtos ou *deliverables* do processo, vistos também como integrados, não por serem entregues “compatibilizados”, vale dizer: “com todos os erros corrigidos”, mas como resultado de um processo integrado, no qual se pretendeu eliminar as inconsistências frequentes observadas nos projetos produzidos pelo processo tradicional, linear e fragmentado. Assim, a preferência pela tradução utilizada neste trabalho deve-se à própria feição do documento, que enfoca muito mais o estabelecimento do processo, nos seus aspectos políticos, de mentalidade e de procedimentos do que propriamente seus resultados, em termos da documentação técnica do projeto.

ANEXOS

ANEXO A — Excertos do projeto de pesquisa de Eastman (1974)

DOCUMENT RESUME

ED 113 833

EA 007 637

AUTHOR Eastman, Charles; And Others
 TITLE An Outline of the Building Description System.
 Research Report No. 50.
 INSTITUTION Carnegie-Mellon Univ., Pittsburgh, Pa. Inst. of
 Physical Planning.
 REPORT NO RR-50
 PUB DATE Sep 74
 NOTE 23p.

EDRS PRICE MF-\$0.76 HC-\$1.58 Plus Postage
 DESCRIPTORS *Architectural Drafting; *Architectural Programing;
 *Building Plans; *Computer Graphics; *Computer
 Programs; Facility Planning; Facility Requirements;
 Spatial Relationship; Systems Approach

ABSTRACT

Many of the costs of design, construction, and building operation derive from the reliance on drawings as the description of record of the building. As a replacement, this paper outlines the design of a computer system useful for storing and manipulating design information at a detail allowing design, construction, and operational analysis. A building is considered as the spatial composition of a set of parts. The system, called Building Description System (BDS) has the following associated with it: (1) a means for easy graphic entering of arbitrarily complex element shapes; (2) an interactive graphic language for editing and composing element arrangements; (3) hardcopy graphic capabilities that can produce perspective or orthographic drawings of high quality; and (4) a sort and format capability allowing sorting of the data base by attributes, for example, material type, supplier, or composing a data set for analysis. (Author)

 * Documents acquired by ERIC include many informal unpublished *
 * materials not available from other sources. ERIC makes every effort *
 * to obtain the best copy available. Nevertheless, items of marginal *
 * reproducibility are often encountered and this affects the quality *
 * of the microfiche and hardcopy reproductions ERIC makes available *
 * via the ERIC Document Reproduction Service (EDRS). EDRS is not *
 * responsible for the quality of the original document. Reproductions *
 * supplied by EDRS are the best that can be made from the original. *

The Problem

To date, the only practical medium for communicating the information needed for construction of buildings is drawings. Drawings are also the principal medium for communicating with all other parties involved in a building project e.g. client, building inspectors, and financial institutions. The necessity for drawings results from the spatial information that must be conveyed. Of course, drawings are augmented by notes and written specifications.

Architectural drawings have many inherent weaknesses. They are highly redundant, describing the same part of a building at several different scales. Since drawings are two-dimensional and a building three-, at least two drawings are required to characterize any part of the building arrangement, and on these, at least one dimension must be depicted twice. Thus information on drawings is inherently redundant and a design change leads to changes in a whole set of drawings. A large amount of effort is directed at keeping the various drawings consistent.

A large effort is also directed at keeping current the information in the set of drawings for a building project. But even with this effort, at any moment, at least some of the information depicted by a drawing is not current or not consistent. Thus decisionmaking by one group of designers may often be based on obsolete information, further complicating their task.

While drawings are currently uniquely useful for dealing with the spatial arrangement of buildings, numerically represented information is required for most analyses. Currently, this information must be manually taken off construction drawings. This initial step of data preparation, at present, is the major cost in any building analysis.

After construction, changes to a building are always depicted on separate sets of drawings (to distinguish current work from past). Thus drawings accumulate and after the initial construction, it is the rare building which exists for which a single integrated set of drawings exist describing its current state. Thus a building ages, the recorded information about its physical arrangement deteriorates.

II. Conceptual Design of a General Building Description System

BDS was initiated to show that a computer-based description of a building could replicate or improve on all current strengths of drawings as a medium for building design, construction and operation as well as eliminate most of their current weaknesses. Our premise was that a computer database could be developed that would allow the geometric, spatial, and property description of a very large number of physical elements, arranged in space and "connected" as in an actual building. Conceptually, the model would be similar to a balsa wood model, but with far greater detail. In addition, spaces as well as solids would be explicitly depicted. The database would provide a single description of each building element

or space, relative to others, and thus would allow any change to be described only once rather than copied onto a large number of drawings. The elemental parts of a building would be drawn in by the user or stored in one or more libraries of components. Thus there would be no restriction as to the range of designs possible. On the other hand, this one database could easily handle all industrial or prefabricated building systems as well as buildings composed of custom or on-site fabricated components.

An important feature of the BDS model is its capability for generating drawings. From this single database, the designer could ask for any plan or section, perspective or exploded view and receive construction detail documents of high quality in a short period of time and at low cost. All drawings produced from the same database would be automatically consistent.

In a similar vein, because the building description is now in a machine readable form, any type of quantitative analysis could be directly coupled to the system. All data preparation for such analyses would be automatic, greatly reducing their cost.

With such a database, qualitative analyses would be similarly facilitated. Perspective drawings of any view of the exterior or interior of the building would be available on both drawings or on a cathode ray tube (crt) display. Both line drawings and half-tone displays could be available. Visual inspection should be greatly enhanced, due to the infinite range of views available.

In addition, building code checks on this database have the potential of being automated and violations could be checked for during design regularly. During construction, programs for producing various shop drawings could be utilized. Quantity take-offs and parts lists of mechanical and other fabricated parts could be done automatically. Later, the computer database, on magnetic tape, would be useful for evaluating building operations, such as mechanical equipment cycles. With appropriate flagging with dates, this database would also be useful for later remodeling and renovation work throughout the building's life.

Preliminary studies have indicated that a broad variety of design philosophies could be easily accommodated by such a system. A designer could start a project with structure, spaces to be enclosed, or geometrical system with equal ease. Currently, no operations or data base are agreed upon by design or building professionals, primarily because there has been little need for such consensus forming. The availability of BDS gives reason for developing a consensus. We anticipate BDS to incorporate low level operations which will be both necessary and sufficient for most operations required within prevailing design philosophy and that the operations will be structured into a convenient language for both direct use and composition into more complex operations.

Many of the above proposed uses of a building description database have large implications for practices in the design and construction fields.

It is not the purpose here to argue for each of these changes, but to point out the broad range implications of a BDS. Given the drafting and analysis efficiencies during design alone, it seems reasonable to expect a BDS to reduce the direct costs of design, as now carried out, by more than fifty percent.

In order to depict a building at construction detail as an arrangement of parts, we must have some estimate of the number of parts that must be described. Great variation will exist in practice, but for purposes of estimation we assume that a primitive part to be described in such a database is an element that comes to the building site as a separate unit, using on-site construction. Thus we believe screws and clips might be eliminated from consideration, though not plumbing valves or pipe hangers.

In Table One, we show the assumptions used to derive an estimate for the total number of parts for a ten storey building of about 120 thousand square feet of floor area. It suggests that a building of this size is likely to have about 150,000 separate parts. Design variations lead to at least an order of magnitude variation in this number for a building of the same size.

A reasonable target figure then, for a production oriented general BDS system, is for it to hold 200-400 thousand elements. Given that the appropriate technology today for mass storage is a disc-pack (typically sized at twenty-million words), this amounts to 80 to 160 words of memory per element, when program space is subtracted. This number provides a target figure for the database design, given the state of computer hardware technology available to architects and engineers.

III. Realization of a General Building Description System

Realization of a BDS involves solving at least the following technical problems. Some have been resolved earlier by others; other problems have already been solved by us. Others remain to be resolved. The problems whose resolution are not obvious include:

- A. identification of a hardware configuration that is economical and available to design professionals.
- B. design of a data structure capable of allowing "full" descriptions of any three dimensional solid objects or spaces. This description must allow complex shapes, surface description, tests of inside-outside, and a wide range of attributes and relational data.
- C. incorporation of the data structure into a generalized database allowing on the order of magnitude of two hundred thousand elements to be individually described and manipulated, within the hardware configuration proposed.

The design considerations and features of the monitor implemented by us include minimal size, knowledge of the database, optimal execution of disk accessing, and dynamic core allocation with a primitive form of virtual memory. It incorporates many of the features of the graphics executive written by Don Bihary.*

V. Summary

The goal is to develop a computer database capable of describing buildings at construction detail and to develop a powerful set of operations for that database. Of course, the system outlined here could be equally used for the preliminary stages of design. It would also be useful for the design of many artifacts besides buildings.

Our orientation is not to provide specialized analyses or operation packages that make commitments to any particular philosophy of design. Rather, we are attempting to develop a very redundant system allowing many ways to define the same design, but each with different but meaningful side effects. With this general tool as a beginning, we expect others to develop more personalized extensions for private use.

The Building Description System is being implemented in the BLISS system building language developed at CMU and now supported by DEC. A common version of BLISS compiles and executes on PDP-10s and all design and trial implementations are in this mode. There also exists a BLISS cross-compiler on the PDP-10 that generates MACRO-11 assembly code for the PDP-11. Thus debugged code can be directly transferred.

This work is supported by the National Science Foundation and the Advanced Research Projects Agency of the Secretary of Defense.

* D. Bihary, GLSTER SYSTEM, Department of Computer Science, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, PA, 12/1/73.