

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo  
Mestrado em Arquitetura e Urbanismo  
Área de Concentração: Tecnologia

IGOR MENDES MONTEIRO

**O USO DOS SISTEMAS BIM EM PROJETO DE ARQUITETURA: Diversificação de  
soluções versus padronização**

Brasília  
2012

IGOR MENDES MONTEIRO

**O USO DOS SISTEMAS BIM EM PROJETO DE ARQUITETURA: Diversificação de  
soluções versus padronização**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Neander Furtado Silva.

Brasília

2012

IGOR MENDES MONTEIRO

**O USO DOS SISTEMAS BIM EM PROJETO DE ARQUITETURA: Diversificação de  
soluções versus padronização**

Aprovado em    /    /2012

---

Prof. Dr. Neander Furtado Silva (Orientador)

---

---

*Dedico este trabalho a Joe Shuster, Jerry Siegel,  
Stan Lee e a tantos outros por suas obras que  
contribuíram para minha formação e por me  
fazerem acreditar que homens podem voar.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus familiares por sempre compartilharem todas as alegrias e decepções nessa caminhada.

À professora Irlane Regina Moraes Novaes por estar sempre disposta a me ajudar em momentos de dificuldades.

Aos companheiros da equipe RKT por tão calorosa acolhida e em especial ao Mestre Carlos Inocente pelas palavras de sabedoria e incentivo.

Aos amigos do Laboratório de Fabricação Digital e Customização em Massa da Universidade de Brasília por toda ajuda, troca de conhecimento e experiência.

Ao meu orientador, o professor Neander Furtado e à Ecilamar Lima por toda disponibilidade, empenho e dedicação, sem os quais teria sido impossível concretizar este trabalho.

A todos, muito obrigado.

*“Absorva o que for útil, rejeite o que for inútil. Acrescente o que é especificamente seu. O homem, criador individual, é sempre mais importante que qualquer estilo ou sistema estabelecido.”*

*Bruce Lee*

## RESUMO

O uso do computador como ferramenta auxiliar no processo de projeção em arquitetura tem sido objeto de estudos em muitas Universidades desde 1963, quando foi criado o Sketchpad por Ivan Sutherland. No Brasil esse tipo de abordagem ao processo de projeção é pouco utilizado e muito pouco difundido. Os sistemas de representação BIM (*Building Information Modeling*) estão entre as mais poderosas ferramentas utilizadas em processo de projeção. No entanto, muitos acreditam que a utilização dos sistemas BIM no processo de concepção de projeto resulta em maior repetitividade de soluções uma vez que os mesmos se baseiam em bibliotecas de componentes pré-definidos. Isto não é verdade porque estas bibliotecas não são constituídas por componentes de propriedades fixas, mas parametrizadas. Por este motivo resolvemos investigar se o uso destes sistemas desde a concepção do projeto pode gerar resultados diversificados. Mas os projetos concebidos e desenvolvidos por meio de um sistema BIM resultam em variabilidade de soluções maior ou igual se comparados com aqueles nos quais foram utilizados softwares CAD (*Computer Aided Design*) genéricos. Nesse sentido realizamos um estudo comparativo envolvendo a concepção e desenvolvimento do mesmo tipo de projeto, programa de necessidades, e as mesmas tarefas, por dois grupos de voluntários. Um grupo trabalhou com um *software* BIM e o outro com um *software* CAD genérico. Utilizamos a variação percentual média e o conceito estatístico de variância com o objetivo de medir a variabilidade das soluções arquitetônicas produzidas em cada um dos grupos. Para mensuração dessa variabilidade foram utilizados os valores dos seguintes categorias de parâmetros: funcionais, formais, construtivos e ambientais, que foram extraídos dos projetos produzidos pelos voluntários. Constatamos que a variabilidade nos parâmetros de mensuração dos projetos produzidos pelo grupo de voluntários que utilizou o sistema BIM foi maior do que daquele do CAD genérico. Portanto, este estudo sugere que a hipótese de que com o uso de um sistema BIM há um aumento na variabilidade de soluções arquitetônicas é promissora.

**Palavras Chaves:** sistemas BIM; Sistemas paramétricos de projeção; Projeto auxiliado por computador; Variedade de soluções de projeto; Projeto de Arquitetura.

## ABSTRACT

The use of computers as aided tools in the architecture Design process has been the object of study in many universities since 1963, when Ivan Sutherland created the Sketchpad. In Brazil this kind of approach to the designing process is little used and very little disseminated. The BIM representational systems (Building Information Modeling) are some of the most powerful technological tools used in the design process. However, many believe that the use of BIM systems in the design concept process results in greater repeatability of solutions since they are based on predefined components libraries. This is not true because these libraries are not formed by fixed properties components, but parameterized. For this reason we decided to investigate if the use of these systems, since the conceptual design, can generate diverse results. It was stated that designs conceived and developed by a BIM system result in the same or higher variability of solutions than those which were used in generic CAD (Computer Aided Design) softwares. Accordingly with this we performed a comparative study among the concept and development of the same kind of design, program requirements, and the same task by two groups of volunteers. One group worked with a BIM software and other worked with a generic CAD software. We used the mean percentage change and the statistical concept of variance in order to measure the variability of architectural solutions produced in each group. To measure this variability, we used the values of the following categories parameters: functional, formal, and environmental constructions, which were extracted from the designs produced by the volunteers. We noticed that the variability of the measure parameters of the designs produced by the group of volunteers who used the BIM systems was higher than that of generic CAD. Thus, this study suggests that the hypothesis that by using a BIM system increases the variability of architectural solutions is promising.

**Keywords:** BIM systems; parametric design systems; computer-aided design; Variety of design solutions; Architectural Design.

## LISTA DE FIGURAS

Fls

Figura 1-Desenho esquemático de motor a vapor feito por Matthew Boulton e James Watt em 1780.....	28
Figura 2-Estátua de Gudea com uma Planta Arquitectónica, 2130 a.C.....	30
Figura 3-Colo da Estátua de Gudea com uma Planta Arquitectónica, 2130 a.C.....	30
Figura 4- Inscrições na entrada do templo de Hórus no Egito.....	31
Figura 5-Ospedale degli Innocenti de Fillippo Brunelleschi em Florença na Itália.....	33
Figura 6 - Catedral Gótica de Chartres na França. ....	34
Figura 7- Elevação Sansedoni.....	35
Figura 8 - Estudo de perspectiva de um cálice feito por Paolo Uccello.....	37
Figura 9-Planta baixa residencial.....	40
Figura 10 - Complexo da Cidade do Vinho de Frank Gehry em El Ciego na Espanha.....	43
Figura 11 - Guangzhou Opera House na China de Zaha Hadid.....	43
Figura 12 - Swiss Re Tower - Projeto de Norman Foster.....	44
Figura 13 - Casa de alma encontrada em escavações no Egito.....	45
Figura 14 - Modelo do Rei Sety.....	46
Figura 15-Reconstituição do modelo do Rei Sety.....	46
Figura 16 - Maquete com arcos.....	46
Figura 17- Representação em desenho da Catedral de Florença.....	47
Figura 18 - Maquete em madeira da Catedral de Florença.....	48
Figura 19 - Catedral de Florença.....	48
Figura 20 – Cúpula da Basílica de São Pedro em Roma.....	49
Figura 21 – Desenho da cúpula da Basílica de São Pedro em Roma.....	50
Figura 22 – Maquete da cúpula da Basílica de São Pedro em Roma.....	50
Figura 23 - Maquete de estudo de forças de Gaudí.....	51
Figura 24 - Canteiro de obras da Sagrada Família de Gaudí.....	52
Figura 25 - Le Corbusier e maquete da Villa Savoye.....	53
Figura 26 - Maquete topográfica.....	54
Figura 27 - Maquete de edificação.....	55
Figura 28 - Maquete de cadeira.....	56
Figura 29 - Elemento paramétrico e sua construção da Sagrada Família de Gaudí.....	57

Figura 30 - Imagem do Sketchpad de Ivan Sutherland, 1963.....	58
Figura 31 - Formas simples tridimensionais: esfera, cubo, cilindro e cone respectivamente...	60
Figura 32 - Operações Booleanas: união, interseção e subtração respectivamente.....	61
Figura 33 - Modelo paramétrico.....	64
Figura 34 - Elementos paramétricos estruturais.....	65
Figura 35 – Aplicações em modelo único.....	67
Figura 36 - Elementos paramétricos estruturais de parede.....	68
Figura 37 - Fabrica de motores V6 Flint Global da General Motors.....	71
Figura 38 - Camino Medical Group Mountain View.....	72
Figura 39 – Cubo D’Água.....	72
Figura 40 - Estudo quantitativo de usuários de softwares BIM.....	75
Figura 41 - Estudo quantitativo em porcentagem de usuários de softwares BIM.....	75
Figura 42 - Esboço de Frank Gehry.....	80
Figura 43 - Frank Gehry elaborando Maquetes volumétricas.....	80
Figura 44 - Maquetes em varias escalas de Frank Gehry.....	81
Figura 45 - Lou Ruvo Center em Las Vegas.....	81
Figura 46 - Museu Guggenheim de Bilbao.....	82
Figura 47 - Casa Dançante em Nova Praga.....	82
Figura 48 - Greater London Authority.....	84
Figura 49 – Cúpula do parlamento da Alemanha.....	84
Figura 50 – Esboço de Norman Foster.....	85
Figura 51 – Esboço de Zaha Hadid.....	86
Figura 52 – Modelo de Volumes para estudo.....	86
Figura 53 – Edifício Central da BMW na Alemanha.....	87
Figura 54 – Escritório Central da CMA CGM na França.....	87
Figura 55 – Terreno com Norte.....	94
Figura 56 – Exemplo de variação de série.....	98
Figura 57 – Exemplo 2 de variação de série.....	99
Figura 58 – Produto produzido no sistema BIM.....	104
Figura 59 – Produto produzido no sistema BIM.....	104
Figura 60 – Produto produzido no sistema BIM.....	104
Figura 61 – Produto produzido no sistema BIM.....	104
Figura 62 – Produto produzido no sistema BIM.....	104

Figura 63 – Produto produzido no sistema BIM.....	104
Figura 64 – Produto produzido no sistema BIM.....	104
Figura 65 – Produto produzido no sistema BIM.....	104
Figura 66 – Produto produzido no sistema BIM.....	105
Figura 67 – Produto produzido no sistema BIM.....	105
Figura 68 – Produto produzido no sistema BIM.....	105
Figura 69 – Produto produzido no sistema BIM.....	105
Figura 70 – Produto produzido em sistemas CAD genérico.....	105
Figura 71 – Produto produzido em sistemas CAD genérico.....	105
Figura 72 – Produto produzido em sistemas CAD genérico.....	106
Figura 73 – Produto produzido em sistemas CAD genérico.....	106
Figura 74 – Produto produzido em sistemas CAD genérico.....	106
Figura 75 – Variação média de superfícies curvas (em uma direção) dos projetos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.90.....	107
Figura 76 – Variação média de superfícies curvas (em uma direção) dos projetos elaborados no sistema BIM (Revit).....	108
Figura 77 – variação média de superfícies curvas (em mais de uma direção) dos projetos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	108
Figura 78 – variação média de superfícies curvas (em mais de uma direção) dos projetos elaborados no sistema BIM (Revit).....	109
Figura 79 – variação média decorrentes da presença de ângulos não retos em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	109
Figura 80 – variação média decorrentes da presença de ângulos não retos em produtos elaborados por meio do sistema BIM (Revit).....	110
Figura 81 – variação média decorrentes da presença de estrutura de concreto em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	112
Figura 82 – variação média decorrentes da presença de estrutura de concreto em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.....	112
Figura 83 – variação média decorrentes da presença de estrutura metálica em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	113
Figura 84 – variação média decorrentes da presença de estrutura metálica em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.....	113

Figura 85 – variação média decorrentes da presença de estruturas mistas em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	114
Figura 86 – variação média decorrentes da presença de estruturas mistas em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.....	114
Figura 87 – variação média decorrentes da presença de um único pavimento em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	115
Figura 88 – variação média decorrentes da presença um único pavimento em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.....	115
Figura 89 – variação média decorrente da presença de mais de um pavimento em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	116
Figura 90 – variação média decorrentes da presença demais de um pavimento em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.....	117
Figura 91 – variação média decorrentes da organização em linha em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	119
Figura 92 – variação média decorrentes da organização em linha em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.....	119
Figura 93 – variação média decorrentes da organização com núcleo e ramificações em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	120
Figura 94 – variação média decorrentes da organização com núcleo e ramificações em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.....	120
Figura 95 – variação média decorrentes da organização circular em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	121
Figura 96 – variação média decorrentes da organização circular em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.....	121
Figura 97 – variação média decorrentes da presença de brises elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	123
Figura 98 – variação média decorrentes da presença de brises elaborados por meio dos sistemas BIM.....	124
Figura 99 – variação média decorrentes das aberturas orientadas para o norte em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	124
Figura 100 – variação média decorrentes da presença aberturas orientadas para o norte elaborados por meio dos sistemas BIM.....	125

Figura 101 – variação média decorrentes das aberturas orientadas para o sul em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	125
Figura 102 – variação média decorrentes da presença aberturas orientadas para o sul elaborados por meio dos sistemas BIM.....	126
Figura 103 – variação média decorrentes das aberturas orientadas para o leste em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	126
Figura 104 – variação média decorrentes da presença aberturas orientadas para o leste elaborados por meio dos sistemas BIM.....	127
Figura 105 – variação média decorrentes das aberturas orientadas para o oeste em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	127
Figura 106 – variação média decorrentes da presença aberturas orientadas para o oeste elaborados por meio dos sistemas BIM.....	128
Figura 107 – variação média decorrentes das presença de iluminação natural em todos os ambientes produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	128
Figura 108 – variação média decorrentes das presença de iluminação natural em todos os ambientes produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.....	129

## LISTA DE TABELAS

	Fls
Tabela 1 Comparação entre CAD não BIM e os sistemas BIM.....	73
Tabela 2 Quantitativos de produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	103
Tabela 3 Quantitativos de produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.....	103
Tabela 4 Quantitativos dos Aspectos Formais dos projetos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	106
Tabela 5 Quantitativos dos Aspectos Formais dos projetos elaborados por meio dos sistemas BIM.....	107
Tabela 6 Resultados Quantitativos dos Aspectos Formais dos projetos elaborados por ambos os sistemas.....	110
Tabela 7 Quantitativos dos Aspectos Construtivos dos projetos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	111
Tabela 8 Quantitativos dos Aspectos Construtivos dos projetos elaborados por meio dos sistemas BIM.....	111
Tabela 9 Resultados Quantitativos dos Aspectos Construtivos dos projetos elaborados por ambos os sistemas.....	117
Tabela 10 Quantitativos dos Aspectos Funcionais dos projetos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	118
Tabela 11 Quantitativos dos Aspectos Funcionais dos projetos elaborados por meio dos sistemas BIM.....	118
Tabela 12 Resultados Quantitativos dos Aspectos Funcionais dos projetos elaborados por ambos os sistemas.....	122
Tabela 13 Quantitativos dos Aspectos Ambientais dos projetos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.....	122
Tabela 14 Quantitativos dos Aspectos Ambientais dos projetos elaborados por meio dos sistemas BIM.....	123
Tabela 15 Resultados Quantitativos dos Aspectos Ambientais dos projetos elaborados por ambos os sistemas.....	129

## SUMÁRIO

	fls
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>18</b>
Geral.....	18
Específicos.....	18
<b>Problemática.....</b>	<b>18</b>
<b>Hipótese.....</b>	<b>24</b>
<b>Estrutura da dissertação.....</b>	<b>24</b>
<b>1 EVOLUÇÃO DA REPRESENTAÇÃO DE PROJETO.....</b>	<b>26</b>
<b>1.1 A evolução da representação arquitetônica por meio do desenho.....</b>	<b>26</b>
<b>1.2 As Maquetes físicas como representação arquitetônica.....</b>	<b>45</b>
<b>1.3 Criação e evolução dos sistemas CAD como representação arquitetônica.....</b>	<b>57</b>
<b>1.4 Building Information Modeling, BIM, como representação arquitetônica.....</b>	<b>63</b>
<b>1.5 Breve comentário sobre metodologias de projetos em arquitetura.....</b>	<b>76</b>
<b>2 ALGUNS PROJETISTAS RENOMADOS QUE UTILIZAM OS SISTEMAS BIM.....</b>	<b>79</b>
<b>2.1 Frank Gehry.....</b>	<b>79</b>
<b>2.2 Norman Foster.....</b>	<b>83</b>
<b>2.3 Zaha Hadid.....</b>	<b>85</b>
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>88</b>
<b>3.1 Fundamentação teórica do método usado no experimento.....</b>	<b>88</b>
<b>3.2 Tipo de pesquisa.....</b>	<b>92</b>
<b>3.3 Condicionantes para o desenvolvimento do experimento.....</b>	<b>92</b>
<b>3.4 Procedimentos do método de investigação.....</b>	<b>96</b>
<b>4 MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO.....</b>	<b>97</b>
<b>5 RESULTADOS ENCONTRADOS.....</b>	<b>102</b>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>130</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>133</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>141</b>

## INTRODUÇÃO

Apesar do avanço tecnológico digital e das novas técnicas construtivas, o computador continua sendo utilizado, na maioria dos casos no Brasil, apenas como um coadjuvante no processo de elaboração de projetos de arquitetura. Isto ocorre mesmo no contexto atual, no qual profissionais e estudantes têm amplo acesso a tecnologia computacional (CAIXETA, 2007, p. 60-62).

O computador começou a ser amplamente usado apenas a partir da década de 1980, quando passou a ser comercialmente acessível, tornando-se essencial por facilitar, acelerar, melhorar e até mesmo viabilizar o trabalho em diversas áreas tais como matemática, astronomia, economia, etc. Os sistemas computacionais vêm sendo usados como ferramenta de trabalho, estudo, informação, comunicação e lazer. Uma das áreas mais recentes é a construção civil, na qual é utilizado para a concepção e desenvolvimento de projeto, execução e manutenção de edificações.

Nessa área, vem sendo utilizado, na maioria dos casos, apenas para documentar e representar projetos previamente definidos. Contudo, ele possui recursos para modelar tridimensionalmente, fazer simulações diversas tais como de iluminação, simulações de rota de fuga, acústica, conforto térmico, ventilação, comportamento estrutural, animação de percurso, realidade virtual, gerar quantitativos de componentes e materiais, etc. Considerando estes recursos, dentre outros, sua utilização é altamente vantajosa em todo o processo de projeção.

Mesmo com todos os seus recursos para concepção e desenvolvimento de projeto, tais como modelagem tridimensional, simulações de insolação, “renderização” de materiais, etc, os *softwares* disponíveis no mercado são utilizados apenas para produzir desenhos técnicos ortográficos (plantas-baixas, cortes, elevações, detalhes construtivos, etc.), necessários para aprovar projetos junto aos órgãos governamentais e instruir a construção de edificações. Devido ao avanço das tecnologias computacionais desde suas primeiras implementações no início dos anos 1960 (SUTHERLAND, 2003, p.17-22), somente a partir de meados de 1985, o computador vem sendo usado, por alguns escritórios de arquitetura,

para modelar edificações e seus elementos, permitindo a apreensão do espaço proposto em uma escala real.

A prática da maioria dos profissionais e estudantes de arquitetura de utilizar o computador apenas como instrumento de comunicação e apresentação de projeto tem resultado em atraso tecnológico no desenvolvimento de processos de projeção e construção. Devido aos avanços na área de computação e das novas tecnologias de construção, juntamente com o desenvolvimento dos sistemas de modelagem da informação da construção, *Building Information Modeling* (BIM), o arquiteto adquire maior controle sobre todo o processo de projeção em arquitetura, desde sua concepção até sua execução. Utilizando os sistemas BIM o arquiteto constrói um modelo virtual da edificação, considerando todos os atributos, comportamentos e inter-relações dos seus elementos arquitetônicos. Além disto, permite simular o processo de sua execução.

A escolha deste tema partiu da necessidade de entender se o uso de um software BIM, desde o início do processo de projeto, seria um elemento restritivo da variabilidade de soluções e se acabaria induzindo a repetitividade, uma vez que se baseia em bibliotecas de componentes construtivos pré-definidos. Alternativamente, é necessário entender, se, pelo contrário, por serem ferramentas paramétricas, o seu uso favorece a obtenção de uma maior variabilidade de soluções arquitetônicas.

Acredita-se que a natureza dos sistemas BIM favorece a diversificação de soluções, uma vez que não são compostos por objetos de dimensões e propriedades fixas, mas por família de componentes construtivos parametrizados, a partir dos quais soluções específicas são derivadas.

Através deste estudo será realizada uma análise sobre o uso da ferramenta BIM *Revit Architecture* no processo de projeção. Será aplicada uma tarefa de projeção de um escritório de arquitetura a dois grupos de projetistas. Um grupo trabalhará com o sistema BIM escolhido e o outro com quaisquer outras ferramentas CAD genéricas (Quaisquer ferramentas CAD não BIM). Ambos os grupos utilizarão o mesmo programa de necessidades e o mesmo conjunto de tarefas.

## **Objetivo**

### Geral

O objetivo principal desta Dissertação é verificar se ao projetar utilizando um sistema BIM, haverá uma variedade de soluções igual ou maior do que aquela observada decorrente do uso de outros sistemas CAD genéricos.

### Específico

\*Apresentar um breve histórico da evolução da representação de projeto de arquitetura, incluindo o desenho, as maquetes, sistemas CAD genéricos e BIM.

\* Demonstrar a importância da parametrização como um elemento significativo para possibilitar maior variabilidade de soluções em projeto de arquitetura através do uso de um sistema BIM em comparação com sistemas CAD genéricos.

\*Estabelecer parâmetros de mensuração de variabilidade das soluções propostas pelos usuários.

## **Problemática**

Os *softwares* existentes no mercado na área de arquitetura atualmente possuem muito mais recursos, tais como modelagem tridimensional, simulações, extração de quantitativos, visualizações realísticas, etc., em relação àqueles em desenvolvimento nos anos de 1960. Desde meados dos anos 1980 os modeladores tridimensionais genéricos e os sistemas BIM introduzidos no mercado possuem grande número de recursos que permitem aos

projetistas criar volumes, planos, texturas, animações de percurso, simulações, imersão, imagens realistas de projeto, etc. Permitem também trabalhar com objetos, emitir listas de quantitativos, coordenar a representação do modelo e as suas projeções ortográficas. Observa-se que mesmo com essa potencialidade os equipamentos e aplicativos continuam, em grande maioria dos casos, sendo usados como simples ferramentas de desenho para representar as decisões que já foram tomadas. Dessa forma o computador tem tido seu potencial subutilizado para gerar somente projeções ortogonais e para produzir documentação do projeto. Recursos como modelagem tridimensional e renderização de imagens realísticas são utilizados apenas para apresentação final de projeto ao cliente, quando todas as decisões já foram tomadas.

É de se estranhar que muitos profissionais, mesmo com a disponibilidade dessas vantagens, continuem resistindo a utilização desses recursos pois acreditam que o computador não pode ser utilizado para projetar, apenas para representar as decisões tomadas. Causa estranheza que essa cultura seja reproduzida dentro de muitas Instituições de Ensino Superior no Brasil (CAIXETA, 2007, p. 60-62), pois essa tecnologia vem sendo largamente utilizada e difundida com bons resultados em outros países.

Um exemplo é a Penn State University que já vem adotando projeto auxiliado por computador há quase vinte anos, onde o professor Loukas Kalisperis incorporou os sistemas CAD diretamente no ateliê de projeto a partir do segundo ano do curso de arquitetura. Kalisperis (1996) argumenta que o computador faz muito mais do que apenas otimizar tarefas repetitivas de desenho. Ele estimula o aluno a encontrar soluções inovadoras através da exploração de mais alternativas, projetando de um ponto de vista holístico, ou seja, levando em consideração o todo, suas partes e inter-relações (KALISPERIS, 1996, p.1-25).

A vertente que condena o uso do computador como ferramenta de projeto alega que sua utilização reduz as possibilidades e alternativas de projeto, no sentido em que induz a repetitividade, partindo do pressuposto de que os objetos estão todos prontos e de que o usuário iria apenas coletá-los e reutilizá-los. Dentre os autores que relatam sobre esta vertente estão Lyn e Dulaney (2009, p. 23-24) que, através de uma pesquisa entre professores de arquitetura, verificaram que grande maioria destes acreditavam que o desenho manual era insubstituível na prática da arquitetura e que o uso do computador deveria ser adotado com ressalvas. Outro autor que relata sobre este tipo de ponto de vista é Brian Lawson (1997, p. 143). Este entrevistou arquitetos renomados que também fazem muitas ressalvas ao uso do

computador no processo de concepção da arquitetura. É importante frisar que ambos os estudos anteriormente citados são pesquisas de opinião e não uma coleta de dados objetivos.

Na atualidade quase tudo que conhecemos tem modificação provenientes da mão do homem, ou seja, sendo caracterizados como artificiais. Mesmo leis naturais como a gravidade, o homem consegue burlar utilizando o avião e voando de forma artificial. A grande maioria dos alimentos é proveniente de fazendas e plantações, também sendo caracterizados como meios artificiais já que também são modificações do natural feitas pelo homem. Um lápis também é um objeto artificial, uma ferramenta, que para um projetista serve para representar suas ideias. Por que o computador que também é uma ferramenta artificial não serviria para representar ideias de projeto? (SIMON, 1969. p. 4-6).

Na realidade o computador é apenas um instrumento de trabalho, ainda que poderoso, mas não tem o potencial de tomar decisões. O projetista tem que tomar todas as iniciativas, entre elas, por exemplo, insere uma série de dados, modela elementos, desenha linhas e define todas as informações essenciais para o projeto. Além disto, há aquela vertente que afirma que os sistemas BIM prejudicam ainda mais o processo projetual, pois possuem elementos pré-definidos em todos os níveis da elaboração do projeto, desde as fundações até o material de acabamento. Isso seria um limitador da variabilidade e acabaria restringindo as possibilidades e alternativas de projeto. Seria isso verdade?

Todo projetista tem como objetivo resolver problemas de seus projetos, no caso da arquitetura esses estariam relacionados com o programa de necessidades e condicionantes existentes. O cliente procura o arquiteto por que não consegue resolver sozinho os problemas do seu projeto, ou nem tem ideia de que eles existem (LOGAN, 1987, p. 20). O cliente traz ao projetista o “problema” a ser solucionado juntamente com outros objetivos pretendidos com a solução do mesmo. A partir desses objetivos e do problema geral o projetista pode determinar possíveis soluções para os mesmos (LOGAN, 1987, p. 20-22). Além disto, muitas vezes a proposta feita pelo arquiteto será executada somente de acordo com interpretações das vistas ortográficas (plantas, cortes e fachadas) feitas pelo construtor, mestre de obras ou subcontratados durante este processo. O método de comunicação das ideias de projeto precisa ser inteligível ao cliente e profissionais da construção.

Christopher Alexander (1964) afirma que para se resolver um problema de projeto o mesmo deveria ser subdividido e fracionado em problemas cada vez menores. Partindo desse princípio, se resolvêssemos os problemas menores o problema maior estaria resolvido.

Mas segundo sua própria análise desenvolvida posteriormente (Alexander, 1965), essa teoria se provou inexecutável a partir do momento que percebeu que esse tipo de abordagem gera muitas interferências e simultaneidades entre os pequenos problemas. Não é possível resolver problemas menores de forma isolada. A solução proposta para um problema menor frequentemente implica na alteração de soluções de problemas do mesmo nível ou acima na escala hierárquica.

Em todo processo de projeção os problemas são, segundo alguns autores, dentre eles Mustoe e Rittel caracterizados como não estruturados, pois quando são elaborados simultaneamente já se antevê uma solução definida. No entanto nenhuma solução pode ser definida a priori, pois sempre pode ser modificada e melhorada. Soluções para problemas não estruturados só podem ser boas ou ruins, não corretas e incorretas (RITTEL apud MUSTOE, 1990, p. 3-5).

Segundo Rittel (1990) um problema não estruturado como os de projeto, pode apresentar as seguintes propriedades:

“não tem uma formulação única e definida. Toda vez que se faz uma formulação questões adicionais podem ser feitas e mais informação ser necessária” (RITTEL, apud MUSTOE, 1990, p. 3).

Um exemplo disto seria: Qual tipo de porta será utilizada na entrada, em seguida qual seu tamanho, qual o material, qual a preferência do cliente, etc.?

Outra propriedade dos problemas não estruturados seria:

“Toda formulação corresponde à formulação da solução ou vice versa. A informação necessária para entender o problema é determinada pela ideia ou plano de solução que já se tiver em mente. Em outras palavras, toda vez que um problema não estruturado é formulado já deve haver uma solução em mente. Se a falta de uma vista é definida como uma deficiência de um projeto de arquitetura, então a solução para este problema, a criação daquela vista em particular, também já foi estabelecida” (RITTEL, apud MUSTOE, 1990, p. 3-4).

Outro exemplo desta propriedade seria a constatação de que certo ambiente faz muito calor e a sua solução pensada seria ventilar tal ambiente.

A resolução de problemas não estruturados não possui ponto final:

“não tem fim definidos. Sempre que se tem uma solução ela pode ser melhorada ou um pouco mais trabalhada. Alguém para de projetar somente porque algum recurso se esauriu. (Um arquiteto poderia continuar a modificar uma solução de projeto para sempre – ele para porque os pagamentos do cliente já se esgotaram, porque o edifício precisa ser construído...)” (RITTEL, apud MUSTOE, 1990, p. 4).

Esta é uma propriedade geralmente reconhecida na atividade de projeção. Outro exemplo disto seria: um projeto de banheiro já resolvido pode ser modificado para trocar as louças por outras de menor valor, ou adicionando um espelho maior para aumentar a luminosidade e induzir amplitude.

Os problemas não estruturados também se distinguem dos problemas das ciências físicas e naturais da seguinte maneira:

“As soluções não podem ser corretas ou falsas. Podem ser apenas boas ou ruins. (Não há edifício correto ou edifício falso: pode haver apenas edifício ‘bom’ ou edifício ‘ruim’)” (RITTEL, apud MUSTOE, 1990, p. 4).

Neste sentido, um projeto para melhorar a ventilação pode envolver a inclusão de ventilação mecânica (que é uma solução ruim, pois gera custos com equipamentos, energia e manutenção) ou ampliar as janelas (boa solução).

Além disto, não um caminho único para resolver um problema não estruturado:

“Para se resolver não existe lista exaustiva de operações admissíveis. Qualquer plano ou estratégia pode ser considerado para resolver um problema” (RITTEL, apud MUSTOE, 1990, p. 4).

Existem inúmeros caminhos para se chegar a uma mesma solução. Por exemplo, alguém pode projetar uma escada do todo para as partes, definindo primeiro a forma geral, para depois detalhar os seus componentes. Outra pessoa poderia projetar uma escada das partes para o todo, definindo primeiro os componentes e depois os reunindo em um único artefato. Em ambos os casos o resultado pode ser o mesmo, embora os caminhos tenham sido diferentes.

O mesmo se aplica às possíveis explicações oferecidas a um problema não estruturado:

“Para cada problema formulado há mais de uma possível explicação... A explicação também determina a solução do problema. (O alto custo de uma construção pode ser decorrente de um projeto caro, materiais caros, custo da mão de obra, altos juros e inflação, etc.). Todo problema não estruturado é ligado a um problema de maior complexidade” (RITTEL, apud MUSTOE, 1990, p. 4).

Se o custo para manter o chuveiro elétrico é muito alto para os donos do projeto, isto indica que há um problema em um nível mais alto, como a renda dos mesmos.

A avaliação das soluções oferecidas a problemas não estruturados também não pode ser considerada definitiva:

“Nenhum problema e nenhuma solução para ele tem um teste definitivo. Em outras palavras, se uma solução passa em um determinado teste ela pode ainda não passar em relação a algum outro aspecto” (RITTEL, apud MUSTOE, 1990, p. 4-5).

Isso quer dizer que uma solução para um problema pode gerar outro problema. O uso de grandes beirais para conter a chuva pode gerar uma falta de luz nos ambientes.

Rittel afirma ainda que:

“Todo problema não estruturado é uma via de mão única. Não existe tentativa e erro. Uma edificação é projetada e construída. Depois de pronta não é possível voltar ao início do projeto. Todo problema não estruturado é único... Nunca dois problemas serão exatamente iguais. Mesmo que duas residências sejam projetadas para a mesma família sobre as mesmas condições geográficas elas nunca serão iguais. Quem solucionar um problema não estruturado não tem direito de errar. Ele é diretamente responsável por seus atos” (RITTEL, apud MUSTOE, 1990, p. 5).

Esta discussão está diretamente relacionada com o entendimento sobre a diversidade de soluções que normalmente acontecem no processo de projeção, mas nem sempre os arquitetos estão conscientes da existência das mesmas. Para um mesmo problema de projeto sempre pode haver várias soluções possíveis. Um exemplo disto seriam os concursos de projeto de arquitetura: para um único programa de necessidades são oferecidas diversas soluções. O estudo dessas características é importante porque ajudam a entender quais são as bases do processo de projeção de um arquiteto. Ainda assim, essas características ajudam a demonstrar que o uso de elementos pré-definidos para projeção, ou que seguem padrões não poderiam necessariamente se constituir em instrumento limitador da variabilidade de soluções.

Mustoe (1990) caracteriza quatro gerações de pensadores em projeto que tinham características em comum. A primeira geração tinha como objetivo formular um modelo sistemático de projeto que pudesse melhorar seus resultados. Isto não funcionou, pois acabou se comprovando que existem inúmeras maneiras de se resolver um projeto. A segunda geração achava que o processo de projeto devia ser entendido como um diálogo e não em termos de um modelo para resolver problemas não estruturados. Esta também não foi bem sucedida, pois não conseguia guiar o projetista em sua linha de argumentação. A terceira geração tinha com intenção transformar o projeto em uma atividade científica influenciados por Karl Popper. Porém, considerando-se que o problema de projeto é por natureza não estruturado e não pode ser definitivamente formulado, conseqüentemente não pode ser testado nos termos de falseabilidade de Popper. A quarta geração se caracteriza pela desilusão, falência do método científico no sentido de funcionar como uma analogia adequada ao projeto (MUSTOE, 1990, p.3-9).

Desta forma pergunta-se: É possível verificar se há variedade de soluções com o uso de um sistema BIM? Em segundo lugar, o uso do sistema BIM resulta em variedade de soluções no mínimo igual ou maior do que aquela observada por meio da utilização de outros softwares CAD bidimensionais e tridimensionais genéricos?

Como o uso dos sistemas BIM, observando os mesmos condicionantes projetuais tais como características naturais do terreno, delimitação das áreas, objetivo da edificação a ser projetada, partido, fluxo, materiais de construção, materiais de acabamento, etc, poderá resultar em soluções ou produtos diversificados em projetos de Arquitetura e Urbanismo?

## **Hipótese**

O uso dos sistemas BIM pode gerar resultados diversificados, como ferramenta de concepção de projeto, para atender um mesmo programa de necessidades, incluindo os condicionantes, características naturais do terreno, áreas, partido, fluxo, materiais de construção, etc. Acredito que o projeto auxiliado pelos sistemas BIM ao invés de reduzir a variedade de soluções, permite aumentar a quantidade de variações.

## **Estrutura da dissertação**

Este trabalho está organizado em seis capítulos, além da introdução, conclusão, seção de referências bibliográficas e anexos.

A Introdução apresenta o tema estudado, os objetivos pretendidos, geral e específicos, apresentação breve da estrutura da dissertação, incluindo problemática e hipótese.

O Capítulo 1 apresenta o Referencial Teórico necessário para a compreensão do Tema e assuntos pertinentes aos mesmos. Dentre os assuntos abordados estão a evolução do desenho, as maquetes físicas, a criação e evolução do CAD, o BIM, *softwares* dos sistemas BIM e uma breve exploração da metodologia de projeto em arquitetura.

O Capítulo 2 apresenta os Grandes Projetistas em arquitetura atuantes no mercado, exemplificando seus projetos assim como, os seus respectivos métodos.

O Capítulo 3 trata da fundamentação teórica sobre os procedimentos de investigação adotados em relação aos parâmetros de análise usados no experimento;.

O Capítulo 4 descreve os procedimentos metodológicos utilizados no experimento, o tipo de pesquisa realizada e discorre como será feita a coleta e análise de dados deste estudo.

No Capítulo 5 apresenta-se o método de investigação;.

O Capítulo 6 descreve o desenvolvimento do experimento, incluindo seus resultados e discussão sobre os mesmos.

Na conclusão apresenta-se a síntese das implicações dos resultados encontrados. Apresenta-se também os desdobramentos futuros para o tema.

Por último, as referências bibliográficas e anexos.

# **1 EVOLUÇÃO DA REPRESENTAÇÃO DE PROJETO**

Sejam desenhos ortográficos, maquetes físicas ou o uso do computador, todas essas ferramentas tem como objetivo gerar reduções de um elemento real para poder transmitir uma informação, ou seja, representar um elemento de forma simplificada. Mitchell (2005) conceitua representação da seguinte forma: "o uso de símbolos em substituição a outra coisa ou entidade distinta". A partir deste ponto de vista, todo e qualquer meio usado para representar ideias arquitetônicas como croquis, plantas, cortes, elevações, maquetes físicas, modelos virtuais, etc., são todas representações em arquitetura. (MITCHELL, 2005).

Esta dissertação embora tenha relação com o processo de projeção, não tem como objetivo estudá-lo, mas sim estudar algumas das implicações do uso de diferentes sistemas de representação em arquitetura.

Esta Dissertação tem como objetivo verificar a variabilidade de soluções no processo de projeção utilizando os sistemas computacionais BIM. Isto requer apresentação da evolução dos diferentes métodos de representação de projeto de arquitetura, desde o desenho manual na prancheta em papel vegetal, passando pelo uso de maquetes físicas até a utilização dos diversos sistemas computacionais para facilitar o processo de projeção e adicionar novas possibilidades de exploração e controle de soluções arquitetônicas. Torna-se importante entender como ocorreu a evolução da representação arquitetônica até a atualidade para que se explique como se deu a inserção dos sistemas computacionais nesse processo. Esta trajetória é necessária para compreender os fundamentos e conceitos da representação por meio dos sistemas BIM e a relevância do seu uso em projeto de arquitetura.

## **1.1 A evolução da representação arquitetônica por meio do desenho**

Arquitetos e construtores, mesmo que nem sempre tenham tido essa nomenclatura, desenham desde os primórdios da civilização. A primeira ligação entre desenho e manufatura pode remontar a época em que, segundo a lenda grega, Dibutades traçou uma linha ao redor da sombra (uma projeção) de seu amante. Seu pai então recortou aquela linha e fez uma escultura. Desenhos esquemáticos e simbólicos estão em evidencia desde a Idade do

Bronze - existe uma vista em planta de um arado puxado por bois datado de 1500 a.C em Fontalba - e esquemas semelhantes podem ser vistos em pinturas egípcias. Os antigos gregos elaboraram as fundações da geometria e os métodos de Euclides foram ensinados quase exclusivamente até o final do século XIX (PIPES, 2010, p.28).

O interesse pelo desenho como forma de representação e a ênfase que colocamos em sua origem e utilização, seu significado ou representação muitas vezes não mostra todo o papel que o mesmo tem como prática social. O desenho serve para combinar as criações da imaginação em arquitetura com as instituições de produção material. Serve usualmente como o principal elemento chave para uma tentativa de execução o mais fiel possível com os recursos disponíveis do elemento imaginado pelo projetista. Como pode ser notado em vários projetos de motor feitos por Matthew Boulton e James Watt (Figura 1). A partir do final da Idade Média e início da Renascença o projeto tem sido elaborado através de plantas baixas, cortes e fachadas, os quais na verdade contêm um conjunto de instruções referentes às dimensões e partes das formas da edificação (ZEVI, 1996, p. 17-24), e gradualmente vem sendo utilizado pelos profissionais da área como o único meio de fazê-lo (ROBBINS, 2007, p.9).

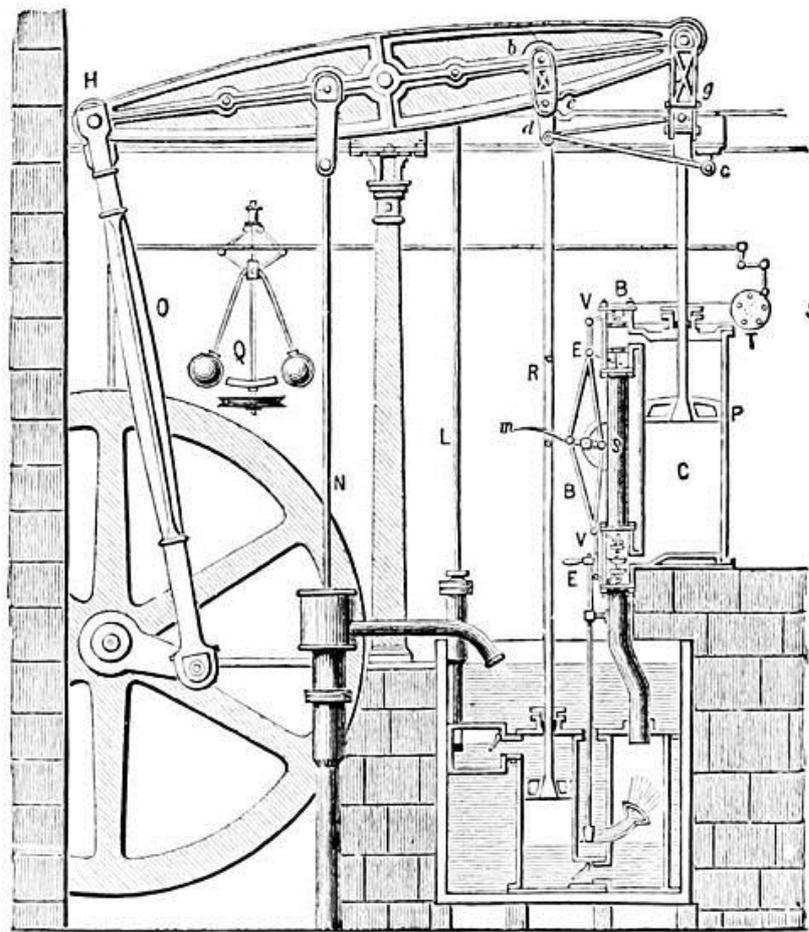


Figura 1-Desenho esquemático de motor a vapor feito por Matthew Boulton e James Watt em 1780.

Fonte: WIKISOURCE, 2012.

A representação bidimensional do projeto arquitetônico tem influenciado ao longo da história o status social e o desempenho da profissão. Segundo Robbins, as transformações ocorreram em toda a prática arquitetônica: “os usos dados ao desenho arquitetônico ao longo do tempo estão associados com a transformação da organização cultural e social da prática arquitetônica” (ROBBINS, 1997, p.10).

Examinando como arquitetos usam desenho na produção social de sua arquitetura, começa-se a identificar, como é que se desenvolve o processo de concepção de um projeto. Dessa forma, pode-se começar a identificar como a arquitetura é percebida como produção cultural e incluída na produção social de sua constituição.

Faz-se necessário uma breve análise do uso que o desenho desempenha na arquitetura sob uma perspectiva histórica antes de analisar o uso do desenho na arquitetura

hoje em dia. O que se percebe é que ao decorrer do tempo o desenho de arquitetura vem sendo associado com as transformações culturais e organizacionais da sociedade a partir de sua prática. Desde as antigas civilizações egípcias e gregas, passando pela Idade Média, todas as mudanças no uso do desenho vêm relacionadas a subsequentes mudanças na forma como a arquitetura era produzida em determinado período. Essas mudanças culminaram no novo status social e cultural concedido aos arquitetos cavalheiros da Renascença. Essa última mudança do artesão para artista foi acompanhada e tornada possível através da centralidade e importância adquirida pelo desenho como instrumento de criação e produção na arquitetura. Passando a ser o elemento central do projeto e sua construção (ROBBINS, 1997, p. 10).

Através de um estudo histórico criterioso do papel do desenho em arquitetura tomou-se conhecimento que, ao invés de se constituir em um atributo universal e presente em toda a história da prática da arquitetura, o seu uso como se conhece hoje em dia é recente e historicamente situado. Por mais importante que o desenho esteja relacionado com a prática contemporânea da arquitetura, ele não é uma consequência de algum processo inevitável de ação ou pensamento arquitetônico, ou seja, não é uma evolução propriamente dita. O desenho para a prática da arquitetura é o resultado das escolhas feitas sobre como representar ideias por profissionais da construção e arquitetos em certo tempo na história por diversos motivos e razões (ROBBINS, 1997, p. 10).

Ao longo do tempo a arquitetura é capaz de demonstrar o avanço dos processos de projeto e construção, assim como meios para sua representação pelo homem. Por isso faz-se necessário uma análise do desenho em arquitetura desde sua mais antiga documentação, afinal o projetista só “deve” projetar aquilo que tecnicamente é possível de construir.

A mais antiga planta de um edifício que existe documentação é datada de 2130 a.C, mostra a planta de um Zígrate, um templo com laterais em degrau. Está gravado em uma estatueta de Gudea em Ur (Figura 2 e 3) (cidade ao sul da Mesopotâmia, atual Iraque), hoje em dia encontra-se no Louvre (PIPES, 2010, p.30).



Figura 2 -Estátua de Gudea com uma Planta Arquitectónica, 2130 a.C.  
Fonte: Umolharsobreomundodasartes.blogspot, 2011.

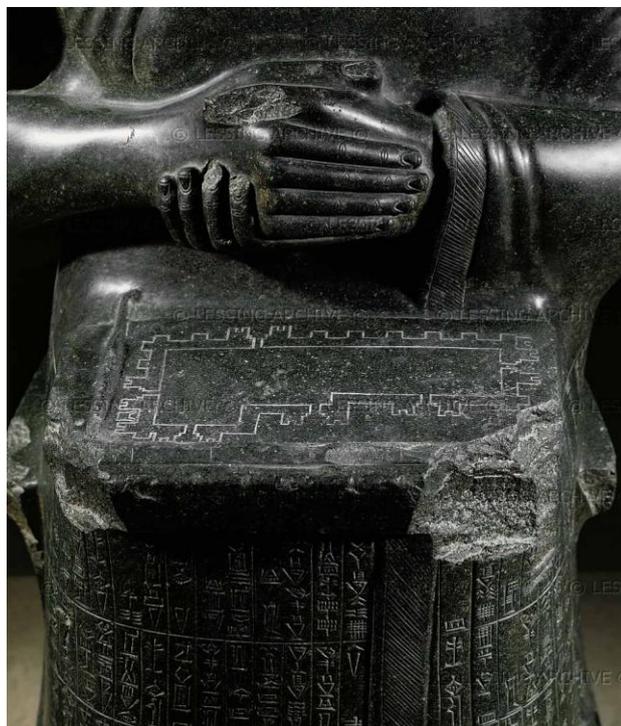


Figura 3 - Colo da Estátua de Gudea com uma Planta Arquitetônica, 2130 a.C.  
Fonte: Lessing, 2011.

No Egito os fragmentos de desenhos datados desde 3000 a.C nos informam sobre o seu uso em arquitetura. Existem planos baseados em grades quadriculadas, imagens

pictórias de construções e até rabiscos de plantas feitas em tabuleiros de calcário lisos usados como guia de trabalho como as feitas na entrada do templo de Hórus (Figura 4). Fica claro que o arquiteto não estava livre da obrigação de trabalhar na área de construção apenas apresentando os desenhos (ROBBINS, 1997, p. 10).



Figura 4-Inscrições na entrada do templo de Hórus no Egito.  
Fonte: Opitravel, 2012.

Os arquitetos gregos como também os romanos se envolviam diretamente na construção dos seus projetos, mantendo-se no sítio durante toda a construção da edificação. Organizando e instruindo os trabalhadores em todo o tempo. Alguns pesquisadores afirmam que para os gregos os desenhos não significavam parte do processo de projetar ou construir,

sugerindo inclusive que o principal responsável pela arte em arquitetura na Grécia eram os escultores de pedra e que eles trabalhavam com o detalhamento verbal feito pelo arquiteto (que na época desempenhava as atribuições de mestre de obras e de arquiteto). Kostof afirma que o desenho deve ter sido utilizado pelos gregos na prática da arquitetura em dois pavimentos. Primeiro porque os ajustes das fachadas seriam muito difíceis de serem feitos sem os desenhos preliminares em escala. Segundo porque Vitruvius afirma explicitamente sobre o papel do desenho nos projetos da antiguidade (KOSTOF apud ROBBINS, p.10.).

Segundo Vitruvius(2007) no tratado de arquitetura a planta baixa, a fachada e o que ele chamava de perspectiva serviam como forma de interação entre arquiteto e patronos. Qualquer que tenha sido o papel do desenho na arquitetura antiga, ele não funcionava como instrumento dominante no processo de projetar, nem mesmo livrando o arquiteto da sua responsabilidade como artesão. A geometria era mais importante para o projeto do que o desenho. Provavelmente o papel do desenho não mudou muito depois da queda de Roma (VITRÚVIUS, 2007, p.62-65).

Antes da existência da profissão arquiteto, existia a figura do mestre construtor, que idealizava e construía a edificação, não podendo por esse motivo se ausentar do sítio. Quando o mestre construtor primeiro necessitou se retirar do sítio e por isto deixou instruções através de desenhos para a execução do projeto aconteceram equívocos na compreensão das mesmas. Exemplifica-se o caso de Brunelleschi citado por Robbins (1997), que necessitou se ausentar em parte da obra Ospedale (Figura 5) em Florença deixou desenhos, anotações detalhadas e explicações orais de como os trabalhadores deviam executá-las, mas assim que retornou verificou que suas instruções haviam sido ignoradas, resultando numa edificação de menor qualidade (ROBBINS, 1997, p. 17).



Figura 5 – Ospedale Degli Innocenti de Fillippo Brunelleschi em Florença na Itália.  
Fonte: Roma-antica, 2012.

Segundo Lon Shelby (1997) desenhar constitui uma parte significativa da habilidade dos construtores medievais, mas não era crucial para a definição do seu trabalho. Isso por que o construtor medieval combinava em si mesmo o papel de arquiteto, supervisor, empreiteiro e artesão. No entanto o construtor medieval foi aperfeiçoando sua habilidade em desenho de arquitetura. Ele ainda não a havia aperfeiçoado o suficiente para que o desenho por si só orientasse completamente os profissionais da construção de um projeto. Isto ocorria devido ao fato de que as plantas baixas informavam apenas as dimensões e as perspectivas de algumas poucas vistas da edificação cujo entendimento completo requer inúmeras delas (ROBBINS, 1997, p. 12).

Zevi (1996) sugere que cada passo do projeto Gótico era conscientemente e rigorosamente planejado, e que seus desenhos tinham um grande papel no seu planejamento. Fachadas impressionantes eram desenhadas para os patronos e para persuadir as autoridades para construir os projetos. Os desenhos eram utilizados para angariar fundos para um projeto e para facilitar a escolha de diferentes tipos dos mesmos durante sua construção. Se Bucher estiver certo foi no período Gótico que o desenho começou a ganhar uma importância parecida com a que tem hoje em projetos de arquitetura. Contudo os projetos em si estavam

limitados pela geometria predominante no período Gótico como pode ser observado na catedral de Chartres em ilustração a seguir (ROBBINS, 1997, p. 12).

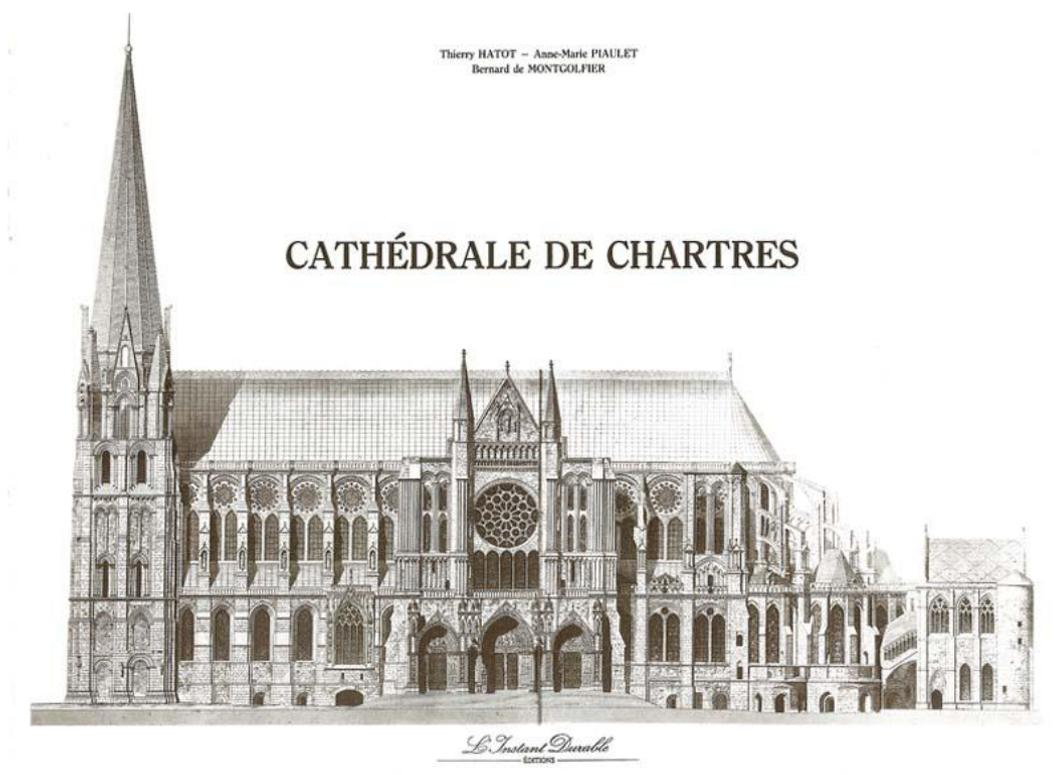


Figura 6 - Catedral Gótica de Chartres na França.  
Fonte: Alephnaught, 2012.

No século XIV começou a se formar o processo de definição do papel do arquiteto e do desenho em arquitetura iniciado no século XIII. A fachada Sansedoni sugere uma mudança na forma do arquiteto de trabalhar concomitantemente com mudanças no uso do desenho. Essa fachada apresenta muita das características da forma de desenho usado até os dias de hoje. É ortogonal, em escala, dimensionada e acompanhada de anotações para facilitar sua execução. Porém, uma avaliação mais minuciosa do desenho nos mostra diferenças substanciais entre a fachada Sansedoni (Figura 7) e os desenhos atuais. Nota-se que o desenho não era tão detalhado a ponto de servir como guia construtivo capaz de orientar a construção do projeto. Juntamente com esses desenhos existiam informações, como se fosse um manual de instruções para a construção e um guia mais detalhado dos desejos do patrono na parte escrita do contrato. Contudo, nem sempre se realizava uma perfeita comunicação entre

desenho, construtor, patrono e projetista, o que ocasionou diferenças entre desenhos e construções (ROBBINS, 1997, p. 15).

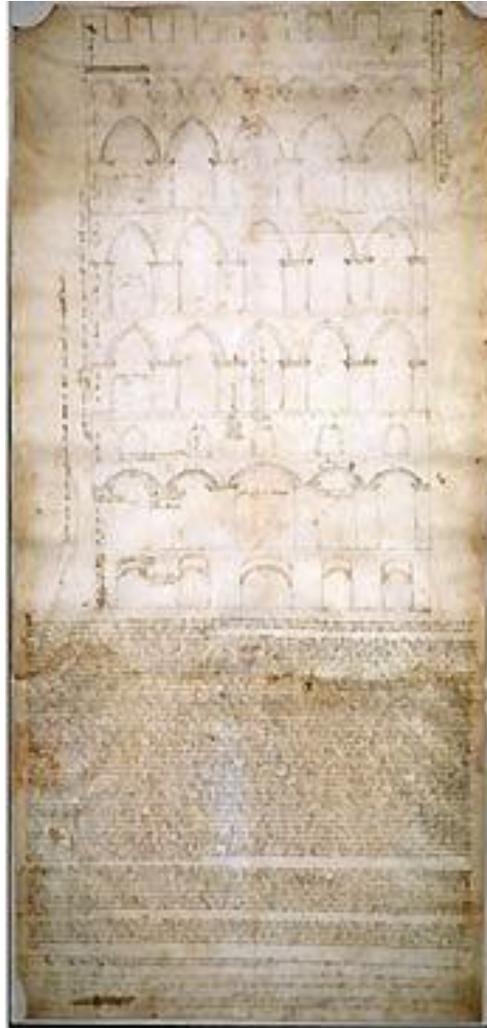


Figura 7-Elevação Sansedoni.  
Fonte: Mps, 2011.

Devido ao aumento do uso de desenhos para representar projetos e ideias de construção, o mestre construtor passou a poder comandar e acompanhar mais de um projeto de uma vez. O mestre construtor passou a ser conhecido como arquiteto, e a apresentar suas ideias e desenhos detalhados através de plantas baixas, cortes e fachadas para estabelecer como proceder à execução de uma edificação, sua figura com o tempo passou a ter a função basicamente apenas de projetista.

Na medida em que o arquiteto foi se distanciando do canteiro de obras e se refugiando atrás de uma prancheta de desenho foi perdendo gradativamente conhecimentos

que o antigo mestre construtor possuía para a execução de projetos tais como: métodos construtivos, análise de materiais, gerenciamento de obras, etc. Dessa forma criou espaço para o desenvolvimento da profissão de engenheiros que passaram a se apropriar dessa gama de conhecimentos.

Toker em Robbins (1997) afirma que o desenho representava somente uma ideia, ou um princípio de projeto e que as decisões sobre a construção, como ainda viriam a acontecer durante muitos anos, eram delegadas ao mestre construtor que trabalhava no sítio do projeto. Essas mudanças aparentes no desenho da fachada Sansedoni revelam a mudança que ocorreria em alguns anos em diante na relação entre o arquiteto como projetista e o construtor. Essas mudanças no desenho e a parte escrita do contrato que detalha sua construção permitiram que o arquiteto projetista não fosse mais necessário no canteiro de obra, resultando em que o mesmo pudesse se envolver em mais de um projeto ao mesmo tempo (TOKER apud ROBBINS, 1997, p.13).

Isso foi possível graças à utilização de desenhos em escala juntamente com modelos matemáticos de projeto. Dessa forma gerou um projetista chamado conceitual que não necessita ficar no sítio na construção do projeto. O desenho veio a ser o instrumento crítico que permitiu que o arquiteto passasse a ser predominantemente projetista e pensador.

A separação entre concepção e realização, bem como entre os elementos chaves (estruturas, acabamentos, detalhes, inter-relação entre elementos, etc.) de projeto e construção só foi possível através da criação de desenhos mais precisos. Essa transformação do arquiteto não se deu de forma rápida, pois segundo Albertino começo do século XV o arquiteto tinha que projetar enquanto o construtor construía (ROBBINS, 1997, p.13-14). O desenho apenas guiava essa parceria.

No processo de obter o status de cavaleiro os arquitetos precisavam resolver alguns problemas, entre eles: desenvolver um instrumento que comunicasse claramente o que eles queriam que fosse construído sem que eles precisassem estar presentes na construção. Eles necessitavam de um instrumento que testasse suas ideias sem que eles tivessem que fazê-lo *in loco*. Era imperativo que os arquitetos usassem um instrumento que fosse definido como intelectual semelhante à matemática e à escrita.

Apenas com o advento do século XVI o desenho recebeu esses melhoramentos, mas não atingiu o completo potencial para projeto e construção, porque estava ainda limitado,

sujeito a interpretações dos executores, a existência de erros, colisões ou inconsistências. A explicação para essas falhas é que nem todos os elementos arquitetônicos estão representados no mesmo ambiente, e principalmente porque as plantas baixas, cortes e fachadas informam apenas as dimensões e parte das formas dos elementos da edificação. Na Renascença o desenho permitiu aos arquitetos a capacidade de experimentar e se expressar de forma melhor que na Idade Média. O advento dos desenhos em perspectivas, como os estudos feitos por Paolo Uccello (Figura 8), e os grandes trabalhos com luz e sombra permitiram melhor entendimento para representar as ideias de projeto. Desta forma, possibilitaram que o desenho se tornasse uma forma de memória da arquitetura. Muitos pensadores dessa época atestam o crescimento da importância gerada pelos desenhos e os textos dessa época apontam para a transformação social e cultural no mundo da arquitetura.

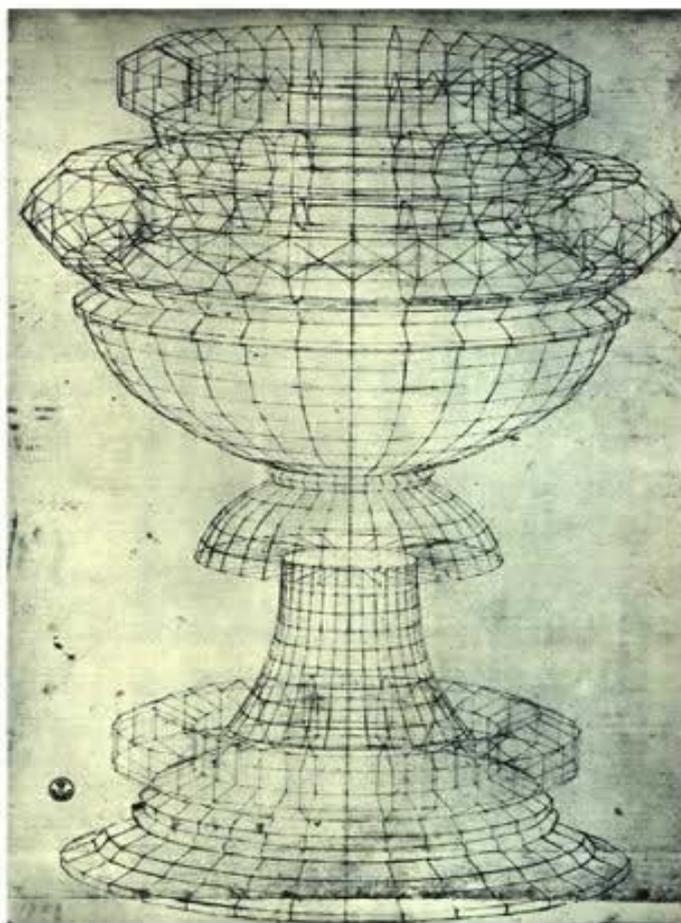


Figura 8 - Estudo de perspectiva de um cálice feito por Paolo Uccello.  
Fonte: Abstract-art, 2012.

No entanto, Zevi (1996) entendeu que nos desenhos bidimensionais os elementos arquitetônicos estão sujeitos a interpretação do espaço arquitetônico e por isto são limitados, pois afirmou que:

“Na verdade, a planta de um edifício nada mais é que uma projeção abstrata no plano horizontal de todas as suas paredes, uma realidade que ninguém vê a não ser no papel, cuja única justificativa depende da necessidade de medir as distâncias entre os vários elementos da construção, para os operários que devem executar materialmente o trabalho...” (ZEVI, 1996, p. 18).

As plantas de uma edificação são seções da mesma que fisicamente é impossível de se ver. Trata-se de uma representação no papel com a intenção de representar os elementos da edificação com o único propósito de identificar distâncias e posicionamentos entre eles para as pessoas responsáveis pela sua execução. Assim sendo, torna-se pouco detalhada para representar todas as características da edificação como um todo.

A invenção da perspectiva, dos cortes analíticos e fachadas haviam sido uma grande contribuição para o método de projeto, na época. No entanto, ainda têm sido limitadas, conforme a crítica apresentada acima sobre a forma como o projeto era entendido e os meios pelos quais era concebido.

Nota-se que Zevi (1996) alertava para as limitações do desenho bidimensional, sujeito a interpretações diversas e para o fato de que a perspectiva apenas sugere a terceira dimensão:

“a mente humana descobriu que, além das três dimensões da perspectiva, existia uma quarta... O pintor parisiense de 1912 fez o seguinte raciocínio: eu vejo e represento um objeto, por exemplo... uma mesa; vejo-o de um ponto de vista e faço o seu retrato nas suas três dimensões a partir desse ponto de vista. Mas se... caminhar ao redor da mesa, a cada passo mudo o meu ponto de vista, e para representar o objeto desse ponto devo fazer uma nova perspectiva. Consequentemente, a realidade do objeto não se esgota nas três dimensões da perspectiva; para possuí-la integralmente eu deveria fazer um número infinito de perspectivas dos infinitos pontos de vista. Existe, pois, outro elemento além das três dimensões tradicionais, e é precisamente o deslocamento sucessivo do ângulo visual. Assim designou-se o tempo, ‘quarta dimensão’ (ZEVI, 1996, p. 20-22).

Segundo a citação acima, Zevi chamou-nos atenção para a necessidade de usar a quarta dimensão, ou seja, o tempo, para representar um objeto inteiramente. Os objetos que por natureza são tridimensionais são muito difíceis de serem representados integralmente através de uma perspectiva, pois para fazê-lo seria preciso desenhar um número infinito de pontos de vistas.

As técnicas geométricas de desenho oferecem múltiplos recursos em duas e três dimensões capazes de representar um projeto, mas ainda de forma limitada, pois não permitem representar os objetos em sua inteireza. O arquiteto tem a capacidade de conceituar objetos novos e experimentais, ou até mesmo possibilidades ilusórias com o uso do papel. Mesmo com as suas limitações o desenho continua a desempenhar o papel de meio de comunicação entre cliente e profissionais de arquitetura e construção, na produção social e materialização de um projeto.

Desenhos de arquitetura do século XX são geralmente coesos, projetados e geometrizados para descrever em duas dimensões um objeto de três dimensões. Os diferentes pontos de vistas oferecem aos arquitetos diferentes formas para analisar e representar um projeto. Vistas ortográficas são uma forma comum de representação de desenho no século XX. Os desenhos como plantas baixas, cortes, etc, apresentam informações diferentes do projeto, permitindo que o arquiteto possa manipular diferentes aspectos do mesmo. Esses desenhos podem ser feitos em diferentes escalas, utilizando sombras, texturas e tonalidades de acordo com o uso da cor e da linha, e podendo ser extremamente detalhados (ZEVI, 1996, p. 19-20).

As técnicas de perspectivas foram desenvolvidas no Renascimento por Leon Baptista Alberti (1404-1472) através do tratado de 1435, publicado em 1511, intitulado “Della Pictura”. Nas perspectivas as projeções são cônicas onde as linhas de um objeto convergem para um ou mais pontos. As imagens são criadas através de um plano transparente que intersecta as projeções. Os desenhos axonométricos combinam fachadas, plantas e cortes entre si em um único desenho, e foram importantes para arquitetos do século XX (ROBBINS, 1997, p.13-14; SANTOS, 2007, p. 2-3). A vantagem desse tipo de projeto é que se poderia representar e utilizar um desenho em três dimensões com escala.

Representações menos pessoais e mais convencionais em desenho são o produto final do processo de projeto e deve representar mais fielmente quanto possível como o mesmo deve ser executado, um exemplo de um desenho de representação é uma planta baixa (Figura 9). Geralmente estes desenhos contêm um texto que informa ao construtor as dimensões, estrutura e outros detalhes específicos necessários para completar a construção da edificação.

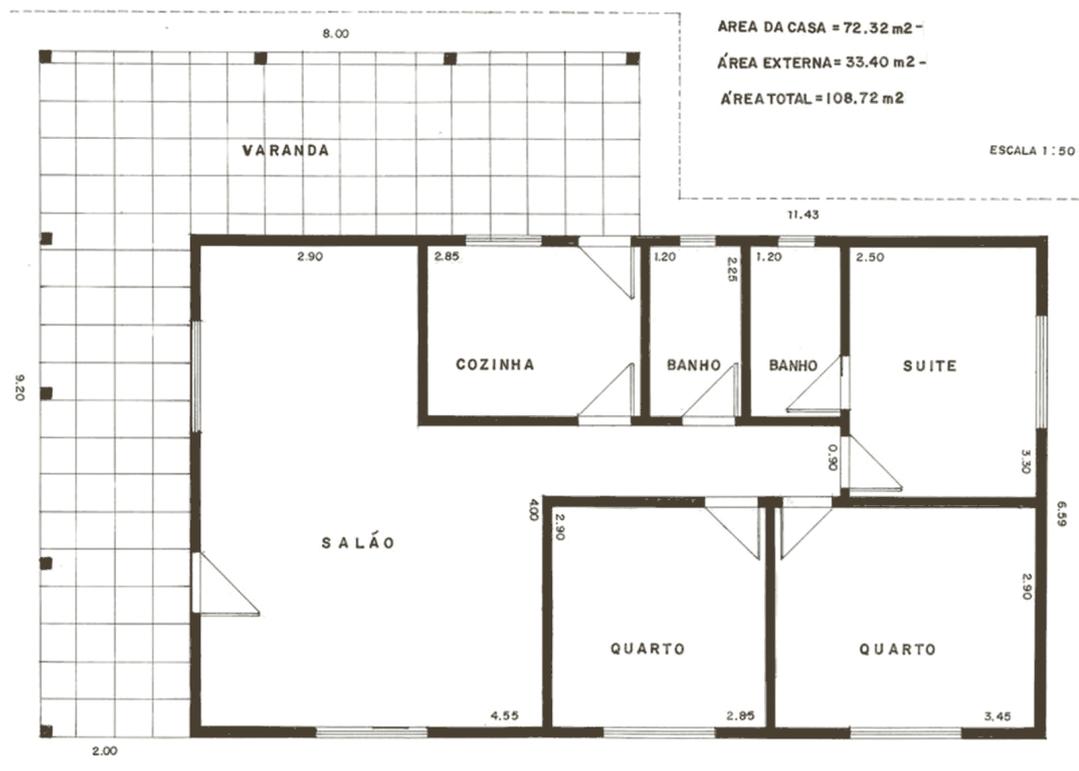


Figura 9 - Planta baixa residencial.  
 Fonte: Blog.mcx , 2012.

É necessário ter familiaridade com todos os tipos de representação em arquitetura e suas variadas técnicas de apresentação disponíveis para conseguir expressar da melhor forma possível para o cliente ou construtor o que se pretende construir. A forma pela qual elas são usadas apresenta questões sobre a influência do desenho na organização social do projeto.

Contudo, o desenho por si só, não é capaz de revelar e explorar todas as potencialidades de um projeto de arquitetura. Segundo Bruno Zevi (1996), a arquitetura tem elementos que a distinguem das outras atividades artísticas. Segundo ele:

“O que a distingue das outras atividades artísticas está no fato de agir com um vocabulário tridimensional que inclui o homem. A pintura atua sobre duas dimensões, a despeito de poder sugerir três ou quatro delas. A escultura atua sobre três dimensões, mas o homem fica de fora, desligado, olhando do exterior as três dimensões. Por sua vez, a arquitetura é como uma grande escultura escavada, em cujo interior o homem penetra e caminha” (ZEVI, 1996, p. 20-22).

Em seu livro Saber Ver a Arquitetura, Zevi (1996) argumenta sobre o fato de que as técnicas de desenho e representação bidimensional em arquitetura podem gerar conflitos de entendimentos com relação às informações nele contidas. Segundo este autor:

“Na verdade, a planta de um edifício nada mais é do que uma projeção abstrata no plano horizontal de todas as suas paredes, uma realidade que ninguém vê a não ser no papel, cuja única justificativa depende da necessidade de medir as distâncias entre os vários elementos da construção, para os operários que devem executar materialmente o trabalho. As fachadas e as seções longitudinais, interiores e exteriores, servem para medir as alturas. Mas a arquitetura não provém de um conjunto de larguras, comprimentos e alturas dos elementos construtivos que encerram o espaço, mas precisamente do vazio, do espaço encerrado, do espaço interior em que os homens andam e vivem. Em outras palavras, utilizamos como representação da arquitetura a transferência prática que o arquiteto faz das medidas que a definem para uso do construtor. Para o que diz respeito ao objetivo de saber ver arquitetura, isso equivale, mais ou menos, a um método que, para ilustrar uma pintura, desse as dimensões da moldura ou calculasse as distâncias das diversas cores, reproduzindo-as separadamente” (ZEVI, 1997, p.20).

Zevi reitera as limitações dos desenhos ortográficos para projetos (plantas, cortes e fachadas), pois os mesmos podem ser interpretados de forma ambígua. Frequentemente resultam em erros identificados apenas após a construção, principalmente em projetos com maiores complexidades de formas e geometria. As representações bidimensionais em arquitetura podem ser comparadas com a poesia, devendo-se ressaltar que essas representações estão sujeitas a diferentes interpretações.

“É óbvio que uma poesia é algo mais do que um grupo de belos versos; quando a apreciamos, estudamos o seu contexto, o conjunto, e, ainda que depois se proceda a análise dos versos isoladamente, essa análise é feita em função e em nome desse conjunto... uma planta pode ser abstratamente bela no papel; quatro fachadas podem parecer bem estudadas pelo equilíbrio dos cheios e dos vazios, dos relevos e das reentrâncias; o volume total do conjunto pode ser proporcionado e, no entanto, o edifício pode resultar arquiteturalmente pobre. O espaço interior, o espaço que, não pode ser conhecido e vivido a não ser por experiência direta, é o protagonista do fato arquitetônico... saber vê-lo constitui a chave que nos dará a compreensão dos edifícios”(ZEVI, 1997, p.7-14).

O elemento principal da arquitetura é o homem. Ele é que a vai usufruir e é para ele que ela é feita. Então a percepção do homem caminhando por um projeto do edifício e suas sensações é que vai determinar se não se trata de uma arquitetura pobre. Como poderíamos fazer o homem caminhar em um projeto antes de sua execução? Isso seria possível? Fisicamente possível não seria, mas a melhor forma que o homem criou até agora seriam as animações de percurso geradas por softwares CAD e os percursos interativos em ambientes virtuais. Representações seriam simulações do homem andando ou visualizando um projeto antes de sua execução.

O grande mestre do modernismo Le Corbusier também discorre sobre a natureza tridimensional da arquitetura. “A arquitetura é o jogo primoroso, correto e magnífico de massas reunidas na luz”. Através dessa frase ele enumera elementos da arquitetura impossíveis de se definir e estudar em um ambiente bidimensional (CHING, 2006, p.8).

Segundo Forrest Wilson uma construção afeta todos os sentidos do corpo humano, enquanto a escultura e a pintura apelam apenas para os olhos e a música para a audição. Sendo assim a arquitetura é muito mais difícil e complexo de se entender e apreciar (CHING, 2006, p.8).

Tornou-se claro para nós que arquitetura é geralmente tida como um sistema altamente especializado munido de um conjunto de objetivos técnicos predeterminados, e não uma arte social e sensual sensível aos desejos e sentimentos humanos. Tal limitação (possibilidade de interpretação ambígua em desenhos ortogonais) se manifesta de modo mais alarmante no fato de basear-se em diagramas bidimensionais que enfatizam mais os aspectos quantificáveis da organização do edifício do que as qualidades policromáticas e tridimensionais da experiência arquitetônica como um todo (CHING apud BLOOMER e MOORE, 1997, p.8).

A arquitetura é produzida por pessoas comuns, para pessoas comuns; por conseguinte, ela deve ser facilmente compreendida por todos (RASMUSSEN, 2000, p.9-36). A melhor maneira existente de simular o espaço interior é através do uso de softwares tridimensionais que permitem a modelagem de sólidos e fazer passeios virtuais pelo projeto, permitindo melhor entendimento do mesmo pelo leigo bem como por qualquer profissional da construção.

Assim as formas complexas e difíceis de serem representadas podem ser fidedignamente modeladas e fabricadas utilizando recursos computacionais, permitindo que atualmente erros de interpretação sejam muito raros de acontecer. Neste panorama é que grandes arquitetos contemporâneos como Frank Gehry, Zaha Hadid, Norman Foster, etc, tem condições de projetar e construir sua arquitetura com formas livres com toda precisão de detalhes e sem erros de interpretação de ideias.

Frank Gehry utiliza maquetes físicas complexas que posteriormente são transmitidas para o computador através de um scanner tridimensional. Utilizando esse modelo tridimensional gerado pelo computador, Gehry envia seus dados para o fabricante de peças

para executá-las de forma exata, sem perder informações. Como no Projeto do Complexo da Cidade do Vinho na Espanha ilustrado a seguir.



Figura 10 - Complexo da Cidade do Vinho de Frank Gehry em El Ciego na Espanha.  
Fonte: Designboom, 2011.

Zaha Hadid e Norman Foster também fazem uso dos meios de fabricação digital para executar peças e realizar a execução de suas obras de forma fidedigna aos projetos como podemos ver a seguir:



Figura 11- Guangzhou Opera House na China – Projeto de Zaha Hadid.  
Fonte: Yashassegawa.blogspot, 2011.



Figura 12- Swiss Re Tower - Projeto de Norman Foster.  
Fonte: Arq.ufsc,2007.

Com esses exemplos percebemos que se pode explorar o máximo de formas complexas em projetos de arquitetura através do uso do computador. Mesmo que cada profissional tenha seus métodos de projeção, o uso do computador permite que todas as formas possam ser projetadas, testadas e executadas de forma fiel ao projeto idealizado.

## 1.2 As Maquetes físicas como representação arquitetônica

Além do desenho, a maquete física tem sido uma forma de representação das mais antigas. O desenho representa o espaço arquitetônico através de elementos gráficos das linhas e dos planos em nível mais “abstrato”, pois representam elementos tridimensionais em uma mídia bidimensional (papel), frequentemente de pouca clareza. Por outro lado a maquete é caracterizada como uma concretização imediata de uma concepção espacial por meio de elementos tridimensionais (corpos, superfícies e hastes) numa realidade concreta (KNOLL e HECHINGER, 2003, p.8).

A primeira documentação que se tem informação sobre o uso de maquetes refere-se ao século V a.C., quando Heródoto de Halicarnas fez referência ao modelo em miniatura de um templo em seu livro chamado Histórias (DUNN, 2010, p. 14-20). Pesquisadores possuem opiniões divergentes quanto ao uso de modelos pelos egípcios, gregos e romanos. Contudo, existe um entendimento comum de que as maquetes de arquitetura eram feitas, antes de tudo, como símbolos. Exemplo disto pode ser observado nos modelos de terracota em miniatura encontrados no Egito, denominados “casas de alma”, utilizados como bandejas para oferendas, conforme mostra a Figura 13 (ROZESTRATEN, 2011).



Figura 13- Casa de alma encontrada em escavações no Egito.  
Fonte: Globalegyptianmuseum, 2012.

Segundo Rozestraten (2011) existem apenas três modelos egípcios que se aproximam do uso de maquetes em arquitetura em alguma fase de projeto ou construção. Dentre estes estaria o modelo do Rei Sety I (Figura 14 e 15), que representa um templo em Heliópolis feito em quartzito (ROZESTRATEN, 2011).



Figura 14 e 15-Modelo do Rei Sety e sua reconstituição.  
Fonte: Vitruvius, 2010.

Na Idade Média, com o advento das catedrais, os mestres de obras e os pedreiros se deslocavam pelo interior, levando maquetes que ilustravam suas especializações, como, por exemplo, a construção de arcos (Figura 16). Até o século XIV, o uso de maquetes não era determinante para o desenvolvimento do projeto.



Figura 16 - Maquete com muitos arcos de um estudo sobre catedrais.  
Fonte: Antoniasantamaria.blogspot, 2010.

As maquetes físicas foram um recurso muito utilizado para auxiliar na construção de detalhes e para arrecadar recursos para construir durante o Renascimento, desde o início do século XV até o princípio do século XVII em diferentes regiões da Europa. Frequentemente eram utilizadas como uma forma de representação suficiente para demonstrar com clareza uma ideia arquitetônica de um projetista para um cliente (FARRELLY, 2008, p.118-119). Um exemplo relevante desse período seria o desenho (Figura 17), a maquete (Figura 18) e projeto da cúpula da catedral de Florença (Figura19) de Brunelleschi.

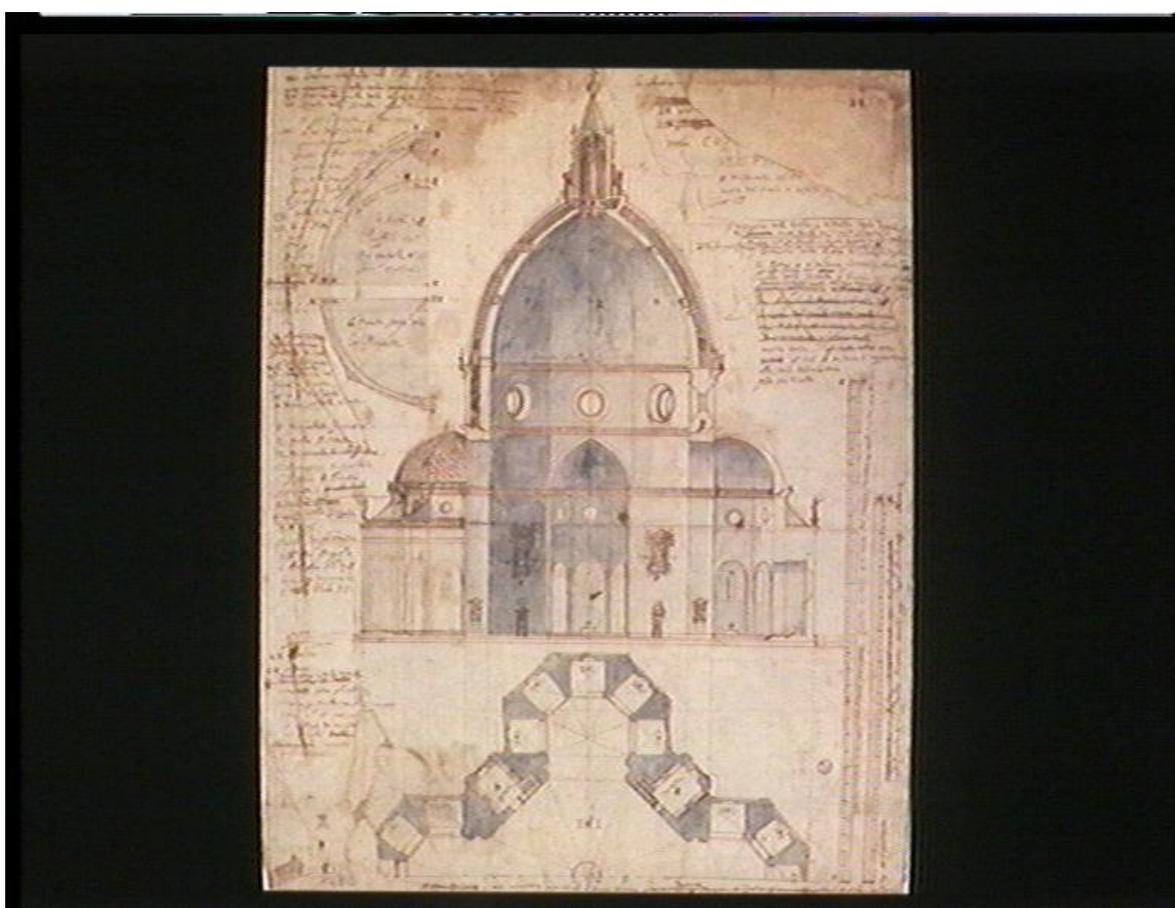


Figura 17- Representação em desenho da Catedral de Florença.  
Fonte: Rubens, 2012.



Figura 18- Maquete em madeira da Catedral de Florença.  
Fonte: Arch.mcgill,2001.



Figura 19 – Catedral de Florença.  
Fonte: Arch.mcgill, 2001.

Outro projetista que utilizou vários recursos para demonstrar suas ideias de um projeto na Renascença foi Michelangelo Buonarroti, que concebeu a cúpula da Basílica de São Pedro em Roma (Figura 20). Naquele processo ele se utilizou de desenhos (Figura 21) e maquete (Figura 22). Naquele contexto as maquetes também eram utilizadas para obter patrocinadores para construir a edificação proposta.



Figura 20 - Cúpula da Basílica de São Pedro em Roma.  
Fonte: Bastost, 2010.

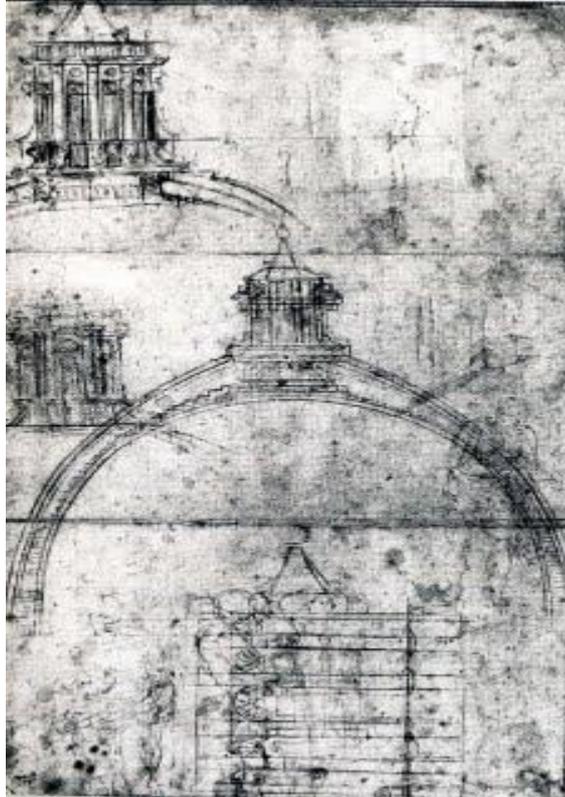


Figura 21- Desenho de cúpula da Basílica de São Pedro.  
Fonte: Counterlightsrantsandblather, 2009.

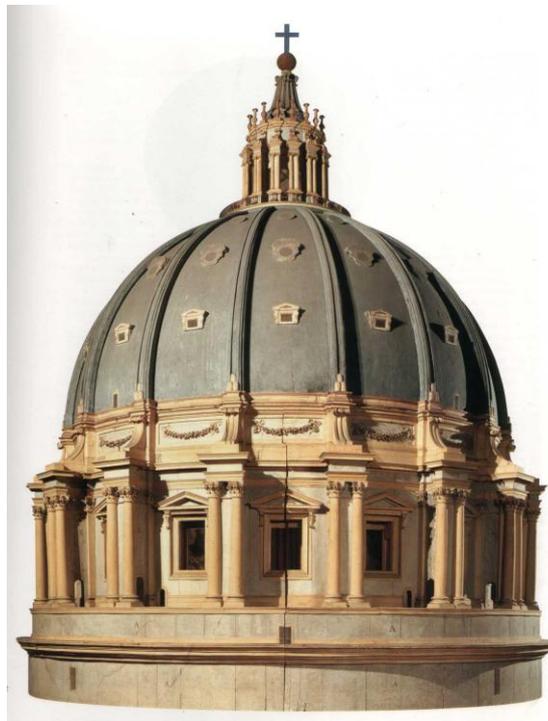


Figura 22- Maquete em madeira da Cúpula da Basílica de São Pedro.  
Fonte: Saintpeterbasilica, 2012.

Antes do século XVIII, as maquetes de arquitetura foram construídas fundamentalmente como métodos descritivos ou de avaliação, ou ainda, como modelos pré-fabricados em tamanho natural que serviam para o estudo estrutural. No entanto, em meados desse mesmo século, as maquetes passaram a ter um valor educativo, quando passaram a ser utilizadas pelas escolas técnicas. Existe uma lacuna durante o final do século XIX e princípio do século XX, onde o desenho se tornou o principal elemento de expressão de ideias e meios de construção. Isso aconteceu à medida em que a educação em arquitetura passou a ser lecionada por escolas de belas artes. Assim as maquetes passaram a ser substituídas por desenhos técnicos (elevações e plantas-baixas). Entretanto, alguns arquitetos, como Gaudí, utilizaram a maquete como um elemento importante de seu processo de criação, incluindo seu uso em estudos de estruturas, conforme Figura 23 (FARRELLY, 2008, p.118-119).



Figura 23- Maquete de estudo de forças de Gaudí.  
Fonte: Farm4, 2011.

Em meados do século XX os projetistas profissionais perceberam a utilidade e vantagens do uso do modelo físico como meio de comunicar e dar formas a suas ideias. A maquete também foi utilizada para representar ideias onde os desenhos técnicos poderiam resultar em interpretações variadas em consequência das formas muito complexas idealizadas

pelos projetistas. Um caso muito conhecido de maquetes utilizadas para expressar as ideias do projetista e praticamente servindo como único elemento norteador da construção da edificação seria a Sagrada Família de Antoni Gaudí em Barcelona, (FARRELLY, 2008, p.118-119) conforme ilustra a figura 24.



Figura 24- Canteiro de obras da Sagrada Família de Gaudí.  
Fonte: Maisarquitetura, 2010.

Durante a década de 1950, o Modernismo produziu projetos extremamente minimalistas baseado em formas simples (cubos, cilindros etc.). Se, por um lado, as maquetes serviam como visualizador para entender as escalas e as massas, por outro, o papel das maquetes começou a ter menos importância como na maquete da Villa Savoye de Le Corbusier (Figura 25), pois tinha como função apenas representar o projeto finalizado. (BRAIDA, 2011)



Figura 25- Le Corbusier e maquete da Villa Savoye.  
Fonte: Art-antiquites, 2011.

A exploração espacial passou a seguir outros preceitos e as maquetes ganharam novamente destaque, com o declínio do Modernismo, por volta da década de 1970, pois era necessário conseguir meios de representar ideias com formas mais complexas de forma que não pudessem ocorrer erros de interpretações de desenhos (DUNN, 2010. p.14-20).

A maquete tem pelo menos 2.500 anos de existência e de importância no processo de comunicação e compreensão da arquitetura. Mas no início dos anos de 1990, o papel das maquetes foi desafiado pelo surgimento das novas tecnologias de informação e de comunicação. Imaginou-se que maquetes eletrônicas substituiriam todas as representações sensoriais (BRAIDA, 2011).

Dentro da arquitetura, de acordo com Knoll e Hechinger (2003) as maquetes atualmente têm exatamente três tipos de usos (maquete de elaboração, de trabalho e de execução). Esse três tipos de usos de maquete tem como relação de correspondência a os assim denominados “estágios” do processo de projeto o esboço de idealização, projeto de construção e planejamento de execução respectivamente. Quanto aos tipos de objetos de maquete e suas características Knoll e Hechinger as definem da seguinte forma:

“MAQUETES TOPOGRÁFICAS: Sua tarefa é representar um determinado terreno, a ilustração de uma paisagem natural ou criada. Cabem às maquetes topográficas a reprodução de zonas de trânsito, áreas verdes e superfícies aquáticas, bem como de outras superfícies como pisos, pavimentos, cercas e elementos ilustrativos da escala, como equipamentos urbanos, carros, pessoas. Tais maquetes são produzidas em todas as escalas. São subdivididas em maquete de terreno, maquete de paisagem e maquete de jardim.

MAQUETES DE EDIFICAÇÕES: Esse tipo de maquete descreve primeiramente qualidades espaciais, plásticas e da construção das edificações. Pressupõe-se que seja integrada com uma maquete de terreno preparada de antemão. São subdivididas em maquetes urbanísticas, maquete de edifícios, maquete de estruturas, maquete de interiores e maquetes de detalhes.

MAQUETES ESPECÍFICAS: São caracterizadas pelo grupo de maquetes que abrange produtos, como objetos, móveis e *design*. A escala vai comumente de 1:10 até 1:1” (KNOLL e HECHINGER, 2003, p.12-26).

Cabe ressaltar que todos os tipos de maquetes (topográficas, de edificações e específicas) podem ser produzidos nos três tipos de usos. Como podemos exemplificar com uma maquete topográfica de elaboração executada em madeira (Figura 26).



Figura 26- Maquete topográfica.  
Fonte: Brandão, 2011.

Uma das maquetes mais fáceis de encontrar no mercado são aquelas que servem para vender edificações em stands de construtoras. Normalmente essas são maquetes de

prédios ou condomínios. Podemos ver um exemplo desse tipo de maquete a seguir (Figura 27). Trata-se de uma maquete de edificação e o seu uso é a execução.



Figura 27 - Maquete de edificação  
Fonte: Scmaquete, 2010.

Entre as maquetes mais difíceis de encontrar pelo fato de normalmente somente profissionais as utilizem são as maquetes específicas. Quando essas maquetes forem utilizadas para algum teste também são conhecidas como protótipos. Um exemplo de maquete específica em nível de protótipo é a de uma cadeira, demonstrada na Figura 28 a seguir (KNOLL e HECHINGER, 2003, p. 25-26).

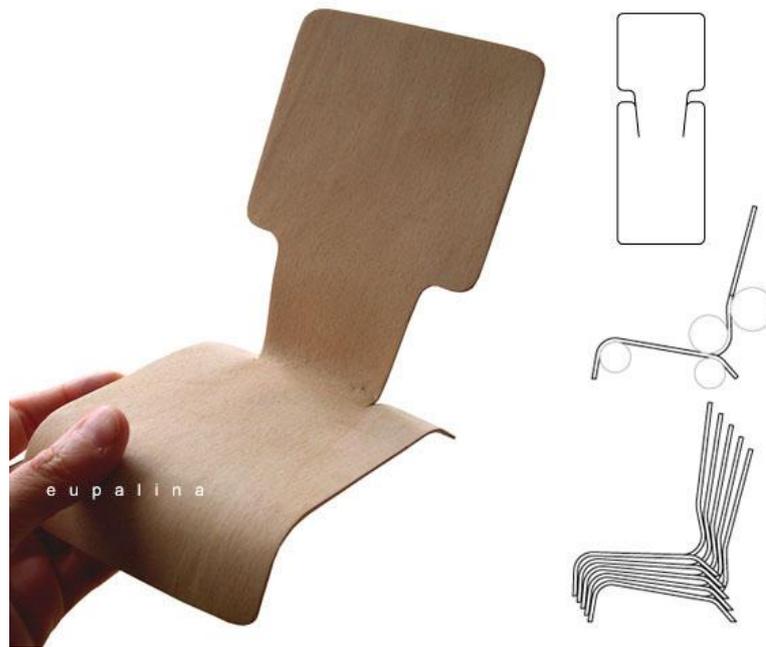


Figura 28 - Maquete de cadeira em nível de protótipo.  
Fonte: Eupalina, 2010.

Um caso interessante do uso da maquete atualmente é na retomada da construção da igreja da Sagrada Família de Gaudí no final dos anos noventa e início da década passada. Mark Burry participou dessa retomada e descreveu sua experiência no processo. O projeto original de Gaudí tinha como elementos chave para construção as maquetes, porém com a Guerra Civil Espanhola muitos de seus desenhos e maquetes foram destruídos. As peças que não foram destruídas estavam quebradas ou faltando partes. Estas últimas foram restauradas, digitalizadas e posteriormente através de um sistema de regras geradoras parametrizadas foi inferido nos modelos digitalizados (BURRY, 2003, p. 148-162).

Este sistema foi utilizado para gerar partes das maquetes que estavam faltando com o intuito de gerar projetos para essas partes as quais foram construídas através de fabricação digital utilizando ainda como referencia fotos das maquetes publicadas antes de sua destruição (Figura 29). Esse sistema foi idealizado para não interferir nos padrões de projeto estabelecidos pelo próprio Gaudí com a intenção de conseguir continuar com a construção da igreja o mais próximo com o que deveria ser a maquete original. Sem o uso da computação para digitalizar as maquetes originais e sistemas paramétricos para aferir parâmetros associativos de elementos presentes na própria arquitetura de Gaudí todo esse processo seria impossível (BURRY, 2003, p. 148-162).



Figura 29 – Elemento paramétrico e sua construção da Sagrada Família de Gaudí.  
Fonte: Rhino3d, 2009.

### 1.3 Criação e evolução dos sistemas CAD como representação arquitetônica

O desenvolvimento de pesquisas em computação, no início da década de 1960, resultou na criação do primeiro sistema computacional voltado para a representação gráfica, o Sketchpad de Ivan Sutherland no Massachusetts Institute of Technology (SUTHERLAND, 1963). Esse sistema possibilitou a criação e manipulação de desenhos bidimensionais em terminais monocromáticos (ROONEY; STEADMAN, 1987, p. 1). O Sketchpad era um sistema que funcionava com vetores e antecipava uma forma de parametrização ainda que rudimentar, pois estabelecia relação de proporções entre dimensões dos elementos nele desenhados a partir de parâmetros definidos pelo usuário na formação dos elementos (MARK, 2008, p. 170-171).

O sistema criado por Sutherland tinha características dos sistemas atuais de desenho bidimensionais por computador, como por exemplo, a sua interface interativa permitia ao usuário se comunicar instantaneamente com o computador através de uma caneta-luz (Figura 30), enquanto que os outros programas daquela época eram processados em bloco, enviados do terminal até o computador central e obtendo o resultado depois de varias horas, às vezes dias (PIPES, 2010, p.35).

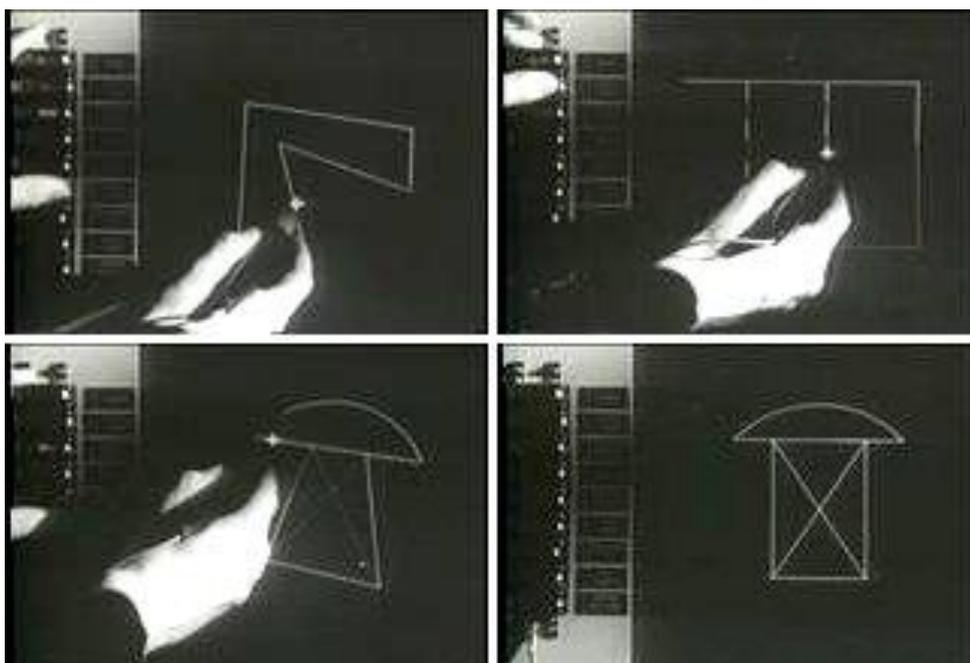


Figura 30 -Imagem do Sketchpad de Ivan Sutherland, 1963.  
Fonte: Snebtor, 2011.

A vantagem principal do seu uso foi à substituição do desenho manual feito com régua e nanquim pelo desenho direto no computador, permitindo impressões rápidas e gerando um maior fluxo de trabalho. Essa tecnologia ficou conhecida como CAD (*Computer Aided Design*), cuja nomenclatura significa projeto auxiliado por computador.

O primeiro avanço que o uso do computador trouxe para o processo de projeção aconteceu na década de 1960, com o desenvolvimento de softwares que permitiam manipular desenhos em ambientes bidimensionais, para substituir a produção manual de documentos de projeto, isto é as projeções ortográficas, reduzindo o tempo gasto na produção das pranchas, facilitando alterações, correções e permitindo impressão rápida. (SCHODEK et al, 2005, p. 5).

Os sistemas computacionais evoluíram, pois no início da década de 1970, mais precisamente em 1973 foi produzida a primeira geração de formas tridimensionais de fácil

modelagem e edição feita por três grupos diferentes, Ian Braid na Universidade de Cambridge, Bruce Baumgart na Universidade de Stanford, e Ari Requicha e Herb Voelcker na Universidade de Rochester. Esses grupos utilizaram dois diferentes métodos, um chamado de B-rep, ou seja, Boundary Representation que definiam formas utilizando operações booleanas (união, subtração e interseção), múltiplas formas poliédricas e operações de refinamento (chanfro, corte e movimentação de furos em uma única forma). (EASTMAN et al, 2008, p. 26).

O outro método chamado de *Constructive Solid Geometry* - CSG, que representavam uma ramificação de operações para chegar a forma desejada. Mais tarde estes dois métodos foram unificados permitindo a edição dentro da estrutura de ramificação CSG e também a mudança da forma através do uso de operações de B-rep. Com o B-rep objetos eram formados através de operações booleanas e com o CSG editar através de parâmetros numérico. Contudo, seu uso se restringiu a formas simples devido à dificuldade de obtenção de formas curvas utilizando planos (EASTMAN et al, 2008, p. 26-27).

Modelos de construção baseados em modelos tridimensionais foram criados no fim dos anos 1970 e início dos anos 1980 com os pioneiros RUCAPS, TriCad, Calma, e GDS ainda utilizando elementos bidimensionais onde os projetistas se sentiam mais confortáveis e os custos de dos mesmos modeladores tridimensionais eram muito elevados para ser acessível a todos os profissionais (EASTMAN et al, 2008, p. 27-28).

O uso de modelagem tridimensional tornou possível a projeção e construção de formas complexas, mais livres e sinuosas que marcaram a arquitetura contemporânea, como por exemplo, as formas com curvaturas em mais de um sentido (KOLAREVIC, 2003, p. 3). Segundo Kolarevics implicações dessa nova tecnologia comparada com o desenho à mão garantem possibilidades de projeto impossíveis de ser concebido, desenvolvido e executado sem múltiplas interpretações frequentemente divergentes que ocorrem na representação bidimensional:

“As arquiteturas digitais topológicas, de espaços geométricos não-Euclidianos, sistemas cinéticos e dinâmicos e algoritmos genéticos, estão suplantando as arquiteturas tecnológicas. Processos de projeção baseados em meios digitais, caracterizados por transformações dinâmicas, ilimitadas e imprevisíveis, mas consistentes, de estruturas tridimensionais, estão possibilitando novas arquiteturas” (KOLAREVIC, 2003, p.3).

Mitchell acrescenta que a diferença entre modelos sólidos e seus predecessores representantes de desenhos ortográficos bidimensionais era o fato de que esses modelos possuíam um nível maior de complexidade de representação de geometria. Esses modelos têm volume definido e podem ser produzidos por operações booleanas (adição, subtração e intersecção) a partir de sólidos gerando formas cada vez mais diversificadas (MITCHELL, 1994, p. 268-269).

Modelos sólidos possuem nível mais elevado de complexidade de representação geométrica do que as correspondentes imagens “*bitmapped*” (matriciais), desenhos vetoriais bidimensionais, modelos em *wireframe* e modelos feitos de superfícies (MITCHELL, 1994, p. 268).

No fim dos anos 80, devido à evolução dos computadores já era possível fazer transformações geométricas de forma rápida e em tempo real, permitindo uma manipulação de sólidos simples como esferas, cilindros, cubos e cones. (Figura 31). Permitia ainda várias operações entre os elementos como adição, subtração, intersecção, etc. (Figura 32), possibilitando a criação de outros elementos, permitindo sua larga utilização principalmente nas indústrias automobilísticas, naval e aeroespacial (MITCHELL, 1994, 268-270, SCHODEK et al, 2005, p. 7-9).

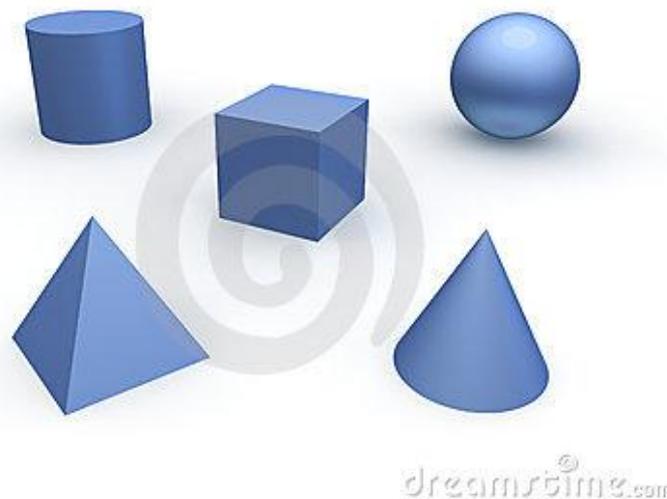


Figura 31- Formas simples tridimensionais: esfera, cubo, cilindro e cone.  
Fonte: IME.USP, 2012.

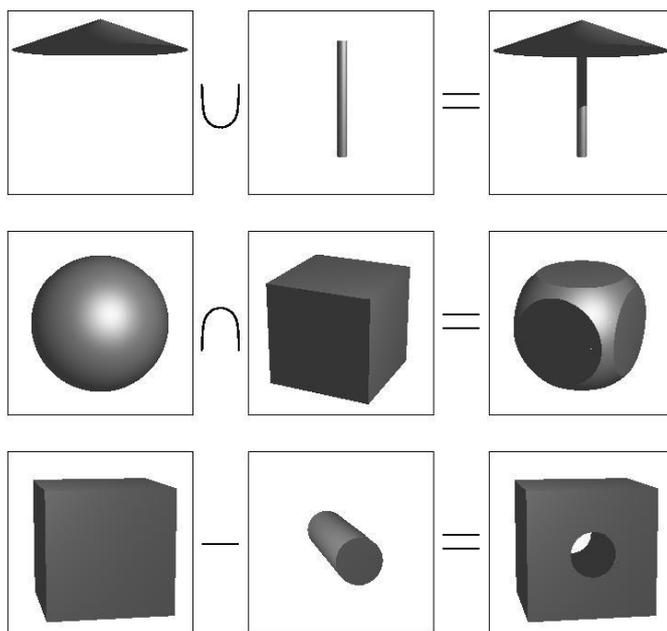


Figura 32 - Operações Booleanas: união, interseção e subtração respectivamente. Fonte: IME.USP, 2012.

Segundo Silva e Amorim (2010) até os anos noventa os sistemas computacionais eram subutilizados por parte dos projetistas:

[...] houve um extraordinário desenvolvimento de ferramentas computacionais visando apresentar ou comunicar os resultados de projetos arquitetônicos. Mas não houve um avanço comparável no desenvolvimento de ferramentas visando assistir projeto para gerar formas arquitetônicas de um modo prático e interativo. Todavia, os arquitetos que usavam o potencial dessas tecnologias como ferramenta direta para criação de formas arquitetônicas, ainda eram exceção. A arquitetura continuava a ser produzida por meios tradicionais, usando o computador como ferramenta de desenho. A principal razão que explicaria tal situação [...] é que consistia em um erro tentar avançar muito rapidamente e, por exemplo, propor métodos de sistemas integrados usando sistemas especializados e recursos de inteligência artificial quando não se tinha ainda uma ferramenta adequada para gerar e modificar modelos 3D. As ferramentas de modelagem disponíveis até aquele momento eram claramente insatisfatórias. A principal limitação delas era a carência de instrumentos apropriados para modificar interativamente o modelo uma vez que ele fosse criado. Isto é um aspecto fundamental em qualquer atividade de design, onde o designer é constantemente levado a elaborar e reelaborar aspectos particulares do modelo, ou seu layout geral, ou mesmo retornar à solução original que tenha sido temporariamente abandonada (SILVA, AMORIN apud MONEDERO, 2010).

Com o advento nos anos 1990 de ferramentas possibilitando modelar e modificar elementos tridimensionais de forma mais satisfatória e interativa, seu uso em ensino e em projeto tornou-se mais fácil e recorrente.

O modelo de ensino de projeto utilizado na Penn State University é usado para melhorar o processo de projetar, não simplesmente aumentar a velocidade em que uma

solução é encontrada. O computador é usado para estudar a luz no espaço arquitetônico, não simplesmente gerando cálculo de iluminação, mas demonstrando como a luz afeta a edificação ampliando espaços e se tornando um elemento arquitetônico. Além disso, permite simular o tempo e movimento, como ele muda a luz, sombra e como esses elementos afetam os outros elementos arquitetônicos. Demonstrando a quarta dimensão amplamente discutida por Zevi (KALISPERIS, 1996, p.22-23).

As entidades tridimensionais criadas através de modelagem genérica de sólidos representam apenas geometria e também na maioria dos casos informações sobre texturas utilizadas para efeitos visuais. Essas entidades podem ser interpretadas de várias maneiras no que concerne ao tipo de material e comportamento ou a função construtiva desempenhada por elas. Essa representação abstrata e genérica é vantajosa em contexto de projeção no qual flexibilidade é necessária e as decisões em relação à caracterização precisa de seus elementos necessita ser postergada (MARK et al, 2008, p. 170-171).

Por outro lado, este tipo de representação passa a ser desvantajosa em contexto de projeção no qual é necessário analisar o projeto proposto em vários aspectos dos participantes relevantes a cada participante do processo de projetar, tais como:

- Benefícios ao proprietário antes da construção: Criar um modelo aproximado com link a uma tabela de custos para prever as possibilidades do cliente sem gastar tempo e dinheiro antes de realmente começar o projeto. Gerar modelo esquemático que permita fazer análise ambiental e de funcionalidade, garantindo melhor qualidade e sustentabilidade antes de iniciar o projeto.
- Benefícios de projeto: Visualização mais apurada e mais cedo de um projeto, gerando modelo tridimensional permitindo visualizar o projeto de forma detalhada e em qualquer estágio do processo de projeto. Correções automáticas quando pequenas mudanças são feitas no projeto por alinhamento paramétrico, fazendo com que o projetista ganhe tempo em gerar correções. Gerar desenhos bidimensionais detalhados em qualquer etapa do projeto. Colaboração mais cedo de todos os projetos envolvidos no processo, podendo trabalhar ao mesmo tempo com engenheiros à medida que o projeto vai avançando garantindo menos tempo e erros dispendidos nos projetos. Extrair custos ao longo do processo de projeto, permitindo mudanças e estimativas para melhor atender o cliente. Melhora a

sustentabilidade e eficiência energética, permitindo que ferramentas de análise de energia possam ser usadas nas etapas iniciais do projeto, garantindo modificações para melhor usufruir das capacidades energéticas da edificação.

- Benefícios da construção e fabricação: Sincronizar projeto e construção, permitindo um link do modelo tridimensional com o plano de construção permitindo um acompanhamento dia após dia da obra gerando a oportunidade de antever problemas e melhoramentos (avanço em partes do projeto, segurança, materiais, espaço, etc.). Descoberta de erros e omissões ainda no projeto, garantindo que os projetos de arquitetura e complementares estejam em modelo único podendo identificar e sanar quaisquer sobreposições e erros. Identificar efeitos que mudanças feitas em projeto ou no sitio sejam rapidamente analisadas através do modelo em três dimensões. Uso do modelo tridimensional como base para a fabricação de componentes, garantindo ajuste perfeito na fabricação.
- Benefícios pós-construção: Melhor manutenção e operação da edificação, através do modelo contendo uma gama de informações de todos os projetos da edificação que podem ser acessadas facilmente para ajudar em mudanças e equipamentos (EASTMAN et al, 2008, p.16-21).

#### **1.4 *Building Information Modeling*, BIM, como representação arquitetônica**

No final do século XX, vivencia-se uma nova mudança de paradigmas com relação à indústria da construção civil e o uso da computação para atividades de projeto. Essa nova mudança é encontrada na forma de uma nova tecnologia inserida em *softwares* CAD denominada *Building Information Modeling* (BIM), que tem como princípio básico a construção de um modelo tridimensional único através de uma base de dados parametrizados sobre o projeto (Figura 33). Desta forma controla todas as informações específicas do projeto tais como de suas dimensões, materiais, formas, comportamentos, custos, etc. Permite compatibilizar automaticamente todos os projetos interdisciplinares e suas interfaces. Possibilita realizar simulações de realidade virtual (inclusive da quarta dimensão-tempo),

modificando e organizando-as com o intuito de otimizar custos, cronogramas e execução de edificações.



Figura 33 - Modelo paramétrico.  
Fonte: Construcaomercado, 2012.

Os objetos modelados através de um sistema BIM são parametrizados, representando não apenas geometria, mas também propriedades. Os objetos são formados por parâmetros e normas que determinam a geometria e forma final do elemento idealizado com, por exemplo, uma estrutura de cobertura (Figura 34), ainda com outras características não inerentes a forma (propriedades não geométricas) (EASTMAN et al, 2008, p. 25). A forma feita em um sistema BIM se modifica e se ajusta instantaneamente à medida que seus parâmetros são modificados.

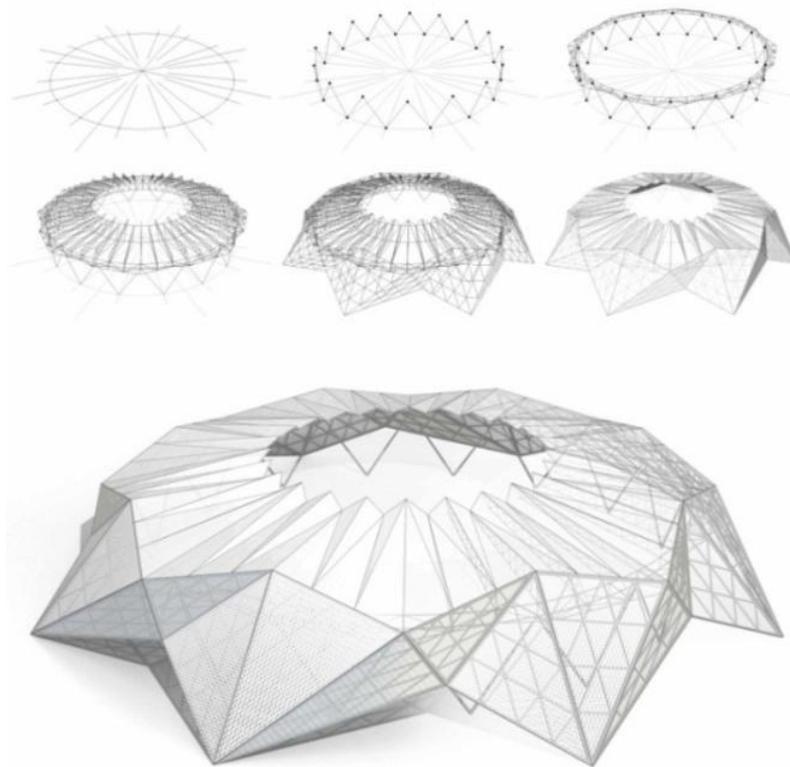


Figura 34 - Elementos paramétricos estruturais.  
Fonte: Designfun, 2012.

Dentre os primeiros conceitos que se tem sobre BIM o mais antigo foi publicado por Charles M. “Chuck” Eastman, no “*AIA Journal*”, no artigo intitulado “*Building Description System*” onde explica:

“Qualquer mudança no arranjo só será feita uma vez para todos os desenhos futuros a serem atualizados. Todos os desenhos derivados do mesmo arranjo de elementos seriam automaticamente atualizados de forma consistente... análises quantitativas podem ser feitas diretamente no modelo... Estimativas de custos e de materiais podem ser geradas facilmente... provendo um único banco de dados integrado para análises visuais e quantitativas... verificação de código de edifício automatizada em prefeituras ou no escritório do arquiteto. Contratantes de grandes projetos podem achar esta representação vantajosa para cronogramas e quantitativos de materiais” (EASTMAN 1975, apud LAISERIN, 2008, in EASTMAN et al, 2008, p. XIII).

O termo BIM como o conhecemos atualmente, que tem por significado modelo de construção da informação, publicado em 1992 no artigo *Automation in Construction* (LAISERIN, 2008, Foreword XI, apud EASTMAN et al, 2008). Esse termo vem sendo

conceituado de várias formas por vários estudiosos diferentes. Chuck Eastman o conceitua diretamente com o intuito de apresentar a sua maior característica: a parametrização.

“BIM é uma tecnologia de modelagem associada a um conjunto de processos, comunicações e análises de modelos de construção... Componentes construtivos representados com inteligência digital que sabe como eles são e podem ser associados com gráficos computacionais, atributos e regras paramétricas” (EASTMAN et al, 2008, p. 13).

Os sistemas BIM são uma das mais promissoras tecnologias sistematizadas na indústria da construção civil (EASTMAN et al, 2008, p. 1; EASTMAN apud LAISERIN, 2008, p. xi.). Quando o modelo gerado por um projetista no BIM estiver completo, conterá geometria precisa e todas as informações inseridas pelo mesmo, tais como tipo de material, reflexão, inter-relações entre elementos e materiais, quantitativos, etc., relevantes para a construção, fabricação e atividades relativas e necessárias para executar a edificação.

Os sistemas BIM têm como princípio básico a utilização e articulação do modelo tridimensional a uma base de dados com uma série de informações sobre o projeto, possibilitando, controlar todas as informações gerais, compatibilizar todos os projetos interdisciplinares e suas interfaces, podendo criar simulações por realidade virtual (inclusive com a percepção da quarta dimensão-tempo descrita por Bruno Zevi), modificando e organizando-as com o intuito de otimizar custos, cronogramas e execução de edificações, capitando informações de todos os participantes do projeto em um modelo único (Figura 35) (EASTMAN et al, 2008, p. 15-33.). Em um modelo paramétrico os objetos são definidos através da utilização de parâmetros como distâncias, ângulos, e regras como “anexado a”, “paralelo a”, “distante de”. Estas relações permitem que cada elemento varie de acordo com seu parâmetro e relação contextual (EASTMAN et al, 2007).

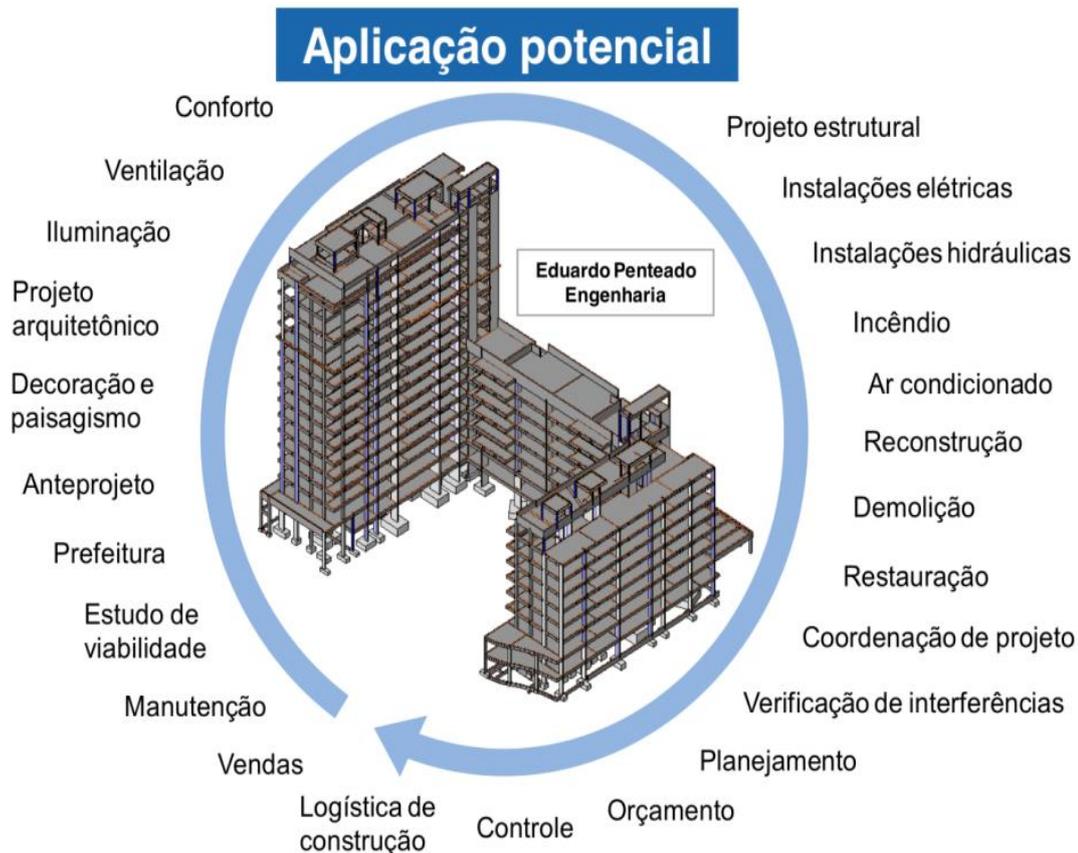


Figura 35 – Aplicações em modelo único BIM.  
Fonte: ABECE, 2010.

Muito mais do que otimizar um processo de projeto e produção, os sistemas BIM podem ser utilizados para contribuir para o desenvolvimento de projetos sustentáveis, pois permite uma grande redução dos desperdícios de materiais. A tecnologia BIM é uma tecnologia paramétrica. Isso quer dizer que as informações do projeto são unificadas, sincronizadas e coordenadas por todas as representações gráficas, possibilitando a criação de vários tipos de simulações, com o propósito de ajudar na decisão do projetista na adoção de opções variadas com menos recursos naturais ou não utilizados ou desperdiçados, ou até não permitindo que ocorram discrepâncias entre as produções gráficas e documentações das diversas disciplinas envolvidas no projeto, que poderiam com certeza gerar muito transtorno e retrabalho por parte do projetista, ou até necessitar de um único profissional com o papel de compatibilizar projetos (LIMA, 2010, p. 19-24).

Existe uma ideia bastante disseminada por profissionais como Wolfgang Knoll e Martin Hechinger de que a utilização de sistemas BIM necessariamente leva a uma menor variabilidade de soluções arquitetônicas. Cremos que este entendimento é consequência, em

primeiro lugar, de uma confusão conceitual sobre o que vem a ser um sistema BIM e parametrização. Estes são frequentemente confundidos com sistemas CAD mais antigos nos quais são utilizados largamente blocos de componentes com dimensões e formas fixas que de fato induzem à repetitividade. É preciso, antes de mais nada, explicar que um sistema BIM não é baseado em blocos, mas em famílias de objetos paramétricos. Ao contrário do que ocorre em um sistema CAD baseado em blocos, em um sistema BIM, a partir de cada objeto paramétrico podem ser derivadas inúmeras soluções específicas.

Elementos paramétricos refletem o comportamento e atributos do mundo real. Um modelo feito em um sistema BIM tem como característica uma relação consistente entre elementos do modelo enquanto está sendo manipulado. Ou seja, se você aumenta o parâmetro da largura das paredes o modelo automaticamente se ajusta às aberturas e demais elementos vinculados às paredes (Figura 36) (JERNIGAN, 2007, p. 27-30). Como todos os elementos são tridimensionais toda e qualquer alteração feita em um deles é automaticamente inserida em qualquer uma das vistas. O modelo eletrônico gerado no final do processo de projeção em um software BIM é constituído de um banco de dados que permite gerar qualquer simulação e informação do projeto de um protótipo de como será a construção real da edificação.

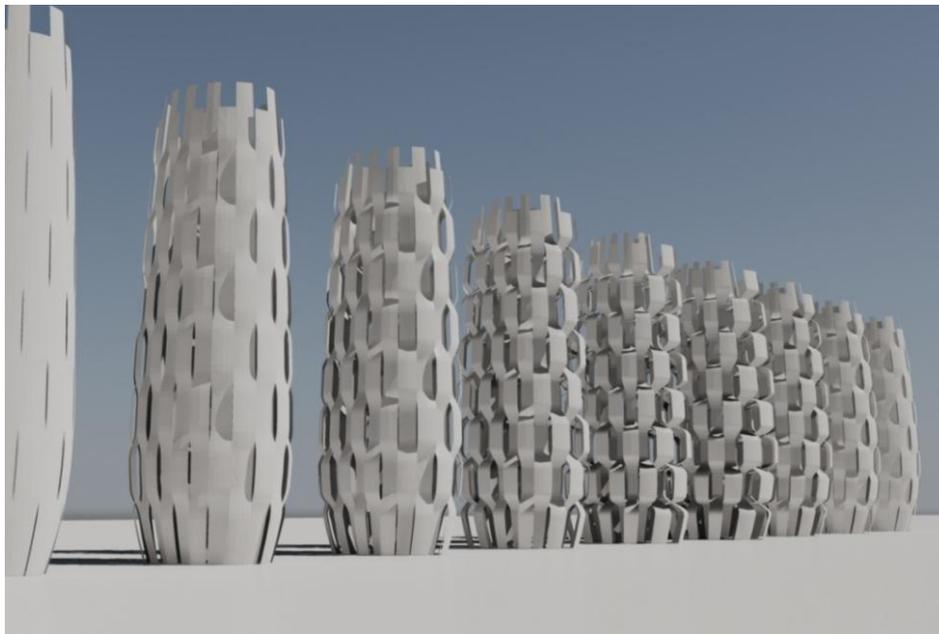


Figura 36 - Elementos paramétricos estruturais de parede.  
Fonte: Core, 2012.

Segundo Kolarevic o projeto paramétrico pode ser entendido e conceituado da seguinte maneira:

“No projeto paramétrico, são os parâmetros de um projeto específico que são declarados, não sua forma. Através da atribuição de diferentes valores aos parâmetros, diferentes objetos ou configurações podem ser criados. Equações podem ser usadas para descrever relações entre os elementos, definindo assim uma geometria associativa [...]. Desta forma, interdependências entre objetos podem ser estabelecidas, e o comportamento dos objetos sob transformações definidos” (KOLAREVIC, 2003, p. 17).

Em um projeto paramétrico ao invés de se projetar um elemento como uma porta ou janela, o projetista define uma classe de elementos, também chamada de famílias, que possuem um conjunto de regras e relações que controlam os parâmetros (EASTMAN et al, 2008, p. 29). Desta forma, variando os valores de cada parâmetro as especificações de cada elemento são ajustadas instantaneamente.

O avanço de modelagem paramétrica alterou as representações do projeto arquitetônico de notação de formas geométricas para a notação de modelos geométricos paramétricos, modificáveis, possibilitando ainda a construção de relações geométricas instrumentais. Estas últimas envolvem relações entre os modelos definindo uma geometria constituinte na qual os objetos estão mutuamente conectados (SILVA, AMORIM, 2010).

Um software BIM multiplica as possibilidades de criação e soluções projetuais. Multiplica as formas de visualização, bem como permite a manipulação de volumes, formas (desde as mais simples até as extremamente complexas e orgânicas), permitindo inclusive a transmissão de dados para produção de elementos também através do computador. Através dessa produção e abordagem de modelar objetos e não apenas fazer representações, os sistemas BIM agregam ao processo todas as características e propriedades dos materiais envolvidos no projeto, desde relações entre geometrias, comportamento entre elementos construtivos, e geração de “maquetes eletrônicas”. Possibilita dessa forma um maior contato com a área de vendas, produção gráfica e marketing do projeto (JUSTI, 2010, p. 2).

Alexander Justi afirma que a tecnologia BIM existente em um software é responsável pelo resultado dinâmico do projeto, onde uma modificação em uma forma de visualização do mesmo resulta na atualização automática de todas as outras como um efeito dominó. (JUSTI, 2010, p. 2). Se um objeto é projetado por meio de uma hierarquia de

parâmetros, se você modificar uma visualização dos parâmetros todas as outras visualizações sofrerão a mudança (EASTMAM, 2008, p. 29).

Os sistemas BIM através de simulações podem ser utilizados para, entre outras coisas, auxiliar no estudo de aumento de eficiência energética de uma edificação, desde a implantação do projeto e sua melhor localização, até um melhor gerenciamento do uso de iluminação artificial, através do estudo de apropriação da luz natural.

No sentido de conhecer e aplicar algum dos sistemas BIM, os profissionais da arquitetura têm que voltar a ter conhecimentos de construção, deixados de lado com o fim da profissão de mestre construtor. Os sistemas BIM exigem não apenas conhecimento de projeto, mas de execução e sobre as interações entre os seus diversos elementos.

Os sistemas BIM há bastante tempo vêm sendo largamente utilizados nas indústrias navais, espaciais, automotivas e aeroespaciais. Algumas dessas indústrias inclusive aboliram o desenho no papel como processo de projeto. Somente nos últimos anos é que a indústria da construção civil vem tentando adotar a tecnologia BIM em seu processo de projeto e fabricação. Pode-se ter uma maior clareza de sua importância e utilização quando vemos projetos contemporâneos de arquitetura. Muitos deles possuem formas orgânicas possíveis de executar com precisão apenas através do uso do computador.

Pode-se citar alguns exemplos de projetos feitos totalmente com o sistema BIM e seus respectivos ganhos em relação a outros sistemas:

A ampliação da fábrica de motores V6 Flint Global da General Motors (Figura 37). Para tanto todos os envolvidos no projeto foram obrigados a usar tecnologia BIM e gerar informações em um modelo único. Isso permitiu que projeto, engenharia e execução fossem feitos simultaneamente gerando um período de projeto e construção de 35 semanas onde normalmente se levariam 60, dentro de um modelo projetar-construir, e 80, dentro de um modelo projetar-licitar-construir. A General Motors havia estabelecido um prazo máximo de 40 semanas para a conclusão do projeto. A aproximação entre os elementos participantes do projeto e execução garantiu um ganho de tempo de 12.5% na entrega do projeto. Ainda foi possível prever entre 3000 a 4000 interferências de projeto antes da execução, cortando perda de tempo e gastos (EASTMAN et al., 2008, p. 326-329).



Figura 37 - Fabrica de motores V6 Flint Global da General Motors.  
Fonte: Mlive, 2009.

A Guarda Costeira dos Estados Unidos utilizou um sistema BIM em projetos a partir da criação de banco de dados com áreas, equipamentos e moveis que setores de centros de comando, resultando em uma queda expressiva do tempo necessário para projetar setores de cada centro de comando. Também permitiu estipular valores e projetar antes da edificação ser financiada. Essa experiência demonstrou que o modo de usar os sistemas BIM torna-se também uma significativa mudança cultural. (EASTMAN et al, 2008, p. 344-357).

O uso de um modelo único no projeto do edifício e garagem do Camino Medical Group Mountain View (Figura 38) gerou um melhor entendimento do projeto por parte do cliente, redução de conflitos de projeto, permitindo planejar logística e sequência de instalação de elementos pré-fabricados. (EASTMAN et al, 2008, p. 358-374).



Figura 38 – Camino Medical Group Mountain View.  
Fonte: Mlive, 2009.

Um sistema BIM foi utilizado em todas as fases de projeto e construção do Centro Aquático Nacional de Pequim na China (Figura 39). Também conhecido como Cubo d'água, este gigantesco projeto foi idealizado para as olimpíadas de Pequim de 2008. O projeto ocupa uma área de 90.000 metros quadrados, contendo cinco piscinas, incluindo uma piscina de ondas, e um restaurante. Para criar uma aparência de bolhas o estádio foi coberto por um copolímero modificado que pesa apenas 1% de um painel de vidro equivalente.



Figura 39 – Cubo D'Água.  
Fonte: Portobello, 2011.

Os ganhos provenientes do uso de um sistema BIM foi a diminuição do ciclo de projeto e execução. Os problemas como sustentabilidade, proteção contra incêndio e desempenho predial foram completamente resolvidos. A extração de documentação foi feita de forma rápida e simples do modelo atualizado e com grande redução do erro humano. (EASTMAN et al., 2008, p. 375-389).

Com a ampla expansão do uso das tecnologias computacionais em arquitetura e os novos métodos de projeto muitos profissionais têm conhecimento dos recursos de parametrização. Contudo, poucos fazem uso desse método (KOLAREVIC, 2003, p. 149). Um modo mais simples de entender as vantagens oriundas do processo de projeto com os sistemas BIM em comparação com os outros sistemas computacionais em arquitetura seria a tabela de Martins a seguir:

**Tabela 1 – Comparação entre os sistemas CAD não BIM e os sistemas BIM.**

	<b>SISTEMA CAD BIDIMENSIONAL</b>	<b>SISTEMA CAD TRIDIMENSIONAL</b>	<b>SISTEMAS BIM</b>
<b>Representação</b>	Geometria	Geometria	Geometria, dados e parâmetros
<b>Representação</b>	Bidimensional	Bidimensional/tridimensional Possuem ferramentas para criação de modelos tridimensionais com formas simples e complexas	Bidimensional/tridimensional Possuem ferramentas para criação de modelos tridimensionais com formas simples e complexas*
<b>Parametrização (relação entre os objetos)</b>	Não existem parâmetros de inter-relação entre os objetos	Não existem parâmetros de inter-relação entre os objetos	Existem parâmetros de inter-relação entre os objetos
<b>Parametrização (representação ortográfica)</b>	Todas as representações ortográficas devem ser desenhadas	Todas as representações ortográficas devem ser desenhadas	Os sistemas geram todo o conjunto de representações ortográficas a partir do modelo principal
<b>Parametrização (atualização desenhos)</b>	Qualquer alteração em uma representação ortográfica deve ser manualmente atualizada nas outras representações ortográficas	Qualquer alteração em uma representação ortográfica exige a re-extração de projeções ortográficas e sua complementação manual	Qualquer alteração em um objeto é automaticamente atualizada em todas as plantas
<b>Propriedade dos materiais</b>	Não possui atributos especificando as propriedades dos	Não possui atributos especificando as propriedades dos materiais	Possuem banco de dados com atributos especificando as propriedades dos materiais

	materiais		
<b>Colaboração entre as equipes de projeto</b>	Não permite a colaboração simultânea no mesmo arquivo	Não permite a colaboração simultânea no mesmo arquivo	Permite colaboração entre as equipes do projeto
<b>Interoperabilidade com sistemas de análise ambiental</b>	Interoperabilidade limitada a exportação da geometria - os desenhos podem ser exportados somente como .dwg ou .dxf	Interoperabilidade limitada a exportação da geometria - os desenhos podem ser exportados somente como .dwg ou .dxf	Interoperabilidade – o modelo pode ser exportado em vários formatos
<b>Sustentabilidade</b>	Não possui estratégias sustentáveis	Possuem estratégias sustentáveis limitadas	Possuem estratégias sustentáveis - permitem exportação para <i>softwares</i> de simulação ambiental e a possibilidade de analisar as atribuições e o comportamento dos materiais
<b>Estimativa de custos</b>	Não possui ferramentas para estimativa de custos	Possui ferramentas limitadas para estimativas de custos	Possuem ferramentas para estimativa de custos
<b>Planejamento da construção</b>	Não permite planejamento da construção	Permite, de forma limitada, o planejamento da construção	Possuem ferramentas para planejamento da construção
<b>Ocupação pós-construção</b>	Não possibilita gerenciamento após a construção	Possibilita gerenciamento limitado após a construção	Possibilita gerenciar a pós-ocupação da construção

Fonte: MARTINS, 2011, p. 42

Existem no mercado muitos softwares que trabalham com elementos paramétricos. Contudo, o fato de trabalhar com elementos paramétricos não os torna BIM. Parametrização e sistemas BIM são conceitos relacionados, mas não são sinônimos. Todo sistema BIM é, por definição, parametrizado, mas nem todo sistema paramétrico é um sistema BIM. Sistemas como Rhinoceros, FormZ, 3DS Max incluem funções paramétricas relacionadas apenas a formas geométricas genéricas.

Os softwares BIM mais conhecidos no mercado são o Revit, Bentley Architecture, ArchiCAD, Digital Project, Tekla Structures, Nemetschek AllPlan, Vectorworks, RAM e CS2. Abaixo está uma ilustração de uma tabela comparativa de quantidade de usuários de softwares BIM. Esses softwares são oriundos de diversos países.

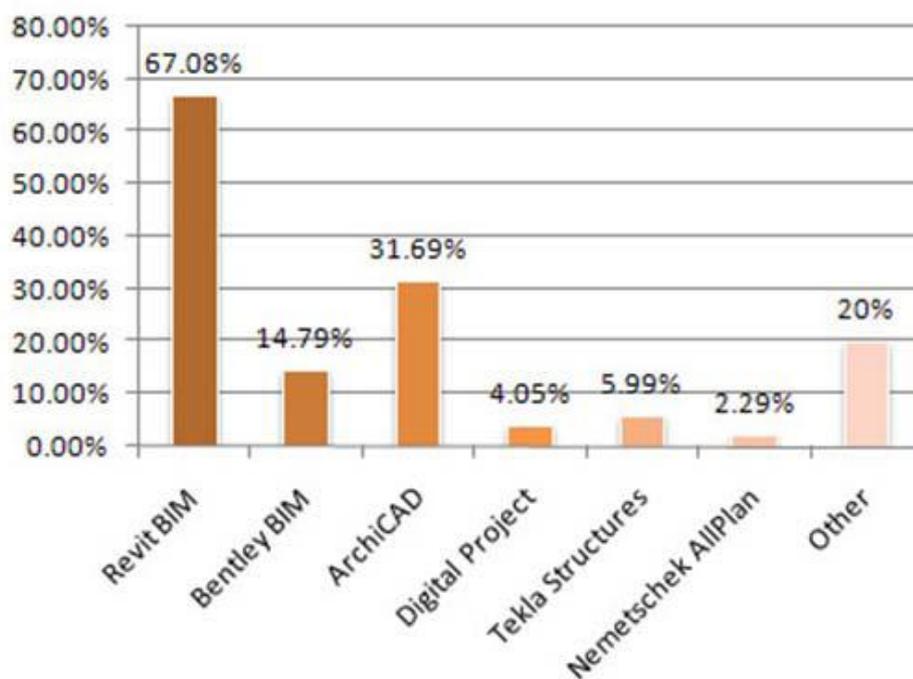


Figura 40– Estudo quantitativo de usuários de softwares BIM.  
 Fonte: SUERMANN, 2009, p.40

Um estudo feito com a finalidade de descobrir qual o sistema BIM mais conhecido e utilizado entre os arquitetos, engenheiros, empreiteiros e proprietários no mercado Norte-Americano. Resultando na ilustração a seguir:

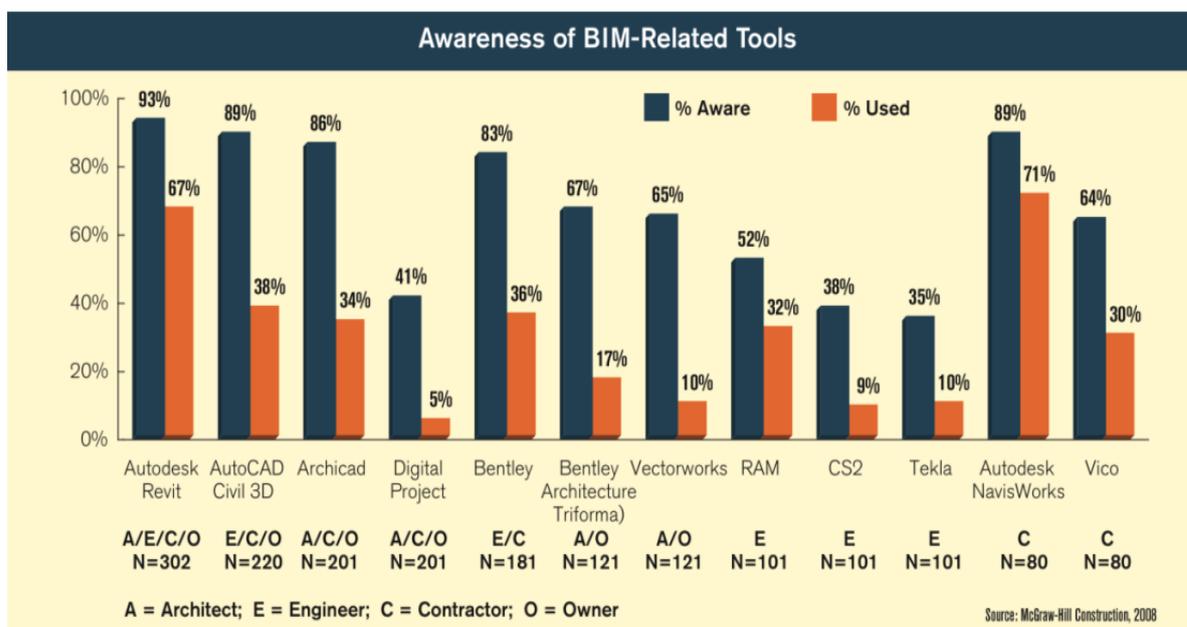


Figura 41 – Estudo quantitativo em porcentagem de usuários de softwares BIM.  
 Fonte: SUERMANN, 2009, p.40.

Analisando as figuras 31 e 32, pode-se determinar que o *software* mais utilizado e mais conhecido entre arquitetos, engenheiros, contratantes e proprietários é o Autodesk Revit. Estas figuras ainda informam quais os maiores usuários de cada *software*, tendo o Revit amplas vantagens em comparação com seus concorrentes.

### **1.5 Breve comentário sobre metodologias de projetos em arquitetura**

A maioria dos arquitetos ainda utiliza métodos tradicionais para iniciarem uma ideia, conceberem a forma principal, mesmo tendo acesso a ferramentas computacionais que podem facilitar e acelerar seu processo de projeto desde os mais rudimentares sistemas CAD, passando pela tecnologia BIM e os *softwares* que permitem o uso de arquitetura generativa (CAIXETA, 2007, p. 60-62).

Os sistemas BIM substituem a concepção de desenvolvimento de projeto em etapas porque trabalham com um modelo único. No entanto, o arquiteto precisa se adaptar aos métodos e metáforas escolhidos por seus programadores como acontece em todos os outros softwares que vier a usar. Nesse contexto o projetista passa a trabalhar com o pensamento sempre no objeto como um todo, mesmo que “metaforicamente” em vários momentos do projeto ele esteja vendo cortes, elevações, elementos tridimensionais e escalas variadas. Isso fica entendido pelo fato de uma alteração feita em um corte seja modificado simultaneamente em todas as vistas do objeto por exemplo. (CELANI, 2003)

Em geral resolvemos nossos problemas utilizando processos práticos ou simplificados, baseados em informações anteriores, que ajudam a encontrar soluções satisfatórias. Entretanto, essa forma de raciocínio se presta a resolver problemas mais simples. No entanto, quando é necessário desenvolver um problema de maior complexidade é importante o uso de procedimentos metodológicos e sistemáticos, devido ao grande número de informações a serem manuseadas e processadas. No projeto de arquitetura essa afirmação se torna fácil de entender, pois quanto maior e mais complicado for um projeto, mais dados o projetista necessita analisar, agrupar, organizar e gerir para poder encontrar uma solução (MARIBONDO, 2000, p. 36.).

Os sistemas BIM utilizam um modelo único capaz de agrupar e gerir grandes quantidades de informação independente de qualquer nível de complexidade que o projeto necessite, independentemente da ordem que cada projetista tenha para aplicar às informações necessárias a finalização da ideia conceitual do projeto.

O ato de projetar é conceber ou idealizar a forma e a estrutura de um edifício ou outra construção. O processo de projeto é a atividade intencional, voltada para a concepção de um plano para transformar uma situação existente em um estado futuro que se pretende. Um processo cíclico e interativo (CHING, 1999, p.78).

Em arquitetura, o processo de criação não possui métodos rígidos ou universais entre profissionais, muito embora possam ser atestados alguns procedimentos comuns entre projetistas. O processo é complexo e pouco externado pelo profissional. O campo projetivo arquitetônico situa-se numa área intermediária entre ciência e arte, tendo que responder a questões não perfeitamente definidas e permitindo múltiplas abordagens (DÜLGEROGLU, 1999, p.3-6; JUTLA, 1996).

Existem estudiosos do processo de concepção que indicam pelo menos cinco tipos de heurísticas aplicadas na solução de projetos, elementos criadores do assim chamado partido arquitetônico (ROWE, 1992; LAWSON, 1997; HEARN, 2003): (1) analogias antropométricas: baseiam-se na figura humana e suas dimensões; (2) analogias literais: uso de elementos da natureza, tais como plantas e animais, como inspiração da forma; (3) relações ambientais: aplicação com maior rigor de princípios científicos ou empíricos da relação entre homem e ambiente, tais como clima da região, tecnologia e recursos disponíveis; (4) tipologias: aplicação de conhecimento de soluções anteriores a problemas relacionados, podendo-se dividir em modelos de tipos de construção, tipologias organizacionais e tipos de elementos ou protótipos; (5) linguagens formais: estilos adotados por grupos ou escolas dos projetistas. Como a proposta desta Dissertação é um estudo sobre os resultados obtidos em termos de variabilidade de soluções através do uso dos sistemas BIM, seus partidos arquitetônicos também servem como base de estudo.

As comumente conhecidas como fases de projeto são na verdade produtos parciais do mesmo. Ao invés disto autores renomados como Brian Logan e Cristhopher Alexander entendem que as atividades de projeto constituem um processo contínuo e alimentado de variadas formas e visualizações diferentes. Os sistemas BIM trabalham com a abordagem de

processo que é continuamente alimentado e com modelo único automaticamente atualizado e, portanto sem fases distintas.

O processo de decisão em um projeto pode incluir descrição verbal, gráfica ou simbólica, isto é, vários mecanismos de informação, para antecipar analiticamente um modelo e seu comportamento (ROSSO, 1980). O experimento feito por Nigel Cross no Centro de pesquisa da Xerox na cidade de Palo Alto, no estado da Califórnia nos Estados Unidos, teve como premissa formar três equipes para a concepção e desenvolvimento de um projeto de uma bicicleta com bagageiro, onde a equipe um receberia as informações por escrito, a equipe dois receberia informações da equipe um por desenho ou por descrição verbal e a equipe três obteria informações através das gravações de áudio e vídeo das equipes um e dois. Dessa forma foram registradas as descrições verbais, gráficas e simbólicas, mesmo que no dia a dia dos projetistas algumas dessas informações não fiquem explicitamente reveladas. (CROSS, 1996, p.36-39).

Utilizando os sistemas BIM pode-se interagir diretamente com o modelo e seus comportamentos à medida que o projeto está sendo desenvolvido e em tempo real, quando algum dos seus elementos é alterado todo o modelo é automaticamente ajustado.

## 2 ALGUNS PROJETISTAS RENOMADOS QUE UTILIZAM OS SISTEMAS BIM

É interessante analisar como alguns arquitetos de renome concebem projetos e meios que utilizam para solucionar os problemas concernentes aos mesmos. Observa-se que os trabalhos dos profissionais a seguir seriam impossíveis de serem realizados sem a utilização do computador.

### 2.1 Frank Gehry

Nascido em Toronto no Canadá em 1929, Frank Gehry é reconhecido por projetos de caráter escultórico, formalista, utilizando muito metal e abusando das curvas. Isso se deve ao fato de antes de se tornar arquiteto ele estudou Artes Plásticas (MÉYER, 2011).

O processo de projeção que Frank Gehry utiliza leva em consideração desenhos, maquetes e computador. Os seus projetos só poderiam se tornar possíveis, segundo o próprio Gehry com o desenvolvimento da tecnologia em softwares e sua consequente aplicação em arquitetura sendo muito difícil conceber seus projetos sem a utilização dos softwares BIM.

Seu processo atual de projeção se inicia com a produção de vários esboços em pequenos pedaços de papel (Figura 42). Depois de analisar estes desenhos se inicia a produção de maquetes volumétricas feitas de papel, papelão e outros elementos de fácil manipulação (Figura 43) utilizados para analisar formas e proporções. Nessa etapa que seu processo de projetar se torna interessante, pois as maquetes de papelão são cortadas e coladas até atingir uma forma satisfatória. A partir daí inicia-se a confecção de varias outras maquetes já bem definidas com outros materiais como madeira, por exemplo, e em varias escalas (Figura 44). Segundo o próprio Gehry essas várias escalas servem para ele o foco no projeto, o objeto real a ser construído, e não nas maquetes. (POLLACK, 2005).

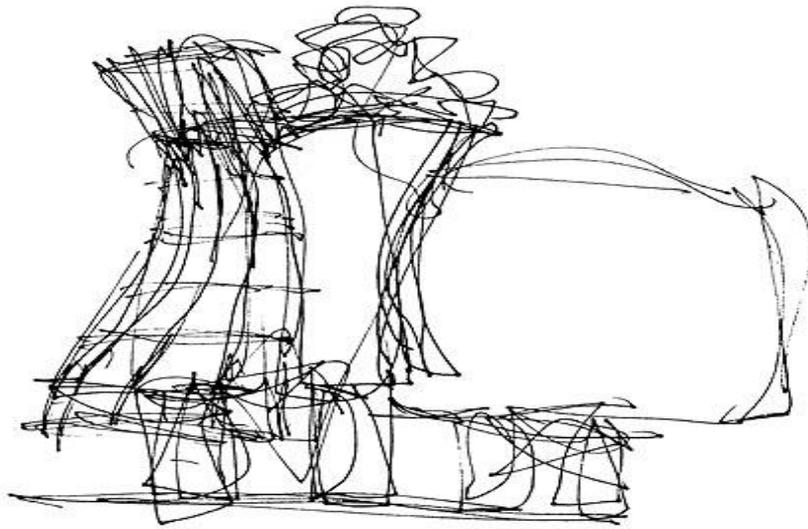


Figura 42 – Esboço de Frank Gehry.  
Fonte: Lu3, 2007.



Figura 43 – Frank Gehry elaborando Maquetes volumétricas.  
Fonte: Arquitetônico,2010.



Figura 44 – Maquetes em varias escalas de Frank Gehry.  
Fonte: Arquitecnico. 2010.

Já com uma maquete terminada, passa-se para a parte tecnológica do processo, onde a maquete é digitalizada através de um scanner, este processo é chamado de engenharia reversa, tendo como resultado um modelo digital tridimensional um modelo digital perfeito. A seguir algumas das principais obras de Frank Gehry:



Figura 45 – Lou Ruvo Center em Las Vegas.  
Fonte: Figurama, 2010.



Figura 46 – Museu Guggenheim de Bilbao  
Fonte: Edificandoonline.blogspot,2011.



Figura 47 – Casa Dançante em Nova Praga.  
Fonte: Vitruvius, 2011.

O último passo do processo é a retirada de plantas do modelo e um estudo de idas e vindas entre plantas e modelo, onde segundo ele se uma coisa não funciona na planta, também não funcionará no modelo.

## **2.2 Norman Foster**

Um dos poucos arquitetos que abraça a integração da arquitetura com a estrutura. De acordo com o próprio Foster a estrutura é central em seu processo de conceber a arquitetura e só se torna possível à integração arquitetura e estrutura quando se aceita o engenheiro também é uma força criativa dentro do processo de projeto (LEONI, 20011, p. 9-41).

Segundo Foster o processo de projeto tem como pilar fundamental a integração de vários profissionais, cada um em sua especialidade, concentrados em resolver tais problemas do mesmo projeto com o intuito de gerar um modelo único.

Todo seu processo de projetar leva em consideração os recursos naturais e o uso de edificações com grande apelo sustentável como pode ser percebido como um dos grandes elementos chaves do projeto do Greater London Authority (Figura 48) e o Cupula do Parlamento da Alemanha (Figura 49). Seu processo de projetar pode parecer simples e caracterizado por três etapas. A primeira é a fase dos esboços (Figura 50) e anotações de aparência e funcionalidade. A seguinte é caracterizada por “reuniões” com sua equipe multidisciplinar inserindo elementos e configurações em um modelo tridimensional digital único (LEONI, 20011, p. 9-41).



Figura 48 – Greater London Authority.  
Fonte: Poulwebb.blogspot, 2010.



Figura 49 – Cúpula do Parlamento da Alemanha.  
Fonte: Achodigno, 2010.

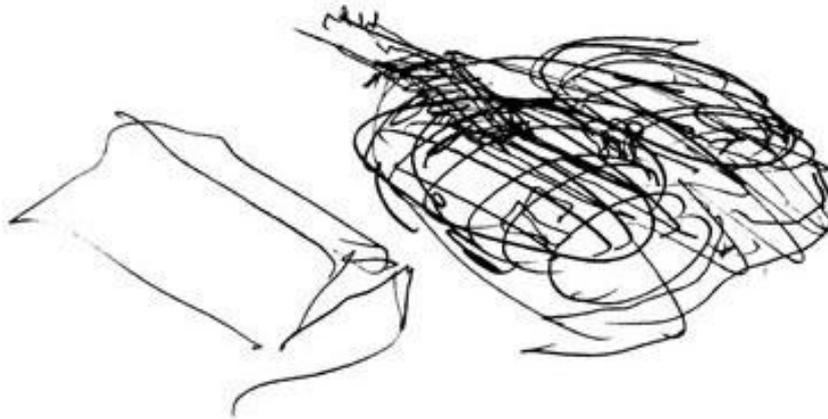


Figura 50 – Esboço de Norman Foster.  
Fonte: Arcspace, 2011.

E por ultimo, e não menos importantes são os testes aplicados nesse modelo. Assim sendo, essas ultimas duas etapas se tornam um processo de ir e vir até a chegada de uma solução satisfatória.

### **2.3 Zaha Hadid**

Nascida em Bagdá em 1950, Zaha Hadid tem uma visão pictória e unicamente expressiva sobre os elementos tridimensionais da arquitetura. Seu trabalho tem um forte apelo à fluidez e formas orgânicas.

Seu processo de trabalho passa pelos esboços iniciais das ideias, gerando ideias fluidas da forma desejada (Figura 51), em seguida sua equipe “molda” volumes em computação (Figura 52), após esse passo seu processo passa pela produção de maquetes físicas e digitais de estudo e por fim ela trabalha com variadas seções horizontais para gerar a habitabilidade e compor as circulações e ambientes em concordância com modelo tridimensional digital. (GUCCIONE, 2011, p.9-29)

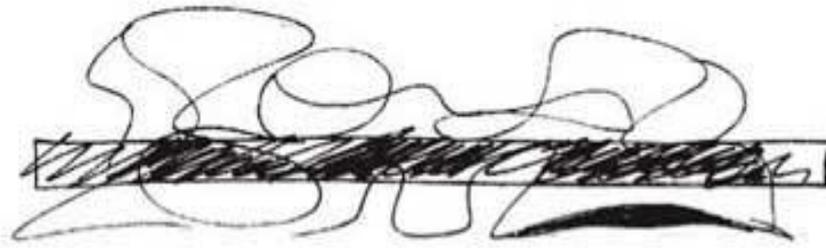


Figura 51 – Esboço de Zaha Hadid.  
Fonte: Arcspace,2011.

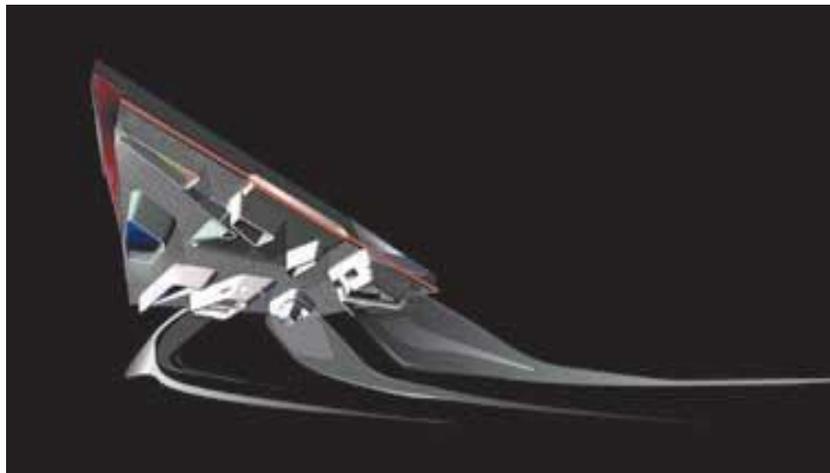


Figura 52 – Modelo de Volumes para estudo.  
Fonte: Arcspace, 2011.

Seu processo de trabalho é caracterizado pela fragmentação de elementos. Formas se unindo num aparente “descuido” com a gravidade. Tudo sendo calculado com perfeita harmonia espacial. Trabalhando sempre com projetos conceito cuja marca é a fragmentação e formas orgânicas. (GUCCIONE, 2011, p.9-29). A seguir apresentamos alguns projetos de Zaha Hadid:



Figura 53 – Edifício Central da BMW na Alemanha.  
Fonte: Thecityreview, 2011.



Figura 54 – Escritório Central da CMA CGM na França.  
Fonte: Thecityreview, 2011.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 Fundamentação teórica do método usado no experimento

O método usado nesta Dissertação baseia-se em parâmetros cujo objetivo é permitir estabelecer distinção entre os diversos produtos resultantes da tarefa de projeto, sendo necessário explicar quais são os princípios que deram origem aos mesmos. Estes parâmetros visam apenas permitir contrastar a variação entre os diferentes produtos arquitetônicos, sem, contudo, incorrer em avaliação da qualidade dos mesmos e nem da performance dos voluntários participantes na execução da tarefa de projeto. A avaliação da qualidade dos referidos produtos bem como da performance dos participantes encontra-se fora do escopo desta Dissertação.

Apresentaremos a seguir os princípios utilizados nesta Dissertação para elaborar os parâmetros mensuráveis necessários para permitir comparação entre os produtos resultantes da tarefa de projeto a ser executada pelos voluntários participantes do experimento. Estes parâmetros usados na referida comparação são constituídos por aspectos quantificáveis decorrentes das características diversas dos elementos presentes na representação de projetos concebidos por meio de sistemas BIM e CAD genéricos. Desta forma, comparamos cada produto elaborado pelos voluntários, utilizando como base os aspectos formais, funcionais, estruturais e ambientais. Ressaltamos que a fundamentação da escolha destes parâmetros está alicerçada nos antigos princípios de arquitetura elaborados por Vitruvius no primeiro século desta Era.

Segundo Vitruvius, em seu Tratado denominado Os Dez Livros de Arquitetura, os princípios fundamentais de um projeto de uma edificação seriam *firmitas*, *utilitas* e *venustas*, os quais foram traduzidos como “durabilidade, conveniência e beleza”, por Morris Hicky Morgan, em 1914 (MORGAN, 1960, p. 17) Vitruvius considerava que:

“... durabilidade é assegurada quando as fundações são lançadas em terreno sólido e os materiais são selecionados cuidadosa e generosamente; conveniência quando o arranjo das partes é perfeito e não apresenta obstáculo ao uso, e quando cada categoria de edificação é designada e destinada para o uso adequado e apropriado; e beleza quando a aparência do trabalho é agradável e de bom gosto e quando suas partes estão na proporção devida aos princípios corretos da simetria.” (MORGAN, 1960, p. 17.)

O primeiro destes princípios, durabilidade, poderia ser interpretado como os aspectos construtivos de um projeto de arquitetura na atualidade. Esta interpretação se justifica uma vez que este princípio estabelecido por Vitruvius compreende as fundações, as questões estruturais, vedações, cobertura e a seleção e o uso dos materiais de construção.

O segundo princípio, conveniência, poderia, por sua vez, ser entendida como os atuais aspectos funcionais, como as partes se relacionam com o todo em termos de que atividades serão desenvolvidas nos espaços propostos. Esta interpretação é razoável haja visto que Vitruvius relacionou este princípio com a organização espacial e a sua destinação.

O terceiro princípio, beleza, tem sido interpretado como os aspectos estéticos de uma edificação. Ao longo da história da arquitetura diversos sistemas de regras estéticas têm sido propostos (Mitchell, 2008, p. 143). Poderiam ser citadas, por exemplo, as regras de proporção de um frontão clássico, ou de um arco ogival gótico. Quaisquer que sejam essas regras, o importante para o argumento apresentado nesta Dissertação é que todas essas tentativas de sistematização recorrem a descrições da forma física dos artefatos arquitetônicos. Portanto, a interpretação deste princípio relacionado com a estética geralmente implica em juízo de valor que se encontra além do escopo desta Dissertação. Por esta razão este princípio será associado neste trabalho apenas aos aspectos formais.

Além dos princípios acima mencionados, também é utilizado, no método de investigação apresentado nesta Dissertação, aquele princípio que Vitruvius também antecipou e que atualmente denominamos de aspectos ambientais. No capítulo I de seu quarto livro, Vitruvius afirma:

“No sentido de que nossos projetos de residências privadas sejam corretos, nós devemos desde o início observar os países e climas nos quais eles serão construídos. Um estilo de casa parece apropriada para ser construída no Egito, outro na Espanha, um tipo diferente no Pontus, e ainda outro em Roma, e assim por diante em relação a terras e países com outras características... No norte, as casas devem ser cobertas inteiramente por um telhado e fechadas tanto quanto possível... Por outro lado, onde a força do sol é grande nos países do sul que sofrem com o calor, as casas devem ser construídas de forma mais aberta e com aberturas nas direções norte ou nordeste.” (MORGAN, 1960, p. 169.)

É interessante observar que Vitruvius apresentou esta preocupação ambiental que apenas nas últimas décadas veio a ser largamente disseminada. Este princípio é tão importante quanto os primeiros e deve ser observado desde a concepção do projeto. Semelhantemente aos primeiros três princípios, não se tem por objetivo avaliar a qualidade do projeto em relação aos aspectos ambientais, mas apenas verificar a variedade de soluções propostas.

Outros autores em épocas diferentes elaboraram princípios fundamentais da edificação semelhantes aos de Vitruvius, os quais reforçam a interpretação que apresentamos nos parágrafos anteriores. Pode-se citar Isidore de Sevilha, que viveu entre os anos 560-636, e também definiu três princípios de arquitetura: “dispositio, constructio e venustas”. *Dispositio* foi interpretado como estudo do local, fundações, pisos e estruturas. Por sua vez, *venustas* é o estudo de ornamentos e decoração. Enquanto *constructio* recebeu definição similar a de Vitruvius (KRUFT, 1994, p. 30-40).

Na metade do século XV Leone Battista Alberti publicou um estudo apresentando princípios semelhantes aos de Vitruvius. Segundo Alberti a arquitetura se fundamentava nos seguintes princípios: *firmitas*, que compreende os materiais e processos de construção; *utilitas*, tipos de edificação e seus usos; e *venustas*, ornamentação, proporção e suas normas. Semelhantemente a Vitruvius, Alberti acreditava que a arquitetura tinha origem na utilidade da edificação, que seria o ponto de partida de sua concepção. Ele ainda apresentou enquanto aspecto importante na concepção de uma edificação o que ele chamou de *varietas*, pois demonstrou que existem diversas soluções para um mesmo problema de projeto as quais são definidas de acordo com as preferências decorrentes da individualidade do ser humano (KRUFT, 1994, p. 41-50).

No sentido de elaborar princípios para definir a beleza de uma edificação Alberti a dividiu em três partes. A primeira seria constituída por números referentes a quantidade e angulação dos elementos, compreendendo desde colunas até ornamentos. A segunda parte seriam as proporções, definidas por meio do uso de linhas com correspondência matemática entre comprimento, largura e altura. A terceira seria a distribuição definida por meio da localização de elementos de ornamentação.

No sentido de justificar a decisão de não avaliar a performance dos voluntários e nem a qualidade dos produtos por eles apresentados, pode-se citar Bryan Lawson que afirma que seria insensato para um projetista encontrar um processo que o protegesse de exercer juízo subjetivo relacionado a valores quantitativos e subjetivos que têm que ser levados em conta (LAWSON, 2009, p. 85). Uma tentativa de isenção seria a decisão de reduzir esses valores a uma medida comum quantificável, como, por exemplo, o valor monetário que serve para gerar apenas algum tipo de mensuração (LAWSON, 1997, p. 80-82).

Em um projeto de arquitetura a maioria das restrições resulta das relações necessárias ou desejadas entre os diversos elementos. Neste sentido, poder-se-ia citar os

seguintes exemplos: um legislador que exige que haja certa distância entre fogão e pia; um cliente que solicita que sua cozinha seja construída segundo o estilo americano; um arquiteto pode considerar como de maior relevância estruturar o projeto a partir de um núcleo, etc. Todos esses exemplos apresentam restrições a partir do campo de influência em que os diversos sujeitos atuam. As restrições de projeto podem ser geradas por projetistas, usuários, clientes e legisladores (LAWSON, 1997, p. 91-93).

A título de aplicação dos princípios elaborados por Vitruvius e reforçando os parâmetros referentes aos aspectos construtivos, funcionais, formais e ambientais, pode-se citar a recente Resolução Nº 6, Art. 5º de 2 de fevereiro de 2006, do Ministério da Educação. Esta Resolução instituiu as diretrizes para o curso de Arquitetura e Urbanismo, e estabeleceu que entre as habilidades que o arquiteto deve ter para conceber projetos estão a competência e responsabilidade para satisfazer as exigências técnicas, estéticas, culturais, ambientais, econômicas e de acessibilidade dos usuários.

Portanto, no sentido de definir os parâmetros a serem utilizados para verificar a variedade de soluções de projetos concebidas no experimento a ser realizado nesta Dissertação, iremos subdividi-los em quatro aspectos: formais, funcionais, construtivos e ambientais. Estes aspectos foram escolhidos por terem sido definidos como princípios fundamentais do projeto de arquitetura desde Vitruvius até os dias de hoje. Desta forma, estes mesmos princípios serão utilizados para verificar a variedade de soluções propostas decorrente de dois tipos diferentes de sistemas de representação: CAD genéricos e BIM.

Ressaltamos que cada um dos aspectos acima citados foi ainda subdividido em quesitos mensuráveis, seja na forma de classificação binária que mostra se determinados atributos estão presentes ou ausentes ou como números inteiros que expressam quantidades de elementos arquitetônicos específicos presentes. Este detalhamento, mais uma vez, tem por objetivo somente fornecer parâmetros de diferenciação entre os diversos produtos apresentados pelos voluntários.

Os voluntários que participaram do experimento não foram informados dos parâmetros pelos quais os projetos seriam avaliados. Isto foi feito para não gerar resultados tendenciosos no sentido de satisfazer os interesses do pesquisador. Neste sentido seguimos a orientação de Cabral no sentido de que uma amostra tendenciosa é aquela cujo processo de seleção provoca diferenças sistemáticas entre algumas de suas características e de onde foi tirada. (CABRAL, 2006).

### **3.2 Tipo de pesquisa**

Neste estudo foi considerado o critério de classificação proposto por Vergara (2005), que qualifica a pesquisa quanto aos fins e quanto aos meios (VERGARA, 2005).

Quanto aos fins, a pesquisa será exploratória de caráter hipotético-dedutivo, onde partir-se-á da hipótese de que o uso dos sistemas BIM no processo de projeção não implicará na redução da variedade de soluções ao invés da crença de que irá “engessar” o produto, porque se baseia em biblioteca componentes construtivos. Acreditamos, pelo contrário, que os sistemas BIM irão auxiliar o profissional em arquitetura em seus projetos, permitindo diversificar os seus resultados.

O conceito de trabalho dos sistemas BIM por meio de bibliotecas, é frequentemente confundido com sistema de blocos nos quais os componentes possuem dimensões e propriedades fixas. No entanto, Eastman esclarece que:

“Os sistemas BIM se baseiam na definição do projeto de um edifício como a composição de uma série de objetos. Suas ferramentas de projeto fornecem diferentes bibliotecas de componentes pré-definidos com geometrias estabelecidas e objetos paramétricos. Estes são tipicamente objetos genéricos baseados no padrão usado nas práticas de construção que são apropriados para os primeiros estágios do projeto. À medida em que o projeto é desenvolvido, as definições de objetos se tornam mais específicas em relação, por exemplo a energia, custos, etc.” (EASTMAN, 2008, p.190.)

Quanto aos meios – para a execução do experimento, propõe-se o desenvolvimento de uma tarefa de projeto de Arquitetura, através dos sistemas BIM e CAD genérico, a ser executada por dois grupos de voluntários, a partir de um programa de necessidades e condicionantes.

### **3.3 Condicionantes para o desenvolvimento do experimento**

No sentido de permitir o desenvolvimento desta Dissertação se faz necessário levar em consideração os seguintes condicionantes:

- a) Produtos projetuais que serão desenvolvidos utilizando os sistemas CAD. Foi determinado que cada proposta de projeto deve conter no mínimo planta baixa, cortes, fachadas, pequena descrição, vista que simule a tridimensionalidade ou modelo que os substitua. Na falta de qualquer um desses elementos a proposta será invalidada;
- b) Participantes do experimento com o mesmo nível de experiência e formação em ambos os grupos. Todos os participantes devem trabalhar há pelos menos dois anos com a concepção e desenvolvimento de projetos;
- c) Tempo máximo para execução do experimento. Em geral se gasta mais de seis horas para a elaboração de um projeto, mas no sentido de permitir a realização do experimento desta Dissertação estabelecemos este tempo para garantir que não existissem grandes pausas por parte dos projetistas durante o experimento. Este período de seis horas foi também adotado para garantir tempo máximo de projeção igual para ambos os grupos de voluntários;
- d) O terreno utilizado no experimento é localizado em São Luís do Maranhão. É formado por um retângulo de vinte metros de largura por quarenta e cinco metros de comprimento com as seguintes características: possui inclinação mínima a ponto de serem desconsideradas diferenças topográficas; afastamentos frontal de dois metros e laterais de um metro e meio. O vento dominante no sentido nordeste e uma vista interessante a ser explorada voltada para o norte. A seguir apresentamos a figura do terreno:



Figura 55 – Terreno com norte.

- e) Definição do programa de necessidades para um projeto de arquitetura de pequeno porte para viabilizar o experimento desta Dissertação. O programa de necessidades tem como objetivo permitir aos voluntários atender ao mesmo conjunto de requisitos de projeto. O tema de projeto escolhido foi um escritório de arquitetura por envolver um problema de pequena complexidade. A partir deste programa de necessidades definiu-se os seguintes ambientes como necessários para constituir o projeto:

- Escritório para 1 ou 2 pessoas;
- Sala de projeto;
- Sala de reunião;
- Recepção;
- Banheiros.

O projetista terá liberdade para criar espaços adicionais para circulações, bem como definir tamanho de cômodos, número de pavimentos, etc., seguindo seu partido.

Este programa foi definido com a intenção de maximizar as possibilidades de projeto por parte dos participantes do experimento. Permitiu-se que os voluntários

projetistas pudessem formular soluções para o projeto sem muitas restrições formais e de tamanho de áreas. Permitiu-se que os projetistas tivessem maior possibilidade de explorar um maior número de opções. O uso de um escritório de arquitetura como tema de projeto da tarefa atribuída aos voluntários, levou em consideração um programa de necessidades simples de forma a permitir liberdade de soluções por parte dos projetistas participantes do experimento.

- f) Escolha de *Softwares* utilizados no experimento: um sistema BIM e outros CAD genéricos, disponíveis para a realização do experimento;

A escolha do software Revit Architecture deveu-se ao fato de ser o sistema BIM mais conhecido. Ele possui uma gama de recursos para auxiliar desde a concepção até a pós-ocupação da edificação. Além disso, permite trabalhar e projetar formas orgânicas com maior facilidade, mais complexas e de forma mais interativa. Possibilita a compatibilização entre todos os projetos complementares, o planejamento da construção e gerenciamento de obra e compra de materiais (EASTMAN et al, 2008, p. 57- 63).

O *Revit* foi criado em 1997 pela empresa *Revit Technology Corporation* com o baseado no conceito de representação por meio de modelo único. Esta empresa há aproximadamente dez anos foi adquirida pela *Autodesk*, que vem modificando seu sistema e agregando recursos de outros *softwares* sua propriedade como o programa 3D Studio Max (AUTODESK, 2011). Os softwares CAD genéricos utilizados foram o AutoCad (AUTODESK, 2011) e o Google Sketchup (SKETCHUP, 2012).

- g) O equipamento utilizado para a realização desta Dissertação e para fazer comparação dos produtos resultantes da execução da tarefa de projeto, foi um notebook Sony Vaio série E, processador Intel® Core™ (R) i7, memória RAM de 8GB DDR3, monitor de LED com 17.3" Full HD, placa de vídeo ATI Radeon Premium Graphics de 1GB e sistema operacional Windows 7 Professional de 64 bits.
- h) Domínio das ferramentas por parte dos usuários. Todos os usuários devem trabalhar há pelo menos dois anos com a ferramenta;

### **3.4 Procedimentos do método de investigação**

- a) Execução da tarefa de projeto;
- b) Análise dos produtos apresentados pelos dois grupos de voluntários participantes do experimento de projeto;
- c) Verificar se a hipótese desta dissertação é promissora ou não.

## 4 MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO

A hipótese apresentada nesta Dissertação consiste em que o uso de um sistema BIM, como ferramenta de concepção de projeto, permitiria variabilidade de soluções maior ou igual às aquelas concebidas utilizando *softwares* CAD genéricos.

Os dados serão coletados utilizando os produtos obtidos por meio do sistema BIM escolhido, REVIT, tendo por base o programa de necessidades e condicionantes elaborados para a execução da tarefa de projeto. Serão comparados também os resultados a serem obtidos utilizando os *softwares* CAD genéricos (AutoCad e Sketchup).

A verificação da hipótese desta Dissertação será realizada através de um estudo comparativo do produto proveniente da execução de tarefa atribuída a dois grupos de voluntários com formação e experiência profissional similares. Um dos grupos utilizará no processo de projeto única e exclusivamente um *software* BIM enquanto o outro utilizará *softwares* CAD genéricos. Ambos os grupos deverão adotar as seguintes tarefas: definição do partido do projeto, divisão de áreas e ambientes do projeto, verificação do fluxo entre essas áreas e suas interações, escolha de materiais e revisão das opções definidas.

A verificação da hipótese será realizada através da aplicação de tarefas de projeto iguais para os dois grupos de usuários, formados por profissionais e alunos a partir do oitavo período do curso de Arquitetura e Urbanismo. Será apresentado aos voluntários um conjunto de tarefas de projeto para serem desenvolvidas por meio do sistema BIM, especificamente o Autodesk Revit *Architecture* e de sistemas CAD genéricos, em um período de no máximo seis horas, tempo este usual na execução de tarefas da mesma natureza.

A comparação será realizada através da tabulação dos resultados dos produtos obtidos por meio do processo de projeto de cada projetista em cada um dos dois grupos. A variedade de soluções encontradas será aferida utilizando-se de cálculos de proporção e variância.

No que diz respeito à proporção, para cada série de valores de cada parâmetro será calculado o valor médio. Em seguida será calculado o percentual de variação de cada valor em relação a esta média. Por fim, será calculado o percentual médio de variação em cada série

de valores dos parâmetros, a partir dos percentuais individuais de variação de cada deles. Por exemplo, suponha-se, em caráter hipotético, a seguinte série:

Número cantos de parede com ângulos não retos: 9, 5, 7, 9, 5, 5

O valor médio desta série seria 6,67.

Esta série poderia ser representada através do seguinte gráfico:

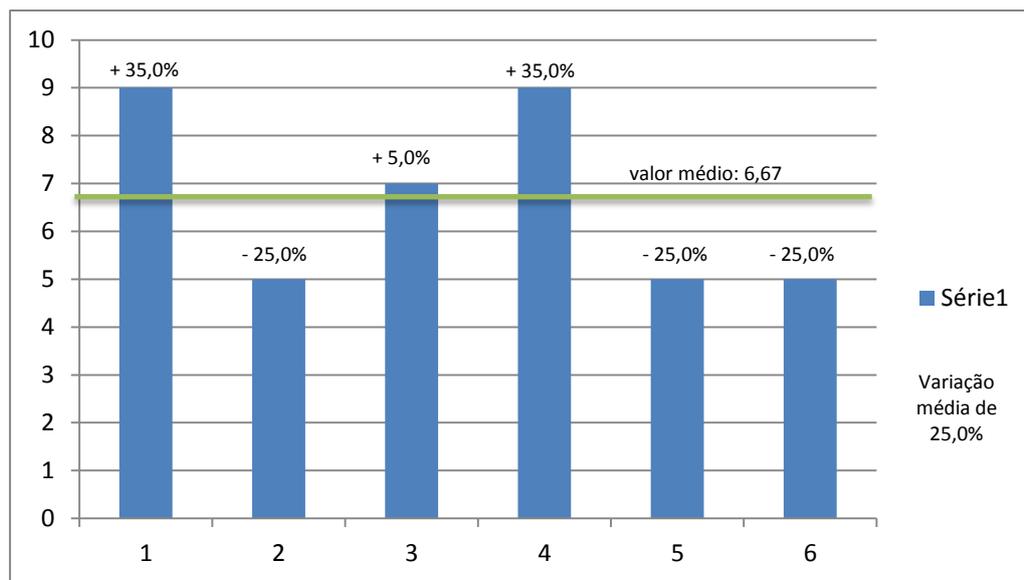


Figura 56 – Exemplo de variação de série

O percentual de variação de cada um destes valores em relação à média da série é indicado no gráfico acima. A partir do valor absoluto destes percentuais pode ser calculado o percentual médio de variação desta série. No caso acima esta média foi de 25%.

Como outro exemplo, suponha-se, também em caráter hipotético, a seguinte série:

Número cantos de parede com ângulos não retos: 9, 8, 8, 7, 8, 8

O valor médio desta série seria 8.

Esta série poderia ser representada através do seguinte gráfico:

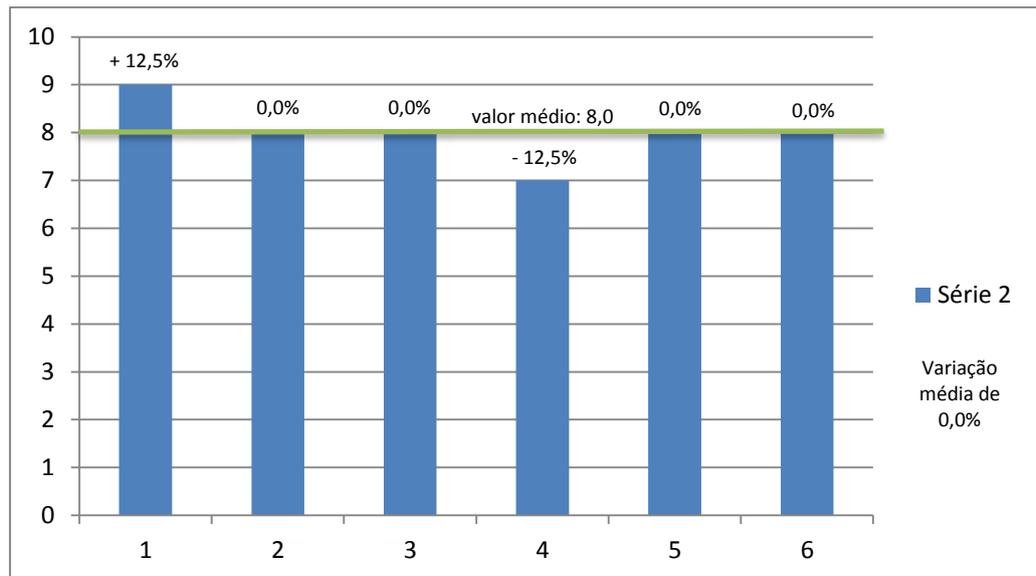


Figura 57 – Exemplo 2 de variação de série

O percentual de variação de cada um dos valores em relação à média desta segunda série também é indicado no gráfico acima. Assim como no caso anterior, a partir do valor absoluto destes percentuais foi calculado o percentual médio de variação desta série. No caso acima esta média de variação foi de 0%. Isto indica que a variedade de soluções neste segundo caso foi menor do que no primeiro.

Outra maneira de se mensurar a variedade de soluções em um grupo de produtos de projeto seria por meio do uso do método da variância. Esta, segundo Frederico Pimentel Gomes (1981), é definida como o quadrado do desvio padrão de uma amostra ou conjunto de dados (GOMES, 1981), cuja formula matemática é apresentada a seguir:

$$\sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

Onde:

$\sigma^2$  significa variância;

$x_1, x_2, \dots, x_n$  representam os valores da série;

$\bar{x}$  é o valor médio da série;

$n$  é o número de valores presentes na série;

$x_i$  representa todos os valores da série na fórmula compacta à direita da equação.

Iezzi et al explica a fórmula acima da seguinte maneira:

“... cada termo do numerador corresponde ao quadrado da diferença entre um valor observado e o valor médio. Essa diferença traduz ‘o quanto um valor observado se distancia do valor médio’, sendo, portanto, uma medida do grau de variabilidade dos dados em estudo.” (IEZZI et al, 2002, p. 428.)

No sentido de facilitar a compreensão, apresentamos a seguir outra explicação do conceito de variância. Segundo Jaeger, a variância é uma “medida de variabilidade em relação ao valor médio de uma amostra” (JAEGER, 1990, p. 53). Esta é um indicador da dispersão dos valores em uma distribuição, ou seja, quanto maior a dispersão dos valores, maior a variabilidade do conjunto de dados sob análise.

Assim citamos também Noé, segundo o qual a variância tem como objetivo mensurar a variabilidade de determinadas situações, e através dela pode-se perceber desempenhos iguais, próximos, ou muito distantes (NOÉ, 2011).

Noé (2011) oferece um bom exemplo que facilita a compreensão do que significa variância:

“Um instrutor deseja comparar o desempenho de suas diferentes turmas de um curso de direção defensiva. Para isso considerou a média final dos seis alunos de cada uma das suas quatro turmas:

A: 6 – 6 – 6 – 6 – 6 – 6

B: 7 – 6 – 5 – 2 – 8 – 9

C: 4 – 5 – 5 – 6 – 8 – 7

D: 1 – 9 – 6 – 3 – 7 – 4

A variância deve ser calculada através da soma dos quadrados entre a diferença de um valor observado e o valor médio. A diferença serve para mostrar quanto um valor observado se distancia do valor médio.

Turma A: Média 6; Variância:  $\{(6 - 6)^2 + (6 - 6)^2 + (6 - 6)^2 + (6 - 6)^2 + (6 - 6)^2 + (6 - 6)^2\} / 6 = 0$

Turma B: Média 6,2; Variância:  $\{(7 - 6,2)^2 + (6 - 6,2)^2 + (5 - 6,2)^2 + (2 - 6,2)^2 + (8 - 6,2)^2 + (9 - 6,2)^2\} / 6 = 5,81$

Turma C: Média 5,83; Variância:  $\{(4 - 5,83)^2 + (5 - 5,83)^2 + (5 - 5,83)^2 + (6 - 5,83)^2 + (8 - 5,83)^2 + (7 - 5,83)^2\} / 6 = 1,81$

Turma D: Média 5; Variância:  $\{(1 - 5)^2 + (9 - 5)^2 + (6 - 5)^2 + (3 - 5)^2 + (7 - 5)^2 + (4 - 5)^2\} / 6 = 7$ ” (NOÉ, 2011).

Os resultados do exemplo acima indicam que a variância da turma A foi zero e na turma C foi relativamente pequena. Por outro lado, a variabilidade nas turmas B e D, foi comparativamente maior do que nas outras duas, isto é, 5,81 e 7, respectivamente.

Serão comparados os aspectos formais, por meio da quantidade de formas diferentes representadas nos projetos concebidos pelos voluntários, bem como a distribuição de ambientes, uso de materiais e tempo de trabalho.

Utilizaremos um grupo de oito voluntários, dos quais quatro possuem experiência com o uso do sistema BIM, REVIT, e os demais com outros sistemas CAD genéricos. Estes voluntários deverão resolver um determinado projeto a partir do mesmo programa de necessidades e utilizando um mesmo terreno real.

Desta forma, para que este experimento possa ser mensurado pelos princípios da variância, foram levados em consideração quatro grupos de parâmetros principais, os quais serão organizados em tabelas específicas, a partir das quais serão calculadas as variâncias. Os parâmetros utilizados nesta Dissertação foram estabelecidos segundo interpretação dos princípios de arquitetura elaborados por Vitruvius, apresentados no capítulo anterior e assim designados: Formais, Funcionais, Construtivos e Ambientais. Estes parâmetros foram também subdivididos e agrupados nas tabelas apresentadas nos anexos de 1 a 3, para cada projeto concebido pelos voluntários.

Ressaltamos que a diferença na quantidade de projetos das tabelas em anexo se deve ao fato de que os voluntários que utilizaram os sistemas CAD genéricos produziram cinco (5) “produtos” e aqueles que trabalharam no sistema BIM doze (12).

Serão tabulados todos os resultados dos produtos da tarefa de projeto, tendo por base os parâmetros constantes das tabelas de 1 a 3 em anexo. Em seguida será aplicada a fórmula de variância. Os resultados do produto do grupo de voluntários que trabalhou com o sistema BIM escolhido serão comparados com os resultados obtidos por meio de sistemas CAD genéricos, para determinar se houve maior ou menor variabilidade.

A hipótese será demonstrada como promissora se a variância das séries resultantes do trabalho do grupo de voluntários que utilizaram o sistema BIM for maior ou igual do que a do outro, isto é, dos sistemas CAD genéricos

## 5 RESULTADOS ENCONTRADOS

Foi informado aos oito voluntários em um chat em tempo real que eles poderiam apresentar tantas propostas quanto fossem possíveis de um escritório de projetos satisfazendo ao programa de necessidades contido no item 4.2. A escolha do tipo de sistema construtivo, método e materiais ficou a cargo de cada projetista, assim como a criação de áreas adicionais e ligações entre os cômodos, com o intuito de permitir liberdade na elaboração de soluções de projeto. Foi escolhido um terreno real localizado em São Luís do Maranhão. Todas as normas de afastamento e de topografia juntamente com a localização e dimensões do terreno foram informadas aos participantes no início do processo de projeto. Estas informações estão relacionadas no item 4.3 desta Dissertação.

Foi estabelecido como requisito mínimo que cada voluntário deveria entregar uma planta baixa, cortes, fachadas, um pequeno memorial descritivo e uma representação que simulasse tridimensionalidade ou equivalente, uma vez que os usuários dos sistemas BIM poderiam entregar os modelos gerados no *Revit Architecture*. Todas as propostas que não atendessem os referidos requisitos mínimos seriam desconsideradas para mensuração da variabilidade.

Foram analisados os trabalhos dos oito voluntários distribuídos em dois grupos da seguinte maneira: primeiro grupo trabalhou com o software Autodesk *Revit Architecture* e o segundo grupo trabalhou com outros softwares CAD genéricos. Cada voluntário entregou os produtos finais ao fim de 6 horas de trabalho estabelecidas. Foram entregues ao fim do experimento seis propostas elaboradas pelos usuários de CAD genéricos, ao passo que os usuários de BIM conseguiram entregar doze produtos. Entretanto uma das propostas feitas pelos usuários de CAD genéricos não continha uma representação de modelo tridimensional ou perspectiva e nem um memorial descritivo. Por isto este produto foi desconsiderado para mensuração. Ressalte-se que todas as doze propostas dos usuários de BIM satisfizeram as regras do experimento.

Depois de recebido os produtos do experimento, procedemos a compilação das propostas feitas por cada projetista, utilizando as tabelas descritas anteriormente obtendo o seguinte resultado:

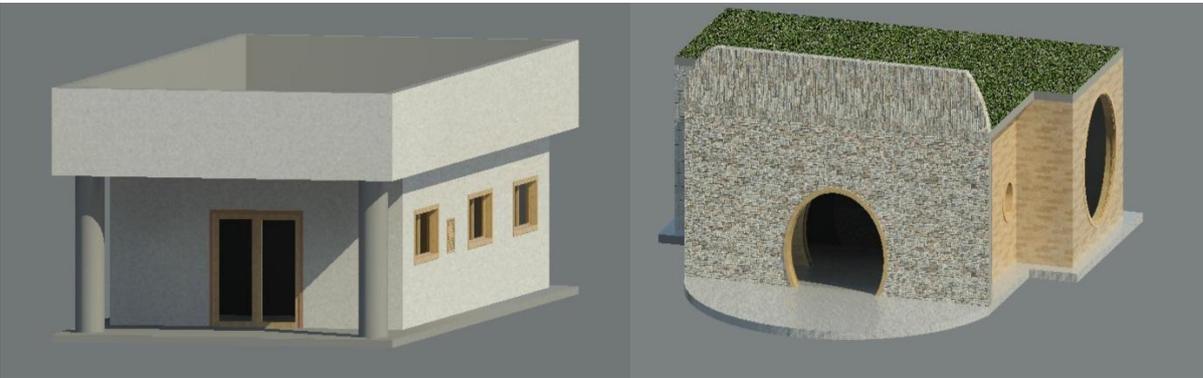
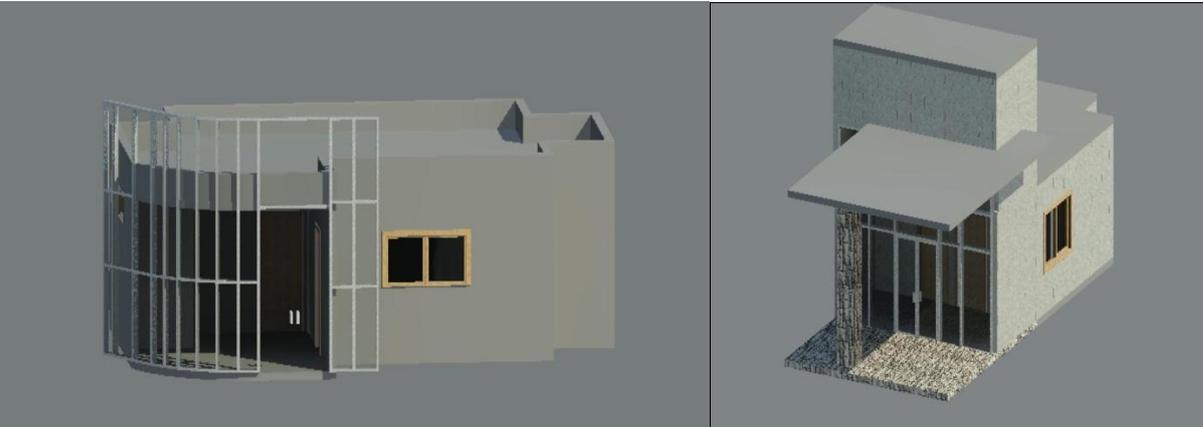
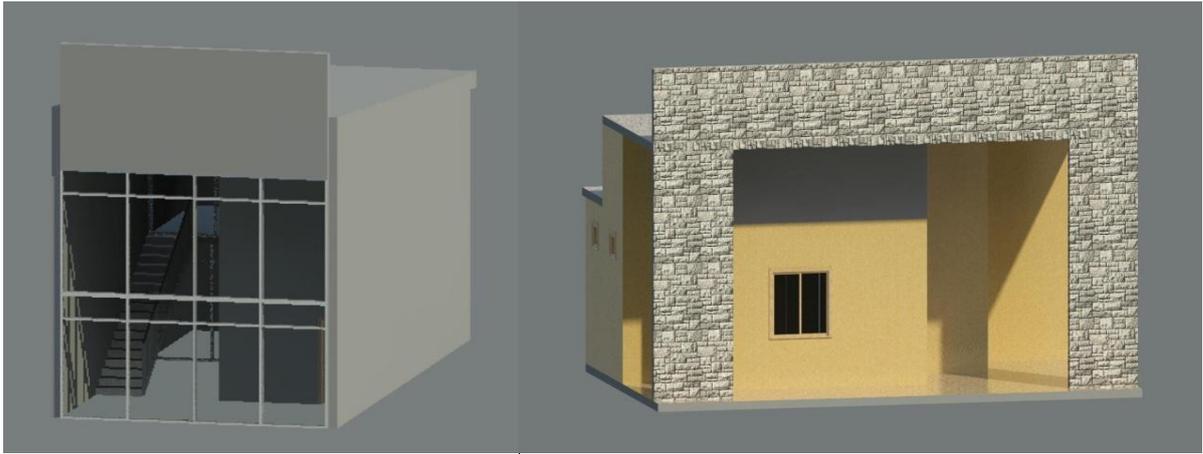
**Tabela 2** Quantitativos de produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos

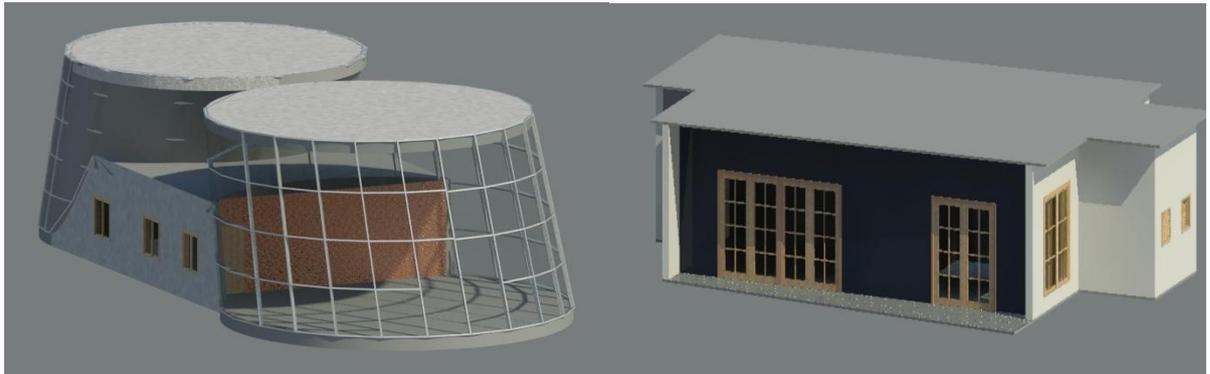
	Projetistas				TOTAL
	1	2	3	4	
<b>Produtos por projetista</b>	1	2	2	1	6
<b>Produtos válidos</b>	1	2	1	1	5
<b>Produtos não validados</b>	0	0	1	0	1

**Tabela 3** Quantitativos de produtos elaborados por meio dos sistemas BIM

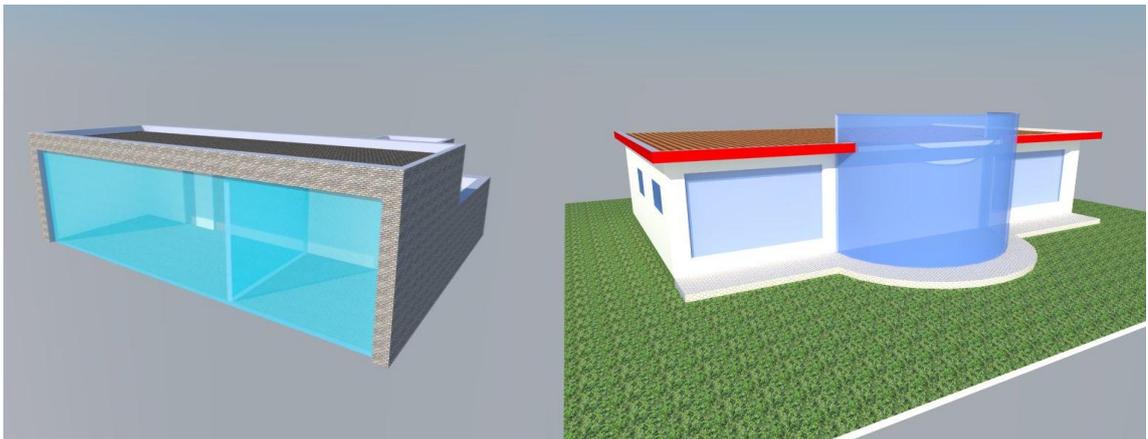
	Projetistas				TOTAL
	5	6	7	8	
<b>Produtos por projetista</b>	2	3	4	3	12
<b>Produtos válidos</b>	2	3	4	3	12
<b>Produtos não validados</b>	0	0	0	0	0

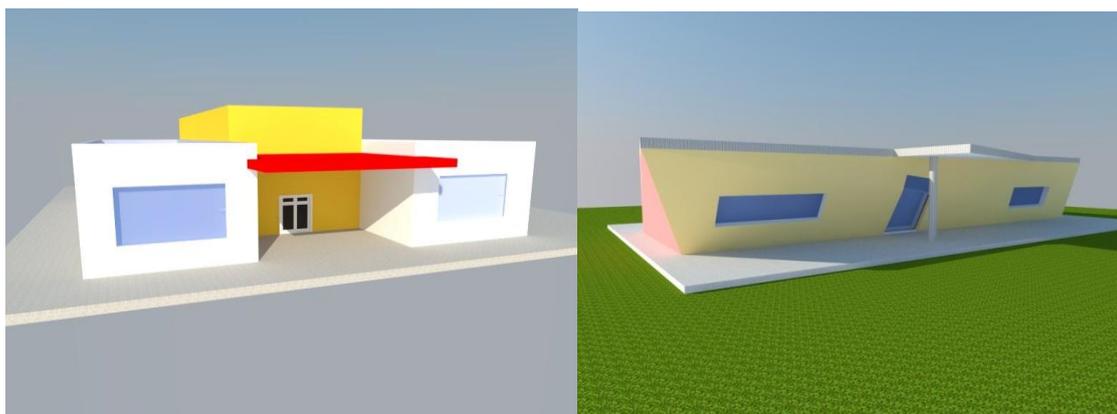
Podemos perceber que o total de projetos elaborados por usuários do sistema BIM foi um total de doze, enquanto dos voluntários de CAD genéricos foram de apenas seis. Porém, como um dos projetos do grupo de voluntários de CAD genérico não foi considerado por não conseguir atender às exigências mínimas da tarefa, foram considerados apenas cinco. Portanto, podemos observar que a quantidade de projetos feitos pelos usuários do sistema BIM (Revit) foi mais do que o dobro daqueles produzidos pelo grupo que trabalhou com os softwares CAD genéricos. Na sequência de projetos apresentados a seguir, os primeiros doze foram elaborados no sistema BIM (Revit) e os últimos cinco nos sistemas CAD genéricos:





Figuras 58 a 69 – Produtos produzidos no sistema BIM





Figuras 70 a 74 – Produtos produzidos em sistemas CAD genérico

Considerando o cômputo dos parâmetros formais geramos as seguintes tabelas de comparação:

**Tabela 4** Quantitativos dos Aspectos Formais dos projetos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

		Produtos					TOTAL
		1	2	3	4	5	
Formais	Presença de superfícies curvas em uma direção	0	1	1	0	0	2
	Presença de superfícies curvas em mais de uma direção	0	0	0	0	0	0
	Número de ângulos não retos	0	4	2	0	0	6

**Tabela 5 Quantitativos dos Aspectos Formais dos projetos elaborados por meio dos sistemas BIM**

		Produtos												TOTAL
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Formais	Presença de superfícies curvas em uma direção	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	4
	Presença de superfícies curvas em mais de uma direção	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	4
	Número de ângulos não retos	0	4	0	0	4	0	4	0	3	3	0	4	22

Estes dados foram obtidos levando em consideração apenas a volumetria externa do edifício proposto, excluindo-se as paredes internas. Podemos perceber claramente que a quantidade de ângulos não retos produzidos pelos sistemas BIM são bem maiores do que aqueles produzidos pelos sistemas CAD genéricos. Um dos motivos óbvios para esta grande diferença foi a quantidade maior de produtos produzidos pelo grupo de voluntários que utilizaram o sistema BIM (Revit).

Considerando a presença de superfícies curvas em uma única direção temos os seguintes resultados, nos gráficos a seguir que indica o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro analisado:

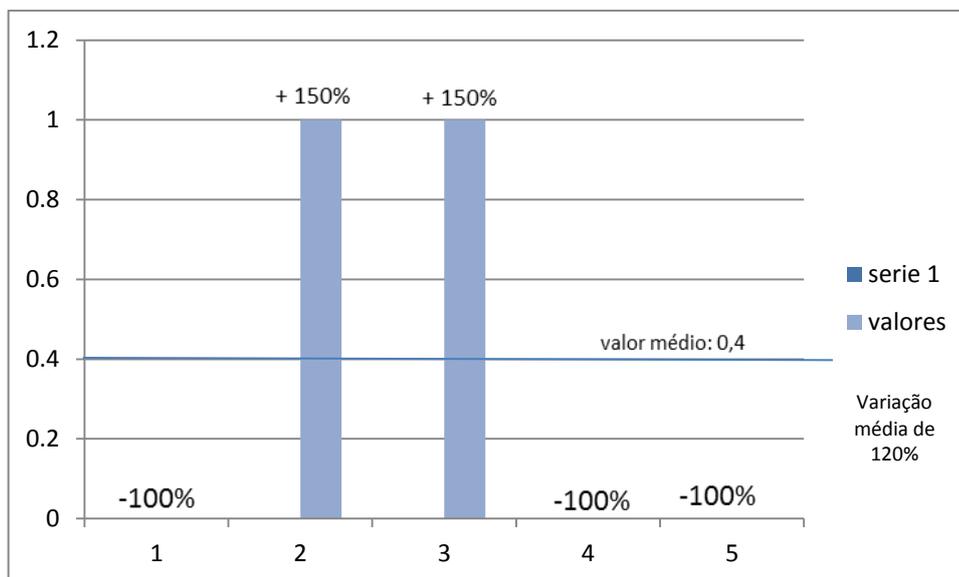


Figura 75 – variação média de superfícies curvas (em uma direção) dos projetos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

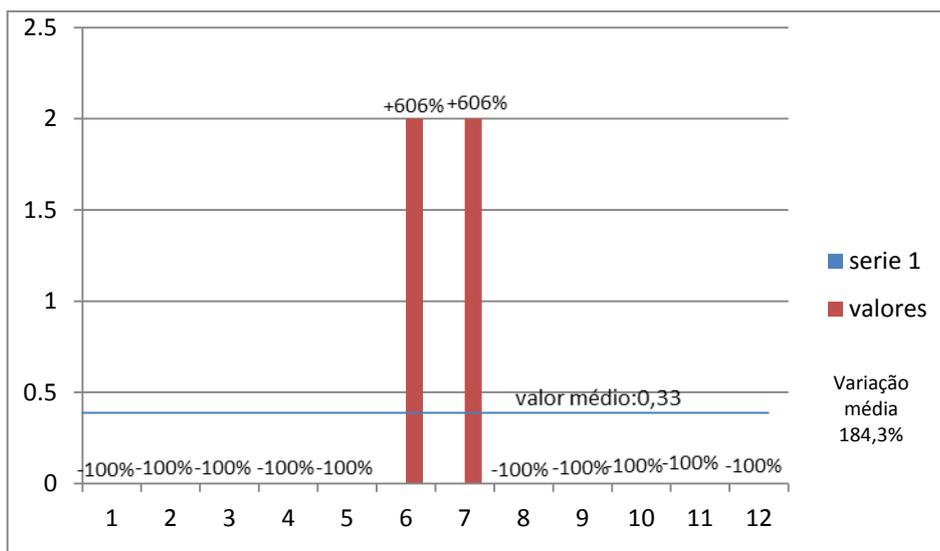


Figura 76 – variação média de superfícies curvas (em uma direção) dos projetos elaborados no sistema BIM (Revit).

A seguir apresentamos o cálculo da variância do parâmetro superfícies curvas em uma direção dos projetos elaborados nos sistemas CAD genérico e no sistema BIM:

CAD: media 0,4 ; variância:  $\{(0-0,4)^2 + (1-0,4)^2 + (1-0,4)^2 + (0-0,4)^2 + (0-0,4)^2\} / 5 = 0.24$

BIM: media 0.33 ; variância:  $\{(0-0.33)^2 + (0-0.33)^2 + (0-0.33)^2 + (0-0.33)^2 + (0-0.33)^2 + (2-0.33)^2 + (2-0.33)^2 + (0-0.33)^2 + (0-0.33)^2 + (0-0.33)^2 + (0-0.33)^2 + (0-0.33)^2\} / 12 = 0.56$

No tocante às superfícies curvas em mais de uma direção podemos considerar os números a seguir, no gráfico a seguir que indica o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro analisado:

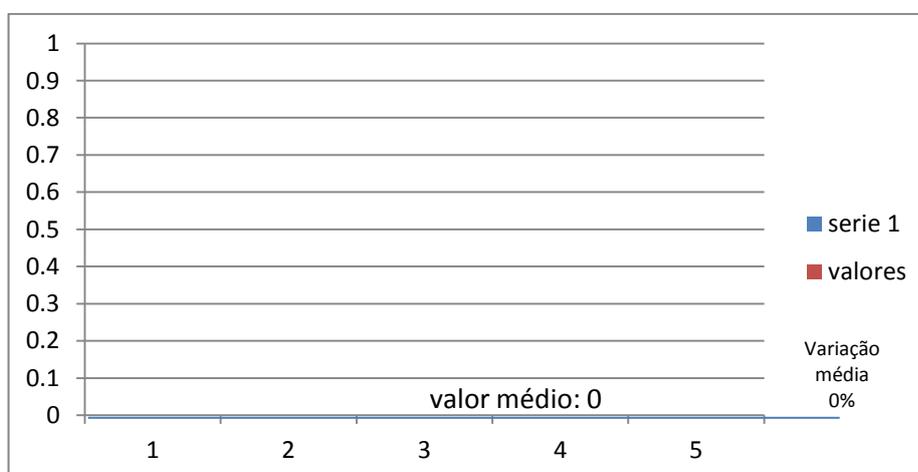


Figura 77 – variação média de superfícies curvas (em mais de uma direção) dos projetos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

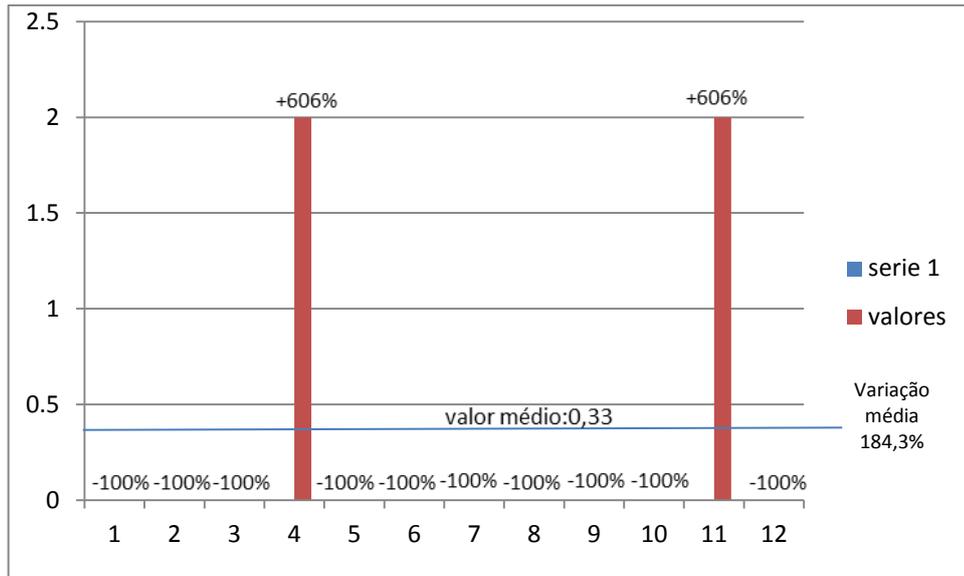


Figura 78 – variação média de superfícies curvas (em mais de uma direção) dos projetos elaborados no sistema BIM (Revit).

A seguir apresentamos o cálculo da variância do parâmetro superfícies curvas em mais de uma direção dos projetos elaborados nos sistemas CAD genérico e no sistema BIM:

CAD: média 0 ; variância:  $\{(0 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - 0)^2\} / 5 = 0$

BIM: média 0.33 ; variância:  $\{(0 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (2 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (2 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2\} / 12 = 0.56$

Levando em consideração os ângulos não retos nos produtos obtidos no experimento podemos obter os seguintes números nos gráficos a seguir que indica o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro analisado:

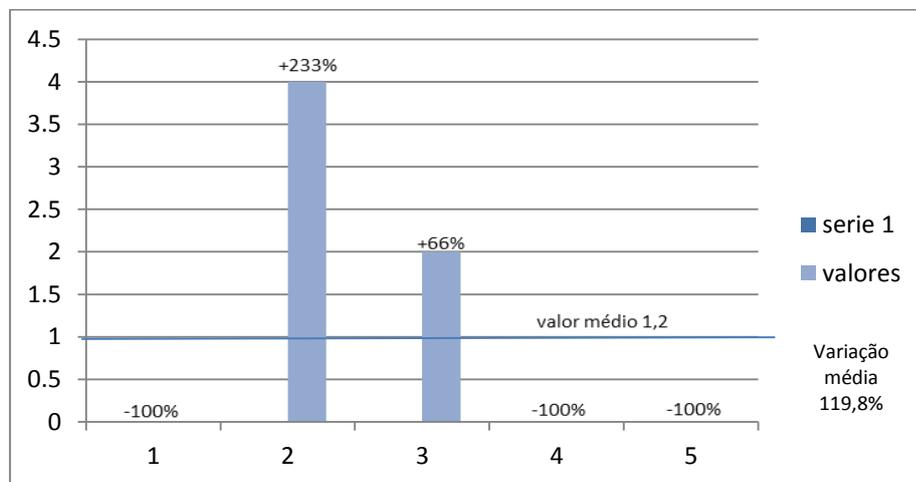


Figura 79 – variação média decorrentes da presença de ângulos não retos em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

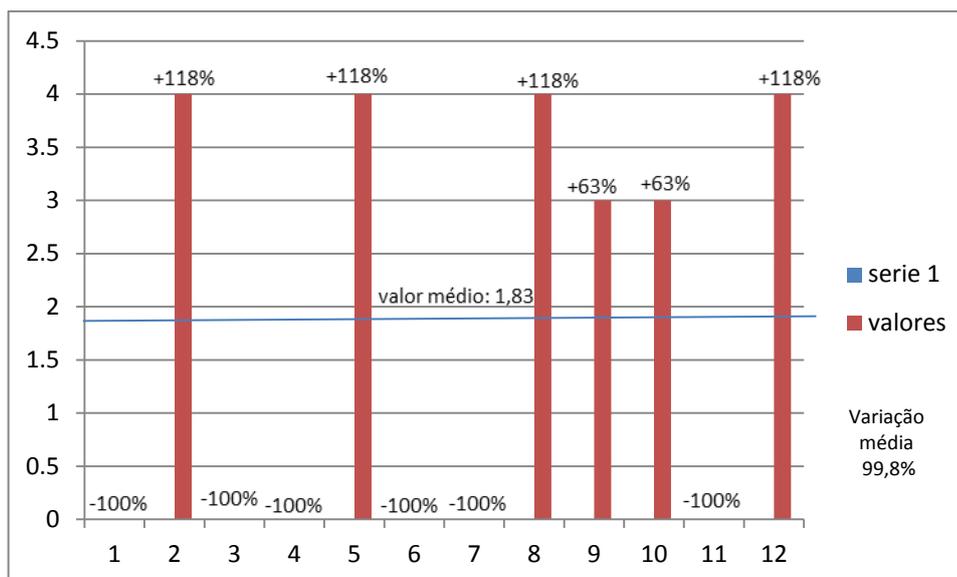


Figura 80 – variação média decorrentes da presença de ângulos não retos em produtos elaborados por meio do sistema BIM (Revit)

A seguir apresentamos o cálculo da variância do parâmetro ângulos não retos dos projetos elaborados nos sistemas CAD genérico e no sistema BIM:

CAD: media 1.2; variância:  $\{(0 - 1.2)^2 + (4 - 1.2)^2 + (2 - 1.2)^2 + (0 - 1.2)^2 + (0 - 1.2)^2\} / 5 = 2.56$

BIM: media 1.83; variância:  $\{(0 - 1.83)^2 + (4 - 1.83)^2 + (0 - 1.83)^2 + (0 - 1.83)^2 + (4 - 1.83)^2 + (0 - 1.83)^2 + (4 - 1.83)^2 + (0 - 1.83)^2 + (3 - 1.83)^2 + (3 - 1.83)^2 + (0 - 1.83)^2 + (4 - 1.83)^2\} / 12 = 3.47$

Na tabela abaixo podemos observar os valores relativos aos parâmetros denominados aspectos formais consolidados dos resultados de projetos concebidos por ambos os grupos de voluntários que trabalharam com os sistemas BIM e CAD genéricos.

**Tabela 6 Resultados Quantitativos dos Aspectos Formais dos projetos elaborados por ambos os sistemas.**

Aspectos Formais	Produtos de projeto					
	CAD			BIM		
	%	Variância	média	%	Variância	média
Presença de superfícies curvas em uma direção	120	0.24	0,4	184.3	0.56	0,33
Presença de superfícies curvas em mais de uma direção	0	0	0	184.3	0.56	0,33
Número de ângulos não retos	119.8	2.56	1,2	99.8	3.47	1,83

Depois de analisados os produtos, levando-se em consideração os parâmetros construtivos elaboramos as seguintes tabelas:

**Tabela 7 Quantitativos dos Aspectos Construtivos dos projetos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.**

		Produtos					TOTAL
		1	2	3	4	5	
Construtivos	Estrutura de concreto	1	1	1	0	0	3
	Estrutura metálica	0	0	0	0	0	0
	Estrutura mista	0	0	0	1	1	2
	Único pavimento	1	1	1	1	1	5
	Mais de um pavimento	0	0	0	0	0	0

**Tabela 8 Quantitativos dos Aspectos Construtivos dos projetos elaborados por meio dos sistemas BIM.**

		Produtos												TOTAL
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Construtivos	Estrutura de concreto	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	7
	Estrutura metálica	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	Estrutura mista	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	4
	Único pavimento	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11
	Mais de um pavimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Estes dados foram obtidos através da contagem da quantidade de ocorrência de parâmetros construtivos nos projetos elaborados pelos voluntários. Uma vez que nenhum dos projetos utilizou alvenaria estrutural este item foi excluído do estudo.

Utilizando os quantitativos das estruturas de concreto para fazer o cálculo da variância temos os seguintes resultados nos gráficos a seguir que indica o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro analisado:

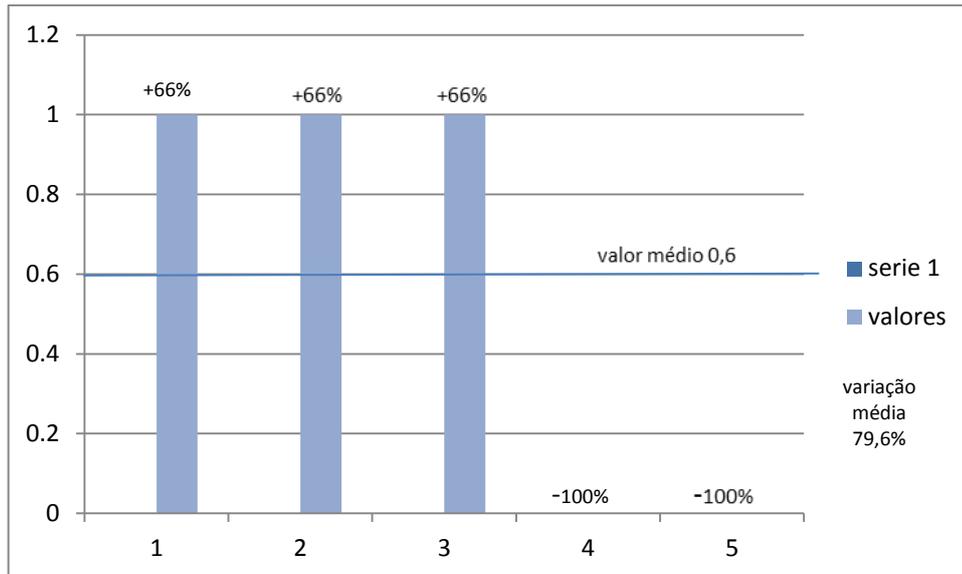


Figura 81 – variação média decorrentes da presença de estrutura de concreto em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

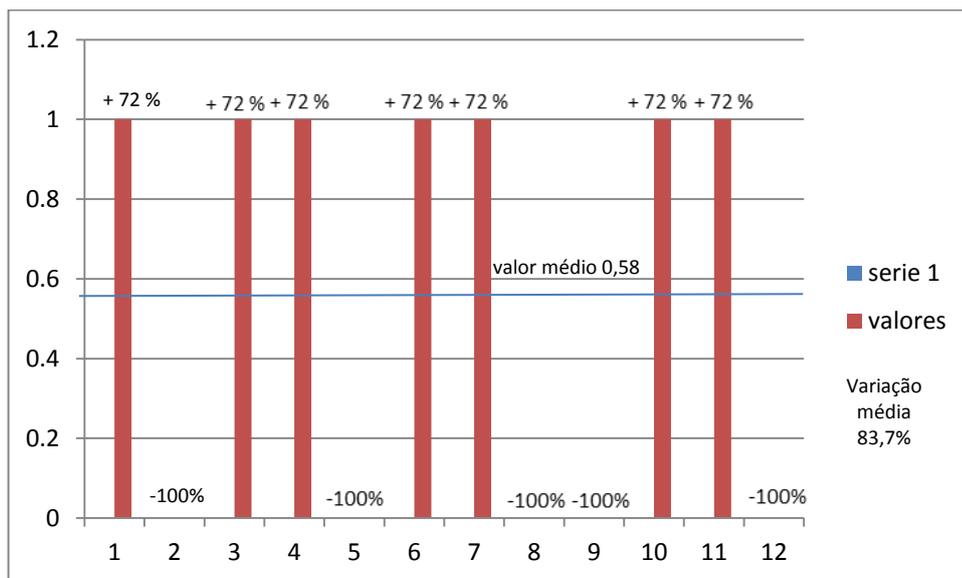


Figura 82 – variação média decorrentes da presença de estrutura de concreto em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.

A seguir apresentamos o cálculo da variância do parâmetro de estrutura de concreto dos projetos elaborados nos sistemas CAD genérico e no sistema BIM:

CAD: media 0,6; variância:  $\{(1 - 0,6)^2 + (1 - 0,6)^2 + (1 - 0,6)^2 + (0 - 0,6)^2 + (0 - 0,6)^2\} / 5 = 0,24$

BIM: media 0,58; variância:  $(1 - 0,58)^2 + (0 - 0,58)^2 + (1 - 0,58)^2 + (1 - 0,58)^2 + (0 - 0,58)^2 + (1 - 0,58)^2 + (1 - 0,58)^2 + (0 - 0,58)^2 + (0 - 0,58)^2 + (1 - 0,58)^2 + (1 - 0,58)^2 + (0 - 0,58)^2 / 12 = 0,25$

Depois de mensurar os quantitativos de produtos com estrutura metálica temos o seguinte gráfico que indica o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro analisado:

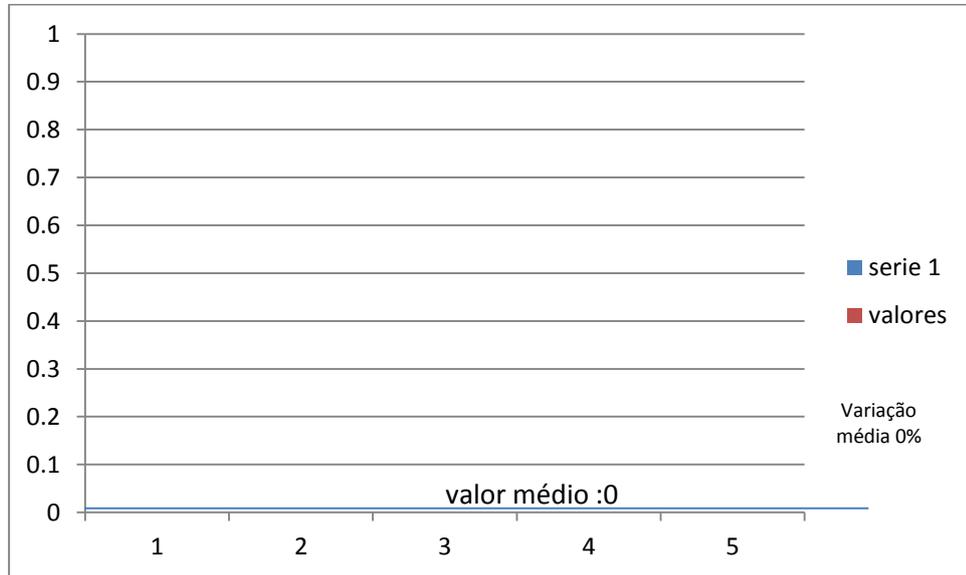


Figura 83 – variação média decorrentes da presença de estrutura metálica em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

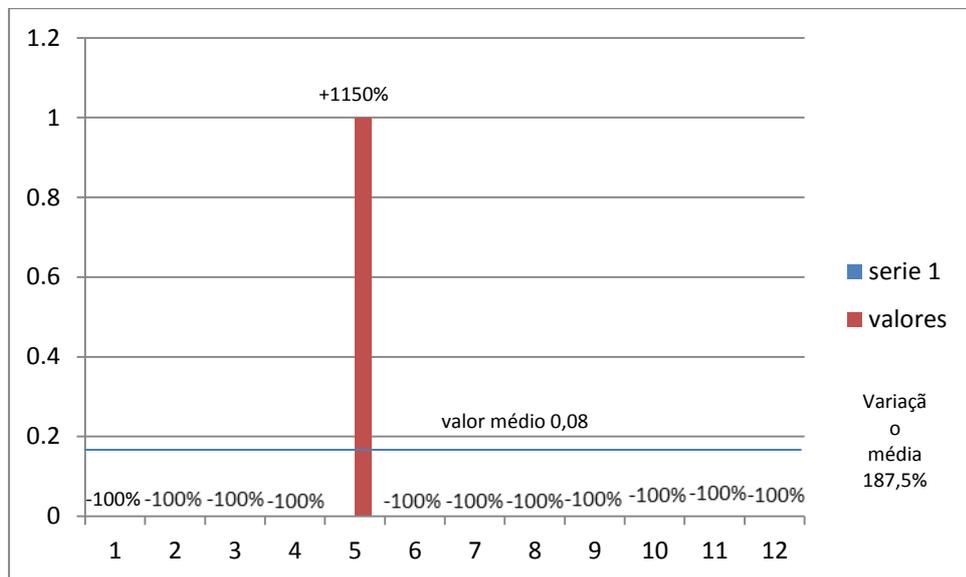


Figura 84 – variação média decorrentes da presença de estrutura metálica em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.

A seguir apresentamos o cálculo da variância do parâmetro de estrutura metálica dos projetos elaborados nos sistemas CAD genérico e no sistema BIM:

CAD: media 0; variância:  $\{(0 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - 0)^2\} / 5 = 0$

BIM: media 0,08; variância:  $\{(0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (1 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2\} / 12 = 0,08$

Ao calcular a variação de estruturas mistas por projetista obtivemos os seguintes gráficos que indicam o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro analisado:

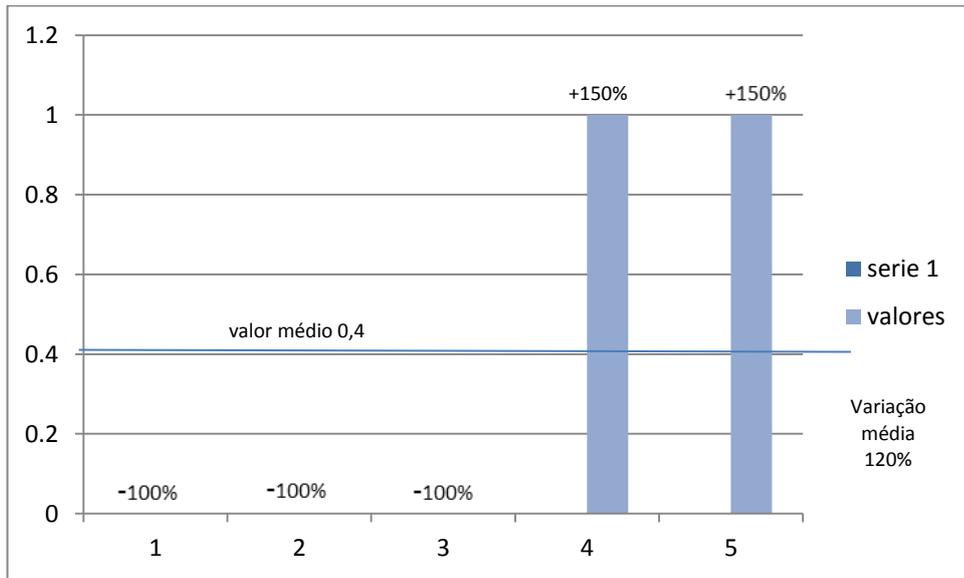


Figura 85 – variação média decorrentes da presença de estruturas mistas em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

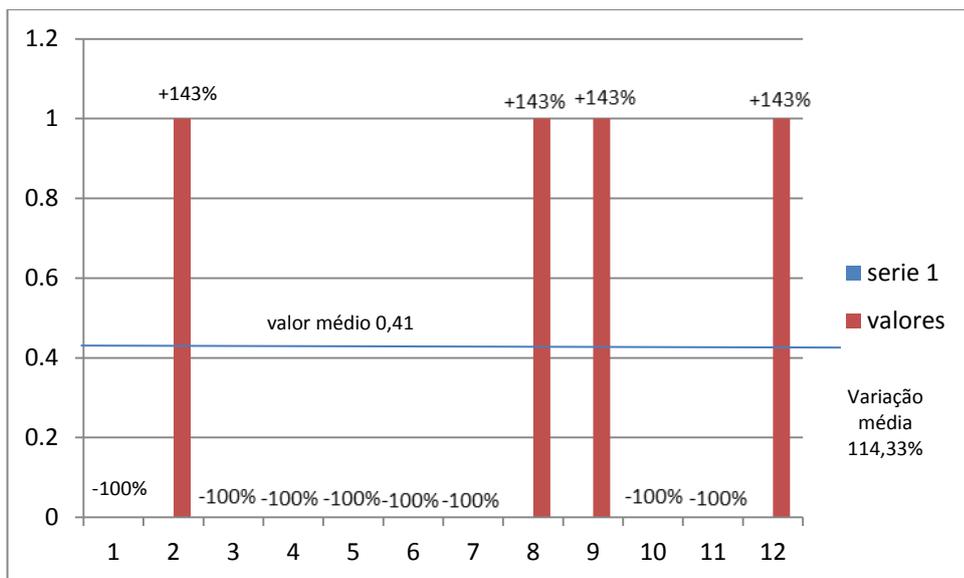


Figura 86 – variação média decorrentes da presença de estruturas mistas em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.

A seguir apresentamos o cálculo da variância do parâmetro de estruturas mistas dos projetos elaborados nos sistemas CAD genérico e no sistema BIM:

CAD: media 0,4 ; variância:  $\{(0 - 0,4)^2 + (0 - 0,4)^2 + (0 - 0,4)^2 + (1 - 0,4)^2 + (1 - 0,4)^2\} / 5 = 0,24$

BIM: media 0.33 ; variância:  $\{(0 - 0.33)^2 + (1 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (1 - 0.33)^2 + (1 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (1 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (0 - 0.33)^2 + (1 - 0.33)^2\} / 12 = 0,22$

Ao mensurar a quantidade de produtos com um pavimento único obtivemos os seguintes resultados gráficos que indicam o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro analisado:

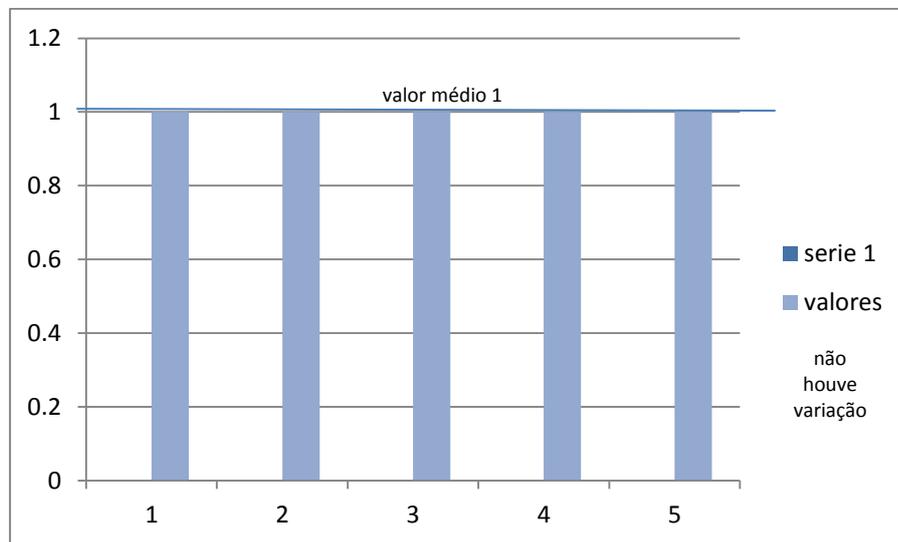


Figura 87 – variação média decorrentes da presença de um único pavimento em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

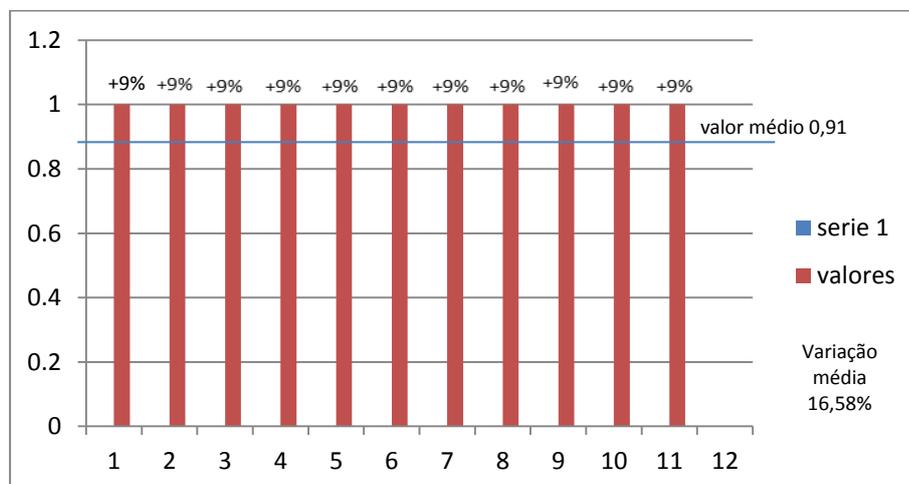


Figura 88 – variação média decorrentes da presença um único pavimento em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.

A seguir apresentamos o cálculo da variância do parâmetro presença de um único pavimento dos projetos elaborados nos sistemas CAD genérico e no sistema BIM:

CAD: media 1 ; variância:  $\{(1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2\} / 5 = 0$

BIM: media 0.91 ; variância:  $\{(1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (0 - 0.91)^2\} / 12 = 0.07$

O último parâmetro para análise de quantitativos construtivos, trata da presença de mais de um pavimento, cujos resultados são apresentados no gráfico a seguir que indica o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro analisado:

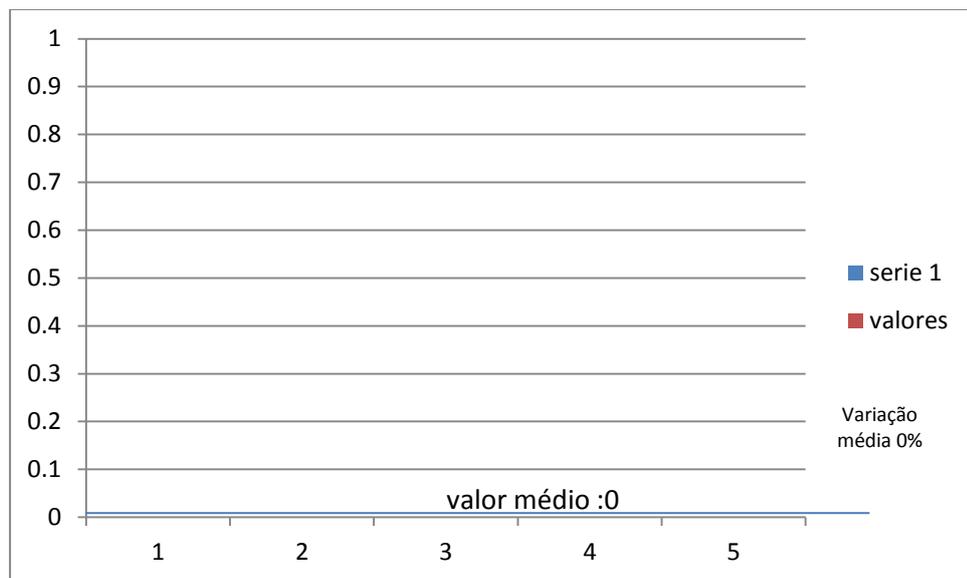


Figura 89 – variação média decorrente da presença mais de um pavimento em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

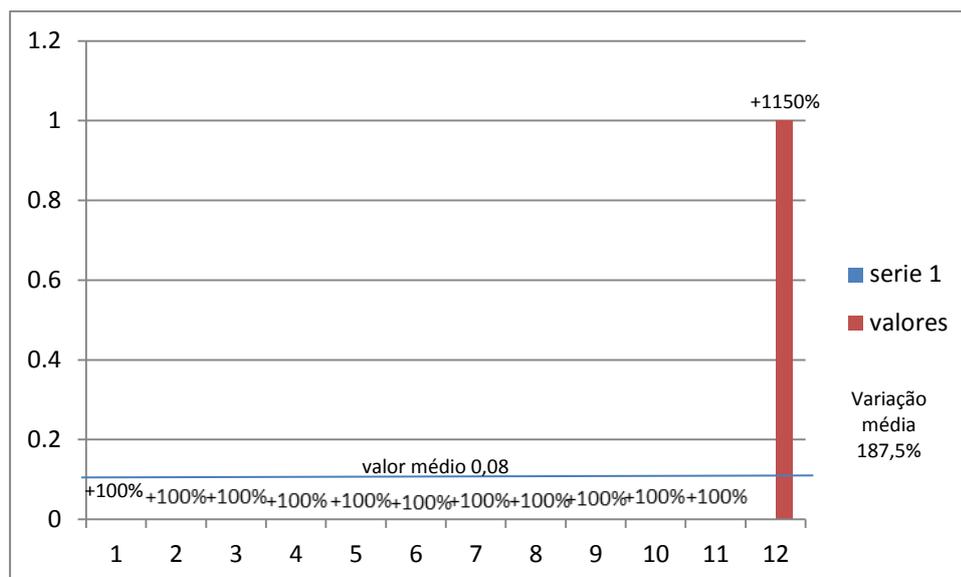


Figura 90 – variação média decorrente da presença mais de um pavimento em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.

A seguir apresentamos o cálculo da variância do parâmetro presença de mais de um pavimento dos projetos elaborados nos sistemas CAD genérico e no sistema BIM:

CAD: media 0 ; variância:  $\{(0 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - 0)^2\} / 5 = 0$

BIM: media 0,08 ; variância:  $\{(0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (1 - 0,08)^2\} / 12 = 0,08$

Na tabela abaixo podemos observar os valores relativos aos parâmetros denominados aspectos construtivos consolidados dos resultados de projetos concebidos por ambos os grupos de voluntários que trabalharam com os sistemas BIM e CAD genéricos.

**Tabela 9 Resultados Quantitativos dos Aspectos Construtivos dos projetos elaborados por ambos os sistemas**

Aspectos Construtivos	Produtos de projeto					
	CAD			BIM		
	%	Variância	média	%	Variância	média
Estrutura de Concreto	79,6	0,24	0,6	83,7	0,25	0,58
Estrutura metálicas	0	0	0	187,5	0,07	0,08
Estruturas mista	120	0,24	0,4	114,3	0,24	0,41
Um unico pavimento	0	0	1	16,58	0,07	0,91
Mais de um pavimento	0	0	0	187,5	0,07	0,08

O estudo dos parâmetros funcionais de organização espacial resultou nas na elaboração das seguintes tabelas:

**Tabela 10** Quantitativos dos Aspectos Funcionais dos projetos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

		Produtos					TOTAL
		1	2	3	4	5	
Funcionais	Organização triangular	0	0	0	0	0	0
	Organização em linha	1	1	0	0	1	3
	Organização com núcleo e ramificações	0	0	0	0	0	0
	Organização circular	0	0	1	1	0	2

**Tabela 11** Quantitativos dos Aspectos Funcionais dos projetos elaborados por meio dos sistemas BIM

		Produtos												TOTAL
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Funcionais	Organização triangular	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Organização em linha	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	7
	Organização com núcleo e ramificações	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Organização circular	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	4

Nenhum dos resultados se enquadra na categoria de organização triangular em nenhum dos projetos dos dois grupos de voluntários, resultando na remoção deste quesito. Os outros três tipos de organização têm seus gráficos de proporção e cálculos de variância reproduzidos a seguir. Inicialmente seguem os gráficos do parâmetro organizações em linha, apresentando o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro analisado:

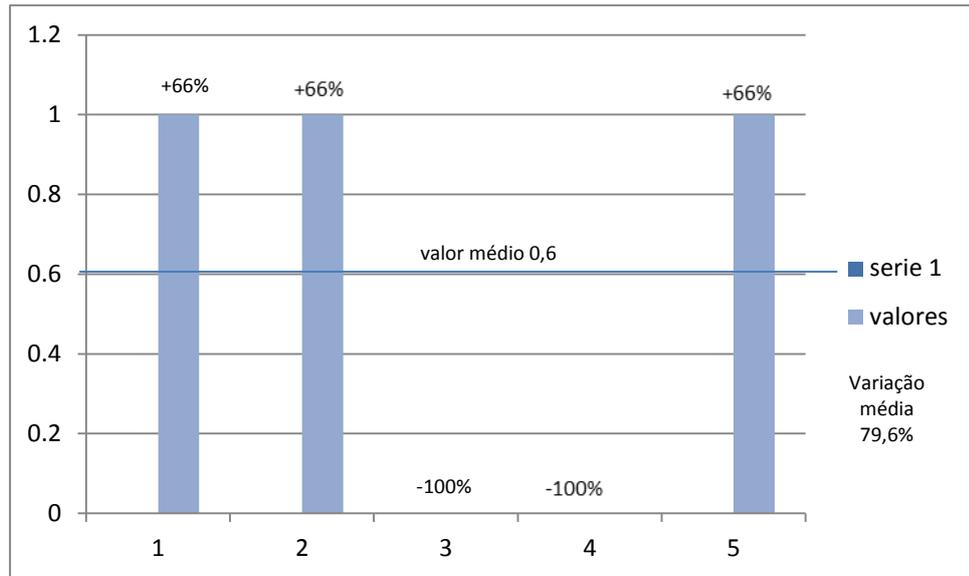


Figura 91 – variação média decorrentes da organização em linha em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

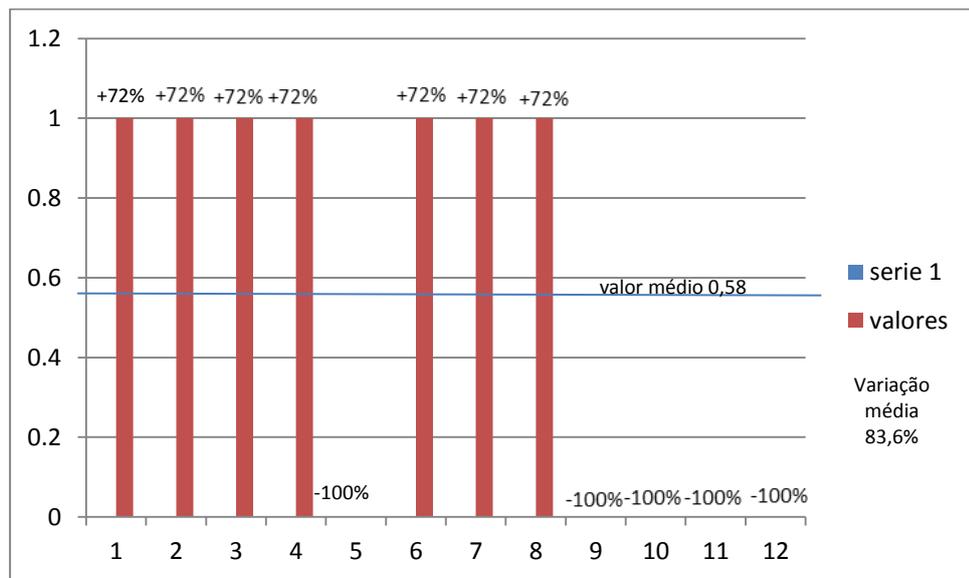


Figura 92 – variação média decorrentes da organização em linha em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.

A seguir apresentamos o cálculo da variância do parâmetro presença de organização em linha dos projetos elaborados nos sistemas CAD genérico e no sistema BIM:

CAD: media 0.6 ; variância:  $\{(1 - 0.6)^2 + (1 - 0.6)^2 + (0 - 0.6)^2 + (0 - 0.6)^2 + (1 - 0.6)^2\} / 5 = 0,24$

BIM: media 0.58 ; variância:  $\{(1 - 0.58)^2 + (1 - 0.58)^2 + (1 - 0.58)^2 + (1 - 0.58)^2 + (0 - 0.58)^2 + (1 - 0.58)^2 + (1 - 0.58)^2 + (1 - 0.58)^2 + (0 - 0.58)^2 + (0 - 0.58)^2 + (0 - 0.58)^2 + (0 - 0.58)^2\} / 12 = 0,243$

O cálculo da proporção da variação do parâmetro de organização com núcleo e ramificações foi feito da seguinte forma, apresentando o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro analisado:

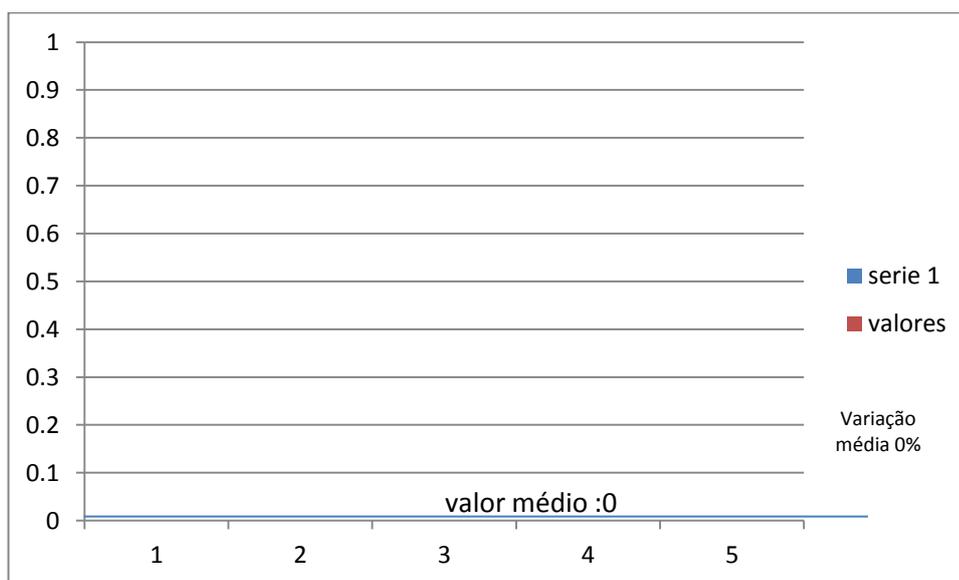


Figura 93 – variação média decorrentes da organização com núcleo e ramificações em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

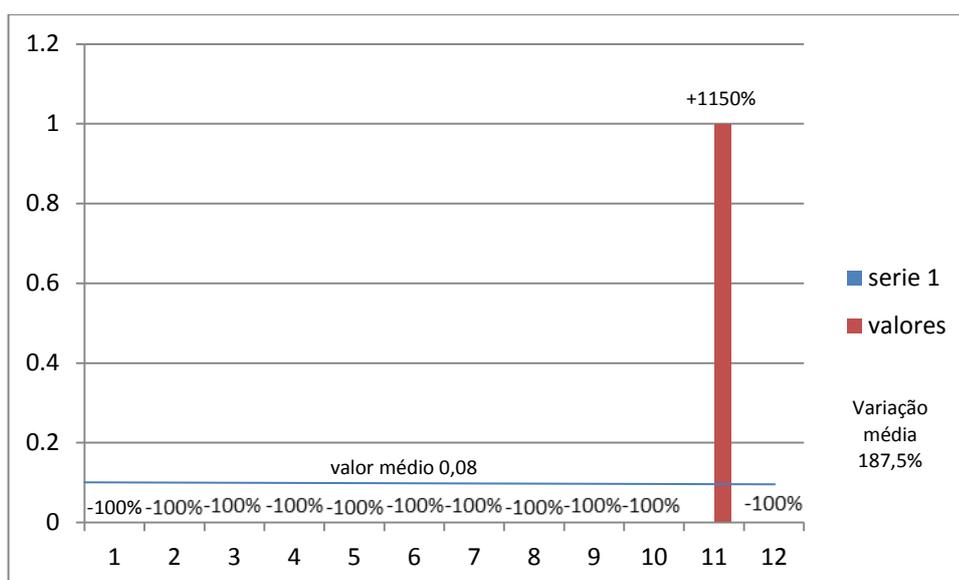


Figura 94 – variação média decorrentes da organização com núcleo e ramificações em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.

A seguir apresentamos o cálculo da variância do parâmetro organização com núcleo e ramificações dos projetos, elaborados nos sistemas CAD genérico e no sistema BIM:

CAD: media 0 ; variância:  $\{(0 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - 0)^2\} / 5 = 0$

BIM: media 0,08; variância:  $\{(0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2 + (1 - 0,08)^2 + (0 - 0,08)^2\} / 12 = 0,08$

Por fim, apresentamos os gráficos mostrando a proporção das variações dos projetos com os parâmetros formais em organização circular, indicando o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro analisado:

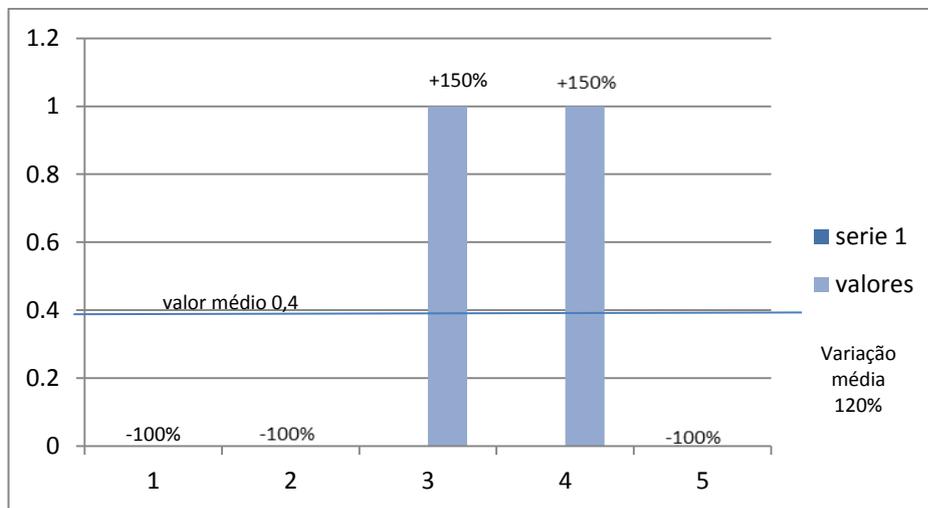


Figura 95 – variação média decorrentes da organização circular em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

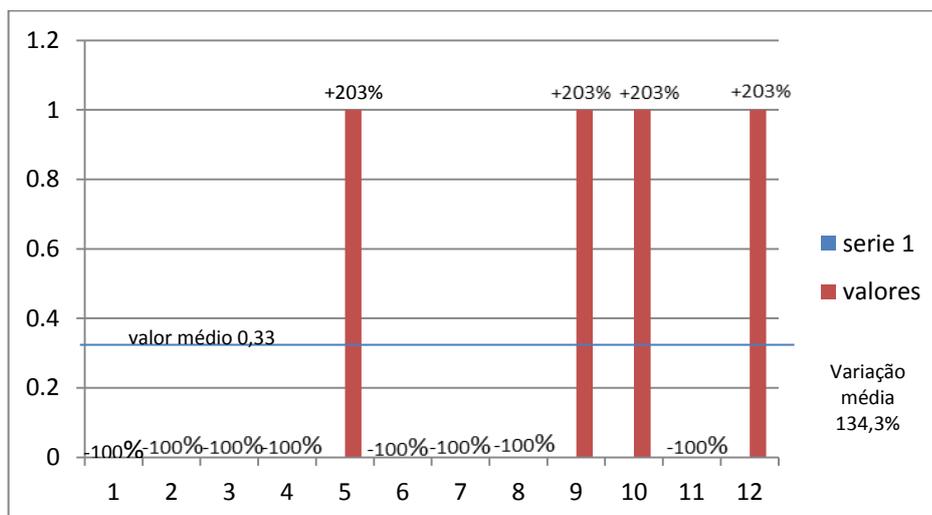


Figura 96 – variação média decorrentes da organização circular em produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.

A seguir apresentamos o cálculo da variância do parâmetro organização circular dos projetos, elaborados nos sistemas CAD genérico e no sistema BIM:

CAD: media 0,4; variância:  $\{(0 - 0,4)^2 + (0 - 0,4)^2 + (1 - 0,4)^2 + (1 - 0,4)^2 + (0 - 0,4)^2 / 5 = 0,24$

BIM media 0,33; variância:  $\{(0 - 0,33)^2 + (0 - 0,33)^2 + (0 - 0,33)^2 + (0 - 0,33)^2 + (1 - 0,33)^2 + (0 - 0,33)^2 + (0 - 0,33)^2 + (0 - 0,33)^2 + (1 - 0,33)^2 + (1 - 0,33)^2 + (0 - 0,33)^2 + (1 - 0,33)^2 / 12 = 0,22$

Na tabela abaixo podemos observar os valores relativos aos parâmetros denominados aspectos funcionais consolidados dos resultados de projetos concebidos por ambos os grupos de voluntários que trabalharam com os sistemas BIM e CAD genéricos.

**Tabela 12 Resultados Quantitativos dos Aspectos Funcionais dos projetos elaborados por ambos os sistemas**

Aspectos Funcionais	Produtos de projeto					
	CAD			BIM		
	%	Variância	média	%	Variância	média
Organização em linha	79.6	0.24	0,6	83.6	0.243	0,58
Organização com núcleo e ramificações	0	0	0	187.5	0.08	0,08
Organização circular	0	0	0,4	16.58	0.07	0,33

No tocante a compilação dos parâmetros ambientais presentes nos projetos dos dois grupos de voluntários que participaram do experimento, foram obtidos os seguintes resultados:

**Tabela 13 Quantitativos dos Aspectos Ambientais dos projetos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos**

		Produtos					TOTAL
		1	2	3	4	5	
Ambientais	Presença de brises	0	0	0	0	0	0
	Aberturas orientadas para o norte	1	1	1	1	1	5
	Aberturas orientadas para o sul	1	1	1	1	1	5
	Aberturas orientadas para o leste	0	0	1	1	1	3
	Aberturas orientadas para o oeste	1	0	1	1	1	4
	Iluminação natural em todos os ambientes	1	1	1	1	0	4

Brise = anteparo, normalmente de palhetas colocado na parte externa de um edifício a fim de proteger as janelas da incidência direta da luz solar.

**Tabela 14** Quantitativos dos Aspectos Ambientais dos projetos elaborados por meio dos sistemas BIM

		Produtos												TOTAL
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ambientais	Presença de brises	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
	Aberturas orientadas para o norte	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	Aberturas orientadas para o sul	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	Aberturas orientadas para o leste	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11
	Aberturas orientadas para o oeste	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	7
	Iluminação natural em todo os ambientes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12

No tocante a presença de *brises* nos projetos do experimento temos os seguintes gráficos de proporção da variação de soluções, indicando o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro analisado:

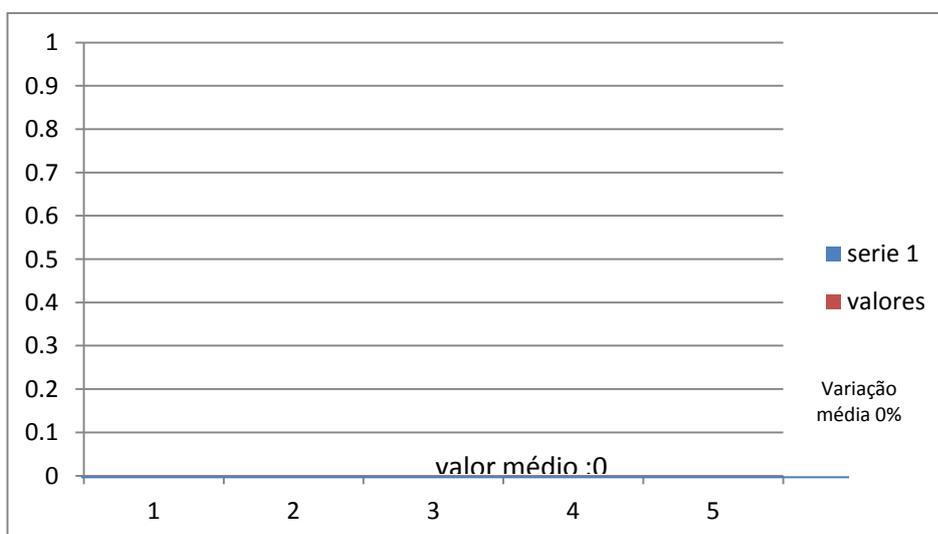


Figura 97 – variação média decorrentes da presença de brises elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

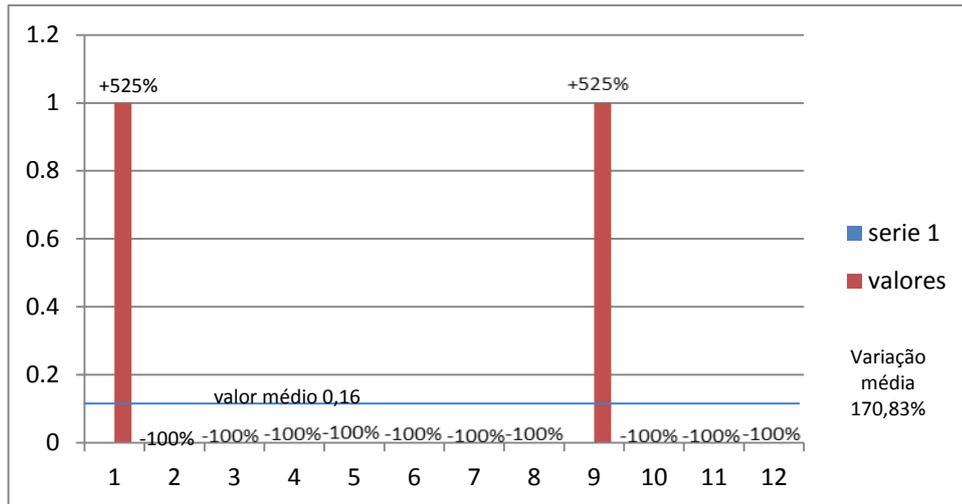


Figura 98 – variação média decorrentes da presença de brises elaborados por meio dos sistemas BIM.

A seguir apresentamos o cálculo da variância do parâmetro presença de brises dos projetos, elaborados nos sistemas CAD genérico e no sistema BIM:

CAD: media 0 ; variância:  $\{(0 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - 0)^2\} / 5 = 0$

BIM media 0,16 ; variância:  $\{(1 - 0,16)^2 + (0 - 0,16)^2 + (0 - 0,16)^2 + (0 - 0,16)^2 + (0 - 0,16)^2 + (0 - 0,16)^2 + (0 - 0,16)^2 + (0 - 0,16)^2 + (1 - 0,16)^2 + (0 - 0,16)^2 + (0 - 0,16)^2 + (0 - 0,16)^2\} / 12 = 0,139$

Apresentamos a seguir os gráficos de proporção do parâmetro de aberturas orientadas para o norte, indicando o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro analisado:

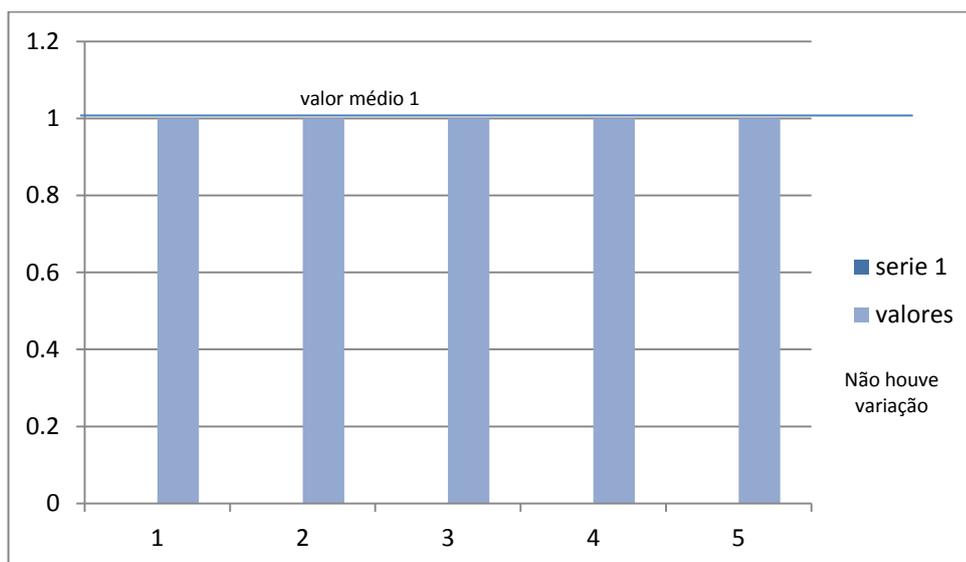


Figura 99 – variação média decorrentes das aberturas orientadas para o norte em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

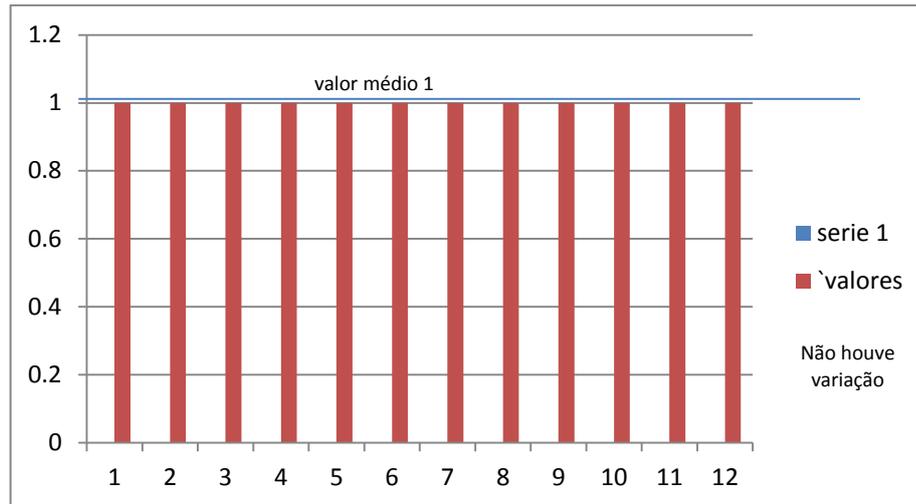


Figura 100 – variação média decorrentes da presença aberturas orientadas para o norte elaborados por meio dos sistemas BIM.

Como não houve variação de valores quanto a presença de aberturas orientadas para o norte, o resultado do cálculo de variância é zero como podemos demonstrar a seguir:

CAD: media 1; variância:  $\{(1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 / 5 = 0$

BIM media 1 ; variância:  $\{(1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 / 12 = 0$

No tocante variação do parâmetro de aberturas orientadas para o sul, apresentamos a seguir os gráficos de proporção da variação de soluções, indicando o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro analisado:

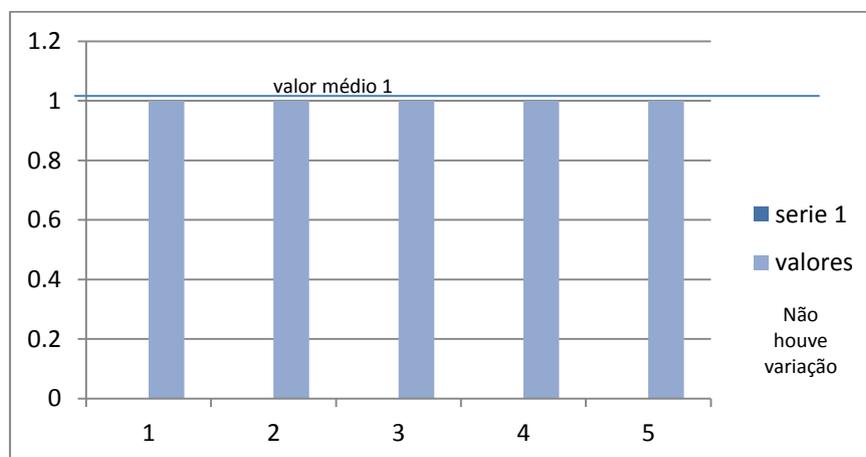


Figura 101 – variação média decorrentes das aberturas orientadas para o sul em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

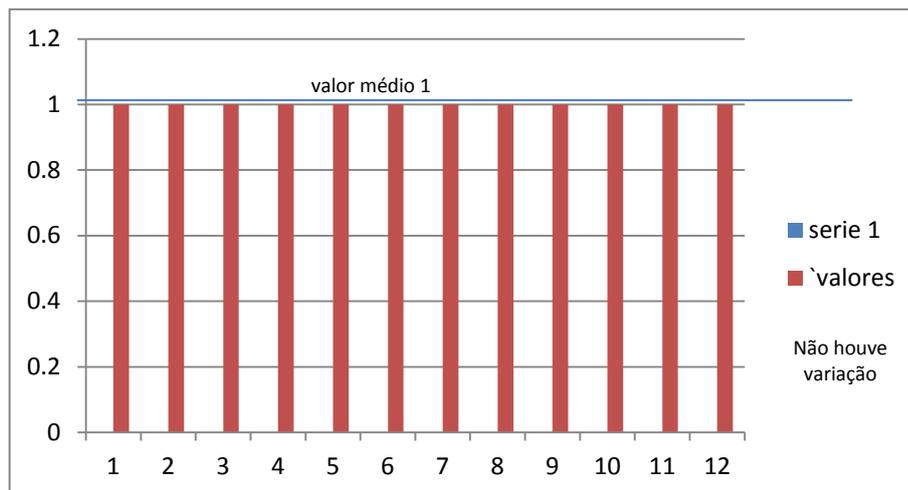


Figura 102 – variação média decorrentes da presença aberturas orientadas para o sul elaborados por meio dos sistemas BIM.

Neste parâmetro, presença de aberturas orientadas para o sul, também não houve variação de valores, desta forma o resultado do cálculo de variância é zero, como podemos demonstrar a seguir:

CAD: media 1; variância:  $\{(1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2\} / 5 = 0$

BIM media 1 ; variância:  $\{(1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2\} / 12 = 0$

O parâmetro de quantitativos da presença de aberturas orientadas para o leste tem a variação percentual apresentada nos gráficos a seguir, indicando o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro analisado:

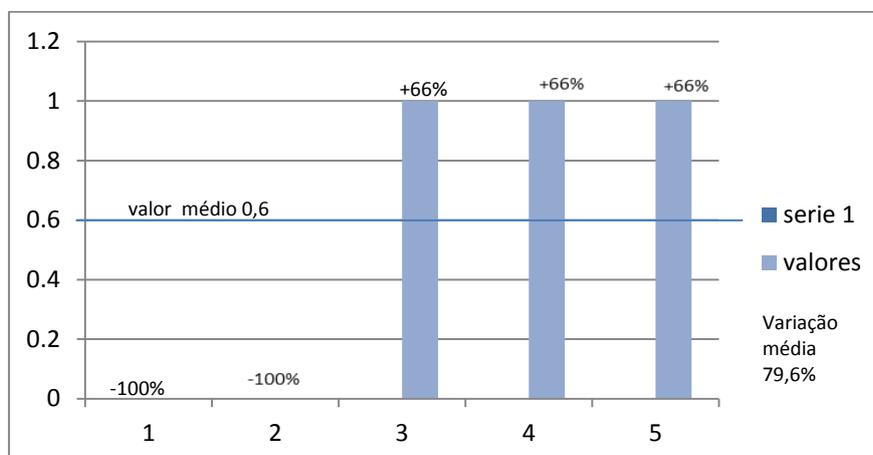


Figura 103 – variação média decorrentes das aberturas orientadas para o leste em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.

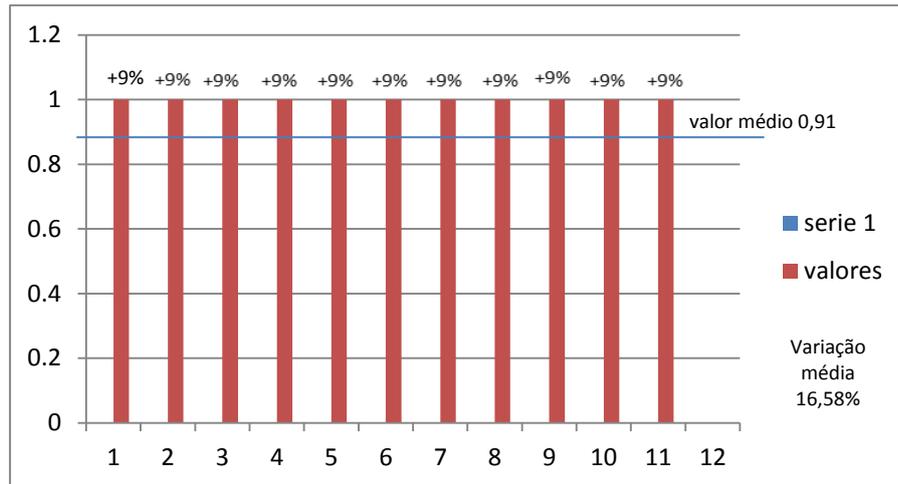


Figura 104 – variação média decorrentes da presença aberturas orientadas para o leste elaborados por meio dos sistemas BIM.

A seguir apresentamos o cálculo da variância do parâmetro aberturas orientadas para o leste, elaborados nos sistemas CAD genérico e no sistema BIM:

CAD: media 0.6 ; variância:  $\{(0 - 0.6)^2 + (0 - 0.6)^2 + (1 - 0.6)^2 + (1 - 0.6)^2 + (1 - 0.6)^2\} / 5 = 0,24$

BIM: media 0.91 ; variância:  $\{(1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (1 - 0.91)^2 + (0 - 0.91)^2\} / 12 = 0.07$

O parâmetro de quantitativos da presença de aberturas orientadas para o oeste tem a variação percentual apresentada nos gráficos a seguir, indicando o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro:

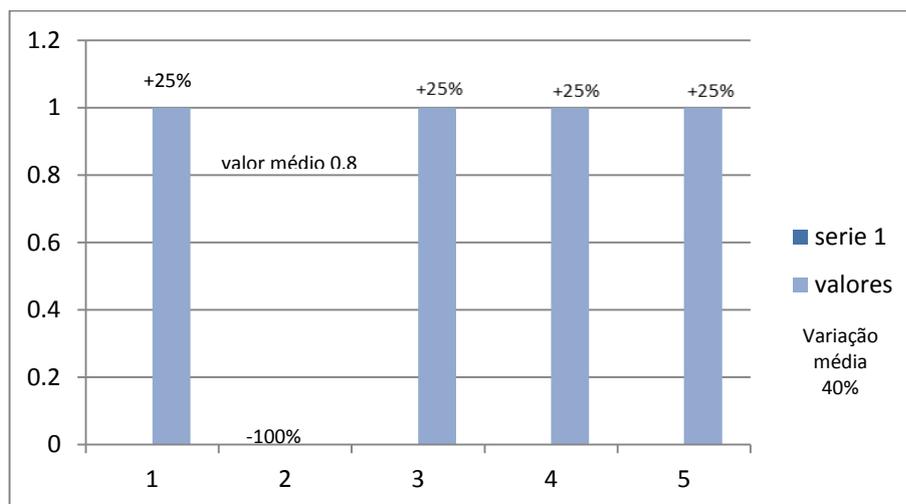


Figura 105 – variação média decorrentes das aberturas orientadas para o oeste em produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos

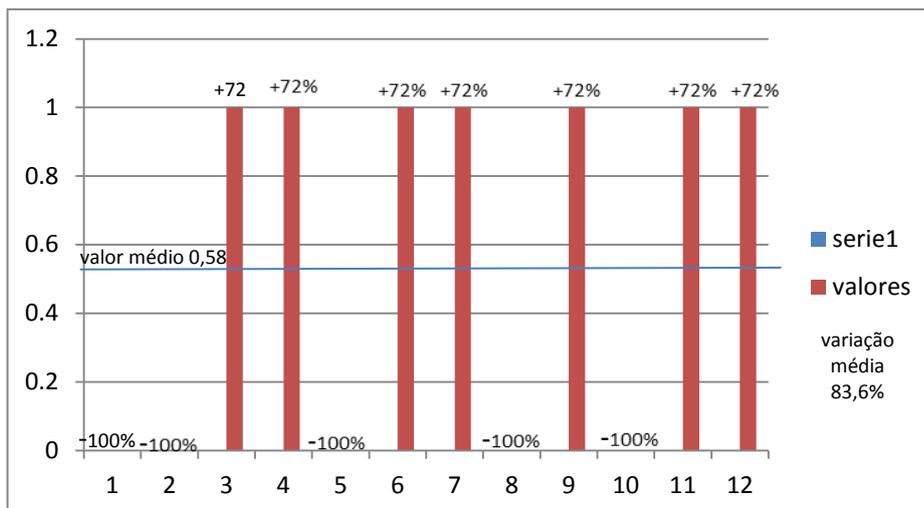


Figura 106 – variação média decorrentes da presença aberturas orientadas para o oeste elaborados por meio dos sistemas BIM.

A seguir apresentamos o cálculo da variância do parâmetro aberturas orientadas para o oeste, elaborados nos sistemas CAD genérico e no sistema BIM:

CAD: media 0.8 ; variância:  $\{(1 - 0.8)^2 + (0 - 0.8)^2 + (1 - 0.8)^2 + (1 - 0.8)^2 + (1 - 0.8)^2\} / 5 = 0,16$

BIM: media 0.58 ; variância:  $\{(0 - 0.58)^2 + (0 - 0.58)^2 + (1 - 0.58)^2 + (1 - 0.58)^2 + (0 - 0.58)^2 + (1 - 0.58)^2 + (1 - 0.58)^2 + (0 - 0.58)^2 + (1 - 0.58)^2 + (0 - 0.58)^2 + (1 - 0.58)^2 + (1 - 0.58)^2\} / 12 = 0,24$

Por fim, os gráficos de proporção dos parâmetros ambientais em iluminação em todos os ambientes são apresentados a seguir, indicando o valor médio, a variação individual de cada produto e o percentual de variação média do parâmetro:

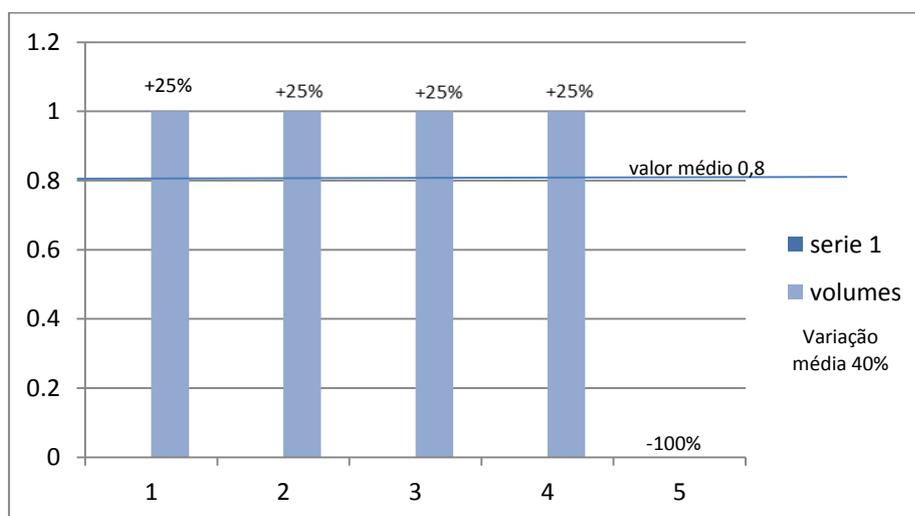


Figura 107 – variação média decorrentes das presença de iluminação natural em todos os ambientes produtos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos

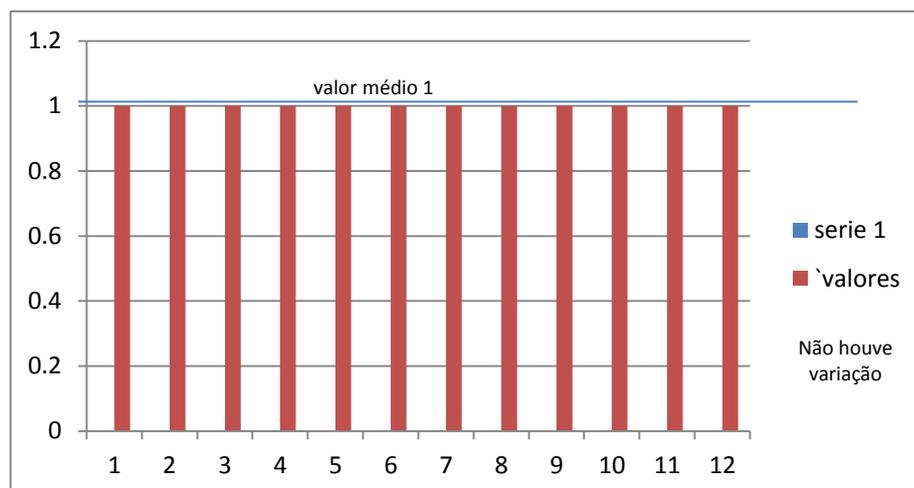


Figura 108 – variação média decorrentes da presença de iluminação natural em todos os ambientes produtos elaborados por meio dos sistemas BIM.

A seguir apresentamos o cálculo da variância do parâmetro iluminação natural em todos os ambientes, elaborados nos sistemas CAD genérico e no sistema BIM:

CAD: media 0.8 ; variância:  $\{(1 - 0.8)^2 + (1 - 0.8)^2 + (1 - 0.8)^2 + (1 - 0.8)^2 + (0 - 0.8)^2\} / 5 = 0,16$

BIM: media 1 ; variância:  $\{(1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2\} / 12 = 0$

Na tabela abaixo podemos observar os valores relativos aos parâmetros denominados aspectos ambientais consolidados dos resultados de projetos concebidos por ambos os grupos de voluntários que trabalharam com os sistemas BIM e CAD genéricos.

**Tabela 15 Resultados Quantitativos dos Aspectos Ambientais dos projetos elaborados por ambos os sistemas**

Aspectos Ambientais	Produtos de projeto					
	CAD			BIM		
	%	Variância	média	%	Variância	média
Presença de brises	0	0	0	170.83	0.139	0,16
Aberturas orientadas para o norte	0	0	1	0	0	1
Aberturas orientadas para o sul	0	0	1	0	0	1
Aberturas orientadas para o leste	79.6	0.24	0,6	16.58	0.07	0,24
Aberturas orientadas para o oeste	40	0.16	0,6	83.6	0.24	0,16
Iluminação natural em todos os ambientes	40	0.16	0,8	0	0	1

## CONCLUSÃO

Conforme foi apresentado no início desta Dissertação, é importante reafirmar que a hipótese de trabalho é de que o uso dos sistemas BIM pode gerar resultados diversificados, como ferramenta de concepção de projeto, para atender um mesmo programa de necessidades, incluindo os condicionantes, características naturais do terreno, áreas, partido, fluxo, materiais de construção, etc. Considerando os resultados obtidos, acreditamos que os mesmos sugerem que o projeto concebido por meio do uso dos sistemas BIM, ao invés de reduzir a variedade de soluções, permite, aumentar a quantidade de variações de soluções.

Através da compilação e análise dos dados obtidos, tabelas, gráficos de proporção de variação e cálculo de variância dos parâmetros dos aspectos formais, construtivos, funcionais e ambientais, pôde-se observar uma variedade maior de soluções no grupo de projetos elaborados por meio dos sistemas BIM. Além disto, a quantidade de produtos elaborados para satisfazer a mesma tarefa de projeto, com o mesmo programa de necessidades, no mesmo terreno, com a mesma quantidade de projetistas com o mesmo nível de formação profissional e tempo de experiência e no mesmo espaço de tempo foi consideravelmente maior no sistema BIM (Revit) (12 produtos) do que nos sistemas CAD genéricos (5 produtos). A diferença foi de 140% a mais na quantidade de produtos elaborados no sistema BIM escolhido do que nos sistemas CAD genéricos.

No que se refere ao grupo de parâmetros denominados aspectos formais dos projetos elaborados no experimento, verifica-se que os resultados obtidos por meio do sistema BIM apresentaram uma variância maior do que nos sistemas CAD genéricos. Constata-se maior variância no sistema BIM em relação a dois dos três parâmetros deste grupo, isto é, maior quantidade de superfícies curvas em uma direção e maior quantidade de superfícies curvas em mais de uma direção.

Constata-se ainda que nos projetos elaborados no sistema BIM a existência de um número maior de elementos não padronizados e não ortogonais do que nos sistemas CAD genéricos. Deve-se enfatizar a presença de curvas em mais de uma direção apenas nos projetos concebidos no sistema BIM.

Considerando o grupo de cinco parâmetros dos aspectos construtivos observamos que quatro deles apresentaram variâncias maiores por meio do sistema BIM, isto é, estruturas metálicas, estruturas de concreto, presença de um único pavimento e de mais de um

pavimento. Por outro lado, a variância foi igual para os sistemas BIM e CAD genéricos em estruturas mistas.

Após verificar as variâncias da tabela de parâmetros funcionais percebemos que os projetos elaborados por meio de CAD genéricos foram maiores no sistema BIM no parâmetro organizações circulares. Contudo houve empate na variância do parâmetro organização em linha. No tocante ao parâmetro organização com núcleo e ramificações, os projetos elaborados no sistema BIM obtiveram variância maior.

Observando os resultados do grupo de parâmetros ambientais constatamos que a variância dos projetos concebidos por meio do sistema BIM em relação a presença de *brises* é maior. No tocante ao cálculo de variância obtidos em relação a orientação de aberturas direcionadas para o norte e para o sul, constatamos que os projetos de ambos os grupos resultaram em variância zero, pois todos os projetos tem aberturas para estas duas direções. Em contrapartida, analisando os resultados dos cálculos provenientes da variância dos parâmetros aberturas orientadas para leste, constata-se que os projetos elaborados por meio de CAD genéricos apresentaram variância maior, enquanto que aberturas orientadas para oeste tiveram variância maior em projetos concebidos por meio do sistema BIM.

No tocante ao parâmetro iluminação natural em todos os ambientes percebe-se que os sistemas CAD genéricos apresentaram variância nesse aspecto enquanto os sistemas BIM resultou em variância zero. Isto ocorreu devido a ausência de iluminação natural em um cômodo de um dos produtos provenientes dos sistemas CAD genéricos.

A variedade de soluções de projeto foi maior na grande maioria de parâmetros elaborados no sistema BIM em contraste com os sistemas CAD genéricos. Portanto, este trabalho sugere que a crença de que os sistemas BIM induzem a repetitividade e inibem a variabilidade não subsiste. Assim sendo, considerando-se os resultados obtidos em termos de variância, o presente estudo sugere que a hipótese desta Dissertação é promissora, no sentido de que os sistemas BIM ao invés de reduzirem a variedade de soluções, permitem aumentar a quantidade de variações das mesmas.

Pesquisas futuras poderiam envolver um número maior de parâmetros e voluntários no sentido de verificar se os resultados de variedade de soluções obtidos nesta Dissertação podem ser confirmados ou aumentados a longo prazo. Uma vez confirmada maior variedade de soluções de projeto por meio dos sistemas BIM, poderiam ser estudadas suas

repercussões no ensino de arquitetura indicando as vantagens de introduzi-los mais cedo nos currículos dos cursos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, Christopher. **A City is not a tree**, in Design, 1965.

ALEXANDER, Christopher. **Notes on the synthesis of form**, Harvard University Press, Cambridge-MA, EUA, 1964.

ALEXANDER, Christopher. **The Nature of Order: An Essay on the Art of Building and The Nature of The Universe**. Taylor & Francis, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10719. Apresentação de relatórios técnicos- científicos. Rio de Janeiro, 1989. 17 f.

\_\_\_\_\_. NBR 6023; informações e documento: referências: elaboração. Rio de Janeiro , 2002.

\_\_\_\_\_. NBR 6024;numeração progressiva das seções de um documento: procedimentos. Rio de Janeiro , 2002.

BLOOMER, K; MOORE, C. **Body, memory and architecture**. New Haven: Yale University, 1997.

BURRY, Mark. **“Between intuition and process: parametric design and rapid prototyping”**, in Kolarevic, Taylor&Francis Group: New York, 2003.

CABRAL, Álvaro. **Dicionário técnico de psicologia**. 14.ed.São Paulo: Cultrix, 2006.

CAIXETA, Luciano Mendes. 2007. **O computador como ferramenta de auxílio ao processo de aprendizagem e o atual uso das ferramentas digitais pelos arquitetos**. 127f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília,2007.

CELANI, Gabriela. **CAD criativo**. São Paulo: Campus, 2003.

CHING, Francis D. K. **Dicionário Visual de Arquitetura**. Martins Fontes,São Paulo,1999.

CROSS et al, **Analysing Design Activity**. John Wiley & Sons Ltd, Baffins Lane, Inglaterra, 1996

DÜLGEROGLU, Y. **Design methods theory and its implications for architectural studies. Design methods: theories, research, education and practice**. California: Design Methods Institute, v.33, n. 3, 1999.

- DUNN, Nick. **Maquetas de arquitetura: médios, tipos e aplicação**. Barcelona: Blume, 2010.
- EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook – A Guide to Building Information Modeling**. John Wiley & Sons, New Jersey, 2008.
- FARRELLY, Lorraine. **Técnicas de Representación: Fundamentos de Arquitectura**. Promopress, 2008.
- GOMES, Frederico P. **Curso de estatística experimental**. 9 edição. Editora Universidade de São Paulo, São Paulo. 1981.
- GUCCIONE, Margherita. **Zaha Hadid**. 1. ed. São Paulo: Folha de S.Paulo, 2011.
- HEARN, M. F. **Ideas that shaped buildings**. Cambridge, MA: The MIT Press, 2003.
- IEZII, Gelson; DOLCE, Osvaldo; DEGENSZAJN, David; PÉRIGO, Roberto. **Matemática**. Atual Editora, São Paulo, 2002.
- JAEGER, Richard. **Statistics: A Spectator Sport**, Sage Publications, Londres, 1990
- JERNIGAN, Finith. **Big BimLittle Bim**. Site Press, Salisbury, MD, USA, 2007.
- JONES, J. C. **Design methods: seeds of human factures**. New York: John Wiley, 1970.
- JUSTI, Alexander Rodrigues. **RevitArchitecture 2010**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda., 2010.
- JUTLA, R. **An inquiry into design methods. Design methods: theories, research, education and practice**, California: Design Methods Institute, v.30, n. 1, 1996.
- KALISPERIS, Loukas. **CAD in Education: PennStateUniversity**. In ACADIA Quarterly, vol. 15, number 3, 1996.
- KNOLL, Wolfgang; HECHINGER, Martin. **Maquetes arquitetônicas**. São Paulo: Martins Fontes, 2003.
- KOLAREVIC, Branko. **Architecture in the Digital Age**. Design and Manufacturing. Taylor&Francis Group: New York, 2003.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; LABAKI, L. O projeto arquitetônico e o conforto ambiental: necessidade de uma metodologia. In: ENTAC – ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo, **Anais...**, 1993. v. 2. p. 785-794.
- KOUTAMANIS, Alexander. **A Biased History of CAAD: The bibliographic version**, 2005.
- LAWSON, B, **Design in Mind**, Architectural Press, Oxford, 1997.

LAWSON, B. **How designers think: the design process demystified**. Oxford, UK: Architectural Press, 1997.

LEONI, Giovanni. **Norman Foster**. 1. ED. São Paulo: Folha de S.Paulo, 2011.

LIMA, Claudia Campos Netto Alves de. **Autodesk RevitArchitecture 2011: Conceitos e Aplicações**. 1ed. São Paulo: Erica, 2010.

LOGAN, Brian S. **The Structure of Design Problems**. University of Strathclyde, Glasgow, Reino Unido, 1987.

LYN, F; DULANEY, **A Case for Drawing**, in ARCC Journal, Volume 6 Issue 1, Philadelphia, USA, 2009, p. 23-24.

MARIBONDO, Juscelino de Farias. **Ferramenta de apoio à fase do projeto conceitual: Síntese funcional de sistemas modulares**. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2000, Natal-RN. CONEM 2000, 2000.

MARK et al, **A perspective on Computer Aided Design after Four Decades**, 2008.

MARQUES, Sônia.(Org.). **Projetar: desafios e conquistas da pesquisa e do ensino de projeto**. Editora virtual científica, 2003.

MARTINS, Paola C. F. **A interoperabilidade entre sistemas BIM e simulação ambiental computacional: estudo de caso**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

MITCHELL, William J. **A Lógica da Arquitetura**, traduzido por Gabriela Celaine, 2008, Editora da UNICAMP

Mitchell, William. **"Representation"**, in F Lentricchia & T McLaughlin (eds), *Critical Terms for Literary Study*, 2a edição, University of Chicago Press, Chicago. 1995.

MUSTOE, Julian. **"Artificial intelligence and its application in architectural design"**. Tese de doutorado. University of Strathclyde, Glasgow, Reino Unido, 1990.

OLIVEIRA, R. Castro de. 1992. **Conhecimento e projeto: o conceito de imitação como fundamento de um paradigma didático da arquitetura**. Porto Alegre, RS. Dissertação de mestrado em Educação. Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PIPES, Alan. **Desenho para designers: Habilidade de desenho, esboços de conceito, design auxiliado por computador, ilustração...**/ Alan Pipes; tradução Marcelo A. Alves- São Paulo: Editora Blucher, 2010.

RASMUSSEN, Steen Eiler, **Experiencing Architecture, 2nd Edition**, United States, Twenty-eight printing, 2000.

- ROBBINS, Edward. **Why architects draw**. MIT Press, Cambridge. Massachusetts, EUA, 1997.
- ROONEY, J.; STEADMAN, P. **Principles of Computer-Aided Design**. Prentice Hall, 1987.
- ROSSO, T. **Racionalização da construção**. São Paulo: FAUUSP, 1980.
- ROWE, P. G. **Design thinking**. Cambridge, MA: The MIT Press, 1992.
- SCHODEK, D.; BECHTHOLD, M.; GRIGGS, K.; KAO, K. M. & STEINBERG, M.; “**Digital Design and Manufacturing – CAD/CAM Applications in Architecture and Design**”, Editora John Wiley & Sons, New Jersey, 2005.
- SIMON, Herbert. **The Sciences of the Artificial**, MIT Press, Cambridge-MA, EUA, 1969.
- SKETCHES OF FRANK GEHRY. Direção: Sydney Pollack. Produção: Sydney Pollack. Nova York, SONY Pictures, 2005. (86 min).
- SUERMANN, Patrick C. **Evaluating the impact of Building Information Modeling (BIM) on Construction**. Tese de Doutorado. University of Florida, Florida, 2009.
- SUTHERLAND, I. Sketchpad: a man machine graphical communication system. University of Cambridge. Computer Laboratory. United Kingdom, 2003.
- UNIVERSIDADE DE FRANCA. Coordenadoria de Iniciação Científica. Manual de trabalhos acadêmicos: graduação. Franca, 2001.
- VERGARA, Sylvia Constant, Métodos de pesquisa em administração. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- \_\_\_\_\_, **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- VITRÚVIUS, Pollio, **Tratado de Arquitetura**/Vitruvius; tradução: M. Justino Maciel. São Paulo: Martins, 2007.
- VITRUVIUS, The Ten Books on Architecture, traduzido por Morris Hicky Morgan, Dover Publications, New York, 1960.
- ZEVI, B. **Saber Ver a Arquitetura**. 5. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTERNET

ABECE. BIM. Um Novo Paradigma. Disponível em: <[http://www.abec.com.br/web/download/pdf/enece2009/ABRAM\\_12\\_ENECE\\_3.pdf](http://www.abec.com.br/web/download/pdf/enece2009/ABRAM_12_ENECE_3.pdf)> Acesso em: 07 dez. 2012.

ABSTRACT-ART. Disponível em <[http://www.abstract-art.com/abstract\\_illusionism/ai\\_03\\_put\\_into\\_persp.html](http://www.abstract-art.com/abstract_illusionism/ai_03_put_into_persp.html)>. Acesso em 04/01/2011.

ACHODIGNO. Disponível em < <http://achodigno.com.br/blog/?tag=norman-foster>>. Acesso em 16/02/2012.

ALEPHNAUGHT. Disponível em <<http://www.alephnaught.com/Travel/Paris2007/ChartresModelText.html>> Acesso em 03/01/2012.

ANTONIASANTAMARIA.BLOGSPOT. Disponível em <[http://antoniasantamaria.blogspot.com/2010\\_12\\_01\\_archive.html](http://antoniasantamaria.blogspot.com/2010_12_01_archive.html)>. Acesso em: 03/01/ 2012.

ARCH.MCGILL. Disponível em <<http://www.arch.mcgill.ca/prof/sijpk/arch374/winter2001/sfarfa/ensayo1.htm>>. Acesso em: 03/01/2012.

ARCSPACE. Disponível em <<http://www.arcspace.com/architects/foster/elephant2/elephant2.html>> Figura 42 – Esboço de Zaha Hadid. Acesso 18/12/2012.

ARQUITETONICO.UFSC. Disponível em < <http://www.arquitetonico.ufsc.br/frank-owen-gehry>> acesso em 13/12/2012.

ART-ANTIQUITES. Disponível em <<http://www.art-antiquites.eu/documentation1/napoleon.html>>. Acesso em: 03/01/2012.

BASTOS. Disponível em < <http://professorabeatrizbastos.blogspot.com/>> acesso em: 12/02/2012.

BLOG.MCSX. Disponível em <<http://blog.mcsx.net/projetos-plantas-de-casas-para-download>>. Acesso em: 01/01/2012.

BRAIDA. Disponível em <[http://www.ufjf.br/maquetes/files/2011/02/UFJF\\_DISCIPLINAS\\_MAQUETE\\_20111\\_AULA02a\\_Hist%C3%B3ria-das-maquetes\\_v00.pdf](http://www.ufjf.br/maquetes/files/2011/02/UFJF_DISCIPLINAS_MAQUETE_20111_AULA02a_Hist%C3%B3ria-das-maquetes_v00.pdf)>. Acesso em: 12/02/2012

BRANDÃO. Disponível em < <http://scmaquete.blogspot.com/2010/04/predios-residenciais-em-belem-marko-e.html>> acesso em: 12/02/2012.

CAD CRONOLOGY. CAD History. Disponível em: <<http://mbinfo.mbdesign.net/CAD1970.htm>>. Acesso em: 8/12/. 2011.

CAD HISTORY, Disponível em [www.mbdesign.net/mbinfo/CAD-history.htm](http://www.mbdesign.net/mbinfo/CAD-history.htm). Acesso em: 10 dez. 2012.

CONSTRUÇÃO MERCADO. Disponível em <http://revista.construcaomercado.com.br/negociosincorporacaoconstrucao/112/artigo190520-1.asp>>. Acesso em: 13/02/2012.

COUNTERLIGHTSRANTSANDBLATHER1. Disponível em <http://counterlightsrantsandblather1.blogspot.com/2009/11/renaissance-saint-peters-michelangelo.html> acesso em: 12/02/2012.

CORE. Disponível em <http://www.core.form-ula.com/2007/11/05/parametric-woven-surface>>. Acesso em 08/01/2012.

DESIGNBOOM. Disponível em <http://www.designboom.com/weblog/cat/9/view/8825/frank-gehry-city-of-wine-complex-marques-de-riscal-hotel.html>>. Acesso: 02/02/2012.

DESIGN FUN. Disponível em <http://designfun.net/designfun/node/20741>>. Acesso em 08/01/2012.

EDIFICANDO ONLINE.BLOGSPOT. Disponível em <http://edificandoonline.blogspot.com/2011/03/museu-guggenheim-bilbao.html>> acesso em 05/01/2012.

EUPALINA. Disponível em <http://www.eupalina.com/pt/paginas/sillafloorigami.htm>> acesso em: 12/02/2012.

FARM4. Disponível em [http://farm4.static.flickr.com/3101/2606413293\\_a732328591.jpg](http://farm4.static.flickr.com/3101/2606413293_a732328591.jpg). Acesso em: 03/01/ 2012.

FIGURAMA. Disponível em <http://www.figurama.com.br/tag/frank-gehry>>. Acesso em 14/12/2011.

GLOBALEGYPTIANMUSEUM. Disponível em <http://www.globalegyptianmuseum.org/detail.aspx?id=492>>. Acesso em: 03/01/n 2012.

IME. USP. Disponível em <http://www.ime.usp.br/~lye/hp/sg3d/objetos.html>>. Acesso: 06/07/2012.

LESSING. Disponível em <http://www.lessing-photo.com/dispimg.asp?i=08020611+&cr=68&cl=1>, 2009. Acesso em 13/02/2012.

LU3. Disponível em <http://www.lu3.com.br/2007/11/04/frank-gehry-charles-watson-o-processo-criativo-e-a-total-falta-de-tempo/>> acesso em 12/02/2012.

MAISARQUITETURA. Disponível em [www.maisarquitetura.com.br/canteiro-de-obras-da-sagrada-familia-de-gaudi](http://www.maisarquitetura.com.br/canteiro-de-obras-da-sagrada-familia-de-gaudi). Acesso em: 03/01/ 2012.

MAYCON MÉYER, Disponível em <<http://arqbest.blogspot.com/2011/03/frank-owen-gehry-nascido-ephrain-owen.html>> Acesso em 08/01/2012.

MCSX.NET. Disponível em <<http://blog.mcsx.net/projetos-plantas-de-casas-para-download>>. Acesso em 01/01/2012.

MLIVE. Disponível em <[http://www.mlive.com/business/midmichigan/index.ssf/2009/02/chevrolet\\_vol\\_engine\\_toe\\_bu.html](http://www.mlive.com/business/midmichigan/index.ssf/2009/02/chevrolet_vol_engine_toe_bu.html)>. Acesso: 03/02/2012.

MPS. Disponível em <<http://www.mps.it/NR/rdonlyres/BFF3536D-82E7-445B-98D3-75C58E9E93B6/4807/002.jpg>>. Acesso em 20/11/2011.

NOÉ, Marcos. Variância, in Brasil Escola, <http://www.brasilecola.com/matematica/variencia.htm>. Acesso em: 11/02/2012.

OPITRAVEL,2012. Disponível em <<http://opitravel.net/egypt-vacation-outgoing-tours-inbound/egypt-sites>>. Acesso em 02/01/2012.

ORIENTAL TRAVE. Disponível em <<http://opitravel.net/egypt-vacation-outgoing-tours-inbound>> . Acesso em 02/01/2012.

POPULARSCIENCEMONTHLY. Disponível em: <[http://en.wikisource.org/wiki/Popular\\_Science\\_Monthly/Volume\\_12/December\\_1877/The\\_Growth\\_of\\_the\\_Steam-Engine\\_II](http://en.wikisource.org/wiki/Popular_Science_Monthly/Volume_12/December_1877/The_Growth_of_the_Steam-Engine_II)>. Acesso em: 13/10/2011.

PORTOBELLO. Disponível em <http://www.portobello.com.br/blog/decoracao/parque-aquatico-nacional-de-peguim> acesso em: 14/02/2012.

POULWEBB.BLOGSPOT. Disponível em < <http://poulwebb.blogspot.com/2010/07/norman-foster.html>. Acesso em:05/02/2012.

RHINO3D. Disponível em <[http://www.es.rhino3d.com/um\\_bcn2009.htm](http://www.es.rhino3d.com/um_bcn2009.htm)>. Acesso em: 15/02/2012.

ROMA ANTICA. Disponível em <[http://www.roma-antica.co.uk/page\\_1260119254035.html](http://www.roma-antica.co.uk/page_1260119254035.html)>. Acesso em: 03/01/2012.

ROZESTRATEN, Artur S. **Aspectos da história das maquetes e modelos tridimensionais de arquitetura no Egito Antigo**. Vitruvius – Arqtextos, São Paulo, v.137, ano 12, 2011. Disponível em: <http://vitruvius.com.br/revistas/read/arqtextos/12.137/4037>. Acesso: 03/02/2012.

RUBENS. Disponível em <<http://rubens.anu.edu.au/htdocs/surveys/italren/renarch/display00004.html>>. Acesso em: 12/02/2012.

SAINTPETERBAILICA. Disponível em < <http://scmaquete.blogspot.com/2010/04/predios-residenciais-em-belem-marko-e.html>> acesso em:12/02/2012.

SCMAQUETE. Disponível em < <http://scmaquete.blogspot.com/2010/04/predios-residenciais-em-belem-marko-e.html>> acesso em: 12/02/2012.

SKETCHUP. Disponível em < <http://sketchup.google.com/intl/pt-BR/download/>> acesso em: 10/02/2012.

SILVA, R.C., AMORIM, L.M.E. **Urbanismo paramétrico: emergência, limites e perspectivas de nova corrente de desenho urbano fundamentada em sistemas de desenho paramétrico.** In V!RUS. N. 3. São Carlos: Nomads.usp, 2010. Disponível em: <http://www.nomads.usp.br/virus/virus03/submitted/layout.php?item=2&lang=pt>. Acesso em: 22 out. 2011.

SNEBTOR. Disponível em <<http://snebtor.chiguiro.org/blog/?tag=ivan-sutherland>>. Acesso em 12/12/2011.

SUMMUSPONTIFEX.BLOGSPOT. Disponível em <[http://summuspontifex.blogspot.com/2010\\_12\\_01\\_archive.html](http://summuspontifex.blogspot.com/2010_12_01_archive.html). Acesso em: 03/01/2012.

THECITYREVIEW. Disponível em < Fonte: <http://www.thecityreview.com/zaha.html>. Acesso em 05/01/2012.

UFSC. Disponível em <[http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos\\_2007-1/sustentabilidade/hh3.htm](http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2007-1/sustentabilidade/hh3.htm)>. Acesso: 02/02/2012.

UM OLHAR SOBRE A ARTE. Disponível em <<http://umolharsobreaarte.blogs.sapo.pt/1640.html>>. Acesso em 20/11/2011

UM OLHAR SOBRE O MUNDO DAS ARTES, 2009. Disponível em <http://umolharsobreomundodasartes.blogspot.com/2009/03/arte-da-antiguidade-arte-mesopotamica-1.html>. Acesso em: 20/11/2011.

VITRUVIUS. Disponível em < <http://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.137/4037>. Acesso em: 03/ 01/ 2012.

YASHASSEGAWA.BLOGSPOT. Disponível em < <http://yashassegawa.blogspot.com/2011/07/zaha-hadid-e-moda.html>>. Acesso: 02/02/2012.

WIKIPEDIA. Disponível em < <http://en.wikipedia.org/wiki/File:SwissReHQ.jpg>> Acesso em 05/02/2012.

WIKISOURCE. Disponível em <<http://umolharsobreomundodasartes.blogspot.com/2009/03/arte-da-antiguidade-arte-mesopotamica-1.html>. Acesso em 20/11/2011.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1 – TABELAS MODELO PARA QUANTIFICAÇÃO

**Tabela Modelo de Tabela para Quantificação dos Aspectos Formais dos produtos elaborados por meio de sistemas CAD genéricos.**

		Produtos					TOTAL
		1	2	3	4	5	
Formais	Presença de superfícies curvas em uma direção						
	Presença de superfícies curvas em mais de uma direção						
	Número de ângulos não retos						

**Tabela Modelo de Tabela para Quantificação dos Aspectos Formais dos produtos elaborados por meio de um sistema BIM, REVIT.**

		Produtos												TOTAL	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Formais	Presença de superfícies curvas em uma direção														
	Presença de superfícies curvas em mais de uma direção														
	Número de ângulos não retos														

**Tabela Modelo de Tabela para Quantificação dos Aspectos Funcionais dos produtos elaborados por meio de sistemas CAD genéricos.**

		Produtos					TOTAL
		1	2	3	4	5	
Funcionais	Organização triangular						
	Organização em linha						
	Organização com núcleo e ramificações						
	Organização circular						

## ANEXO 2 – TABELAS MODELO PARA QUANTIFICAÇÃO

**Tabela Modelo de Tabela para Quantificação dos Aspectos Funcionais dos produtos elaborados por meio de um sistema BIM, REVIT.**

		Produtos												TOTAL	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Funcionais	Organização triangular														
	Organização em linha														
	Organização com núcleo e ramificações														
	Organização circular														

**Tabela Modelo de Tabela para Quantificação dos Aspectos Construtivos dos produtos elaborados por meio de sistemas CAD genéricos.**

		Produtos					TOTAL
		1	2	3	4	5	
Construtivos	Estrutura de concreto						
	Estrutura metálica						
	Estrutura mista						
	Alvenaria estrutural						
	Único pavimento						
	Mais de um pavimento						

**Tabela Modelo de Tabela para Quantificação dos Aspectos Construtivos dos produtos elaborados por meio de um sistema BIM, REVIT.**

		Produtos												TOTAL	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Construtivos	Estrutura de concreto														
	Estrutura metálica														
	Estrutura mista														
	Alvenaria estrutural														
	Único pavimento														
	Mais de um pavimento														

### ANEXO 3 – TABELAS MODELO PARA QUANTIFICAÇÃO

**Tabela Modelo de Tabela para Quantificação dos Quantitativos dos Aspectos Ambientais dos projetos elaborados por meio dos sistemas CAD genéricos.**

		Produtos					TOTAL
		1	2	3	4	5	
Ambientais	Presença de brises						
	Aberturas orientadas para o norte						
	Aberturas orientadas para o sul						
	Aberturas orientadas para o leste						
	Aberturas orientadas para o oeste						
	Iluminação natural em todos os ambientes						

**Tabela Modelo de Tabela para Quantificação dos Aspectos Ambientais dos projetos elaborados por meio dos sistemas BIM.**

		Produtos												TOTAL	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Ambientais	Presença de brises														
	Aberturas orientadas para o norte														
	Aberturas orientadas para o sul														
	Aberturas orientadas para o leste														
	Aberturas orientadas para o oeste														
	Iluminação natural em todo os ambientes														

## ANEXO 4 – TABELAS MODELO PARA QUANTIFICAÇÃO

**Tabela Modelo de Tabela para Quantificação dos quantitativos de produtos elaborados por meio de sistemas CAD genéricos.**

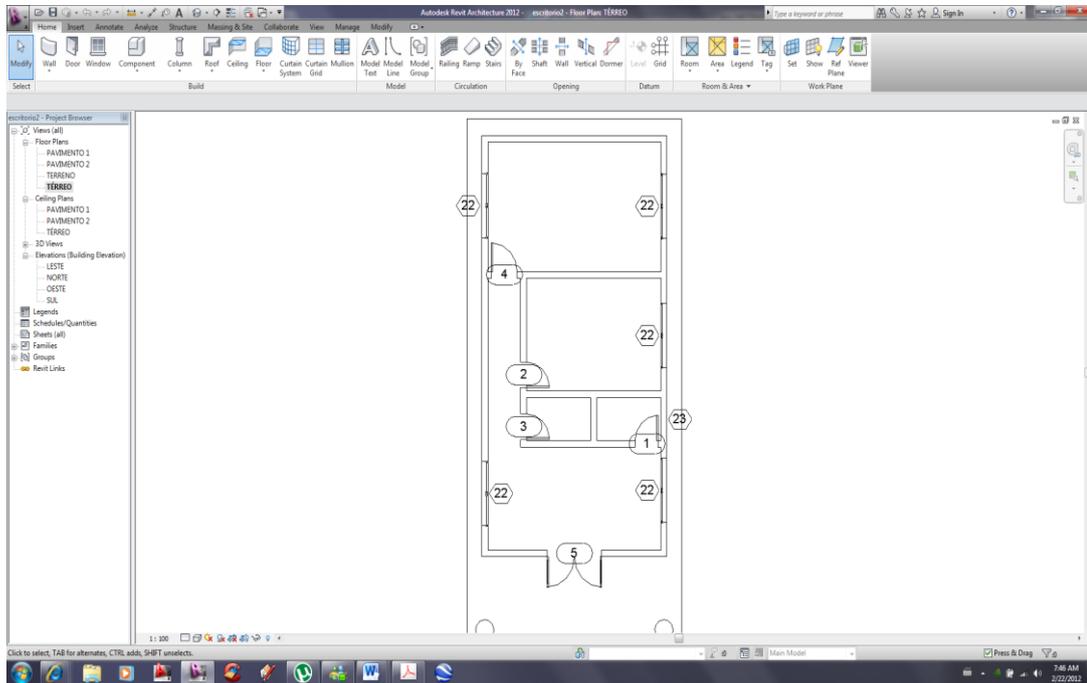
	Projetistas				TOTAL
	1	2	3	4	
Produtos por projetista					
Produtos válidos					
Produtos não validados					

**Tabela Modelo de Tabela para Quantificação dos produtos elaborados por meio de um sistema BIM, REVIT.**

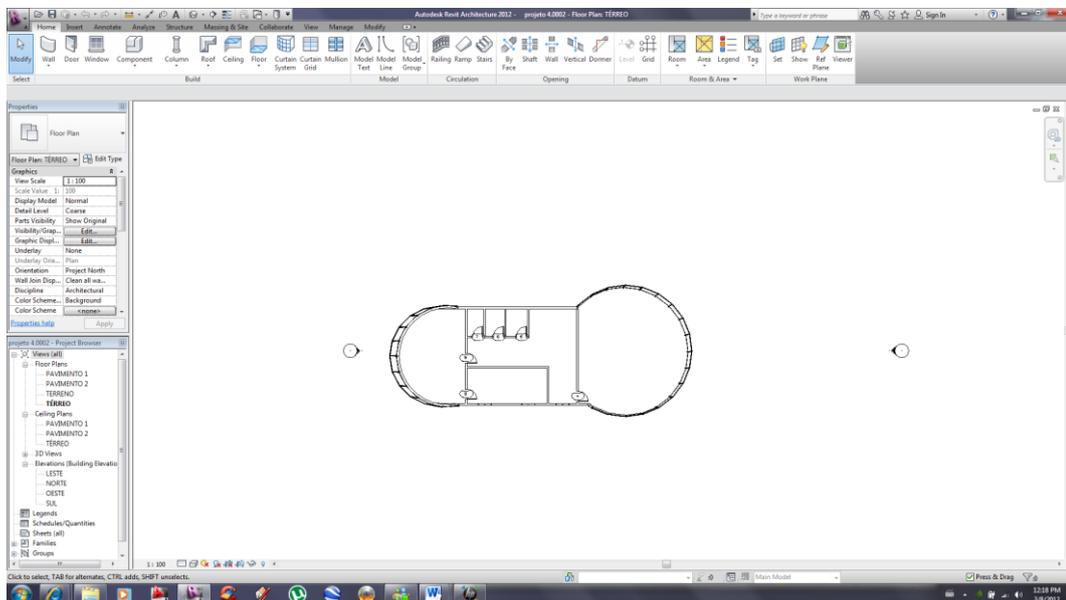
	Projetistas				TOTAL
	5	6	7	8	
Produtos por projetista					
Produtos válidos					
Produtos não validados					

## ANEXO 5 – PRODUTOS BIM

### Modelo produzido no Revit com visualização em planta-baixa

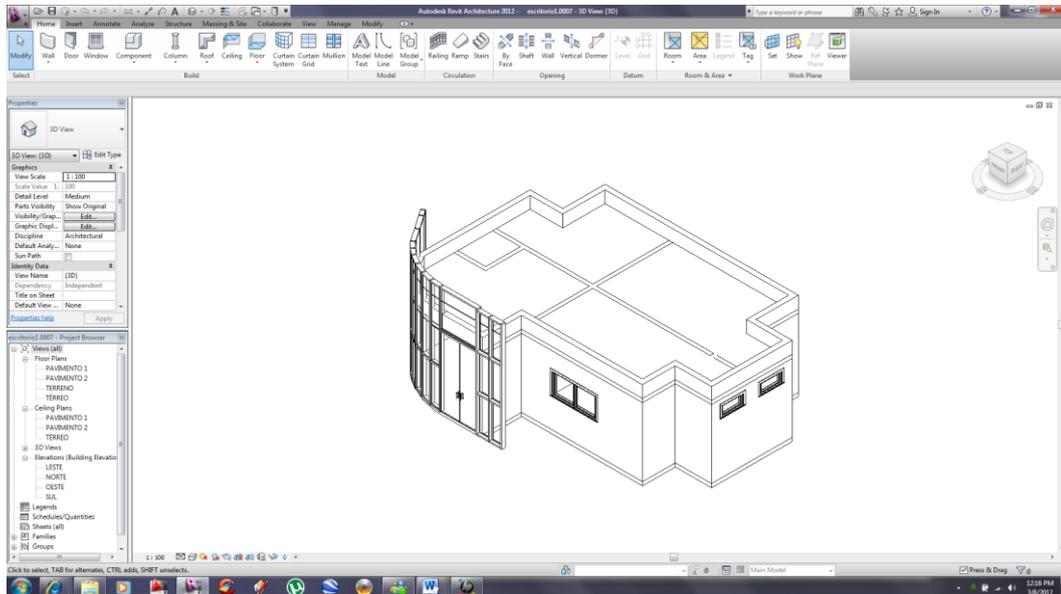


### Modelo produzido no Revit com visualização em planta-baixa

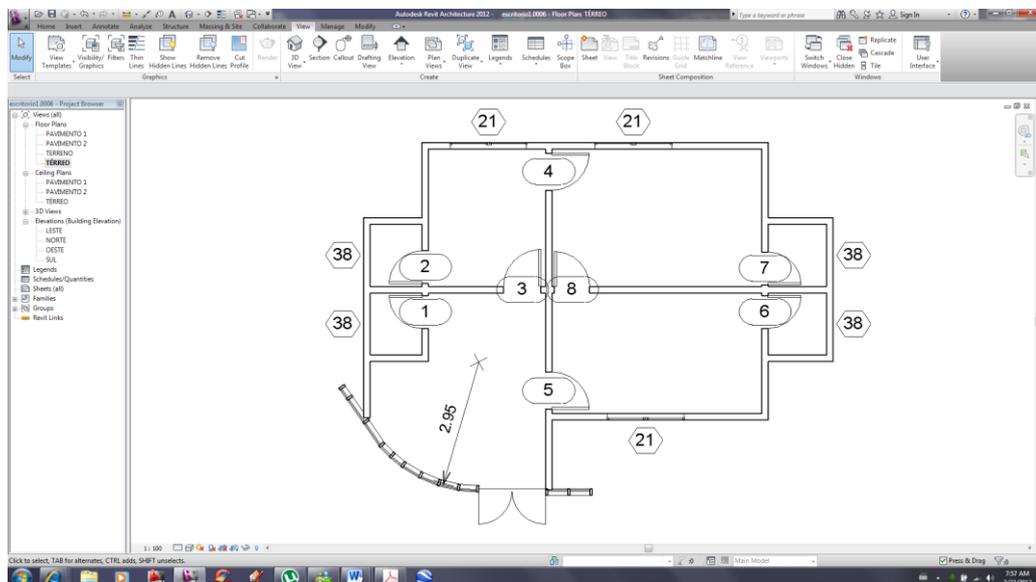


## ANEXO 6 - PRODUTOS BIM

### Modelo produzido no Revit com visualização em perspectiva

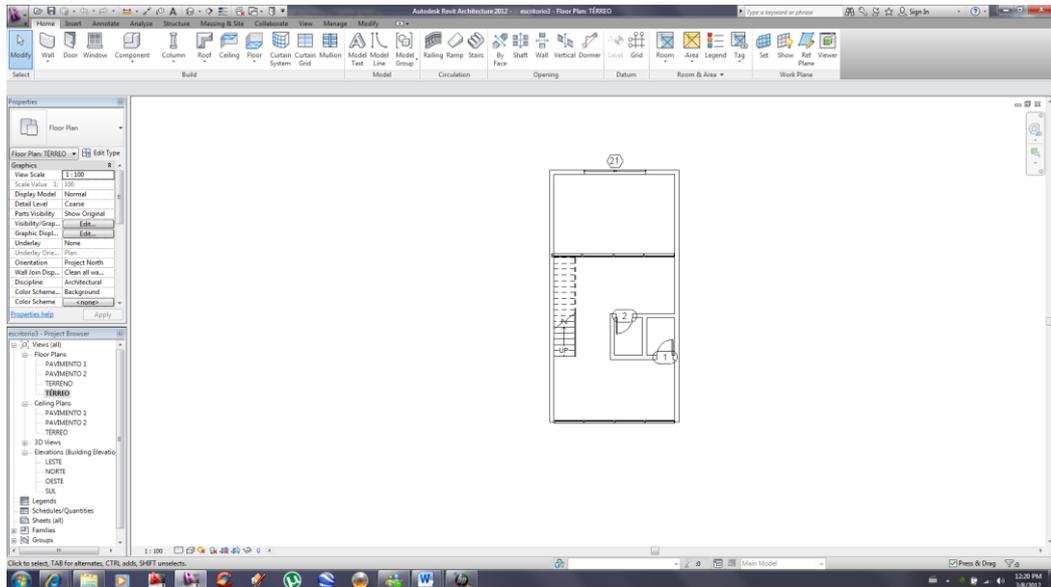


### Modelo produzido no Revit com visualização em planta-baixa

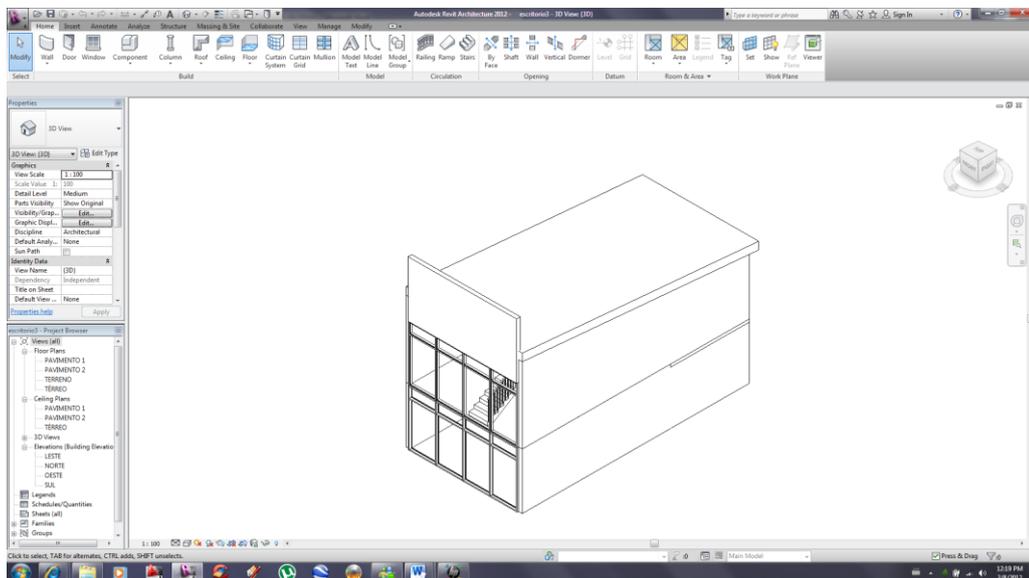


## ANEXO 7 - PRODUTOS BIM

### Modelo produzido no Revit com visualização em planta-baixa

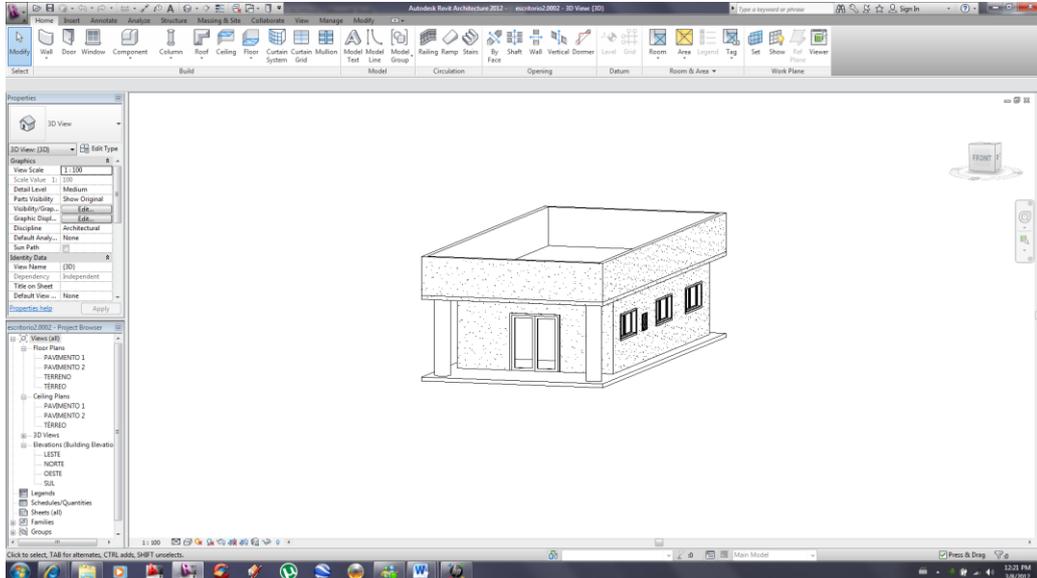


### Modelo produzido no Revit com visualização em perspectiva

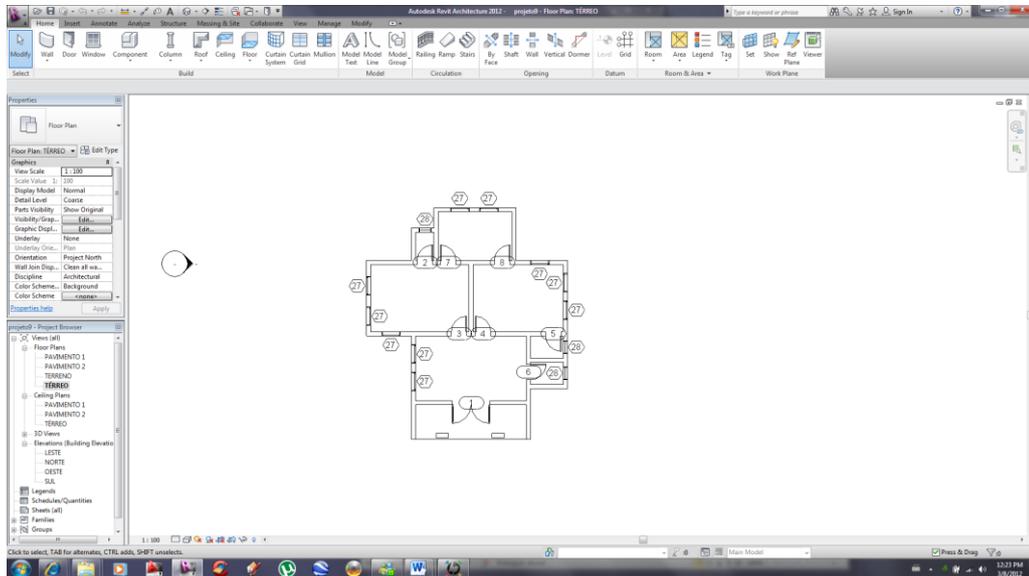


## ANEXO 8 - PRODUTOS BIM

### Modelo produzido no Revit com visualização em perspectiva

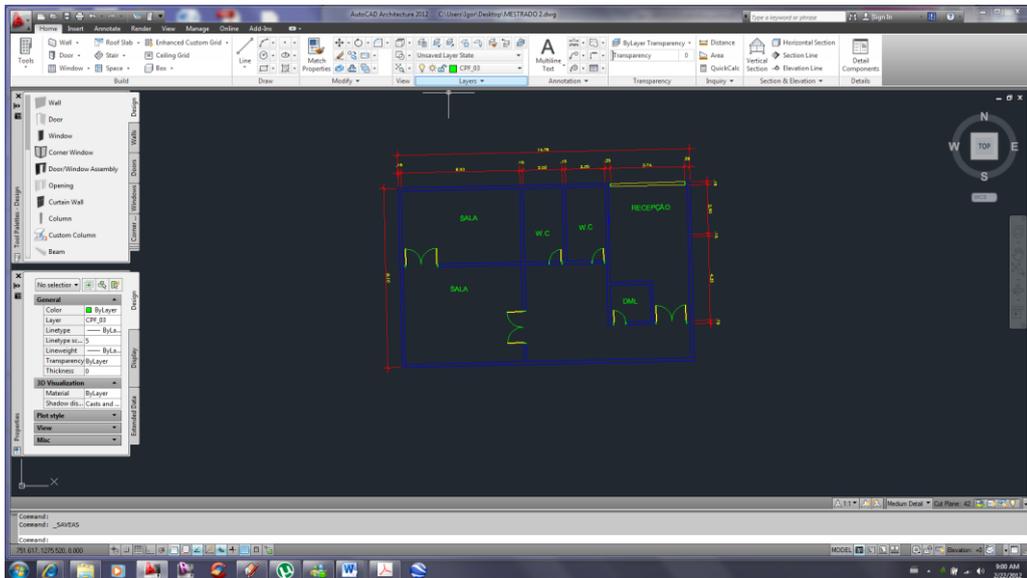


### Modelo produzido no Revit com visualização em planta-baixa

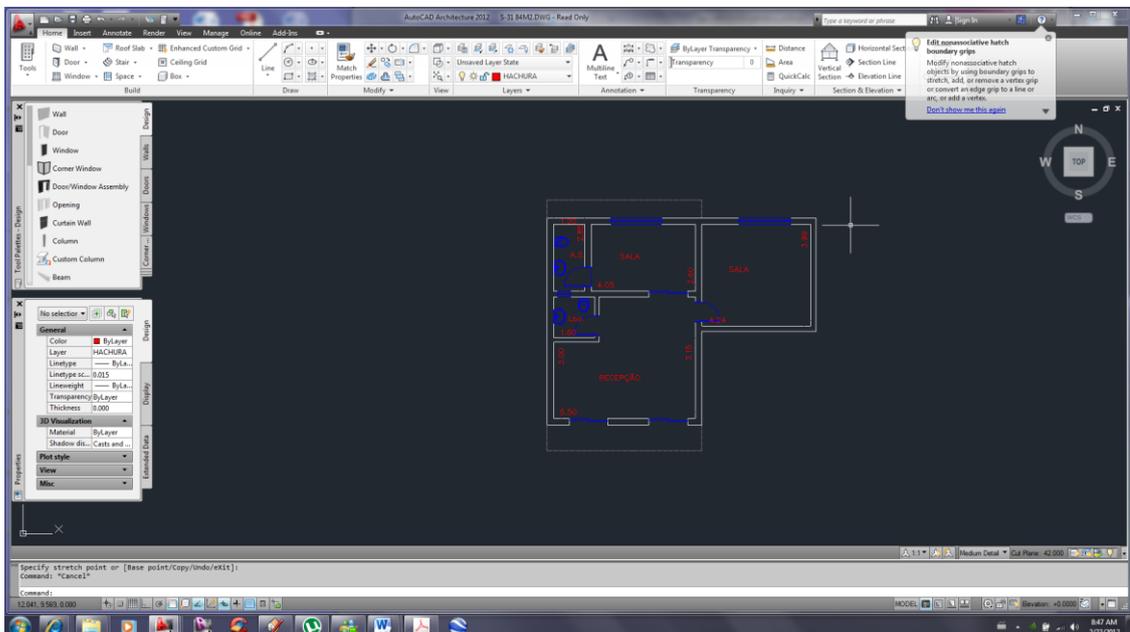


## ANEXO 9 – PRODUTOS CAD GENÉRICOS

### Planta-baixa produzida no AutoCad

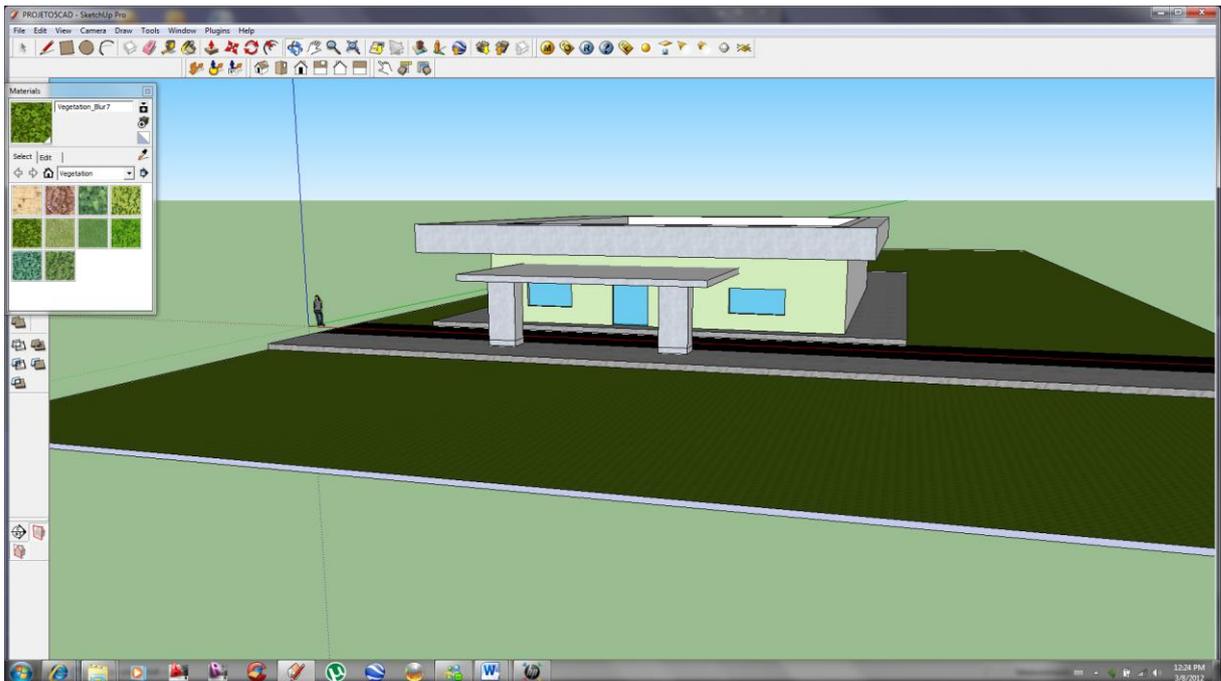


### Planta-baixa produzida no AutoCad

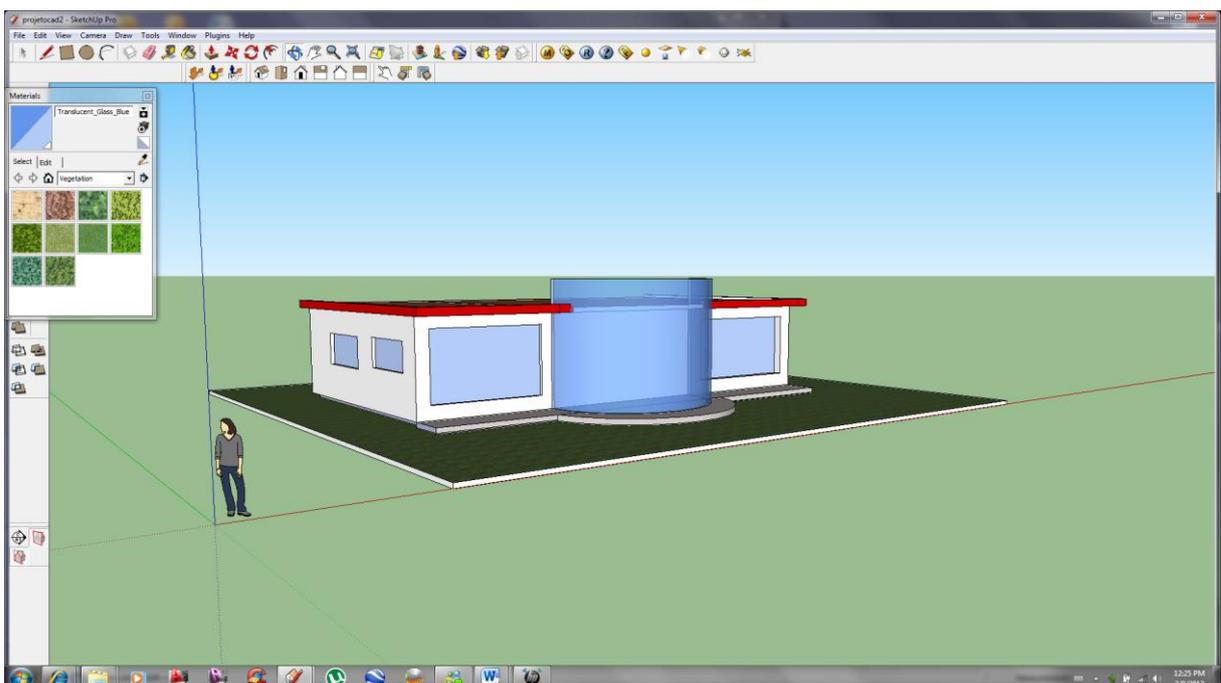


## ANEXO 10 – PRODUTOS CAD GENÉRICOS

Perspectiva produzida no Sketchup

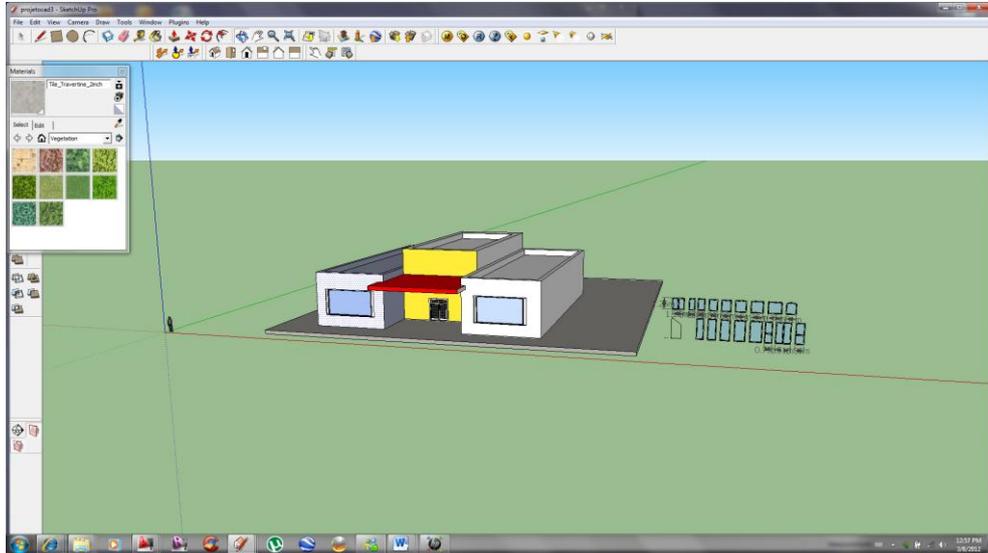


Perspectiva produzida no Sketchup



## ANEXO 11 – PRODUTOS CAD GENÉRICOS

### Perspectiva produzida no Sketchup



### Planta-baixa e corte produzidos no AutoCad

