

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**PAOLA CALIARI FERRARI MARTINS**

**A INTEROPERABILIDADE ENTRE SISTEMAS BIM E  
SIMULAÇÃO AMBIENTAL COMPUTACIONAL: estudo de caso**

**Brasília, 2011**

**PAOLA CALIARI FERRARI MARTINS**

**A INTEROPERABILIDADE ENTRE SISTEMAS BIM E  
SIMULAÇÃO AMBIENTAL COMPUTACIONAL: estudo de caso**

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

**Orientador:** Prof. Dr. Neander Furtado Silva.

Brasília, 2011

PAOLA CALIARI FERRARI MARTINS

A INTEROPERABILIDADE ENTRE SISTEMAS BIM E SIMULAÇÃO  
AMBIENTALCOMPUTACIONAL: estudo de caso

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

Brasília, 9 de fevereiro de 2011.

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Dr. Neander Furtado Silva**  
**Orientador – FAU/UnB**

**Prof. Dr. Gustavo Alexandre Cardoso Cantuária**  
**IESPLAN**

**Prof. Dr. Márcio Augusto Roma Buzar**  
**FAU/UnB**

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, pelo apoio e incentivo.

Ao Professor e Orientador Neander Furtado Silva e à Mestre Ecilamar Maciel Lima, pelo apoio e dedicação.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo verificar o grau de sucesso da interoperabilidade entre sistemas BIM (*Building Information Modeling*) e simuladores ambientais. Essa verificação visa também avaliar preliminarmente a contribuição dos sistemas BIM para a eficiência energética dos projetos de edificação. Duas são as hipóteses deste trabalho: (1) o sucesso da interoperabilidade entre estes dois tipos de sistemas é inversamente proporcional à quantidade de retrabalho necessária para completar ou recompor o modelo e realizar a simulação após a transferência de dados entre os mesmos; (2) a interoperabilidade, quando realizada de forma integral, entre estes dois sistemas possibilita contribuir de forma positiva para a eficiência energética. O método de investigação consistiu no seguinte processo: um mesmo modelo de edificação foi desenvolvido em dois programas do tipo BIM. Posteriormente este modelo foi exportado, no esquema gbXML, para dois simuladores ambientais onde foram feitas simulações e análises da luz natural e artificial. Após esse processo o modelo de edificação foi exportado de volta para o BIM a fim de ser atualizado. Foram utilizados os sistemas BIM *Graphisoft ArchiCAD 14* e *Autodesk Revit Architecture 2011* e os simuladores ambientais *Autodesk Ecotect Analysis 2011* e IES <VE> 6.1.1. Os resultados desse experimento mostram que não há interoperabilidade integral entre os programas estudados. Foi necessário reconfigurar o modelo após a exportação para os simuladores ambientais nos quatro casos. A exportação de volta para o programa dos sistemas BIM, após as análises e modificações no modelo, não foi obtida com sucesso, portanto foi necessário atualizar o modelo manualmente nos sistemas BIM. Os resultados mostram que, de fato, a interoperabilidade entre estes tipos de programas é significativamente incipiente. A partir destes resultados, pode ser proposta como objeto de futuras pesquisas sobre interoperabilidade a padronização de formatos para unificação de bancos de dados de todos os programas envolvidos. Assim, os elementos, materiais e comportamentos seriam reconhecidos. O formato de domínio público IFC, que utiliza essa padronização, tem sido sugerido como possível solução.

**Palavras-chave:** BIM. Simulação Ambiental Computacional. Interoperabilidade.

## ABSTRACT

The objective of this research is to verify the degree of success of the interoperability between BIM (Building Information Modeling) systems and environmental simulation software. This verification also aims to provide a preliminary assessment of the contribution of BIM to energy efficient design. Two hypothesis were established in this research: (1) the interoperability success is inversely proportional to the rework necessary to complete the model and carry out the simulation after the data exchange between the BIM simulation systems; (2) the interoperability between the two types of systems contributes to energy efficient design when the data exchange is integral. The research method consisted of the following: the same building model was developed in two different BIM systems. They were then exported in the format gbXML to two environmental simulation software for day light and artificial light analysis. Afterwards the models were exported back to the BIM systems for design updating. The two BIM software used were Graphisoft *ArchiCAD* 14 and Autodesk Revit Architecture 2011. The environmental simulators used were Autodesk *Ecotect* Analysis 2011 and IES <VE> 6.1.1. The results show that there was not full interoperability between the programs that were studied. It was necessary to reconfigure the building model after exportation to the environmental simulators in all four cases. The data transfer back to the BIM systems was unsuccessful and it was necessary to update the design model manually. The results show that the interoperability between those types of software is still significantly rudimentary. Future research on interoperability should focus on format standardization to make possible for construction components to be properly recognized by all programs. The open format IFC has been suggested as a possible solution.

**Key Words:** BIM. Environmental Simulation Computacional. Interoperability.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	15
<b>1.1 Estrutura da Pesquisa</b>	17
<b>1.2 Problemática</b>	19
1.2.1 Dificuldade em Viabilizar a Inteoperabilidade	19
1.2.2 A Relevância do Tema	21
<b>1.3 Objetivo</b>	22
<b>1.4 Questões</b>	22
<b>1.5 Hipóteses</b>	23
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	24
<b>2.1 Técnicas de Representação E Modelagem</b>	24
<b>2.2 Evolução das Técnicas de Representação</b>	26
<b>2.3 Modelagem Digital</b>	27
<b>3 SISTEMAS BIM</b>	41
<b>3.1 Tabela Comparativa entre os Sistemas CAD e os Sistemas BIM</b>	41
<b>3.2 Sistemas BIM</b>	45
<b>3.3 Prática Integrada</b>	50
<b>3.4 Análise Ambiental nos Sistemas BIM</b>	51
<b>4 SIMULAÇÃO AMBIENTAL COMPUTACIONAL</b>	53
<b>4.1 Simulação Ambiental Computacional</b>	53
<b>4.2 Simulação Ambiental Computacional e o Projeto de Arquitetura</b>	55
<b>4.3 Green BIM</b>	58
<b>4.4 Relevância da Análise Ambiental</b>	63
<b>5 INTEROPERABILIDADE</b>	65
<b>5.1 Importância da Interoperabilidade</b>	65
<b>5.2 Dificuldades Atuais</b>	69
<b>5.3 Formas de Interoperar</b>	73
5.3.1 Direta	73
5.3.2 Arquivos com Formatos Proprietário	74
5.3.3 Arquivos com Formato Público	74
5.3.4 Padrão XML	79
<b>5.4 Tipos de Formatos</b>	82
<b>6 MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO</b>	86

<b>6.1 Softwares dos Sistemas BIM</b>	86
<b>6.2 Escolha dos Softwares BIM para Análise</b>	88
<b>6.3 Softwares de Análise Energética</b>	89
<b>6.4 Descrição do Método de Investigação</b>	92
<b>7 EXPERIMENTAÇÃO</b>	99
<b>7.1 Etapa 1: ArhiCAD 14</b>	99
7.1.1 PROCESSO 1: Exportação do ArchiCAD 14 para o Ecotect 2011	99
7.1.2 PROCESSO 2: Exportação do ArchiCAD 14 para o IES <VE> 6.1.1	132
<b>7.2 ETAPA 2: Revit 2011</b>	161
7.2.1 PROCESSO 3: Exportação do Revit 2011 para o Ecotect 2011	161
7.2.2 PROCESSO 4: Exportação do Revit 2011 para o IES <VE> 6.1.1	183
<b>8 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS</b>	208
<b>9 CONCLUSÃO</b>	213
<b>10 DESDOBRAMENTOS FUTUROS</b>	215
<b>REFERÊNCIAS</b>	216
<b>APÊNDICE</b>	225

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Museu Guggenheim de Bilbao, Espanha.....	34
Figura 2 - <i>BMW Pavilion</i> em Frankfurt, Alemanha. ....	35
Figura 3 - Estrutura do <i>BMW Pavilion</i> em Frankfurt, Alemanha.....	35
Figura 4 - “Möbius strip”. ....	35
Figura 5 - “Klein bottle”. ....	36
Figura 6 - Geração de curva no espaço Geométrico não Euclidiano.....	37
Figura 7 - Superfícies NURBS.....	37
Figura 8 - Port Authority Gateway por Greg.Lynn. ....	38
Figura 9 - Arquitetura evolucionária por John Frazer. ....	38
Figura 10 - <i>Fish Sculpture</i> , projeto do arquiteto Frank Gehry.....	45
Figura 11 - Utilização dos sistemas BIM. ....	46
Figura 12 - Fluxograma do projeto arquitetônico com a utilização de simulação ambiental.....	57
Figura 13 – Crescimento na utilização dos sistemas BIM. ....	58
Figura 14 – Expectativa no uso dos sistemas BIM.....	59
Figura 15: Período de utilização da abordagem <i>Green BIM</i> .....	60
Figura 16 – Expectativa de crescimento da utilização de projeto <i>Green BIM</i> .....	61
Figura 17 – Principais fatores para aumentar o desempenho dos sistemas BIM.....	62
Figura 18 – Análise do desempenho energético de uma clínica – método tradicional x método colaborativo (BIM).....	69
Figura 19 - Evolução do formato IFC.....	76
Figura 20 - Parte do arquivo “baselfcObject.cpp” do modelo “HelloWall”.....	79
Figura 21 - Cascadia Center for Sustainable Design and Construction, Seattle, Washington. ....	84
Figura 22 - Estudo de painel fotovoltaico no <i>software Grasshopper</i> . ....	85
Figura 23 - Programas BIM mais conhecidos e usados por arquitetos, engenheiros, construtores e proprietários.....	87
Figura 24 - PROCESSO 1 - Esquema mostrando as exportações entre os <i>softwares</i> ArchiCAD 14 e Ecotect 2011.....	94
Figura 25 - PROCESSO 2 - Esquema mostrando as exportações entre os <i>softwares</i> ArchiCAD 14 e IES <VE> 6.1.1. ....	95
Figura 26 - PROCESSO 3 - Esquema mostrando as exportações entre os <i>softwares</i> Revit 2011 e Ecotect 2011. ....	96
Figura 27 - PROCESSO 4 - Esquema mostrando as exportações entre os <i>softwares</i> Revit 2011 e IES <VE> 6.1.1.....	97
Figura 28 - Planta baixa do modelo no <i>software</i> ArchiCAD 14.....	100
Figura 29 - Corte C-01 do modelo no <i>software</i> ArchiCAD 14.....	102
Figura 30 - Corte C-02 do modelo no <i>software</i> ArchiCAD 14.....	103

Figura 31 - Perspectiva do modelo no <i>software</i> Archicad 14. ....	104
Figura 32 - Perspectiva do modelo no <i>software</i> Archicad 14. ....	105
Figura 33 - Planta baixa do modelo com as luminárias no <i>software</i> Archicad 14....	106
Figura 34 - Planta baixa modelo no <i>software</i> ArchiCAD 14 com zonas definidas...	108
Figura 35 - Planta baixa modelo no <i>software</i> ArchiCAD 14 com zona externa definida.....	109
Figura 36 - Zonas do modelo no <i>software</i> ArchiCAD 14 que serão exportadas.....	110
Figura 37 - Quadro para importação do modelo do <i>software</i> ArchiCAD 14 para o Ecotect 2011. ....	111
Figura 38 - Quadro com especificação dos materiais dos elementos importados do <i>software</i> ArchiCAD 14 para o Ecotect 2011. ....	112
Figura 39 - Modelo importado no <i>software</i> Ecotect 2011. ....	113
Figura 40 - Modelo importado no <i>software</i> Ecotect 2011 com renderização.....	114
Figura 41 - Localização do norte, latitude e longitude no <i>software</i> Ecotect 2011....	115
Figura 42 - Localização do norte no modelo no <i>software</i> Ecotect 2011. ....	116
Figura 43 - Nós da teia representando a distribuição da intensidade da luz. ....	117
Figura 44 - Modelo em perspectiva com luminárias no <i>software</i> Ecotect 2011.....	118
Figura 45 - Modelo em planta baixa com nova orientação e a inserção de uma árvore no <i>software</i> Ecotect 2011.....	119
Figura 46 - Modelo em perspectiva com modificações nos vãos de janelas e inserção de uma árvore no <i>software</i> Ecotect 2011.....	120
Figura 47 - Modelo em planta baixa com a simulação da luz natural no <i>software</i> Ecotect 2011. ....	122
Figura 48 - Modelo em planta baixa com a simulação da luz artificial no <i>software</i> Ecotect 2011. ....	124
Figura 49 - Modelo em planta baixa com a nova simulação da luz artificial no <i>software</i> Ecotect 2011.....	126
Figura 50 - Modelo importado no formato .dxf do <i>software</i> Ecotect 2011 para o ArchiCAD 14.....	128
Figura 51 - Modelo importado no formato .dxf do <i>software</i> Ecotect 2011 para o ArchiCAD 14.....	129
Figura 52 - Análise do fluxo de informações baseado em um fluxo único.....	131
Figura 53 - Importação do modelo do <i>software</i> ArchiCAD 14 para o IES <VE> 6.1.1. .....	133
Figura 54 - Configuração dos materiais no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1. ....	134
Figura 55 - Localização do norte no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.....	135
Figura 56 - Modelo importado no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1. ....	136
Figura 57 - Zonas do modelo no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1. ....	137
Figura 58 - Quadro com as propriedades das zonas no IES <VE> 6.1.1.....	138
Figura 59 - Modelo em “wireframe” no IES <VE> 6.1.1.....	139
Figura 60 - Seleção dos vãos de janela da zona “Escritório 1” no IES <VE> 6.1.1.	141
Figura 61 - Planta baixa do modelo no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.....	142

Figura 62 - Perspectiva do modelo no <i>software</i> ArchiCAD 14 após a redução dos vãos de janela e inserção de uma árvore.....	143
Figura 63 - Perspectiva do modelo no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1 após importação do ArchiCAD 14.....	144
Figura 64 - Modelo tridimensional com a simulação da luz natural no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1. ....	146
Figura 65 - Quadro com valores de incidência de luz natural, medida em lux, nas zonas “Banheiro” e “Escritório 1”.....	147
Figura 66 - Quadro com valores de incidência de luz natural, medida em lux, nas zonas “Escritório 2” e “Recepção”.....	148
Figura 67 - Quadro com valores de incidência de luz natural, medida em lux, na zona “Circulação”.....	149
Figura 68 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Banheiro” no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.....	151
Figura 69 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Circulação” no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.....	152
Figura 70 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Escritório 1” no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.....	153
Figura 71 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Escritório 2” no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.....	154
Figura 72 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Recepção” no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.....	155
Figura 73 - Planta baixa com a distribuição de luminárias nas zonas no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1. ....	156
Figura 74 - Tentativa de salvar o arquivo do <i>software</i> IES <VE> 6.1.1 em outro formato. ....	157
Figura 75 - Arquivo importado no formato .dxf no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1 para o ArchiCAD 14.....	158
Figura 76 - Análise do fluxo de informações baseado em um fluxo único.....	160
Figura 77 - Planta baixa do modelo no <i>software</i> Revit 2011. ....	162
Figura 78 - Corte C-01 do modelo no <i>software</i> Revit 2011. ....	163
Figura 79 - Corte C-02 do modelo no <i>software</i> Revit 2011. ....	164
Figura 80 - Perspectiva do modelo no <i>software</i> Revit 2011. ....	165
Figura 81 - Perspectiva do modelo no <i>software</i> Revit 2011. ....	166
Figura 82 - Planta baixa do modelo com as luminárias no <i>software</i> Revit 2011. ....	167
Figura 83 - Tabela com as luminárias e lâmpadas inseridas no modelo no <i>software</i> Revit 2011. ....	168
Figura 84 - Modelo salvo no esquema gbXML no <i>software</i> Revit 2011. ....	169
Figura 85 - Importação do modelo no esquema gbXML para o <i>software</i> Ecotect 2011. ....	170
Figura 86 - Modelo no <i>software</i> Ecotect 2011. ....	171
Figura 87 - Referenciamento gráfico do modelo no <i>software</i> Ecotect 2011. ....	172

Figura 88 - Modelo em planta baixa com as luminárias no <i>software</i> Ecotect 2011.	173
Figura 89 - Modelo em planta baixa com nova orientação e a inserção de uma árvore no <i>software</i> Ecotect 2011.	174
Figura 90 - Modelo em perspectiva com modificações nos vãos de janelas e inserção de uma árvore no <i>software</i> Ecotect 2011.	175
Figura 91 - Modelo em planta baixa com a simulação da luz natural no <i>software</i> Ecotect 2011.	177
Figura 92 - Modelo em planta baixa com a simulação da luz artificial no <i>software</i> Ecotect 2011.	178
Figura 93 - Modelo em planta baixa com a nova simulação da luz artificial no <i>software</i> Ecotect 2011.	179
Figura 94 - Modelo importado no formato .dxf do <i>software</i> Ecotect 2011 para o Revit 2011.	181
Figura 95 - Análise do fluxo de informações baseado em um fluxo único.	182
Figura 96 - Importação do modelo do <i>software</i> Revit 2011 para o IES <VE> 6.1.1.	184
Figura 97 - Configuração dos materiais no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.	185
Figura 98 - Quadro com as propriedades das zonas no IES <VE> 6.1.1.	186
Figura 99 - Zona “Escritório 1” renderizada no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.	187
Figura 100 - Modelo em “wireframe” no IES <VE> 6.1.1.	188
Figura 101 - Planta baixa do modelo após as modificações no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.	189
Figura 102 - Planta baixa do modelo após as modificações no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.	190
Figura 103 - Modelo tridimensional com a simulação da luz natural no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.	192
Figura 104 - Quadro com valores de incidência de luz natural, medida em lux, nas zonas “Banheiro” e “Escritório 1”.	193
Figura 105 - Quadro com valores de incidência de luz natural, medida em lux, nas zonas “Escritório 2” e “Recepção”.	194
Figura 106 - Quadro com valores de incidência de luz natural, medida em lux, na zona “Circulação”.	195
Figura 107 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Banheiro” no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.	197
Figura 108 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Circulação” no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.	198
Figura 109 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Escritório 1” no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.	199
Figura 110 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Escritório 2” no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.	200
Figura 111 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Recepção” no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.	201

Figura 112 - Planta baixa com a distribuição de luminárias nas zonas no <i>software</i> IES <VE> 6.1.1.....	202
Figura 113 - Tentativa de salvar o arquivo do <i>software</i> IES <VE> 6.1.1 em outro formato. ....	203
Figura 114 - Arquivo importado no formato .dxf no do <i>software</i> IES <VE> 6.1.1 para o Revit 2011. ....	204
Figura 115 - Análise do fluxo de informações baseado em um fluxo único.....	206

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre os sistemas CAD e os sistemas BIM.....	41
Tabela 2 - Fases do ciclo de vida da edificação com as informações necessárias em .....	656
Tabela 3 – Programas de simulação lumínica.....	90
Tabela 4 - Resumo das etapas e processos que serão realizados na .....	97
Tabela 5 - Cômodos que compõem o modelo.....	100
Tabela 6 - Materiais que compõem o modelo. ....	101
Tabela 7 - Tabela com zonas e seus respectivos cômodos, áreas .....	108
Tabela 8 - Tabela com cômodos e respectivas luminárias inseridas no modelo.....	118
Tabela 9 – Elementos transportados na exportação do <i>software</i> ArchiCAD .....	121
Tabela 10 - Tabela com cômodos e respectivas luminárias inseridas no modelo...	126
Tabela 11 – Tabela dos elementos e dados incompatíveis na transferência entre ..	131
Tabela 12 - Tabela com cômodos e respectivos tipos de lâmpadas que serão .....	140
Tabela 13 – Elementos transportados na exportação do <i>software</i> ArchiCAD .....	145
Tabela 14 - Tabela com cômodos e respectivas luminárias inseridas no modelo...	156
Tabela 15 – Tabela dos elementos e dados incompatíveis na transferência entre ..	161
Tabela 16 – Elementos transportados na exportação do <i>software</i> Revit .....	176
Tabela 17 - Tabela com cômodos e respectivas luminárias inseridas no modelo...	180
Tabela 18 – Tabela dos elementos e dados incompatíveis na transferência entre Revit 2011 .....	183
Tabela 19 – Elementos transportados na exportação do <i>software</i> Revit .....	191
Tabela 20 - Tabela com cômodos e respectivas luminárias inseridas no modelo...	202
Tabela 21 – Tabela dos elementos e dados incompatíveis na transferência entre Revit 2011 .....	207
Tabela 22 - Formatos testados para importação nos <i>softwares</i> ArchiCAD, Revit, ..	208
Tabela 23 – Elementos transportados na exportação dos <i>softwares</i> ArchiCAD e ..	209
Tabela 24 – Elementos transportados na exportação dos simuladores Ecotect e IES <VE> .....	211

# 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de pesquisas em computação, no final da década de 50, resultou na criação do primeiro sistema computacional voltado para a representação gráfica, o *Sketchpad* de Ivan Sutherland no Massachusetts *Institute of Technology* (SUTHERLAND, 1963). O desenho digital era bidimensional. No final da década de 60 e início de 70 foram desenvolvidos sistemas CAD que permitiam representar também entidades tridimensionais (EASTMAN et al, 2008, p. 26-27). Esses sistemas possibilitaram a projeção diretamente no computador em substituição a representação no papel. Contudo, esses sistemas representam entidades geométricas genéricas as quais podem ser interpretadas de inúmeras maneiras em relação aos materiais constituintes e seu comportamento (EASTMAN et al, 2008, p. 15 e 16). Estas características se tornaram limitantes diante das novas necessidades decorrentes dos avanços tecnológicos na indústria da construção. Dentre estes, o desenvolvimento de novos sistemas integrados às edificações tais como ar condicionado, segurança, lógica, entre outros, tornaram os projetos mais complexos e, portanto, mais difíceis de serem compatibilizados. Além disto, as crescentes preocupações ecológicas levaram à necessidade de criar ferramentas de análise ambiental dos projetos, na tentativa de melhor aproveitar os recursos naturais. Por fim, o crescimento e a difusão da Internet fez surgir nova área de trabalho colaborativo a distância, requerendo aplicativos que permitam e facilitem este tipo de interação.

Estas novas tendências levaram à evolução dos sistemas CAD, a partir de meados da década de 70, que resultou no desenvolvimento dos sistemas de modelagem da informação da construção, BIM (*Building Information Modeling*). Estes sistemas possibilitam representar – através de um modelo tridimensional único e consistente – as características físicas dos componentes de uma edificação, seu comportamento (construtivo e ambiental) e suas inter-relações (EASTMAN et al, 2008, p. 13). Sua representação é orientada a objetos, ou seja, estes são reconhecidos como componentes construtivos como pilares, paredes, portas, janelas, vigas, lajes, etc. Cada um destes componentes é representado internamente de forma paramétrica, isto é, através de tipologias, famílias ou classes de objetos onde valores, como as dimensões, não são fixas, mas variáveis e

somente são definidos no momento de utilização dos mesmos em situações específicas de projeto (BRIDGES, 1993, p. 7-8). Além disto, grupos de componentes são inter-relacionados também de forma paramétrica através de parâmetros como “adjacente a”, “paralelo a”, “distante de”, etc. (EASTMAN et al, 2008, p. 29).

A tecnologia descrita acima, presente nos sistemas BIM, permite mais que modelar virtualmente a edificação: inclui dados suficientes para a construção, fabricação e controle da edificação. Como representam além da geometria dos elementos os seus atributos, comportamentos e inter-relações, todas as informações referentes a cada componente do projeto são interligadas por regras. A partir desse modelo é possível extrair todas as plantas, cortes, fachadas e perspectivas, calcular e quantificar o edifício. Qualquer modificação feita nesse modelo será atualizada automaticamente em todas as projeções ortogonais constituindo um único banco de dados. Outra vantagem desses sistemas BIM é a possibilidade de definir, ainda no início do processo de projeção, os materiais que serão utilizados, a quantidade desses e seu comportamento; permite extrair listagens de quantitativos de materiais antecipando a tomada de decisões financeiras ainda na fase de projeção (EASTMAN et al, 2008, p. 1). Outro benefício diretamente relacionado ao tema desta pesquisa é o recurso da interoperabilidade que o sistema possibilita. Esse recurso oferece condições para integrar programas dos sistemas BIM com outros, de outras áreas, como os de simulação ambiental. Como consequência, os benefícios desses sistemas são ampliados.

Exemplo dessa integração e maior aplicabilidade consiste em modelo de programa BIM exportado para um programa de simulação lumínica. Após a exportação do modelo, com todas as suas características e materiais, é feita a simulação da luz natural e da luz artificial no simulador ambiental. A partir dessas simulações, é possível avaliar a carga energética a ser consumida pela edificação e, após a análise, propor modificações no projeto para reduzir esta carga. Esse processo contribui para obtenção de maior eficiência energética da edificação em estudo e, como consequência, para maior sustentabilidade do meio ambiente (KRYGIEL; NIES, 2008, p. 37).

Por outro lado, para que realmente haja esta integração é necessário que a interoperabilidade entre os dois sistemas seja a mais completa possível. O fato é que a plataforma utilizada nos *softwares* dos sistemas BIM é diferente da de outros

*softwares* e, portanto, a comunicação entre eles é deficiente. Por esta razão, a interoperabilidade representa, atualmente, um problema para os profissionais que utilizam a tecnologia BIM para projeção, construção, e demais fases do ciclo de vida da edificação. Este problema demanda investimento e pesquisas. Sem a possibilidade de integração entre os diferentes *softwares* se torna significativamente mais difícil e laborioso realizar análises estruturais, lumínicas, térmicas, definir sistemas mecânicos, de segurança, entre outros.

Diante do exposto, o objetivo desta dissertação é investigar a interoperabilidade entre os sistemas BIM e simuladores ambientais para verificar se estes realmente contribuem para maior eficiência energética da edificação.

A investigação será feita entre os simuladores ambientais, em especial de simulação lumínica, como contribuição para o meio ambiente, uma vez que este tem sido uma das ênfases principais das organizações governamentais devido aos índices ambientais negativos apresentados por muitos países.

A razão da escolha dos sistemas BIM para este estudo – em vez de sistemas CAD tridimensionais genéricos – é sua tecnologia que representa os componentes construtivos como objetos com propriedades e comportamentos. Estes dados são importantes porque as propriedades dos materiais influenciam no cálculo da carga térmica, por exemplo. O reconhecimento de componentes construtivos é muito importante para facilitar significativamente a simulação da iluminação natural, a ventilação, etc. Essas informações funcionam como dados de entrada para programas de simulação ambiental.

Será utilizado modelo tridimensional no processo de testes dos gastos energéticos. Esse modelo será exportado de dois *softwares* dos sistemas BIM para dois simuladores ambientais.

Com este estudo espera-se contribuir para o desenvolvimento de uma prática de projeção que utilize recursos computacionais disponíveis para obter maior eficiência energética da edificação.

### **1.1. Estrutura da Pesquisa**

Este estudo está estruturado em capítulos, conforme descrito a seguir.

O capítulo um apresenta a introdução, em seguida a problemática, como a necessidade de pesquisa para preencher uma lacuna que tem implicações diretas no processo de projeto e construção da edificação com particular atenção para os gastos energéticos e, por último, as hipóteses formuladas para responder às questões e atender as necessidades apresentadas na problemática.

O capítulo dois apresenta revisão bibliográfica com foco nas técnicas de representação. Inicia com os primeiros vestígios de desenho, apresenta a evolução das técnicas de representação manuais até a modelagem digital. Termina discorrendo sobre os aplicativos, desde os sistemas CAD genéricos até os sistemas BIM criados mais recentemente.

O capítulo três compara as principais características entre os sistemas CAD e os sistemas BIM, conceitua esses sistemas, apresenta suas características, seus recursos e benefícios.

O capítulo quatro conceitua a simulação ambiental, mostrando sua importância, benefícios, alguns tipos de programas existentes no mercado e sua utilização nos projetos de arquitetura. Em seguida define o termo “Green BIM” no sentido de utilizar a tecnologia dos sistemas BIM para desenvolver projetos sustentáveis e por último apresenta dados ambientais para mostrar a relevância da análise ambiental.

O capítulo cinco trata do recurso da interoperabilidade. Inicia conceituando o termo. Após a conceituação são apresentadas as formas de interoperar entre os sistemas e de diversas formas (direta, arquivos com formatos registrados, arquivos com formatos públicos e padrão XML) e posteriormente mostra os formatos de arquivos disponíveis.

O capítulo seis apresenta o método de investigação utilizado para a comprovação da hipótese. No mesmo capítulo são apresentados os *softwares* dos sistemas BIM disponíveis no mercado e quais programas BIM foram escolhidos para a experimentação e o motivo da escolha. Na sequência foram apresentados os principais *softwares* de simulação lumínica e os que foram selecionados para realizar o experimento proposto nesta dissertação bem como a razão da sua escolha. A parte final do capítulo apresenta o passo a passo da investigação.

O capítulo sete é composto pelas primeira e segunda etapas do experimento. Desenvolvem os processos um, dois, três e quatro. O primeiro processo consiste em exportar o modelo do *software* BIM *ArchiCAD* 14 ([www.graphisoft.com](http://www.graphisoft.com)) para o simulador ambiental *Autodesk Ecotect Analysis* 2011 ([www.autodesk.com.br](http://www.autodesk.com.br)). Depois de realizar as análises o modelo será exportado de volta para o BIM. O processo dois possui a mesma estrutura, mas envolve o *software* *ArchiCAD* 14 e o simulador IES <VE> 6.1.1. ([www.iesve.com](http://www.iesve.com)). O processo três consiste em exportar o modelo do *software* BIM *Autodesk Revit Architecture* 2011 ([www.autodesk.com.br](http://www.autodesk.com.br)) para o simulador ambiental *Ecotect* 2011. Depois de realizar as análises o modelo será exportado de volta para o BIM. O processo dois possui a mesma estrutura, mas envolve o *software* BIM *Revit* 2011 e o simulador IES <VE> 6.1.1. Após as exportações será feita a análise dos resultados.

O capítulo oito analisa os resultados do experimento. Avalia a interoperabilidade mediante esses resultados. Logo após este capítulo, são apresentados a conclusão e os desdobramentos futuros. A problemática e hipótese são respondidas na conclusão. Nos desdobramentos futuros é feita sugestão para solucionar a baixa interoperabilidade entre os *softwares* estudados.

O apêndice, após as referências, contém manual para exportação do modelo dos sistemas BIM para simuladores ambientais.

## **1.2. Problemática**

A interoperabilidade entre *softwares* de modelagem de projeto, entre aqueles provenientes dos sistemas BIM e simuladores ambientais é fundamental para que a tecnologia disponível possa contribuir de forma efetiva para o meio ambiente.

### **1.2.1. Dificuldade em viabilizar a interoperabilidade**

Um projeto é modelado no *software* BIM, entre outras razões, para colaboração entre as equipes de projeto, construção e para estudos em outros aplicativos. A viabilização do projeto integrado depende do pressuposto de que o BIM possua interface, ou melhor, interoperabilidade, com outros sistemas (EASTMAN et al, 2008,

p. 56). Esta comunicação nem sempre ocorre de forma simples e satisfatória, principalmente quando envolve outros programas, de outras áreas, como é o caso da necessidade de exportar e/ou importar o modelo para programas de análise e simulação. Muitas vezes são geradas análises deficientes, porque existem restrições com relação à definição do *software* para importar ou exportar o modelo e não há perfeita colaboração entre os intervenientes.

A necessidade de integração entre os diversos sistemas computacionais de projeto foi apresentada pela *Mc-Graw Hill Constructions*, por Huw Roberts, diretor de *marketing* da *Bentley Systems*, fabricante do *software* BIM *Bentley Architecture*. Segundo Roberts, uma melhor interoperabilidade irá proporcionar melhores resultados uma vez que todos os participantes poderão contribuir de forma direta e mais efetiva para o projeto. Ainda segundo Roberts, para estabelecer melhor conexão entre todos os sistemas que compõem a edificação – tais como mecânico, elétrico, arquitetônico, estrutural – será necessário que os programas “conversem entre si de forma mais dinâmica e amigável” (MCGRAW, 2010, p. 17).

Os diversos sistemas que são integrados em uma edificação atualmente a tornam mais complexa e com maior demanda de profissionais especializados. Isso resulta em projeto com maior número de intervenientes. Por conseguinte, requer maior colaboração, mais *softwares* de análise envolvidos e, portanto, necessidade de maior interoperabilidade entre estes programas.

Outra entrevista realizada pela mesma empresa com o diretor nacional da *U.S. General Services Administration* (GSA), Charles Matta, relata o mesmo problema. Matta afirma que o maior desafio para a utilização da tecnologia BIM como auxiliar no processo de redução do consumo de energia é a interoperabilidade. Segundo ele é difícil recompor o modelo após a exportação considerando os *softwares* disponíveis atualmente. Além disso, a simulação não apresenta exatidão (MCGRAW, 2010, p. 37).

A entrevista de Matta discorre sobre uma das maiores preocupações da atualidade: o meio ambiente. Muitos profissionais e empresas de *softwares* estão pesquisando meios de utilizar a tecnologia em benefício do meio ambiente. Os principais *softwares* dessa área são os simuladores ambientais. Portanto, é fundamental haver boa comunicação entre programas BIM e simuladores

ambientais. Isso garante melhores simulações, mais precisas, e, assim, maiores reduções de consumo e contribuição para redução dos problemas ambientais.

Como resultado a essas demandas é necessário que as empresas criem uma geração de *softwares* mais interoperáveis, em que os produtos sejam edificações mais sustentáveis.

### 1.2.2. A relevância do tema

Os dados ambientais alarmantes atuais divulgados pelo *U.S. Green Building Council* (USGBC) mostram o nível elevado de concentração de gastos com eletricidade. O USGBC e o *U.S. Census Bureau* informaram que os edifícios nos Estados Unidos consomem 30% do total global de energia e 60% da eletricidade mundial por ano, possuindo apenas 4,5% da população mundial. O consumo de energia por edifício resulta em poluição, redução da camada de ozônio e aquecimento global (KRYGIEL; NIES, 2008, p. 14). De acordo com esses dados pode-se concluir que a indústria da construção tem grande responsabilidade em relação a isso.

O aumento do consumo de energia nas construções ocorreu no início do século XX quando, com o surgimento de novas tecnologias, as edificações passaram a contar com sistemas de aquecimento e resfriamento artificial (*Heating, Ventilating, and Air Conditioning*, HVAC) dos ambientes internos, graças à disponibilidade de combustível fóssil. A questão referente ao conforto climático e seus efeitos sobre a edificação era até então ignorada pelos arquitetos (GREEN..., 2010).

À medida que os índices de gastos com energia elétrica cresceram, foram criados movimentos de defesa do meio ambiente. Em 1993, foi criado o *U.S. Green Building Council* (USGBC), conselho sem fins lucrativos comprometido com a prática da construção de edifícios sustentáveis. Esse Conselho tem por objetivo mudar a maneira como os edifícios e comunidades são projetados, construídos e operados possibilitando responsabilidade ambiental e social, que contribuem para melhor qualidade de vida (U.S. GREEN..., 2010).

### 1.3 Objetivo

Considerando as implicações decorrentes dos gastos com energia elétrica pelas edificações, este estudo visa a avaliar a interoperabilidade dos sistemas BIM com sistemas de avaliação ambiental. Esta permite que um modelo BIM seja exportado para um simulador ambiental, onde é realizada a análise dos gastos com energia elétrica. Sem a existência da interoperabilidade esse processo seria significativamente mais laborioso uma vez que toda a configuração de componentes construtivos teria de ser realizada diretamente nos simuladores ambientais, em plataformas que frequentemente não foram desenvolvidas primariamente para este fim.

Esta avaliação será feita através de um experimento. Serão utilizados quatro *softwares*: dois BIM e dois de simulação ambiental. Um modelo será desenvolvido em dois *softwares* BIM. Posteriormente este será exportado para dois simuladores ambientais, onde será feita a simulação da luz natural e da luz artificial. Após a simulação, o modelo será exportado de volta para o BIM. Após esse processo será analisada a interoperabilidade e a quantidade de trabalho e retrabalho necessário para que esse processo ocorra.

### 1.4 Questões

Diante do exposto em relação à questão ambiental e à interoperabilidade entre BIM e simuladores ambientais e no sentido de definir melhor a problemática, foram elaboradas as seguintes indagações:

- Como pode ser feita a exportação e importação dos modelos criados nos sistemas BIM para os *softwares* de análise ambiental?
- Esta transferência de dados inclui todas as informações necessárias à análise ambiental e em que medida?
- Após a simulação ambiental é possível exportar os resultados da avaliação para os *softwares* BIM?
- Se os sistemas BIM atuais não possuem ferramentas integradas de avaliação ambiental, como é feita a interoperabilidade com as ferramentas individuais?
- Diferentes *softwares* BIM resultam em diferentes níveis de retrabalho quando seus modelos são exportados para simuladores ambientais e vice-versa?

## 1.5 Hipótese

É necessário que algumas considerações sejam feitas com o objetivo de definir a hipótese desta Dissertação: os sistemas paramétricos BIM representam a geometria dos elementos e permitem que sejam reconhecidos seus materiais, com suas propriedades e comportamentos. O recurso da interoperabilidade existente nos sistemas BIM permite que estes exportem seus modelos para simuladores ambientais. Por sua vez, os simuladores ambientais aceitam importação de modelos BIM em alguns formatos. A simulação da luz natural e da luz artificial contribui para minimizar os gastos com energia e, portanto, resultando em eficiência energética.

Essas possibilidades advindas dos sistemas BIM e dos simuladores ambientais contribuem para a formulação das seguintes hipóteses:

- 1) O sucesso da interoperabilidade entre sistemas BIM e simuladores ambientais é inversamente proporcional à quantidade de retrabalho necessária para completar ou recompor o modelo e realizar a simulação.

A interoperabilidade, quando realizada de forma integral, entre *softwares* BIM e simuladores ambientais, possibilita contribuir de forma positiva para a eficiência energética.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O tema desta Dissertação resulta da evolução das técnicas de representação do projeto arquitetônico. É importante entender como ocorreu o surgimento da primeira técnica e sua evolução até os dias atuais para que sejam elucidadas as questões relacionadas à interoperabilidade entre sistemas computacionais usados na modelagem de projeto.

### 2.1 Técnicas de Representação e Modelagem

A representação do projeto arquitetônico, que ocorre através do uso dos métodos de projeções bidimensionais em papel ou no computador, dos modelos físicos reduzidos e da modelagem computacional tridimensional mais recentemente, é de fundamental importância para a arquitetura. São meios usados com níveis diferentes de sucesso para conceber, visualizar, analisar e comunicar as ideias de projeto ao construtor, cliente e a todos os envolvidos no processo.

A representação bidimensional do projeto arquitetônico influenciou, ao longo da história, e ainda influencia o *status* social e o desempenho da profissão. Para Robbins (1997, p. 10), 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”.

Até o início da Alta Idade Média, as atribuições profissionais do que hoje se chama de arquiteto e de construtor eram desempenhadas por um único profissional. Portanto, também não havia separação clara entre o ato de projetar e o de construir. Embora o desenho estivesse presente de alguma forma, ele não se constituía no principal meio de comunicação de projeto. As instruções verbais transmitidas no canteiro de obras eram a forma predominante de se comunicar as ideias de projeto aos operários da construção. Isto fazia com que o arquiteto tivesse que permanecer no canteiro durante todo o período da construção (ROBBINS, 1997, p. 10-12).

Ainda de acordo com Robbins (1997), à medida que a representação ortográfica do projeto se tornava mais fidedigna, com desenhos em escala, medidas

e especificações de projeto para execução, a profissão de arquiteto se tornava mais reconhecida e independente da função de construtor. Isto se deve principalmente ao fato de que a existência de instruções gráficas permitia ao arquiteto se distanciar de um canteiro de obras específico e coordenar mais de um projeto simultaneamente.

Existem várias técnicas de representação e modelagem, desde as manuais até as digitais. A técnica que permite representar o projeto através de projeções ortográficas e cônicas, ou seja, planta baixa, corte, fachada e perspectiva, era feita através do desenho bidimensional manual. Essa técnica surgiu na Renascença e teve grande importância, pois resultou no reconhecimento da profissão de arquiteto. Resultou também na separação gradual do mesmo do canteiro de obras (ROBBINS, 1997, p. 18).

Apesar de sua contribuição para a história da arquitetura, essa técnica não é adequada porque não é facilmente compreendida pelo leigo e não reúne todas as informações de projeto, particularmente se este é baseado em formas complexas não ortogonais. Além disso, não permite representar as luzes, sombras, texturas, ventilação etc. Esta lacuna resulta na ocorrência de erros e omissões. Até mesmo a perspectiva manual é limitada, pois a sensação de profundidade resulta de ilusão de ótica (ZEVI, 1996, p. 20).

Uma das técnicas mais evoluídas, disponível desde a década de 80, mas que não é ainda a mais utilizada, é a modelagem computacional tridimensional interativa. Essa técnica de representação é a mais adequada para a realidade, pois vivemos em um mundo tridimensional (KERLOW, 2000, p. 77). Ela permite compreender o espaço e a forma, bem como a textura, o contraste e a cor, e os inúmeros ângulos da edificação à medida que se explora o movimento espacial e temporal (KALISPERIS, 1996, p. 22). Seu uso tornou viável a projeção e construção de formas complexas, mais livres e sinuosas que marcaram a arquitetura contemporânea (KOLAREVIC, 2003, p. 3).

Contudo, a modelagem computacional tridimensional interativa possibilita apenas a representação de entidades geométricas genéricas, sem especificação das propriedades de materiais e seus comportamentos, gerando dificuldades no desenvolvimento de simulações e análises ambientais. Neste sentido, os sistemas BIM possibilitam o preenchimento desta lacuna exatamente por possibilitarem a

representação de informações completas sobre os componentes construtivos. Por esta razão o potencial dos sistemas BIM é explorado nesta Dissertação através do uso da interoperabilidade entre esses e os simuladores ambientais.

## **2.2 Evolução das Técnicas de Representação**

Verificou-se através de estudos da história da construção que o desenho sofreu várias transformações ao longo dos séculos.

Os primeiros vestígios do desenho foram descobertos no Egito. Os povos da Antiguidade desenhavam sobre *grids*, ou melhor grelhas, e incrustavam em lâminas de rochas os croquis com suas ideias. Os desenhos eram rudimentares. No sentido de orientar a construção eram feitas diversas projeções em escala real no próprio canteiro de obras, com cordas e estacas. Naquele contexto não havia desenhos contendo as informações necessárias para a construção, de forma que o mestre de obras desempenhava a função de arquiteto e de construtor. A ele cabia a responsabilidade de organizar, coordenar e executar a obra em suas atividades diárias, definir e comprar os materiais, contratar os serviços, construir e supervisionar a construção, além de elaboração e desenvolvimento do projeto (ROBBINS, 1997, p. 10).

A arquitetura grega e romana, desenvolvida no século XIII, apresentou evolução somente no que se refere às técnicas de desenho. Este passou a ser utilizado para representar os elementos das fachadas como o frontão triangular, por exemplo. Naquele contexto foram desenvolvidas regras para projeção e o uso da geometria para a representação de fachadas mais rebuscadas (ROBBINS, 1997, p. 10).

No período gótico, na Alta Idade Média, foram estabelecidas algumas regras de desenhos que fundamentam as atuais. Mas foi no século XIV que houve evolução mais significativa. Os desenhos passaram a conter mais informações necessárias para a construção. Eram ortogonais, em escala reduzida, forneciam medidas da edificação e eram acompanhados de anotações para guiar a construção (ROBBINS, 1997, p. 13).

A transformação do papel do arquiteto, que começou a ser testemunhada na Idade Média e floresceu no Renascimento, seria associada à crescente ênfase no desenho. No decorrer dos próximos

séculos, à medida que a arquitetura se tornou mais e mais uma profissão distinta, adquiriu suas próprias atribuições e *status*. Com a mudança na prática da arquitetura iniciada na renascença, o desenho se tornou o instrumento dominante de projeção e o símbolo do que tornou a profissão de arquiteto independente do construtor. (ROBBINS, 1994, p. 19)

Como escreveu Robbins, a divisão do trabalho do arquiteto e de construtor ocorreu de fato na Renascença, no século XVI, quando avanços significativos nas técnicas possibilitaram que o desenho se tornasse potente instrumento de execução arquitetônica. Com isso os arquitetos obtiveram reconhecimento social semelhante aos artistas e intelectuais e puderam experimentar, expressar o tom, o estilo e os materiais, assim como as medidas de uma edificação por meio da representação que passou a incluir novas formas de desenhos, como a perspectiva, os cortes e elevações. Como consequência as edificações expressavam melhor a qualidade do projeto.

Do século XVI ao século XX os desenhos se tornaram gradualmente universais no discurso e meio social da arquitetura (ROBBINS, 1997, p. 20).

### **2.3 Modelagem Digital**

O final do século XX está marcado como nova era na arquitetura, a da informação. O desenvolvimento da tecnologia computacional possibilitou nova forma de projeção. A evolução dos computadores permitiu aos arquitetos projetar diretamente neste novo instrumento. Esta tecnologia contribuiu para considerável redução da representação bidimensional no papel. Foi primeiramente usada para automatizar a produção de projeções ortográficas do projeto. Depois de meados da década de 80 as ferramentas de modelagem tridimensional computacional começaram a ser comercializadas.

O desenvolvimento avançado de ferramentas digitais de projeção tridimensional na área da arquitetura tornou possível projetar diretamente no computador desde a concepção (PUPO, 2010). Esta mudança representou avanço em relação a representação bidimensional (ZEVI, 1996, p. 17). Como poderia o arquiteto ter liberdade criativa se utilizava para projeção ambiente bidimensional? Esse ambiente o limitava, pois não permitia compreender adequadamente o espaço e a forma. Esta descoberta não é recente. Em 1948, o arquiteto italiano Bruno Zevi criticava a representação bidimensional como instrumento de compreensão do espaço arquitetônico:

...o caráter essencial da arquitetura – 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. 17).

Para Zevi (1996), o método de representação arquitetônico bidimensional possui muitas desvantagens como ser de difícil comunicação com o leigo, não permite a visualização e controle do projeto como um todo pelo arquiteto, está sujeito a diferentes interpretações e incompatibilidades entre os cortes, plantas baixas e fachadas. De fato, ainda de acordo com Zevi, o objetivo original deste método é a comunicação do projeto ao construtor. Os desenhos técnicos, desenvolvidos para a execução do projeto, geralmente estão em duas dimensões. Como são voltados para os profissionais da área, podem ser entendidos apenas por eles, mesmo assim há sempre possibilidade de erros de interpretação e de omissão resultando em retrabalho e perdas de materiais e tempo. Para Zevi, este tipo de representação é inadequada à compreensão da integralidade dos espaços propostos até mesmo entre os arquitetos, pois esta requer infinitas vistas da edificação à medida que se desloca no espaço e no tempo. Esta percepção é hoje proporcionada, por exemplo, através de passeios virtuais internos e interativos, animação de percurso etc. em modelos tridimensionais interativos.

A introdução de ferramentas digitais voltadas para projeção tridimensional ajudou o arquiteto na tomada de decisão porque permite visão holística. Nesse ambiente é possível visualizar forma e espaço, assim como texturas, contrastes e cores enquanto são explorados os movimentos espaciais e temporais. O arquiteto passa, então, a contar com ambiente para maior experimentação e busca de melhores soluções para o projeto. Como consequência, surgiram formas mais inovadoras, mais complexas e livres (KALISPERIS, 1996, p. 22). Essas poderiam ser manipuladas e exploradas mais facilmente. Essa tecnologia provocou mudança na paisagem, libertando a arquitetura dos limites das formas ortogonais e das estruturas rígidas. Assim, surgiram novos conceitos e novos tipos de arquitetura, resultando em abordagem denominada Arquitetura Digital, definida como: "... processos de geração e transformação de formas baseadas em computador" (PUPO, 2010).

Kolarevic (2003, p. 3) apresentou as características e possibilidades desta nova Arquitetura e o seu impacto sobre as formas complexas anteriormente impossíveis de serem construídas através do uso do método tradicional:

...no campo conceitual, computacional, 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... Estes conceitos abriram novas oportunidades ao permitirem a produção e construção de formas muito complexas que, até recentemente, eram difíceis e dispendiosas de projetar e construir utilizando as tecnologias de construção tradicionais.

A tecnologia que possibilita esta nova arquitetura é denominada *Computer-Aided Design* (CAD) que significa projeto de arquitetura auxiliado por computador, ou seja, utiliza o computador como ferramenta no processo de projeção.

Os sistemas CAD surgiram nos anos 60, quando Ivan Sutherland, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), desenvolveu o sistema *SKETCHPAD* a fim de criar sistemas de defesa para a Força Aérea dos Estados Unidos. Através do *SKETCHPAD* o projetista poderia, pela primeira vez, interagir com o computador graficamente. O sistema possibilitou criar e manipular desenhos em terminais monocromáticos (ROONEY; STEADMAN, 1987, p. 1).

Inicialmente o sistema suportava o desenvolvimento de plantas em ambiente bidimensional a partir de projeto previamente definido. Sua função era de representação e documentação do projeto concluído (SCHODEK et al, 2005, p. 5).

No final dos anos 60, a evolução desse sistema levou à primeira representação tridimensional. Nesta, foram utilizadas formas poliédricas – em que um volume é fechado por uma série de superfícies planas – com intenção de visualização da forma. Era o início da modelagem tridimensional de superfícies. Esse tipo de modelagem pode ser usado para projeção de formas simples, pois o fato de ser formado por superfícies o torna mais difícil para modelar qualquer tipo de curva (EASTMAN et al, 2008, p. 26).

No final dos anos 70, o contínuo crescimento e desenvolvimento da tecnologia computacional permitiu aos sistemas CAD ampliarem suas

potencialidades e tornaram possível representar o projeto também em outro tipo de modelagem: de sólidos. A principal característica e diferença da modelagem de sólidos em relação à modelagem de superfícies é o fato da primeira possuir massa. Isso possibilita que este modelador represente qualquer tipo de forma: simples ou complexa. Os primeiros sólidos foram desenvolvidos a partir de figuras geométricas básicas como esferas, blocos, cilindros e formas triangulares. Eram combinados através de operações “Booleanas” – união, interseção, subtração e divisão. Essa combinação permitia várias operações, por exemplo, criar um vazio em um bloco (CAD..., 2010. EASTMAN et al, 2008).

Em 1977 foi criado, por Avions Marcel Dassault, um dos primeiros compradores do sistema CADAM (*Computer-Augmented Drafting and Manufacturing*), e sua equipe, o primeiro *software* de modelagem tridimensional para a indústria aeronáutica, o CATIA (*Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application*). Outros sistemas CAD tridimensionais surgiram posteriormente como o RUCAPS, TriCad, Calma e GDS (Day 2002) (EASTMAN et al, 2008, p. 27). No mesmo ano foi criado departamento na Universidade de Cambridge para dar continuidade a pesquisas sobre os sistemas CAD, mas era difícil aplicar a nova tecnologia tridimensional, pois os computadores eram muito lentos, não possuíam plataforma amigável e seu custo era alto (CAD..., 2010). Essas razões aliadas ao fato da modelagem tridimensional diferir da representação bidimensional tradicional resultou em que a indústria da construção não adotasse de imediato essa nova tecnologia para projeção (EASTMAN et al, 2008, p. 28).

Em paralelo a esses eventos surgiam os primeiros conceitos de modelagem de produtos, análise integrada e simulação desenvolvidas pelas indústrias mecânica, naval e aeroespacial (EASTMAN et al, 2008, p. 28).

Em 1982 teve início a projeção tridimensional de formas complexas utilizando o computador. Na mesma década, um pouco mais tarde, iniciou-se a comercialização de sistemas CAD tridimensionais e em 1988, a modelagem baseada em objetos paramétricos (CAD..., 2010).

A parametrização surgiu como extensão da tecnologia CSG (*Constructive Solid Geometry*) e B-rep, duas formas de modelagem de sólidos que foram criados com a finalidade de projetar sistemas mecânicos (EASTMAN et al, 1988, p. 26 e 27).

Esforços da academia e da indústria, em especial *Parametric Technologies Corporation* (PTC), resultaram na criação do primeiro modelador de sólidos baseado em objetos paramétricos, o PRO/ENGINEER, em 1989 (AUTODESK, 2010g).

A modelagem paramétrica de objetos define e controla as formas e propriedades do modelo através de hierarquia de parâmetros, expressões algébricas e regras lógicas que operam em diferentes níveis na modelagem do projeto. Assim, há controle das relações internas que definem o modelo, de modo que a forma final é resultado de uma série de valores atribuídos a essas relações. A modelagem paramétrica combina modelo do projeto (geometria e dados) com o comportamento do modelo. O modelo da edificação e uma série de documentos de projeto são armazenados em banco de dados integrado, onde tudo é paramétrico e, portanto, interconectado. Por exemplo: quando uma porta ou janela é inserida em uma parede, são estabelecidas todas as relações de conexão entre a janela e a parede. Essas conexões são denominadas topologia e representam aspecto fundamental na modelagem paramétrica (AUTODESK, 2010g. EASTMAN et al, 2008, p. 46).

A parametrização também contribui com a representação do projeto arquitetônico. Como torna o modelo integrado, as modificações no projeto funcionam de forma diferente do sistema CAD tridimensional genérico. Enquanto nestes todas as modificações em um elemento de uma geometria deve ser atualizado manualmente pelo usuário, na modelagem paramétrica a forma e a geometria se ajustam automaticamente às mudanças (EASTMAN et al, 2008, p. 29).

O surgimento da modelagem paramétrica teve grande importância na história da modelagem computacional. Sua tecnologia levou à criação dos sistemas BIM, voltados para a arquitetura, engenharia, construção civil.

Nos anos 90, com computadores mais potentes e acessíveis, os sistemas permitiam:

a) Modelagem de superfícies:

Um modelo de superfície é formado a partir de pontos, linhas, bordas e faces localizados por coordenadas em sistema cartesiano tridimensional. A inter-relação entre esses elementos forma entidades geométricas bi ou tridimensionais. Estas podem ser visualizadas através de estrutura de arame ou alguma forma de renderização. Esta última pode ser definida como a geração de imagens a partir de modelos tridimensionais computacionais (KERLOW, 2000, p. 151-178). Estas

estruturas renderizadas geram superfícies que representam imagens realísticas com efeitos de luzes e sombras, cores, texturas, transparências e reflexões. Este tipo de modelo não representa um volume real, pois a sua estrutura não possui massa. Muitos destes sistemas, por medida de economia, representam formas curvas apenas através de estruturas simplificadas facetadas. Vários outros o fazem através de curvas "verdadeiras", isto é, de equações que de fato calculam e exibem curvas matematicamente corretas. A vantagem desse tipo de modelo é o fato da modelagem de superfícies permitir aos arquitetos a criação e manipulação de muitas formas gerando novo vocabulário baseado em formas livres. Outra vantagem é sua representação real que é útil para as primeiras etapas do processo de projeção onde as formas estão sendo estudadas e, portanto, onde o mais importante é a rápida visualização (MITCHELL, 1994, p. 231-233. SCHODEK et al, 2005, p. 6-9).

b) Modelagem de sólidos:

O modelo sólido surgiu da demanda por formas mais próximas da realidade. Por isso possui sistema mais sofisticado de representação digital. É um objeto tridimensional, sólido e, portanto, com o interior preenchido por massa. É formado por geometria completa, o que possibilita representar quaisquer tipos de curvas e enviar os modelos para máquinas do tipo CNC (*computer numerical controlled*) para fabricação digital. Pelo fato de possuírem formas perfeitas e geometria consistente, são mais úteis quando o projeto está na fase do detalhamento, da solução de problemas, documentação completa para produção e análise de custo e desempenho.

Os sólidos demandam maior coordenação de informação, o que os tornam computacionalmente mais complexos. Por isso necessitam de mais memória, mais capacidade computacional e são mais complexos em processamento. Diante desses fatos, a modelagem de sólidos pode ter maior e melhor utilização com a criação de computadores mais robustos, com maior capacidade de memória e de processamento, no final dos anos 80. Por permitir transformações geométricas em tempo real, operações como subtração e adição e rápida manipulação da forma e com fluidez, após os anos 80 passaram a ser largamente utilizados para a projeção de formas complexas, particularmente nas indústrias aeroespacial, automobilística e naval (MITCHELL, 1994, p. 235, 268-270. SCHODEK et al, 2005, p. 6-9).

Atualmente, pode-se dizer que não há, entre os aplicativos disponíveis no mercado, separação rígida entre os modeladores de superfície e os modeladores de sólidos. Pode-se dizer também que a grande maioria dos modeladores de sólidos

também permite modelar superfícies. Contudo, número significativo de aplicativos do tipo modeladores de superfície não modela sólido e frequentemente só representam curvas facetadas por medida de economia.

c) Comunicação com outros *softwares*, através de interfaces padronizadas:

Mitchell (1994, p. 268) descreve as diferenças entre as modelagens e os desenhos vetoriais bidimensionais:

Modelos sólidos possuem nível mais elevado de completude de representação geométrica do que as correspondentes imagens “bitmapped” (matriciais), desenhos vetoriais bidimensionais, modelos em arame e modelos de superfície.

O autor defendia a primazia da modelagem de sólidos sobre a modelagem de superfície e os desenhos vetoriais bidimensionais. De fato, um modelo sólido é mais completo que os outros tipos.

A principal contribuição dos modeladores de sólidos para a arquitetura foi a criação da Arquitetura Digital. A possibilidade de representar curvas mais complexas atendeu às demandas tecnológicas e possibilitou a evolução das formas, que passaram a ser mais livres e fluidas.

Essas novas formas resultaram na criação de outro tipo de arquitetura, voltado para os meios digitais, que foi denominada Arquitetura Digital. Em 2003, Kolarevic escreveu sobre as consequências da utilização do computador como nova ferramenta para projeção:

Uma nova arquitetura está emergindo da Revolução Digital, uma arquitetura que encontrou sua expressão em formas curvilíneas de alta complexidade que, pouco a pouco, vão se incorporando às principais tendências.

Enquanto a arquitetura tradicional utilizava desenhos feitos à mão sobre o papel, a arquitetura contemporânea é a materialização das técnicas digitais que permitem a concepção de objetos com alto nível de complexidade. Como exemplo dessa nova arquitetura pode ser citado o Museu Guggenheim, projeto do arquiteto norte-americano Frank O. Gehry para o Museu de Arte Contemporânea em Bilbao, Espanha. O projeto é composto por formas fluidas, orgânicas e foi construído em 1997, em titânio.



Figura 1 – Museu Guggenheim de Bilbao, Espanha.

Fonte: GUGGENHEIM..., 2010.

Para a projeção do Museu, Gehry iniciou com maquetes físicas, em papel e madeira, desenvolvidas em diferentes escalas, que foram sendo refinadas até que o arquiteto definisse todo o projeto. Após esse processo todos os pontos das superfícies curvas da maquete física foram escaneados e digitalizados. Gehry e sua equipe trabalham com o *software* de modelagem digital CATIA. Este programa é modelador de sólidos, portanto controla a geometria para projeção e fabricação digital. O projeto foi seccionado em várias partes e suas peças foram digitalmente fabricadas, numeradas e montadas no local (GUGGENHEIM..., 2010).

Outro importante exemplo da utilização da tecnologia tridimensional para modelagem e fabricação digital é o projeto do arquiteto alemão Bernhard Franken para a BMW. A obra *BMW Pavilion*, inaugurada em 1999, em Frankfurt, Alemanha só pode ser projetada e construída através da utilização dos métodos de produção digital. De forma diferente de Frank Gehry, que inicia o projeto com maquetes físicas, Franken simula um campo de força para geração da forma, em processo de experiência sensorial. Essas formas são geradas a partir de uma série de experimentos baseados em modificações de parâmetros em processo de interação entre o arquiteto e o computador. As formas resultantes não são, portanto,

arbitrárias, uma vez que podem ser explicadas pelos seus parâmetros. Essa racionalização é fundamental para a codificação dos elementos. A codificação permite que os elementos sejam divididos e enviados para máquinas CNC de fabricação digital (KOLAREVIC, 2003, p. 124-125).



Figura 2 – *BMW Pavilion* em Frankfurt, Alemanha.

Fonte: SENSORIAL, 2010.

Nesse caso foram fabricadas 305 diferentes placas de vidro curvo com 8mm de espessura. A estrutura foi montada com, aproximadamente, 3.500 elementos de alumínio que foram cortados em sete padrões diferentes, inclusive com furos e encaixes por máquinas de fabricação digital. Esse trabalho facilitou a montagem no local, que foi feita de forma rápida (KOLAREVIC, 2003, p. 134).



Figura 3 - Estrutura do *BMW Pavilion* em Frankfurt, Alemanha.

Fonte: KOLAREVIC, 2003

Esses projetos com formas complexas geraram novos tipos de arquitetura, dentre os quais se encontra a arquitetura topológica que é a baseada em estruturas geométricas contínuas, conexas, que permitem transformações ou deformações elásticas.

Um círculo e uma elipse, por exemplo, ou um quadrado e um retângulo, podem ser considerados topologicamente equivalentes, pois um círculo e um quadrado podem ser deformados e transformados em uma elipse ou retângulo, respectivamente. (KOLAREVIC, 2003, p. 13)

As duas formas geométricas acima citadas podem ser transformadas em número infinito de formas. A principal característica da geometria topológica é a sua interconexão, sua estrutura interligada ou suas qualidades que existem tanto internamente quanto externamente no contexto de um projeto arquitetônico. Como exemplo, podem ser citadas as estruturas *Möbius strip* (Figura 4) e *Klein bottle* (Figura 5). Ambas possuem formas conexas e não apresentam distinção entre interior e exterior, sob o aspecto do projeto arquitetônico. A *Möbius strip* foi descoberta pelo matemático e astrônomo alemão August Ferdinand Möbius, em 1858. Feita em papel, possui um só lado e uma só linha. A *Klein bottle* foi descoberta em 1882, pelo matemático alemão Felix Klein.



Figura 4 – Möbius strip

Fonte: WIKIPEDIA, 2010

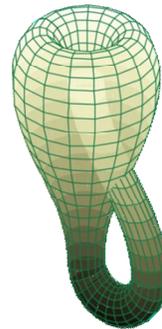


Figura 5 – Klein bottle

Fonte: WIKIPEDIA, 2010

Os espaços geométricos não-Euclidianos (KOLAREVIC, 2003, p. 14) foram formalizados a partir do quinto postulado de Euclides. Este postulado é o mais complexo dos cinco postulados do matemático grego Euclides, e até hoje não foi

demonstrado. Segundo este postulado, por um ponto do plano fora de uma reta passa uma única paralela a essa reta. Retas paralelas de um plano são aquelas que se forem prolongadas indefinidamente não se encontram (CIÊNCIA HOJE, 2010).

A geometria não-Euclidiana é formada a partir de sistema axiomático onde são geradas geometrias curvas como a elíptica e hiperbólica (Figura 6). Segundo esta geometria, o espaço é curvo e um plano está situado sobre a superfície de uma esfera. Esta descoberta possibilitou a modelagem no espaço cartesiano e, portanto, geometria de curvas contínuas e superfícies que caracterizam a arquitetura contemporânea. Estas superfícies curvas utilizam a geometria topológica e são descritas como NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*, 'curva racional não-uniforme'). As curvas e superfícies NURBS possibilitam controlar a forma através da manipulação dos pontos e nós que as compõem conforme demonstra a Figura 7. Dessa forma as NURBS são utilizadas para a projeção de formas complexas (KOLAREVIC, 2003, p. 15).

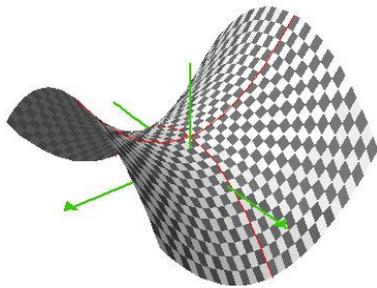


Figura 6 – Geração de curva no espaço Geométrico não Euclidiano

Fonte: FILOSOFIX, 2010

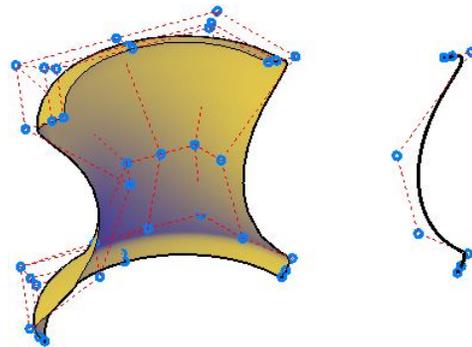


Figura 7 – Superfícies NURBS

Fonte: AUTODESK, 2010

Os sistemas cinéticos e dinâmicos formam a arquitetura metamórfica. Estudam o movimento do objeto, desde a sua estrutura até a sua finalização através da animação. Utilizam os *softwares* de animação não como mídia de apresentação, mas como recurso para geração da forma. Consideram, neste processo, todas as forças físicas que atuam sobre o objeto. Como exemplo pode ser citado o terminal de ônibus em Nova York projetado pelo arquiteto Greg Lynn (Figura 8). O projeto foi

desenvolvido a partir de emissão de partículas que sugerem a evolução da forma enquanto o deslocamento confere movimento e ação.



Figura 8 – Port Authority Gateway por Greg.Lynn

Fonte: GORCZICA , 2010

Os algoritmos genéticos geram a arquitetura evolucionária. Estes algoritmos geram estrutura de um “cordão”, equivalente aos cromossomos das células da natureza, onde são aplicadas regras ou parâmetros de reprodução. O resultado desta reprodução são formas similares, chamadas de pseudo-organismos. Dentre estas formas é escolhida uma que ainda sofrerá processo evolucionário até atingir a solução arquitetônica ideal, conforme exemplifica a Figura 9 (KOLAREVIC, 2003, p. 23).



Figura 9 – Arquitetura evolucionária por John Frazer

Fonte: TU DELFT, 2010.

Apesar dessas possibilidades de exploração de formas complexas, atualmente, no Brasil, os sistemas CAD bidimensionais são ainda largamente utilizados para representação e documentação do projeto. Uma explicação para este fato pode ser a falta de atualização da maioria dos profissionais ou, talvez, a resistência a mudanças

que as pessoas naturalmente possuem. Esta ocorrência pode constituir-se em tema de futuras pesquisas no sentido de explicar a evolução do uso dos sistemas CAD tridimensionais e o gradual desuso do método bidimensional.

Os sistemas CAD bidimensionais são orientados para geometria ortogonal e, portanto, possuem limitações importantes. Dentre elas, podem ser citadas duas fundamentais, com relação aos projetos: (1) requerem inúmeras vistas para representar um objeto tridimensional em um nível adequado de detalhe para a construção; (2) por ser apenas um sistema geométrico, são representados por linhas, arcos e polígonos que são vistos como elementos independentes, não existindo relação entre eles (EASTMAN, 2010). Estas limitações resultaram em inadequação às necessidades atuais de produção de formas complexas.

Era necessário criar ferramenta de projeção adequada a essas novas tendências tecnológicas e ambientais. Nessa nova mídia o projeto deve ter as seguintes características: ser integrado e, portanto, automaticamente compatibilizado, deve permitir a simulação ambiental através de programas específicos para uma melhor análise do consumo da edificação e deve permitir colaboração entre todos os envolvidos através da *Web* facilitando a comunicação e, entre outros fatores, reduzindo o tempo gasto na execução. Mas como alcançar este objetivo?

Mitchell e McCullough (1994, p. 464) fazem prognóstico sobre o desenvolvimento desse novo instrumento de projeção digital e a revolução que essa tecnologia causaria no século XXI:

A mídia de projeção digital ainda está na infância, e nosso entendimento desta mídia é limitado se comparado à nossa vasta experiência com a mídia tradicional. Mas o ritmo de seu desenvolvimento está acelerando; no século XXI, a mídia de projeto digital e escritórios de projeto virtual serão lugar-comum, e o uso das ferramentas e mídias de projeto tradicionais serão raras e especializadas.

Para esses autores, nesta citação há dezesseis anos, o desenvolvimento da tecnologia digital tornaria viável a criação dessa nova mídia, mas a melhor abordagem seria ferramenta de modelagem da concepção até a construção do projeto, em vez de uma outra forma de representação ou mídia. Esta ferramenta seria criada através da adequação dos sistemas CAD a essas novas tendências:

Com o desenvolvimento da tecnologia, os modelos digitais serão executados com controles centrais na prática do processo de projeção. Serão utilizados *softwares* sofisticados de edição e gerenciamento, que receberão “inputs” de arquitetos, consultores, agentes de *software* inteligentes e informações extraídas de bancos de dados online. Produzirão “outputs” para a visualização de sistemas, desenhos e geração de relatórios, grandes tipos de análises críticas do *software*, sistema de prototipagem rápida e sistemas CAD/CAM. E, pela integração dos sistemas CAD (projeto auxiliado por computador) com avançadas capacidades de telecomunicações, eles efetivamente suportarão o trabalho de distribuição geográfica do projeto virtual para escritórios de projetos virtuais. (MITCHELL; MCCULLOUGH, 1994, p. 464).

A apresentação de provável evolução da tecnologia contida na citação acima vem se concretizando, de fato, através de mudanças ocorridas nos sistemas CAD e em relação ao seu uso, desde aquele ano. Estes passaram a ser orientados para os objetos, capazes de modelar, não somente a geometria dos elementos construtivos, mas também suas propriedades, comportamento e suas relações com outros componentes. Estes sistemas são paramétricos, ou seja, modelam os componentes construtivos através de parâmetros de modo que sejam interligados. Esse sistema é a base da nova tecnologia que se convencionou chamar *Building Information Modeling* (BIM) (EASTMAN et al, 2008).

Esses recursos do BIM proporcionam, na prática, a utilização destes sistemas na projeção, fabricação digital, construção da edificação e gerenciamento pós-ocupacional. Sua tecnologia contribui para o controle de todo o ciclo de vida da edificação.

O capítulo seguinte apresenta de forma detalhada esta tecnologia.

### 3 SISTEMAS BIM

Os sistemas BIM surgiram como evolução dos sistemas CAD para atender às novas necessidades decorrentes dos avanços tecnológicos na indústria da construção. Esse capítulo é iniciado com comparação entre os sistemas CAD genéricos e os sistemas BIM. O item 3.2 apresenta a conceituação, os recursos disponíveis e descreve a evolução e os benefícios advindos do surgimento dos sistemas BIM. O item 3.3 trata do conceito “Prática Integrada”, que surgiu da necessidade de trabalho colaborativo entre os diversos profissionais e sistemas que fazem parte do ciclo de vida de uma edificação trabalharem de modo integrado. O último item mostra como é possível a análise ambiental com os sistemas BIM.

#### 3.1 Tabela Comparativa entre os Sistemas CAD e os Sistemas BIM

Esta tabela comparativa foi elaborada com o objetivo de mostrar, de forma clara, as principais diferenças entre estes dois tipos de sistemas a fim de facilitar a compreensão da conceituação que é apresentada a seguir.

Tabela 1 – Comparação entre os sistemas CAD 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 materiais	Não possui atributos especificando as propriedades dos materiais	Possuem banco de dados com atributos especificando as propriedades dos 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	Permitem 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: Autoria nossa

\* é importante ressaltar que nem sempre os *softwares* BIM atuais permitem a criação de formas complexas. Os *softwares Revit e ArchiCAD*, por exemplo, possuem limitações. Apesar

dos *sites* de seus fabricantes – *Autodesk* e *Graphisoft*, respectivamente – informarem que modelam formas livres e complexas. Estes dois *softwares* são modeladores de sólidos e paramétricos, mas não possuem ferramentas NURBS para criação e manipulação de formas complexas.

Os sistemas CAD foram divididos em duas colunas: bidimensional e tridimensional. Essa divisão foi necessária porque existem diferenças importantes entre eles. No CAD tridimensional é possível modelar tridimensionalmente formas simples e complexas. Outra diferença é com relação a estratégias sustentáveis. O CAD bidimensional não as possui, no entanto o CAD tridimensional possui algumas estratégias sustentáveis, pois o seu formato exporta a geometria do modelo tridimensional para simuladores ambientais. A última diferença mostrada na tabela é a ocupação pós-construção.

A diferença maior entre os três sistemas é com relação à geometria. Nos sistemas BIM a geometria possui parâmetros. Isso torna o modelo integrado e, portanto, único. Todos os objetos são conectados por regras. Este recurso dos sistemas BIM é de fundamental importância e gera outras diferenças. O modelo integrado produz automaticamente todas as representações ortogonais, como planta baixa, cortes, fachadas etc. Qualquer modificação no modelo é atualizada em todas as representações.

O sistema paramétrico reconhece os materiais com todos seus atributos e comportamentos. Essa característica dos sistemas BIM permite que desenvolvam estimativas de custos e faça o planejamento da construção. Também contribui para análises do modelo quando exportado para simuladores ambientais. A propriedade dos materiais influencia nos cálculos ambientais.

Outra diferença primordial é com relação ao recurso da interoperabilidade. Nos sistemas CAD esta é limitada, pois exporta somente a geometria. Nos sistemas BIM a interoperabilidade permite exportar o modelo com suas propriedades e comportamentos para *softwares* de simulação ambiental. Isso gera outra característica mostrada na tabela, a de possuir estratégias sustentáveis.

A tabela, mesmo que resumida, mostra de forma clara a evolução de recursos que houve devido à criação dos sistemas BIM.

O *ArchiCAD* possui interface direta com os programas da Maxon (EASTMAN et al, 2008, p. 59), fabricante de *softwares* como o Cinema 4D, e que possui programa

denominado "Bodypaint 3D" que modela diretamente em uma imagem renderizada, eliminando a necessidade de renderizar a imagem para testar o modelo (MAXON, 2010). Este programa modela superfícies e, apesar de não ser voltado para a construção civil, é composto por ferramentas que modelam formas livres. A única forma do *ArchiCAD* comportar esse tipo de modelagem é através da importação pelo *software* da Maxon.

O Revit informa, em seu *site*, que o programa aceita importação de modelos com formas complexas a partir de programas que possuem a ferramenta NURBS. O *site* cita exemplos de programas que o Revit aceita importação, são eles: Autodesk Maya, AutoDesSys, form Z e McNeel Rhinoceros (AUTODESK, 2010c).

A dificuldade de projeção de formas complexas nos sistemas BIM levou o arquiteto Frank Gehry, famoso por projetar formas orgânicas, a escolher outro programa BIM para utilizar em seu escritório. A sua equipe sentiu a necessidade de buscar um *software* que não só modelasse geometria complexa, mas que também a produzisse digitalmente quando foi contratado, em 1992, para criar uma escultura para a entrada do complexo denominado *Vila Olímpica*, em Barcelona, Espanha. Além da necessidade de projetar formas livres, o projeto possuía restrições financeiras e de tempo. Foi descoberto, então, programa desenvolvido pela indústria aeroespacial francesa, *Dassault Systems*, denominado CATIA. O programa foi utilizado para a projeção, análise estrutural e fabricação do projeto que foi chamado de *Fish Sculpture* (KOLAREVIC, 2003, p. 31). Este foi um dos primeiros projetos a ser produzido digitalmente. A imagem a seguir mostra a escultura. Esta experiência levou a equipe de Gehry a mais tarde desenvolver uma versão especializada do CATIA para a arquitetura, engenharia e construção, a qual veio a ser chamada de "Digital Project" (EASTMAN, et al, 2008, p. 60).



Figura 10 - *Fish Sculpture*, projeto do arquiteto Frank Gehry, em Barcelona, Espanha.  
Fonte: CONCIERGE, 2010.

### 3.2 Sistemas BIM

Eastman, estúdio dos sistemas BIM e um dos autores do livro “BIM Handbook”, apresentou estes sistemas como:

... um dos mais promissores desenvolvimentos na indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC). Com a tecnologia BIM um modelo virtual acurado da edificação é construído digitalmente. Quando completo, o modelo gerado no computador contém uma geometria precisa e informações relevantes necessárias para suportar a construção, fabricação e atividades de intervenção necessárias para produzir a edificação. (EASTMAN et al, 2008, p. 1)

O uso da tecnologia referida acima permite que o modelo seja representado pela sua geometria através da combinação de vetores e superfícies sólidas. O resultado é uma imagem realística bidimensional ou tridimensional da edificação. Todos os objetos que compõem esse modelo representam os componentes da edificação, tais como porta, janela, parede e telhado, com o reconhecimento de todas as suas propriedades e o comportamento de seus materiais. Assim, esses objetos são ditos “inteligentes”, pois agem como no mundo real. Outro importante aspecto da tecnologia utilizada nos sistemas BIM é a parametrização. O modelo é, portanto, dito único e integrado.

Essas características distinguem representação tridimensional nos sistemas BIM de representação tridimensional nos sistemas CAD genéricos. Estes geram um

modelo com apenas geometria onde as linhas não são as entidades reconhecidas como objetos (SMITH; TARDIF, 2009).

Os aspectos dos sistemas BIM descritos acima aliados a seu recurso de interoperabilidade, discutida nesse estudo, possibilita que o modelo possua todas as informações da edificação necessárias durante o ciclo de vida da edificação e que estas sejam disponibilizadas em um banco de dados. A disponibilidade dessas informações permite atender a uma premissa básica desses sistemas: a colaboração entre os diferentes *stakeholders* – como contratante, arquitetos, engenheiros, construtores – nas diferentes fases, inserindo, extraindo, atualizando ou modificando essas informações.

Essas características possibilitam aos sistemas BIM realizar uma série de funções: estudos, planejamentos, análise ambiental, estimativa de custo, fabricação digital, detecção de interferências através da compatibilização de projetos etc. Suas funções podem ser aplicadas a várias áreas e sistemas da edificação: projeto estrutural, instalações elétricas, incêndio, ar condicionado, reconstrução etc. Outras aplicações estão relacionadas na figura abaixo:

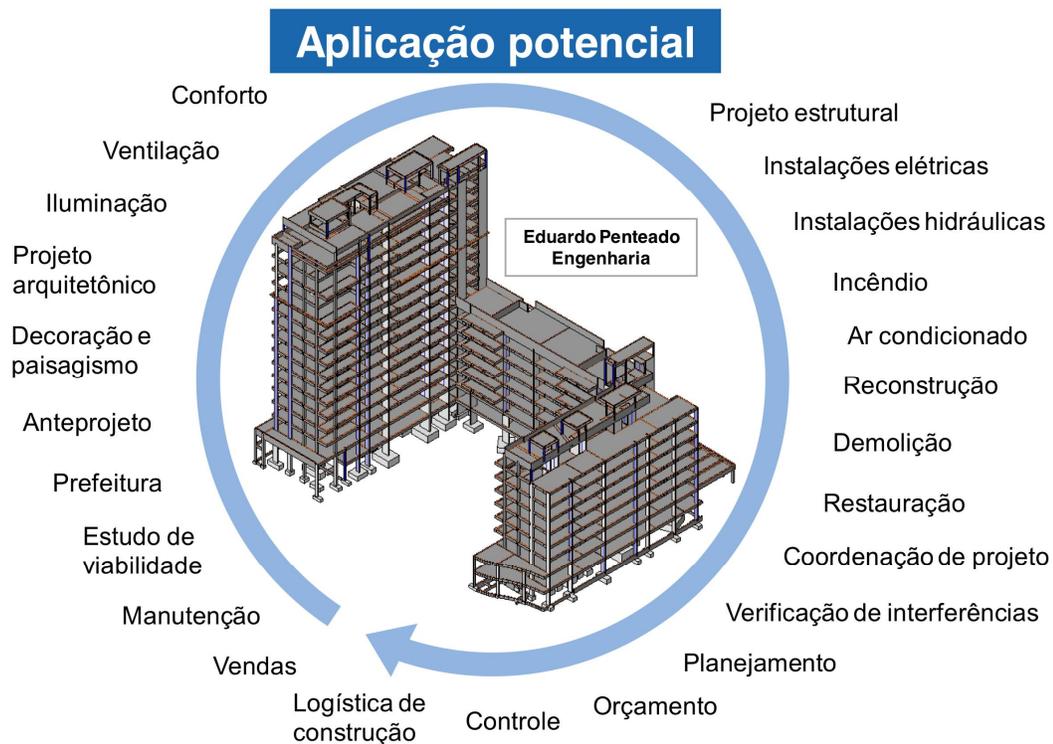


Figura 11 – Utilização dos sistemas BIM.

Fonte: ABECE, 2010.

A utilização das aplicações acima através dos *softwares* dos sistemas BIM resulta em muitos benefícios para a arquitetura, engenharia e construção. Eastman *et al* (2008) relatam alguns deles:

O BIM também possui muitas funções necessárias para modelar o ciclo de vida da edificação, fornecendo a base para novas capacidades na construção e trocas de informações entre a equipe do projeto. Quando implementado de forma apropriada, BIM possibilita que seja obtido um projeto mais integrado e um processo de construção que resulta em edificações com melhor qualidade, menor custo e redução da duração de execução do projeto.

Além das vantagens apresentadas, outras podem ser acrescentadas em relação ao projeto e construção: 1) Projeto: possui menor custo, menor prazo e menor quantidade de modificações; 2) Construção: apresenta melhor qualidade, menor custo, maior rapidez na execução, menor custo de manutenção, menor impacto ambiental (ABECE, 2010).

Apesar de ter sido popularizada recentemente, a tecnologia utilizada nos sistemas BIM não é nova. A conceituação mais antiga de BIM data do ano de 1975. Naquele ano foi encontrado o documento mais antigo sobre o assunto, publicado no extinto “*AIA Journal*”, por Charles M., Chuck Eastman. O tema ainda era teórico naquela época e era utilizado o termo *Building Description System* para o que atualmente é denominado *Building Information Modeling*. Contudo, a definição corresponde ao conceito atual de BIM. Ao longo dos anos o termo sofreu algumas modificações. Em 1986 foi adotado o termo que mais se aproxima do atual: *Building Modeling*. O criador do *software* “RUCAPS”, Robert Aish, o utilizou em um texto. Aish – que hoje trabalha na *Bentley Systems* – descreveu neste texto os benefícios que se obtém com a utilização dos sistemas BIM e a tecnologia necessária para utilizá-lo. Aish demonstrou suas afirmações através de um estudo de caso, o qual foi desenvolvido no *software* RUCAPS.

O termo *Building Information Modeling*, BIM, só apareceu integralmente em 1992, em um texto escrito por G.A. van Nederveen e F. Tolman em *Automation in Construction* (LAISERIN, 2008, Foreword XI, apud EASTMAN *et al*, 2008).

O termo *Building Information Modeling* foi conceituado por vários autores. Eastman o descreveu como: modelo paramétrico associado a uma série de processos para produzir, comunicar e analisar as edificações (EASTMAN *et al*, 2008, p. 13). Esta

definição foi apresentada para esclarecer uma das principais características dos sistemas BIM, a parametrização.

Esse é um dos recursos que distingue um modelo BIM de um modelo dos sistemas CAD genéricos. Os objetos baseados em modelagem paramétrica não representam objetos com geometria e propriedades fixas. Mais do que isso, representam objetos com parâmetros e regras que determinam a geometria assim como algumas propriedades e características não-geométricas (EASTMAN et al, 2008, p. 25). Enquanto no CAD tridimensional qualquer modificação no elemento geométrico deve ser feita manualmente, nos sistemas BIM a forma e a geometria automaticamente se ajustam às mudanças.

No 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, 2008, p. 29).

Em seu livro “BIG BIM, little bim”, Jernigan (2007, p. 321) afirma que objetos paramétricos são aqueles que refletem o comportamento e atributos do mundo real. Um modelo paramétrico é “consciente” das características dos componentes e interações entre eles. Mantém uma relação consistente entre elementos do modelo quando este é manipulado. Por exemplo, em um modelo paramétrico de uma edificação, se há alguma modificação na declividade do telhado, automaticamente as paredes se ajustam a essa modificação.

Outro exemplo de modelagem paramétrica pode ser dado através da modelagem de uma parede. Os atributos e relações de uma parede podem ser classificados em uma *wall family*. Isto significa que ao inserir uma parede em um projeto, a mesma será locada e receberá os atributos estabelecidos na *wall family*. Os atributos podem ser: forma composta por várias faces planas, espessura constante, elevação definida por um ou mais planos de base, topo com altura determinada ou definido por planos adjacentes, a parede estará conectada a todos os elementos associados a ela e aos múltiplos espaços que ela separa.

Estes atributos podem conter algumas condições: a locação de portas e janelas não pode ir além dos limites da parede e os dois objetos não podem se sobrepor. A linha de controle da parede pode ser reta ou curva, permitindo que a parede adquira sua forma. A parede pode interceptar o piso, teto ou outras paredes.

As paredes podem conter seções cônicas se forem compostas de concreto ou outros materiais maleáveis etc. (EASTMAN et al, 2008, p. 31).

O número de atributos e regras são muitos e varia de acordo com a necessidade do usuário e complexidade do projeto.

Outro ponto a ser considerado é a “linha de controle da parede” e o “ponto de interseção”. Todos os atributos têm como referência estes controles. Por exemplo, a espessura de uma parede será de dois *offsets*, isto é, dois deslocamentos a partir da “linha de controle da parede” (EASTMAN et al, 2008, p. 45).

A modelagem de objetos paramétricos constitui poderosa ferramenta de criação e edição da geometria. Sem a parametrização, a modelagem de um edifício que contém milhões de objetos seria impraticável.

Por razões que incluem a parametrização, os sistemas BIM representam nova geração de *softwares*, orientados para modelarem objetos e gerenciar a informação da construção durante todo o ciclo de vida do projeto. O modelo BIM representa digitalmente as características físicas e funcionais de um edifício ou empreendimento. Constitui base de dados que pode e deve ser compartilhada ao longo de todo o ciclo de vida da construção (NIST, 2010a).

O método de projeto e construção de uma edificação sofreu inúmeras transformações ao longo dos últimos cem anos. Além de formas irregulares e curvilíneas, foram acrescentados vários sistemas às edificações como ar condicionado, segurança, circuito fechado de televisão (CFTV), estacionamento subterrâneo, entre outros, tornando-as mais complexas. O funcionamento desses sistemas foi planejado de forma integrada, pois precisam ser compatibilizados para que possam funcionar de forma integrada.

Outra característica das novas edificações diz respeito ao meio ambiente, pois precisam ser ambientalmente sustentáveis.

As transformações recentes mencionadas acima geraram novos critérios para avaliar uma edificação e, conseqüentemente, maior quantidade de documentos de projeto e maior número de plantas e detalhes. O gerenciamento da construção também passou a ser mais efetivo uma vez que houve necessidade de maior coordenação entre todos os sistemas. As conseqüências foram várias: maior demanda de energia para a edificação operar, maior custo de construção e manutenção, maior especialização da mão-de-obra, maior quantidade de informações e dados a serem gerenciados, entre outras (KRYGIEL; NIES, 2008, p. 29).

Os sistemas BIM tornam viável a execução de projetos complexos pelo fato de possuírem recursos para simular todos os sistemas da edificação, através do uso de um modelo central, e permitirem a troca de dados entre todos os profissionais envolvidos no projeto: a equipe do projeto, o construtor e o proprietário.

### **3.3 Prática Integrada**

As potencialidades dos sistemas BIM permitiram abrir um novo caminho a ser explorado pelos profissionais que atuam na área de Arquitetura, Engenharia e Construção em direção a um novo conceito denominado Prática Integrada. Essa nova prática é composta por projeto, construção e gerenciamento da edificação e tem como peças-chave a colaboração, interoperabilidade e reutilização da informação (CRESPO; RUSCHEL, 2007; JERNIGAN, 2007, p. 58).

O termo Prática Integrada (*Integrated Practice*) foi criado pelo AIA, *American Institute of Architects* (JERNIGAN, 2007, p. 23). Segundo o *AIA California Council*, (2007), Conselho do *American Institute of Architects* esta tem o seguinte objetivo:

...a prática integrada proporciona um projeto que visa integrar pessoas, sistemas, estruturas de trabalho e práticas em um processo que une as habilidades de todos os participantes para reduzir desperdícios e otimizar eficiência em todas as fases do projeto, fabricação e construção. O processo se inicia na primeira conceituação do projeto e se estende por todo o ciclo de vida da edificação.

Ainda de acordo com *AIA California Council* (2007), para que esse processo de integração seja efetivo, é necessário que sejam observados alguns princípios: deve haver respeito mútuo entre todos os integrantes do projeto, os objetivos do projeto devem ser estabelecidos antes do início do projeto e comunicado a todos os participantes. A comunicação entre os participantes deve ser aberta e honesta, os padrões a serem utilizados devem ser definidos a fim de evitar problemas com interoperabilidade, com o mesmo objetivo além de maximizar a funcionalidade, deve ser definida a tecnologia apropriada no início do projeto e alto desempenho para otimizar as soluções de projeto e garantir que este seja sustentável.

De acordo com Jernigan (2007, p. 53), os cinco princípios que caracterizam, de forma resumida, os sistemas BIM e a prática integrada são: “Comunicação, Integração, Interoperabilidade, Conhecimento e Certeza”.

O princípio da comunicação requer que esta seja imediata através do uso da tecnologia. É prioridade para o processo se desenvolver. A Integração permite que a equipe do projeto trabalhe de forma eficiente, otimizando tempo. O recurso da Interoperabilidade possibilita o compartilhamento da informação. O conhecimento é importante para uma tomada de decisão consciente e para melhorar a eficiência (JERNIGAN, 2007, p. 53).

Os sistemas BIM possibilitam a prática integrada entre os participantes do projeto porque criam modelo único. Este modelo possui todas as informações do projeto e permite inserir e exportar dados a qualquer momento. A partir dele é possível extrair todas as plantas e imagens, calcular e quantificar os materiais a serem usados na edificação. Qualquer modificação no modelo será atualizada também em todas as projeções ortogonais e no banco de dados.

### **3.4 Análise Ambiental nos Sistemas BIM**

A análise ambiental nos sistemas BIM é possível através do recurso denominado interoperabilidade. Os *softwares* de modelagem dos sistemas BIM ainda não realizam a análise ambiental. Possuem apenas ferramentas para estudo da insolação, como o *ArchiCAD* 14, última versão. Também permitem que sejam inseridos os dados climáticos relativos à região onde se encontra a edificação. Os recursos são limitados porque não permitem calcular a carga térmica, o consumo energético, o uso da água, entre outras variáveis.

As versões mais recentes de alguns dos *softwares* BIM disponibilizaram extensões para análises ambientais. Essas possuem mais ferramentas para as análises, mas ainda assim não são completas. O fabricante do *software ArchiCAD*, a Graphisoft, por exemplo, lançou o *GRAPHISOFT ECODESIGNER*. Esta extensão possui ferramentas para análise do desempenho energético da edificação na fase de projeção (GRAPHISOFT, 2010). A interoperabilidade é integral no caso em que o modelo é exportado para uma extensão do próprio *software* em que foi modelado. Por outro lado, no entanto, pode ser necessário exportar o modelo para *softwares* de análise ambiental pelos seguintes motivos: 1) o modelador possui extensão que desenvolve somente alguns tipos de análises como a lumínica, não perfazendo as

análises térmica, acústica, de aproveitamento da água das chuvas etc.; 2) o modelador não possui extensão para o desenvolvimento de análises ambientais.

No tocante ao exemplo apresentado, em que é necessário exportar o modelo para simuladores ambientais, pode haver boa comunicação ou não entre os *softwares* envolvidos, pois pertencem a sistemas diferentes. A interoperabilidade, portanto, é uma incógnita.

## 4 SIMULAÇÃO AMBIENTAL COMPUTACIONAL

Este capítulo trata da simulação ambiental computacional, das questões ambientais e do novo conceito que envolve o tema. O primeiro item trata da simulação ambiental computacional: definição, importância e tipos de simuladores existentes no mercado. O item seguinte mostra sua relação com o projeto de arquitetura. O item 4.3 mostra a importância, através de pesquisas realizadas por diversas instituições, de um novo conceito, o *Green BIM*. O último item mostra a relevância da análise ambiental para diminuir os índices ambientais negativos e qual a importância da interoperabilidade para contribuir com essa análise.

### 4.1 Simulação Ambiental Computacional

A simulação ambiental pode ser definida como: “É o ato de realizar experimentos no modelo para fazer previsões sobre como o sistema real se comportaria se submetido a tais condições conforme simuladas” (MAZZARELLA; PASINI, 2009, p. 638).

A simulação é definida como uma “imitação”, com relação aos aspectos físicos e funcionais, da realidade. Neste sentido os *softwares* ambientais “simulam” uma condição ainda não existente (AMORIM et al, 2006). Desta forma apresentam informações sobre o comportamento da edificação em relação ao meio ambiente que podem ser usados para proporcionar conforto térmico, luminoso e acústico aos usuários da edificação em estudo.

A questão ambiental, englobando conforto ambiental (térmico, luminoso e acústico), economia de energia e outros aspectos são cada vez mais importantes no cenário internacional.

Os dados mostram, por exemplo, que o consumo de energia nas edificações representa uma fração significativa do consumo de energia pela sociedade. Cerca de 36% da energia nos EUA é consumida pelas edificações. A maior parte da energia consumida nas edificações é proveniente do combustível fóssil, também diretamente ligado à geração da eletricidade. O dióxido de carbono gerado pelo consumo global

de combustíveis fósseis é um dos responsáveis pelas mudanças climáticas e aquecimento global. O caminho para reduzir esse índice é projetar edificações para que tenham demanda mínima de energia e que essas demandas sejam satisfeitas com energia renovável em vez de combustíveis fósseis (UTZINGER; BRADLEY, 2009, p. 1214).

É fundamental levar em conta as questões ambientais ao desenvolver um projeto arquitetônico. Há algumas décadas, para o desenvolvimento de projetos ambientais, era necessário utilizar instrumentos manuais de análise ambiental tais como cartas bioclimáticas de Olgay e Givoni. Esta última foi criada em 1969, e adotada em 1992, para análise do clima local e das condições de conforto, incluindo cartas solares, transferidores auxiliares, diagramas para projeto dos protetores solares, entre outros (AMORIM et al, 2006).

Com o desenvolvimento da tecnologia computacional e da criação de *softwares* de simulação ambiental foi possível utilizar ferramentas digitais para avaliar o desempenho da edificação.

A simulação é o único caminho que permite que o projetista explore as relações entre ambiente e forma, material, serviços e controle da edificação. Quando utilizada nos primeiros estágios da projeção possibilita refinamento gradual do projeto e seu desempenho pode ser simulado repetidamente para aprofundar o nível de detalhes (BAMBARDEKAR, S.; POERSCHKE, U. 2009, p. 1306).

Outros benefícios da simulação computacional são:

- redução ou eliminação de erros;
- pode apresentar diversas alternativas de projeto sem aumento de custo;
- pode ser atribuído ao modelo qualquer referenciamento geográfico, em qualquer dia do ano;
- ilustra claramente as ideias e resultados ao cliente. (ROGERS, 2010)

Atualmente existem muitos *softwares* de análise ambiental que simulam as condições térmicas, lumínicas e acústicas, os gastos energéticos, o reuso e o aproveitamento da água das chuvas, emissão de CO<sub>2</sub>, energia renovável, programas para análise do clima, cálculo da poluição atmosférica etc. Dentre os *softwares* disponíveis, alguns são mais complexos e, por isso, é necessário que haja treinamento para os usuários, mas outros possuem plataforma amigável. Uns são

mais específicos, pois simulam somente um aspecto, outros trabalham de forma integrada e, portanto, simulam vários aspectos ambientais (AMORIM et al, 2006).

Como exemplo de *software* que simula somente um aspecto ambiental pode ser citado o *Radiance*. Este simula a iluminação do modelo. É mais complexo para trabalhar, necessitando, portanto, de treinamento. Este programa deu origem a vários outros com interfaces mais amigáveis como o *Desktop Radiance*, o *Rayfront* e o *Relux* (AMORIM et al, 2006).

Entre os *software* que perfazem a análise ambiental integrada está o *Ecotect*. Este é um dos únicos *softwares* completos e fáceis para interagir de análise ambiental disponíveis no mercado. Calcula a energia total gasta pela edificação, a emissão de carbono, o desempenho térmico, acústico e lumínico, o nível de radiação solar, o uso da água, as sombras e reflexões (AUTODESK, 2010e).

Outros exemplos de *softwares* de análise ambiental disponíveis atualmente estão listados no *Building Energy Tools Directory*, página da internet mantida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América.

#### **4.2 Simulação Ambiental Computacional e o Projeto de Arquitetura**

O projeto de arquitetura é, por convenção estabelecida em normas técnicas, dividido em fases. Estas não se constituem propriamente na descrição do que de fato ocorre durante o processo de projeção, em termos de raciocínio ou tomada de decisões, mas na realidade apenas descrevem os produtos textuais ou gráficos resultantes da aplicação das normas estabelecidas em cada uma dessas fases (LOGAN, 1987). Inicia com o estudo de viabilidade e termina com a execução. Em cada uma delas o arquiteto tem importantes decisões a serem tomadas. Na etapa de elaboração do projeto, por exemplo, espera-se, segundo as normas, que sejam definidas a volumetria da edificação, suas aberturas, sua orientação solar etc. As decisões tomadas em cada fase afetam a seguinte até que, no final, definem todos os aspectos da edificação.

A simulação ambiental computacional influencia no desempenho ambiental da edificação. É importante ferramenta que pode ser usada pelo arquiteto na tomada de decisão. Seu uso pode modificar, por exemplo, vãos de portas e janelas, para obter o máximo aproveitamento da luz natural e da ventilação natural (CHRISTAKOU, 2004, p. 15).

A partir desta colocação, uma questão pode ser levantada: em que fases do processo de projeção pode ser inserida a ferramenta de simulação ambiental?

Uma vez que as questões ambientais influenciam todos os elementos da edificação, ou seja, a forma que, devido a sua orientação, pode maximizar os benefícios da insolação; as aberturas que permitem melhor ventilação e iluminação; os materiais que, sendo termo-acústicos, reduzem a carga térmica interna da edificação etc. A ferramenta de simulação pode ser utilizada, em um primeiro momento, no início da projeção, na fase de estudo preliminar. Nessa etapa o arquiteto tem como saída o primeiro modelo da edificação mostrando sua volumetria, com formas, aberturas e materiais. Como o objetivo principal desse estágio inicial é um estudo, as análises e simulações ambientais realizadas são mais simples, geralmente desenvolvidas pelo próprio arquiteto, para que possa criar os elementos da edificação citados (EASTMAN et al, 2008, p. 167).

A etapa seguinte é o anteprojeto. Nela o arquiteto testa vários estudos e evolui até atingir um modelo que atenda a todas as condicionantes do projeto e obtenha o máximo desempenho ambiental. O arquiteto apresenta o consumo energético e todos os sistemas da edificação, como sistemas mecânico, estrutural, lumínico, térmico, acústico, de segurança, de ar condicionado, e todos os outros necessários, quantificados e dimensionados para orçamento, fabricação e instalação. Portanto, as simulações ambientais computacionais também podem ser utilizadas nesse estágio, mas de forma mais complexa. Esse detalhamento das análises e resultados requer que sejam desenvolvidas por especialistas (EASTMAN et al, 2008, p. 167).

Os dados de saída do anteprojeto são a base para o desenvolvimento do projeto executivo. Neste são apresentados todos os detalhamentos, as especificações dos sistemas e demais plantas necessárias à construção da edificação.

A figura 12 apresenta fluxograma mostrando a utilização da simulação ambiental nas diferentes fases do projeto arquitetônico.



Figura 12 - Fluxograma do projeto arquitetônico com a utilização de simulação ambiental.

Fonte: baseado em EASTMAN *et al*, 2008 e CHRISTAKOU, 2004.

O fluxograma mostra, no lado esquerdo, as etapas do projeto arquitetônico. No lado direito as etapas da simulação ambiental.

A primeira utilização da ferramenta de simulação pode ocorrer, de forma mais simples, no estudo preliminar. O processo de simulação ocorre da seguinte forma: inicialmente a modelagem é desenvolvida ou importada de outro *software* para o simulador ambiental. Na etapa de número 2 são inseridos dados do modelo como referenciamento geográfico, materiais utilizados, entre outros. Esses dados variam em função do tipo de simulação a ser feita. Na etapa seguinte a simulação é realizada. Na etapa 4 são mostrados dados resultantes da simulação. Com esses dados é feita a análise. Seu resultado é quem define se haverá necessidade de nova simulação para a obtenção de resultados mais satisfatórios ou se o alcançado já atingiu a máxima eficiência. Caso haja nova simulação, o modelo passa por ajuste e retorna à etapa 2, para entrada de novos dados e reprocessamento. Esse processo é repetido até que o profissional alcance o resultado projetado.

Na fase de estudo preliminar esse processo pode ser realizado pelo próprio arquiteto ou responsável da equipe pelo projeto.

A conclusão dessa etapa leva ao anteprojeto onde novamente ocorre a simulação, mas de forma mais completa, desenvolvida por especialistas, com dados suficientes para a instalação.

A etapa final é o projeto executivo, onde são desenvolvidos os detalhamentos e outros projetos para construção.

### 4.3 Green BIM

O cenário mundial atual mostra duas tendências na área da Arquitetura, Engenharia e Construção que irão mudar definitivamente a forma de projetar e construir. São elas o *Green Building* e o uso das ferramentas BIM (MCGRAW..., 2010).

O uso das ferramentas BIM tem crescido bastante nos últimos anos e, com o desenvolvimento da tecnologia e melhoria na comunicação entre os *softwares*, a tendência é que estes sistemas se consolidem no mercado. O gráfico a seguir mostra resultado de pesquisa realizada na América do Norte, pela McGraw Hill Construction intitulada, "*The Business Value of BIM*" (O Valor Comercial do BIM). Mostra um aumento considerável nos últimos dois anos:

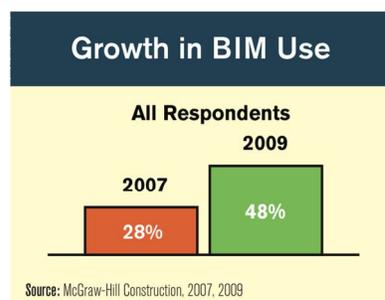


Figura 13 – Crescimento na utilização dos sistemas BIM

Fonte: MCGRAW..., 2010.

O gráfico mostra crescimento relativo de 71% no número de usuários dos sistemas BIM entre 2007 e 2009. A pesquisa foi realizada entre arquitetos,

engenheiros, contratantes, proprietários, empresas de produtos e indústrias da América do Norte.

A pesquisa também obteve os seguintes dados: em 2009, metade das indústrias utilizavam o BIM. Isto representa aumento de 75% nos últimos dois anos; 42% dos usuários estão em um nível avançado de conhecimento do sistema – três vezes o detectado em 2007; metade dos contratantes usam BIM – quatro vezes o nível em dois anos; dois terços dos profissionais utilizam os *softwares* BIM em mais de 60% dos projetos; 42% dos não-usuários acreditam que o sistema terá grande importância para a indústria em cinco anos; quase metade dos não-usuários nunca testaram as ferramentas BIM, mas estão dispostos a usar e verificar o seu valor (MCGRAW..., 2010).

Outra pesquisa realizada pela mesma empresa, em 2008, sob o título "*Building Information Modeling (BIM)*", divulga a expectativa no uso dos sistemas BIM entre os usuários:

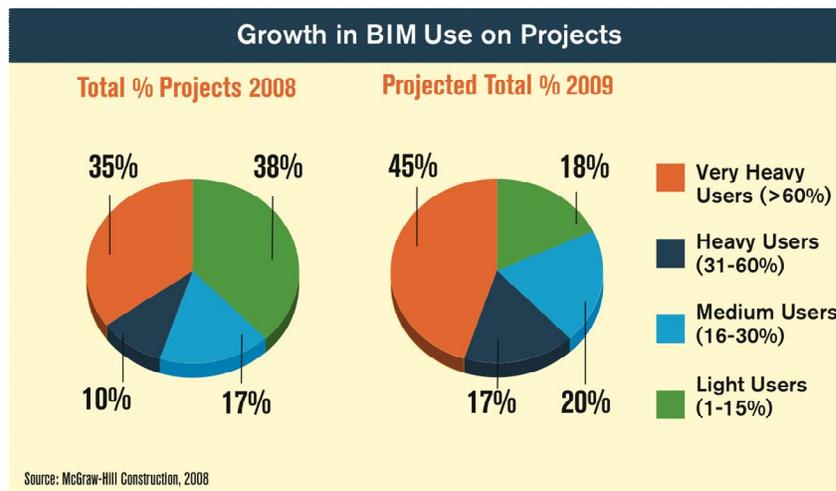


Figura 14 – Expectativa no uso dos sistemas BIM.

Fonte: AUTODESK, 2010a.

De acordo com o gráfico acima, a expectativa é de que o número de usuários que utilizam o BIM em mais de 60% de seus projetos irá subir de 35% em 2008 para 45% em 2009. Todos estes dados indicam crescimento considerável no uso dos sistemas.

Em paralelo a esse crescimento, também tem sido notável o desenvolvimento de projetos sustentáveis. O apelo ambiental levou muitos profissionais a se preocuparem com o desempenho ambiental de seus projetos. Não apenas devido a preocupações de ordem pessoal, mas também por questões econômicas e de concorrência de mercado. Uma edificação eficiente energeticamente e com bom desempenho diminui custos com energia e outros serviços. Os líderes de mercado adotaram essa estratégia. O governo americano incentivou, ou até mesmo obrigou, as empresas a adotar projetos *green* através de mudanças na legislação.

De acordo com reportagem realizada pela *McGraw Hill Construction*, em 2009 mais de um quinto das maiores empresas da América desenvolveram projetos *Green*. Essas empresas influenciam o mercado e incentivam o crescimento. É esperado que mais 42% adotem essa abordagem *Green* até o ano de 2012 (MCGRAW..., 2010).

Essa mesma instituição adotou o termo *Green BIM* como tema de pesquisa realizada em 2010 representando a união de duas tendências: *Green Buildings* e os sistemas BIM. O resultado mostra a grande utilização dos sistemas BIM por empresas e profissionais da área no desenvolvimento de projetos *Green*. A figura 15, extraída dessa pesquisa, mostra o período inferior a dois anos de utilização da abordagem *Green BIM* pela maioria de usuários:

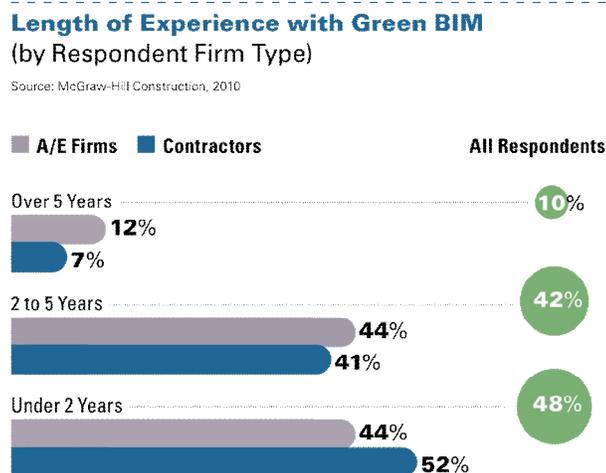


Figura 15 – Período de utilização da abordagem *Green BIM*.

Fonte: MCGRAW..., 2010

A informação que mais chama a atenção no gráfico acima é que 44% das empresas de arquitetura e engenharia e 52% dos contratantes, ou seja, a maior parte utiliza o *Green BIM* há menos de dois anos. No entanto, 44% dos arquitetos e engenheiros e 41% das empresas da construção civil utilizam os sistemas BIM por um período mais longo, entre dois a cinco anos, o que evidencia considerável mudança no mercado.

A referida pesquisa também revela que é esperado o crescimento da utilização de projetos *Green BIM* no mercado para 61% entre um e três anos:

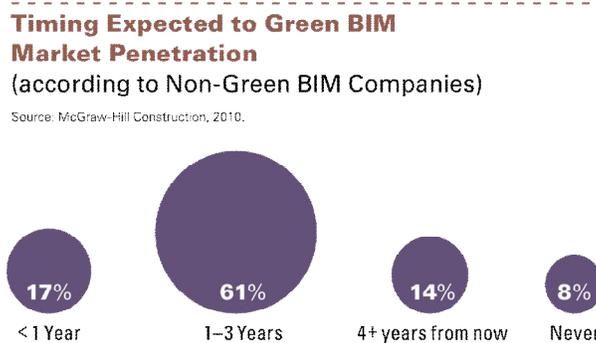


Figura 16 – Expectativa de crescimento da utilização de projeto *Green BIM*.

Fonte: GREEN BIM, 2010

Esses dados indicam a consolidação do uso do *Green BIM* no mercado nos próximos anos. A pesquisa mostra que a indústria reconhece o potencial do BIM para aperfeiçoar projetos e construções sustentáveis. Esse reconhecimento é um fator para a consolidação do seu uso, pois sua utilização vai aumentar juntamente com a crescente tendência de desenvolvimento de projetos *Green*.

Apesar da crescente utilização do *Green BIM*, essa consolidação ainda depende de alguns fatores. A adoção de novo sistema por uma empresa ou escritório da área de arquitetura ou engenharia não é uma tarefa simples e rápida. É processo que requer treinamento adequado, envolve o custo do *software*, custo com atualizações dos *hardwares*, gera riscos de mudanças, entre outros (AUTODESK, 2010a). Além destes, outro fator primordial é a interoperabilidade entre os *softwares*. A união de projetos *Green* com BIM depende fundamentalmente da

interoperabilidade para que seja possível exportar o modelo desenvolvido em um *software* dos sistemas BIM para um simulador ambiental. A interoperabilidade não funciona de forma efetiva segundo reportagem da *McGraw Hill Construction*.

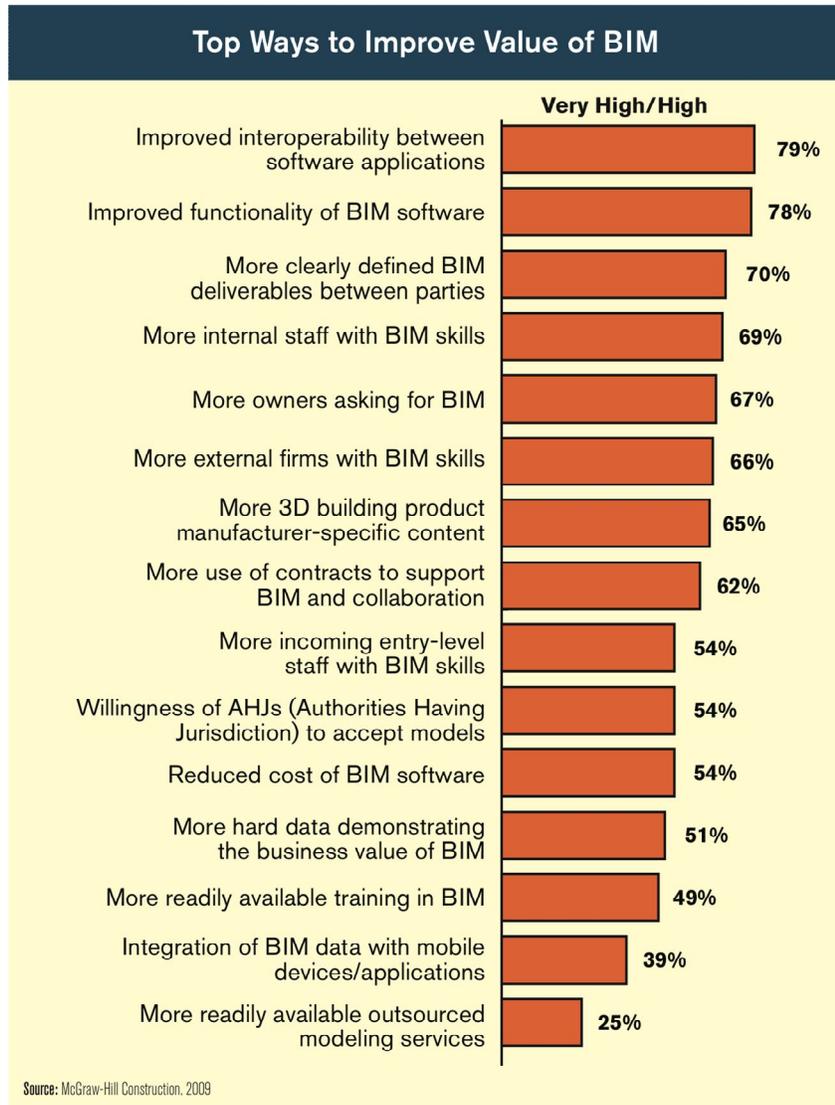


Figura 17 – Principais fatores para aumentar o desempenho dos sistemas BIM.

Fonte: MCGRAW, 2010

O gráfico acima apresenta elevada demanda pelo desenvolvimento e implementação de interoperabilidade. Esta é colocada como obstáculo primordial ao crescimento do valor dos sistemas BIM. Como pode ser observado, cerca de 79% dos usuários responderam que é necessário aperfeiçoar a interoperabilidade entre os *softwares*.

Na tentativa de reduzir a lacuna em relação à interoperabilidade, nesta dissertação foi desenvolvido experimento para verificar a existência de interoperabilidade entre os sistemas BIM e os *softwares* de avaliação ambiental e quais são os ajustes necessários entre os sistemas BIM e os simuladores ambientais. O experimento e seus resultados foram desenvolvidos nos capítulos nove, dez e onze.

#### **4.4 Relevância da Análise Ambiental**

Através da interoperabilidade entre sistemas BIM e simuladores ambientais é possível calcular, por exemplo, todo o gasto energético da edificação através das simulações do sistema de aquecimento, ventilação e resfriamento, ganho de aquecimento solar, número de ocupantes e seus níveis de atividades, proteção solar, incidência de luz natural e nível de luz artificial entre outras variáveis (KRYGIEL; NIES, 2008, p. 180).

A urgência do uso da análise ambiental pode ser verificada pelos dados divulgados pelo *U.S. Green Building Council (USGBC)*, organização sem fins lucrativos que visa a contribuir para a melhoria das edificações e do meio ambiente. A missão desta organização é mudar a maneira pela qual os edifícios e assentamentos são projetados, construídos e operados possibilitando responsabilidade ambiental e social, que contribuem para melhor qualidade de vida. O USGBC publicou em seu *site* recente avaliação do consumo energético das edificações nos Estados Unidos da América e em todo o mundo. De acordo com o *site*, as edificações dos Estados Unidos são responsáveis pelos seguintes usos de recursos a nível mundial: 12% do consumo de água utilizada e 71% de consumo de energia elétrica. Apresentam 65% de desperdício de água e respondem por 39% da emissão de CO<sub>2</sub>. Ainda de acordo com essa organização, o consumo de energia elétrica dos Estados Unidos provém de: edificações (71%), indústria (27%). As edificações do mundo inteiro são responsáveis por utilizar 17% de água potável, 25% de madeira proveniente de florestas, emitir 33% de CO<sub>2</sub> e utilizar 40% de materiais e energia. Estes níveis sobem para 45% na China (U.S..., 2010).

Diante da realidade dos dados registrados pelo USGBC, verifica-se que a edificação é o item que mais consome energia. O gasto energético é o que causa maior impacto ao meio ambiente, principalmente nos Estados Unidos.

De acordo com o *U.S. Energy Information Administration*, o consumo de energia estaria aumentando 50% entre 2005 e 2030 (CARUSO, 2010).

Tendo por base o objetivo de contribuir para minimizar a degradação ambiental, através da eficiência energética, será feito o estudo da interoperabilidade no processo de projeção. Com este estudo será possível averiguar a viabilidade de exportação de um modelo feito nos sistemas BIM para um simulador ambiental e vice-versa.

## 5 INTEROPERABILIDADE

O conceito de interoperabilidade que foi usado nesta pesquisa é apresentado abaixo. O objetivo é mostrar a sua importância para a era tecnológica, em que a troca de informações representa uma das principais necessidades:

Nenhum programa computacional pode realizar de forma isolada todas as tarefas associadas com o projeto e construção da edificação. A interoperabilidade representa a necessidade de transferir dados entre *softwares*, permitindo que múltiplos tipos de especialistas e de aplicativos contribuam para o projeto em desenvolvimento (...). (EASTMAN et al, 2008, p. 65)

A interoperabilidade é a condição necessária para que ocorra transferência de dados entre os *softwares* usados na projeção. Neste sentido, esta palavra nova, interoperabilidade, tem sua origem no verbo interoperar, que é exatamente a possibilidade de trocar informações entre *softwares* e sistemas.

O início deste capítulo mostra a importância desse recurso e a origem de seu uso. O item 5.2 trata das dificuldades atuais decorrentes da falta de interoperabilidade, as consequências desse fato e possíveis soluções. O item 5.3 mostra as formas de interoperar e o último item relaciona os tipos de formatos existentes atualmente.

### 5.1 Importância da Interoperabilidade

O ciclo de vida de uma edificação possui uma sequência de fases. Essa sequência não é rígida. Cada uma das fases é sustentada por informações que são compartilhadas em todo o ciclo, e em diferentes formatos, por diversos especialistas que compõem a equipe.

A Tabela 2 mostra exemplo de sequência de fases com o respectivo tipo de informação.

Tabela 2 - Fases do ciclo de vida da edificação com as informações necessárias em cada fase.

FASE DO CICLO DE VIDA	INFORMAÇÃO NECESSÁRIA
<b>Concepção do projeto e planejamento</b>	Informação geoespacial relativa ao terreno, demografia e clima. Dados econômicos: avaliação do trabalho local, custos de financiamento e disponibilidade de material. Modelos tridimensionais de outras edificações existentes no local.
<b>Projeto da edificação</b>	Geometria da edificação para determinação dos sistemas estrutural, mecânico e elétrico; especificação dos materiais com seu desempenho, custo e informação sobre sua sustentabilidade; dados sobre acessos à edificação, energia a ser consumida e outros sistemas.
<b>Contratação e Construção</b>	Preparação do local para a construção: informações detalhadas sobre o projeto com todos os equipamentos a serem instalados, incluindo certificações necessárias para instalação, garantias e operações necessárias. Planejamento da entrega da edificação.
<b>Atualização da construção</b>	Cálculo do desempenho dos equipamentos que serão utilizados na edificação. Essa fase é oportunidade para que seja certificado se todas as informações contidas no modelo BIM estão corretas após a construção e se este mostra onde estão instalados todos os equipamentos.
<b>Ocupação</b>	Informações necessárias durante a ocupação e em situações de emergência.
<b>Gerenciamento dos Serviços</b>	Necessidades de manutenção preventiva. Registro de todas as manutenções necessárias, incluindo estoque de peças para manutenção de rotina e para manutenção dos equipamentos.
<b>Retirada ou reuso do serviço</b>	Todas as informações sobre a edificação relacionadas no modelo BIM, incluindo aspectos: geoespacial, projeto, construção, atualização da construção, ocupação, operação e manutenção da edificação.
<b>Fechamento do ciclo de vida</b>	Todas as informações descritas no item acima, além de informações necessárias para planejamento estratégico de reciclagem de materiais.

Fonte: SMITH; TARDIF, 2009, p. 147

Como pode ser verificado, cada etapa do ciclo de vida da edificação requer diferentes informações. As fases são interligadas. Os dados de saída de cada fase funcionam como dados de entrada para a seguinte, de modo que a fase anterior é sempre um pré-requisito para a seguinte. Por exemplo, a fase de concepção e planejamento do projeto requer informações econômicas e sobre o terreno. Para a fase seguinte, projeto da edificação, esses dados funcionam como condicionantes do projeto, são fundamentais para a implantação e projeção. Como informação prática sobre o terreno pode ser citado o norte geográfico. A fase de projeção utiliza a localização do norte para favorecer a iluminação natural, reduzir a carga térmica de alguns ambientes e maximizar a ventilação natural oferecendo maior

conforto ao usuário e redução do consumo energético. Esse processo ocorre entre todas as etapas.

As informações requeridas em todas as etapas são adquiridas através de estudos e análises em *softwares*. Cada tipo de informação necessita de um *software* diferente. Assim, são utilizados vários *softwares*, por diferentes especialistas ao longo do ciclo. Esse processo mostra a importância da interoperabilidade. Ela garante a transferência da informação de um *software* para o outro para que o ciclo não seja interrompido (SMITH; TARDIF, 2009, p. 149). A complexidade desse processo mostra a necessidade básica de comunicação:

A interoperabilidade identifica a necessidade de troca de informações entre aplicativos (...). Interoperabilidade elimina a necessidade de entrar com dados que já tenham sido gerados e facilita o fluxo de trabalho e automação. Da mesma forma que arquitetura e construção são atividades colaborativas, também devem ser as ferramentas que a suportam. (EASTMAN et al, 2008, p. 66)

A interoperabilidade pode existir entre quaisquer *softwares*, de qualquer tipo de sistema existente. Na área da Arquitetura, Engenharia e Construção, especificamente entre os *softwares* dos sistemas BIM e de análise ambiental, esta interoperabilidade é fundamental. Uma vez que os sistemas BIM possuem os recursos de simulação ambiental em seus *softwares*, é necessário que o modelo desenvolvido nos mesmos seja exportado para programas de simulação para análise. Após a simulação, o resultado é avaliado e são feitas correções no modelo BIM, de acordo com a necessidade. Novamente o modelo é exportado para simuladores ambientais onde é mais uma vez avaliado. Este processo é feito até que seja atingida a eficiência energética máxima na edificação contribuindo, dessa forma, para os esforços de sustentabilidade ambiental. A interoperabilidade é a técnica que garante esse diálogo.

A necessidade de troca de informações entre *softwares* estava aparente desde o final dos anos 70 e início dos anos 80 no CAD bidimensional quando o sistema mais usado era o *Intergraph*. Era necessário traduzir projetos de arquivos do *software Intergraph* para outros sistemas, trocando informações principalmente entre *softwares* de projeto e de documentação de materiais e análises (EASTMAN et al, 2008, p. 66).

Os vários sistemas que compõem uma edificação – ar condicionado, CFTV, instalações elétricas etc. – atualmente requerem diferentes especialistas e, portanto diferentes projetos e análises: estrutural e energética, estimativa de custo,

planejamento da construção, fabricação etc. Esses projetos e análises são desenvolvidos em diferentes *softwares* e necessitam ser compatibilizados (EASTMAN et al, 2008, p. 66).

Um projeto piloto desenvolvido pelo escritório de arquitetura *Anshen+Allen* em parceria com o laboratório *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL) e com a construtora *Webcor Builders* pode ser citado como exemplo da necessidade de interoperabilidade entre os *softwares* (NIST, 2010). O estudo comparou a análise do desempenho energético de um projeto de clínica pelo método tradicional e pela forma colaborativa através da utilização do BIM.

Inicialmente foi feita a análise pelo método tradicional: os arquitetos enviaram desenhos bidimensionais digitais aos engenheiros. Estes interpretaram os desenhos, modelaram tridimensionalmente, analisaram o desempenho da edificação projetada, documentaram as análises realizadas e sugeriram modificações para melhoria do desempenho. Os resultados foram apresentados aos arquitetos em duas semanas.

O método colaborativo, realizado através do uso de *softwares* dos sistemas BIM, funcionou da seguinte forma: os arquitetos desenvolveram o modelo em um programa BIM e o publicaram para colaboração no formato aberto IFC (*Industry Foundation Classes*). A equipe do LBNL utilizou simulador ambiental para avaliar o modelo e apresentou os resultados preliminares dessa simulação no dia seguinte. O projeto foi modificado pelos arquitetos de acordo com os resultados apresentados. O LBNL fez nova simulação, no modelo modificado, e apresentou a análise energética e de iluminação natural, incluindo gráfico com desempenho e imagens com a simulação da nova configuração do modelo em dois dias.

A figura 18 mostra esquema com a análise realizada nos dois métodos.

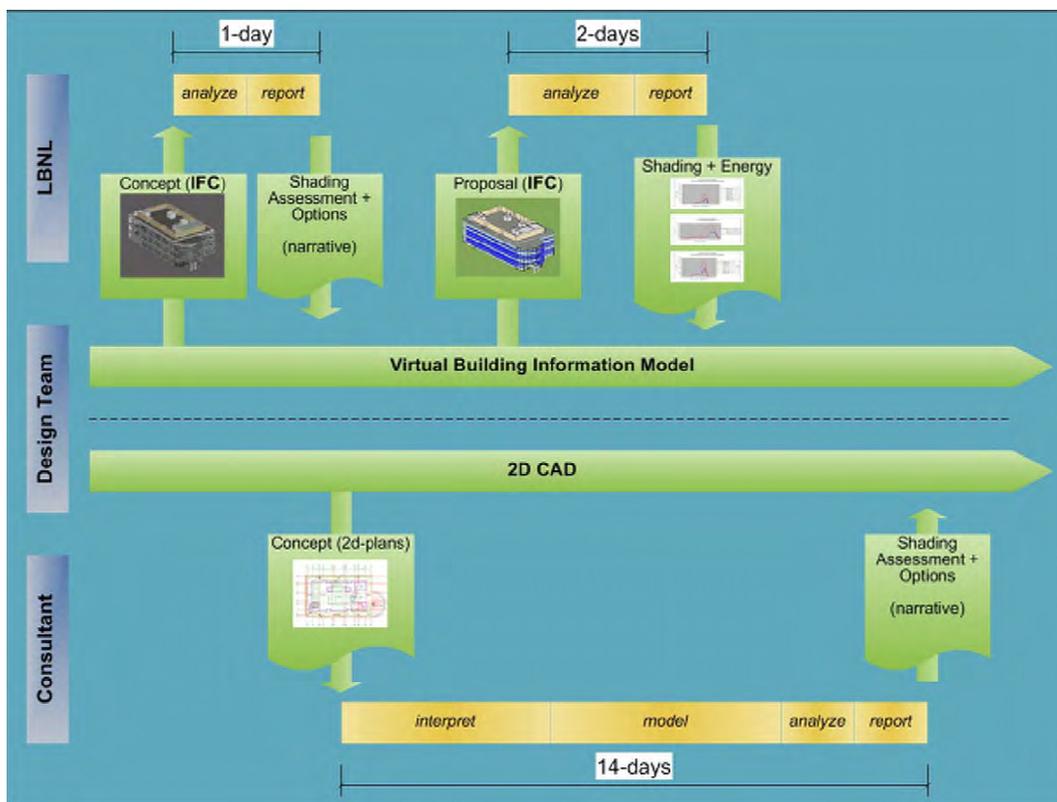


Figura 18 – Análise do desempenho energético de uma clínica – método tradicional x método colaborativo (BIM).

Fonte: NIST, 2010.

Análise comparativa dos dois métodos mostra ganhos significativos em termos de tempo, custo e qualidade com a utilização de *softwares* interoperáveis (NIST, 2010).

## 5.2 Dificuldades Atuais

Diante do cenário e exemplo apresentados no item acima é evidente a necessidade de colaboração entre as equipes de projeto e de existência de interoperabilidade entre os *softwares*. Os sistemas BIM permitem colaboração entre os diferentes intervenientes, em todas as fases do ciclo de vida da edificação: desde o projeto, até a construção e pós-ocupação (*Building Information Modeling (BIM)*, DANA, 2008) e viabiliza a troca de informações entre os *softwares* atendendo, portanto, às demandas atuais.

Apesar desses recursos disponíveis nos sistemas BIM, possíveis devido ao fato do *software* ser interoperável, e das demandas por troca de informações, os recursos não são integralmente aproveitados. A prática mostra outra realidade explicitada por Smith e Tardif em *Building Information Modeling, a Estrategic Implementation Guide*. Esses autores definem interoperabilidade sob outro ponto de vista. Segundo eles, a interoperabilidade é a característica principal de *softwares* que são elaborados para trabalhar como parte de um sistema integrado para executar tarefas complexas. Funcionam como parte integrante de um sistema ou sequência de tarefas e, como tal, devem possuir interface comum com todos os programas que compõem o sistema.

No entanto, os *softwares* disponíveis na indústria da construção atualmente são operáveis, mas não inteiramente interoperáveis, apesar de existirem algumas exceções. Foram projetados para receber informação com segurança de outro *software* ou transmitir informação para um terceiro.

Com a evolução da tecnologia, os *softwares* da Arquitetura, Engenharia e Construção executam um agrupamento de tarefas, ou seja, possuem número cada vez maior de ferramentas que realizam diferentes tarefas. Diante da complexidade dos projetos e, conseqüentemente, das construções, as ferramentas se tornaram mais complexas e, devido a isso, mais lentas para serem operadas, mais difíceis de aprender e utilizar e menos úteis para o que se propuseram inicialmente.

Muitas empresas de *softwares* desenvolvem o seu produto em função da demanda dos usuários, os quais na área de projeto de edificações são os profissionais da área de Arquitetura, Engenharia e Construção. Estes demandam mais ferramentas nos *softwares* para que consigam realizar um número cada vez maior de operações diversificadas e maior interoperabilidade para concluir todo o ciclo da edificação. Com esse cenário e a crescente utilização dos sistemas BIM no mercado existe a perspectiva de haver maior interoperabilidade entre *softwares* da AEC (SMITH; TARDIF, 2009, p. 149).

A falta de interoperabilidade entre os *softwares* pode ser considerada um problema muito importante na era do desenvolvimento de novas tecnologias que permitem a modelagem de projetos digitais e constituem condição essencial para colaboração entre as equipes do projeto (JACOSKI; LAMBERTS, 2010). A solução para a falta de interoperabilidade pode ser o ponto crucial para o prosseguimento da evolução da

tecnologia na construção civil. Empresas governamentais e organizações não-governamentais têm buscado novas soluções no sentido de resolver estas questões.

Uma solução encontrada, que ainda está em processo de aperfeiçoamento, mas disponível, é o formato aberto IFC (*Industry Foundation Classes*). Criado pela IAI, Aliança Internacional para Interoperabilidade, é um formato para transferência, público, que possibilita o compartilhamento de qualquer tipo de informação durante todo o ciclo de vida da edificação. (JACOSKI; LAMBERTS, 2010. NIST, 2004).

A *Mc Graw-Hill Construction*, divulgou em seu *site* uma pesquisa realizada para o *McGraw-Hill Construction 2007 Interoperability SmartMarket™ Construction Business Forum*, evento realizado em 2007, em Washington. O objetivo era, entre outros, identificar os tipos de *softwares* mais utilizados na indústria da construção; avaliar o uso dos *softwares* dos sistemas BIM; quantificar os custos e problemas associados com o compartilhamento de dados ou interoperabilidade entre aplicações. As maiores descobertas da pesquisa, entre outras, foram: os custos constituem importante obstáculo cujos maiores gastos são advindos de treinamento e tempo usado para fazer traduções; também existem custos provenientes da necessidade de retrabalho após a exportação para outro *software*; os *softwares* mais utilizados para intercâmbio de dados são os CAD bidimensionais; os sistemas BIM são usados por aproximadamente 20% dos projetistas. No entanto, a expectativa é de que em cinco anos esse número suba para 80% e 100% nos próximos dez anos; e, por último, o reconhecimento de que os sistemas BIM surgiram como catalisadores do esforço de inovar na área da AEC (MCGRAW, 2010c).

Outro estudo intitulado “*Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry—Final Report*”, feito em 2004 pelo NIST, *National Institute of Standards and Technology*, agência do departamento de comércio dos Estados Unidos da América, mostrou que a interoperabilidade inadequada entre *softwares* nos Estados Unidos da América gera custo de 15.8 bilhões de dólares por ano. Esse custo é devido à natureza fragmentada da indústria, à prática do uso do papel, à falta de padronização entre os dados e à adoção de tecnologia inconsistente entre os intervenientes (NIST, 2004. HARRIS, 2010).

A crescente implementação dos sistemas BIM pelas indústrias, como registrado pelo NIST em 2004, tendem a contribuir para a diminuição dos gastos

com interoperabilidade ao aplicar novas tecnologias da informação, como a possibilidade de desenvolvimento de modelos paramétricos e a existência do recurso da interoperabilidade, ainda que esta não seja integral, em todas as fases do ciclo de vida da edificação contribuindo para maior colaboração entre os intervenientes (NIST, 2009. HARRIS, 2010).

Maior comunicação possibilita o desenvolvimento de pesquisas, que têm como objetivo criar soluções para aumentar a interoperabilidade entre os *softwares* dos sistemas BIM.

Uma reportagem mais recente publicada no *site* do NIST em outubro de 2009, com o título *BFRL Project: Tools for Integrated Building Energy Analysis HVAC Design* tem como objetivo apresentar uma pesquisa que está sendo desenvolvida com o propósito de entender como os *softwares* de análise energética, análise térmica, análise dos sistemas HVAC (*Heating, Ventilating, and Air Conditioning*), seleção de equipamento mecânico e análise do custo de operação do ciclo de vida da edificação são utilizados na prática, como se comporta o modelo tridimensional quando é importado para estes *softwares*, quais são os pré-requisitos e restrições na exportação do arquivo do modelo BIM para estes simuladores e quais parâmetros são utilizados para classificar as análises das simulações. A partir do resultado desse estudo, o NIST, que tem como principal objetivo reduzir ao mínimo o consumo energético das edificações, vai se unir a organizações de padronização, como a ASHRAE, para elaborar documento que vai conter uma série de referências para suportar a integração e automação de modelos BIM com estes simuladores. Este estudo foi proposto após a constatação de que a indústria da construção está adotando os sistemas BIM e trabalhando com a exportação de dados, mas a prática atual é inadequada, ultrapassada e não atende aos novos requisitos da prática integrada na análise dos sistemas de energia, HVAC e projetos de equipamentos mecânicos (NIST, 2010).

Smith e Tardif (2009) confirmam essa tese quando escrevem sobre o valor dos dados da edificação. Este valor é diretamente proporcional ao quanto os dados daqueles sistemas refletem o mundo real e à facilidade com a qual essa informação pode ser compilada e transferida entre todos os *softwares* utilizados durante o ciclo de vida da edificação – planejamento, projeção, construção, licenciamento,

ocupação, gerenciamento dos serviços, reuso e fechamento do ciclo de vida. Portanto os sistemas métricos e de classificação do modelo utilizados para as análises devem ser avaliados para garantir a veracidade dos dados.

### 5.3 Formas de Interoperar

A troca de informação entre *softwares* pode ocorrer de quatro formas:

- 1) direta, com *links* de propriedades entre ferramentas BIM específicas;
- 2) entre arquivos exclusivos de *softwares* específicos com formatos de troca registrados, considerando a geometria;
- 3) formatos de troca com modelos de dados de domínio público;
- 4) entre formatos no padrão XML (EASTMAN et al, 2008, p. 67).

#### 5.3.1 Direta

A troca de informações direta pode ocorrer com *links* diretos entre dois *softwares* fornecendo conexão integrada. Essa integração é feita através de *softwares* com interfaces ODBC ou COM ou com interfaces registradas como o GDL do *ArchiCAD* ou MDL da Bentley. Todas essas interfaces utilizam as linguagens C, C++ ou C#. Essas interfaces são utilizadas para criação, exportação ou modificação dos modelos das edificações (EASTMAN et al, 2008, p. 67).

A interface ODBC, *Open Database Connectivity*, fornece, através de um API (*Application Programming Interface*), uma interface padrão para acessar um sistema de gerenciamento de banco de dados independente de linguagens, sistemas de banco de dados e sistemas operacionais. Dessa forma, a comunicação entre aplicações e banco de dados com diferentes interfaces é facilitada. Pode ser usado para armazenar ou recuperar informações em um banco de dados (WIKIPEDIA, 2010).

A linguagem C é uma das mais populares para programação. Foi criada para implementação de sistemas computacionais, mas é largamente utilizada para aplicações de *softwares*. Influenciou outras linguagens como a C++. A linguagem C++ é bastante utilizada em aplicações para sistemas computacionais, aplicações de *softwares*, *drivers*, servidores de alto desempenho e *softwares* de entretenimento

como videogames. Também é útil para criação de *hardwares*. Influenciou outras linguagens como a C# e Java. A linguagem C# é a mais moderna. É utilizada para fornecer princípios para engenharia de *software*, para o desenvolvimento de componentes de *softwares* e para aplicações de escrita. (WIKIPEDIA, 2010a).

### 5.3.2 Arquivos com Formatos Proprietário

O arquivo com formato de troca proprietário é desenvolvido pelas organizações comerciais para servir de interface. Esse formato é implementado como um arquivo em formato de texto legível. Um conhecido formato de troca registrado na área da construção civil é o .dxf (*Drawing Interchange Format* ou *Drawing Exchange Format*) definido pela *Autodesk*. Outro é o .sat (*Spatial Technology*), .stl para *stereo-litography* e .3ds para *3D- Studio*. Como cada um desses possui suas próprias propostas têm capacidades funcionais específicas (EASTMAN et al, 2008, p. 67).

O .dxf é um formato CAD criado pela *Autodesk* em 1982 como parte do AutoCAD 1.0 para permitir que houvesse interoperabilidade entre o programa AutoCAD e outros. O .dxf representa todos os elementos de um arquivo de desenho através de códigos, conhecidos como *group codes*. Valores são associados a esses códigos. Cada grupo de códigos representa um tipo de valor que define seus elementos (AUTODESK, 2010g). O .dxf representa diferentes elementos como: objetos tridimensionais, curvas, textos e dimensões associadas ao desenho. Com a evolução do AutoCAD, que passou a representar tipos de objetos mais complexos, como sólidos, o .dxf passou a ser menos utilizado, pois não representa tais objetos.

### 5.3.3 Arquivos com Formato Público

A terceira forma de exportação é entre formatos de domínio público. Estes envolvem o uso de modelos com padrão aberto, entre os quais os formatos IFC (*Industry Foundation Classes*) ou CIS/2 (*CIMsteel Integration Standard Version 2*), são as principais opções (EASTMAN et al, 2008, p. 67).

O formato IFC foi criado em 1994 pelo *buildingSMART International* - anteriormente denominado *International Alliance for Interoperability*.

O *BuildingSMART* opera dentro de uma organização internacional sem fins lucrativos denominada *National Institute of Building Sciences* (NIBS). Esta organização público/privada foi criada para coordenar as mudanças profundas que vêm ocorrendo na indústria da construção da América do Norte. Tem como missão a interoperabilidade aberta e implementação dos sistemas BIM em todo o ciclo de vida da edificação para garantir baixo custo, alta sustentabilidade, conservação de energia e administração ambiental para proteger o ecossistema terrestre (IAI, 2010).

O IAI foi formado com a colaboração de doze empresas dos Estados Unidos da América. Trabalha com as lições aprendidas em duas décadas de esforços da indústria da construção para geração de padrões de troca de dados entre *softwares* CAD/CAM nas indústrias, principalmente nos setores automotivos e aeroespaciais.

Seu principal interesse é solucionar problemas relacionados a transferência de dados entre os *softwares* BIM e outros que a equipe do projeto utiliza para projeção, construção, manutenção e operação.

A modelagem tridimensional e parametrizada armazenada no banco de dados inclui gama de informações, entre elas instalações de esgoto, hidráulica, de proteção contra fogo, ocupação, consumo de energia, emissão de CO<sub>2</sub> ou qualquer outra sobre o local ou a edificação. Estas informações ficam catalogadas em formato nativo e registrado. Para torná-las disponíveis para outros integrantes da equipe do projeto, é necessário que o formato nativo do modelo BIM seja o mesmo do *software* ao qual essas informações serão exportadas. Como isso não ocorre, existe a necessidade de que seja criado formato padrão aberto que seja aceito por todos os *softwares* utilizados na AEC de forma que os dados possam ser livremente transportados (IAI, 2010).

Por esta razão a IAI criou, em 1995, uma estrutura padrão para transferência de dados entre *softwares*. Esta estrutura possui formato aberto, reconhecido pela ISO (organização internacional para padronização), registrado como ISO/PAS 16739 e em processo de se tornar um padrão internacional ISO/IS 16739, denominado IFC.

O formato IFC pode ser usado para partilhar dados BIM entre *softwares* desenvolvidos por diferentes empresas sem a necessidade de suportar formatos nativos diversos. Como é formato aberto não pertence a nenhuma empresa e, portanto, é neutro e independente (IAI, 2010).

O IFC fornece suporte para troca de dados entre aplicações de *softwares* na indústria da construção, utiliza modelo baseado em descrições de elementos espaciais, elementos da edificação, elementos MEP (*Mechanical, Electrical and Plumbing*) e outros componentes que constituem a edificação ou serviços, representa a forma de tais componentes e a relação entre eles e o espaço e o sistema estrutural, ligação dos componentes com as propriedades, classificações, acesso a biblioteca externa etc.

A primeira versão do IFC é a “IFC 1.0”, publicada em 1997. Esta foi rapidamente substituída pela versão “IFC 2.0”, no ano seguinte. Esta evoluiu ao longo dos anos. Cada modificação para aperfeiçoar o formato representou nova versão. A última é a IFC 2x4 que foi lançada em outubro de 2010. E a base para o desenvolvimento do *Draft International Standard ISO/ DIS 16739*, documento enviado para a *International Standardization Organization (ISO)* para aprovação como padrão internacional. A figura 18 mostra todas as versões do padrão IFC com seus respectivos anos de lançamento.

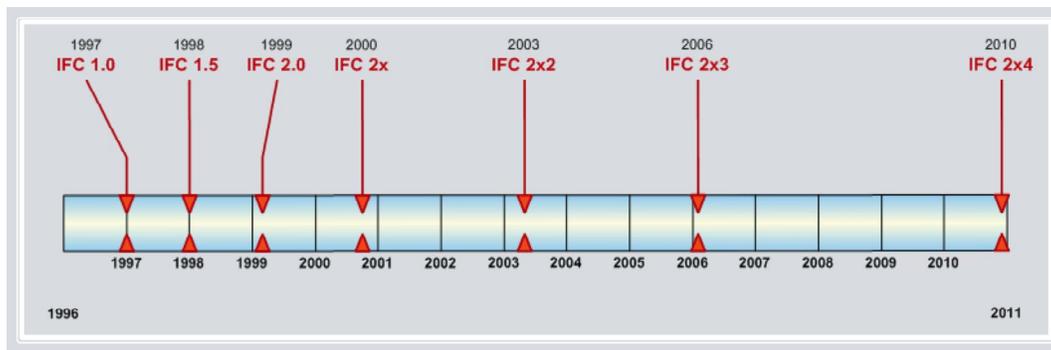


Figura 19 – Evolução do formato IFC

Fonte: IAI, 2010

O IFC utiliza o padrão STEP, “*STandard for the Exchange of Product Model Data*” para transferência de dados. O STEP foi criado em meados dos anos 80 com a tentativa de padronizar a representação dos dados. Foi a primeira tentativa de padronização para transferência de informações. O padrão STEP é reconhecido pela ISO 10303, que representa esforço mundial para desenvolver mecanismos para compartilhamento de dados de engenharia. O uso de um formato comum para troca

auxilia na redução de custos com traduções e melhora a qualidade do uso dos dados por todo o projeto (NIST, 2004, p. 2-6).

O STEP é um arquivo de texto, que contém valor de dados, ou seja, os dados são codificados em formato de texto. Um exemplo desse tipo de arquivo de transferência é mostrado na figura abaixo. O texto representa a primeira página do arquivo de transferência "baselfcObject.cpp" do modelo disponível no *site* da Aliança Internacional para Interoperabilidade. Este modelo foi denominado *HelloWall* e é composto por uma parede, uma porta e uma janela. O arquivo integral possui nove páginas. O modelo é composto por outros arquivos.

```
////////////////////////////////////
// Author: Peter Bonsma
// Date: 11 July 2008
// Project: IFC Engine Series (example using DLL)
//
// This code may be used and edited freely,
// also for commercial projects in open and closed source software
//
// In case of use of the DLL:
// be aware of license fee for use of this DLL when used commercially
// more info for commercial use: peter.bonsma@tno.nl
//
// more info for using the IFC Engine DLL in other languages:
// see other examples or contact: pim.vandenhelm@tno.nl
////////////////////////////////////

#include "stdafx.h"
#include "baselfcObject.h"

extern int model;
```

```

extern int * aggrRelatedElements;

extern int ifcBuildingInstancePlacement,
          ifcBuildingStoreyInstancePlacement;

int * aggrRepresentations;

int ifcOpeningElementInstancePlacement,
    ifcWallInstancePlacement;

int createlfcWall(char * pWallName, double xOffset, double yOffset, double
zOffset)
{
    transformationMatrixStruct matrix;
    int ifcWallInstance;

    identityMatrix(&matrix);
    matrix._41 = xOffset;
    matrix._42 = yOffset;
    matrix._43 = zOffset;

    //
    // Build Wall and add it to the BuildingStorey
    //
    ifcWallInstance = buildWallInstance(&matrix, ifcBuildingStoreyInstancePlacement,
&ifcWallInstancePlacement, pWallName);
    sdaiAppend((int) aggrRelatedElements, sdaiINSTANCE, (void *)
ifcWallInstance);

    return ifcWallInstance;
}

```

```

int      createlfcWallStandardCase(char * pWallName, double xOffset, double
yOffset, double zOffset)
{
    transformationMatrixStruct matrix;
    int ifcWallStandardCaseInstance;

```

Figura 204 - Parte do arquivo “baselfcObject.cpp” do modelo “HelloWall”.

Fonte: IAI, 2010

A estrutura desse arquivo obedece a um modelo de dados, como pode ser visto no texto acima, que define especificação unificada. É utilizado junto com um algoritmo de codificação, para ler e escrever STEP (JACOSKI; LAMBERTS, 2003, p. 605). Muitas fontes STEP estão relacionadas com a linguagem de modelagem EXPRESS, para desenvolvimento e definição do modelo.

Outro formato aberto criado especificamente para a indústria do aço é o *CIMsteel Integration Standards* (CIS/2), um modelo de produto ou formato de arquivo de troca de dados eletrônicos para informação de projetos de aço estrutural. O formato CIS/2 também foi desenvolvido usando a ISO para o padrão STEP (SMITH; TARDIF, 2009, p. 150).

#### 5.3.4 Padrão XML

O quarto formato de exportação é o padrão XML. O *eXtensible Markup Language* (XML), um formato aberto do *World Wide Web Consortium* (W3C) que foi criado para facilitar a troca estruturada de informação. O XML pode ser usado para suportar formato registrado (não público) ou troca de informação por padrão aberto (SMITH; TARDIF, 2009, p. 151).

O XML foi desenvolvido inicialmente em 1996 com o objetivo de atender às publicações eletrônicas da *Web*. Posteriormente passou a atuar na troca de grande variedade de tipos de dados. Atualmente é uma linguagem amplamente utilizada na comunicação de dados entre *softwares*. O XML funciona utilizando rótulos de identificação para comunicar a um computador como criar e definir elementos com uma série de dados e interpretar o conteúdo de documentos eletrônicos transferidos (NIST, 2010). Esse formato tem como principal objetivo a descrição de informações.

Este aspecto é extremamente importante para armazenamento, recuperação e transmissão de dados. Sua licença é gratuita (JACOSKI; LAMBERTS, 2003, p. 606).

Exemplo de XML aplicado à indústria da construção é o “aecXML”. É uma linguagem baseada em XML que representa informações na área da AEC. O aecXML foi originalmente criado pela *Bentley Systems*. Suporta transações específicas, além de internet. Tais transações podem estar associadas com a transferência de recursos tais como documentos, materiais e contratos. Possui o potencial de permitir melhor eficiência para atividades como propostas, projetos, estimativas, planejamentos e construção. Atualmente é gerenciado pela IAI, atualmente conhecida como *BuildingSMART* (NIST, 2004).

Outro padrão que utiliza o XML é o ifcXML. Em reconhecimento ao impacto que o XML causou, a quinta e sexta versões do IFC incluíram a representação de um esquema XML de linguagem denominado ifcXML (NIST, 2005, p. 5). Criado em 2002 pela IAI, e divulgado através de um guia de implementação em 2004, este formato utiliza a tecnologia XML como principal para publicação e troca de informações em conjunto com um padrão de dados reconhecidos internacionalmente, o IFC. O objetivo desse trabalho era tornar possível a troca de dados IFC alternativamente como documento XML.

O uso da representação XML de dados IFC permitiu que maior número de aplicações pudesse ter acesso a um esquema unificado representando o ambiente construtivo e áreas relacionadas. O XML possui amplo suporte de implementação de banco de dados e constitui a base para mensagens de *eCommerce* e serviços *Web*. Permite que a informação seja imediatamente acessível. Essa união proporcionou aos usuários a adesão a um padrão internacionalmente aceito e testado pela indústria da construção.

O ifcXML possui algumas limitações e desvantagens, a saber: não contém três tipos de informações: relação inversa, ou seja, na exportação para um *software* não é possível retornar com a informação; não inclui métodos para derivar atributos; o documento ifcXML não obedece às restrições implementadas pelo padrão EXPRESS. Outra limitação é com relação aos conflitos. O esquema ifcXML é usado para gerar um modelo em uma implementação de banco de dados que não corresponde ao padrão EXPRESS. Com isso podem ser encontrados alguns conflitos ou limitações (IAI, 2010).

Outra forma de utilização do XML é através do esquema *Green Building XML*, gbXML. Este esquema foi desenvolvido para ser a melhor solução para arquitetos,

usuários dos sistemas CAD e BIM e empresas que querem incorporar princípios denominados *green building* em seus projetos, ferramentas de *softwares* e produtos (COVERPAGES, 2010). Esse esquema foi desenvolvido em 1999 pela *Green Building Studio, Inc.* e fundado pela *California Energy Commission PIER Program, Pacific Gas and Electric, e Green Building Studio*. Em junho de 2000 foi publicada a primeira versão. Em 2002 foi publicado o site “gbXML.org” para divulgar o esquema e em 2009 passou a possuir novo quadro de consultores formado por um consórcio de empresas que desenvolvem *softwares*. No mesmo ano foi registrado como uma organização pública sem fins lucrativos e passou a utilizar o nome oficial: “*Open Green Building XML Schema, Inc.*”. É considerado esquema porque não é aplicado ao padrão ISO. Seu objetivo é facilitar a transferência da informação da edificação armazenada nos *softwares* CAD e BIM, possibilitando interoperabilidade integrada entre o modelo do projeto da edificação e a grande variedade de *softwares* de análises ambientais e modelos disponíveis hoje. Atualmente, gbXML tem o apoio da indústria de vendedores de *softwares* 3DBIM como *Autodesk, Bentley e Graphisoft*. Com o desenvolvimento de capacidades de exportação e importação em muitos modelos tridimensionais, gbXML tem se tornado um esquema padrão na indústria.

O gbXML transfere de forma aperfeiçoada a informação para *softwares* de análises ambientais, eliminando a necessidade de planejamento e perda de tempo. Isso remove significativamente a barreira de custo para projeção de edifícios eficientes e especificação de equipamentos associados. Também possibilita à equipe do projeto colaborar efetivamente e utilizar os benefícios reais dos sistemas BIM. Em outras palavras, a interoperabilidade eficiente entre os *softwares* BIM e de análise ambiental, garantida através do uso do gbXML, permite que todas as informações sejam transferidas, de forma que os benefícios dos sistemas BIM possam ser utilizados integralmente (GBXML, 2010).

Segundo o presidente da GBXML, Stephen Roth, devido à complexidade do comportamento de uma edificação, pelo fato de possuir diferentes atividades e sistemas que afetam o uso da energia, é apropriado que se tenha um esquema dedicado somente para armazenar informações referentes ao tema. Para Roth, os sistemas BIM têm contribuído decisivamente para transformar o espaço AEC, pois auxiliam na comunicação entre os intervenientes e permite o compartilhamento das informações desde o início do projeto. Devido a essa coesão, os projetos ficaram

mais detalhados e os modelos mais ricos em informação. Como consequência, as empresas tiveram que evoluir com seus formatos para permitir que essas informações fossem exportadas adequadamente para *softwares* de análise. Com a projeção de edifícios mais eficientes energeticamente pelos sistemas BIM, o gbXML ganhou mais notoriedade, pois permite que modelos BIM, ricos em informação, fossem analisados em ferramentas de análise *Green building*. Se comparado com o IFC, o gbXML é mais concentrado na informação requerida para análise de edificações (BROWNE, 2010).

#### 5.4 Tipos de Formatos

Existem diversos formatos de troca de informação entre *softwares* na área da construção civil. Estes estão listados a seguir para permitir visão geral condensada sobre o assunto:

- Formatos de imagens são compostos por: .jpg, .gif, .tif, .bmp, .pic, .pgn etc. Alguns transmitem todas as informações outros não. Essa variação ocorre de acordo com o tamanho do arquivo e cores por pixel.
- Formatos vetoriais 2D: .dxf, .dwg, .ai, .cgm, .emf, .igs, .wmf, .dgn. Esses formatos variam de acordo com o tamanho, espessura das linhas e controle de cores, *layers* e tipos de curvas.
- Formatos de superfícies e formas 3D: .3ds, .wrl, .stl, .igs, .sat, .dxf, .dwg, .obj, .dgn, .pdf(3d), .xgl, .dwf, .u3d, .ipt, .pts. Os formatos de arquivos que contém superfícies e formas 3D variam de acordo com os tipos de superfícies e linhas representados, com o tipo de representação – superfícies ou sólidos, com as propriedades dos materiais (cor, imagem *bitmap*, mapa de textura) ou informação a partir do ponto de vista.
- Formatos de troca de objetos 3D: .stp, .exp, .cis/2. Representam geometria de acordo com os tipos de representação 2D ou 3D. Também transportam propriedades dos objetos e relações.
- Formatos de jogos: .rwq, .x, .gof, .fact. Variam de acordo com os tipos de superfícies, isto é, se carregam estrutura hierárquica, tipos de propriedades dos materiais, textura e parâmetros “bump”, animação e “skinning”.

- Formatos .gid: .shp, .shx, .dbf, .dem, .ned. Formatos de sistemas de informação geográfica.
- Formatos XML: .aecXML, .obix, .aex, .bcXML, .agcXML. Esses formatos foram desenvolvidos para troca de informações entre modelos de edificações. Variam de acordo com o tipo de informação a ser compartilhada (EASTMAN et al, 2008, p. 69).

Dentre os formatos apresentados, os utilizados para transferência entre os sistemas BIM e qualquer outro *software* usado na indústria da construção civil são os formatos de superfícies e formas 3D, os formatos de troca de objetos como o STP (para o padrão STEP), o EXP (para a linguagem EXPRESS) e os formatos XML como o aecXML.

A escolha do formato a ser utilizado na transferência de dados entre *softwares* deve ser feita em função daquele *software* onde estão as informações de saída, do tipo de dado a ser transportado e da complexidade desses dados. Deve ser levado em consideração os *softwares* utilizados entre todos os integrantes da equipe do projeto para que haja colaboração em todas as fases do processo e a compatibilidade entre os programas deve ser testada antes do início do projeto para que não haja desperdício de tempo e para que não sejam gerados custos nesse processo.

Exemplo de uso de interoperabilidade entre um *software* BIM e um simulador energético, é o projeto do *Cascadia Center for Sustainable Design and Construction* (Figura 21). A edificação, projetada pelo escritório *Miller Hull Partnership*, iniciará sua construção em 2011, em Seattle, Washington, EUA. De acordo com o *site* do escritório, será uma das mais ambiciosas edificações *Green* da América do Norte. Isso se deve ao fato de ser autossuficiente, ou seja, todas as necessidades energéticas e de água da edificação, que tem função de residência, serão fornecidas pela própria edificação. Foi projetado um painel fotovoltaico que vai gerar 100% da energia que será consumida (CASCADIA..., 2010).

O projeto foi inicialmente desenvolvido no *software* BIM *Autodesk Revit Architecture* e nos simuladores ambientais *Ecotect* e *eQUEST*, entre outros. Segundo o associado do escritório Miller Hull, Brian Court, não foi possível compartilhar dados entre todos os programas utilizados. Ainda de acordo com ele,

essa falta de integração pode ser frustrante. Court acredita que o BIM ainda não mostrou todos os recursos que “diz” possuir, se referindo à interoperabilidade.

A fase mais crítica do projeto foi a modelagem e análise energética do painel fotovoltaico. Foi necessário importar o modelo do programa *Sketch-Up* para o *Rhino*. Após esse processo foi utilizado o programa *Grasshopper* para modificar a forma, tamanho, inclinação e orientação do painel (Figura 22). O modelo com essas modificações foi importado novamente no *Sketch-Up* para estudos de sombra e volume. Depois foi exportado para o *Ecotect* para estudo da iluminação natural.

O exemplo mostra que os *softwares* foram escolhidos de acordo com a necessidade do projeto. Como é sustentável, foram escolhidos programas de simulação energética. Apesar de o projeto ter sido concluído e todos os estudos necessários terem sido feitos, o processo poderia ter sido mais simples e um menor número de programas poderia ter sido utilizado se houvesse maior interoperabilidade entre os sistemas.



Figura 21 - Cascadia Center for Sustainable Design and Construction, Seattle, Washington.  
Fonte: CASCADIA..., 2010.

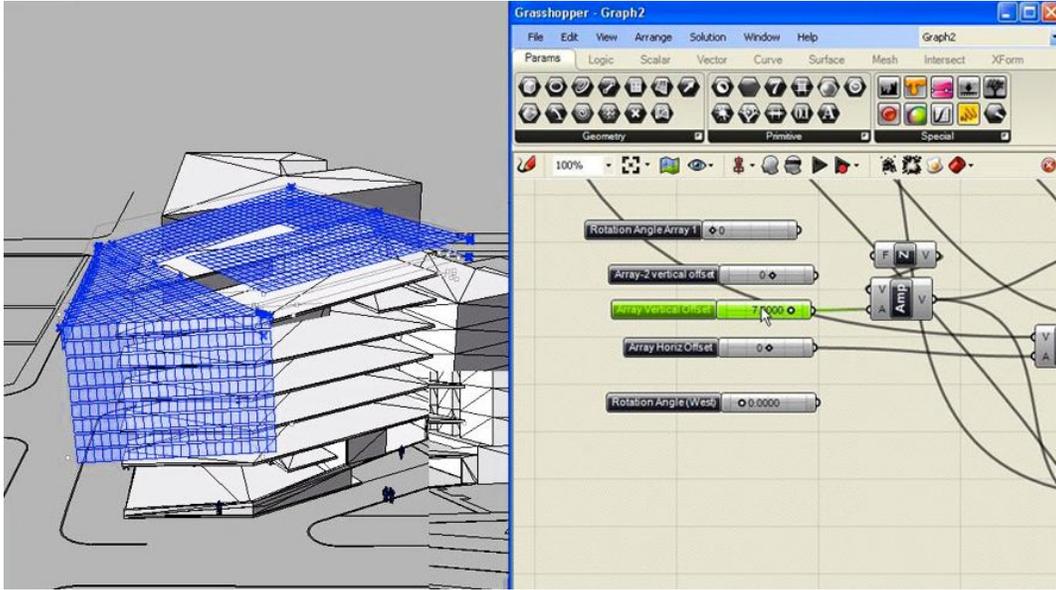


Figura 22 - Estudo de painel fotovoltaico no software Grasshopper.  
Fonte: CASCADIA..., 2010.

## 6 MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO

As duas hipóteses apresentadas no Capítulo 1 desta Dissertação fazem a seguinte proposição: 1) o sucesso da interoperabilidade entre sistemas BIM e simuladores ambientais é inversamente proporcional à quantidade de retrabalho necessária para completar ou recompor o modelo e realizar a simulação; 2) o sucesso desse recurso, quando realizado de forma integral, entre esses dois sistemas, possibilita contribuir de forma positiva para a eficiência energética.

A verificação dessas hipóteses será realizada através da exportação de dados de um modelo desenvolvido em dois *softwares* BIM para dois simuladores lumínicos. Serão utilizados os *softwares* *Revit* 2011 e *ArchiCAD* 14 representando os sistemas BIM e os *softwares* de análise ambiental *Ecotect* 2011 e IES <VE> 6.1.1.

Esse método de investigação garante a verificação das duas hipóteses. Para a hipótese 1, o modelo será avaliado logo após sua exportação do *software* BIM para os dois simuladores ambientais. Será criada tabela para cada simulador ambiental, onde serão listados os procedimentos necessários para recompor o modelo e, em seguida, será feita a simulação. Para a hipótese 2, o modelo desenvolvido no *software* BIM com as luminárias será exportado para os dois simuladores ambientais. Em seguida serão feitas as simulações da luz natural e da luz artificial. Logo após as simulações, o modelo será exportado de volta para o BIM. Após esse processo serão analisadas as duas exportações a fim de verificar se o modelo transportou todos os dados necessários nos dois casos.

Na seqüência serão apresentados todos os *softwares* disponíveis no mercado dos sistemas BIM e os principais de análise energética. Posteriormente, a escolha dos quatro *softwares* para a investigação será justificada. O último item descreve, através de um passo a passo, o método de investigação.

### 6.1 *Softwares* dos Sistemas BIM

Serão utilizados quatro *softwares* para comprovação das hipóteses desta Dissertação, sendo dois desses *softwares* dos sistemas BIM.

Atualmente existem no mercado diversos *softwares* BIM. São eles: *Autodesk Revit*, *AutoCAD Civil 3D*, *ArchiCAD*, *Digital Project*, *Bentley*, *Bentley Architecture*, *Vectorworks*, *RAM*, *CS2*, *Tekla*, *Autodesk Navis Works* e *Vico*.

Uma pesquisa realizada pela *McGraw-Hill Construction*, em 2008, aponta os programas BIM mais conhecidos e usados por arquitetos, engenheiros, construtores e proprietários: *Autodesk Revit*, *AutoCAD Civil 3D*, *ArchiCAD*, *Bentley* e *Autodesk NavisWorks*.

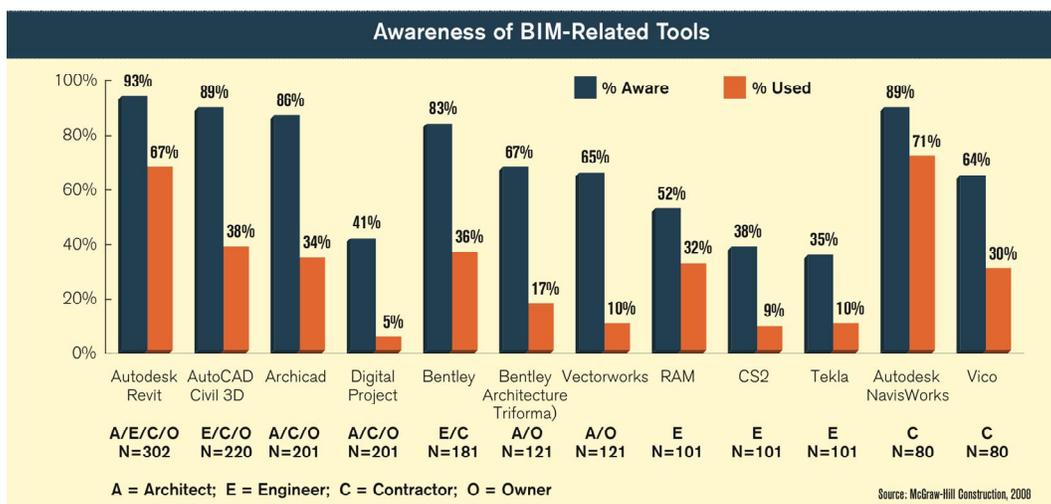


Figura 23 - Programas BIM mais conhecidos e usados por arquitetos, engenheiros, construtores e proprietários.

Fonte: AUTODESK, 2010a.

A Figura 23 apresenta um elenco de *softwares* dos sistemas BIM os quais foram classificados de acordo com o percentual de usuários dos Estados Unidos da América que informaram os que "conhecem" e daqueles os que "utilizam". A análise da tabela permite verificar que o *software* mais utilizado e mais conhecido entre arquitetos, engenheiros, contratantes e proprietários é o *Autodesk Revit*. Esta pesquisa também apresenta outra informação importante, isto é, quais são os usuários de cada *software*: Arquiteto, Engenheiro, Contratante ou Proprietário. A análise da tabela permite verificar que o *software* mais utilizado e mais conhecido pelas quatro categorias de usuários é o *Autodesk Revit*.

Especificamente entre os mais conhecidos, em segundo lugar estão os *softwares* *AutoCAD Civil 3D* e o *Autodesk NavisWorks*, apesar deste último só englobar contratantes e o anterior não incluir arquitetos. Em terceiro lugar está o

*ArchiCAD* e em quarto o *Bentley*. Sendo que este último não é utilizado por arquitetos e o anterior não é conhecido entre os engenheiros.

Entre os *softwares* mais utilizados, em primeiro lugar, com um percentual de 71%, está o *Autodesk NavisWorks* e em segundo lugar se encontra o *Autodesk Revit*. A utilização do *Autodesk NavisWorks* é bem superior aos demais, mas só engloba contratantes. O *Autodesk Revit* está em segundo lugar, mas abrange todos os profissionais da área. Em terceiro lugar aparece o *AutoCAD Civil 3D* e em quarto o *Bentley*. Em quinto lugar se encontra o *ArchiCAD*.

## 6.2 Escolha dos Softwares Bim para Análise

A Figura 23 foi tomada como referência na escolha dos *softwares* dos sistemas BIM que serão utilizados para os testes de verificação da hipótese desta Dissertação. Também foi levado em consideração o conhecimento e uso desses pelos arquitetos, uma vez que constituem o principal interveniente deste estudo. Os *softwares* escolhidos foram:

a) *Autodesk Revit Architecture*: é o mais conhecido e o segundo mais utilizado entre arquitetos. Criado pela empresa americana *Revit Technology Corporation* em 1997, o *Revit* foi adquirido pela *Autodesk* em 2002. Possui recursos para auxiliar desde a concepção até a construção da edificação. Permite o desenvolvimento de projetos sustentáveis, possibilitando a compatibilização entre todos os projetos de instalações, o planejamento, a construção e a fabricação em um ambiente colaborativo. Suas ferramentas permitem projetar formas livres, mais complexas com facilidade e interatividade (AUTODESK, 2010c).

A primeira versão disponibilizada no *site* da *Autodesk* é a versão *Autodesk Revit 6*, lançada em 2004. As versões posteriores solucionaram problemas com ferramentas, compatibilização com outros *softwares*, entre outros. A versão atual é a *Revit 2011*. O *Revit* permite interoperabilidade com os seguintes *softwares* de análise ambiental: *Green Building Studio*, *Ecotect* e esquema gbXML.

b) *ArchiCAD*: entre arquitetos é o segundo mais utilizado e conhecido. É um *software* paramétrico, modelador de superfícies e sólidos. Foi desenvolvido pela *Graphisoft*. É o modelador virtual mais antigo. A última versão, *ArchiCAD 14*, tem

como principal evolução melhoria na colaboração entre a equipe do projeto, coordenação e controle. Através de uma nova tecnologia, denominada *Delta Server*, possibilita aos membros da equipe colaborar em tempo real de qualquer computador remoto. A melhor coordenação interdisciplinar é garantida pela utilização do padrão IFC. Com este é possível melhor comunicação entre as várias disciplinas da área de arquitetura, engenharia e construção civil. O *ArchiCAD* versão 14 possui interoperabilidade com os seguintes *softwares* de análise energética, objetivo deste estudo: *Green Building Studio*, *Energy Plus*, *Riuska*, *ArchiPhysik*, *Ecotect* e *IES <VE>*. (GRAPHISOFT, 2010)

### **6.3 Softwares de Análise Energética**

Serão utilizados dois *softwares* de simulação lumínica, além dos dois dos sistemas BIM, para a verificação da hipótese. A razão da utilização de simuladores de iluminação se deve ao fato de que a iluminação natural e a artificial são utilizadas como instrumento para avaliar a interoperabilidade entre os sistemas.

As primeiras preocupações com o consumo de energia foram na década de 70, após a crise do petróleo. Diversos países voltaram a atenção para pesquisar fontes alternativas de energia e sistemas mais eficientes. O desempenho energético das edificações era um dos grandes responsáveis pelo consumo energético na maioria dos países. Países da Europa e os Estados Unidos da América, dependentes do petróleo para o fornecimento de energia elétrica, passaram a financiar projetos mais eficientes energeticamente. Escritórios de arquitetura e engenharia passaram a adotar o conceito de eficiência energética.

A avaliação do desempenho energético de uma edificação é um processo complexo que envolve muitas variáveis. O desenvolvimento do computador foi fundamental para desenvolver um modelo físico e simular o comportamento térmico e energético das edificações. As primeiras simulações computacionais foram desenvolvidas na década de 70, em computadores do tipo *mainframe*. Na década de 90, com a popularização dos computadores pessoais, foram desenvolvidas interfaces para os programas existentes, compatíveis com o sistema operacional *Windows*. Com o desenvolvimento dos computadores mais modernos e complexos

puderam ser desenvolvidos outros programas, tais como o *ENERGYPLUS*, o *FLUENT*, o *CFX* etc. (LAMBERTS, 2005, p. 48).

Os programas de simulação energética podem avaliar o desempenho energético das edificações para o projeto. Através do uso da simulação pode-se estimar o consumo de energia, o custo desse consumo e até mesmo o impacto ambiental que a edificação iria causar caso fosse construída (LAMBERTS, 2005, p. 48). Atualmente existe no mercado enorme relação de programas de simulação lumínica. A Tabela 3 mostra os principais.

Tabela 3 – Programas de simulação lumínica

<b>Software</b>	<b>Desenvolvido por</b>
ADELINÉ	Fraunhofer Institute for Buildings – IBP, Suíça
AGI 32	Lighting Analystis Inc. - EUA
DAYSIM	Institute for Research in Construction – Canadá
DeLIGHT	Lawrence Berkeley Laboratory – California, EUA
DESKTOP RADIANCE	Greg Ward no Lawrence Berkeley Laboratory – California, EUA
<i>ECOTECT</i>	Autodesk – EUA
eQUEST	Lawrence Berkeley Laboratory – California, EUA e James J. Hirsch
GENELUX-WEB	Département Génie Civil et Bâtiment - França
GREEN BUILDING STUDIO	Autodesk - EUA
HELIOS 32	Heart Consultants Limited – EUA
INSPIRER	INTEGRA - Japão
IES <VE>	Integrated Environmental Solutions Limited – Escócia
LESO-DIAL	École Polytechnique Federale Lausanne/EPFL - Suíça
LIGHTSCAPE	DISCREET – Autodesk – EUA
LIGHTSKETCH	University of California Energy Institute – EUA
LIGHTSTUDIO	Die Lichtplaner – Alemanha
LUMEM MICRO	Lighting Technologies Inc – Colorado, EUA
POV-RAY	Persistence of Vision Raytracer Pty. Lts – EUA
RADIANCE	Greg Ward no Lawrence Berkeley Laboratory – California, EUA

RAYFRONT	ALWARE – Alemanha
RAYSHADE	Stanford University - EUA
RENDERPARK	Computer Graphics Research Group Katholieke Iniversiteit Leuven – Bélgica
RELUX	Informatik AG - Alemanha
SKYVISION	Institute for Research in Construction – Canadá
SUPERLITE	Lawrence Berkeley Laboratory – California, EUA
VIRTUAL LIGHTING SIMULATOR	Lawrence Berkeley Laboratory – California, EUA

Fonte: CHRISTAKOU, 2004, p. 110.

Os *softwares* de simulação lumínica variam em complexidade, interoperabilidade com um modelo BIM e nível de detalhe. A escolha do *software* para análise deve ser feita em função do tipo de análise, dos resultados que devem ser apresentados, do tempo disponível para as análises e da fase em que se encontra o projeto (KRYGIEL; NIES, 2008, p. 188). A seguir são apresentados alguns *softwares* com suas capacidades:

- a) IES <VE>: criado em Glasgow, em 1994, é um programa de análise energética com alto grau de precisão e interoperabilidade com modelos BIM (KRYGIEL; NIES, 2008, p. 188). O programa leva em consideração a forma da edificação, o clima do local, a disponibilidade dos recursos naturais, a ocupação, os materiais que compõem a edificação e os serviços disponíveis para realizar as análises. Pode ser utilizado em todas as fases do projeto.
- b) *Ecotect 2011*: o programa foi comprado pela *Autodesk* e é definido pela empresa como "*software* de análise para projeto sustentável". Para cumprir este objetivo possui vários recursos como análise energética, de desempenho térmico, avaliação de custo e uso da água, radiação solar, luz do dia, sombras e reflexões (AUTODESK, 2010c). O *Ecotect* é um dos únicos programas de simulação integrada, com uma interface amigável (AMORIM et al, 2006). A última versão é a *Ecotect 2011*.
- c) eQUEST: abreviação para *Quick Energy Simulation Tool*. É um *software* gratuito criado pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory*. Realiza análise energética detalhada de forma simples, de modo que qualquer integrante da equipe possa utilizar. A tecnologia utilizada nesse programa permite que o

usuário o utilize sem a necessidade de conhecimento prévio de modelagem computacional. Não aceita importação do modelo de nenhum *software*. Pode ser utilizado em qualquer fase do projeto (ENERGY..., 2010).

- d) *Autodesk Green Building Studio*: é um programa baseado na *web* que realiza análise energética e otimiza a eficiência energética de forma precisa e rápida. Esse *software* pode ser utilizado apenas na fase inicial do projeto (AUTODESK, 23/11/2010).

A lista completa com os *softwares* de simulação ambiental disponíveis no mercado atualmente pode ser vista no endereço eletrônico: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/tools\\_new.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/tools_new.cfm).

Os *softwares* a serem utilizados na experimentação foram escolhidos entre os citados considerando critérios tais como integração, completude, precisão e compatibilidade. São eles: *Ecotect 2011* (por ser um dos *softwares* mais completos de simulação ambiental, gratuito e compatível com o esquema gbXML) e o IES <VE> 6.1.1 (por possuir alto grau de precisão e ser compatível com o esquema gbXML).

#### **6.4 Descrição do Método de Investigação**

A investigação será feita de acordo com os passos apresentados abaixo:

- 1º passo – Será feita a modelagem, em um *software* BIM, de uma pequena edificação, composta por cinco ambientes, que possui dimensão total de 59,32m<sup>2</sup>. Esta edificação tem a função de escritório de administração. Este projeto contém todos os elementos necessários às análises. Possui piso, paredes, cobertura, vãos de portas e janelas, luminárias, definição de materiais e uma quantidade de ambientes que permite avaliar as simulações e as exportações que serão realizadas;
- 2º passo – Após o processo de modelagem será adicionada e configurada a iluminação artificial no modelo. As luminárias serão distribuídas de acordo com a distribuição do *layout*;
- 3º passo – O modelo será, então, configurado e salvo em esquema gbXML para exportação. Foi escolhido para o experimento somente o esquema gbXML, na exportação para os simuladores ambientais, e não também o formato de domínio público IFC, devido a complexidade do tema e ao curto

prazo. Um estudo utilizando este formato pode ser desenvolvido em uma pesquisa futura;

- 4º passo – O arquivo salvo no esquema gbXML será importado em um simulador ambiental. Após a exportação será avaliada a quantidade de retrabalho necessária para recompor o modelo e permitir a simulação;
- 5º passo – Será feita a simulação da luz natural e da luz artificial no modelo. Uma completa simulação lumínica exige que sejam considerados para a análise índices locais do macroclima e microclima como ventilação, umidade, topografia, tipo de solo, vegetação do entorno etc. Além desses a carga térmica dos materiais que compõem a edificação. As análises realizadas no experimento não consideraram esses índices. Por questões de viabilidade da pesquisa foi feito um recorte onde o foco é a comunicação entre os sistemas, ou seja, a interoperabilidade e não a simulação ambiental;
- 6º passo – Após a simulação o modelo será exportado de volta para o *software* BIM no formato mais adequado para essa operação. O esquema gbXML foi desenvolvido para permitir a exportação de um *software* BIM para um simulador ambiental. Como, nesse caso, a exportação vai partir do simulador ambiental, será necessário pesquisar outro formato que seja mais adequado ao simulador utilizado e ao programa dos sistemas BIM que irá receber o modelo. Existem vários formatos para exportação nos simuladores ambientais (.dxf, .dwg etc.) e para importação nos *softwares* BIM. O objetivo dessa pesquisa é avaliar os formatos em comum aos dois sistemas e se o modelo chegará com todos os dados no BIM;
- 7º passo: Nesta etapa será avaliada, sob vários aspectos, a interoperabilidade entre o *software* BIM e o simulador ambiental.

O Apêndice contém um Manual para Exportação do Modelo dos Sistemas BIM para Simuladores Ambientais onde os passos descritos acima foram detalhados.

O experimento será testado entre cada um dos *softwares* BIM com os dois simuladores ambientais selecionados. Com o objetivo de facilitar o entendimento, os testes foram divididos em quatro processos: **Processo 1**, **Processo 2**, **Processo 3** e **Processo 4**.

A figura abaixo ilustra, com um esquema, o **Processo 1** que será desenvolvido entre o programa BIM *ArchiCAD 14* e o simulador *Autodesk Ecotect Analysis 2011*.

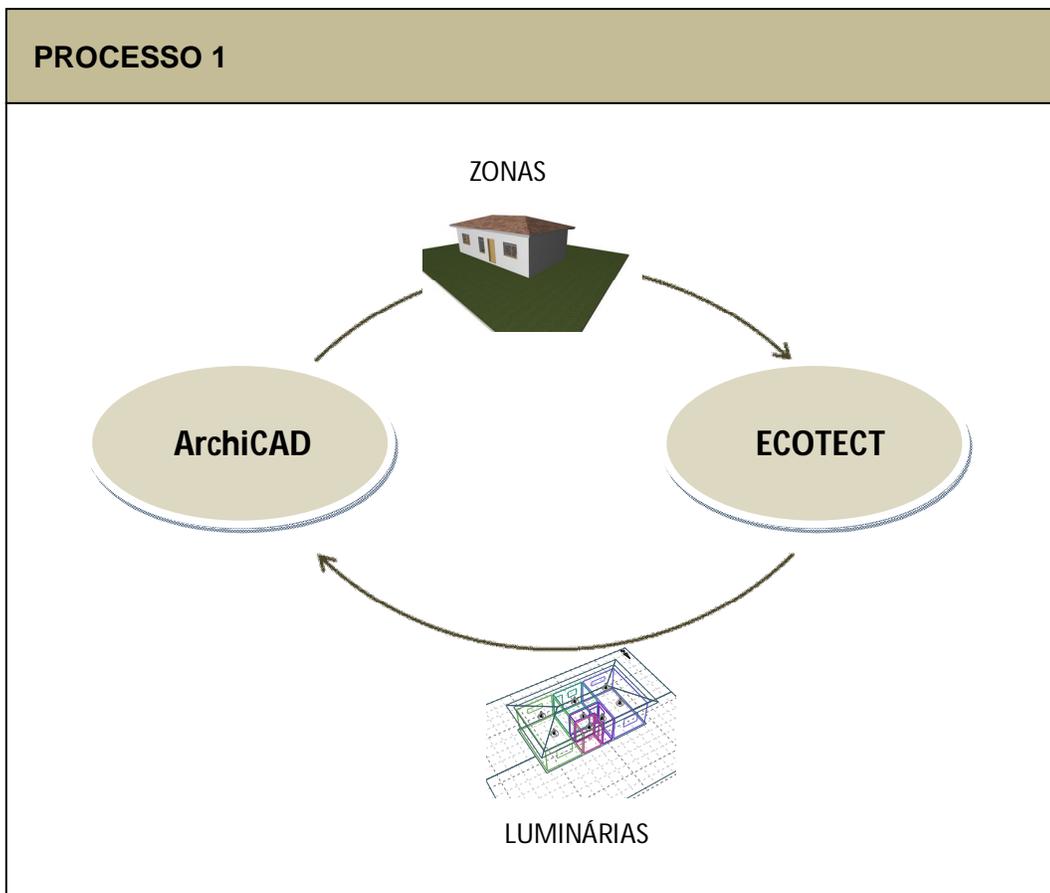


Figura 24 - PROCESSO 1 - Esquema mostrando as exportações entre os *softwares* ArchiCAD 14 e Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

O modelo será exportado do *ArchiCAD* 14 para o *Ecotect* 2011, onde serão feitas as análises da luz natural e da luz artificial. Após esse processo será feita a exportação de volta para o *ArchiCAD* 14.

O mesmo processo será repetido entre o *software* *ArchiCAD* 14 e o simulador ambiental IES <VE> 6.1.1. Este processo será denominado **Processo 2**. A figura a seguir mostra esse processo:

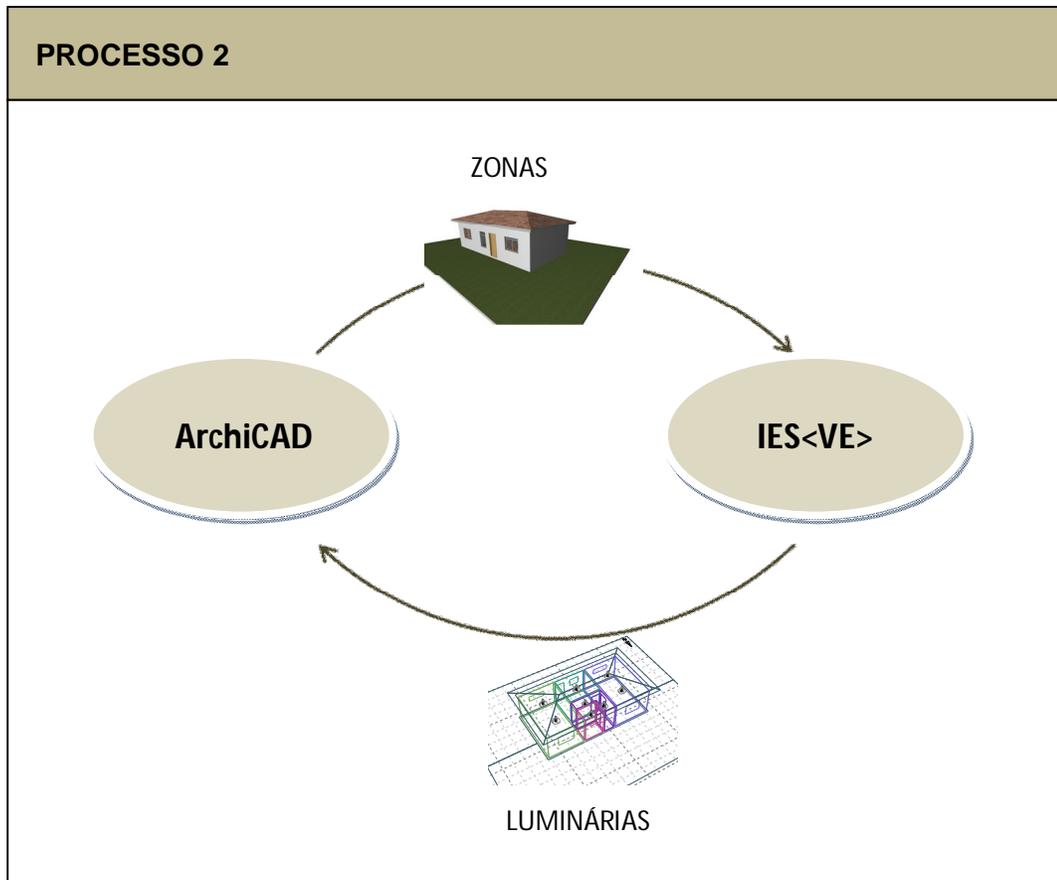


Figura 25 - PROCESSO 2 - Esquema mostrando as exportações entre os *softwares* ArchiCAD 14 e IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

No **Processo 3**, o teste ocorrerá entre o *software Autodesk Revit Architecture* 2011 e o simulador ambiental *Ecotect* 2011. A figura abaixo mostra um esquema desse processo:

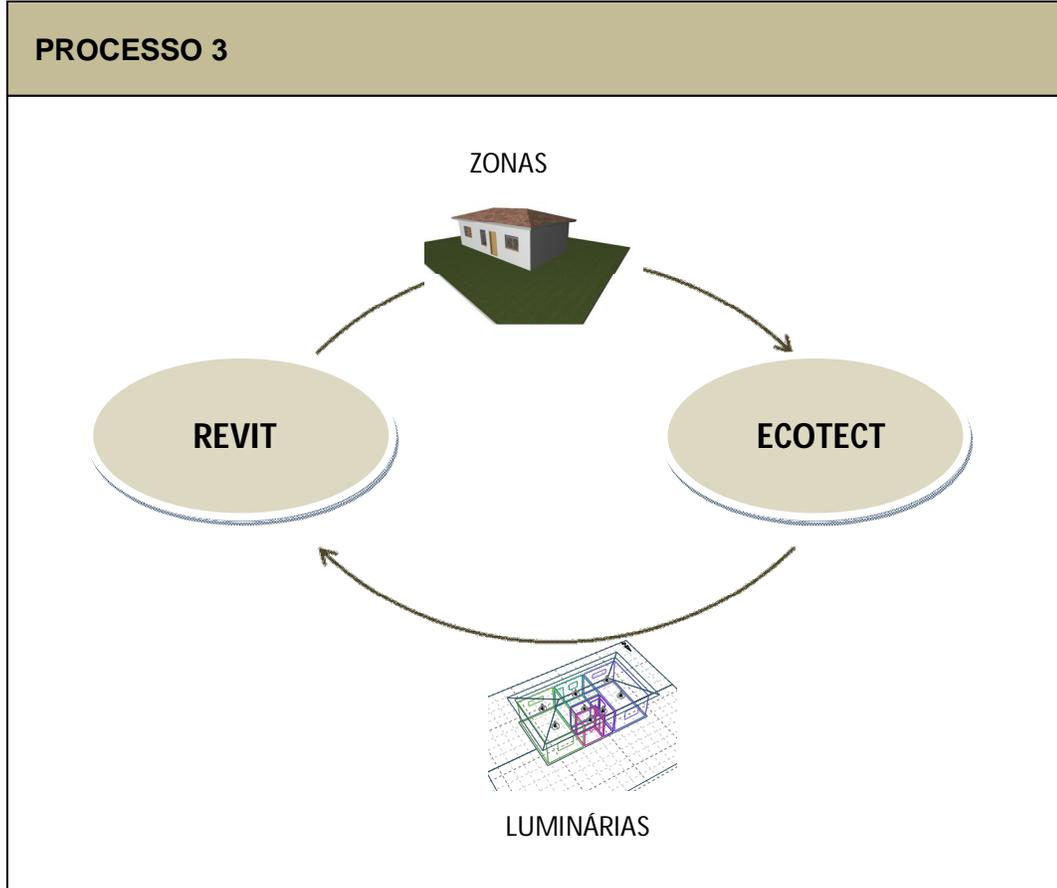


Figura 26 - PROCESSO 3 - Esquema mostrando as exportações entre os *softwares* Revit 2011 e Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

O último processo será entre os *softwares* Revit 2011 e IES <VE> 6.1.1. Este será o **Processo 4**. A figura abaixo mostra um esquema desse processo:

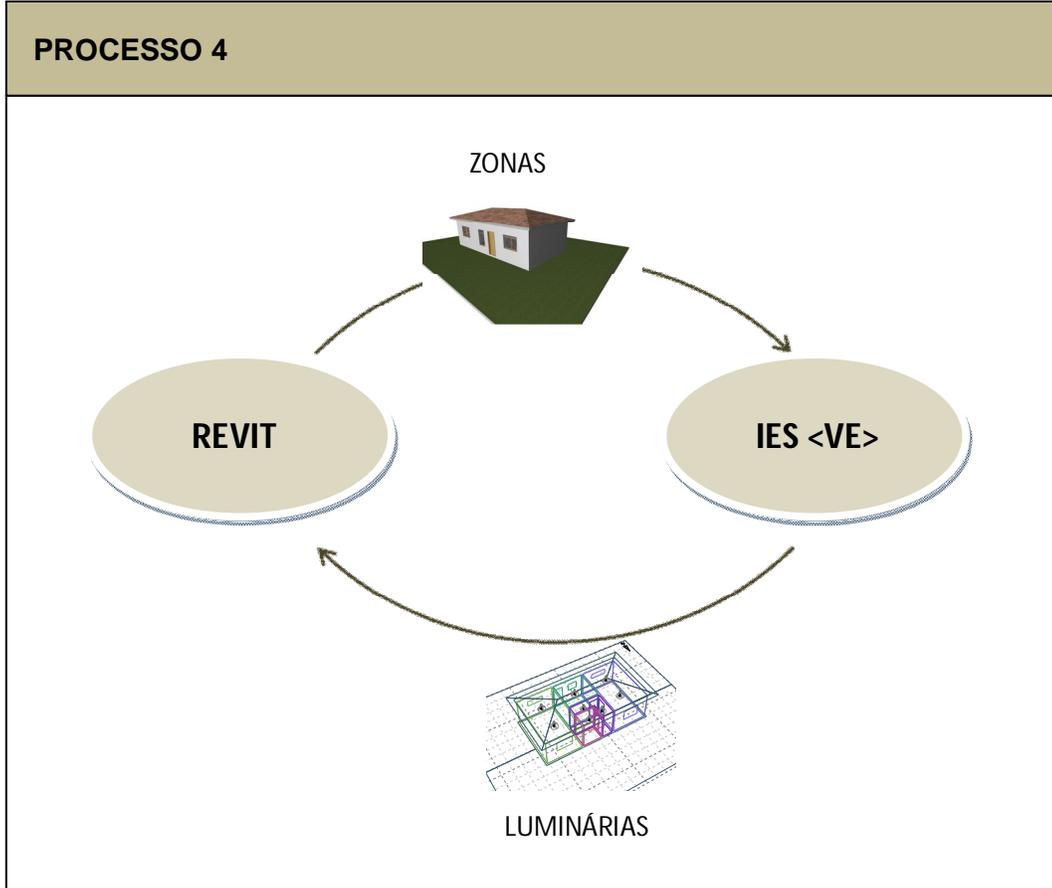


Figura 27 - PROCESSO 4 - Esquema mostrando as exportações entre os softwares Revit 2011 e IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

Os quatro processos foram divididos em duas etapas: **Etapa 1** e **Etapa 2**.

- A **ETAPA 1** contém os processos 1 e 2. Estes processos envolvem o software *ArchiCAD 14* e os simuladores ambientais *Ecotect 2011* e *IES <VE> 6.1.1*.
- A **ETAPA 2** contém os processos 3 e 4. Estes processos envolvem o software *Revit 2011* e os simuladores ambientais *Ecotect 2011* e *IES <VE> 6.1.1*.

A tabela abaixo apresenta um resumo contendo as etapas e processos que serão realizados na experimentação:

Tabela 4 - Resumo das etapas e processos que serão realizados na experimentação.

<b>ETAPA 1</b>	
<b>PROCESSO 1</b>	
<b>PROCESSO 2</b>	
<b>ETAPA 2</b>	
<b>PROCESSO 3</b>	
<b>PROCESSO 4</b>	

Fonte: Autoria nossa.

## 7 EXPERIMENTAÇÃO

A experimentação foi dividida em **Etapa 1** e **Etapa 2**. A **Etapa 1** da experimentação consiste em desenvolver o **Processo 1** e o **Processo 2**. Envolve os *softwares* *ArchiCAD* 14 e os simuladores *Ecotect* 2011 e IES <VE> 6.1.1. A experimentação será guiada pelos passos descritos no capítulo anterior.

### 7.1 Etapa 1: *ArchiCAD* 14

A **Etapa 1** da experimentação desenvolve os processos 1 e 2. O **Processo 1** envolve os *softwares* *ArchiCAD* 14 e *Ecotect* 2011. O **Processo 2** envolve os *softwares* *ArchiCAD* 14 e IES <VE> 6.1.1.

#### 7.1.1 Processo 1: exportação do *ArchiCAD* 14 para o *Ecotect* 2011

O **Processo 1** será desenvolvido de acordo com os passos descritos no capítulo anterior. Os passos consistem em: desenvolver o modelo no *software* *ArchiCAD* 14 e exportá-lo para o *Ecotect* 2011. Após a exportação serão realizadas as simulações da luz natural e da luz artificial. Caso seja necessário, o modelo será modificado para reduzir o consumo energético. O modelo com as possíveis modificações será exportado de volta para os sistemas BIM.



➤ 1º passo: consistiu em desenvolver o modelo de um escritório no *software* *ArchiCAD* 14. A imagem abaixo mostra a planta baixa deste.

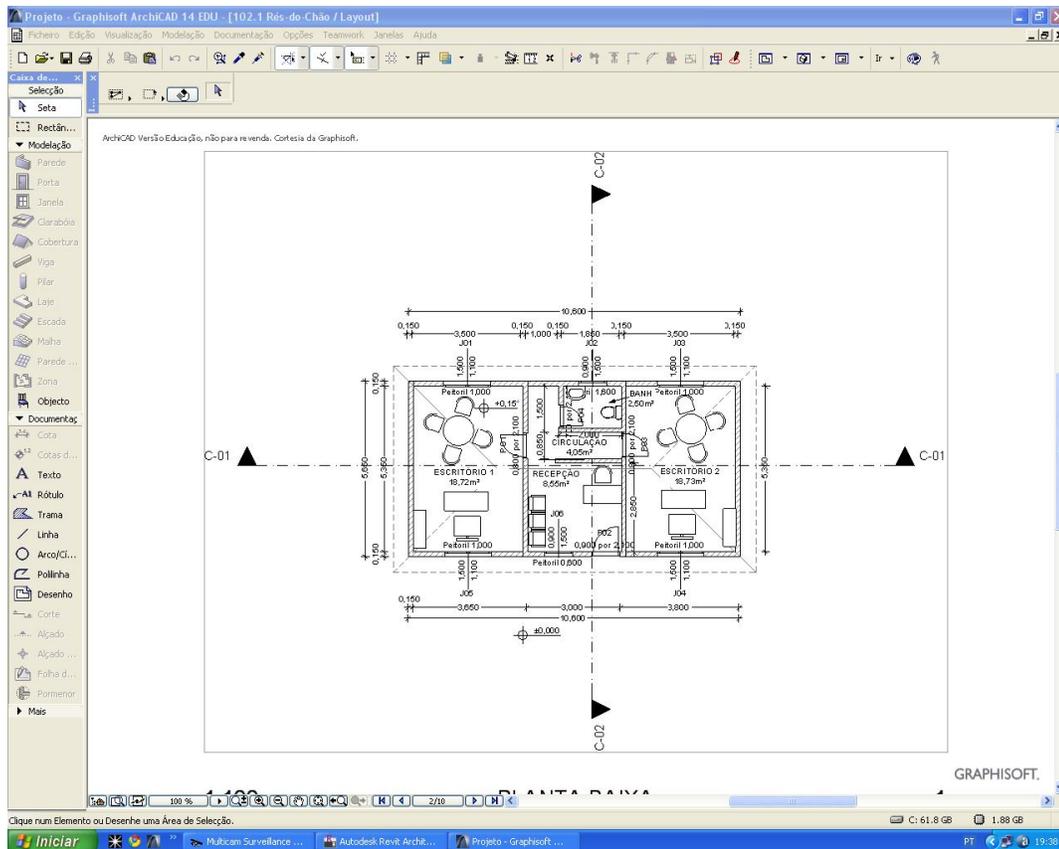


Figura 28 - Planta baixa do modelo no *software* ArchiCAD 14

Fonte: Autoria nossa.

Através da planta baixa do modelo é possível observar a distribuição dos cômodos e a função de cada ambiente. A edificação possui as dimensões de 10,60m x 5,65m, um pé direito de 2,80m e é composto pelos seguintes cômodos:

Tabela 5 - Cômodos que compõem o modelo.

CÔMODOS	
Recepção	8,55m <sup>2</sup>
Circulação	4,05m <sup>2</sup>
Banheiro	2,50m <sup>2</sup>
Escritório 1	18,72m <sup>2</sup>
Escritório 2	18,73m <sup>2</sup>

Fonte: autoria nossa.

A Tabela 6 mostra os materiais que foram definidos para a edificação e a listagem dos mobiliários que compõem cada ambiente. A definição dos materiais é importante para que, após a exportação, possamos verificar se o modelo exportado do *ArchiCAD* contém as informações sobre esses. O mobiliário foi definido para facilitar e determinar a distribuição das luminárias. Os materiais são essenciais para a simulação, pois influenciam no cálculo de algumas de suas variáveis. Na simulação térmica, por exemplo, é importante considerar a carga térmica que o material possui; a análise lumínica é influenciada pela textura dos materiais, pois essa modifica a reflexão dos raios luminosos; a porosidade modifica o resultado da análise acústica etc.

Tabela 6 - Materiais que compõem o modelo.

<b>MATERIAIS</b>	
Alvenaria	Tijolo comum com reboco e emboço. Acabamento com pintura acrílica na cor branca.
Piso	Cerâmica na cor bege.
Cobertura	Estrutura em madeira e fechamento com telhas do tipo capa/canal.
Laje de piso e laje de teto	Concreto armado.
Esquadrias	Cinco portas em madeira sendo três de abrir e uma de correr e seis janelas em alumínio natural. As janelas são do tipo: quatro de correr, uma fixa e uma do tipo basculante.
Layout	A recepção possui três poltronas para espera e uma mesa com uma cadeira. Os escritórios são mobiliados com 1 mesa e uma cadeira e uma mesa redonda com quatro cadeiras para reuniões, além de um armário.

Fonte: Autoria nossa.

A Figura 29 mostra o corte C-01 e a Figura 30 mostra o corte C-02. Os dois cortes foram gerados automaticamente no *ArchiCAD 14* uma vez que o *software*, BIM, é paramétrico. Para representar os cortes basta definir onde irão passar, no modelo único, e em que sentido. Através das figuras 29 e 30 é possível observar as esquadrias. É importante mostrar os cortes para exemplificar como o *software* BIM desenvolve as representações ortogonais a partir do modelo único.

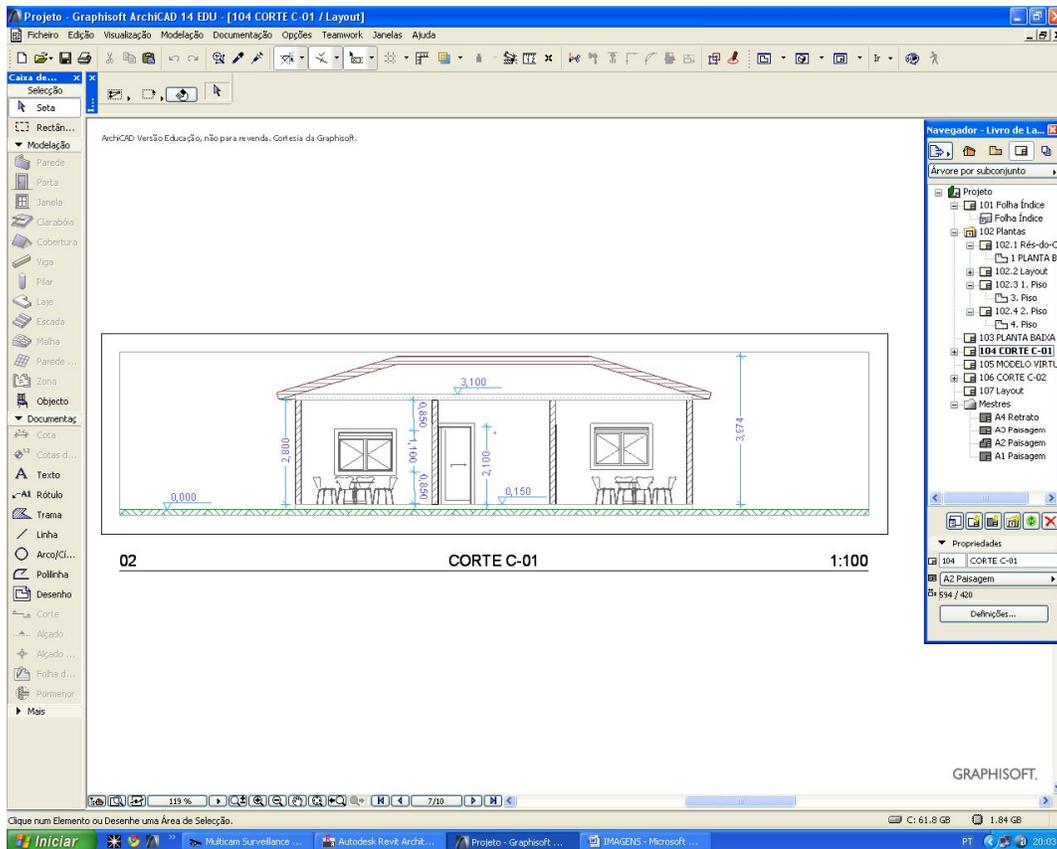


Figura 29 - Corte C-01 do modelo no software Archicad 14

Fonte: Autoria nossa.

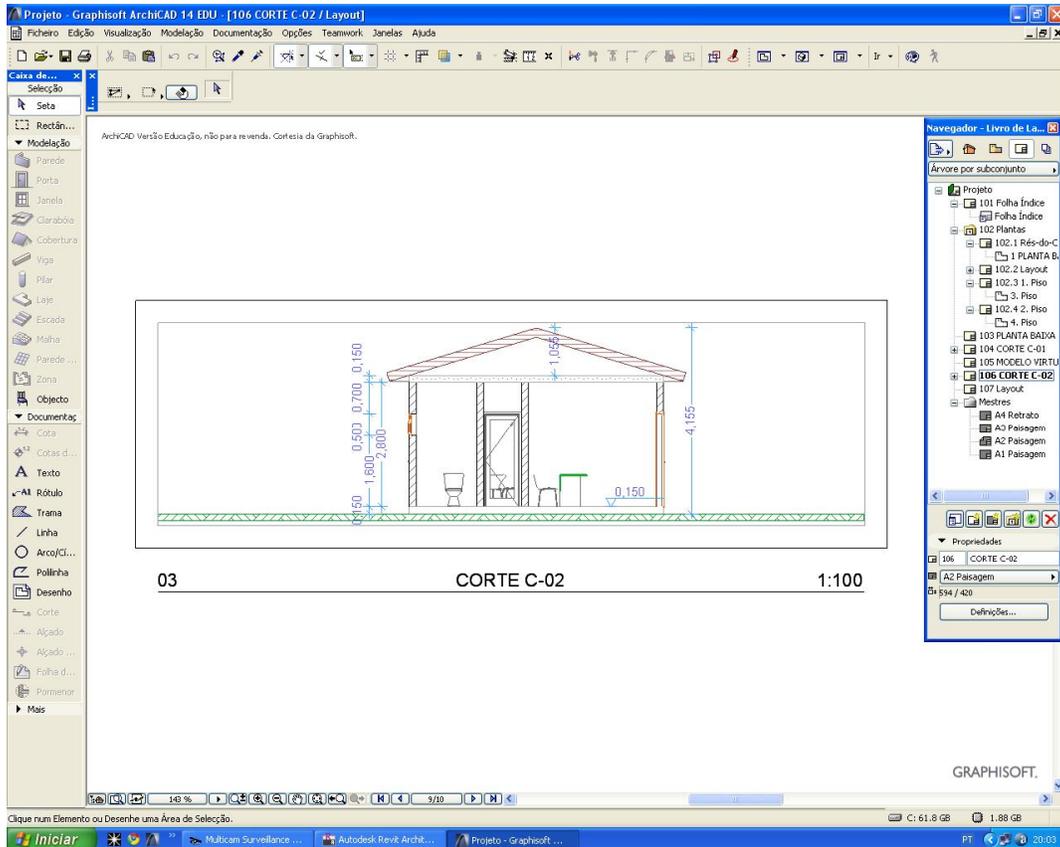


Figura 30 - Corte C-02 do modelo no software Archicad 14.

Fonte: Autoria nossa.

As figuras 31 e 32 mostram a representação tridimensional do modelo renderizado. A primeira mostra a fachada frontal e a segunda mostra a fachada dos fundos. Através dessa representação é possível ver o projeto como um todo. O conjunto das figuras 28 (planta baixa), 29 (corte C-01), 30 (C-02), 31 e 32 apresenta todos os elementos do projeto que serão utilizados para o experimento esclarecendo as dimensões, materiais, *layout*, entre outros.

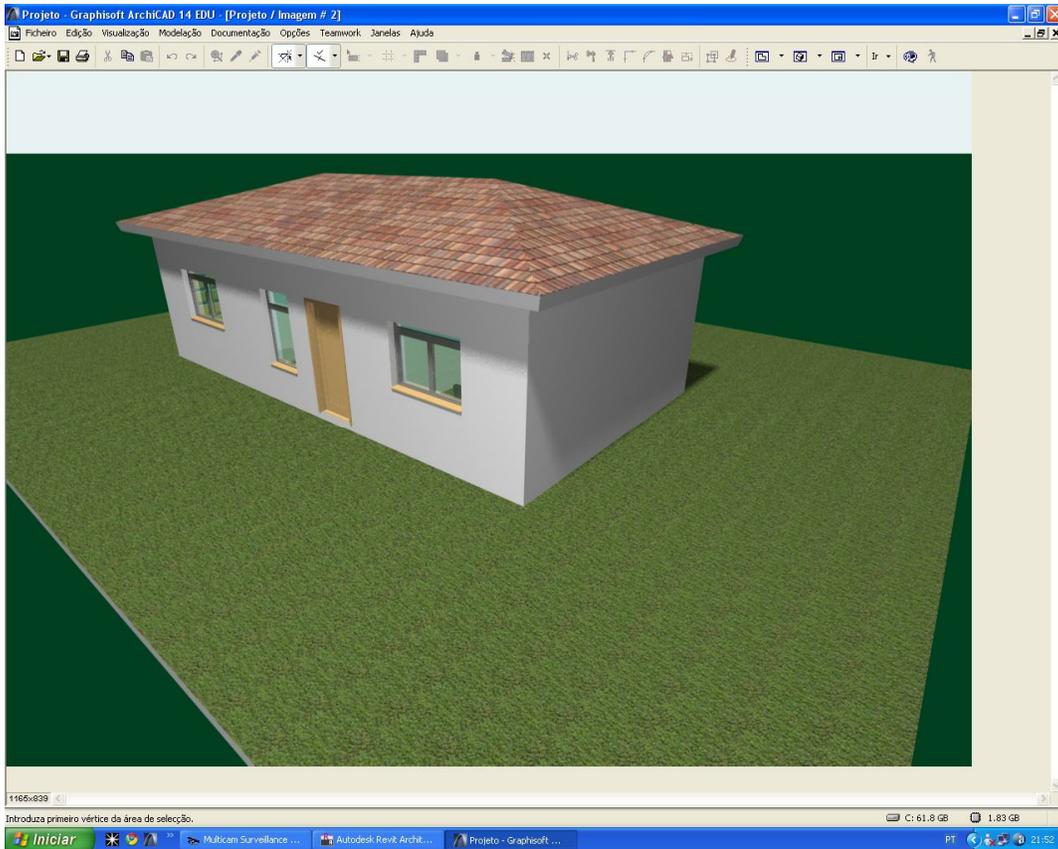


Figura 31 - Perspectiva do modelo no *software* Archicad 14.  
Fonte: Autoria nossa.

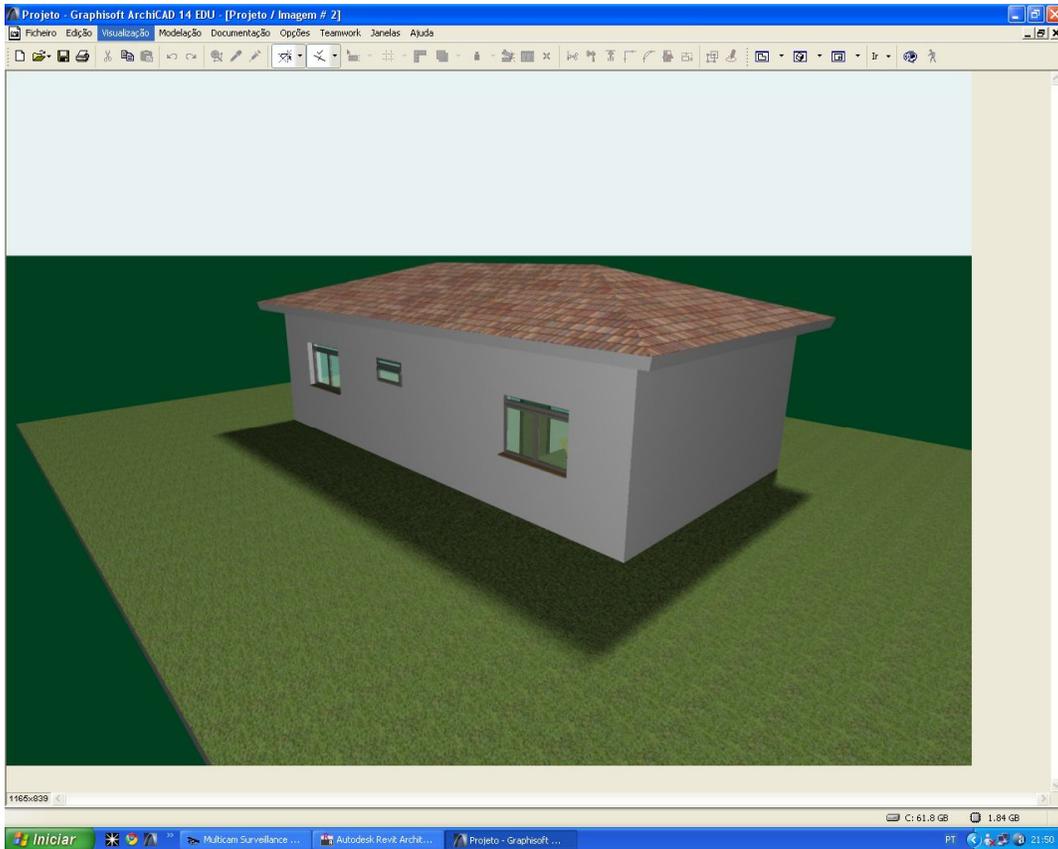


Figura 32 - Perspectiva do modelo no *software* Archicad 14.

Fonte: Autoria nossa.

- 2º passo: consiste em inserir as luminárias no modelo.

Conforme mostra a Figura 33, foram inseridas oito luminárias no modelo. O *ArchiCAD* 14 possui pequena biblioteca de luminárias. Essa biblioteca mostra o modelo da luminária, mas não especifica quantas lâmpadas ela suporta e quais tipos de lâmpadas podem ser utilizados. Dessa forma, não é possível definir no projeto, ainda no *ArchiCAD*, a potência e a quantidade de lâmpadas que serão inseridas, somente a quantidade e posição das luminárias.

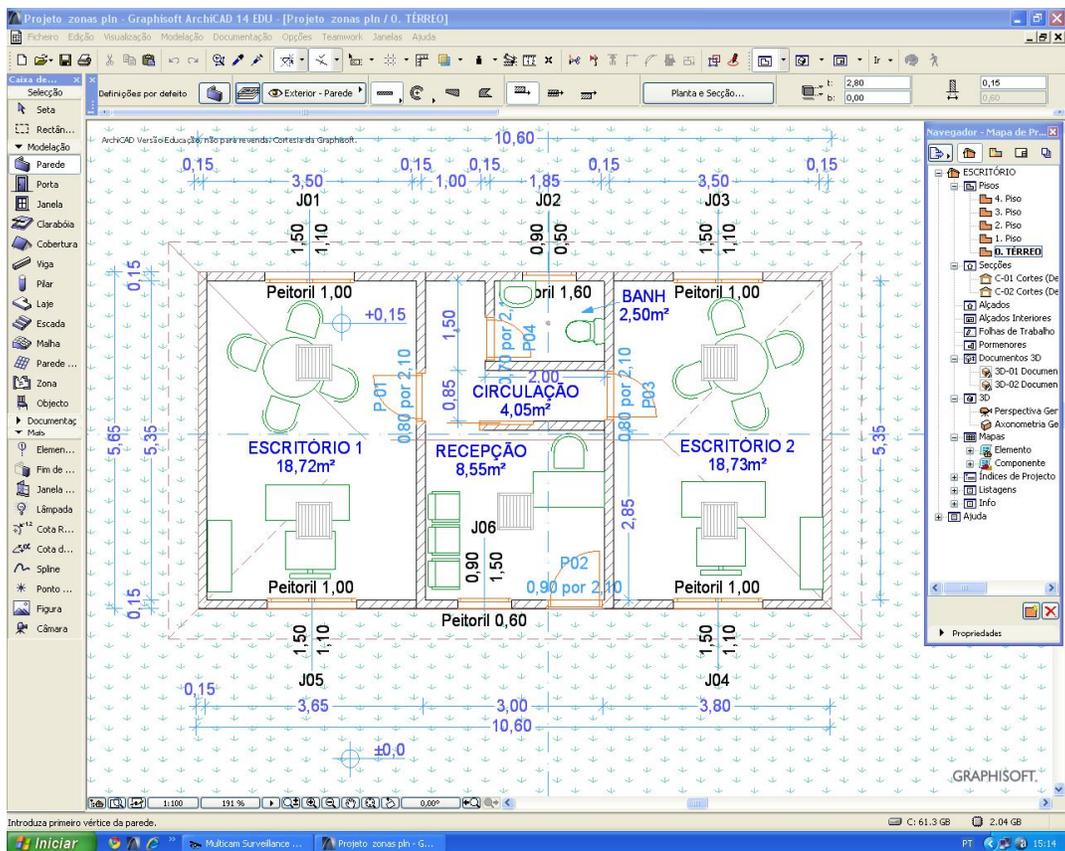


Figura 33 – Planta baixa do modelo com as luminárias no *software* ArchiCAD 14.

Fonte: Autoria nossa.

- 3º passo: o modelo desenvolvido no *software* ArchiCAD 14 será configurado e salvo no esquema gbXML para exportação.

O ArchiCAD 14 não salva diretamente o arquivo no esquema gbXML. É necessário instalar uma extensão do ArchiCAD 14, denominada “ArchiCAD gbXML Export” que tem o objetivo de criar um arquivo para transferência no esquema gbXML. Esta extensão está disponível no endereço eletrônico: [http://www.encia.co.uk/gbxml\\_export.html](http://www.encia.co.uk/gbxml_export.html). Ela foi desenvolvida pela “Encina Ltd Design Software Solutions” justamente para atender à necessidade de exportação de um modelo virtual CAD tridimensional para softwares de análise ambiental. A transferência ocorre de forma rápida e eficiente, pois o *software* gbXML simplifica a geometria do modelo antes da exportação. Dessa forma exporta somente o essencial para as análises ambientais (ENCINA, 2010).

No sentido de assegurar que o *software* que irá receber o modelo reconheça-o integralmente existem dois requisitos que devem ser observados:

- 1) O modelo deve conter, pelo menos, paredes, vãos de portas e janelas, piso e cobertura. Esses elementos representam o mínimo necessário para realizar uma análise ambiental;
- 2) Os cômodos do projeto devem ser divididos por zonas. O gbXML exporta somente as zonas definidas no projeto. Cada cômodo é representado por uma zona (ENCINA, 2010).

Além dos requisitos citados acima devem ser feitas algumas configurações no modelo antes da exportação. O pacote disponível para *download* da extensão *ArchiCAD gbXML Export* inclui um manual de referência com um tutorial para essa configuração. O manual está disponível no seguinte endereço eletrônico: [http://download.graphisoft.com/ftp/download/Ecotect/ArchiCAD\\_Model\\_Preparation\\_for\\_Ecotect.pdf](http://download.graphisoft.com/ftp/download/Ecotect/ArchiCAD_Model_Preparation_for_Ecotect.pdf). Esse manual orienta, nas primeiras páginas, como deve ser feita a instalação do programa. No capítulo seguinte faz uma revisão do esquema gbXML. Depois mostra como preparar o modelo para exportação e posteriormente como salvar o modelo no esquema gbXML. Na parte final, o manual apresenta algumas orientações para a modelagem a fim de facilitar a configuração do modelo antes da exportação.

O tutorial para a preparação do modelo contém a seguinte orientação:

- a) Definir as zonas internas do modelo. Somente cômodos delimitados por zonas são exportados. As zonas devem ser traçadas na parte interna da parede dos cômodos. A figura 33 mostra a planta baixa do modelo desenvolvido no *software ArchiCAD 14* com as zonas internas.

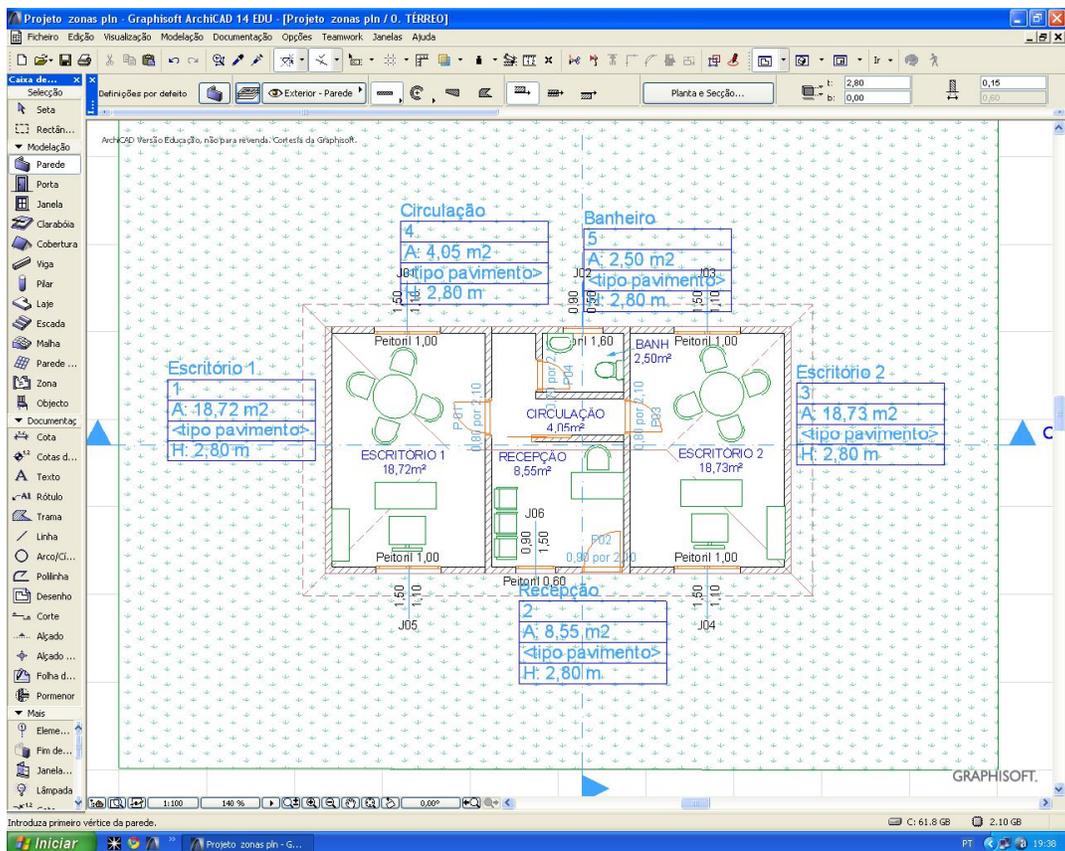


Figura 34 – Planta baixa modelo no *software* ArchiCAD 14 com zonas definidas.

Fonte: Autoria nossa.

Cada zona interna é representada por um selo que mostra o nome do cômodo, o número e a área da zona e a altura. Este selo pode ser visto na Figura 34. No modelo em estudo foram criadas 5 zonas:

Tabela 7 - Tabela com zonas e seus respectivos cômodos, áreas e altura

	<b>CÔMODO</b>	<b>ÁREA</b>	<b>ALTURA</b>
ZONA 1	Escritório 1	18,72m <sup>2</sup>	2,80m
ZONA 2	Recepção	8,55m <sup>2</sup>	2,80m
ZONA 3	Escritório 2	18,73m <sup>2</sup>	2,80m
ZONA 4	Circulação	4,05m <sup>2</sup>	2,80m
ZONA 5	Banheiro	2,50m <sup>2</sup>	2,80m

Fonte: Autoria nossa.

- b) Definir a zona externa do modelo. É necessário criar uma zona externa para calcular a relação entre o espaço interno e o externo. A figura abaixo mostra a planta baixa do modelo desenvolvido no *software* ArchiCAD 14 com a zona externa. O modelo com a representação da zona externa pode ser visto na Figura 35.

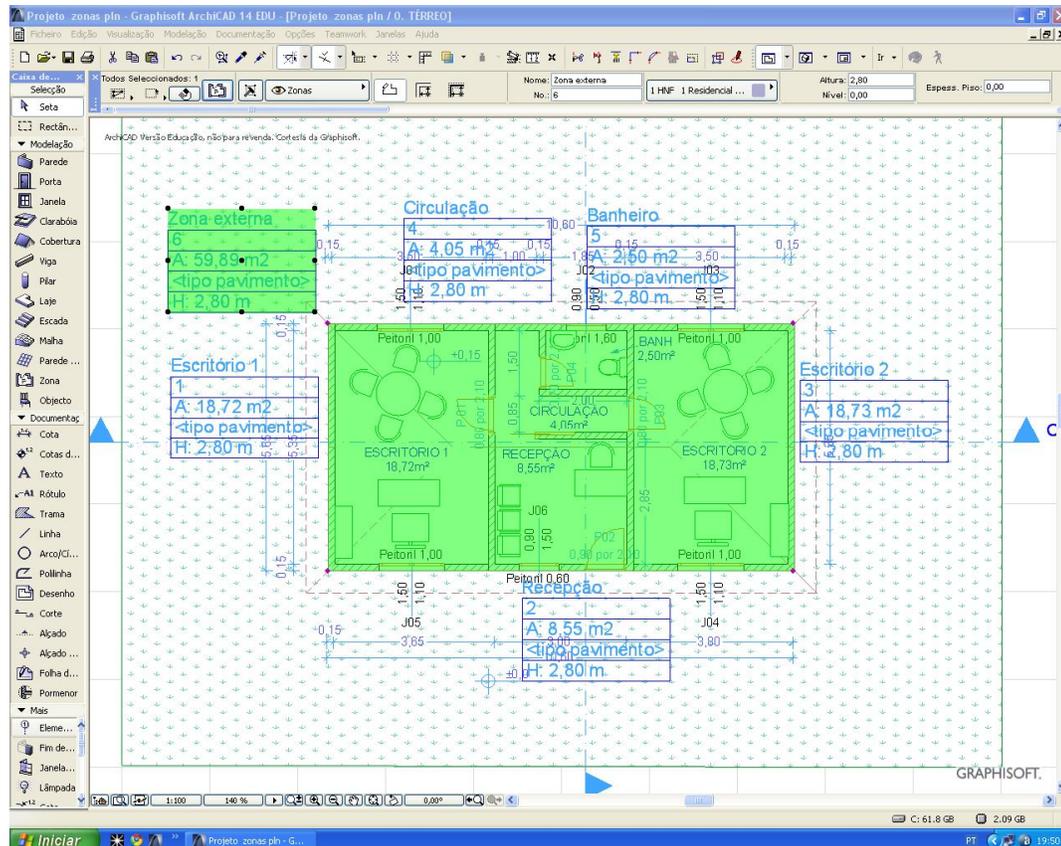


Figura 35 – Planta baixa modelo no *software* ArchiCAD 14 com zona externa definida.

Fonte: Autoria nossa.

A Figura 35 mostra a zona externa representada. Esta zona é a de número 6. Possui uma área de 59,89m<sup>2</sup> e uma altura de 2,80m.

- c) Especificar as propriedades do local. É importante especificar o local onde o modelo será construído para que seja considerada na análise ambiental a orientação solar e os dados climáticos. Estas informações são fundamentais para uma correta análise. O projeto será executado na cidade de Brasília, DF.

- d) Separar os *layers* de modo que exista um *layer* “zona” para as zonas internas, no caso do projeto em estudo são cinco zonas internas, e um segundo *layer* que pode ser denominado “zona externa” para a respectiva zona. A Figura 35 mostra a zona externa dentro do respectivo *layer*.

Após estas configurações o manual de referência da extensão *ArchiCAD gbXML Export*, para a configuração do modelo antes da exportação, mostra como salvar o modelo em gbXML para posteriormente ser exportado. Após esse processo aparece um quadro com as zonas internas e externas que serão exportadas. Basta aceitá-las e o arquivo de transferência com extensão gbXML será criado. A Figura 36 mostra o quadro com as zonas que serão exportadas.

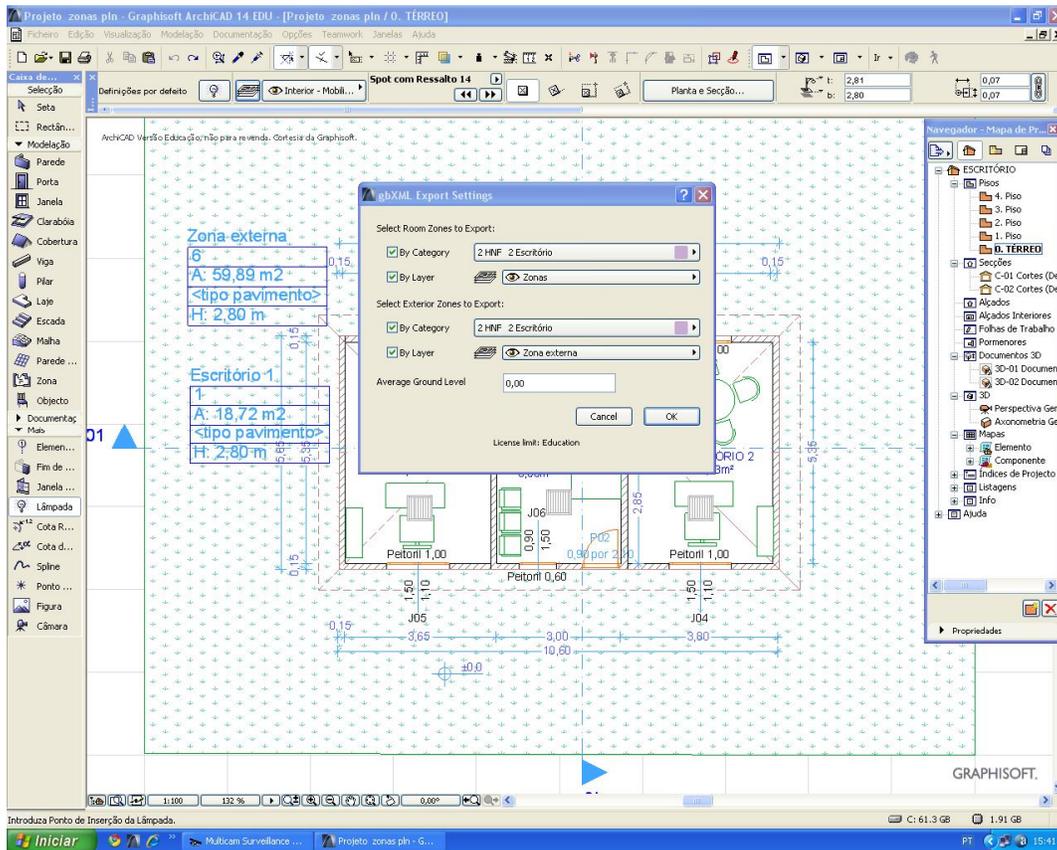


Figura 36 - Zonas do modelo no software ArchiCAD 14 que serão exportadas.  
Fonte: Autoria nossa.

- 4º passo – *Autodesk Ecotect 2011*. Nesta etapa, o arquivo de transferência criado no esquema gbXML será importado no software *Ecotect 2011* de

simulação ambiental e análise energética. Após a exportação será avaliada a quantidade de retrabalho necessário para recompor o modelo e permitir a simulação.

O arquivo de transferência gbXML foi, então, importado pelo *software Ecotect* 2011. Ao importar este arquivo, o *software* mostra um quadro com as zonas, os elementos que serão importados e os materiais. Porém os materiais especificados não correspondem ao que foi especificado no *software* BIM. O *Ecotect* reconheceu somente a nomenclatura dos materiais, mas não as suas propriedades. Portanto é importante configurar, manualmente, todos os materiais no *Ecotect*. A Figura 37 mostra o quadro com as zonas à esquerda e os elementos importados à direita. Nesse quadro é possível ver que a nomenclatura é a especificada no *ArchiCAD*.

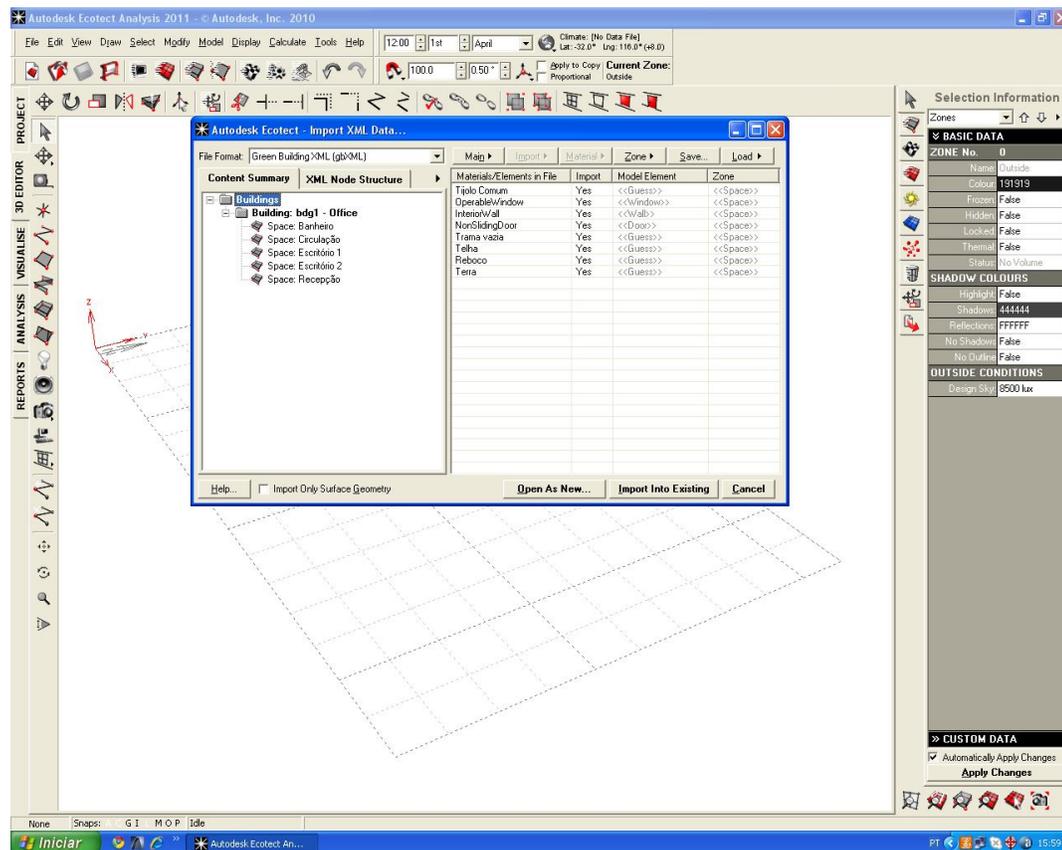


Figura 37 - Quadro para importação do modelo do *software* ArchiCAD 14 para o *Ecotect* 2011.

Fonte: Autoria nossa.

Os materiais foram, então, reconfigurados manualmente de acordo com a especificação estabelecida no item 7.2.1, 1º passo, Tabela 6. A Figura 38 mostra o quadro após estas verificações.

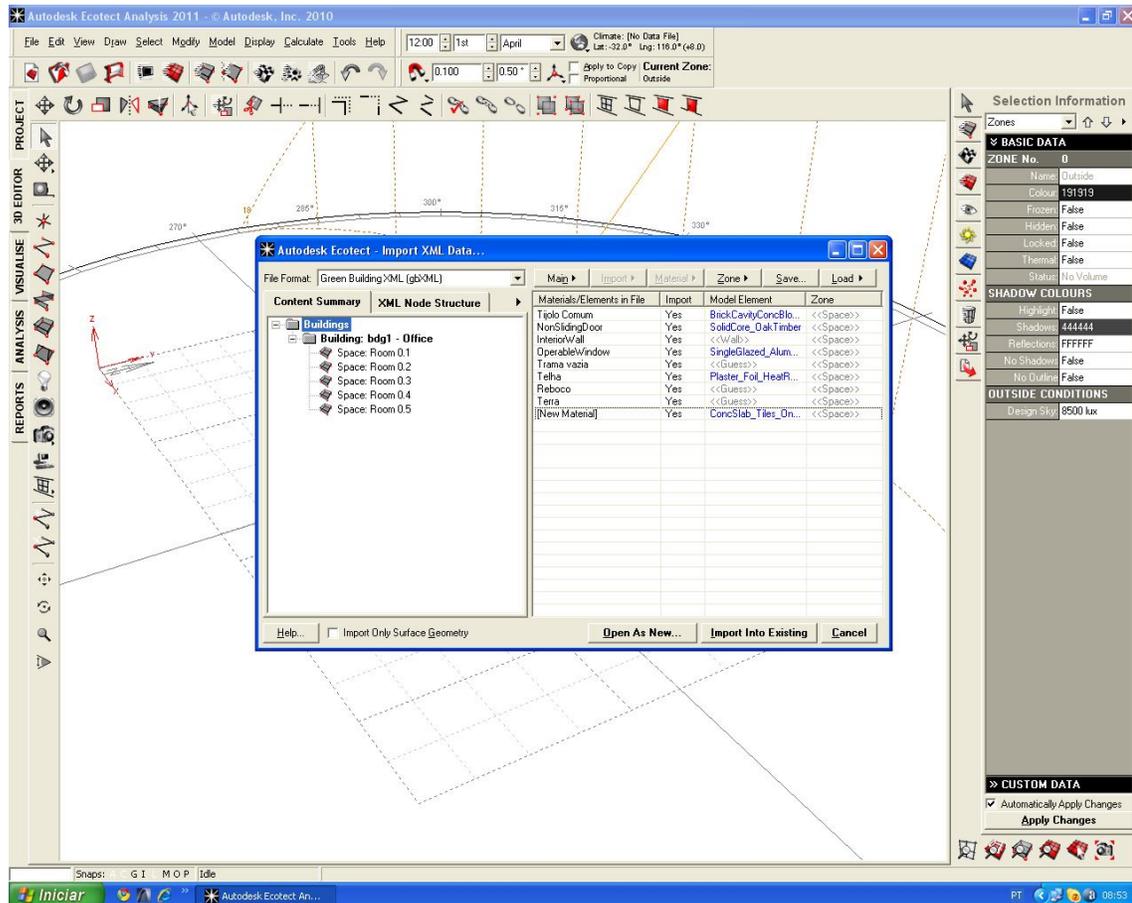


Figura 38 - Quadro com especificação dos materiais dos elementos importados do *software* ArchiCAD 14 para o Ecotect 2011.

Fonte: autoria nossa.

O *software* transfere somente os elementos necessários para as análises. Nesse caso foram transportadas as zonas com os vãos de esquadrias, o piso e o telhado. A Figura 39, a seguir, mostra o modelo importado em “estrutura de arame” onde é possível visualizar os elementos da edificação citados acima. A Figura 40 mostra o mesmo modelo renderizado.

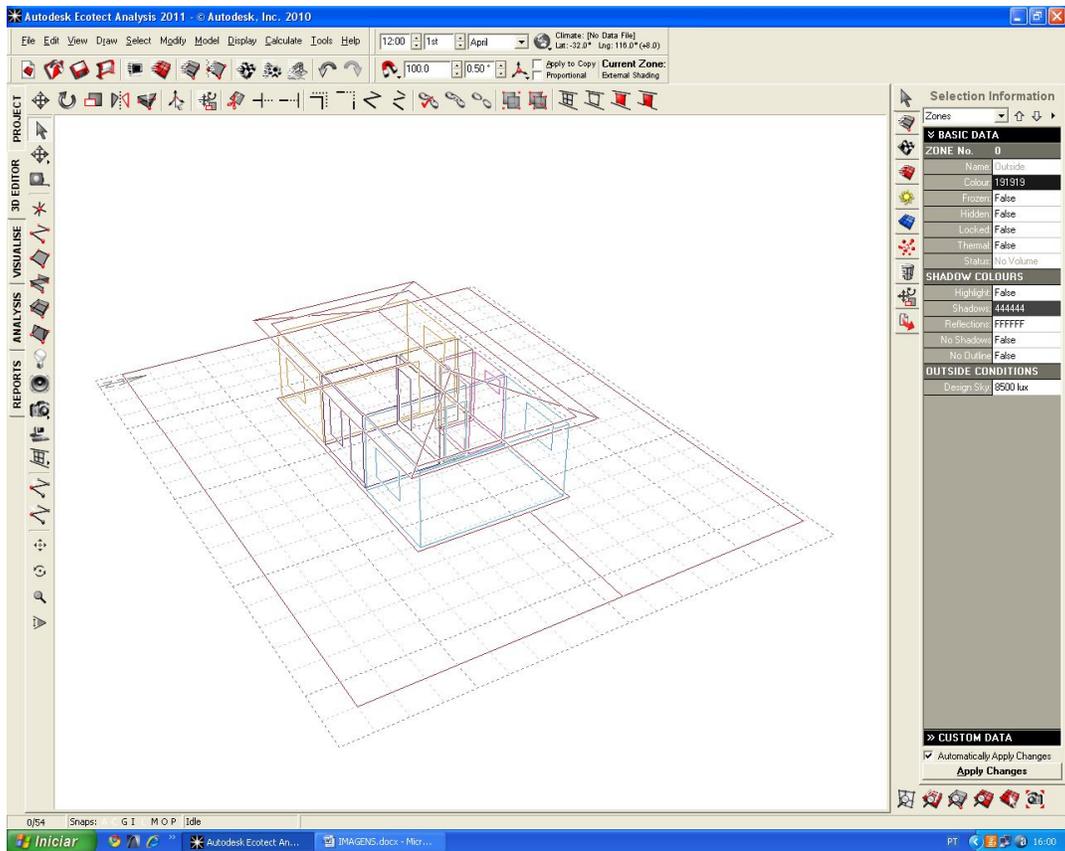


Figura 39 - Modelo importado no software Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

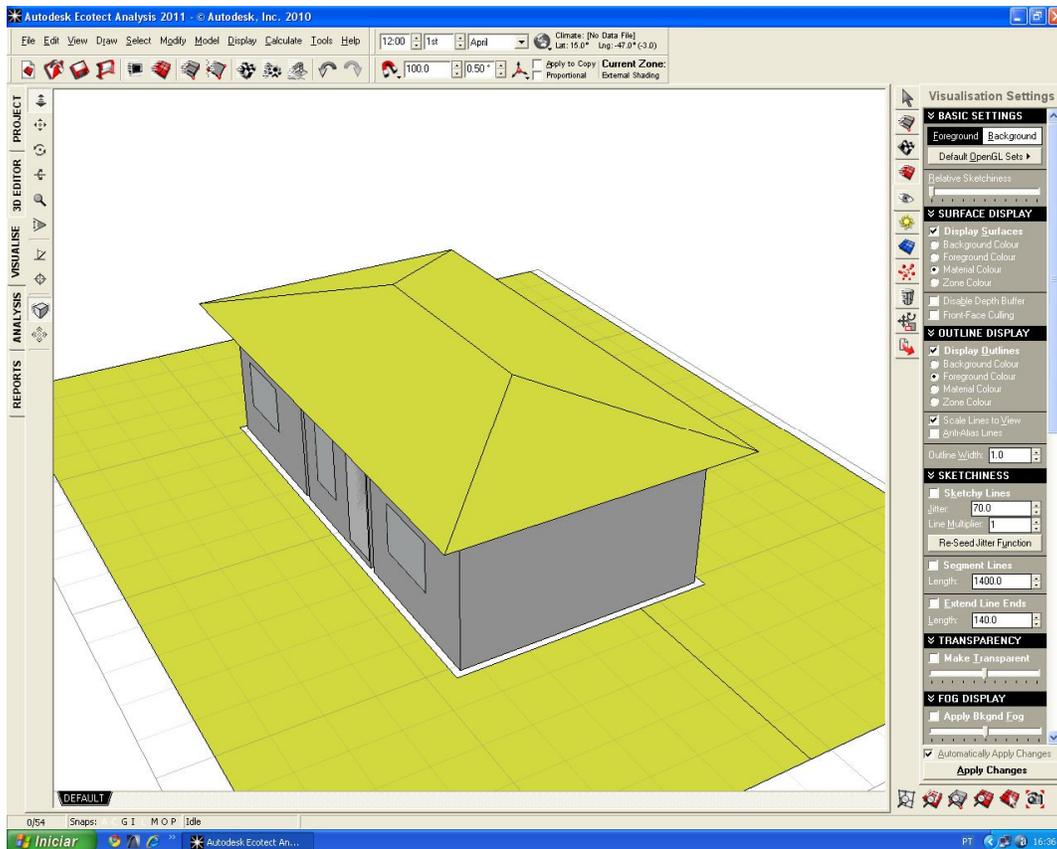


Figura 40 - Modelo importado no *software* Ecotect 2011 com renderização.

Fonte: Autoria nossa.

O referenciamento geográfico da edificação, já informado no *ArchiCAD* 14, foi novamente especificado. O *Ecotect* não reconheceu o norte, a latitude e longitude. A Figura 41 mostra a reinserção dos dados para a correta localização do norte com a latitude e longitude.

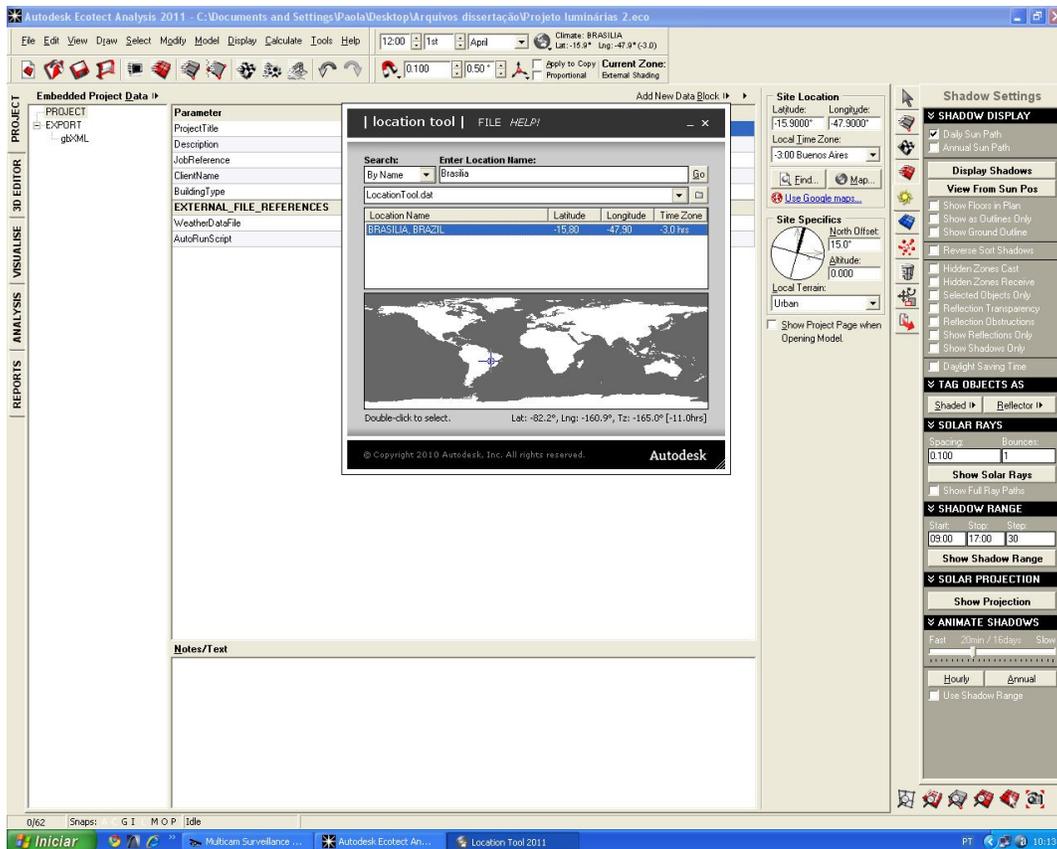


Figura 41 - Localização do norte, latitude e longitude no *software* Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

A figura seguinte apresenta o modelo inserido no *Ecotect* 2011 com a correta localização do norte. A vista em planta baixa permite visualizar o norte em relação à implantação do modelo.

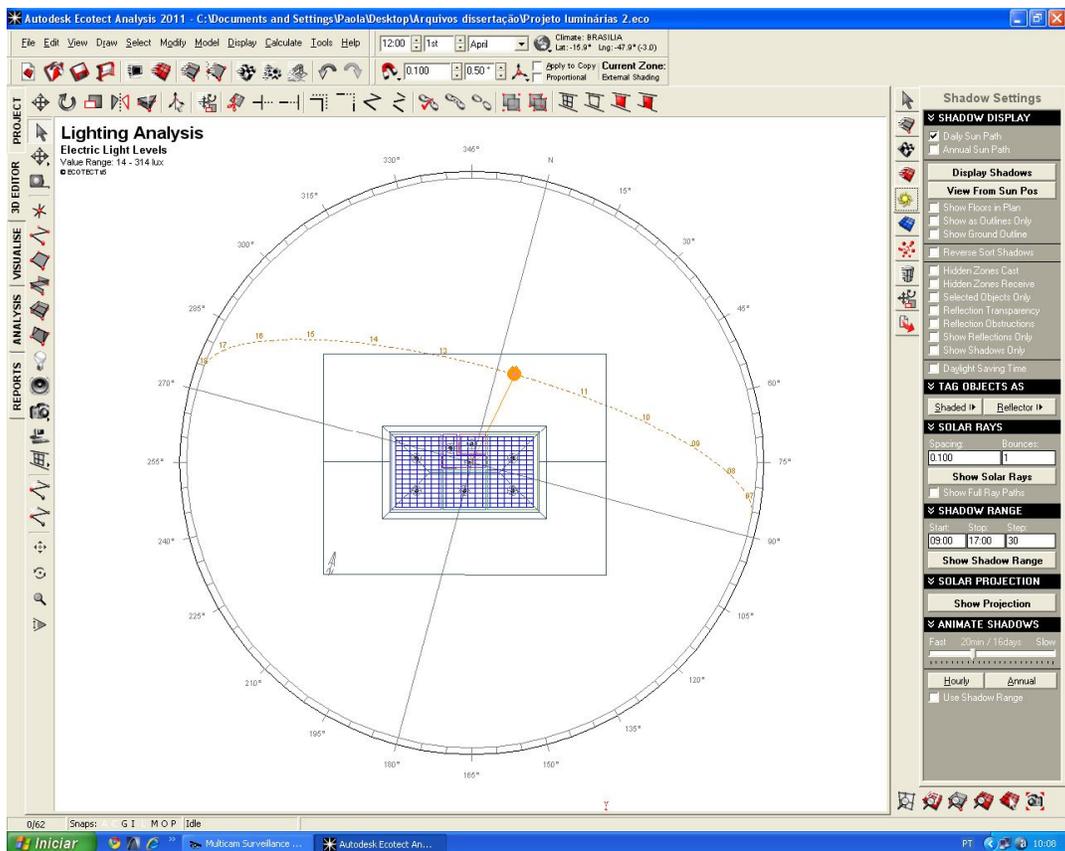


Figura 42 - Localização do norte no modelo no software Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

A partir desse ponto foram reinseridas as luminárias, pois as importadas do software *ArchiCAD* 14 não foram reconhecidas pelo *Ecotect* 2011. Como foi mostrado no 2º passo, o *ArchiCAD* 14 não permite especificar o tipo de luminária que será utilizado no projeto. Por isso, foi necessário inserir a iluminação artificial no software de análise ambiental.

Para correta simulação da luz artificial é preciso que as luminárias inseridas contenham todos os seus dados como sistema, quantidade, tipo e potência das lâmpadas e o arquivo no padrão da IES (*Illuminating Engineering Society*) com todas as informações fotométricas.

Este padrão de arquivo foi criado pela IES, sociedade norte-americana de engenharia da iluminação, criada há mais de cem anos – autoridade reconhecida na área. Essa sociedade tem como propósito informar, a todos os seus membros e sociedade de modo geral, sobre práticas para boa iluminação (IES, 2011).

A fotometria representa a distribuição da intensidade da luz através dos nós de uma teia fotométrica conforme mostra a figura a seguir

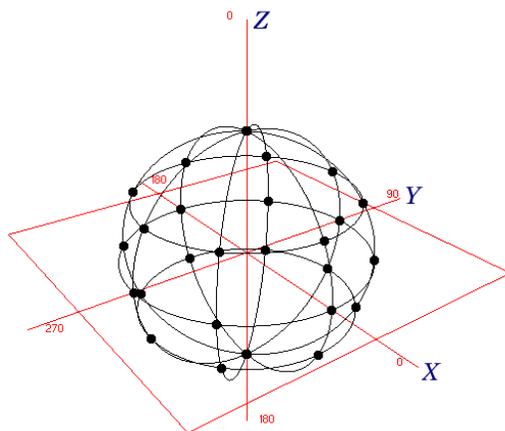


Figura 43 - Nós da teia representando a distribuição da intensidade da luz.

Fonte: AUTODESK, 2011.

O arquivo IES fornece a curva fotométrica da luminária com a distribuição da luz e proporciona representação mais precisa da luz renderizada (AUTODESK, 2011).

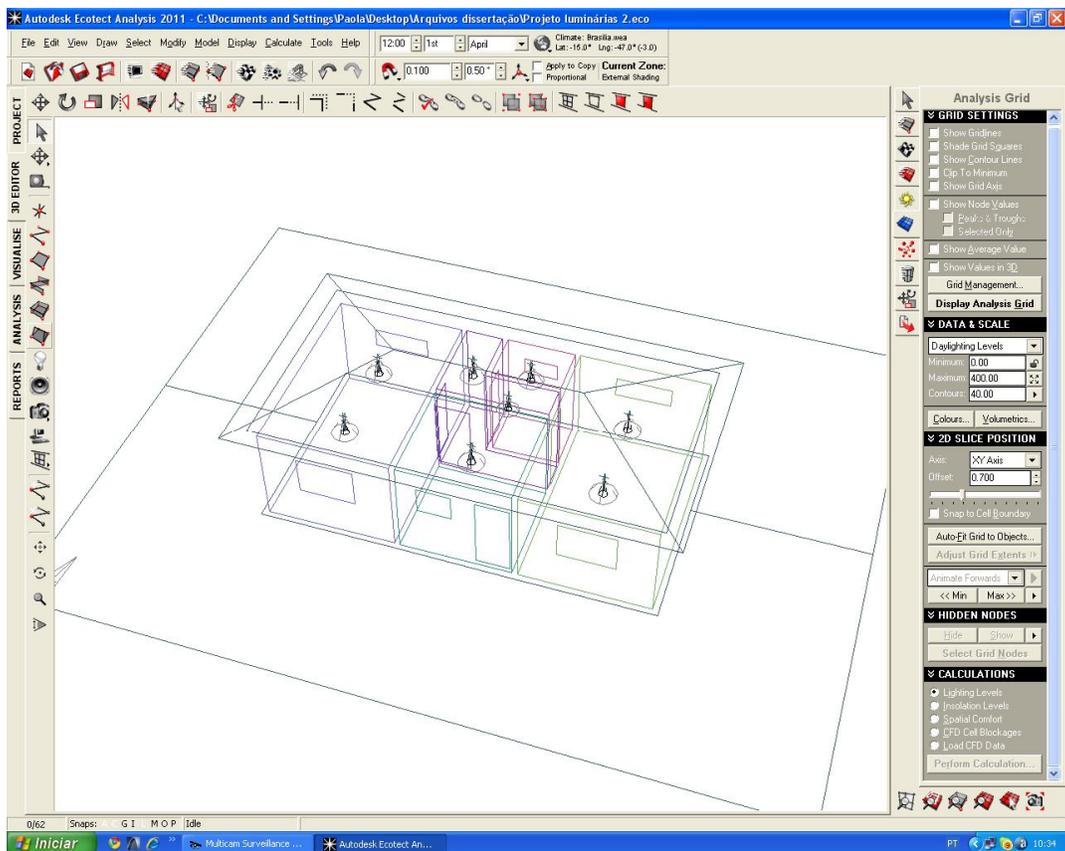


Figura 44 - Modelo em perspectiva com luminárias no *software* Ecotect 2011.  
 Fonte: Autoria nossa.

A figura acima ilustra o modelo com as luminárias inseridas. Estas possuem a seguinte especificação:

Tabela 8 - Tabela com cômodos e respectivas luminárias inseridas no modelo.

CÔMODOS	LUMINÁRIAS
Escritório 1	2 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W cada
Recepção	1 luminária com 1 lâmpada fluorescente compacta de 32W
Escritório 2	2 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W cada
Circulação	2 luminárias com 1 lâmpada fluorescente compacta de 18W cada
Banheiro	1 luminária com 1 lâmpada fluorescente compacta de 18W

Fonte: Autoria nossa.

Com o intuito de sugerir soluções para maximizar o conforto no interior da edificação e minimizar os gastos energéticos e de, principalmente, testar a interoperabilidade entre os *softwares*, objetivo principal deste estudo, foram feitas as seguintes modificações no modelo e acrescentado um anteparo físico:

- 1) foram reduzidos à metade os vãos de janelas do Escritório 1 e do Escritório 2 voltados para a fachada oeste, pior situação para a insolação;
- 2) a edificação teve nova orientação;
- 3) foi acrescentado um anteparo físico, uma árvore com folhas perenes, com o objetivo de contribuir para bloquear os raios solares na fachada oeste, onde a incidência ocorre na parte da tarde.

Essas medidas também contribuem para avaliar a exportação do modelo do simulador ambiental de volta para os sistemas BIM. A Figura 45 mostra a reorientação do modelo com relação ao norte e a inserção de uma árvore.

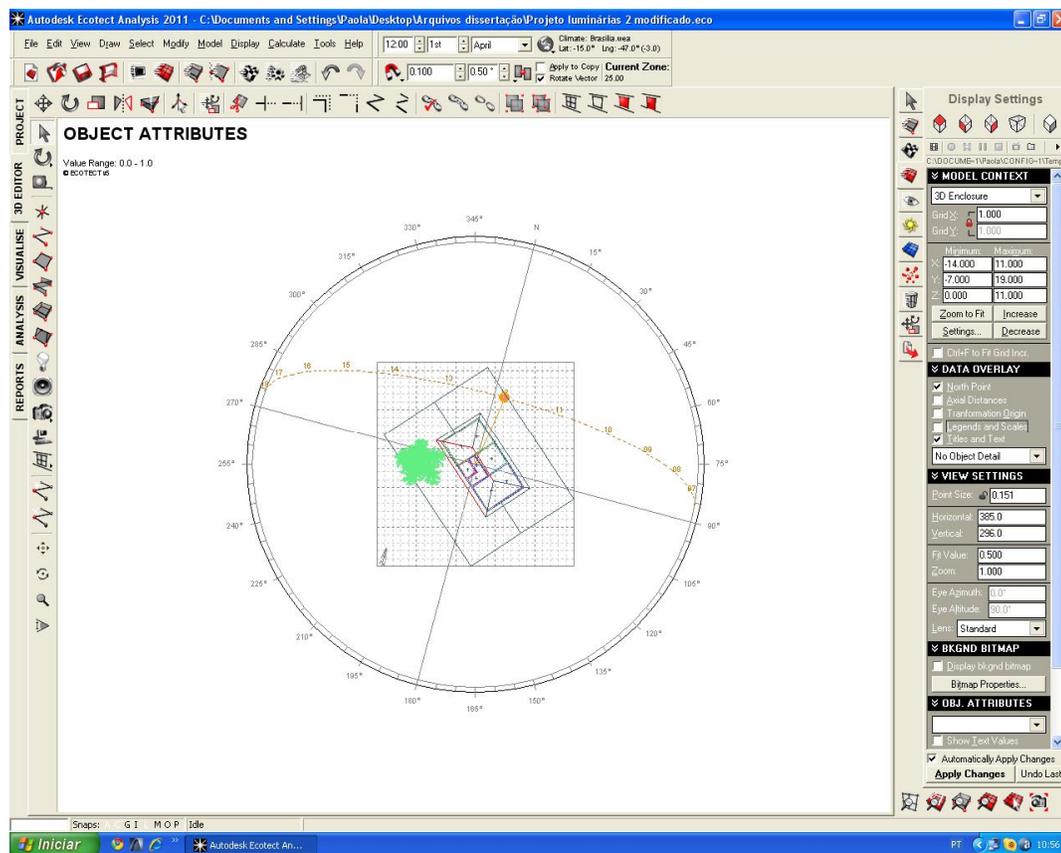


Figura 45 - Modelo em planta baixa com nova orientação e a inserção de uma árvore no *software* Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

A nova orientação contribui para diminuir a incidência dos raios solares provenientes do sol da tarde nas fachadas. A árvore com folhas perenes oferece sombreamento inclusive em algumas horas da tarde, quando os raios de sol estão quase perpendiculares à fachada sem causar obstrução da luz natural no interior da edificação (LAMBERTS et al, 1997, p. 162).

A Figura 46, a seguir, mostra o modelo no *Ecotect* 2011 com os vãos de janelas da fachada reduzidos à metade onde há incidência do sol da tarde e a inclusão de uma árvore que funciona como anteparo físico.

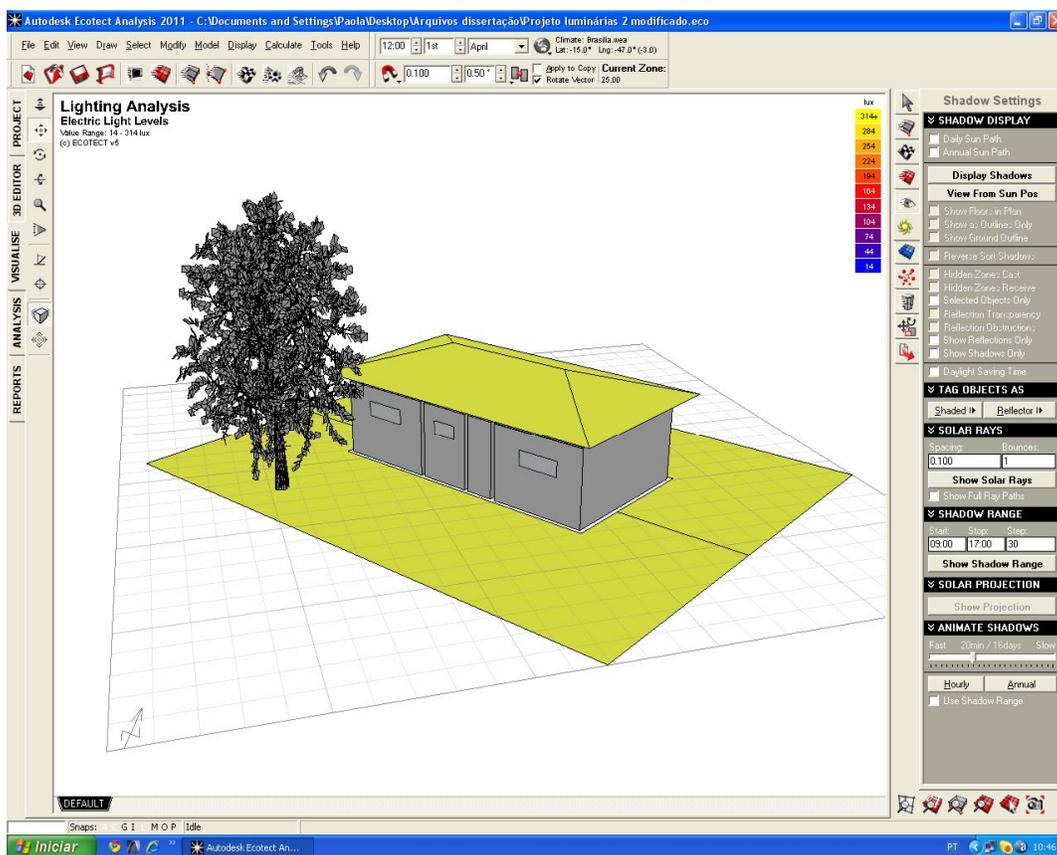


Figura 46 - Modelo em perspectiva com modificações nos vãos de janelas e inserção de uma árvore no *software* Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

Após as configurações e a colocação de luminárias, o modelo está preparado para as simulações da luz natural e artificial.

O modelo importado do programa do sistema BIM *ArchiCAD* 14 necessitou ser reconfigurado após a importação no *Ecotect* 2011. A Tabela 9 mostra os elementos e dados que foram novamente configurados após importação no simulador ambiental de acordo com a simbologia: (S) para sim e (N) para não..

Tabela 9 – Elementos transportados na exportação do *software* *ArchiCAD* para o *Ecotect*.

<b>EXPORTAÇÃO DO ARCHICAD PARA O ECOTECT</b>		
	<b>Elementos</b>	<b>ArchiCAD para o Ecotect</b>
<b>GEOMETRIA</b>	Luminárias	N
	Piso	S
	Paredes	S
	Cobertura	S
	Vãos de portas e janelas	S
	Zonas	S
<b>MATERIAIS</b>	Piso	N
	Paredes	N
	Cobertura	N
	Portas e janelas	N
	Referenciamento geográfico	N

Fonte: Autoria nossa.

Uma análise da tabela permite observar que necessitaram ser reconfigurados as luminárias, os materiais e o referenciamento geográfico. Esse retrabalho representa um insucesso na interoperabilidade entre estes dois programas.

- 5º passo – *Ecotect* 2011: Nessa etapa será feita a simulação da luz natural e da luz artificial no modelo.

a) Simulação da luz natural:

Inicialmente foi feita a simulação da luz natural no modelo, considerando o dia primeiro de abril, às 12h. A Figura 47 mostra a simulação.

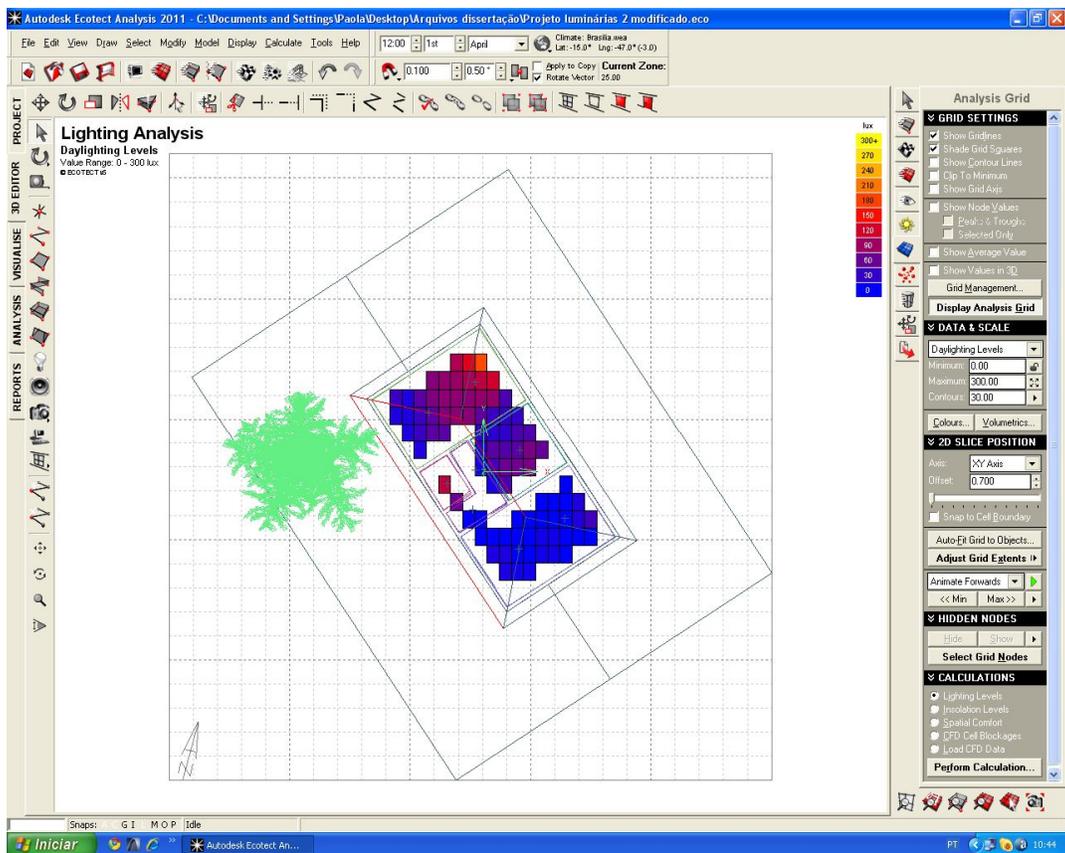


Figura 47 - Modelo em planta baixa com a simulação da luz natural no software Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

A figura acima mostra o resultado da simulação da luz natural no modelo. A luz proveniente das luminárias não foi considerada nesse cálculo. As cores indicam, de acordo com o gráfico mostrado no canto direito superior da tela do programa, a quantidade, em lux, que incide no ambiente. O lux corresponde à medida da iluminância de uma superfície plana, sobre a qual incide perpendicularmente um fluxo luminoso de um lúmen (ELETROBRÁS, 2002, p. 9). O gráfico mostra incidência de luz natural de, no máximo, 240lux.

A simulação da luz, natural e artificial, deve ter como parâmetro de análise a norma de dois órgãos:

- 1) A Norma da ABNT NB-57 (maio de 1991) que estabelece valores mínimos para a iluminância de interiores. Iluminância pode ser definida como a densidade de luz necessária para a realização de determinada tarefa visual. Sua unidade é o lux (ELETROBRÁS, 2002, p. 9). A NB-57 estabelece valores de iluminâncias médias mínimas para iluminação artificial das

atividades e tarefas visuais segundo a tabela B-1.2.1 nela contida. Esta tabela mostra a iluminância necessária para o ambiente de acordo com a Classe e o Tipo de atividade.

- 2) O PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – que através do conjunto de normas denominado "Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos" visa a classificar os edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética no âmbito do programa Procel EDIFICA.

Considerando que esse estudo tem o foco na interoperabilidade e não na validação dos resultados dos simuladores, será considerado apenas a ABNT nas análises.

De acordo com a NB-57 os dois escritórios e a recepção do modelo em estudo devem ter uma iluminância entre 500lux e 1.000lux. Como o objetivo da pesquisa é atingir a eficiência energética máxima, deve ser levado em consideração nessa análise o valor mínimo de 500lux.

O banheiro e a circulação do modelo requerem uma iluminância que varia entre 50lux e 100lux na classificação da NB-57.

A análise da Figura 47 mostra que no "Escritório 1" a incidência máxima foi de 240lux, no "Escritório 2" esse valor foi de 60lux e na "Recepção" atingiu 90lux. Pela norma da ABNT deveria atingir, no mínimo, 500lux. Portanto, nesses três ambientes será necessário utilizar a luz artificial durante o dia para complementar a luz natural. A "Circulação" não teve incidência de luz natural e o "Banheiro" atingiu 120lux. Se for considerada a NB-57, a incidência mínima é de 50lux. Portanto, no "Banheiro" não haverá a necessidade de complementar a luz natural durante o dia, mas na "Circulação" esse complemento deverá ser utilizado.

É importante esclarecer que uma análise completa da luz natural exige a simulação da luz natural em três diferentes épocas e três horários: nos solstícios de verão (21/dez) e inverno (21/jun) e no equinócio (21/set). Devem ser executadas simulações de cada uma dessas datas nos horários de 9h, 12h e 15h. Neste estudo a simulação da luz natural foi desenvolvida somente em uma data e um horário.

- b) Simulação da luz artificial:

A simulação da luz artificial tem como requisito as luminárias com todos os seus dados e características como, sistema, quantidade, tipo e potência das lâmpadas que a compõem e o arquivo do padrão IES com as informações fotométricas. As luminárias com todos os dados descritos foram inseridos no modelo. Assim foi feita a simulação da luz artificial.

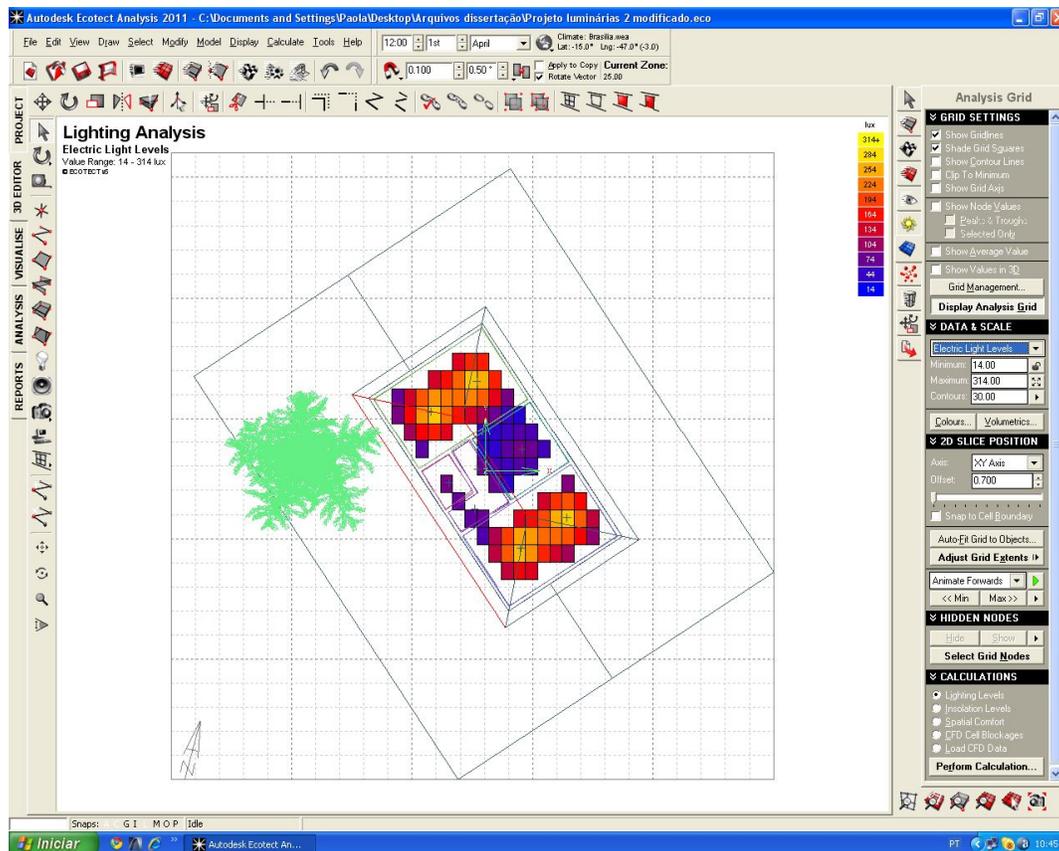


Figura 48 – Modelo em planta baixa com a simulação da luz artificial no software Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

A figura acima mostra o resultado da simulação da luz artificial no modelo. A luz natural não foi considerada nesse cálculo. As cores indicam, de acordo com o gráfico mostrado no canto direito superior da tela do programa, a quantidade, em lux, que incide no ambiente. O gráfico mostra incidência de, no máximo, 284lux provenientes das luminárias.

A simulação da luz artificial deve ter como parâmetro de análise a NB-57, como foi descrito no 5º passo, letra a.

De acordo com a NB-57, os dois escritórios e a recepção do modelo em estudo devem ter uma iluminância entre 500lux e 1.000lux. O banheiro e a circulação do modelo requerem uma iluminância que varia entre 50lux e 100lux.

Como pode ser observado na análise da luz artificial realizada no *Ecotect*, os dois escritórios atingiram, no máximo, 284lux e a recepção atingiu 104lux. Como a NB-57 exige um mínimo de 500lux, será necessário aumentar a quantidade de luminárias nesses ambientes. O banheiro e a circulação têm uma iluminância mínima de 74lux, ou seja, está dentro dos valores estabelecidos pela norma.

A inserção de novas luminárias para aumentar a quantidade de lux nos dois escritórios e na recepção foi norteadada pelo sistema de iluminação de tarefas. Esse sistema prevê que seja atingido o mínimo de 500lux somente onde há tarefas visuais. O restante da iluminação pode atingir níveis mais baixos (LAMBERTS et al, 1997, p. 166). A partir desse parâmetro foram inseridas mais cinco luminárias em cada escritório e mais três na recepção. A locação das novas luminárias foi feita de acordo com o *layout* definido no item 7.1.1. Foram inseridas nas áreas de trabalho. Após a colocação das luminárias foi feita nova simulação da luz artificial. O resultado desse novo processo pode ser visto na figura a seguir.

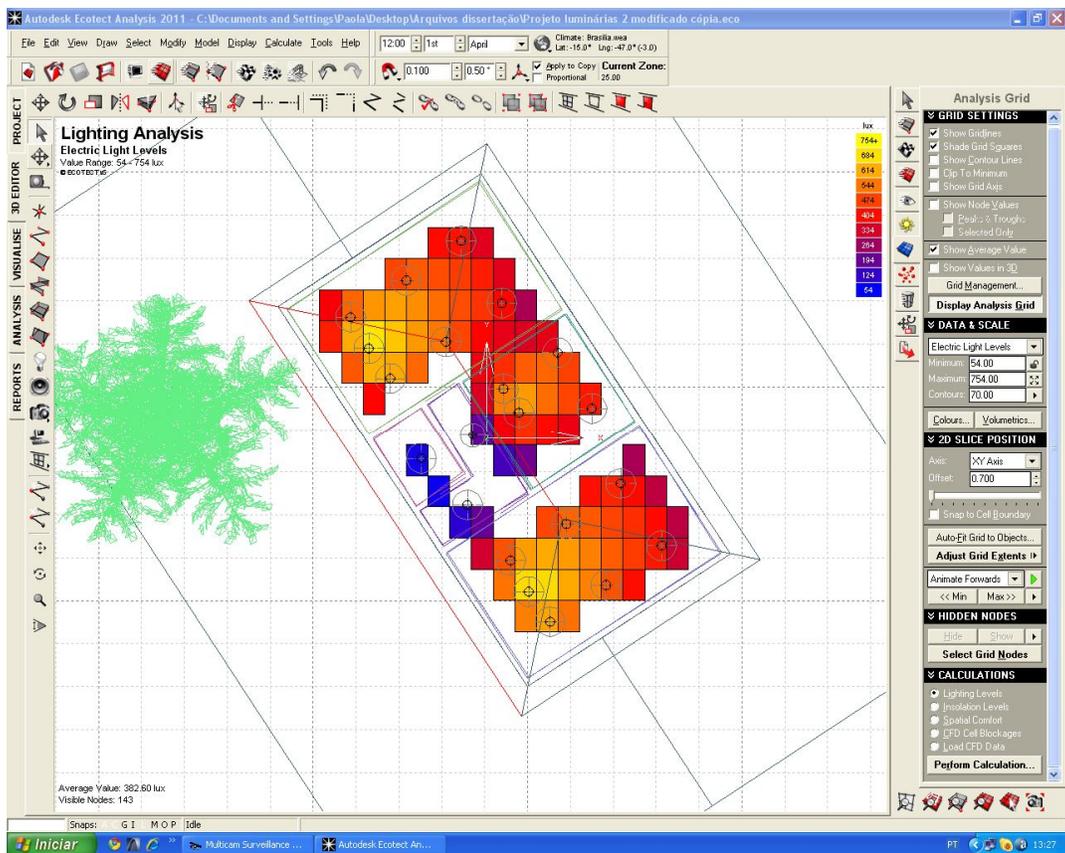


Figura 49 - Modelo em planta baixa com a nova simulação da luz artificial no software Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

Pelo gráfico no canto direito superior, que mostra a quantidade de lux em função das cores, pode ser visto que nas áreas de trabalho do escritório 1, escritório 2 e recepção, há incidência de 614lux a 754lux. Portanto, o valor está dentro do mínimo de 500lux e máximo de 1.000lux exigido pela norma da ABNT. Após essa análise pode ser feita nova tabela – Tabela 10 – com a quantidade de luminárias atual e a modificação na potência das lâmpadas.

Tabela 10 - Tabela com cômodos e respectivas luminárias inseridas no modelo.

CÔMODO	LUMINÁRIAS
Escritório 1	7 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W cada
Recepção	4 luminárias com 1 lâmpada de 32W
Escritório 2	7 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W cada
Circulação	2 luminárias com 1 lâmpada de 18W cada
Banheiro	1 luminária com 1 lâmpada de 18W

Fonte: Autoria nossa.

➤ 6º passo - *Autodesk Ecotect 2011*:

Essa etapa consiste em exportar o modelo de volta para o *software ArchiCAD 14*. Essa exportação é importante para que o arquiteto possa reconfigurar as luminárias no modelo BIM após as análises e modificações realizadas no simulador ambiental. Além das luminárias, os vãos de portas e janelas podem sofrer modificações em função da iluminação natural, podem ser acrescentados anteparos físicos, por exemplo, uma árvore ou brises e a edificação pode ter nova implantação.

Para realizar essa operação de transferência para os sistemas BIM é preciso buscar um formato que permita a exportação no simulador ambiental e outro, em comum, que permita a importação nos sistemas BIM. Serão pesquisados os formatos disponíveis nos dois sistemas.

O objetivo desta exportação neste estudo é avaliar os formatos que realizam essa operação e se o modelo chegará com todos os dados no BIM.

Após a inserção de luminárias e modificação de vãos de janelas foi feita a tentativa de exportação do modelo do *Ecotect 2011* para o *ArchiCAD 14*. A primeira providência foi escolher o formato para exportação. A tentativa inicial foi o formato padrão do *Ecotect*, o *.eco*. Não houve êxito, pois o *ArchiCAD* não aceita a importação nesse formato.

Outros formatos foram testados como os de imagem *.jpg*, o *.gif* e o *.bmp*. Entre estes o único que apresentou como resultado uma imagem foi o formato *.bmp*. Apesar desta não ser editável e não estar em escala, representa quaisquer tipos de representações ortogonais e perspectivas no *ArchiCAD 14*.

Outro formato testado foi o *.dxf*. Este é mais adequado à transferência por pertencer aos sistemas CAD. É o único formato, que não é de imagem, comum aos dois programas. Não é possível selecionar nenhuma de suas linhas separadamente. A Figura 50 mostra a importação. O *ArchiCAD* transportou a árvore e reconheceu a implantação do modelo. As luminárias não foram importadas e os vãos de janelas reduzidos não poderão ser redimensionados, pois não são vistos. Foi feita uma tentativa de importar as vistas e a perspectiva do modelo, mas o programa só reconhece a planta baixa.

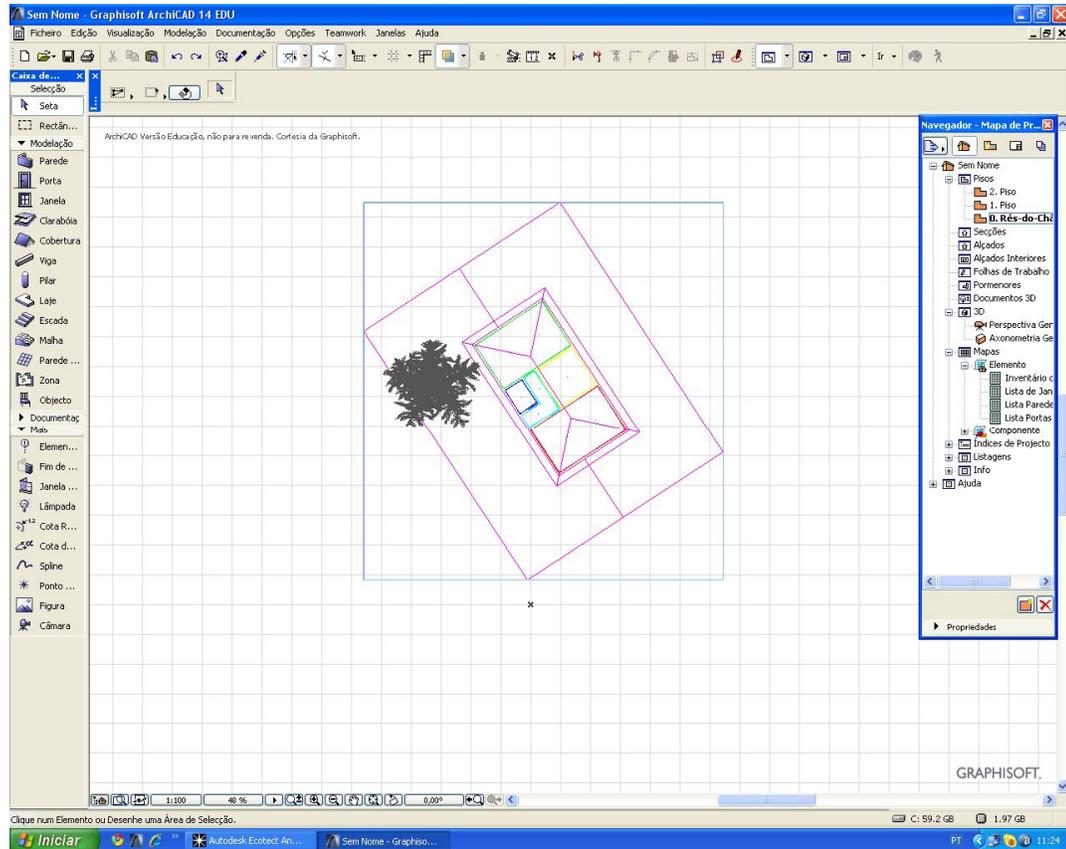


Figura 50 - Modelo importado no formato .dxf do software Ecotect 2011 para o ArchiCAD 14.  
Fonte: Autoria nossa.

A Figura 51 mostra o modelo selecionado. O programa reconhece o modelo como um objeto único. Os parâmetros e a geometria do modelo não existem mais

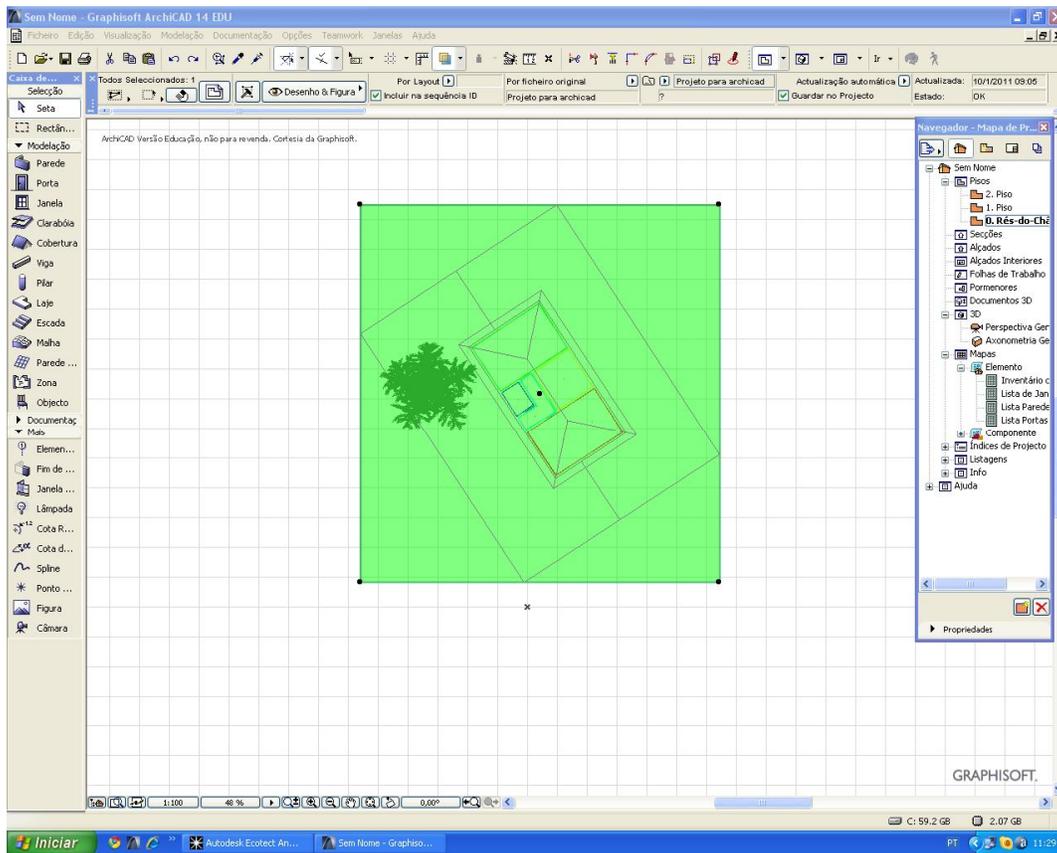


Figura 51 - Modelo importado no formato .dxf do software Ecotect 2011 para o ArchiCAD 14.

Fonte: Autoria nossa.

- 7<sup>o</sup> passo – Autodesk Ecotect 2010: Esta etapa consiste em avaliar a interoperabilidade entre os softwares ArchiCAD 14 e Ecotect 2011.

a) Avaliação 1:



A transferência do programa ArchiCAD 14 para o Ecotect 2011 utilizando o esquema gbXML não pode ser feita diretamente. Foi necessário instalar uma

extensão do *ArchiCAD*, configurar o modelo para que a exportação fosse possível. O formato exportou somente parte dos dados necessários para as análises, ou seja, as zonas com os vãos de janelas e portas, a cobertura e o piso. As luminárias e os materiais não foram transportados.

b) Avaliação 2:



A transferência do simulador *Ecotect* 2011 para o *ArchiCAD* 14 não foi possível através do formato *.eco*, padrão do *Ecotect* e dos formatos de imagem *.jpg* e *.gif*. A transferência só foi possível através do formato dos sistemas CAD *.dxf* e do formato de imagem *.bmp*, mas a geometria e as luminárias não foram transferidas, somente vetores. Por causa destes insucessos, todas as alterações de luminárias e nos vãos de janelas devem ser atualizadas manualmente no modelo BIM.

A partir destes resultados pode-se concluir que a transferência entre o *ArchiCAD* 14 e o *Ecotect* 2011 possui fluxo único (EASTMAN et al, 2008, p. 175).

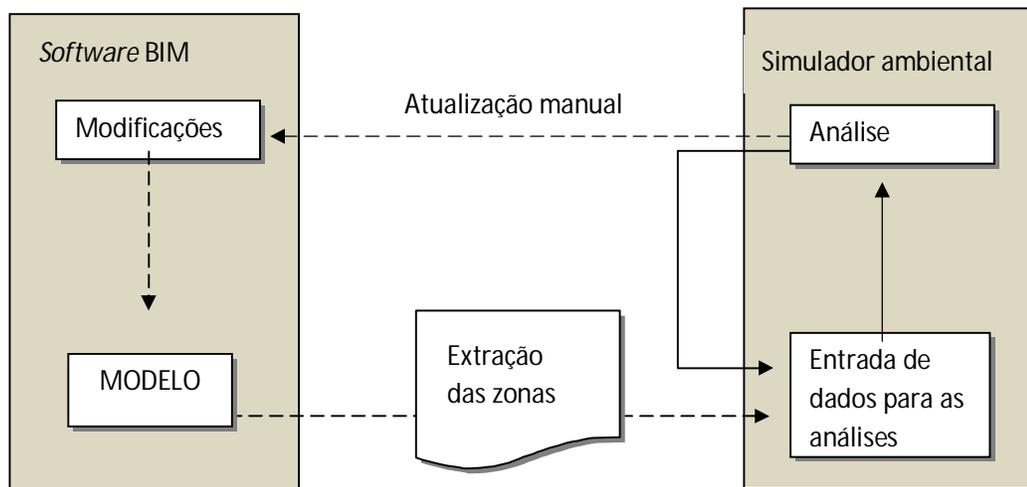




Figura 52 - Análise do fluxo de informações baseado em um fluxo único.

Fonte: Autoria nossa.

A Figura 52 mostra um processo de transferência de dados com fluxo único. Funciona da seguinte forma: após a modelagem, as zonas são configuradas manualmente no modelo. Após a configuração o modelo é exportado para um simulador ambiental. No simulador, outros dados são coletados. Posteriormente as análises são realizadas. Após o processo de análises o modelo não pode ser exportado de volta para os sistemas BIM, as alterações no modelo, no *software* BIM, são feitas manualmente.

Os resultados das exportações realizadas neste item, 7.1.1, Processo 1, mostram que não há interoperabilidade completa entre *ArchiCAD* 14 e o *Ecotect* 2011. O quadro abaixo apresenta resumo da avaliação da interoperabilidade no **Processo 1** da **Etapa 1**, com relação à transferência dos elementos e dados necessários às simulações da luz natural e da luz artificial.

Tabela 11 – Tabela dos elementos e dados incompatíveis na transferência entre *ArchiCAD* 14 e *Ecotect* 2011.

Elementos e Dados Incompatíveis na Transferência entre <i>ARCHICAD</i> 14 E <i>ECOTECT</i> 2011	
Não podem ser definidos no <i>ArchiCAD</i>	Luminárias e lâmpadas
Definido no <i>ArchiCAD</i> e interpretado de maneira incorreta no <i>Ecotect</i>	Materiais
Definido no <i>ArchiCAD</i> e não reconhecido no <i>Ecotect</i>	Referenciamento geográfico

Fonte: Autoria nossa.

A tabela permite extrair importantes conclusões:

- 1) as luminárias e lâmpadas não puderam ser definidas no *ArchiCAD* 14 contradizendo a promessa dos sistemas BIM de modelagem completa da edificação;

- 2) os materiais configurados no *ArchiCAD* 14 não foram interpretados de maneira correta no simulador demonstrando que os sistemas BIM ainda trabalham com modelos de dados e linguagens inconsistentes;
- 3) o referencial geográfico informado no *ArchiCAD* 14 não foi reconhecido no *Ecotect* 2011 demonstrando que os sistemas BIM ainda trabalham com modelos de dados e linguagens incompatíveis.

#### 7.1.2 Processo 2: exportação do *ArchiCAD* 14 para o IES <VE> 6.1.1

O **Processo 2** será desenvolvido de acordo com os passos descritos no capítulo anterior. Os passos consistem em: Desenvolver o modelo no *software ArchiCAD* 14 e exportá-lo para o IES <VE> 6.1.1. Após a exportação serão realizadas as simulações da luz natural e da luz artificial. Caso seja necessário, o modelo será modificado para reduzir o consumo energético. O modelo com as possíveis modificações será exportado de volta para os sistemas BIM..



Nesse processo partimos do 4º passo, pois os três primeiros foram desenvolvidos no **PROCESSO 1**. Estes consistem em modelar no *software* BIM, inserir as luminárias e exportar o modelo para o simulador ambiental.

Nesse processo partimos do 4º passo, pois os três primeiros foram desenvolvidos no **Processo 1**. Estes consistem em modelar no *software* BIM, inserir as luminárias e exportar o modelo para o simulador ambiental.

##### ➤ 4º passo – IES <VE>

O arquivo de transferência criado no esquema gbXML será importado no *software* IES <VE> 6.1.1 de simulação ambiental. Após a importação será avaliada a quantidade de retrabalho necessário para recompor o modelo e permitir a simulação. O arquivo de transferência gbXML foi, então, importado no *software* de análise ambiental IES <VE> 6.1.1.

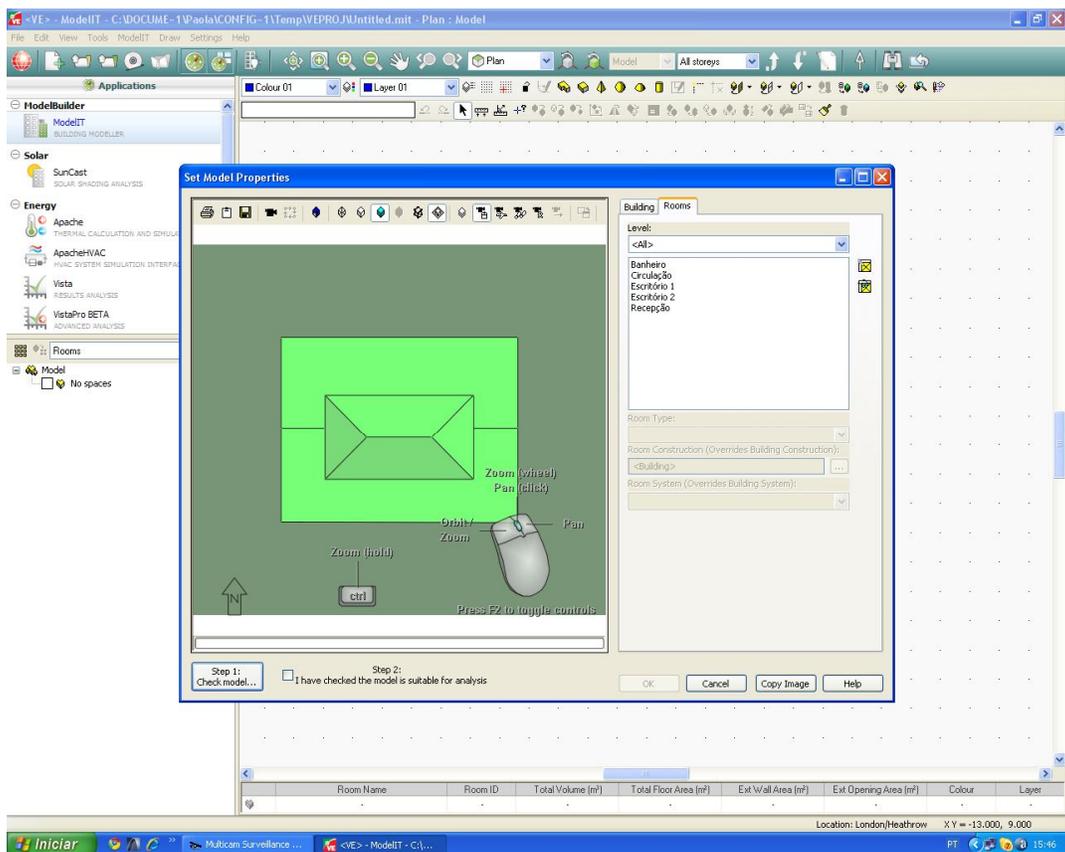


Figura 53 - Importação do modelo do software ArchiCAD 14 para o IES <VE> 6.1.1.  
Fonte: Autoria nossa.

Assim como ocorreu no *Ecotect* 2011, o software transferiu somente os elementos necessários às análises. Nesse caso foram transportadas as zonas com os vãos de esquadrias, o piso e o telhado. Foi necessário, assim como ocorreu no *Ecotect*, reconfigurar os materiais desses elementos. Foram especificados de acordo com o quadro de materiais instituído no item 7.1.1, Processo 1, 1º passo. A figura a seguir mostra a configuração dos materiais no software IES <VE> 6.1.1.

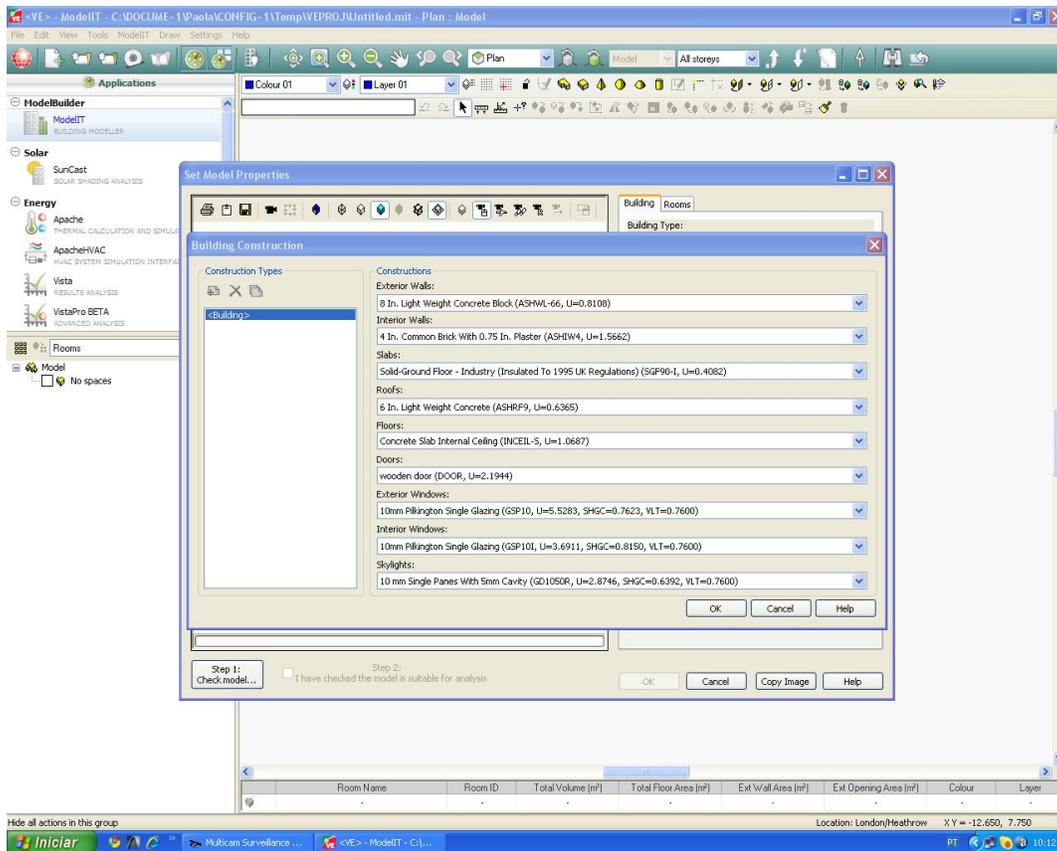


Figura 54 - Configuração dos materiais no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: autoria nossa.

Após a configuração dos materiais foi informado ao software o referenciamento geográfico do modelo para que este pudesse situar o norte de forma correta. A Figura 55 mostra o norte correto com a latitude e longitude. Assim como ocorreu com o *Ecotect*, o IES<VE> não reconheceu o referenciamento geográfico já informado no *ArchiCAD 14*.

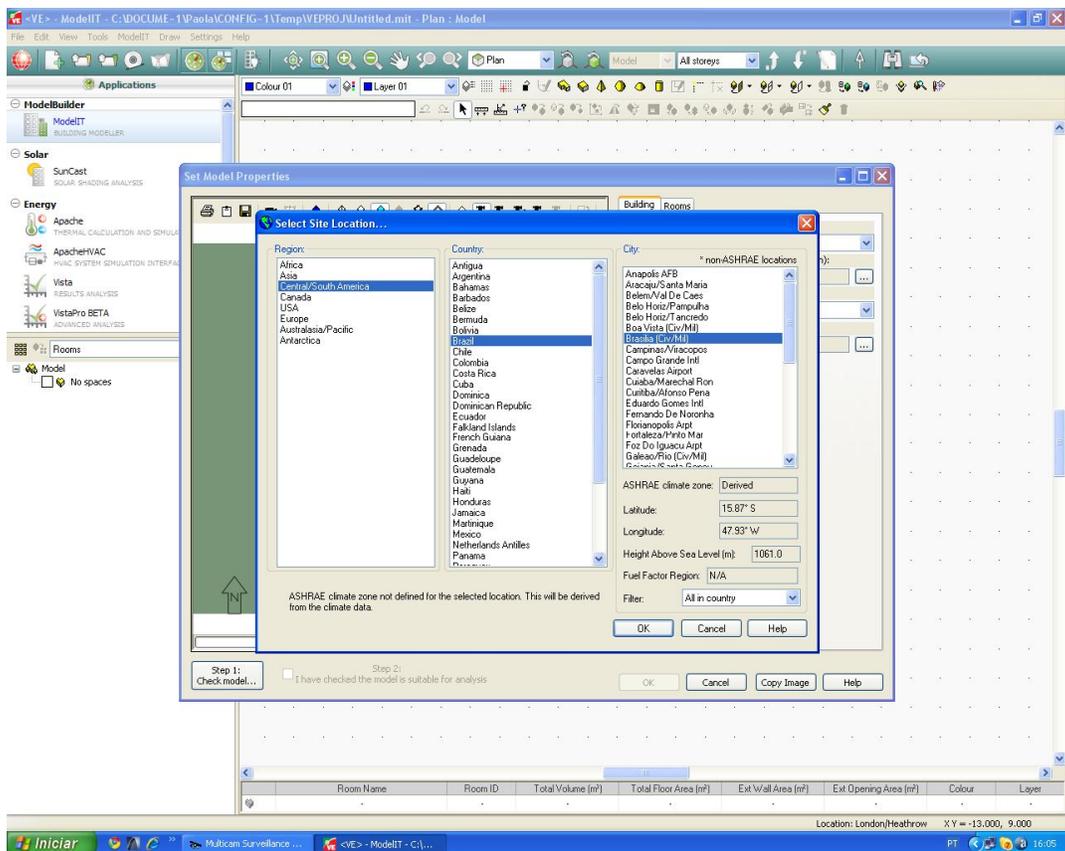


Figura 55 - Localização do norte no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: autoria nossa.

A figura a seguir mostra o modelo tridimensional com as zonas, o telhado e o piso. Deve ser observado que foram configurados anteriormente o tipo da edificação (escritório) e a localização.

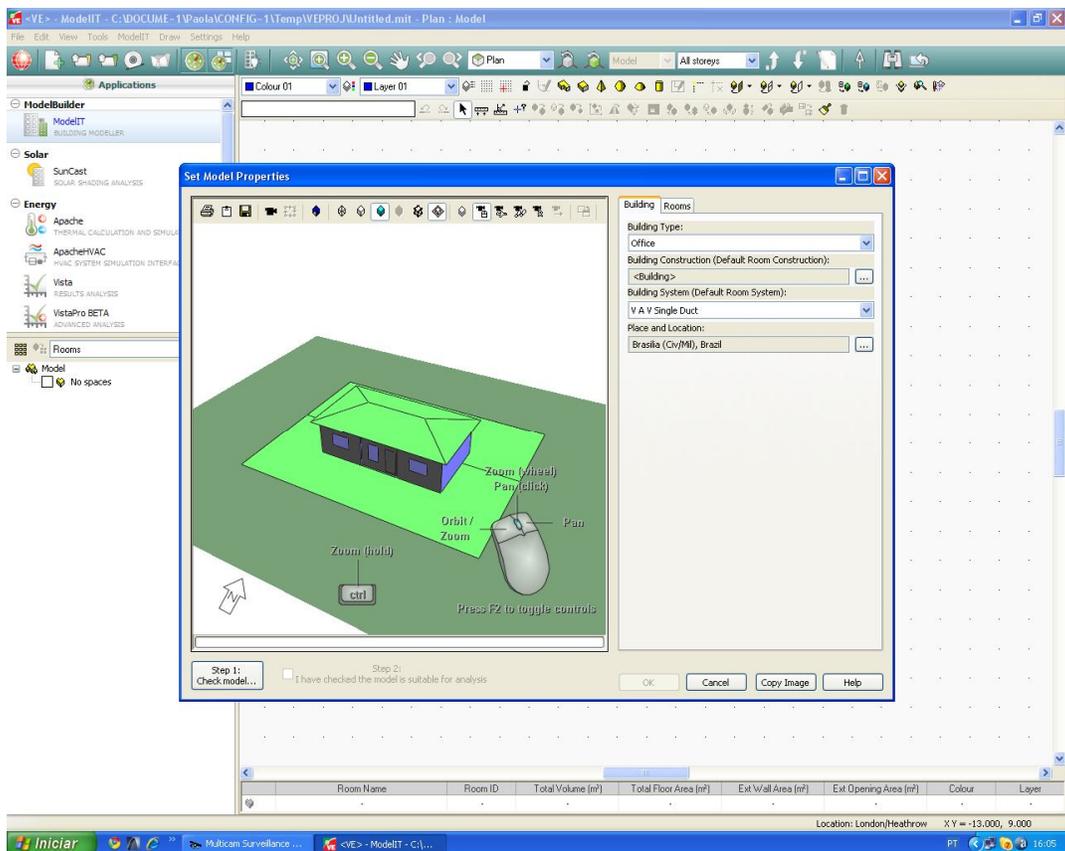


Figura 56 - Modelo importado no software IES <VE> 6.1.1.  
Fonte: Autoria nossa.

O IES <VE> 6.1.1 mostra um modo de visualização de todas as zonas do modelo com o propósito de verificar se estão corretas para posterior análise. A imagem seguinte mostra as cinco zonas importadas para retratar essa verificação.

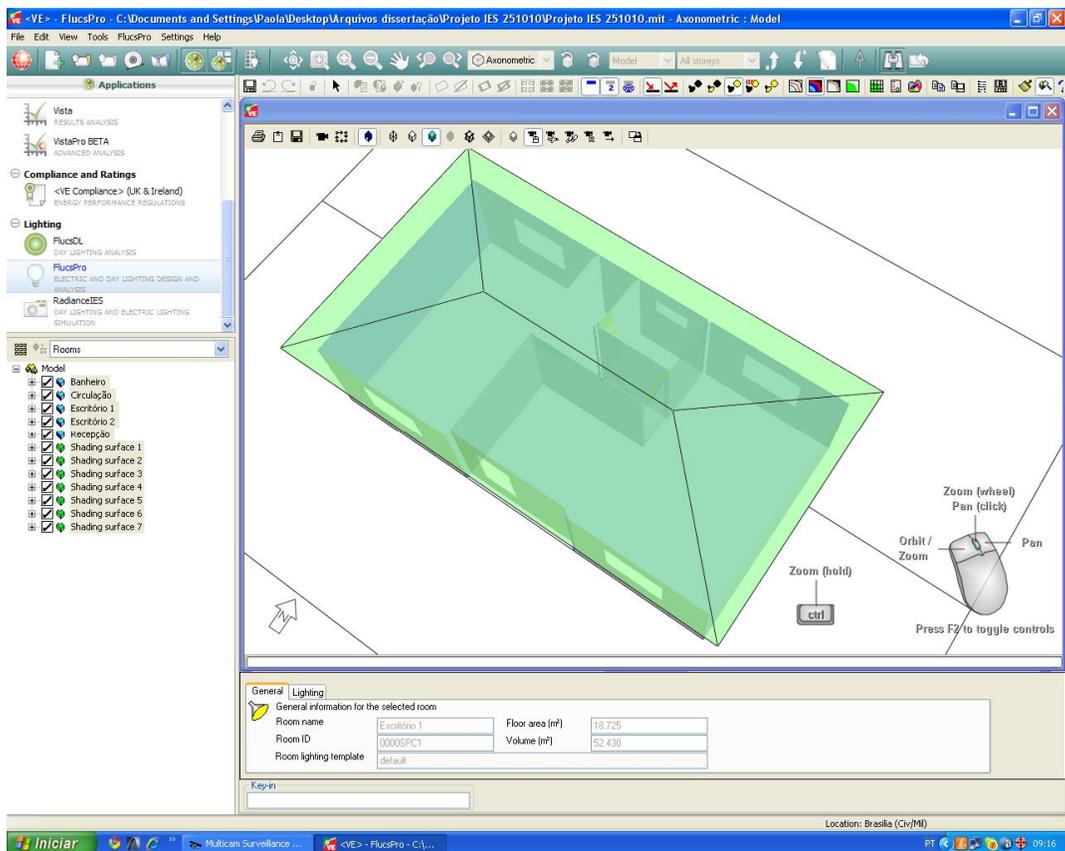


Figura 57 - Zonas do modelo no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

O IES <VE> 6.1.1 também mostra quadro contendo todas as informações relativas às zonas e informa se há necessidade de alguma modificação que se obtenha sucesso na simulação. Nesse caso não foi necessário modificar as zonas. Quando isso ocorre o programa destaca, em amarelo, onde há uma falha. A Figura 58 mostra o quadro com o resumo das zonas.

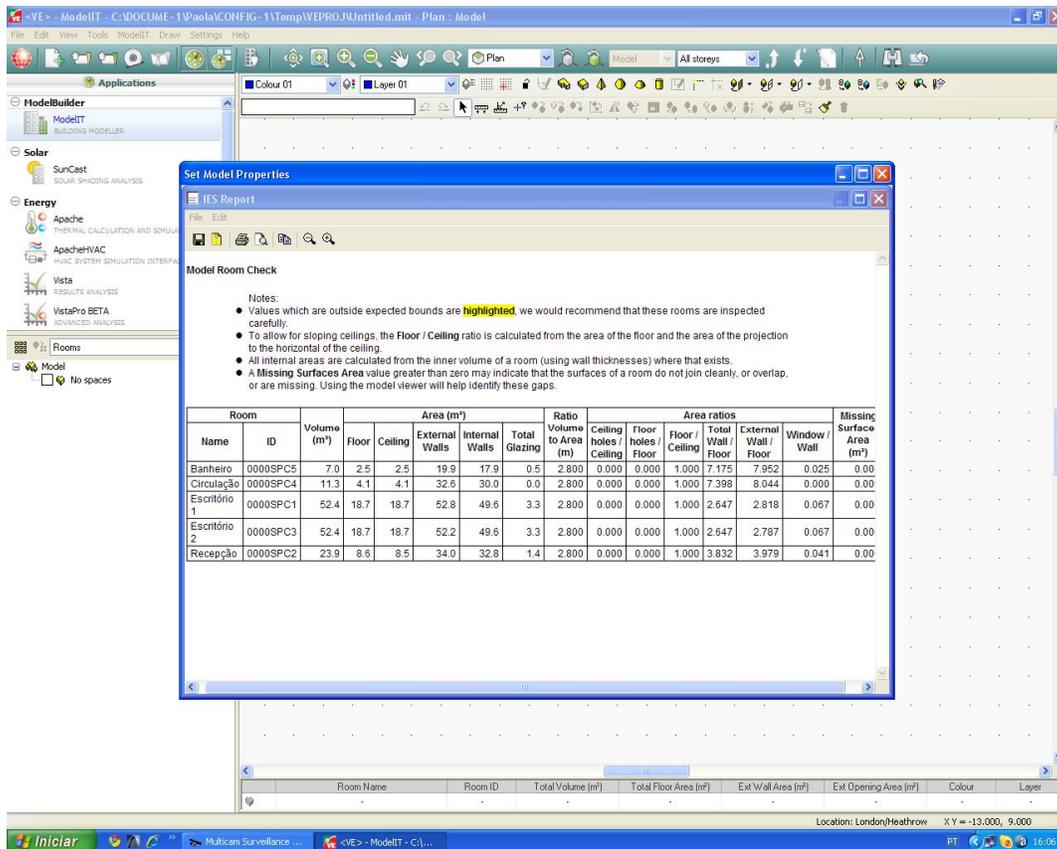


Figura 58 - Quadro com as propriedades das zonas no IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

De acordo com a tabela mostrada na figura acima, a transferência foi bem sucedida, pois os dados das cinco zonas estão corretos e não há nenhum destaque em amarelo.

A imagem abaixo, Figura 59, mostra o modelo tridimensional em *wireframe*, ou “estrutura de arame”, com as cinco zonas definidas. Ela possibilita ver todos os elementos que foram importados. Mostra, de forma clara, o interior da edificação.

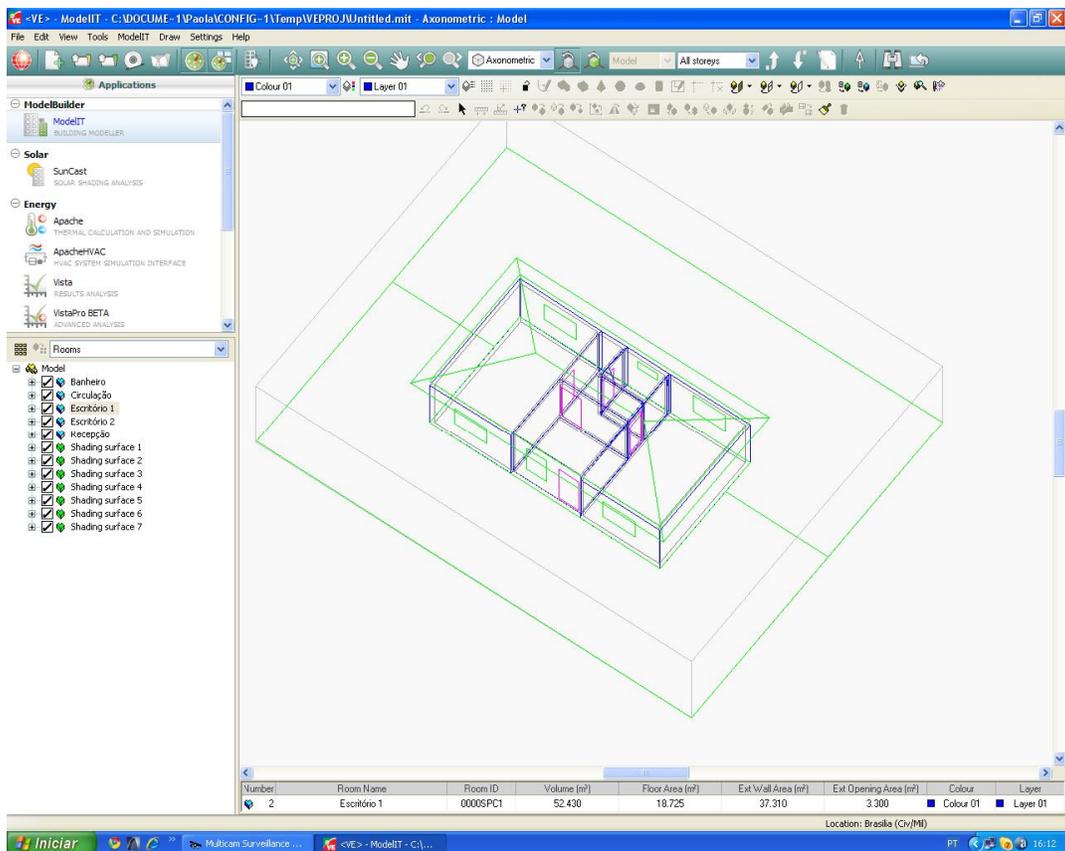


Figura 59 - Modelo em “wireframe” no IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

A partir do modelo em “estrutura de arame”, mostrado na figura acima, é possível ver que as luminárias inseridas no modelo no *software ArchiCAD 14* não foram importadas no IES <VE> 6.1.1, assim como aconteceu no *Ecotect 2011*. Portanto, é necessário que sejam inseridas novamente neste. Como foi mostrado no item 7.1.1, Processo 1, 2º passo, o *ArchiCAD 14* não permite especificar a quantidade e o tipo de lâmpada que será utilizado no projeto. Com isso, o mais correto é inserir a iluminação artificial no próprio *software* de análise ambiental.

A especificação de luminárias no IES <VE> 6.1.1 ocorre de forma diferente do *Ecotect*. No IES <VE> 6.1.1 é necessário especificar os tipos de luminárias com a quantidade de lâmpadas que serão utilizadas em cada luminária, a quantidade de lux que deve incidir no ambiente e o arquivo no padrão IES com os dados das luminárias. O próprio *software* aprova ou não a luminária e sugere a quantidade e

distribuição dessas no ambiente. Inicialmente foram especificadas as seguintes lâmpadas nos ambientes.

Tabela 12 - Tabela com cômodos e respectivos tipos de lâmpadas que serão utilizados nos mesmos.

<b>CÔMODO</b>	<b>LUMINÁRIAS</b>
Escritório 1	2 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W cada
Recepção	1 luminária com 1 lâmpada fluorescente compacta de 32W
Escritório 2	2 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W cada
Circulação	2 luminárias com 1 lâmpada fluorescente compacta de 18W cada
Banheiro	1 luminária com 1 lâmpada fluorescente compacta de 18W

Fonte: Autoria nossa.

Assim como no *Ecotect*, foram feitas algumas modificações no modelo com o intuito de sugerir soluções para maximizar o conforto no interior da edificação e minimizar os gastos energéticos além de testar a interoperabilidade entre os *softwares*, que é o objetivo principal deste estudo. As modificações são:

- 1) foram reduzidos à metade os vãos de janelas do Escritório 1 e do Escritório 2 voltados para a fachada oeste, pior situação para a insolação;
- 2) a edificação teve nova implantação;
- 3) foi acrescentado anteparo físico, uma árvore, com o objetivo de bloquear os raios solares na fachada oeste, onde a incidência ocorre na parte da tarde.

De forma diferente do ocorrido no *Ecotect*, onde as três mudanças propostas foram efetuadas, o IES <VE> 6.1.1 não permitiu que essas fossem implantadas com sucesso. Segue a relação dos problemas encontrados em cada modificação proposta acima:

- 1) A tentativa de reduzir à metade os vãos de janelas dos dois escritórios e do banheiro não apresentou resultado. O programa não permite modificar apenas um vão de janela de um cômodo, ou zona, específico, ele seleciona todos os vãos de janela de tal zona. A Figura 60 mostra a tentativa de redução de um vão de janela da zona “Escritório 1” Após selecionar a zona é necessário selecionar a ferramenta de edição da altura

de um elemento. O programa, então, abre um quadro onde deve ser selecionado *window*, ou janela. A partir daí, deve ser inserida a nova medida do vão. Acontece que o programa altera todos os vãos de janela da referida zona.

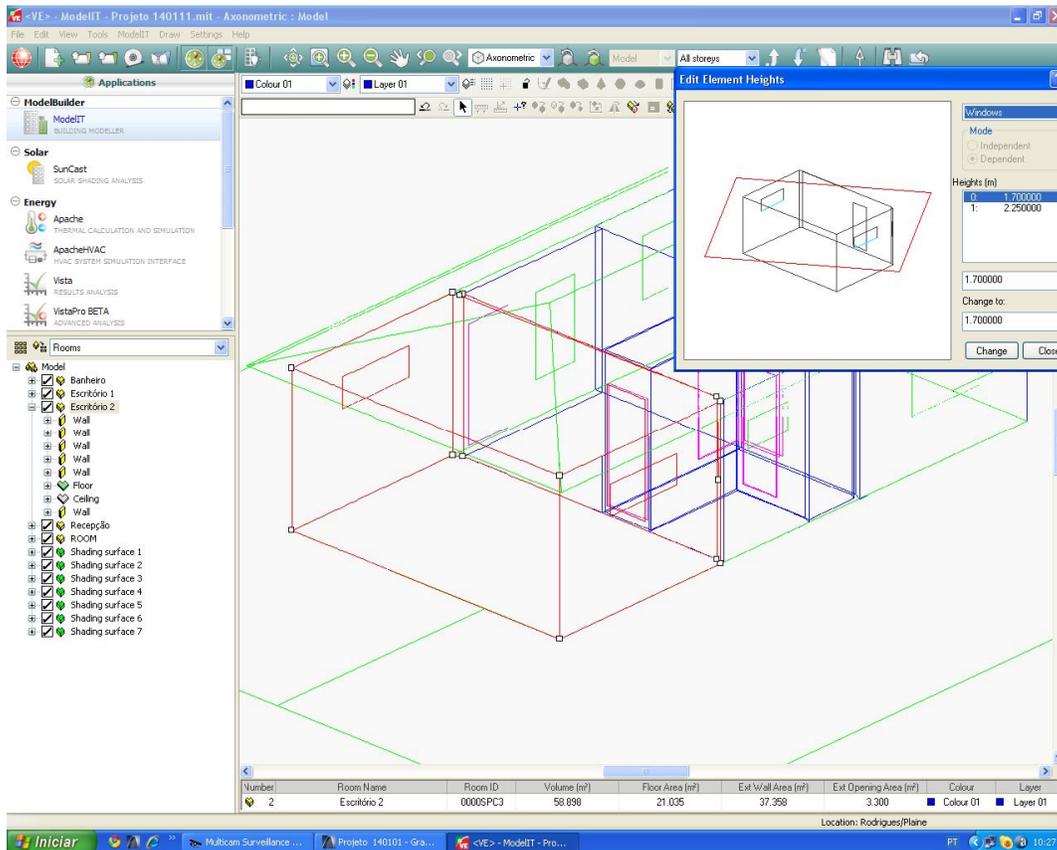


Figura 60 - Seleção dos vãos de janela da zona “Escritório 1” no IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

- 2) Para a nova implantação da edificação foi necessário utilizar a ferramenta *Rotate*, para rotacionar o modelo de acordo com o ângulo escolhido. Esse procedimento foi feito sem apresentar problemas. A Figura 61 mostra o resultado.

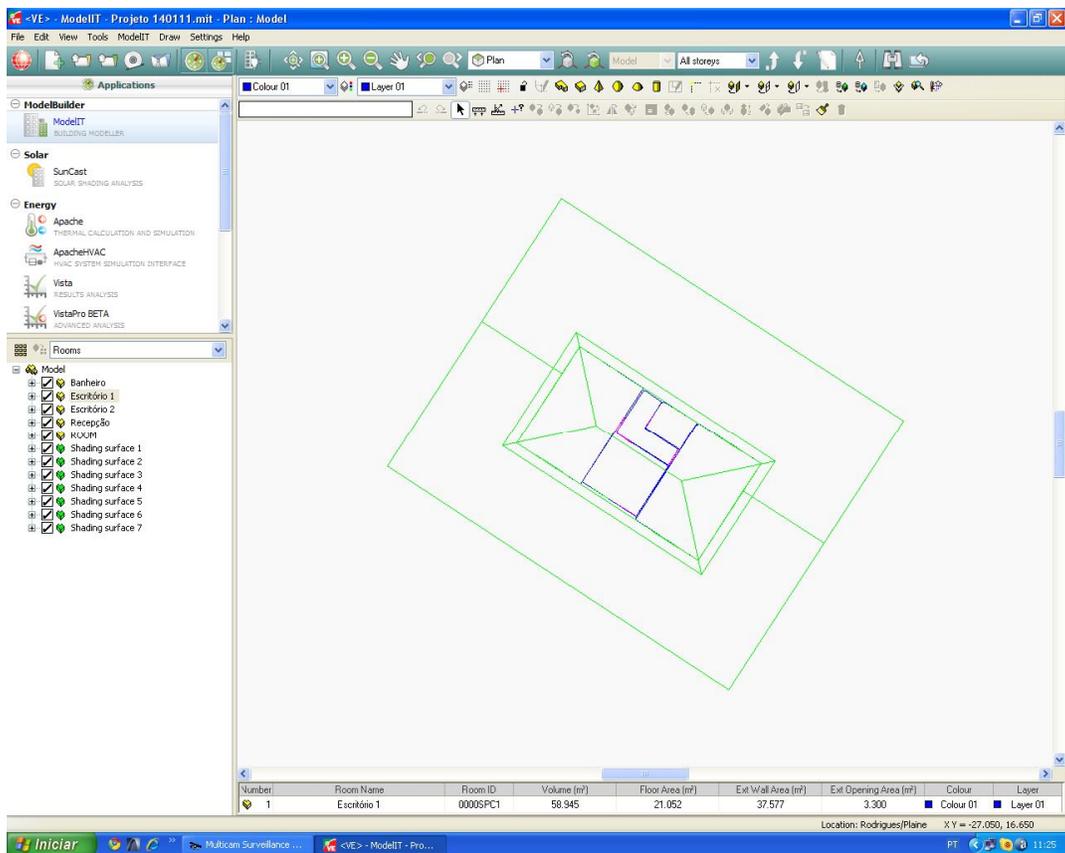


Figura 61 - Planta baixa do modelo no software IES <VE> 6.1.1.  
Fonte: Autoria nossa.

- 3) A inserção do anteparo físico, ou seja, uma árvore, também representou um problema. O programa só aceita importar arquivos no esquema gbXML e .gem. O arquivo da árvore está em formato de imagem. Diante disso, não foi possível importar esse elemento.

Os problemas apresentados na tentativa de modificação do modelo levaram a vários testes a fim de equacioná-los. A seguir serão apresentadas as soluções encontradas para os itens um e três:

- 1) Como o programa não permite reduzir apenas um vão de janela de uma zona, havia duas soluções: apagar os vãos e redesenhá-los ou retornar ao programa *ArchiCAD 14* para fazer essa redução. Foi escolhida a segunda opção. Portanto, foram reduzidos à metade os vãos de janela das zonas Escritório 1 e Escritório 2 no *ArchiCAD 14*.

- 2) A inserção da árvore no *software* IES <VE> 6.1.1 também não foi possível. Assim como no item acima, foi necessário inserir a árvore no *ArchiCAD* 14.

Diante disso, foi necessário retornar ao programa *ArchiCAD* para executar essas duas modificações. A figura abaixo, Figura 62, mostra o modelo no *ArchiCAD* 14 com a árvore já inserida e os vãos de janela da fachada de fundos reduzidos à metade. Após estas duas modificações no modelo no *ArchiCAD*, foi necessário seguir todas as etapas de configuração do modelo descritas no item 7.2.1, Processo 1, 3º passo, para salvá-lo novamente em gbXML. Esse formato é um dos únicos que o IES <VE> 6.1.1 aceita para importação.

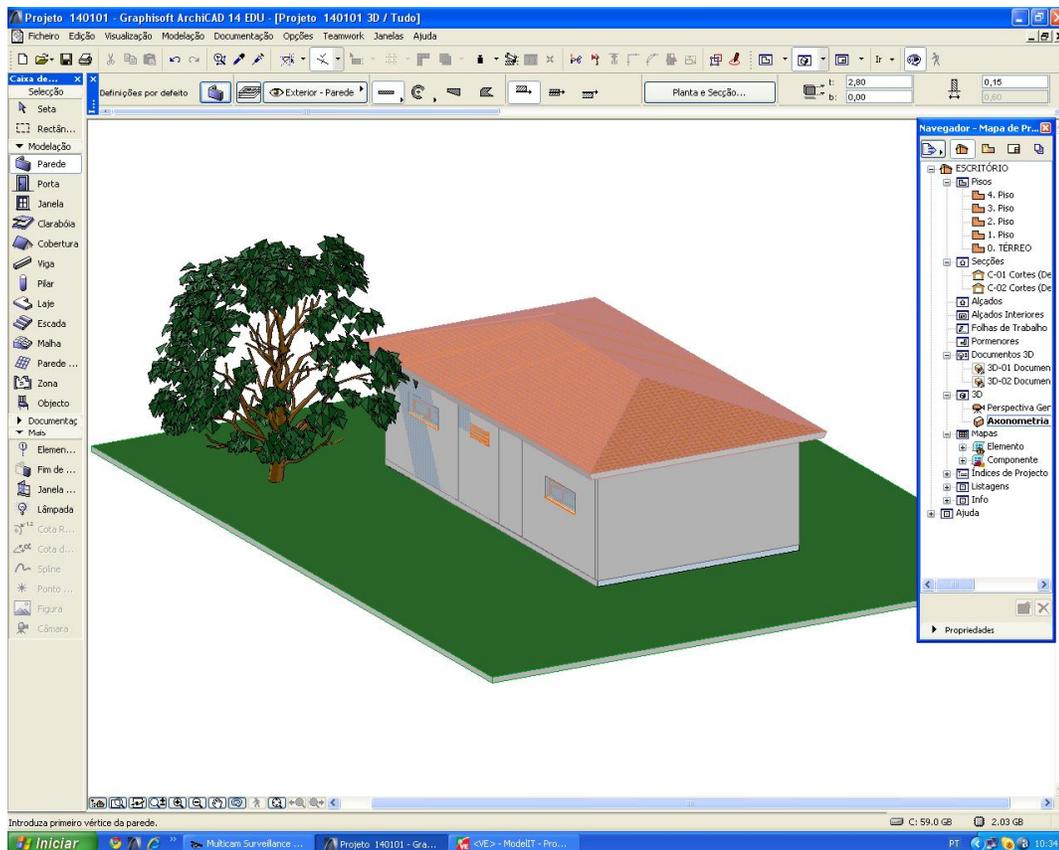


Figura 62 - Perspectiva do modelo no *software* ArchiCAD 14 após a redução dos vãos de janela e inserção de uma árvore.

Fonte: Autoria nossa.

Após a formatação foi feita a exportação para o IES <VE> 6.1.1. A figura abaixo, Figura 63, mostra o modelo importado no IES <VE> com as modificações.

Pela imagem pode ser visto que os vãos da fachada de fundos foram reduzidos à metade e que a árvore não foi transportada.

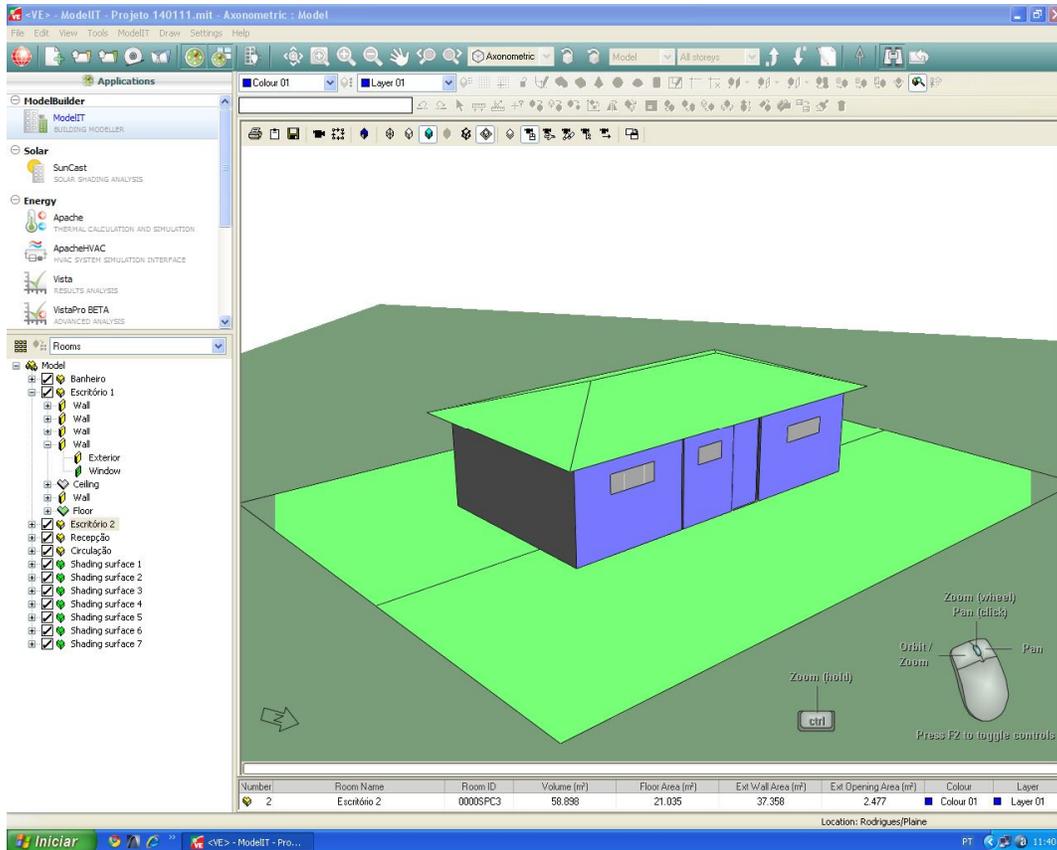


Figura 63 - Perspectiva do modelo no *software* IES <VE> 6.1.1 após importação do ArchiCAD 14.

Fonte: Autoria nossa.

Após as configurações e a colocação de luminárias, o modelo está preparado para as simulações da luz natural e artificial.

O modelo importado a partir do programa *ArchiCAD* 14 necessitou ser reconfigurado após a importação no IES <VE> 6.1.1. A Tabela 13 mostra os elementos e dados que foram novamente configurados após importação no simulador ambiental de acordo com a simbologia: (S) para sim e (N) para não.

Tabela 13 – Elementos transportados na exportação do *software* ArchiCAD para o IES <VE>.

EXPORTAÇÃO DO ARCHICAD PARA O IES <VE>		
	Elementos	ArchiCAD para o IES <VE>
GEOMETRIA	Luminárias	N
	Piso	S
	Paredes	S
	Cobertura	S
	Vãos de portas e janelas	S
	Zonas	S
MATERIAIS	Piso	N
	Paredes	N
	Cobertura	N
	Portas e janelas	N
	Referenciamento geográfico	N

Fonte: Autoria nossa.

Uma análise da tabela permite observar que necessitaram ser reconfigurados as luminárias, os materiais e o referencial geográfico, assim como ocorreu no Processo 1. Esse retrabalho representa insucesso na interoperabilidade entre estes dois programas.

➤ 5º passo – IES <VE> 6.1.1

Nessa etapa será feita a simulação da luz natural e da luz artificial do modelo.

a) Simulação da luz natural:

Após a importação do modelo foi feita a simulação da luz natural do modelo, conforme mostra a Figura 64. O IES <VE> 6.1.1 simula a incidência de luz natural em cada zona e, após a simulação apresenta um quadro com a quantidade máxima e mínima de incidência, medida em lux. Assim como o *Ecotect*, o IES <VE> indica, através de cores, a quantidade de lux em cada ambiente. O gráfico localizado no lado direito da tela do programa mostra a quantidade de lux de acordo com a cor.

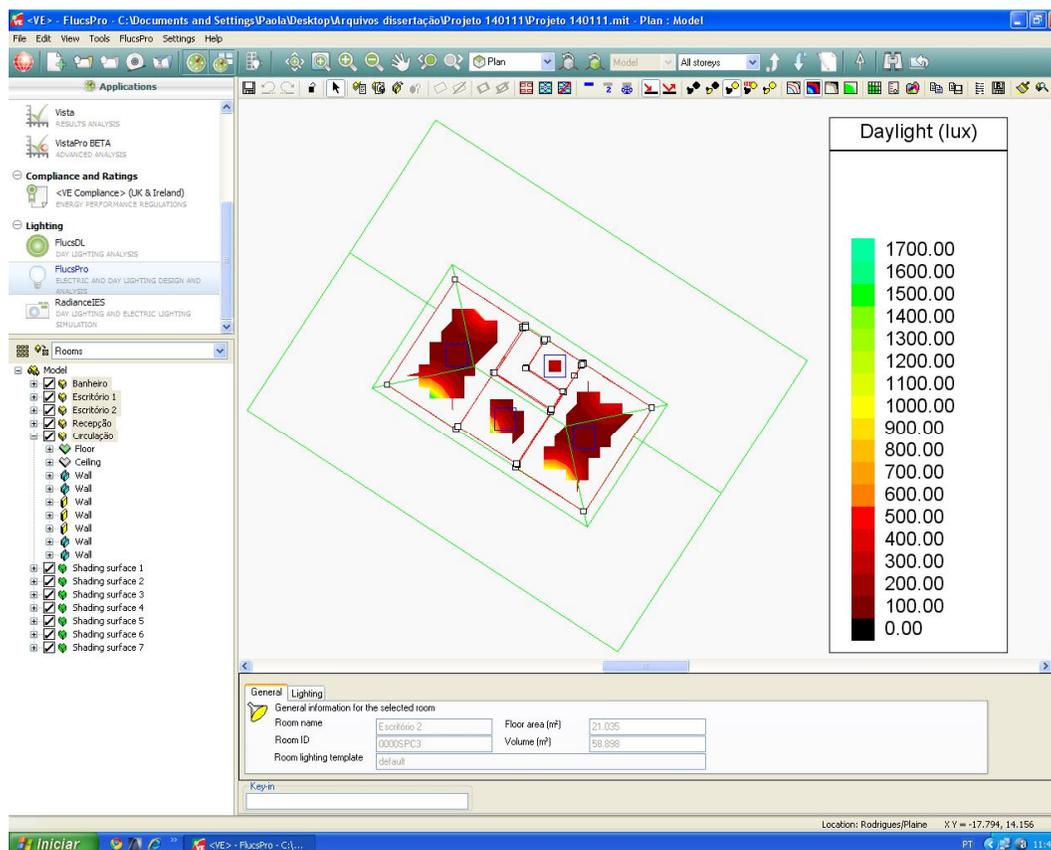


Figura 64 - Modelo tridimensional com a simulação da luz natural no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

A figura acima mostra a simulação da luz natural no modelo. As cores indicam a quantidade de lux que incide em cada ambiente. Após a simulação da luz natural no IES <VE>, o programa apresenta um quadro para cada compartimento contendo a área, índices de refletância e transmitância da luz, os valores mínimo, médio e máximo do fator de iluminação natural, quantidade de lux que incide no ambiente, considerando a luz natural e a luz artificial, isoladamente, entre outros.

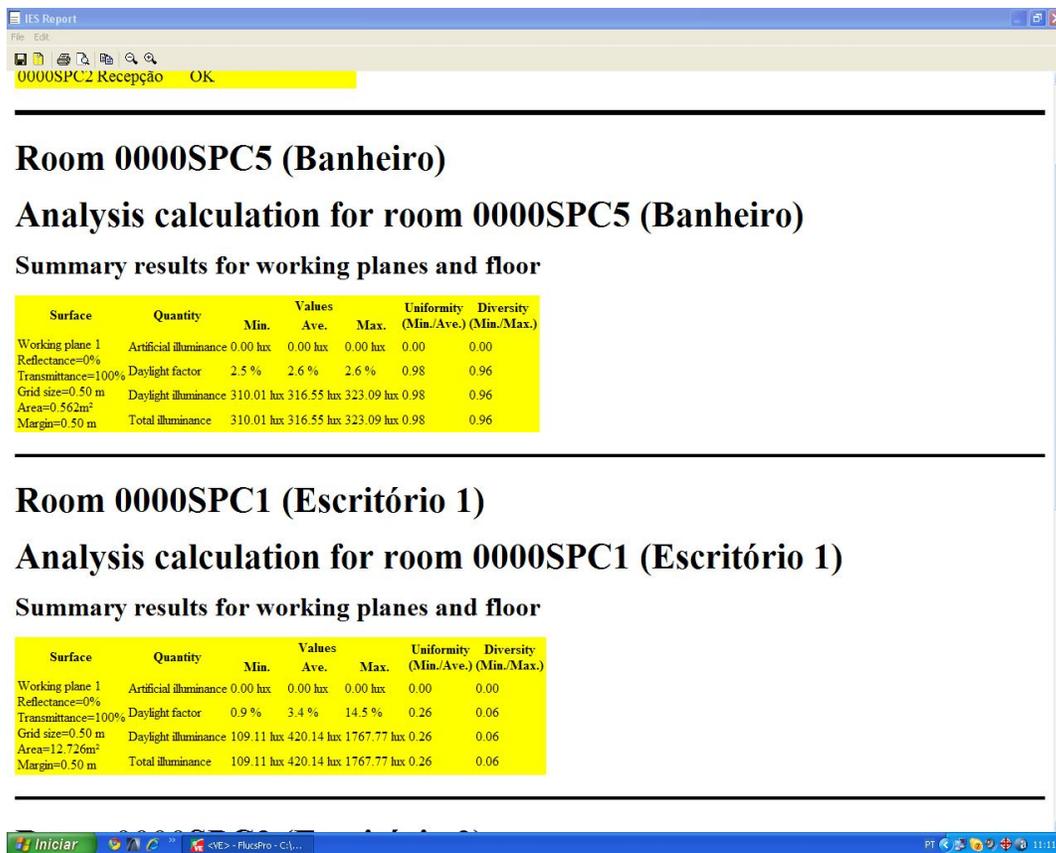


Figura 65 - Quadro com valores de incidência de luz natural, medida em lux, nas zonas “Banheiro” e “Escritório 1”.

Fonte: Autoria nossa.

O quadro acima mostra o resultado da simulação da luz natural para as zonas “Banheiro” e “Escritório 1”. No “Banheiro”, de acordo com o quadro, foi obtido um valor mínimo de 310.01lux e um valor máximo de 323.09lux. De acordo com a norma da ABNT NB-57, um banheiro deve ter no mínimo 50lux e, no máximo, 100lux (ELETROBRÁS, 2002, p. 9). Assim, o banheiro do modelo em estudo possui quantidade de lux suficiente para utilizar somente a luz natural durante o dia. Somente à noite será necessário lançar mão da luz artificial.

A zona “Escritório 1” apresenta um valor mínimo de 109.11lux e, máximo, de 1.767.77 lux referentes ao resultado da simulação da luz natural. A norma da ABNT NB-57, estabeleceu valor entre 500lux e 1.000lux para iluminância de escritórios, (ELETROBRÁS, 2002, p. 9). Porém, essa quantidade de lux só é realmente necessária na área de trabalho. De acordo com o *layout* da edificação, mostrado no item 7.1.1, Processo 1, 1º passo, a mesa de trabalho se encontra em local com

incidência de luz superior a 500lux. Assim, nesse ambiente não é necessário utilizar iluminação artificial durante o dia.

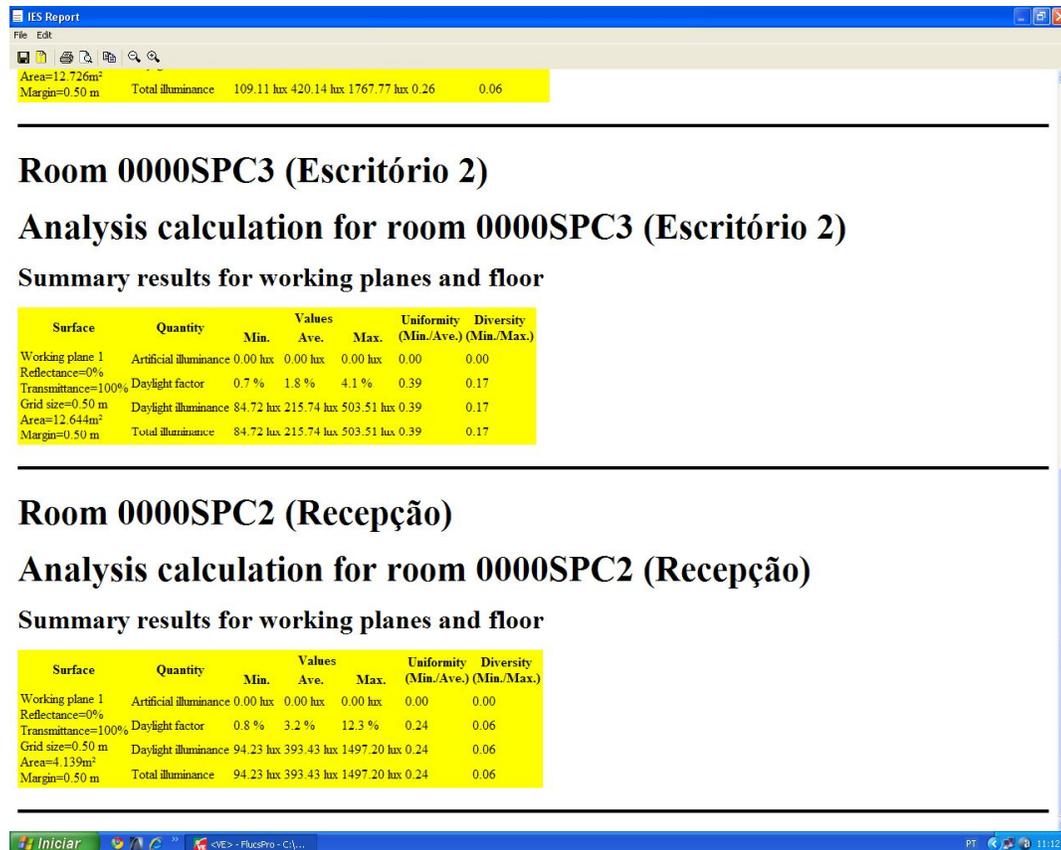


Figura 66 - Quadro com valores de incidência de luz natural, medida em lux, nas zonas “Escritório 2” e “Recepção”

Fonte: Autoria nossa.

A zona “Escritório 2” apresenta um valor mínimo de 84.72lux e, máximo, de 503.51lux referentes ao resultado da simulação da luz natural. De acordo com o *layout* da edificação, a mesa de trabalho se encontra em local com incidência de luz superior a 500lux. Assim, como no “Escritório 2” não é necessário utilizar iluminação artificial durante o dia.

A zona “Recepção” teve como resultado da simulação da luz natural uma quantidade mínima de 94.23lux e, máxima, de 1.497.20. Para este ambiente também pode ser considerado um valor mínimo de 500lux e, máximo, de 1.000lux. Porém, essa quantidade de lux só é realmente necessária na área de trabalho. De acordo com o *layout* da edificação, mostrado no item 7.1.1, 1º passo, a mesa de

trabalho se encontra em um local com incidência de luz inferior a 500lux. Assim, nesse ambiente é necessário utilizar iluminação artificial durante o dia.

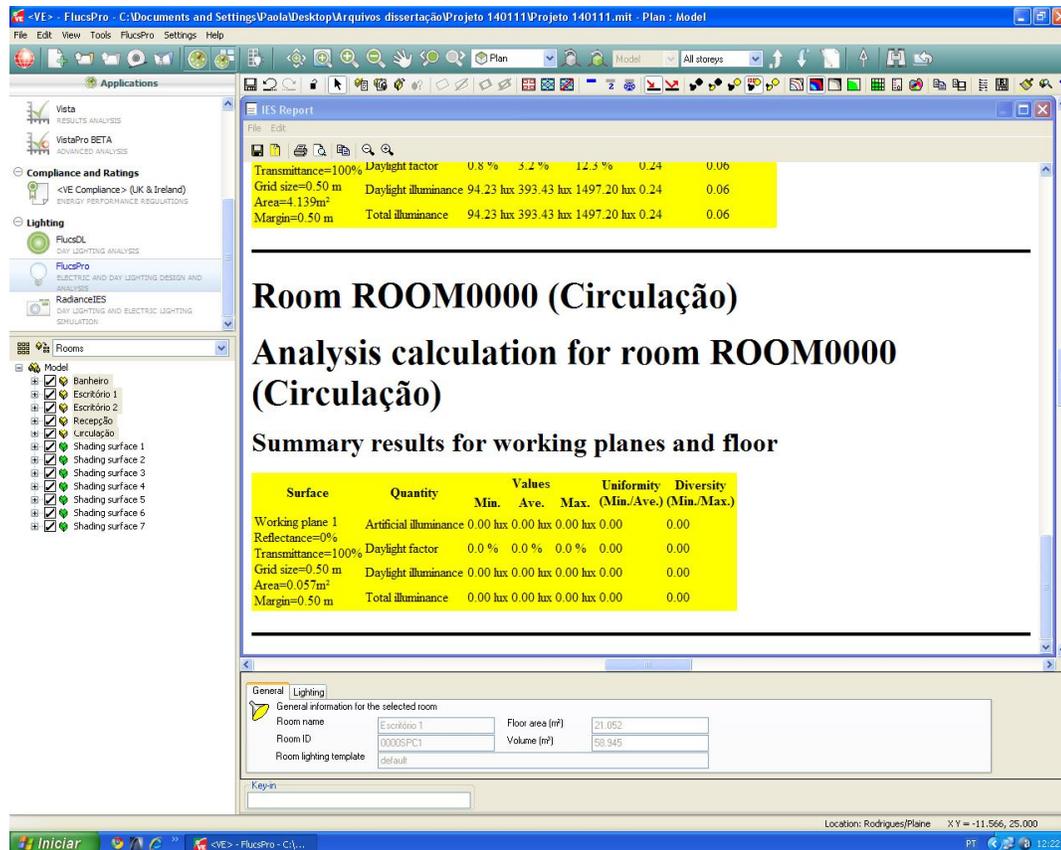


Figura 67 - Quadro com valores de incidência de luz natural, medida em lux, na zona “Circulação”.  
 Fonte: Autoria nossa.

Já a zona “Circulação” apresenta valor único de 0lux de luz natural incidindo no ambiente. Esse valor é justificável, pois o ambiente não apresenta vãos de iluminação e ventilação. Portanto, será necessário utilizar a luz artificial também durante o dia nesse cômodo.

O resultado da simulação da luz natural obtida no *software* IES <VE> 6.1.1 foi diferente do obtido no simulador *Ecotect* 2011. O resultado desse último mostra iluminância inferior a da apresentada pelo IES <VE>. Enquanto que no *Ecotect* a quantidade de lux variou entre 0lux e 300lux, no IES <VE> esse intervalo foi de 0-1767.77lux. Como o objetivo principal desse estudo é a interoperabilidade e não a

validação dos resultados dos simuladores ambientais, não será pesquisada a razão dessa discrepância nos resultados.

b) Simulação da luz artificial:

A simulação da luz artificial no *software* IES <VE> 6.1.1 é feita de forma oposta do *Ecotect* 2011. O primeiro passo é informar ao programa os tipos de lâmpadas e luminárias que serão utilizados através da inserção dos dados luminotécnicos dessas. Outro dado que deve ser informado é a quantidade mínima de lux que deve incidir no ambiente. O passo seguinte é a simulação da luz artificial. Após a simulação o programa gera um quadro mostrando se aprova ou não a luminária inserida e contendo opções com a quantidade de luminárias necessárias para atingir a quantidade mínima de lux. Sugere, ainda, opções de distribuição dessas luminárias no respectivo ambiente (zona), o espaçamento entre elas, suas dimensões, a quantidade de lux que emitem e mostra o fator de utilização. As figuras abaixo mostram o quadro resumo com essas informações para cada zona e, por último, a distribuição das luminárias nas zonas após a seleção de uma das opções.

A simulação da luz artificial foi desenvolvida com a redução dos vãos de janela à metade na fachada dos fundos e com a nova orientação em relação ao norte, como foi proposto no item 7.1.2, Processo 2, 4<sup>o</sup> passo. Como foi mostrado no mesmo item, não foi possível inserir o anteparo físico, a árvore.

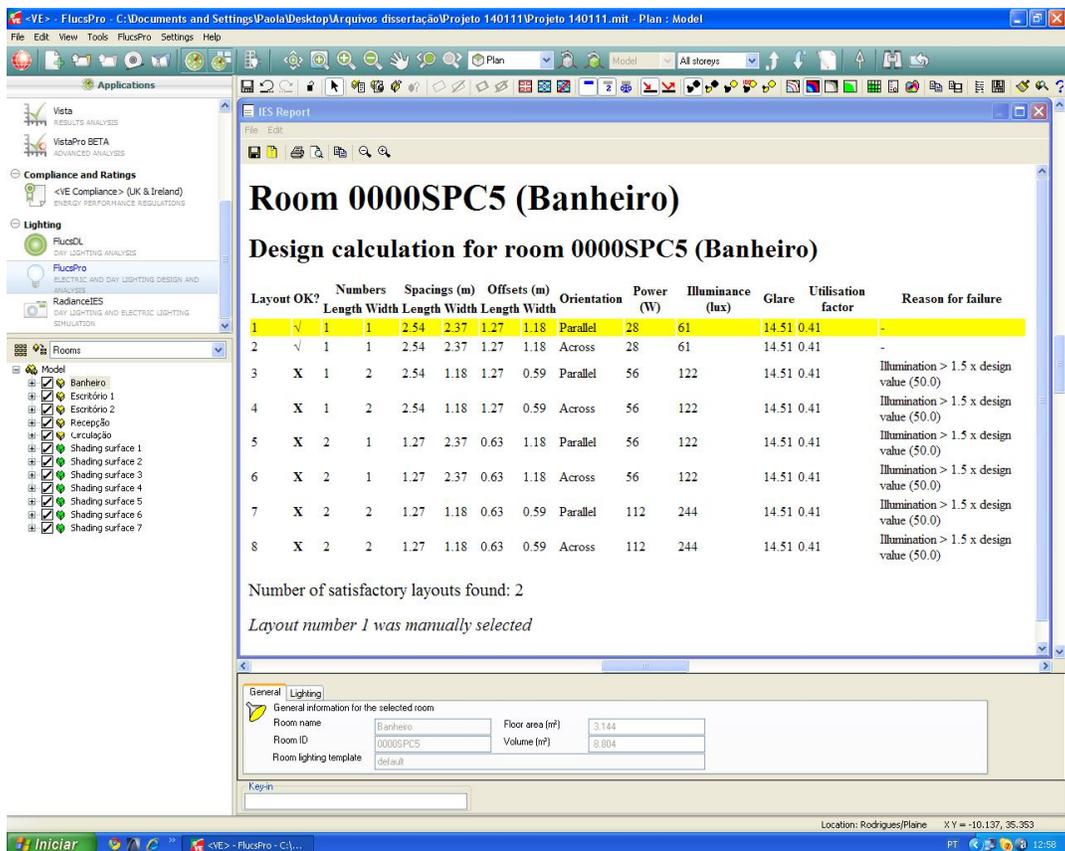


Figura 68 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Banheiro” no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

O quadro acima, com o resultado da simulação da luz artificial referente à zona “Banheiro”, mostra opções de quantidade e distribuição dessas luminárias no ambiente. São oito opções sendo que seis – que estão marcadas com um “X” – não são satisfatórias. Portanto são duas opções válidas. Foi escolhida a opção de número um para ser aplicada ao modelo em estudo. Esta opção está destacada em amarelo. Ela sugere uma luminária com uma lâmpada fluorescente compacta de 28W. Emite 61lux. O programa automaticamente insere a luminária após a escolha de uma das opções.

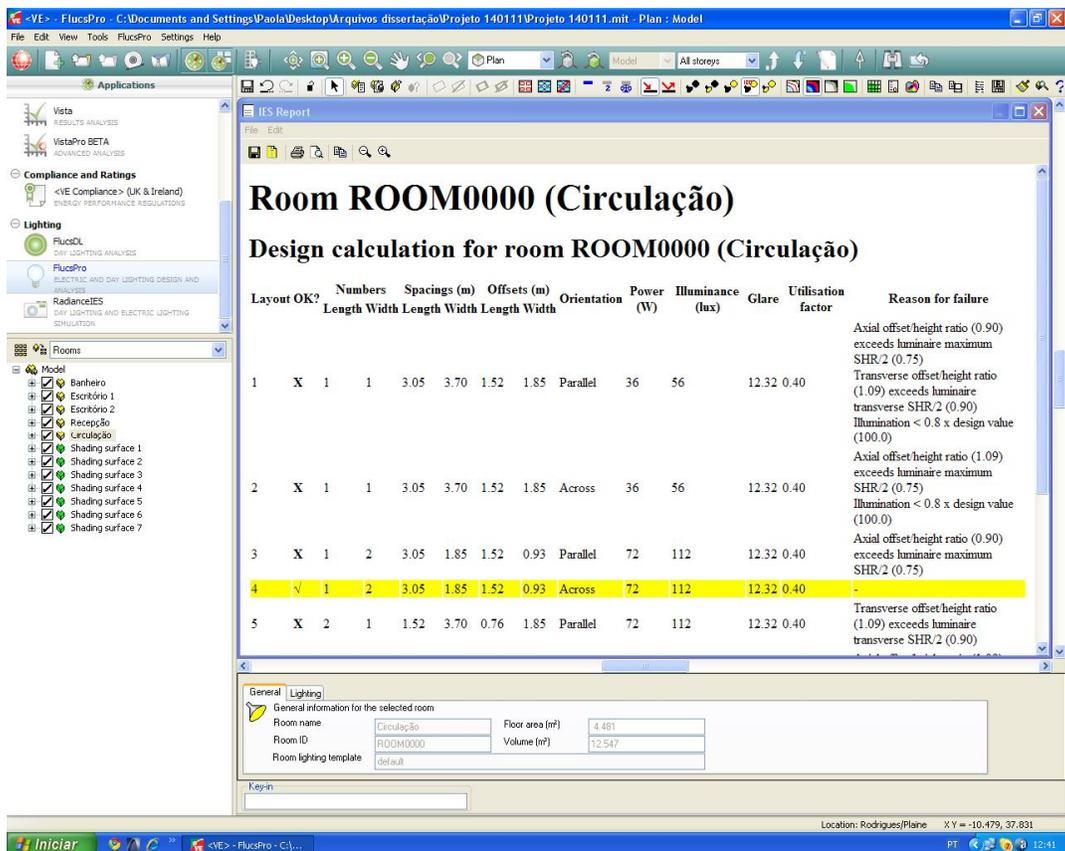


Figura 69 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Circulação” no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

O quadro acima é referente à simulação da luz artificial da zona “Circulação”. Mostra, como no anterior, as opções de distribuição dessas luminárias no ambiente. Nesse caso também são cinco opções sendo que quatro – que estão marcadas com um “X” – não são satisfatórias. Portanto são quatro opções válidas. Foi escolhida a opção de número quatro, conforme pode ser visto em amarelo. Sugere duas luminárias com duas lâmpadas fluorescentes compactas de 18W cada, dispostas segundo as medidas contidas no quadro. Essas luminárias emitem 112lux. São automaticamente inseridas após a seleção.

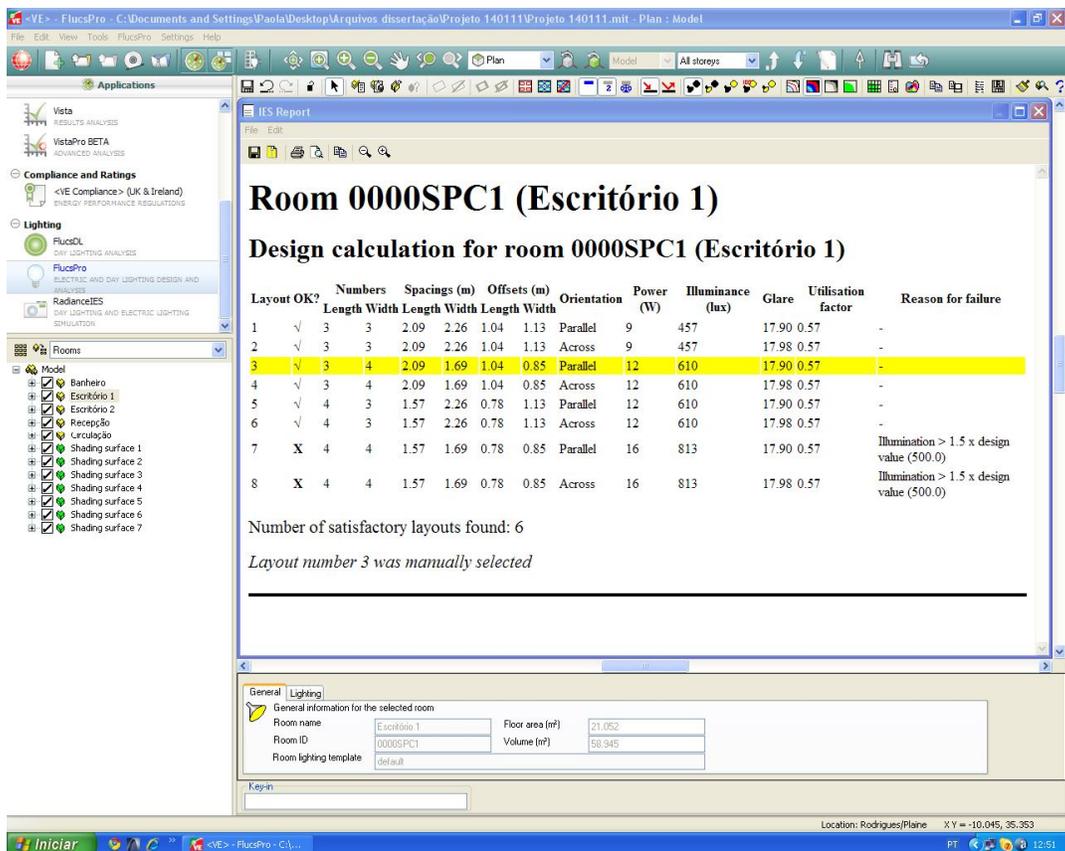


Figura 70 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Escritório 1” no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

O quadro resumo da simulação da luz artificial na zona “Escritório 1” mostra as mesmas informações. Nesse caso são oito opções de distribuição sendo que seis não são válidas. Para o modelo foi escolhida a opção número três. Essa opção sugere quatro luminárias com duas lâmpadas fuorescentes tubulares de 28W cada, distribuídas em paralelo. Emitem 610lux.

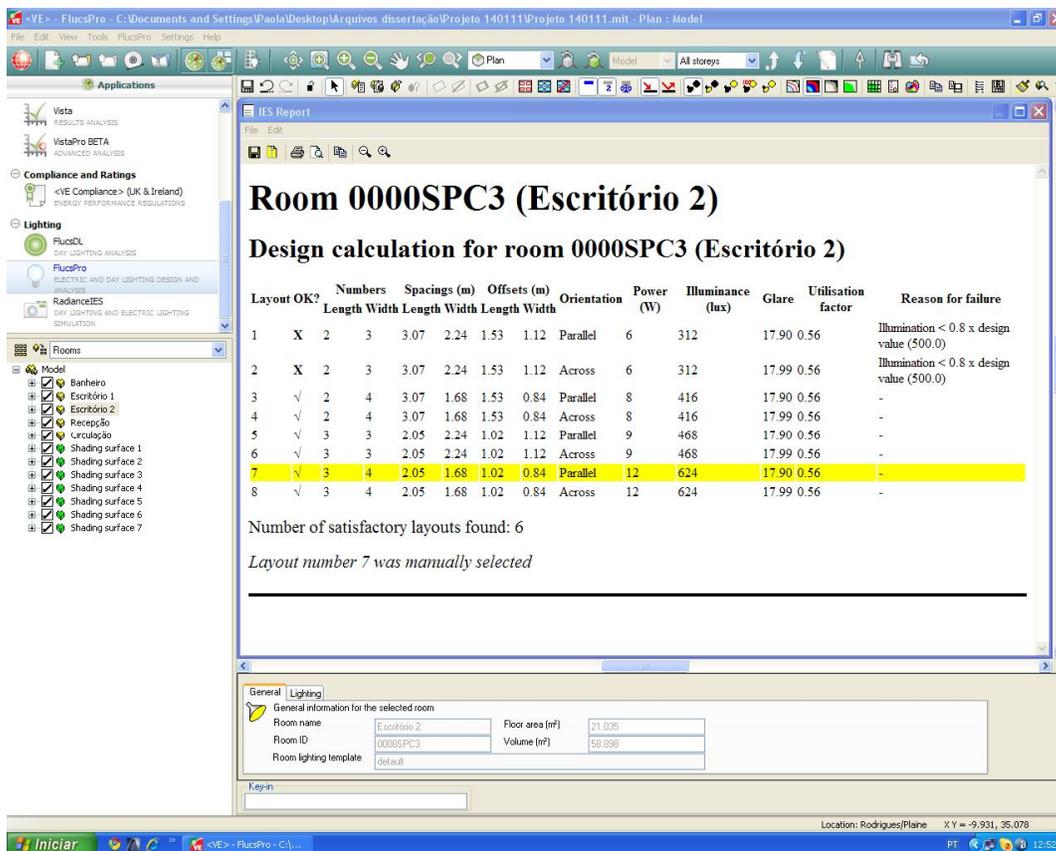


Figura 71 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Escritório 2” no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

O quadro resumo da simulação da luz artificial na zona “Escritório 2” oito opções de distribuição das luminárias sendo que seis não são válidas. Para o modelo foi escolhida a opção número sete. Essa opção sugere quatro luminárias com duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 28W cada, dispostas em paralelo. Emitem 624lux.

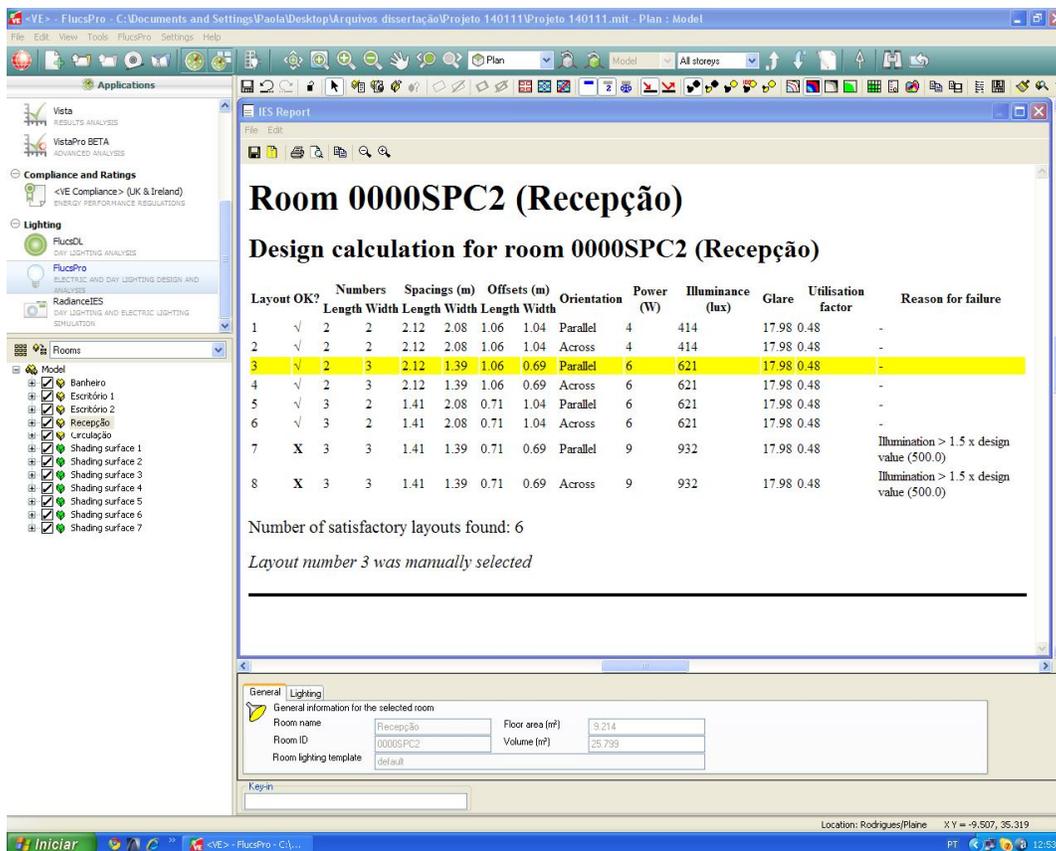


Figura 72 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Recepção” no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

O resultado da simulação da luz artificial na zona “Escritório 2” mostra oito opções. Dessas opções seis são válidas. Foi escolhida a opção número três. Essa opção sugere duas luminárias com duas lâmpadas fuorescentes tubulares de 28W cada, dispostas em paralelo. Emitem 621lux.

O quadro a seguir mostra a planta baixa da edificação com a distribuição das luminárias conforme as escolhas feitas antes da simulação. As luminárias inseridas inicialmente, mostradas na Tabela 12, Processo 2, 4º passo, item 7.1.2, não foram todas aceitas, algumas foram substituídas. O programa não considerou o ângulo em que o modelo se encontra. Inseriu as luminárias em um eixo ortogonal.

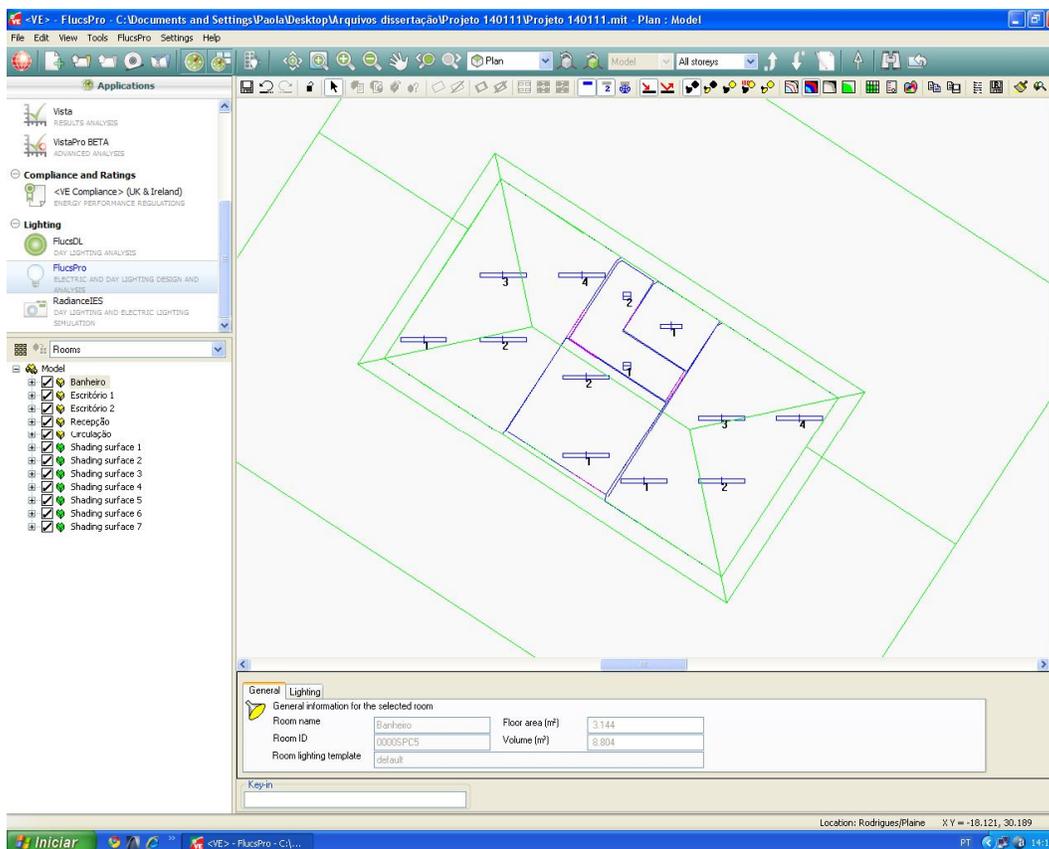


Figura 73 - Planta baixa com a distribuição de luminárias nas zonas no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

Como o programa sugere a quantidade de luminárias e pode não aprová-las, após a análise da luz artificial, nova tabela foi criada com a quantidade de luminárias, tipo e potência da lâmpada por cômodo.

Tabela 14 - Tabela com cômodos e respectivas luminárias inseridas no modelo.

CÔMODOS	LUMINÁRIAS
Escritório 1	4 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 28W cada
Recepção	2 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes compactas de 28W cada
Escritório 2	4 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 28W cada
Circulação	2 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes compactas de 18W cada
Banheiro	1 luminária com 1 lâmpada fluorescente compacta de 14W

Fonte: Autoria nossa.

➤ 6º passo – IES <VE> 6.1.1

Essa etapa consiste em exportar o modelo de volta para o *software ArchiCAD 14* no formato mais apropriado. O objetivo dessa exportação é avaliar os formatos que permitem essa exportação e se o modelo estará com todos os dados nos sistemas BIM.

Após a inserção das luminárias, foi feita a tentativa de exportação do modelo do simulador IES <VE>6.1.1 para o *ArchiCAD 14*. A primeira tentativa foi através do formato .dxf. Não foi possível. A figura abaixo, Figura 74, ilustra a tentativa de salvar em outro formato do IES <VE> 6.1.1.

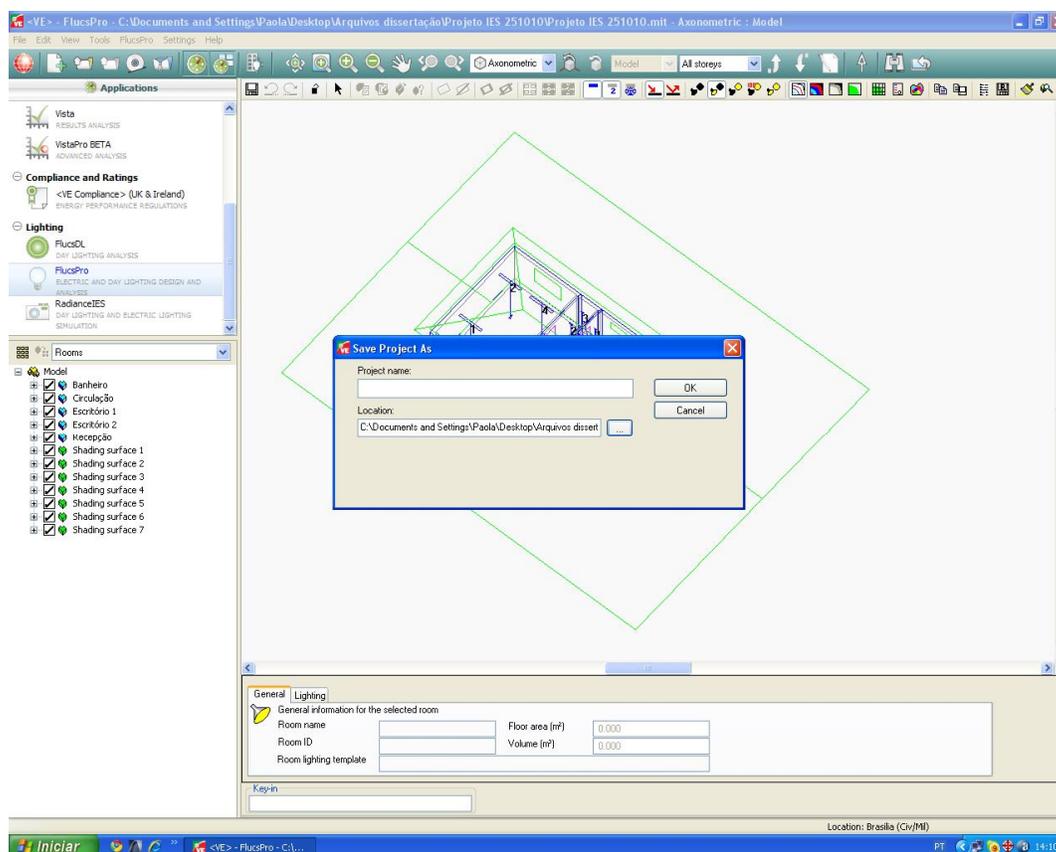


Figura 74 - Tentativa de salvar o arquivo do *software* IES <VE> 6.1.1 em outro formato. Fonte: Autoria nossa.

O IES <VE> 6.1.1 não aceita salvar em outro formato, somente o padrão do programa.

É possível salvar o arquivo nos formatos .dxf, .stl e .gem, além do formato padrão, no aplicativo “ModelIT, *BUILDING MODELLER*” do IES <VE> 6.1.1. Esse aplicativo tem como objetivo modelar a edificação. Ele não realiza nenhum tipo de análise. Portanto, não mostra as luminárias e análises feitas. O modelo em estudo foi salvo, em planta baixa, no formato .dxf e importado no *ArchiCAD 14*.

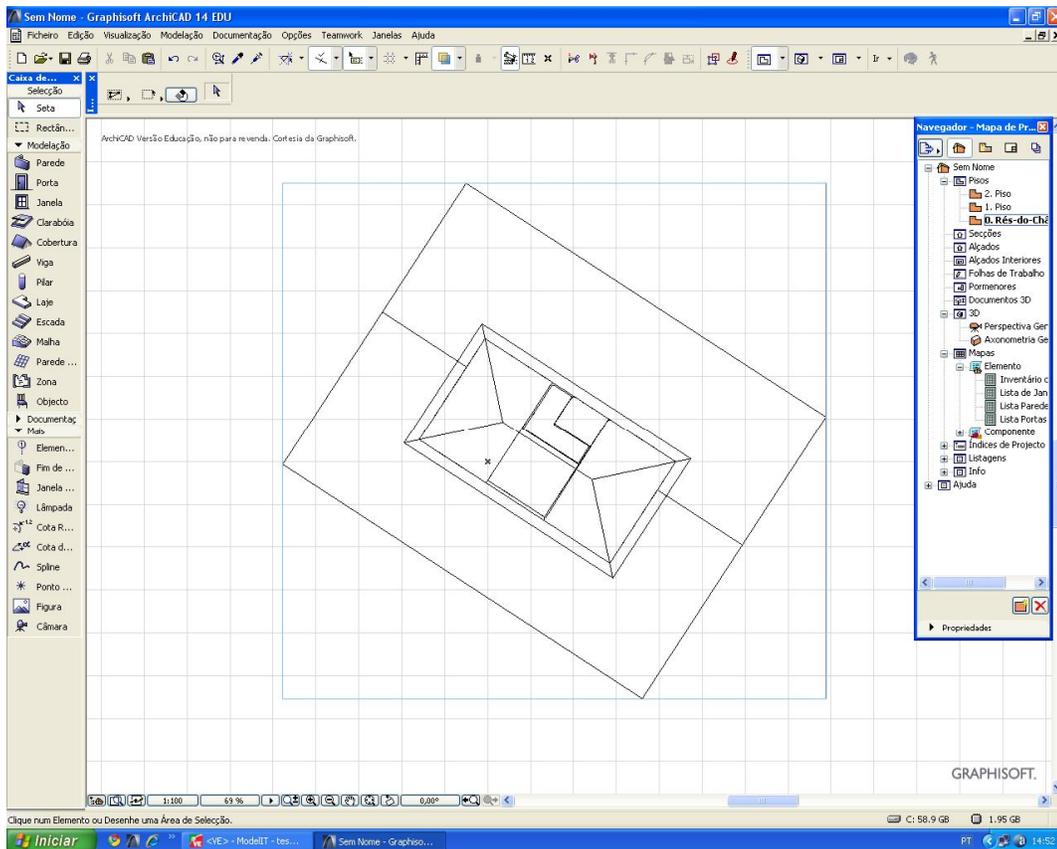


Figura 75 - Arquivo importado no formato .dxf no software IES <VE> 6.1.1 para o ArchiCAD 14.

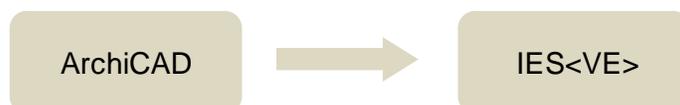
Fonte: Autoria nossa.

A Figura 75 mostra o resultado da importação. O modelo foi inserido como um elemento único. Não é possível editá-lo nem selecionar somente um de seus vetores. Também foi feita a tentativa de salvar o modelo, em vista, para ser exportado em .dxf. A importação resultou em um elemento em planta baixa, semelhante à Figura 75. Os outros formatos disponíveis para exportação no IES <VE> não são comuns ao *ArchiCAD*. Portanto, só é possível importar o arquivo do IES <VE> para o *ArchiCAD* no formato .dxf.

➤ 7º passo – IES <VE> 6.1.1:

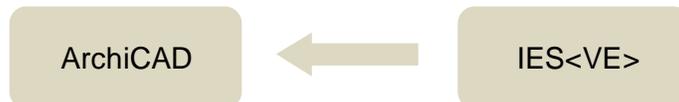
Este passo consiste em avaliar a interoperabilidade entre os *softwares* *ArchiCAD* 14 e IES <VE> 6.1.1.

a) Avaliação 1:



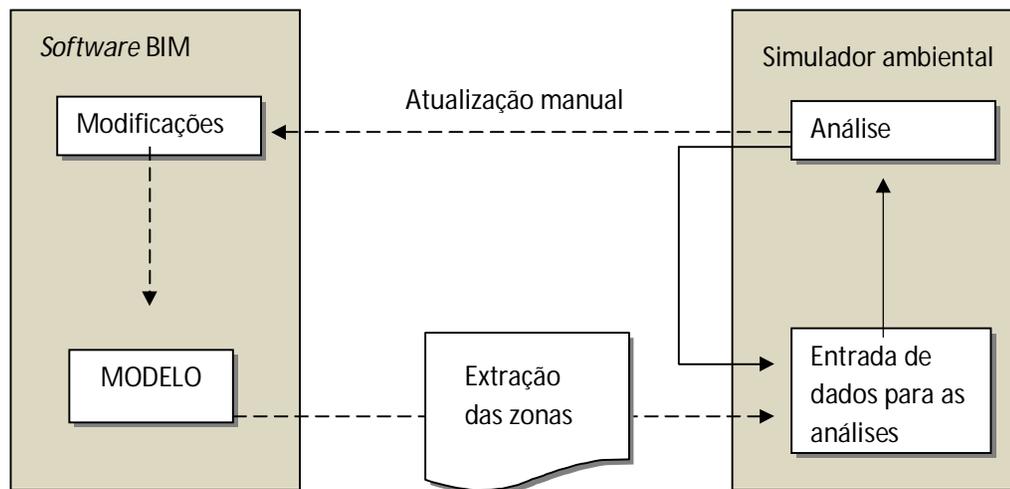
A transferência do programa *ArchiCAD* 14 para o simulador IES <VE> 6.1.1 utilizando o esquema gbXML não pode ser feita diretamente. Foi necessário instalar uma extensão do *ArchiCAD* 14, configurar o modelo para, só então, poder exportá-lo. O formato exportou somente o necessário para as análises, ou seja, as zonas com os vãos de portas e janelas, a cobertura e o piso, assim como ocorreu no *Ecotect*. As luminárias não foram transportadas.

b) Avaliação 2:



A transferência do simulador IES <VE> 6.1.1 para o *ArchiCAD* 14 não é possível através de outro formato a não ser o padrão do programa, o .mit. Mas esse formato não é compatível com o *ArchiCAD* 14. A comunicação entre os dois *softwares* só é possível pelo aplicativo do IES <VE> denominado “ModelIT BUILDING MODELLER”. A exportação ocorre no formato .dxf. Mas esse aplicativo não mostra as luminárias, somente o modelo. A exportação resultou em um modelo em planta baixa. Não é possível a visualização em outra projeção ortogonal ou perspectiva. Diante disso, todas as alterações de luminárias e nos vãos de portas e janelas devem ser atualizadas manualmente no modelo BIM.

A partir destes resultados pode-se concluir que a transferência entre o *ArchiCAD* 14 e o IES <VE> 6.1. possui fluxo único (EASTMAN et al, 2008, p. 175).



————— Compartilhamento eletrônico de dados

----- Troca / entrada de dados manualmente

Figura 76 - Análise do fluxo de informações baseado em um fluxo único.

Fonte: Autoria nossa.

A Figura 76 mostra um processo de transferência de dados com fluxo único que, assim como ocorreu no **Processo 1**, acontece nesse **Processo 2** de transferência entre os *softwares* *ArchiCAD 14* e o IES <VE> 6.1.1.

Os resultados das exportações realizadas neste item mostram que não há uma interoperabilidade completa entre o programa dos sistemas BIM *ArchiCAD 14* e o simulador IES <VE> 6.1.1. O quadro abaixo apresenta um resumo da avaliação da interoperabilidade no **Processo 2** da **Etapa 1**, com relação à transferência dos elementos e dados necessários às simulações da luz natural e da luz artificial.

Tabela 15 – Tabela dos elementos e dados incompatíveis na transferência entre ArchiCAD 14 e IES <VE> 6.1.1.

ELEMENTOS E DADOS INCOMPATÍVEIS NA TRANSFERÊNCIA ENTRE ARCHICAD 14 E IES <VE>6.1.1	
Não podem ser definidos no <i>ArchiCAD</i>	Luminárias e lâmpadas
Definido no <i>ArchiCAD</i> e interpretado de maneira incorreta no IES <VE>	-
Definido no <i>ArchiCAD</i> e não reconhecido no IES <VE>	Referenciamento geográfico e e materiais

Fonte: Autoria nossa.

O quadro permite extrair importantes conclusões:

- 1) as luminárias e lâmpadas não puderam ser definidas no *ArchiCAD* 14 contradizendo a promessa dos sistemas BIM de modelagem completa da edificação;
- 2) o referenciamento geográfico e os materiais configurados no *ArchiCAD* 14 não foram reconhecidos no IES <VE> 6.1.1 demonstrando que os sistemas BIM ainda trabalham com modelos de dados e linguagens incompatíveis.

## 7.2 Etapa 2: Revit 2011

A **Etapa 2** da experimentação desenvolve os processos 3 e 4. O **Processo 3** envolve os *softwares* Revit 2011 e *Ecotect* 2011. O **Processo 4** envolve os *softwares* Revit 2011 e IES <VE> 6.1.1.

### 7.2.1. Processo 3: Exportação do Revit 2011 para o *Ecotect* 2011

O **Processo 3** será desenvolvido de acordo com os passos descritos no capítulo anterior. Os passos consistem em: desenvolver o modelo no *software* Revit 2011 e exportá-lo para o *Ecotect* 2011. Após a exportação serão realizadas as simulações da luz natural e da luz artificial. Caso seja necessário, o modelo será modificado para reduzir o consumo energético. O modelo com as possíveis modificações será exportado de volta para os sistemas BIM.



➤ 1º passo

O primeiro passo consistiu em desenvolver o modelo do projeto de um escritório no *software* Revit 2011. A Figura 77 mostra a planta baixa deste modelo.

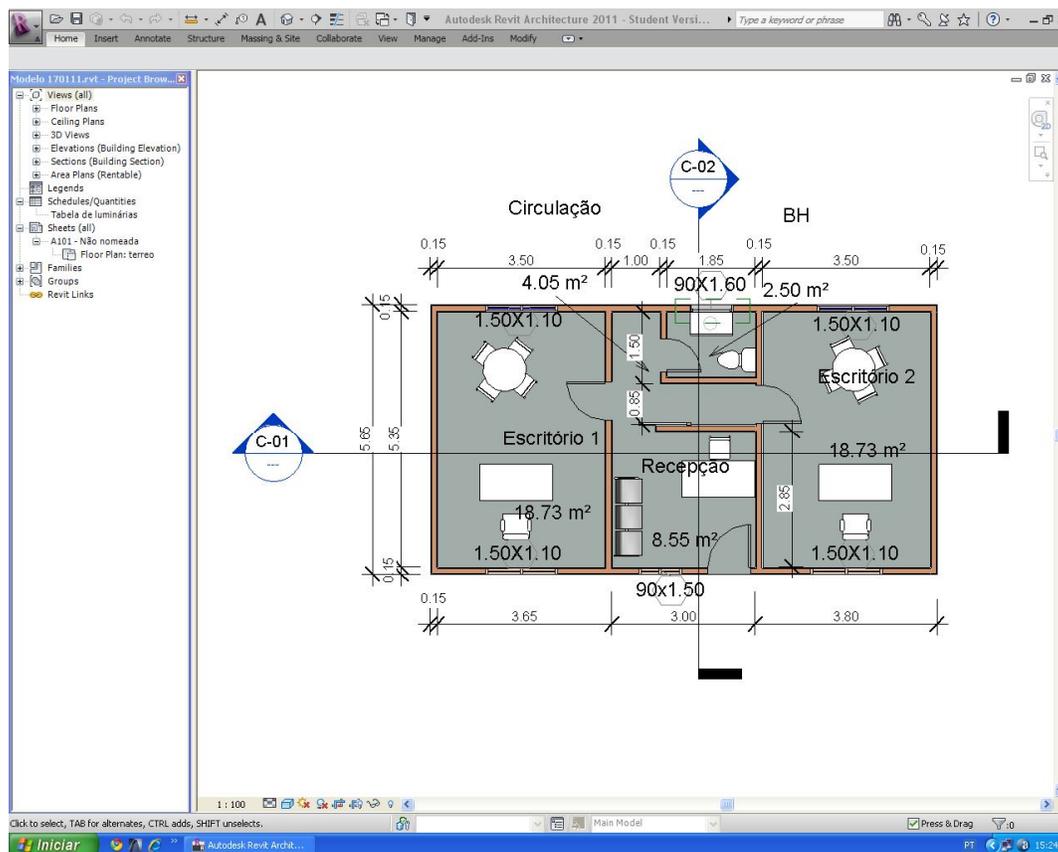


Figura 77 - Planta baixa do modelo no *software* Revit 2011.

Fonte: Autoria nossa.

Através da planta baixa do modelo é possível observar a distribuição dos cômodos e a função de cada ambiente. A edificação possui as dimensões de 10,60m x 5,65m. É semelhante, em todos os aspectos, à desenvolvida no *ArchiCAD* 14, item 7.1.1, Processo 1, 1º passo para fins de comparação.

A Figura 78 mostra o corte C-01 e a Figura 79 mostra o corte C-02. Para representar os cortes basta definir onde irão passar, no modelo único, e em que sentido. Através dos cortes mostrados nas figuras 78 e 79 é possível ver as esquadrias. É importante mostrar os cortes para exemplificar como o *software* BIM desenvolve as representações ortogonais a partir do modelo único

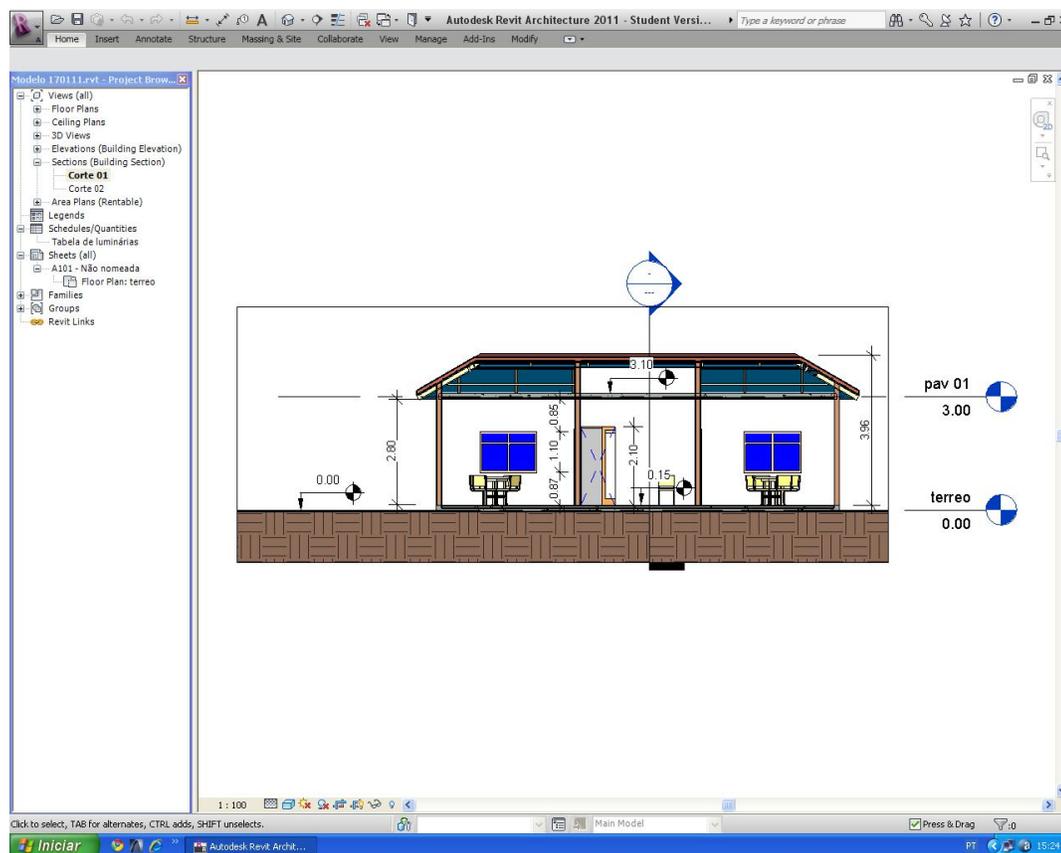


Figura 78 - Corte C-01 do modelo no *software* Revit 2011.

Fonte: Autoria nossa.

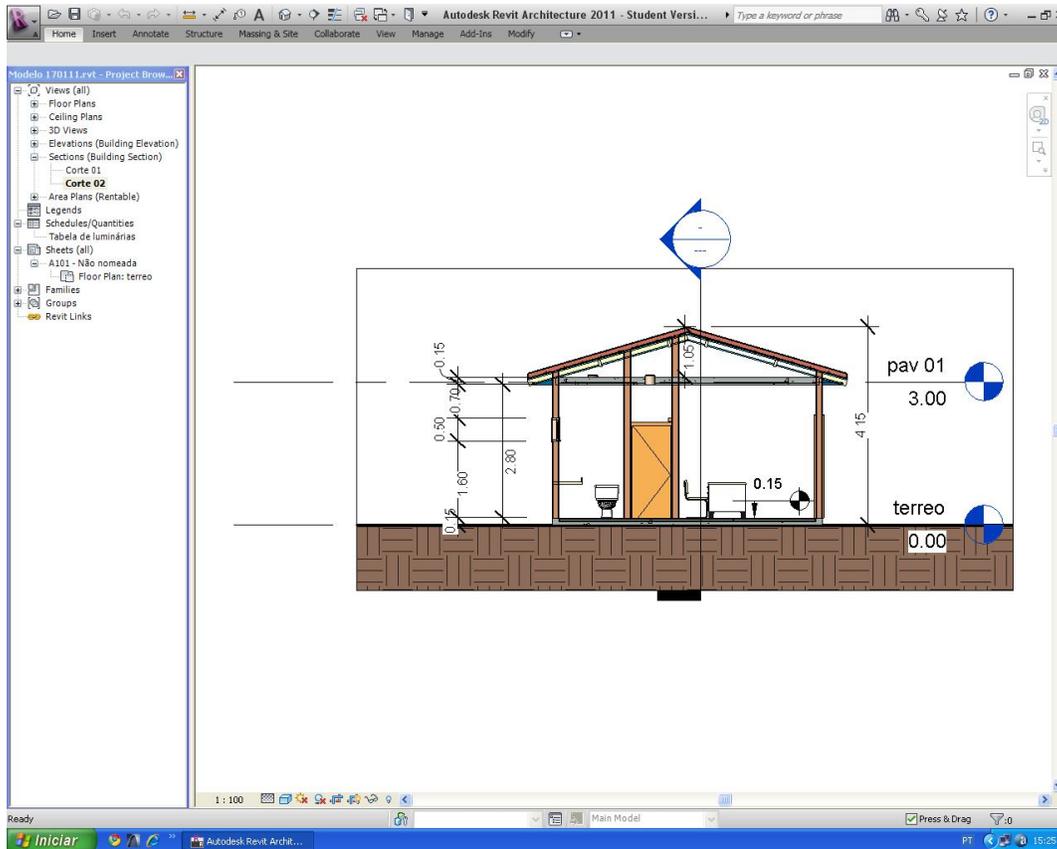


Figura 79 - Corte C-02 do modelo no software Revit 2011.

Fonte: Autoria nossa.

As figuras 80 e 81, a seguir, mostram a representação tridimensional do modelo renderizado. A primeira mostra a fachada frontal e a segunda mostra a fachada dos fundos. Através dessa representação é possível ver o projeto como um todo. O conjunto das figuras 77 (planta baixa), 78 (corte C-01), 79 (C-02), 80 e 81 apresenta todos os elementos do projeto que será utilizado para o experimento, esclarecendo as dimensões, materiais, *layout*, entre outros.

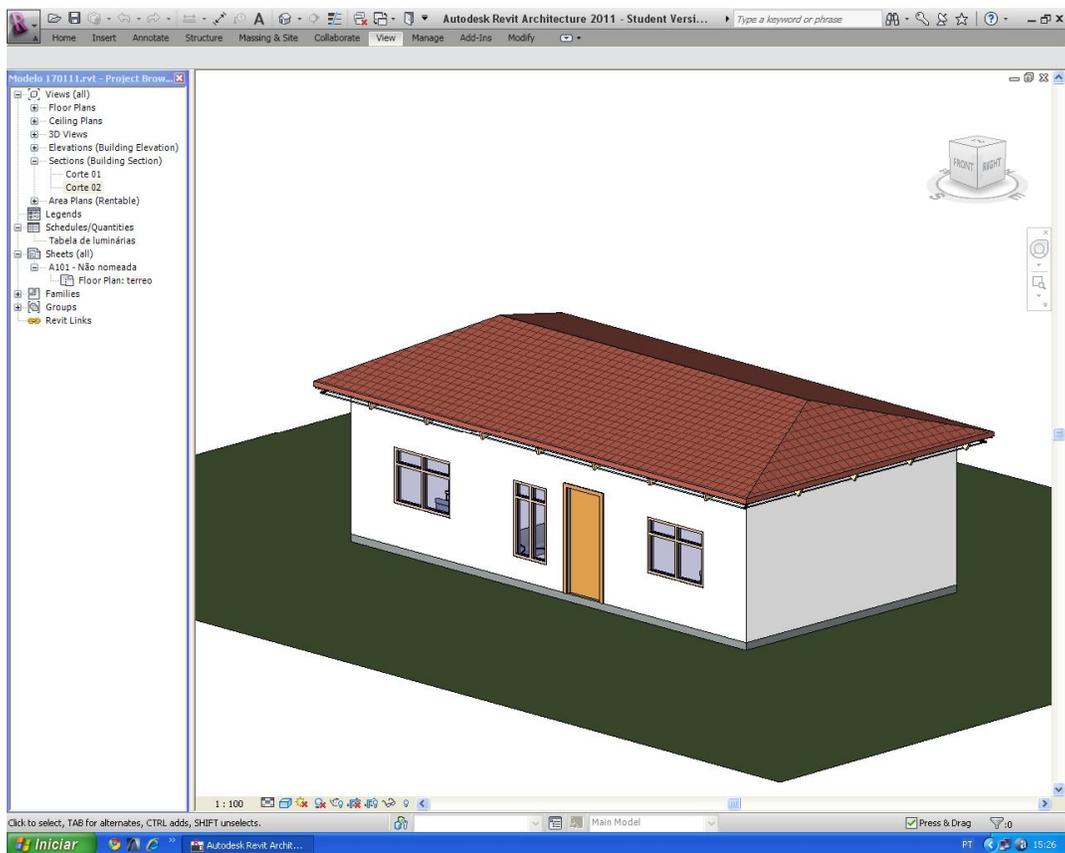


Figura 80 - Perspectiva do modelo no *software* Revit 2011.

Fonte: Autoria nossa.

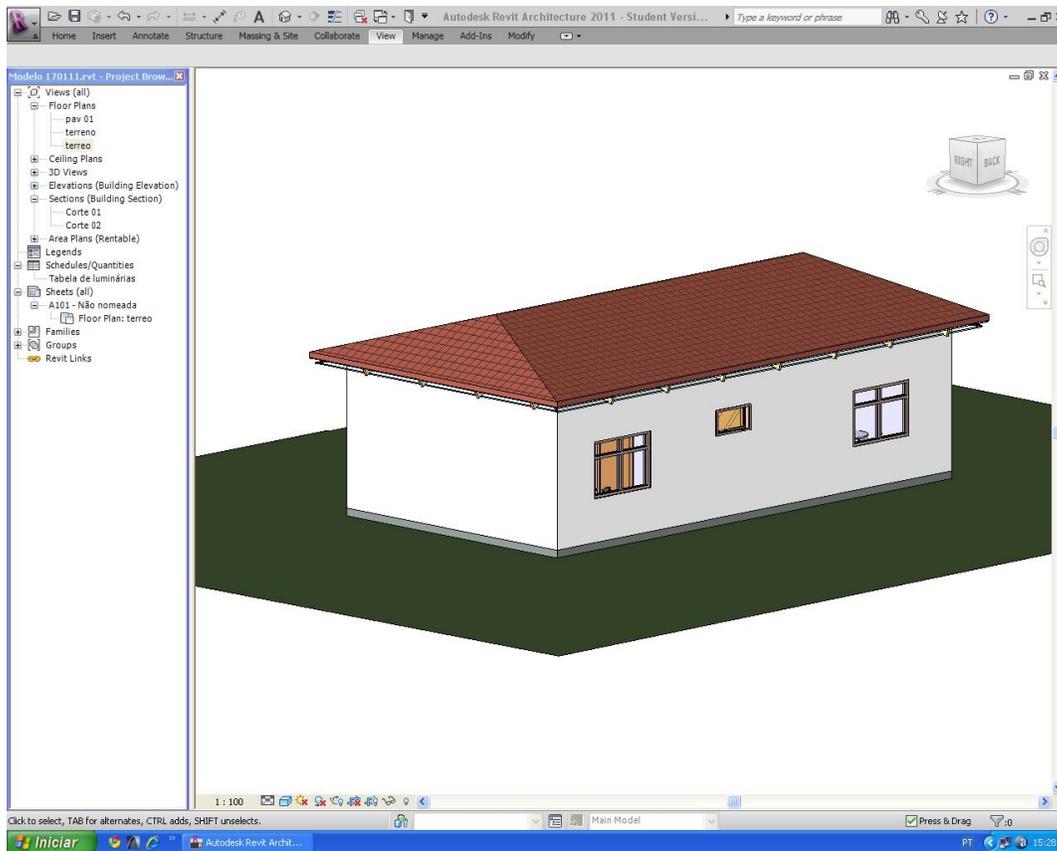


Figura 81 - Perspectiva do modelo no *software* Revit 2011.

Fonte: Autoria nossa.

➤ 2º passo

O segundo passo consistiu em inserir as luminárias no modelo.

Conforme mostra a Figura 82, foram inseridas oito luminárias no modelo, assim como foi feito no *software* *ArchiCAD* 14, item 7.1.1, Processo 1, 2º passo. O *Revit* 2011 possui vasta biblioteca de luminárias. De forma diferente do *ArchiCAD*, o *Revit* permite que seja especificado o tipo de luminária, o tipo, a quantidade e a potência de cada lâmpada e ainda pode ser inserido o arquivo no padrão IES da luminária. Além disso, o programa apresenta tabela com todas essas informações após a inserção dessas. A figura abaixo mostra as luminárias inseridas no *Revit*.

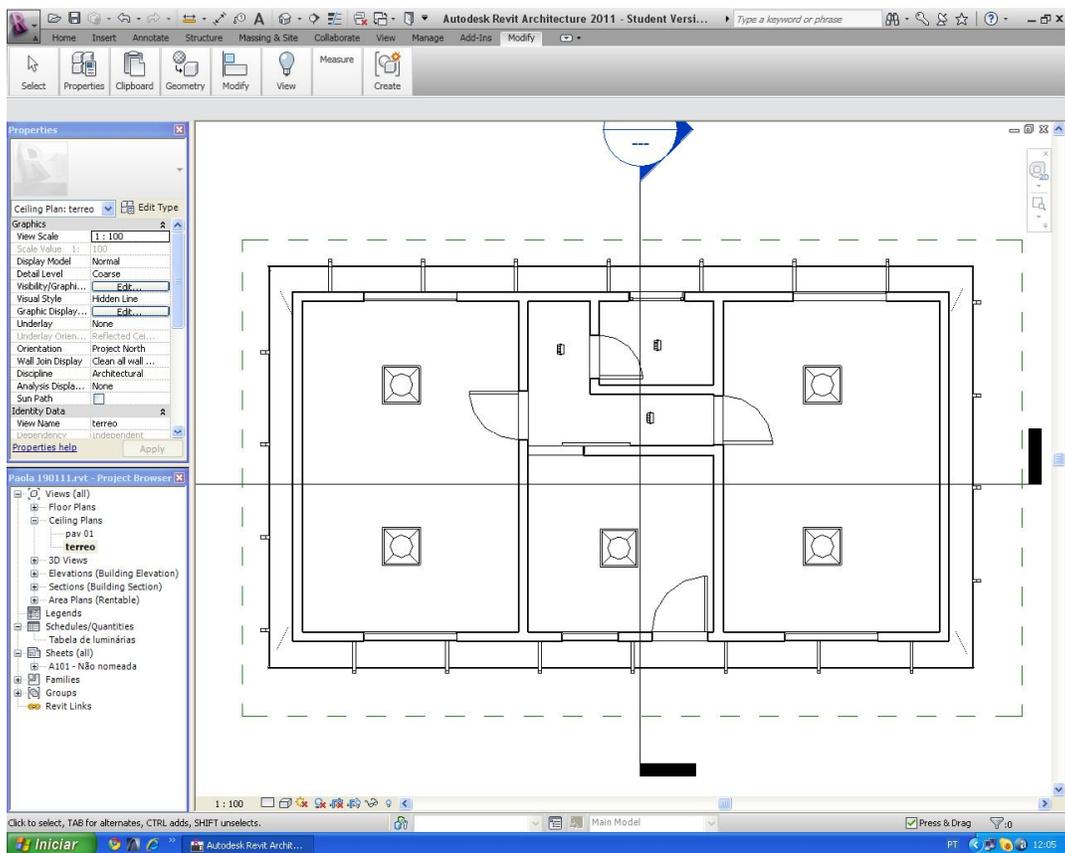


Figura 82 - Planta baixa do modelo com as luminárias no software Revit 2011.

Fonte: Autoria nossa.

A imagem seguinte, Figura 83, apresenta todas as luminárias inseridas com o tipo, quantidade e potência das lâmpadas que compõem cada uma delas. As luminárias foram selecionadas de acordo com as especificações da Tabela 8, proposta no item 7.1.1, Processo 1, 4<sup>o</sup> passo.

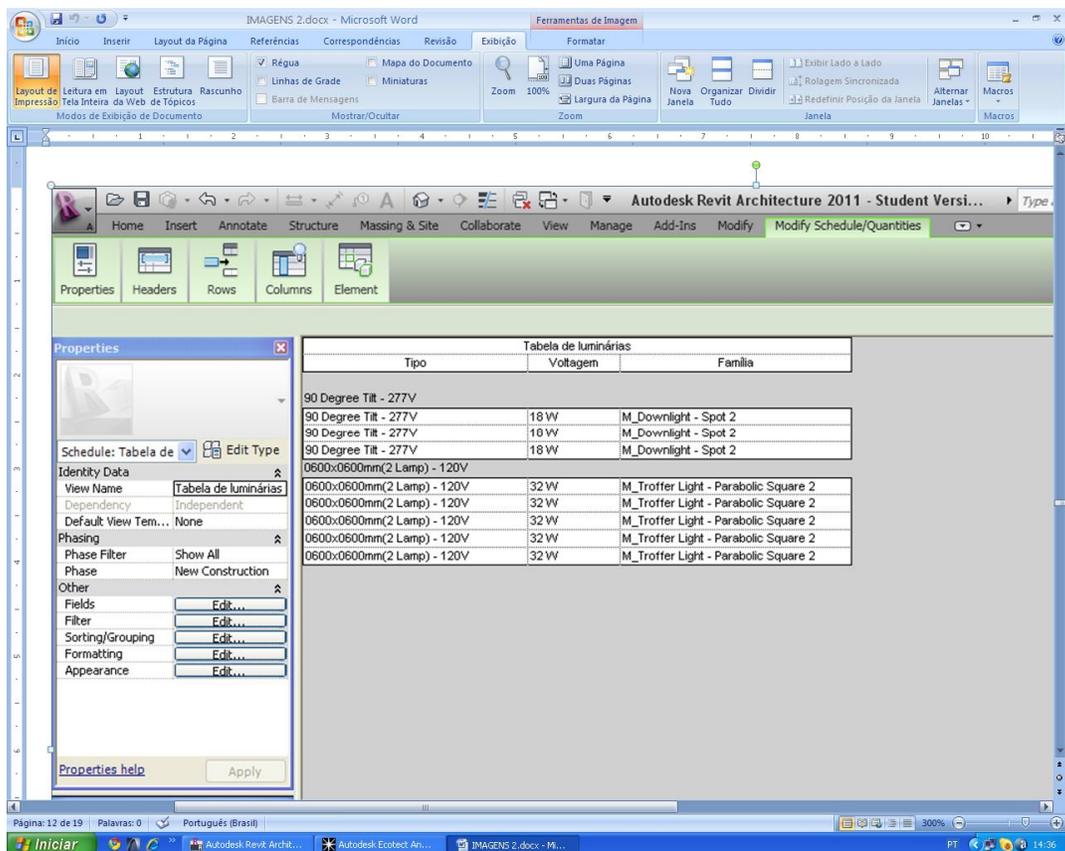


Figura 83 - Tabela com as luminárias e lâmpadas inseridas no modelo no *software* Revit 2011.

Fonte: Autoria nossa.

### ➤ 3º passo

No terceiro passo o modelo desenvolvido no *software* Revit 2011 será configurado e salvo no esquema gbXML para exportação.

Após a modelagem, inserção das luminárias, definição das zonas e configuração das propriedades do local, o modelo foi salvo no esquema gbXML, para posterior exportação. O Revit permite salvar em gbXML sem a necessidade de utilizar tutoriais e outros aplicativos.

A Figura 84 mostra o modelo sendo salvo em gbXML. É possível ver as zonas do modelo e o reconhecimento de parâmetros como o tipo da edificação, a localização, o plano em que o modelo se encontra e a fase do projeto.

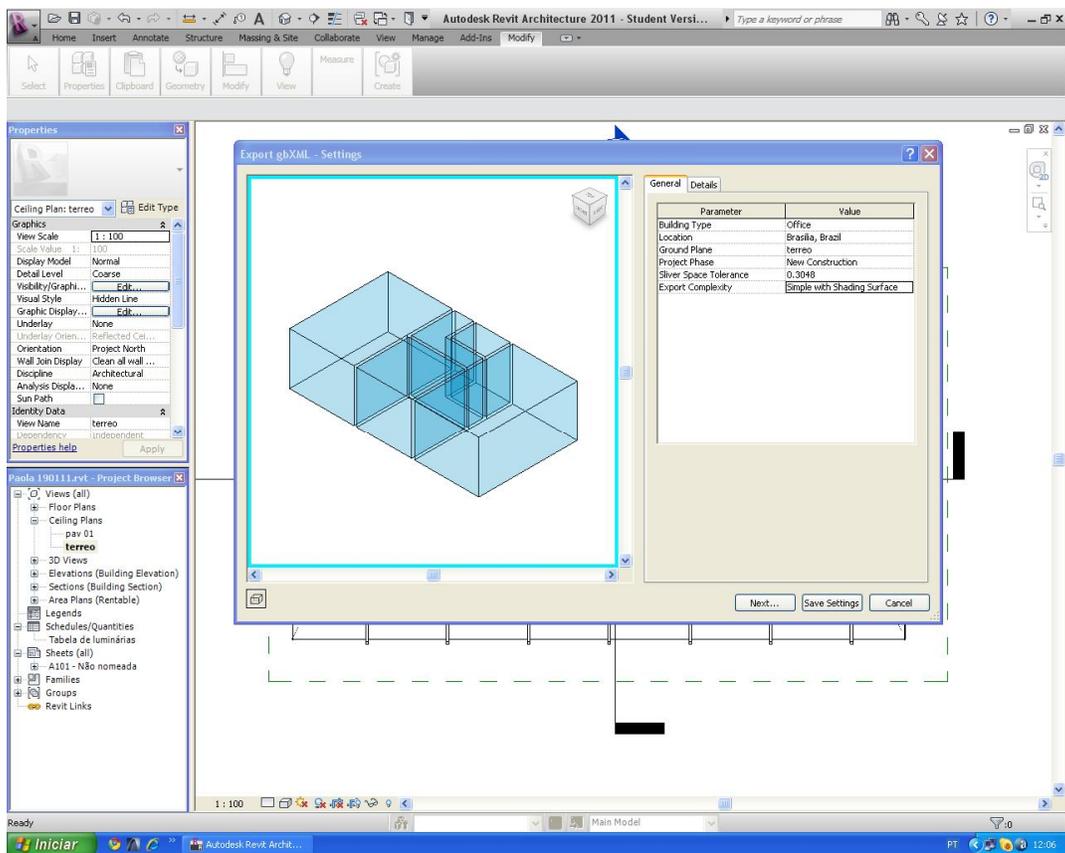


Figura 84 - Modelo salvo no esquema gbXML no software Revit 2011.

Fonte: Autoria nossa.

#### ➤ 4º passo – Ecotect 2011

O modelo salvo no esquema gbXML será importado no software Ecotect 2011. Após a importação será avaliada a quantidade de retrabalho necessário para recompor o modelo e permitir a simulação.

Ao importar este arquivo, o software mostra um quadro com as zonas, os elementos que serão importados e os materiais. A figura a seguir mostra a importação do modelo para o Ecotect 2011 no esquema gbXML. Na Figura 85 é possível ver o quadro com as zonas à esquerda e os elementos importados à direita. Nesse caso, o programa reconheceu cada material como um elemento como cobertura, parede, porta, janela e piso, mas não reconheceu as propriedades destes elementos. Também foi reconhecida a nomenclatura das luminárias, mas não suas propriedades.

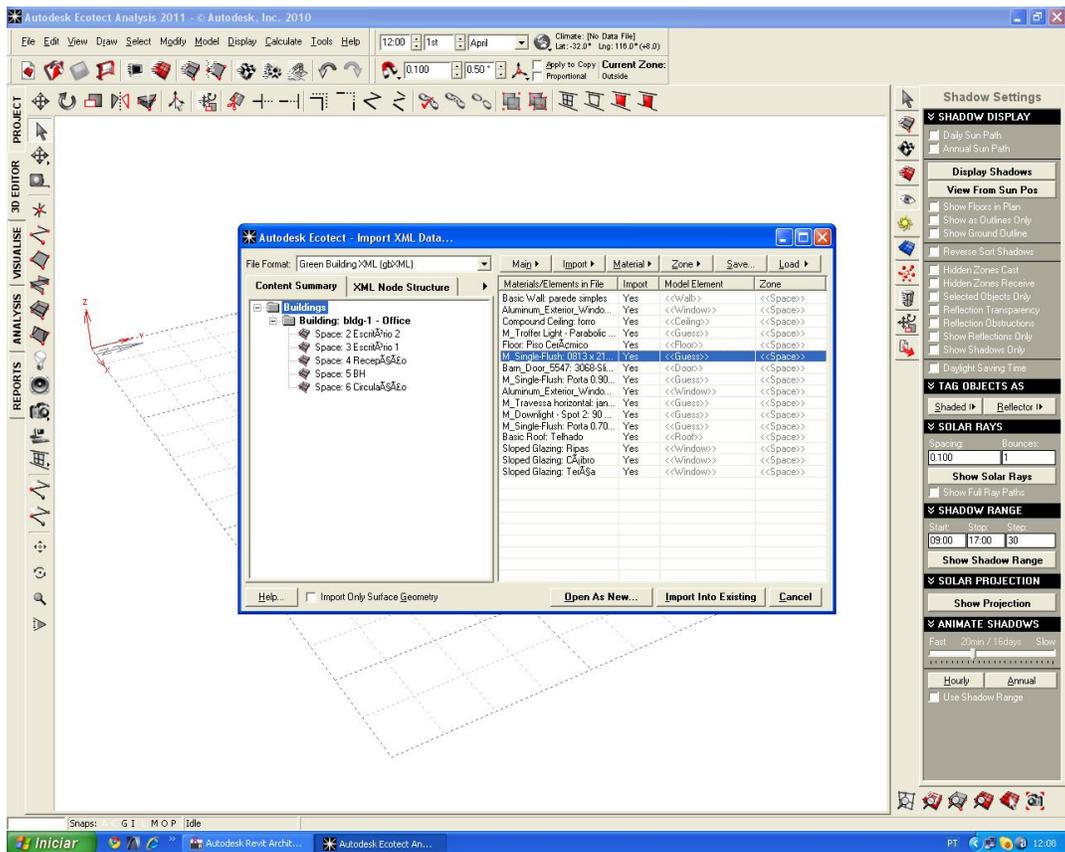


Figura 85 - Importação do modelo no esquema gbXML para o software Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

O modelo importado mostra as zonas com os vãos de janelas e portas, o telhado e as luminárias, como pode ser visto na Figura 86. De forma diferente do ocorrido com o *ArchiCAD 14* onde as luminárias não foram importadas. Apesar de o *Revit 2011* permitir a inserção dos dados das luminárias como o seu tipo, o arquivo no padrão IES com os dados fotométricos e a especificação das lâmpadas, o *Ecotect* não reconhece essas informações. Portanto, se o usuário tem o objetivo de realizar análises energéticas em softwares de simulação ambiental, terá um retrabalho caso configure a iluminação no *Revit*. As luminárias mostradas na figura a seguir, resultado da importação do *Revit*, representam apenas um objeto sem a inclusão de seus dados.

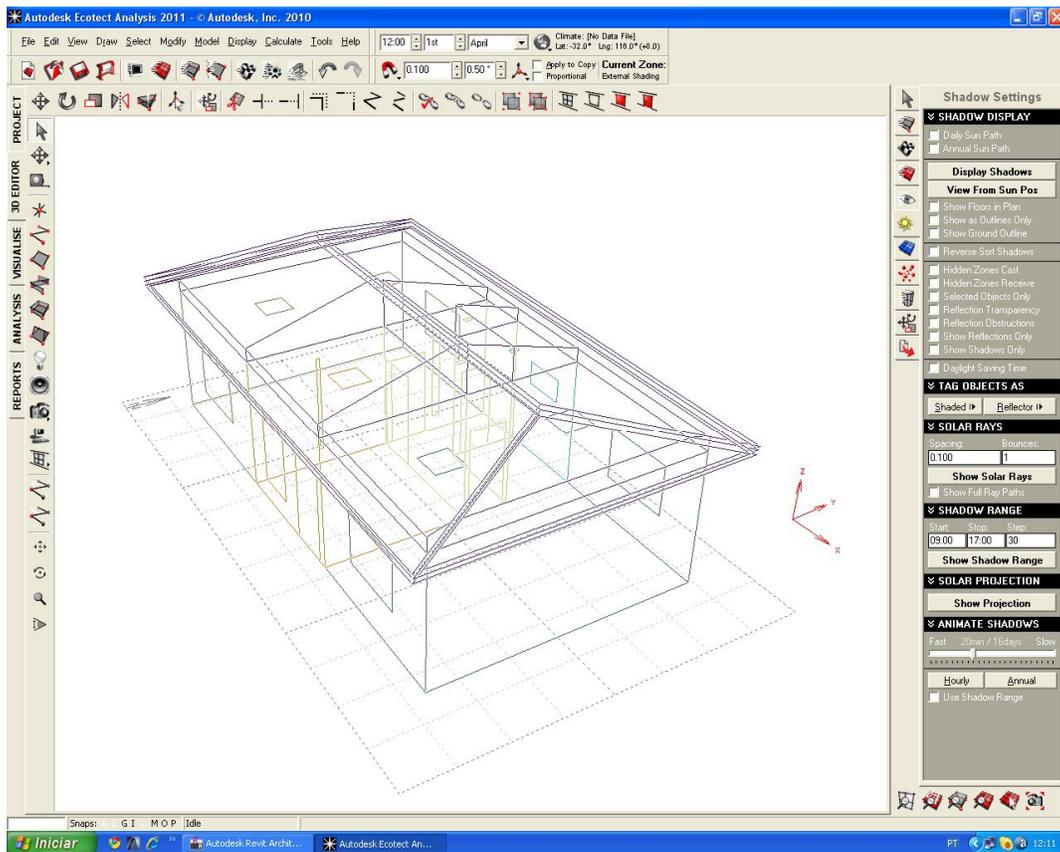


Figura 86 - Modelo no software Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

O referenciamento geográfico, com a latitude, longitude e o norte, foi reconhecido na importação. A Figura 87 mostra, no quadro relativo à importação, a localização.

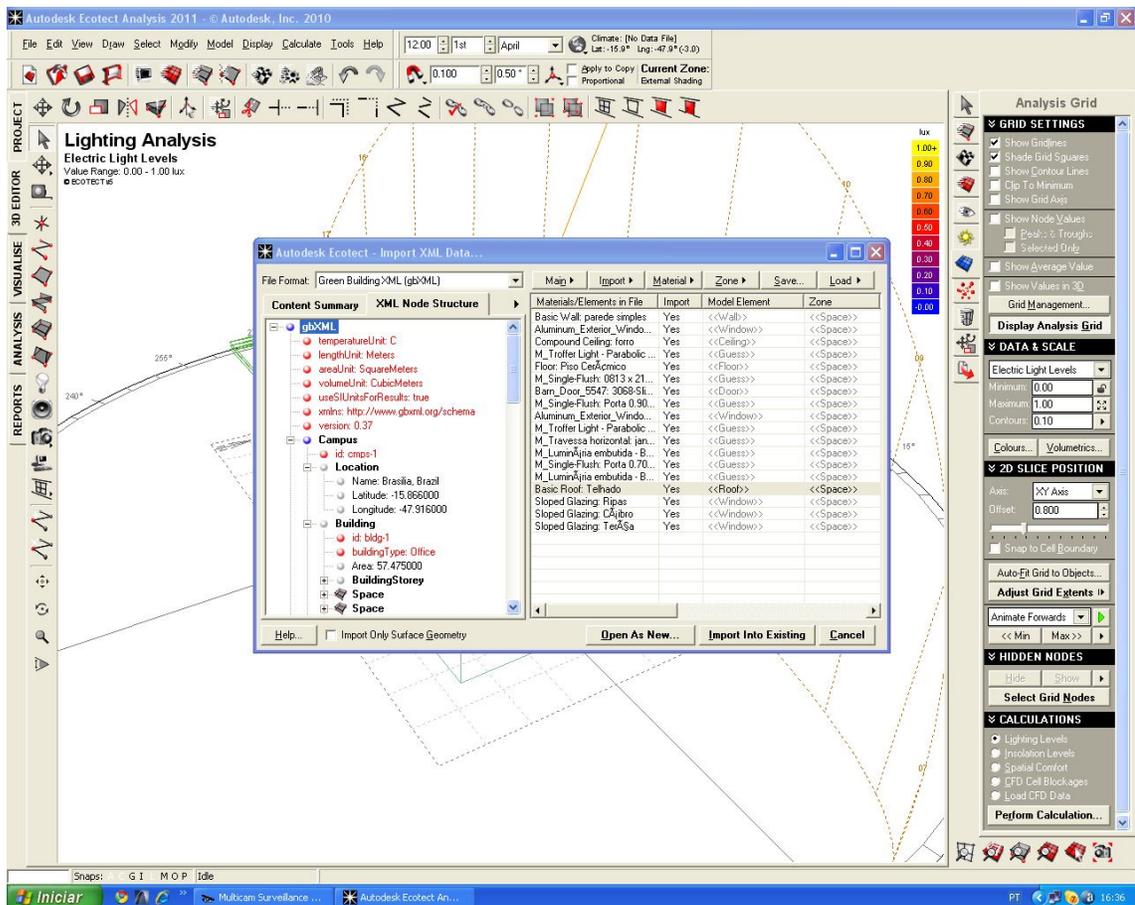


Figura 87 - Referenciamento geográfico do modelo no software Ecotect 2011

Fonte: Autoria nossa.

Como as luminárias inseridas no modelo no software Revit 2011 não foram importadas no Ecotect 2011, é necessário que o processo seja feito nesse software.

A figura a seguir ilustra o modelo no Ecotect 2011 com as luminárias inseridas de acordo com o especificado no Revit. O desenho das luminárias transportadas do Revit foi utilizado para guiar a locação das luminárias no Ecotect. Após essa locação, foram apagadas.

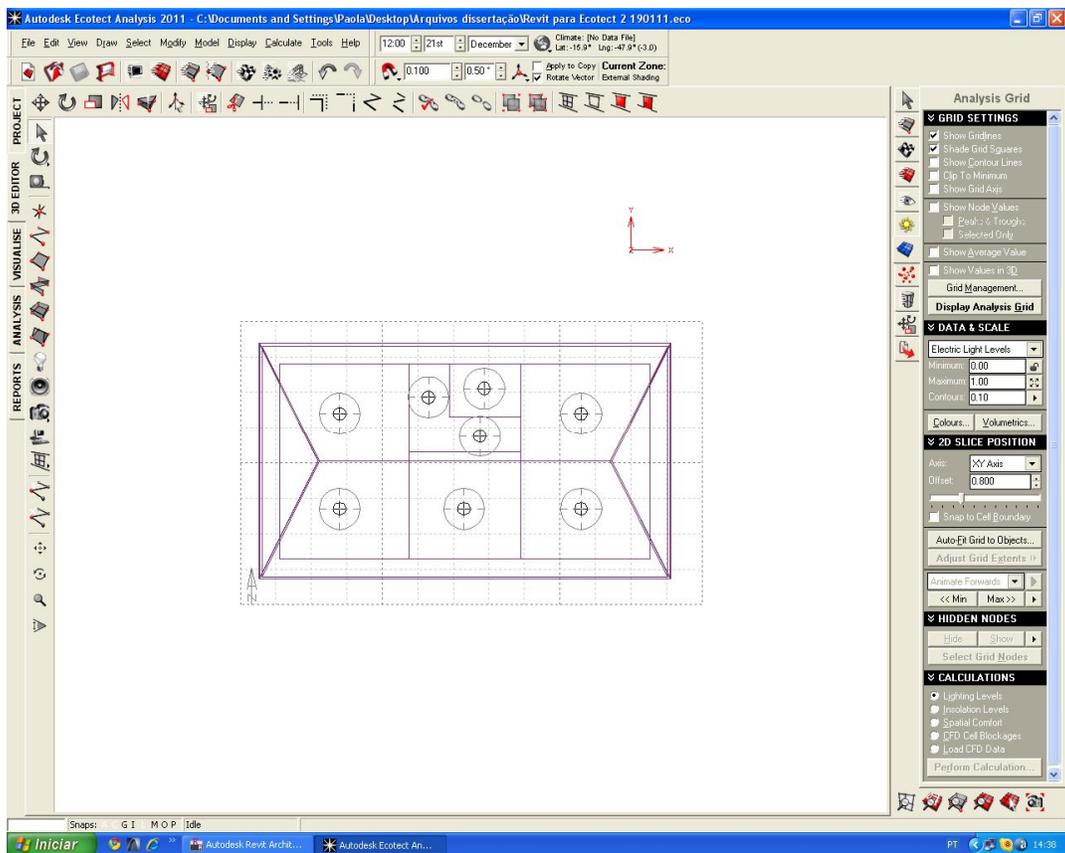


Figura 88 - Modelo em planta baixa com as luminárias no *software* Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

Com o mesmo intuito descrito no Processo 1 do experimento, item 7.1.1, 4º passo, foram feitas modificações no modelo e acrescentado um anteparo físico:

- 1) foram reduzidos à metade os vãos de janelas do Escritório 1 e do Escritório 2 voltados para a fachada oeste, pior situação para a insolação;
- 2) a edificação teve nova implantação;
- 3) foi acrescentado um anteparo físico, uma árvore, com o objetivo de contribuir para bloquear os raios solares na fachada oeste, onde a incidência ocorre na parte da tarde.

A figura a seguir mostra a reorientação do modelo com relação ao norte e à inserção da árvore.

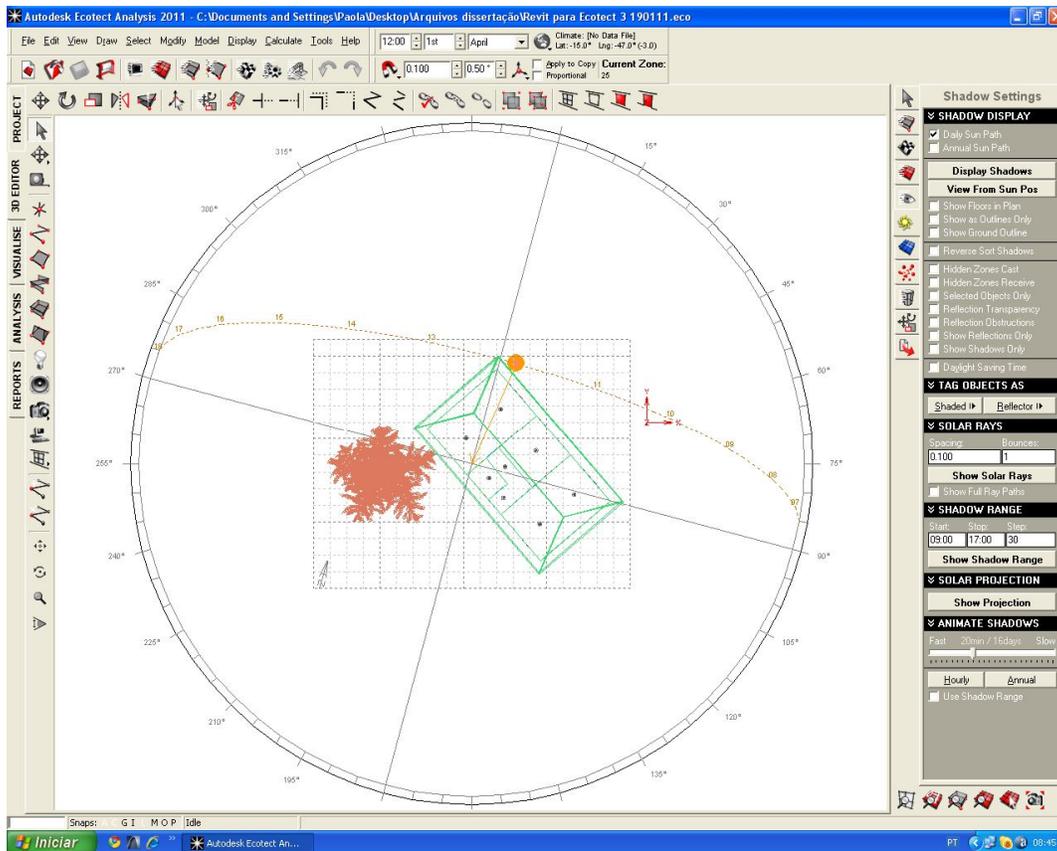


Figura 89 - Modelo em planta baixa com nova orientação e a inserção de uma árvore no *software* Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

A Figura 90, a seguir, é importante por mostrar o modelo no *Ecotect* 2011 com os vãos de janelas da fachada onde há incidência do sol da tarde reduzidos à metade e a inclusão de uma árvore.

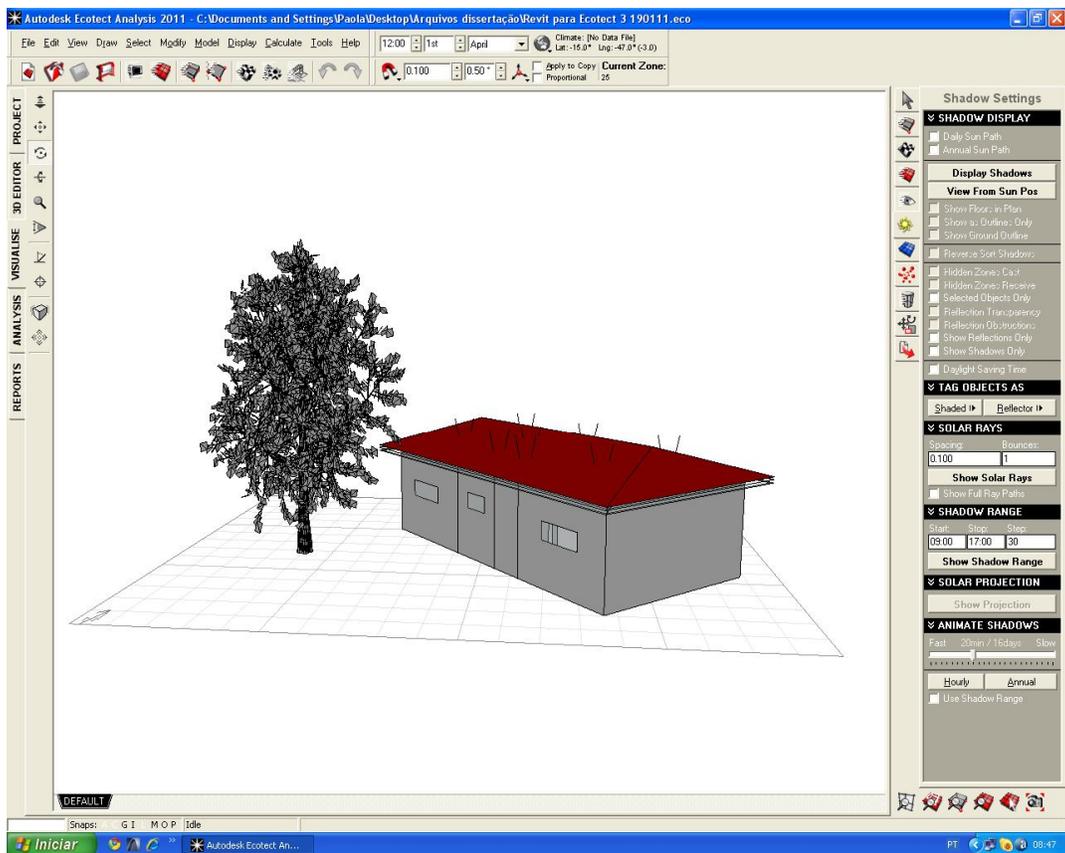


Figura 90 - Modelo em perspectiva com modificações nos vãos de janelas e inserção de uma árvore no *software* Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

Após as configurações e a inserção de luminárias, o modelo está preparado para as simulações da luz natural e artificial.

O modelo importado a partir do programa *Revit* 2011 necessitou ser reconfigurado após a importação no *Ecotect* 2011. A Tabela 16 mostra os elementos e dados que foram novamente configurados após importação no simulador ambiental de acordo com a simbologia: (S) para sim e (N) para não.

Tabela 16 – Elementos transportados na exportação do *software* Revit para o Ecotect.

<b>EXPORTAÇÃO DO REVIT PARA O ECOTECT</b>		
	<b>Elementos</b>	<b>Revit para o Ecotect</b>
<b>GEOMETRIA</b>	Luminárias	(1)
	Piso	S
	Paredes	S
	Cobertura	S
	Vãos de portas e janelas	S
	Zonas	S
<b>MATERIAIS</b>	Piso	(2)
	Paredes	(3)
	Cobertura	(4)
	Portas e janelas	(5)
	Referenciamento geográfico	S

Fonte: Autoria nossa.

- (1) O *Ecotect* reconheceu as luminárias, mas não suas entidades geométricas.
- (2) O piso foi reconhecido no *Ecotect* como um elemento “Piso”. Não foi atribuído um material para este elemento.
- (3) As paredes foram reconhecidas no *Ecotect* como um elemento “Parede”. Não foi atribuído um material para este elemento.
- (4) A cobertura foi reconhecida no *Ecotect* como um elemento “Cobertura”. Não foi atribuído um material para este elemento.
- (5) As portas e janelas foram reconhecidas no *Ecotect* como os elementos “Porta” e “Janela”. Não foram atribuídos materiais para estes elementos.

Uma análise da tabela permite observar que necessitaram ser reconfigurados as luminárias e os materiais. Esse retrabalho representa insucesso na interoperabilidade entre estes dois programas.

➤ 5º passo – *Ecotect* 2011

Nessa etapa será feita a simulação da luz natural e da luz artificial do modelo.

a) Simulação da luz natural

Inicialmente foi feita a simulação da luz natural do modelo, considerando o dia primeiro de abril, às 12h. A figura abaixo, Figura 91, mostra a simulação.

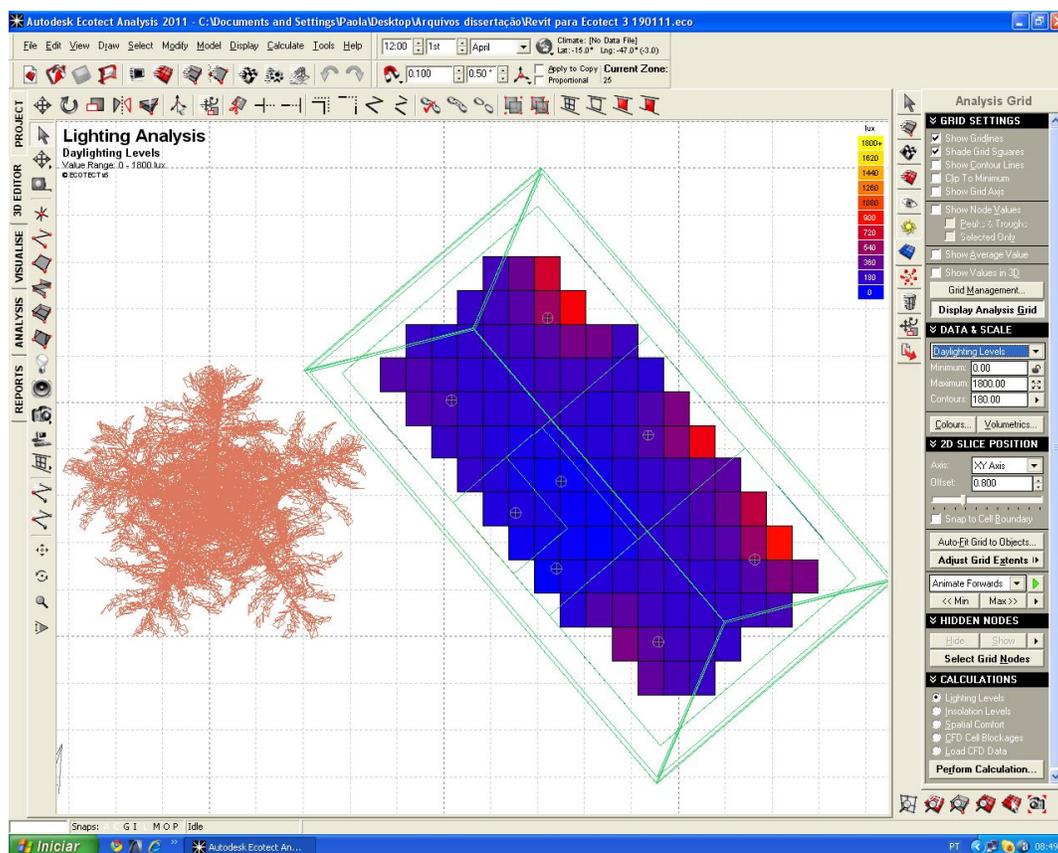


Figura 91 - Modelo em planta baixa com a simulação da luz natural no *software* Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

A figura acima mostra o resultado da simulação da luz natural no modelo. A luz proveniente das luminárias não foi considerada nesse cálculo.

O gráfico mostra uma incidência de luz natural de, no máximo, 720lux. Esse valor corresponde à incidência somente próxima às janelas da fachada frontal. A maior parte dos ambientes possui uma incidência que varia entre 180lux e 360 lux.

Os escritórios e a recepção têm uma incidência de, até, 720lux. Esta incidência ocorre apenas próximo às janelas. A maior parte desses cômodos recebe 180lux. Conforme verificado no 5º passo do Processo 1, item 7.1.1, o valor mínimo estabelecido na NB-57 para os escritórios e a recepção é 500lux. Assim, a iluminação natural deverá ser complementada com luz artificial durante o dia.

No banheiro prevaleceu incidência mínima de 180lux. Este valor está dentro do intervalo estabelecido na NB-57, que é de 50-100lux. A circulação não teve incidência de luz natural, portanto deverá utilizar luz artificial durante o dia.

#### b) Simulação da luz artificial

A simulação da luz artificial tem como requisito as luminárias com todos os seus dados e características como sistema, quantidade, tipo e potência das lâmpadas que a compõem e o arquivo no padrão IES com informações fotométricas. As luminárias com todos os dados descritos acima foram inseridos no modelo.

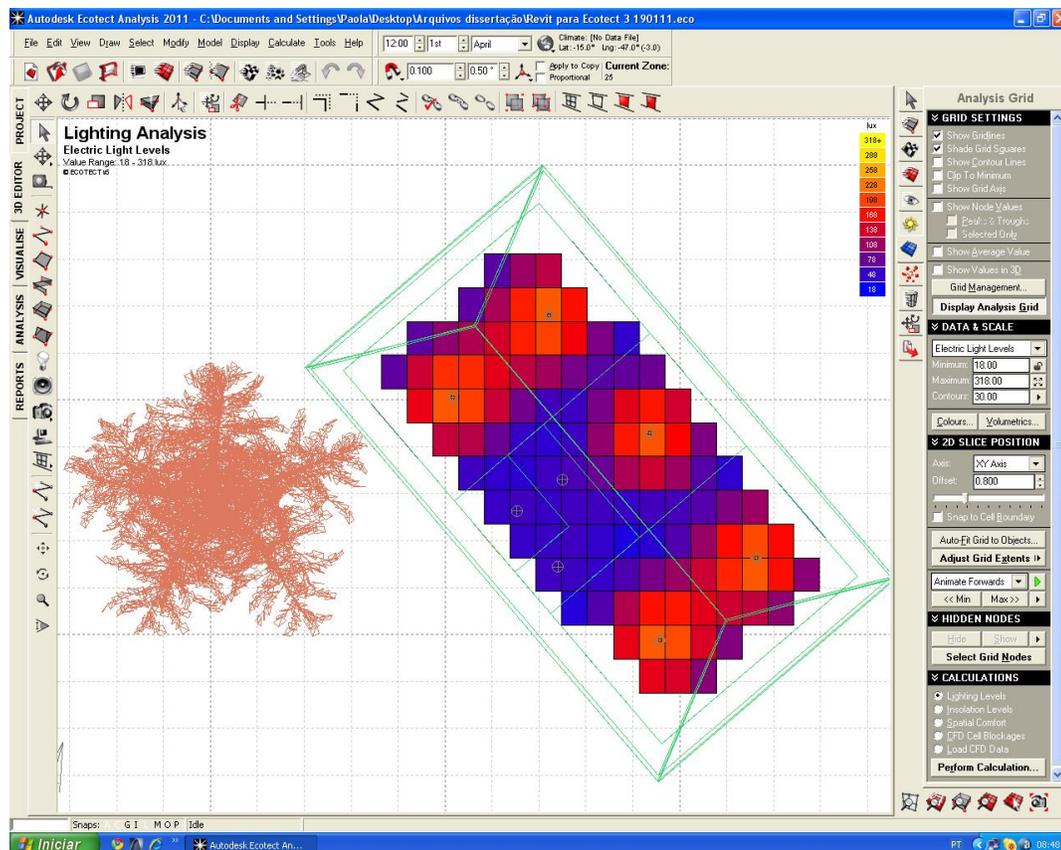


Figura 92 - Modelo em planta baixa com a simulação da luz artificial no software Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

A Figura 92 mostra o resultado da simulação da luz artificial no modelo. A luz natural não foi considerada nesse cálculo.

De acordo com a NB-57 os dois escritórios e a recepção do modelo em estudo devem ter iluminância entre 500lux e 1.000lux. O banheiro e a circulação do modelo requerem uma iluminância que varia entre 50lux e 100lux.

Como pode ser observado na análise realizada no *Ecotect*, os dois escritórios e a recepção atingiram, no máximo, 228lux. Como a NB-57 exige um mínimo de 500lux, será necessário aumentar a quantidade de luminárias nesses ambientes. O banheiro e a circulação têm uma iluminância mínima de 78lux, ou seja, está dentro dos valores estabelecidos pela Norma. A partir dessa análise foram inseridas mais cinco luminárias em cada escritório e mais três na recepção. A locação das novas luminárias foi feita de acordo com o *layout* definido no item 7.1.1, Processo 1, 1º passo. Foram inseridas nas áreas de trabalho, onde é importante atingir 500lux de iluminância. Após a colocação das luminárias foi feita nova simulação da luz artificial. O resultado desse novo processo pode ser visto na Figura 93.

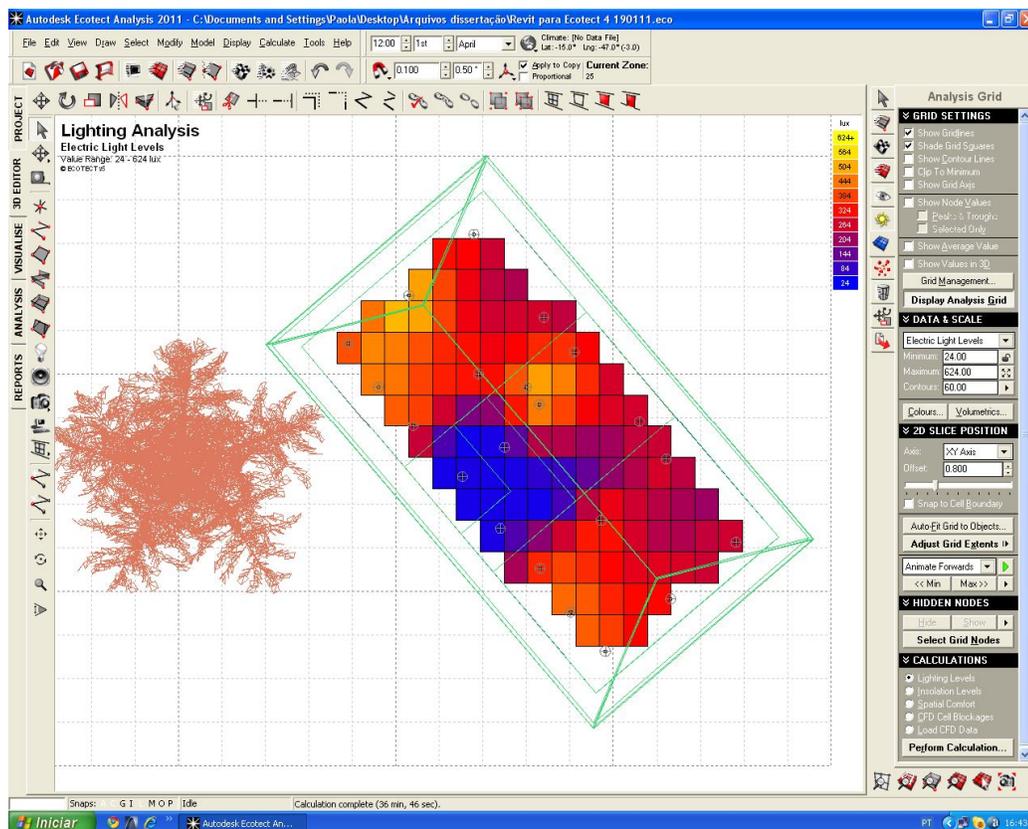


Figura 93 - Modelo em planta baixa com a nova simulação da luz artificial no software Ecotect 2011.

Fonte: Autoria nossa.

Pelo gráfico no canto direito superior pode ser visto que nas áreas de trabalho do escritório 1, escritório 2 e recepção, há uma incidência de 504lux. Portanto, o valor está dentro do exigido pela ABNT. Após essa análise pode ser feita nova tabela com a quantidade de luminárias e a modificação na potência das lâmpadas.

Tabela 17 - Tabela com cômodos e respectivas luminárias inseridas no modelo.

<b>CÔMODOS</b>	<b>LUMINÁRIAS</b>
Escritório 1	7 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W cada
Recepção	4 luminárias com 1 lâmpada fluorescente compacta de 32W
Escritório 2	7 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W cada
Circulação	2 luminárias com 1 lâmpada fluorescente compacta de 18W cada
Banheiro	1 luminária com 1 lâmpada fluorescente compacta de 18W

Fonte: Autoria nossa.

O resultado da simulação da luz artificial no modelo importado no *Ecotect* 2011 a partir do *Revit* 2011 é o mesmo apresentado no *Ecotect* 2011 a partir do *ArchiCAD* 14.

➤ 6º passo – *Ecotect* 2011

Essa etapa consiste em exportar o modelo de volta para o *software Revit* 2011. Para realizar essa operação de transferência para o BIM é preciso buscar um formato que permita a exportação no simulador ambiental e outro, em comum, que permita a importação nos sistemas BIM. Serão pesquisados os formatos disponíveis nos dois sistemas.

Após inserção de luminárias e modificação de vãos de janelas foi feita a tentativa de exportação do modelo do *Ecotect* para o *Revit* 2011. Inicialmente foram testados os formatos de imagem .jpg e .bmp. Entre estes o único que apresentou como resultado uma imagem foi o formato .bmp. Apesar desta não ser editável e não estar em escala, representa quaisquer tipos de representações ortogonais e perspectivas no *Revit* 2011.

Outro formato testado foi o .dxf. Este é mais adequado à transferência por pertencer aos sistemas CAD. É o único formato, que não é de imagem, comum aos

dois programas. Não é possível selecionar nenhuma de suas linhas separadamente.

A Figura 94 mostra a importação. O *Revit* 2011 transportou a árvore e reconheceu a implantação do modelo. As luminárias não foram importadas e os vãos de janelas reduzidos não poderão ser redimensionados, pois não são vistos. Foi feita tentativa de importar as vistas e a perspectiva do modelo, mas o programa só reconhece a planta baixa..

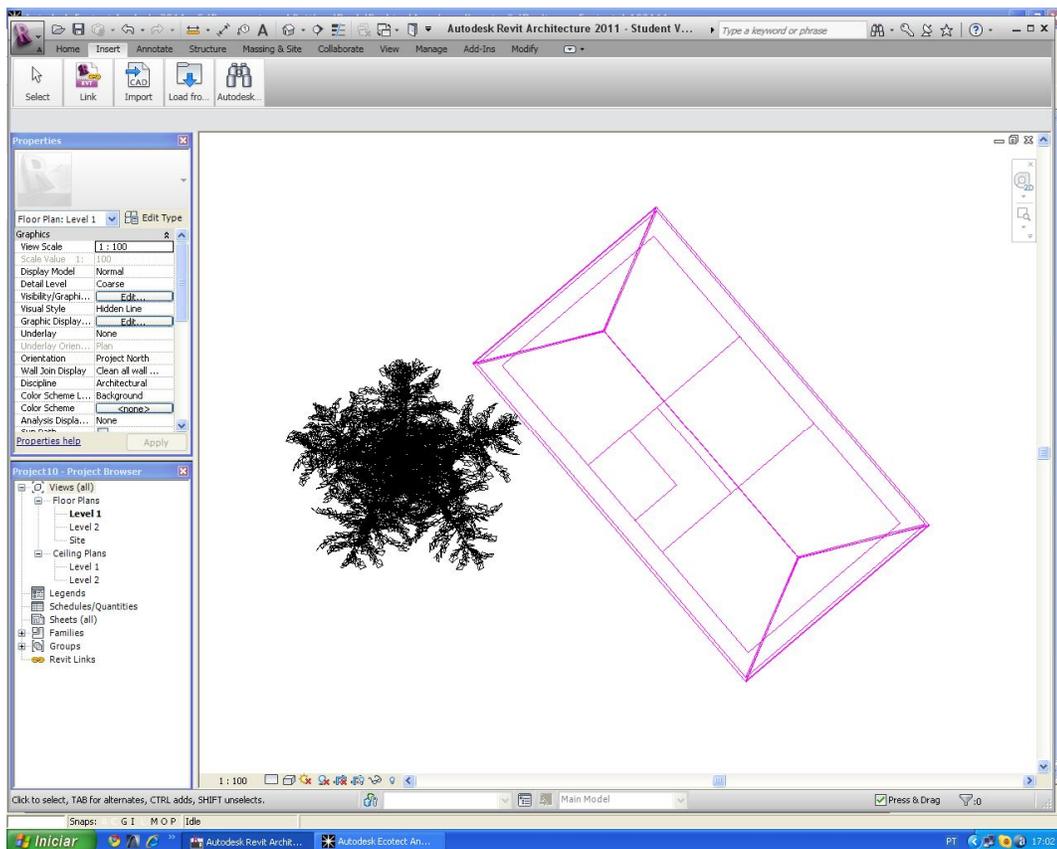


Figura 94 - Modelo importado no formato .dxf do *software* Ecotect 2011 para o Revit 2011.  
Fonte: Autoria nossa.

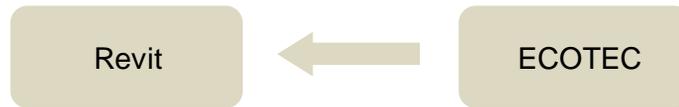
➤ 7º passo – Autodesk *Ecotect* 2010

Essa etapa consiste em avaliar a interoperabilidade entre os *softwares* *Revit* 2011 e *Ecotect* 2011.

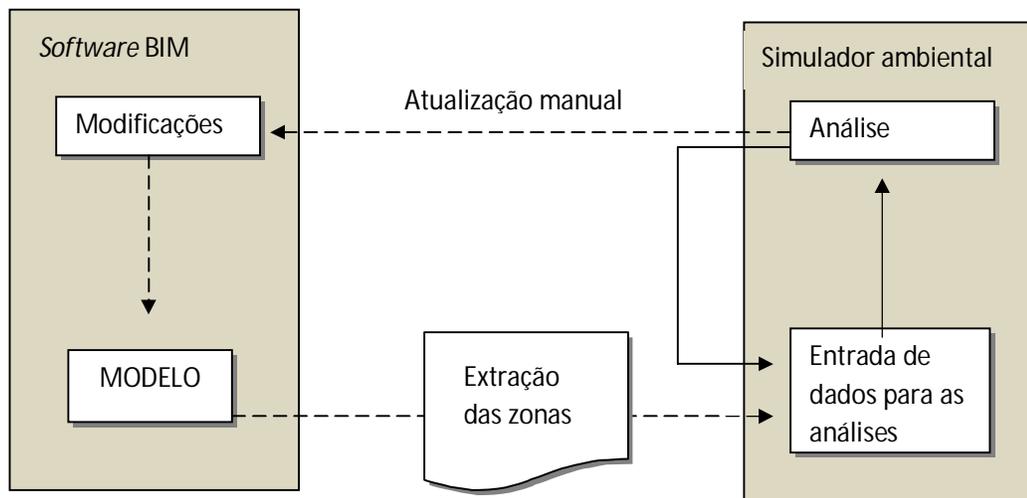
a) Avaliação 1:



A transferência do programa *Revit* 2011 para o simulador *Ecotect* 2011 utilizando o esquema gbXML foi feita diretamente. O formato exportou somente o necessário para as análises, ou seja, as zonas com os vãos de paredes, a cobertura e o piso. Nesse caso as luminárias também foram transportadas, apesar de seus dados não terem sido reconhecidos.



A transferência do simulador *Ecotect* 2011 para o *Revit* 2011 foi possível através dos formatos .bmp e .dxf. Mas só é possível visualizar o modelo em planta baixa. Diante dessas análises pode ser concluído que a transferência de dados entre os programas *Revit* 2011 e *Ecotect* 2011 possui fluxo único



———— Compartilhamento eletrônico de dados

----- Troca / entrada de dados manualmente

Figura 95 - Análise do fluxo de informações baseado em um fluxo único.

Fonte: Autoria nossa.

A figura acima, Figura 95, mostra um processo de transferência de dados com fluxo único que, assim como ocorreu nos processos 1 e 2 da **Etapa 1**,

acontece nesse **Processo 3** de transferência entre os *softwares Revit 2011 e Ecotect 2011*

Os resultados das exportações realizadas neste item mostram que não há interoperabilidade completa entre o programa dos sistemas BIM *Revit 2011* e o simulador *Ecotect 2011*, apesar de ambos pertencerem à mesma empresa, Autodesk. A Tabela 18 apresenta um resumo da avaliação da interoperabilidade no **Processo 3** da **Etapa 2**, com relação à transferência dos elementos e dados necessários às simulações da luz natural e da luz artificial.

Tabela 18 – Tabela dos elementos e dados incompatíveis na transferência entre *Revit 2011* e *Ecotect 2011*.

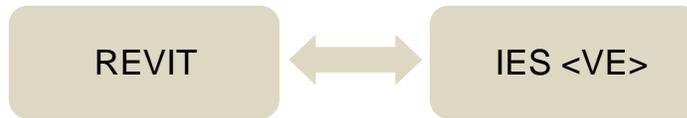
ELEMENTOS E DADOS INCOMPATÍVEIS NA TRANSFERÊNCIA ENTRE REVIT 2011 E ECOTECT 2011	
Não podem ser definidos no <i>Revit</i>	-
Definido no <i>Revit</i> e interpretado de maneira incorreta no <i>Ecotect</i>	Luminárias, lâmpadas e materiais
Definido no <i>Revit 2011</i> e não reconhecido no <i>Ecotect</i>	-

Fonte: Autoria nossa.

A tabela permite concluir que as luminárias, lâmpadas e materiais configurados no *Revit 2011* não foram interpretados de maneira correta no simulador demonstrando que os sistemas BIM ainda trabalham com modelos de dados e linguagens inconsistentes.

#### 7.2.2 Processo 4: Exportação do *Revit 2011* para o IES <VE> 6.1.1

O **Processo 4** será desenvolvido de acordo com os passos descritos no capítulo anterior. Os passos consistem em: desenvolver o modelo no *software Revit 2011* e exportá-lo para o IES <VE> 6.1.1. Após a exportação serão realizadas as simulações da luz natural e da luz artificial. Caso seja necessário, o modelo será modificado para reduzir o consumo energético. O modelo com as possíveis modificações será exportado de volta para os sistemas BIM.



Nesse caso partimos do 4º passo, pois os três primeiros foram desenvolvidos no **Processo 3**. Estes consistem em modelar no *software* BIM, inserir as luminárias e exportar o modelo para o simulador ambiental.

➤ 4º passo – IES <VE>

O arquivo do *Revit* 2011 salvo no esquema gbXML será importado no *software* IES <VE> 6.1.1. Após a importação será avaliada a quantidade de retrabalho necessário para recompor o modelo e permitir a simulação. O arquivo gbXML foi, então, importado no *software* de análise ambiental IES <VE> 6.1.1, como mostra a Figura 96.

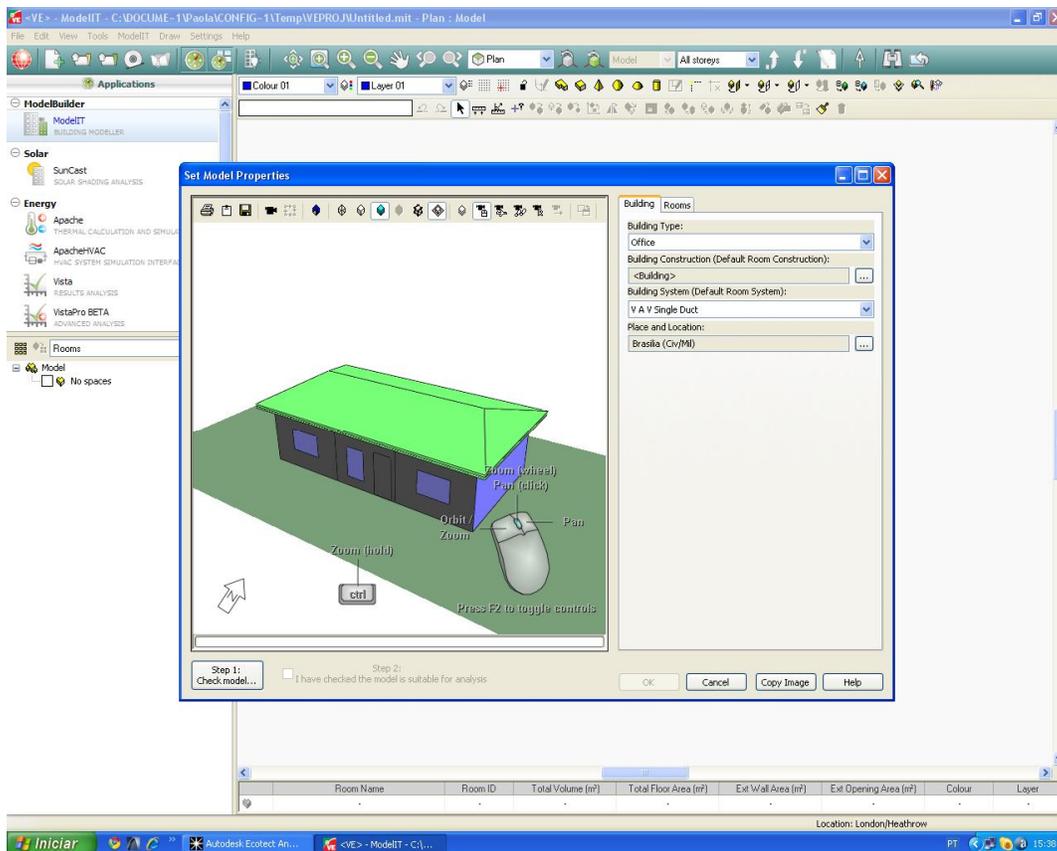


Figura 96 - Importação do modelo do *software* Revit 2011 para o IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

Assim como ocorreu no *Ecotect 2011*, o *software* transferiu os elementos necessários às análises, zonas com os vãos de esquadrias, o piso e o telhado, e as luminárias. Nesse caso o programa reconheceu o referencial geográfico, Brasília, já configurado no *Revit 2011*.

Os materiais não foram reconhecidos. Foi necessário reconfigurá-los. Foram especificados de acordo com o quadro de materiais instituído no item 7.1.2, 1º passo. A Figura 97 mostra a configuração dos materiais no *software* IES <VE> 6.1.1.

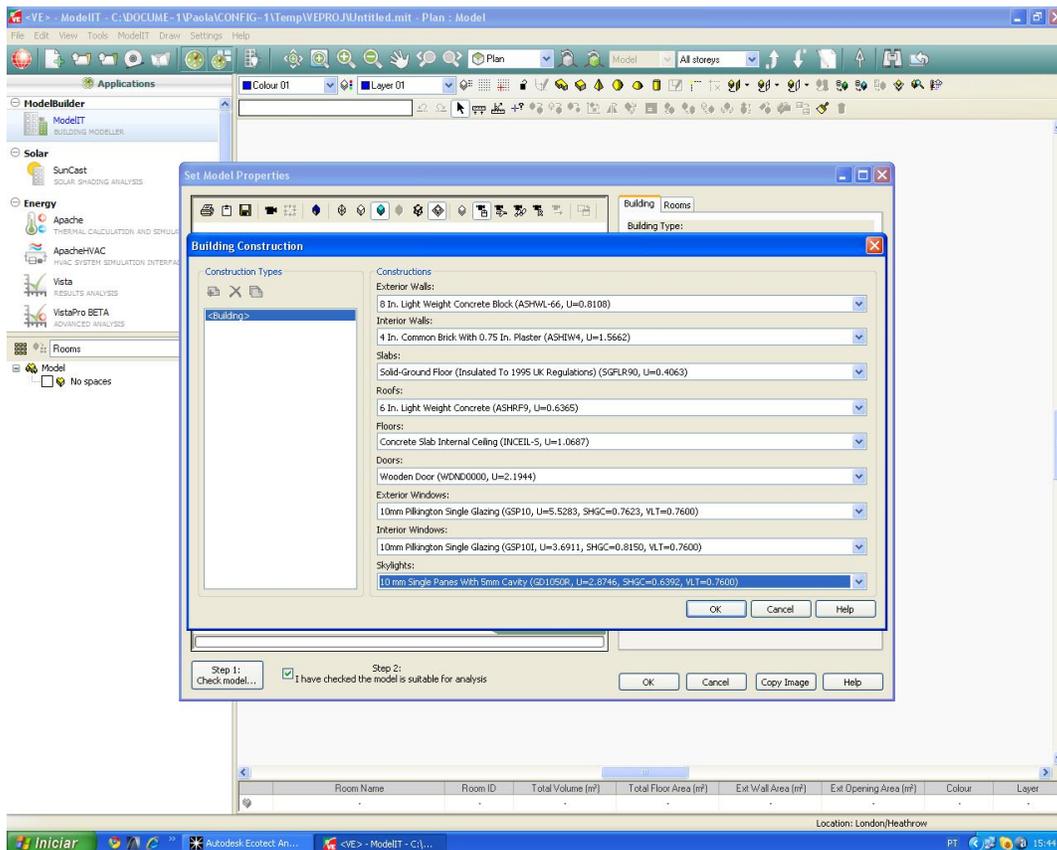


Figura 97 - Configuração dos materiais no *software* IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

O IES <VE> 6.1.1 mostra um quadro contendo todas as informações relativas às zonas e informa se há necessidade de alguma modificação para que se obtenha sucesso na simulação. Nesse caso não foi necessário modificar as zonas. Quando isso ocorre o programa destaca, em amarelo, onde há uma falha. A Figura 98 mostra o quadro com o resumo das zonas.

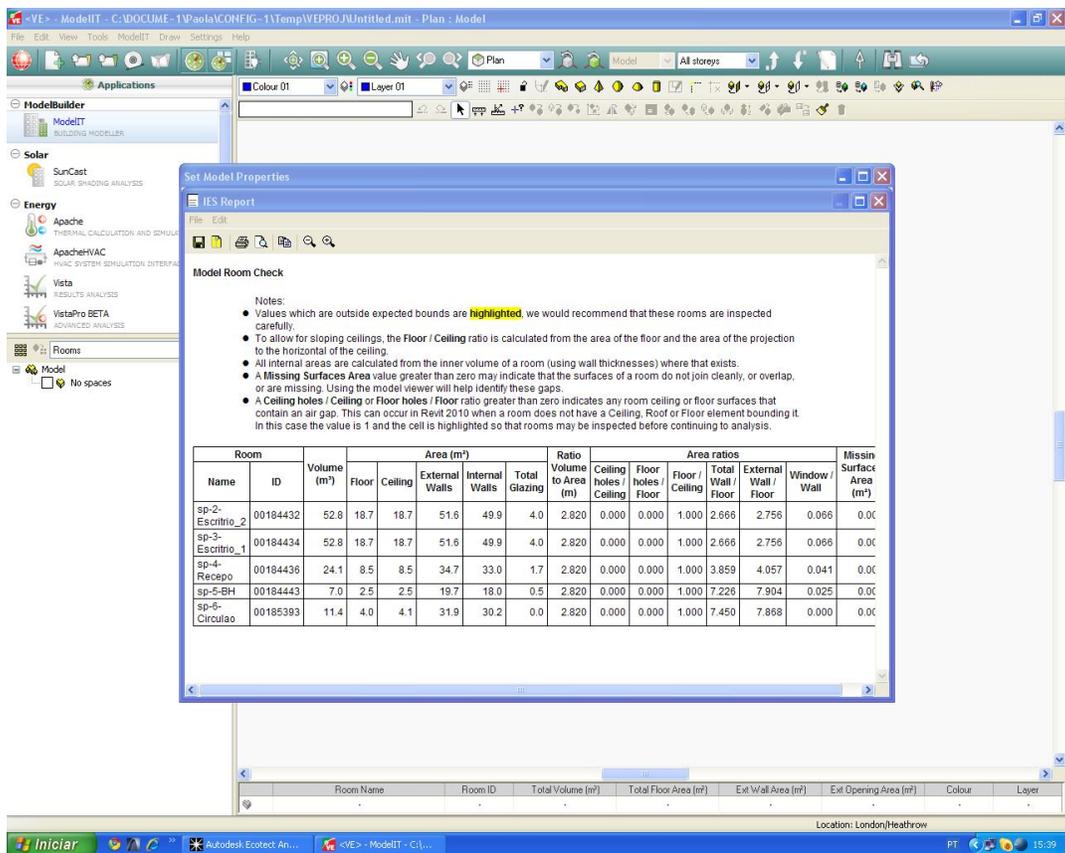


Figura 98 - Quadro com as propriedades das zonas no IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

De acordo com a tabela, a transferência foi bem-sucedida, pois os dados das cinco zonas estão corretos e não há nenhum destaque em amarelo.

As luminárias foram importadas do *Revit* 2011, de forma diferente do ocorrido na importação para o IES <VE> a partir do *ArchiCAD* 14, onde estas não foram importadas. Entretanto, como foi visto, no *Revit* foram inseridos os dados das luminárias como o seu tipo, o arquivo no padrão IES com os dados fotométricos e a especificação das lâmpadas, mas o IES <VE> não reconheceu estas informações. O programa importou as luminárias como vãos de janela. A Figura 99 mostra a zona “Escritório 1” com a representação das luminárias. Pela imagem é possível ver que as luminárias funcionam como vãos.

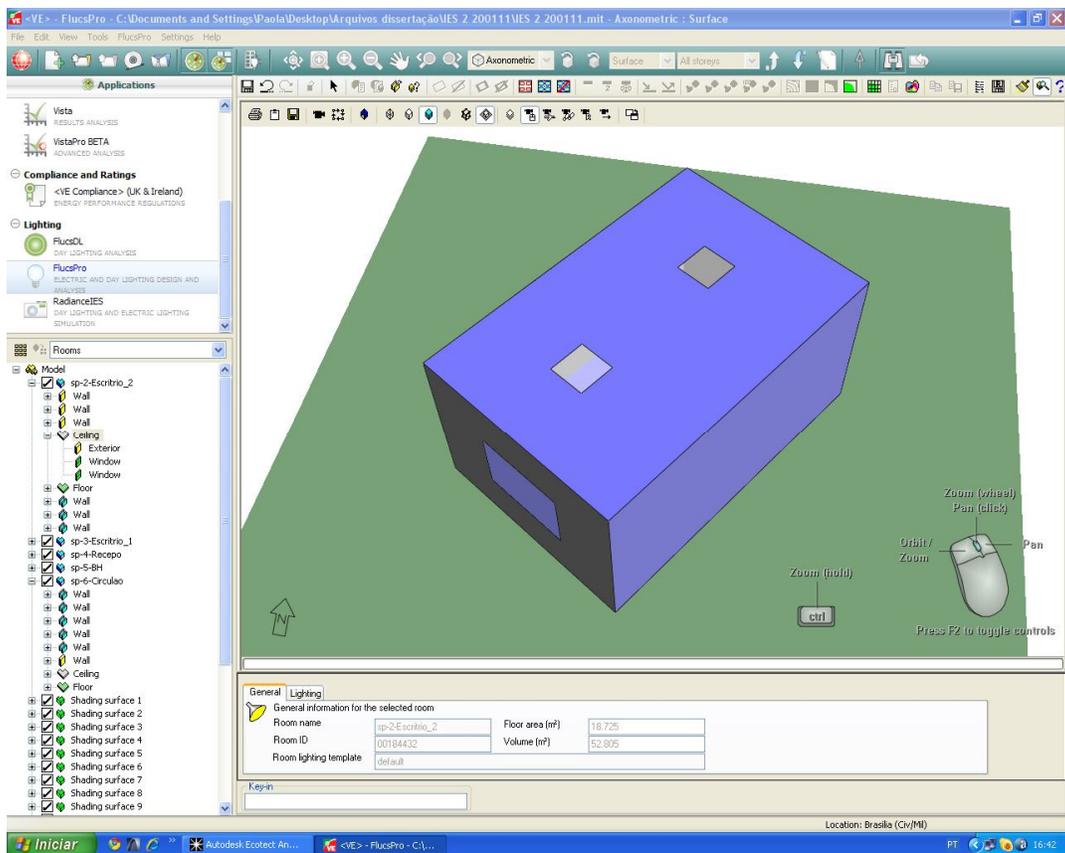


Figura 99 - Zona “Escritório 1” renderizada no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

A Figura 100 mostra o modelo tridimensional em *wireframe*, ou “estrutura de arame”, com as cinco zonas definidas. Ela possibilita ver o modelo importado com as luminárias.

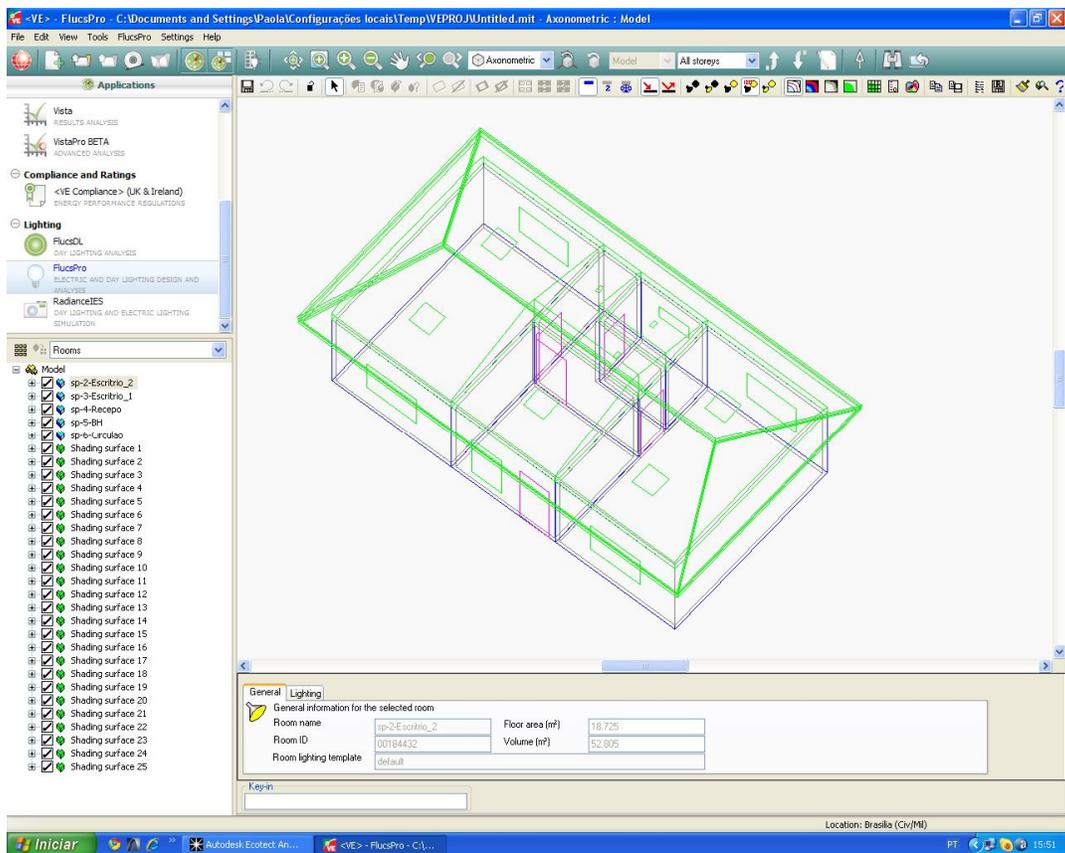


Figura 100 - Modelo em “wireframe” no IES <VE> 6.1.1

Fonte: Autoria nossa.

O programa reconheceu as luminárias como vãos de janelas. Portanto, foi necessário inseri-las novamente. Antes da inserção, as luminárias, ou melhor, os vãos de janela importados foram apagados, pois influenciariam na análise.

A especificação de luminárias no IES <VE> 6.1.1 ocorre de forma diferente do *Ecotect*. No IES <VE> 6.1.1 é necessário especificar os tipos de luminárias com a quantidade de lâmpadas que serão utilizadas em cada luminária, a quantidade de lux que deve incidir no ambiente e o arquivo no padrão IES com os dados das luminárias. O próprio *software* aprova ou não a luminária e sugere a quantidade e distribuição dessas no ambiente. As luminárias serão especificadas no 5º passo, no item que se refere à simulação da luz artificial.

Com o mesmo intuito descrito no Processo 1 do experimento, item 7.1.1, 4º passo, foram sugeridas modificações no modelo e a inserção de anteparo físico, antes de inserir as luminárias:

- 1) reduzir à metade os vãos de janelas do Escritório 1 e do Escritório 2 voltados para a fachada oeste, pior situação para a insolação;
- 2) nova orientação da edificação em relação ao norte;
- 3) acrescentar um anteparo físico, uma árvore, com o objetivo de contribuir para bloquear os raios solares na fachada oeste, onde a incidência ocorre na parte da tarde.

Foi visto no item 7.1.2, Processo 2, 4º passo, que a sugestão 1, redução dos vãos de janelas, pode ser feita de duas formas: reduzir os vãos no *ArchiCAD* e importar novamente o modelo para o IES <VE> ou apagar os vãos existentes e redesenhá-los no próprio IES <VE>. Foi escolhida a segunda forma para a modificação, ou seja, os vãos foram redesenhados no programa. A sugestão 3, inserção de uma árvore, não foi possível, o programa não aceita a importação da árvore. A Figura 101 mostra o modelo após as mudanças.

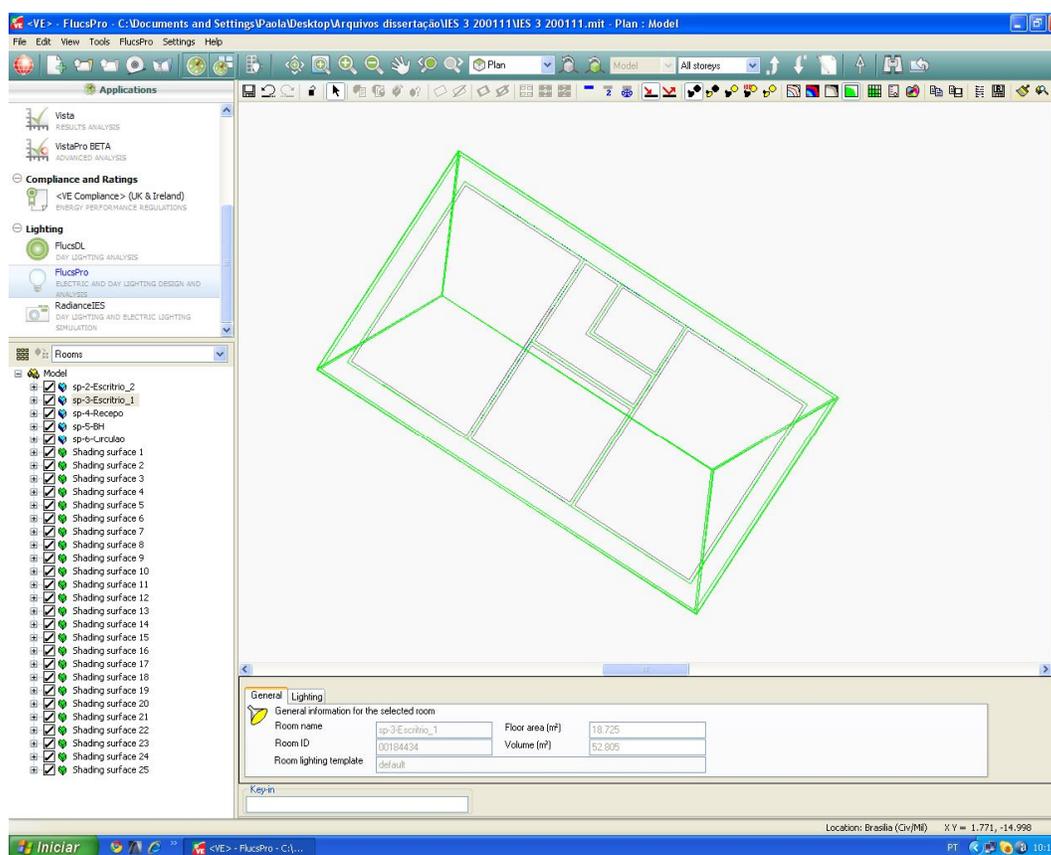


Figura 101 - Planta baixa do modelo após as modificações no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

O modelo em perspectiva, Figura 102, mostra os vãos de janela do “Escritório 1” e do “Escritório 2” reduzidos à metade. Após as modificações propostas o modelo está preparado para as simulações.

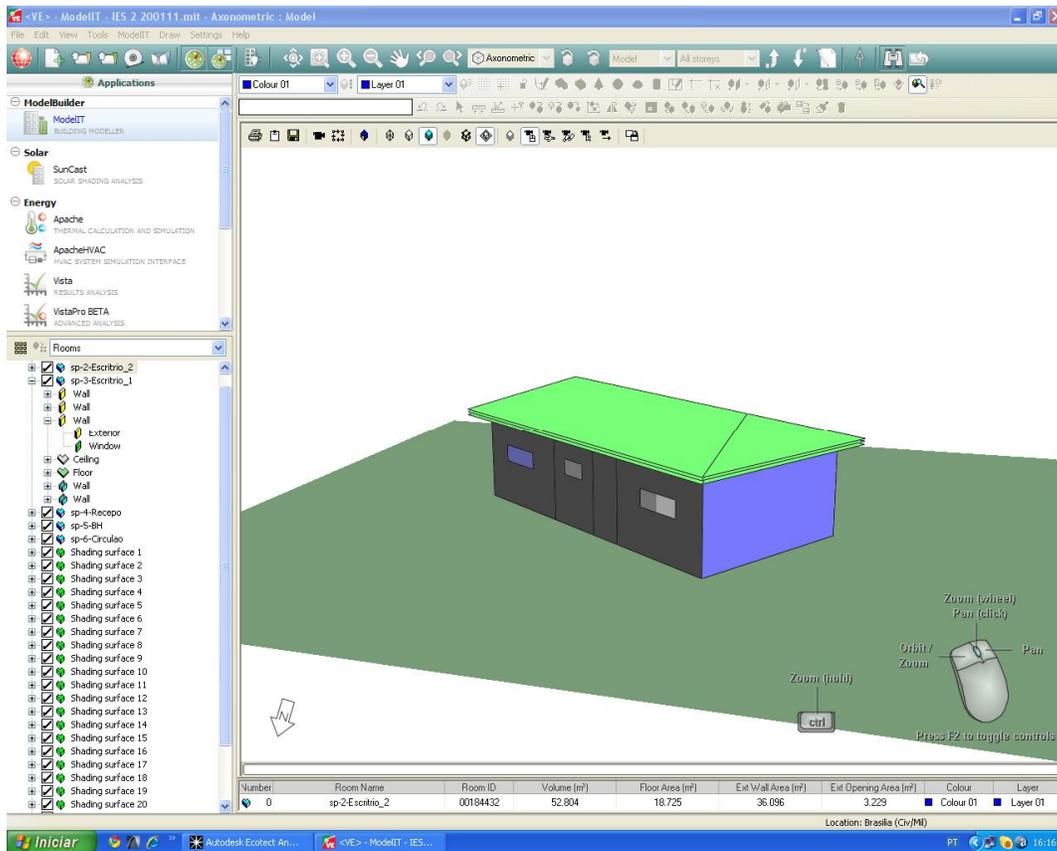


Figura 102 - Planta baixa do modelo após as modificações no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

Após as configurações e a inserção de luminárias, o modelo está preparado para as simulações da luz natural e artificial.

O modelo importado a partir do programa *Revit* 2011 necessitou ser reconfigurado após a importação no IES <VE>. A Tabela 19 mostra os elementos e dados que foram novamente configurados após importação no simulador ambiental de acordo com a simbologia: (S) para sim e (N) para não.

Tabela 19 – Elementos transportados na exportação do *software* Revit para o IES <VE>.

EXPORTAÇÃO DO REVIT PARA O IES <VE>		
	Elementos	Revit para o IES <VE>
GEOMETRIA	Luminárias	(1)
	Piso	S
	Paredes	S
	Cobertura	S
	Vãos de portas e janelas	S
	Zonas	S
MATERIAIS	Piso	N
	Paredes	N
	Cobertura	N
	Portas e janelas	N
	Referenciamento geográfico	S

Fonte: Autoria nossa.

(1) O IES <VE> reconheceu as luminárias como vãos. As suas características inseridas no *Revit* não foram interpretadas no simulador.

Uma análise da tabela permite observar que necessitaram ser reconfigurados as luminárias e os materiais. Esse retrabalho representa insucesso na interoperabilidade entre estes dois programas.

➤ 5º passo – IES <VE> 6.1.1

Nessa etapa será feita a simulação da luz natural e da luz artificial do modelo.

a) Simulação da luz natural:

Após a importação do modelo foi feita a simulação da luz natural do modelo, conforme mostra a Figura 103. O IES <VE> 6.1.1 simula a incidência de luz natural em cada zona e, após a simulação apresenta um quadro com a quantidade máxima e mínima de incidência, medida em lux. O gráfico localizado no lado direito da tela do programa mostra a quantidade de lux de acordo com a cor.

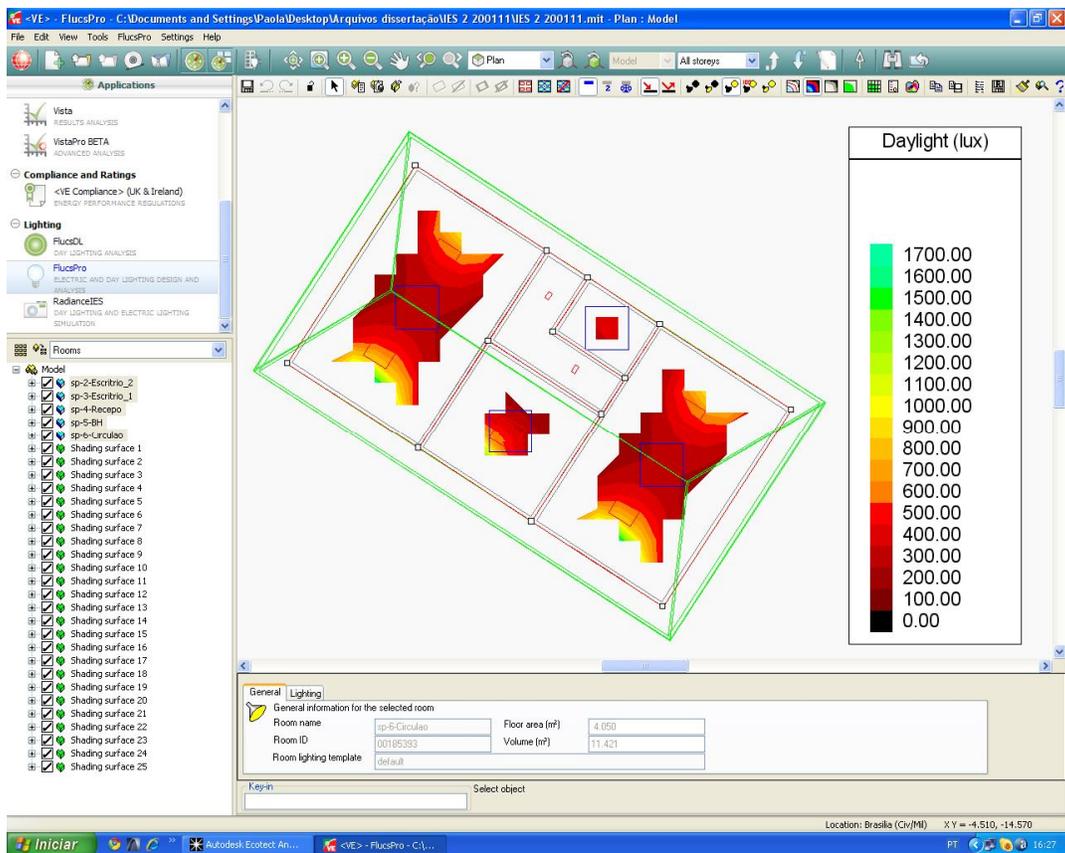


Figura 103 - Modelo tridimensional com a simulação da luz natural no *software* IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

A figura acima mostra a simulação da luz natural no modelo. Como foi colocado no item 7.1.2, Processo 2, 5º passo, após a simulação da luz natural no IES <VE>, o programa apresenta um quadro para cada compartimento com o resultado da simulação. As figuras 104, 105 e 106 apresentam o quadro relativo a cada ambiente.

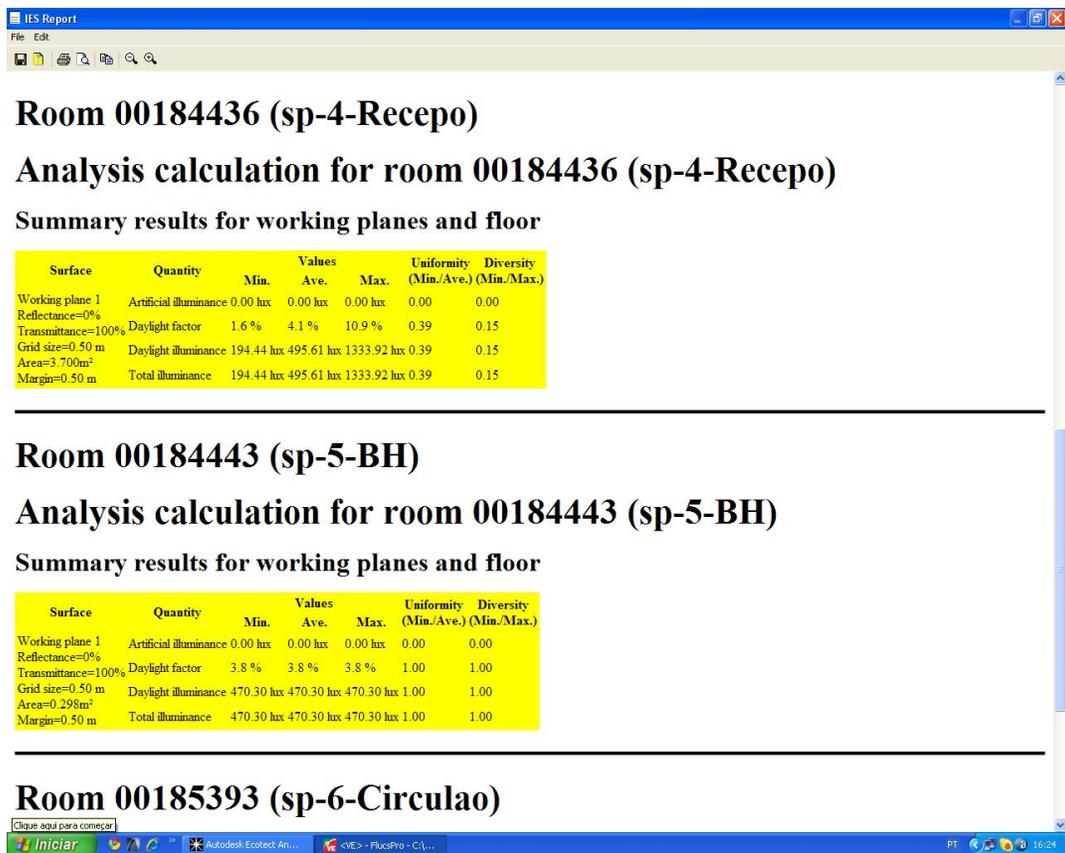


Figura 104 - Quadro com valores de incidência de luz natural, medida em lux, nas zonas “Banheiro” e “Escritório 1”.

Fonte: Autoria nossa.

O quadro acima mostra o resultado da simulação da luz natural para as zonas “Recepção” e “Banheiro”. Na “Recepção”, de acordo com o quadro, foi obtido um valor mínimo de 194.44lux e um valor máximo de 1.333.92lux. De acordo com a norma da ABNT NB-57 este ambiente deve ter no mínimo 500lux e, no máximo, 1.000lux. Assim, a recepção do modelo em estudo possuiria quantidade de lux suficiente para utilizar somente a luz natural durante o dia, entretanto, na área de trabalho, que pode ser vista no *layout* do item 7.1.1, Processo 1, 1º passo, esse valor atinge 400lux. Assim, seria necessária a utilização de luz artificial nessa área.

A zona “Banheiro” apresenta valor médio de 470.30lux referentes ao resultado da simulação da luz natural. A norma da ABNT NB-57, estabeleceu um valor entre 50lux e 100lux para iluminância para este ambiente. Portanto, este cômodo não necessita de luz artificial durante o dia para complementar a luz natural.

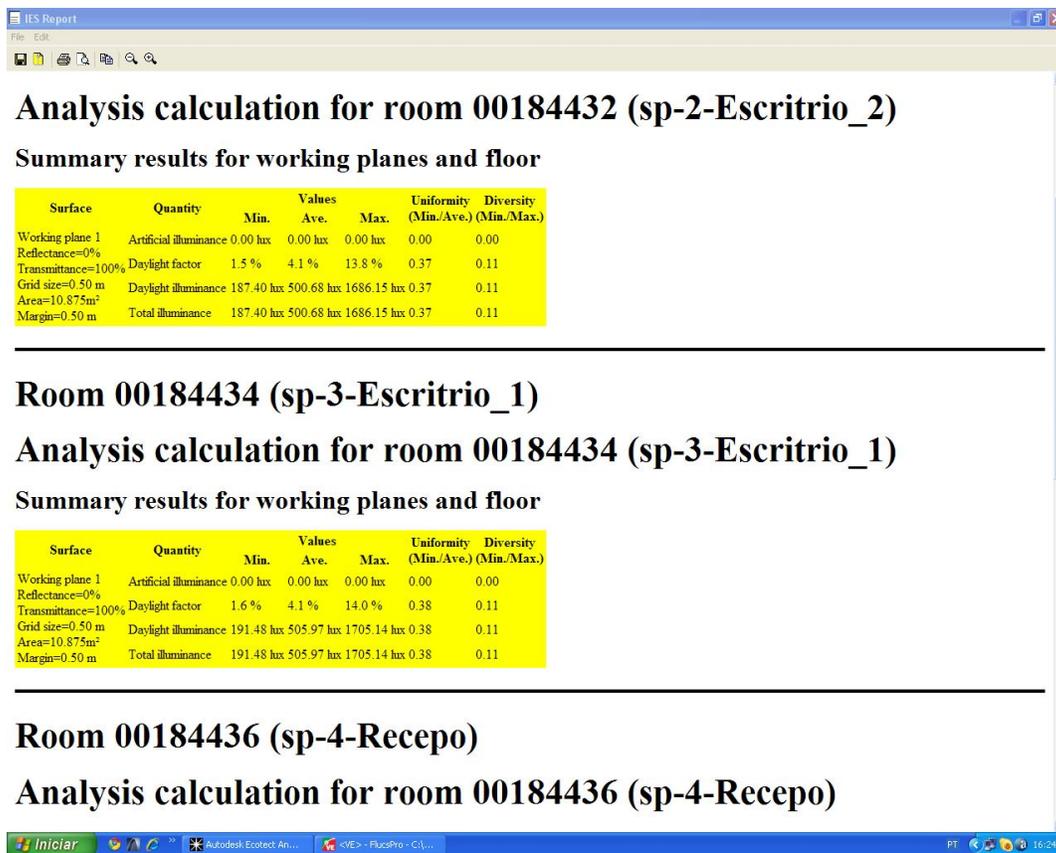


Figura 105 - Quadro com valores de incidência de luz natural, medida em lux, nas zonas “Escritório 2” e “Recepção”.

Fonte: Autoria nossa.

A zona “Escritório 2” apresenta um valor mínimo de 187.40lux e, máximo, de 1.686.15lux referentes ao resultado da simulação da luz natural. Para este ambiente deve ser considerado um valor mínimo de 500lux e, máximo, de 1.000lux. Porém, essa quantidade de lux só é realmente necessária na área de trabalho. De acordo com o layout da edificação, a mesa de trabalho se encontra em um local com incidência de luz superior a 500lux. Assim, nesse ambiente não é necessário utilizar iluminação artificial durante o dia.

A zona “Escritório 1” teve como resultado da simulação da luz natural uma quantidade mínima de 191.48lux e, máxima, de 1.705.14lux. Para este ambiente também pode ser considerado um valor mínimo de 500lux e, máximo, de 1.000lux. De acordo com o *layout* da edificação, a mesa de trabalho se encontra em um local com incidência de luz superior a 500lux. Assim, como no “Escritório 2” não é necessário utilizar iluminação artificial durante o dia.

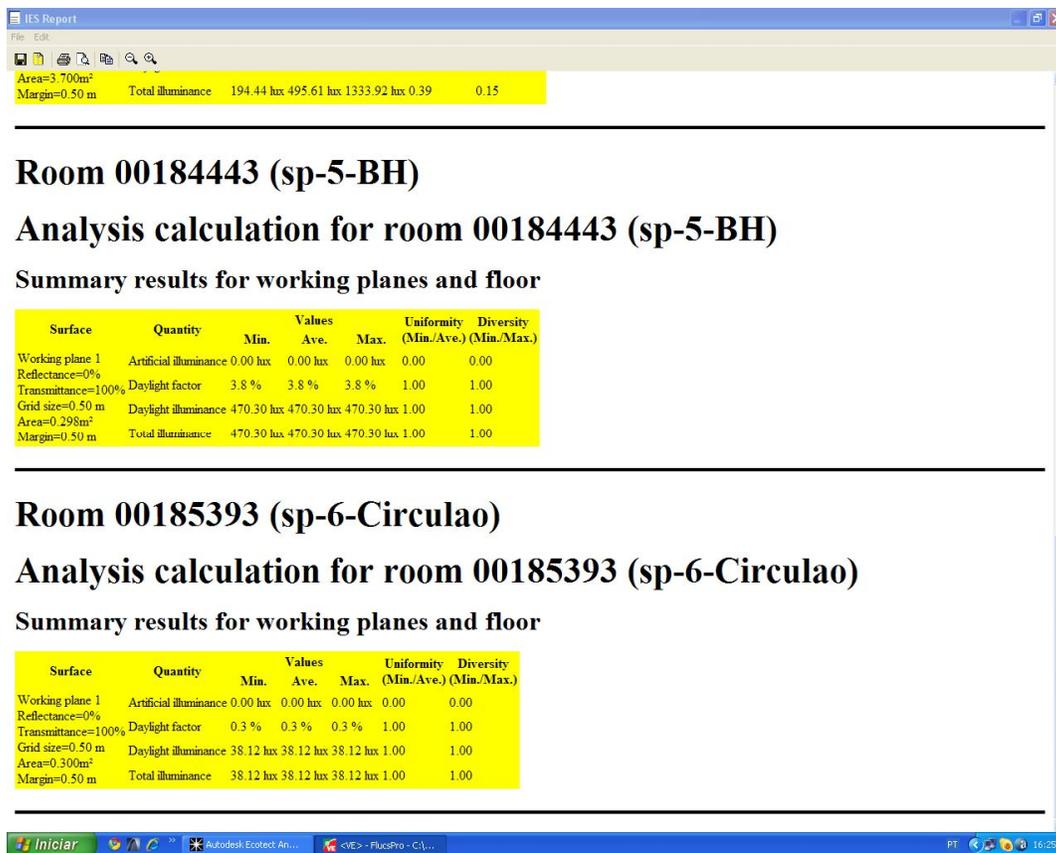


Figura 106 - Quadro com valores de incidência de luz natural, medida em lux, na zona “Circulação”.

Fonte: Autoria nossa.

A zona “Circulação” não apresenta incidência de luz natural. É justificável pois o ambiente não apresenta vãos de iluminação e ventilação. Portanto, será necessário utilizar a luz artificial também durante o dia nesse cômodo.

O resultado da simulação da luz natural obtida no *software* IES <VE> 6.1 foi diferente do obtido no *Ecotect* 2011, assim como ocorreu no mesmo processo que envolveu o *ArchiCAD* 14 e estes dois simuladores ambientais. O resultado do *Ecotect* 2011 mostra uma quantidade de lux incidindo nos ambientes inferior da apresentada pelo IES <VE>. Enquanto no *Ecotect* essa quantidade variou entre 0lux e 720lux, no IES <VE> esse intervalo foi de 0-1.705.14lux. Como o objetivo principal desse estudo é a interoperabilidade, não será pesquisada a razão dessa diferença nos resultados.

c) Simulação da luz artificial:

A simulação da luz artificial no *software* IES <VE> 6.1.1 é feita de forma oposta do *Ecotect* 2011. Assim como foi desenvolvido no item 7.1.2, Processo 2, 5º passo, inicialmente foi informado ao programa os tipos de lâmpadas e luminárias que serão utilizados através da inserção dos dados luminotécnicos dessas e a quantidade mínima de lux que deve incidir no ambiente. Em seguida a simulação da luz artificial foi executada. Após a simulação o programa gerou um quadro mostrando se aprovou ou não a luminária inserida. Esse quadro contém opções com a quantidade de luminárias necessárias para atingir a quantidade mínima de lux, entre outras. As figuras a seguir mostram o quadro resumo com as informações para cada zona e, por último, a distribuição das luminárias nas zonas após a seleção de uma das opções.

A simulação da luz artificial foi desenvolvida com a redução dos vãos de janela à metade na fachada dos fundos e com a nova orientação em relação ao norte, como foi proposto no item 7.1.2, Processo 2, 4º passo. Como foi mostrado no mesmo item, não foi possível inserir a árvore.

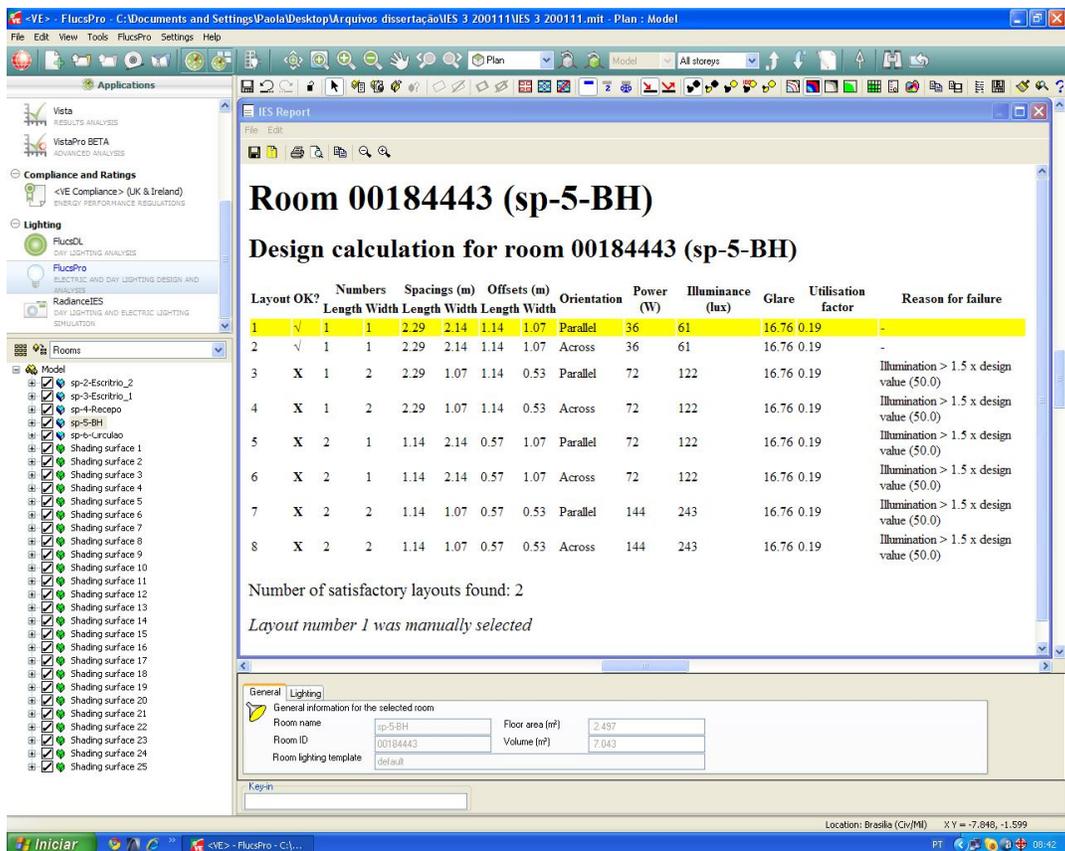


Figura 107 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Banheiro” no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

O quadro acima, com o resultado da simulação da luz artificial referente à zona “Banheiro”, mostra opções de quantidade e distribuição das luminárias no ambiente. São oito opções sendo que seis – que estão marcadas com um “X” – não são satisfatórias. Portanto são duas opções válidas. Foi escolhida a opção de número um para ser aplicada ao modelo em estudo. Esta opção está destacada em amarelo. Ela sugere uma luminária com duas lâmpadas fluorescentes compactas com 18W cada. Emite 61lux. O programa automaticamente insere a luminária após a escolha de uma das opções.

IES Report

File Edit

## Room 00185393 (sp-6-Circulao)

### Design calculation for room 00185393 (sp-6-Circulao)

Layout OK?	Numbers	Spacings (m)		Offsets (m)		Orientation	Power (W)	Illuminance (lux)	Glare	Utilisation factor	Reason for failure		
		Length	Width	Length	Width								
1	X	1	1	2.98	3.60	1.49	1.80	Parallel	36	58	12.41	0.40	Axial offset/height ratio (0.87) exceeds luminaire maximum SHR/2 (0.75) Transverse offset/height ratio (1.05) exceeds luminaire transverse SHR/2 (0.90) Illumination < 0.8 x design value (100.0)
2	X	1	1	2.98	3.60	1.49	1.80	Across	36	58	12.42	0.40	Axial offset/height ratio (1.05) exceeds luminaire maximum SHR/2 (0.75) Illumination < 0.8 x design value (100.0)
3	X	1	2	2.98	1.80	1.49	0.90	Parallel	72	117	12.41	0.40	Axial offset/height ratio (0.87) exceeds luminaire maximum SHR/2 (0.75)
4	N	1	2	2.98	1.80	1.49	0.90	Across	72	117	12.42	0.40	-
5	X	2	1	1.49	3.60	0.74	1.80	Parallel	72	117	12.41	0.40	Transverse offset/height ratio (1.05) exceeds luminaire transverse SHR/2 (0.90)
6	X	2	1	1.49	3.60	0.74	1.80	Across	72	117	12.42	0.40	Axial offset/height ratio (1.05) exceeds luminaire maximum SHR/2 (0.75)
7	X	2	2	1.49	1.80	0.74	0.90	Parallel	144	234	12.41	0.40	Illumination > 1.5 x design value (100.0)
8	X	2	2	1.49	1.80	0.74	0.90	Across	144	234	12.42	0.40	Illumination > 1.5 x design value (100.0)

Number of satisfactory layouts found: 1

Layout number 4 was manually selected

---

Windows taskbar: Iniciar, <IE> - FluxPro - C:\...

Figura 108 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Circulação” no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

O quadro acima é referente à simulação da luz artificial da zona “Circulação”. Mostra, como no anterior, as opções de distribuição das luminárias no ambiente. Nesse caso são oito opções sendo que somente uma é satisfatória. Essa opção sugere duas luminárias disposta segundo as medidas contidas no quadro. Cada luminária é composta por duas lâmpadas fluorescentes compactas com 18W cada. Emitem 117lux. São automaticamente inseridas após a seleção.

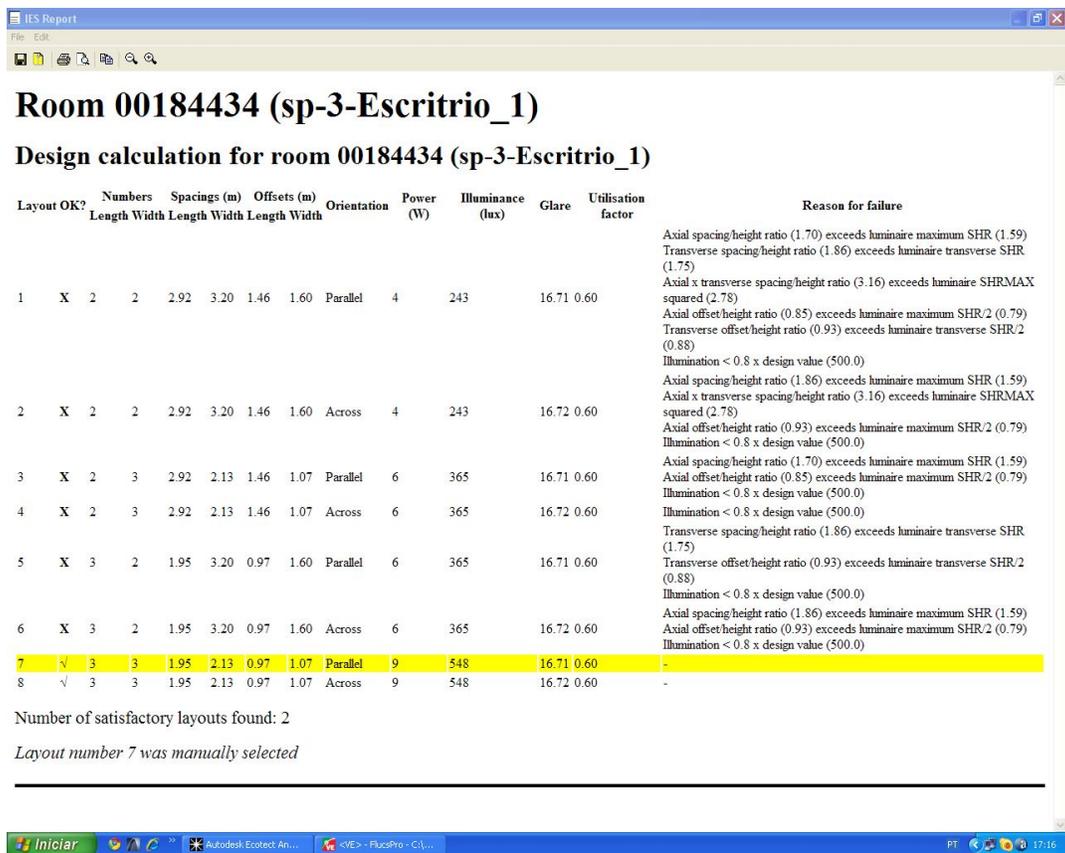


Figura 109 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Escritório 1” no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

O quadro resumo da simulação da luz artificial na zona “Escritório 1” mostra as mesmas informações. Nesse caso são oito opções de distribuição sendo que seis não são válidas. Para o modelo foi escolhida a opção número sete. Essa opção sugere quatro luminárias com duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 28W cada, distribuídas em paralelo. Emitem 548lux.

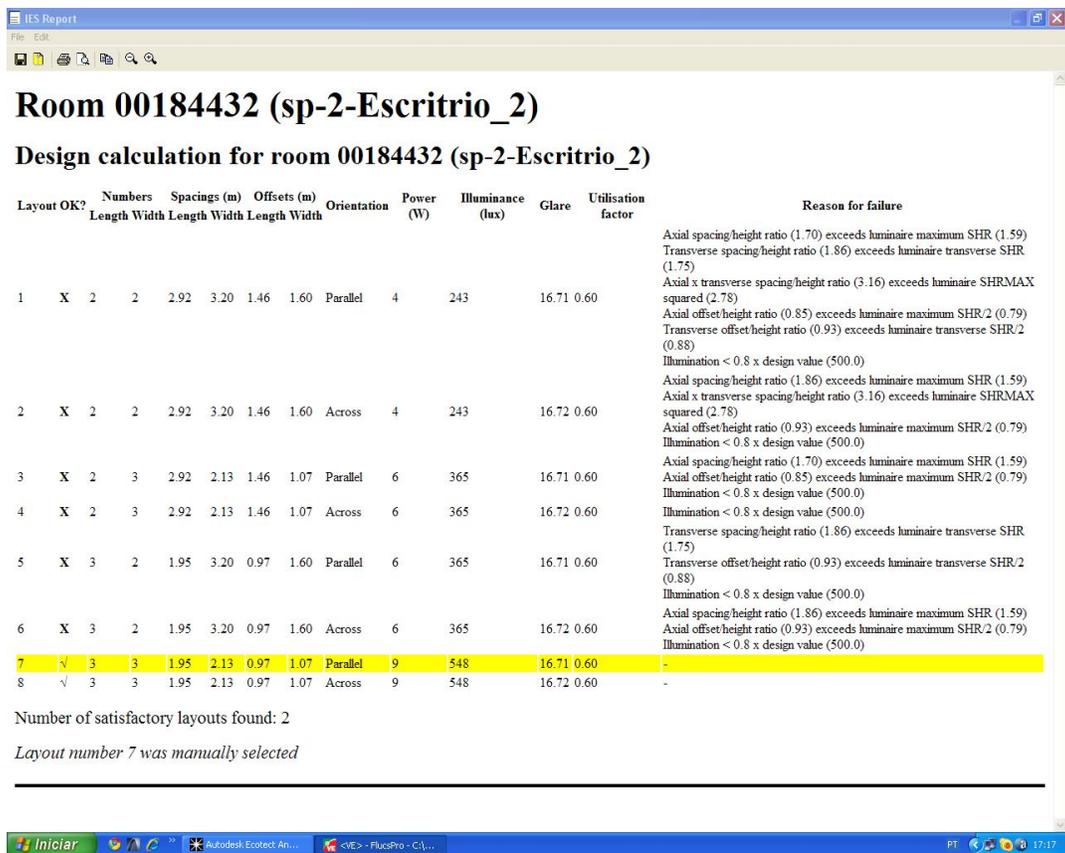


Figura 110 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Escritório 2” no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

O quadro resumo da simulação da luz artificial na zona “Escritório 2” mostra as mesmas informações. Nesse caso também são oito opções de distribuição sendo que seis não são válidas. Para o modelo foi escolhida a opção número sete. Essa opção sugere quatro luminárias em paralelo. Emitem 624lux

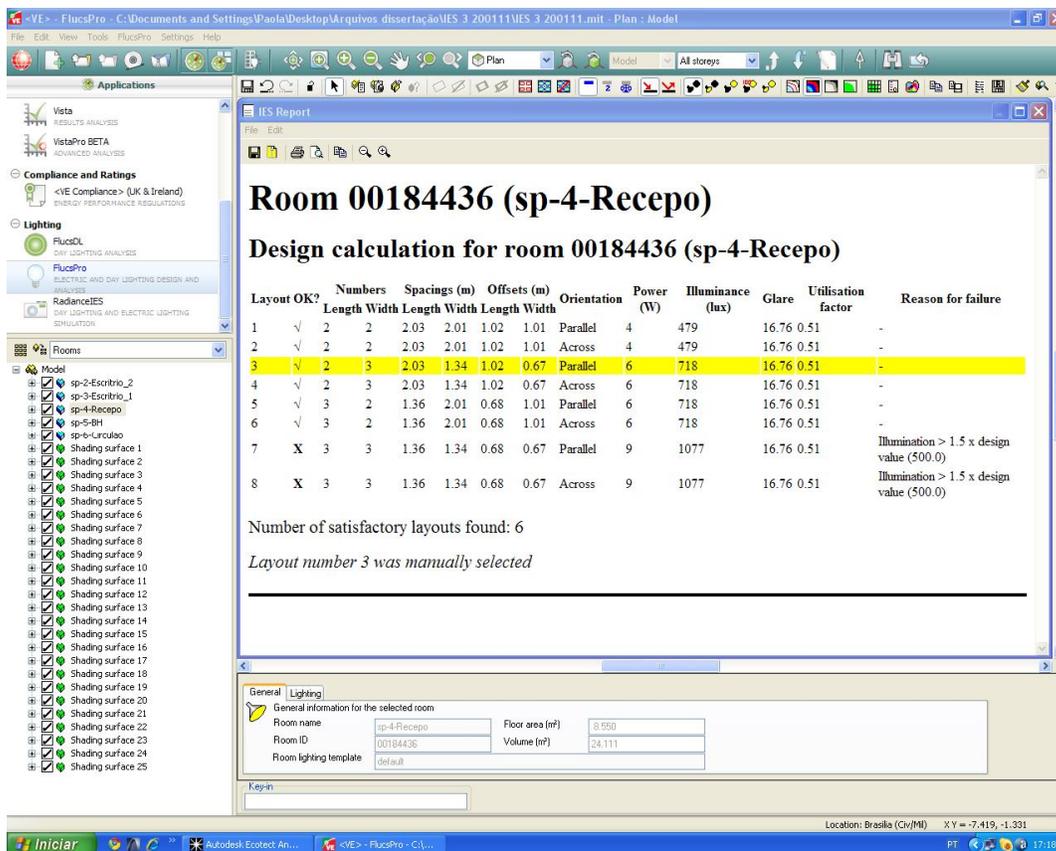


Figura 111 - Sugestão de distribuição de luminárias na zona “Recepção” no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

O resultado da simulação da luz artificial na zona “Escritório 2” mostra oito opções. Dessas opções seis são válidas. Foi escolhida a opção número três. Essa opção sugere duas luminárias com duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 28W cada, distribuídas em paralelo. Emitem 718lux.

A Figura 112 mostra a planta baixa da edificação com a distribuição das luminárias conforme as seleções feitas antes da simulação. As luminárias inseridas inicialmente, mostradas na Tabela 12, 4º passo, item 7.1.2, Processo 2, não foram todas aceitas, algumas foram substituídas. O programa não considerou o ângulo em que o modelo se encontra. Inseriu as luminárias em um eixo ortogonal.

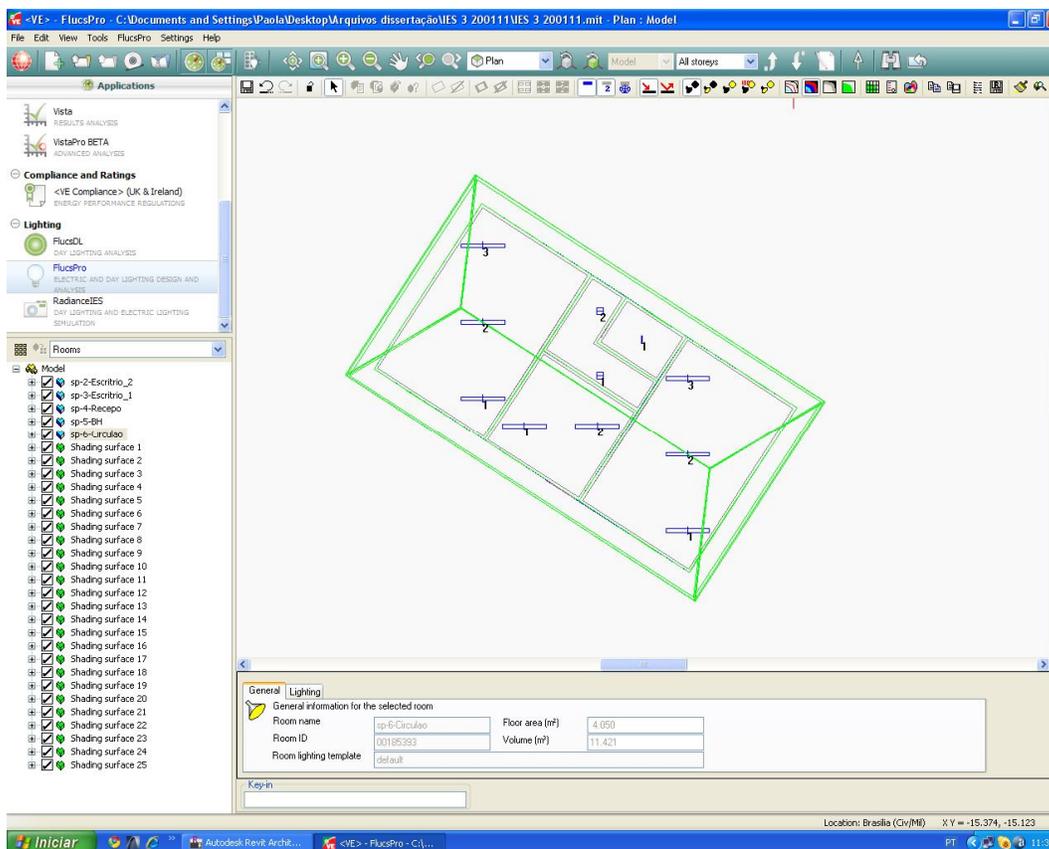


Figura 112 - Planta baixa com a distribuição de luminárias nas zonas no software IES <VE> 6.1.1.

Fonte: Autoria nossa.

Como o programa sugere a quantidade de luminárias e pode não aprová-las, após a análise da luz artificial, nova tabela foi criada com a quantidade de luminárias, tipo e potência da lâmpada por cômodo.

Tabela 20 - Tabela com cômodos e respectivas luminárias inseridas no modelo.

CÔMODOS	LUMINÁRIAS
Escritório 1	3 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 28W cada
Recepção	2 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes compactas de 28W cada
Escritório 2	3 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 28W cada
Circulação	2 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes compactas de 18W cada
Banheiro	1 luminária com 1 lâmpada fluorescente compacta de 18W

Fonte: Autoria nossa.

➤ 6º passo – IES <VE> 6.1.1

Essa etapa consiste em exportar o modelo de volta para o *software Revit* 2011 no formato mais apropriado.

Assim como ocorreu no item 7.2.2, Processo 2, 6º passo, o IES <VE> 6.1.1 não aceita salvar em outro formato, somente o padrão do programa.

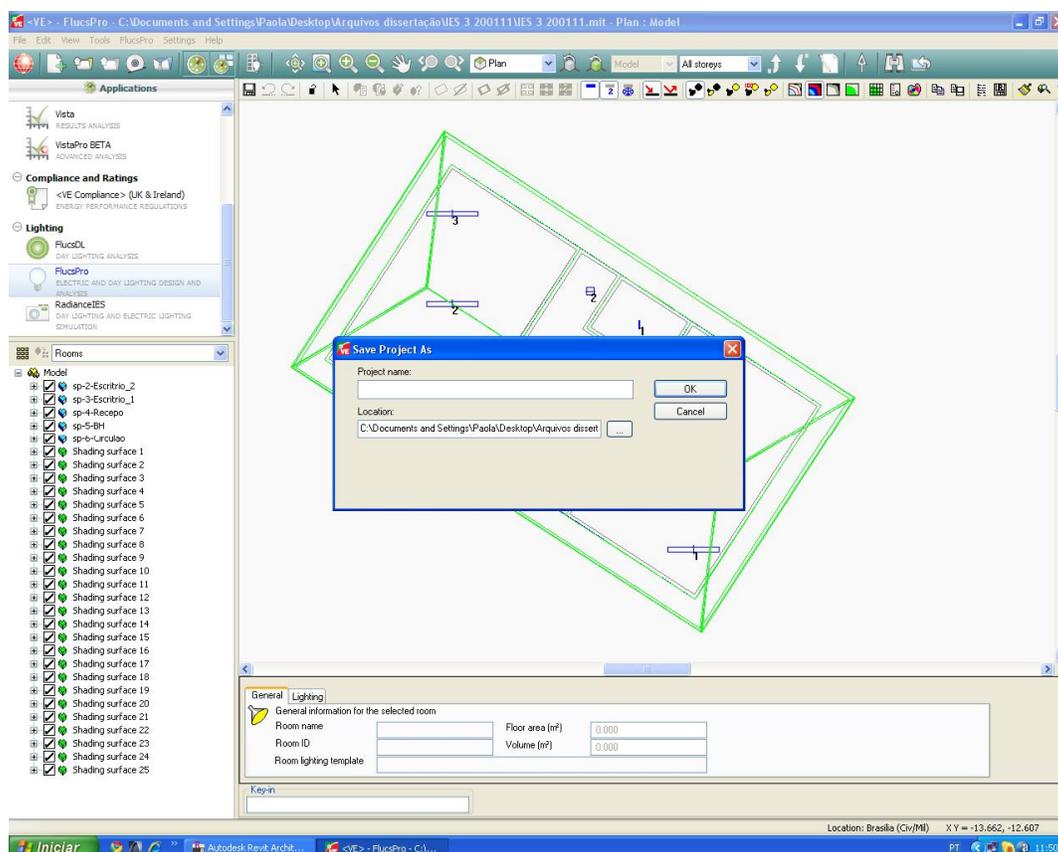


Figura 113 - Tentativa de salvar o arquivo do *software* IES <VE> 6.1.1 em outro formato. Fonte: Autoria nossa.

É possível salvar o arquivo nos formatos .dxf, .stl e .gem, além do formato padrão, no aplicativo “*ModelIT, BUILDING MODELLER*” do IES <VE>. Esse aplicativo tem como objetivo modelar a edificação. Ele não realiza nenhum tipo de análise. Portanto, não mostra as luminárias e análises feitas. O modelo em estudo foi salvo, em planta baixa, no formato .dxf e importado no *software* Revit 2011.

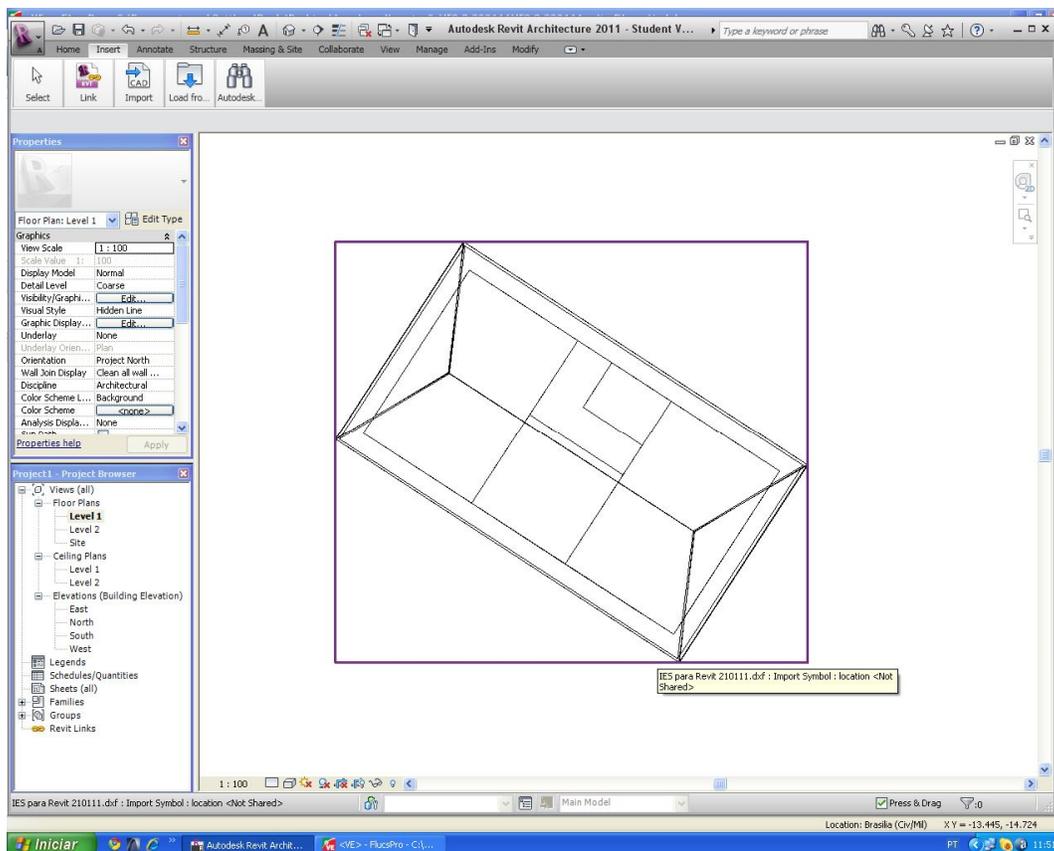


Figura 114 - Arquivo importado no formato .dxf no do *software* IES <VE> 6.1.1 para o Revit 2011.

Fonte: Autoria nossa.

A Figura 114 mostra o resultado da importação. O modelo foi inserido como um elemento único. Não é possível editá-lo nem selecionar somente um de seus vetores. Também foi feita a tentativa de salvar o modelo, em vista, para ser exportado em .dxf. A importação resultou em um elemento em planta baixa, semelhante a figura 114. Os outros formatos disponíveis para exportação no IES <VE> não são comuns ao Revit 2011. Portanto, só é possível importar o arquivo do IES <VE> para o Revit 2011 no formato .dxf.

➤ 7º passo – IES <VE> 6.1.1

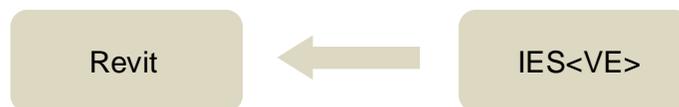
Este passo consiste em avaliar a interoperabilidade entre os *softwares* Revit 2011 e IES <VE> 6.1.1.

c) Avaliação 1:



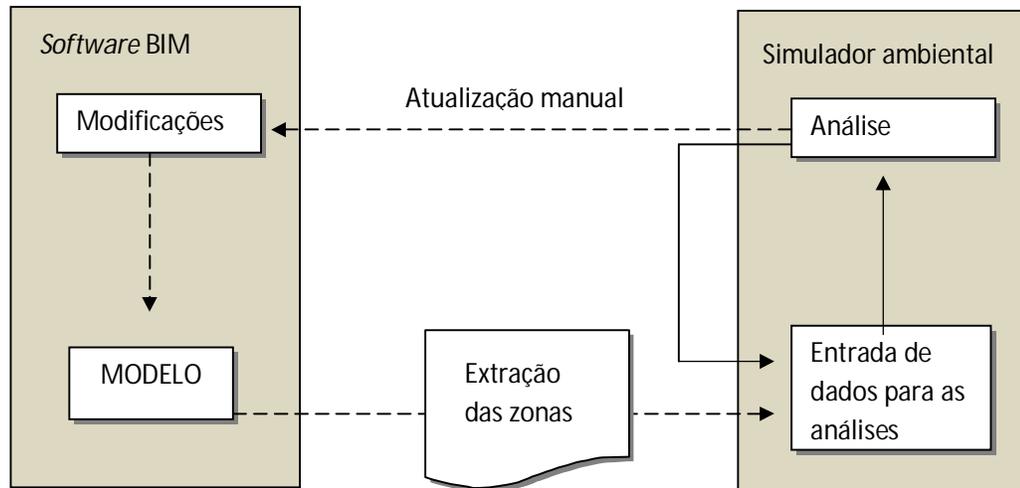
A transferência do programa *Revit* 2011 para o simulador IES <VE> 6.1.1 utilizando o esquema gbXML foi feita diretamente. O formato exportou somente o necessário para as análises, ou seja, as zonas com os vãos de portas e janelas, a cobertura e o piso, assim como ocorreu no *Ecotect*. As luminárias também foram transportadas, mas seus dados não foram reconhecidos.

d) Avaliação 2:



A transferência do simulador IES <VE> 6.1.1 para o Revit 2011 não é possível através de outro formato a não ser o padrão do programa, o .mit. Mas esse formato não é compatível com o Revit. A comunicação entre os dois *softwares* só é possível pelo aplicativo do IES <VE> denominado "*ModelIT BUILDING MODELLER*". A exportação ocorreu no formato .dxf. Mas esse aplicativo não mostra as luminárias, somente o modelo. A exportação resultou em um modelo em planta baixa. Não é possível a visualização em outra projeção ortogonal ou perspectiva. Diante disso, todas as alterações de luminárias e nos vãos de portas e janelas devem ser atualizadas manualmente no modelo BIM.

Com esses resultados pode-se concluir que a transferência entre o Revit 2011 e o IES <VE> 6.1.1 possui fluxo único, assim como ocorreu com o *Ecotect* nessa etapa (EASTMAN et al, 2008, p. 175).



————— Compartilhamento eletrônico de dados

- - - - - Troca / entrada de dados manualmente

Figura 115 - Análise do fluxo de informações baseado em um fluxo único.

Fonte: Autoria nossa.

A Figura 115 mostra um processo de transferência de dados com fluxo único que, assim como ocorreu nos processos um, dois e três, acontece nesse **Processo 4** de transferência entre os *softwares* Revit 2011 e IES <VE> 6.1.1.

Os resultados das exportações realizadas neste item mostram que não há uma interoperabilidade completa entre o programa dos sistemas BIM Revit 2011 e o simulador IES <VE> 6.1.1. A Tabela 21 apresenta um resumo da avaliação da interoperabilidade no **Processo 4** da **Etapa 2**, com relação à transferência dos elementos e dados necessários às simulações da luz natural e da luz artificial.

Tabela 21 – Tabela dos elementos e dados incompatíveis na transferência entre Revit 2011 e IES <VE> 6.1.1.

ELEMENTOS E DADOS INCOMPATÍVEIS NA TRANSFERÊNCIA ENTRE REVIT 2011 E IES <VE> 6.1.1	
Não podem ser definidos no Revit	-
Definido no Revit e interpretado de maneira incorreta no IES <VE>	Luminárias e lâmpadas
Definido no Revit e não reconhecido no IES <VE>	Materiais

Fonte: Autoria nossa.

A tabela permite extrair importantes conclusões:

- 1) as luminárias e lâmpadas configuradas no *Revit* 2011 não foram interpretados de maneira correta no simulador demonstrando que os sistemas BIM ainda trabalham com modelos de dados e linguagens inconsistentes;

os materiais configurados no *Revit* não foram reconhecidos no IES <VE> 6.1.1 demonstrando que os sistemas BIM ainda trabalham com modelos de dados e linguagens incompatíveis.

## 8 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS

Os resultados das etapas 1 e 2 permitem avaliar a interoperabilidade entre os *softwares* dos sistemas BIM *ArchiCAD* 14 e *Revit* 2011 e os simuladores ambientais *Ecotect* 2011 e IES <VE> 6.1.1 com relação a alguns aspectos:

- 1) formatos de exportação;
- 2) transferência de dados dos *softwares* BIM para os simuladores ambientais;
- 3) retrabalho para recompor o modelo e permitir a simulação;
- 4) transferência de dados dos simuladores ambientais para os *softwares* BIM;
- 5) retrabalho para recompor o modelo nos *softwares* BIM.

### 1) Formatos de exportação

O formato padrão na transferência de dados entre *softwares* dos sistemas BIM e simuladores ambientais é o gbXML. Esse formato foi utilizado nas duas exportações com sucesso. No *ArchiCAD* foi necessário instalar um aplicativo e configurar o modelo antes de salvar em gbXML. No *Revit* esse processo não foi necessário.

A exportação de volta para os sistemas BIM, após as simulações e modificações no modelo, foi testada em vários formatos. A Tabela 22 mostra os formatos que permitiram a exportação. Essa não ocorreu de forma integral em nenhum formato.

Tabela 22 – Formatos testados para importação nos *softwares* *ArchiCAD*, *Revit*, *Ecotect* e IES <VE>

FORMATOS IMPORTAÇÃO NOS SOFTWARES BIM									
Programas	<i>Ecotect</i>					IES<VE>			
Formatos	.eco	.jpg	.bmp	.gif	.dxf	.mit	.stl	.gem	.dxf
<i>ArchiCAD</i>			•		•				•
<i>Revit</i>			•		•				•

Fonte: Autoria nossa.

A Tabela 22 mostra que o *ArchiCAD* e o *Revit* aceitaram a importação do *Ecotect* nos formatos .dxf e .bmp. A importação a partir do IES <VE> só foi possível através do formato .dxf. É importante ressaltar que o resultado dessa importação não possibilita atualizar o modelo. A importação no formato .bmp inclusive está fora de escala.

2) Transferência de dados dos *softwares* dos sistemas BIM para os simuladores ambientais

O requisito para a simulação lumínica no simulador ambiental é que o modelo contenha piso, paredes, cobertura, vãos de portas e janelas, zonas e luminárias. Também é necessário que sejam especificados os materiais e o referenciamento geográfico.

De acordo com a tabela abaixo, onde (S) significa sim e (N) significa não, os elementos transportados nos dois *softwares* dos sistemas BIM foram o piso, as paredes, a cobertura, os vãos de portas e janelas e as zonas. As luminárias foram exportadas do *Revit* para os dois simuladores ambientais, mas suas informações como lâmpadas e dados fotométricos não puderam ser transportados. Foram úteis somente para indicar a sua localização no *Revit*. Os materiais não foram reconhecidos nos dois simuladores. O referenciamento geográfico foi reconhecido somente na transferência entre o *Revit* e os dois simuladores.

Tabela 23 – Elementos transportados na exportação dos *softwares ArchiCAD* e *Revit* para os simuladores *Ecotect* e IES <VE>

EXPORTAÇÃO DO BIM PARA O SIMULADOR AMBIENTAL					
	Elementos	<i>ArchiCAD</i> para o <i>Ecotect</i>	<i>Revit</i> para o <i>Ecotect</i>	<i>ArchiCAD</i> para o IES <VE>	<i>Revit</i> para o IES<VE>
<b>GEOMETRIA</b>	Luminárias	N	(1)	N	(2)
	Piso	S	S	S	S
	Paredes	S	S	S	S
	Cobertura	S	S	S	S
	Vãos de portas e janelas	S	S	S	S

	Zonas	S	S	S	S
<b>MATERIAIS</b>	Piso	N	(3)	N	N
	Paredes	N	(4)	N	N
	Cobertura	N	(5)	N	N
	Portas e janelas	N	(6)	N	N
	Referenciamento geográfico	N	S	N	S

Fonte: Autoria nossa.

- (1) O *Ecotect* reconheceu a geometria das luminárias, mas não suas propriedades lumínicas.
  - (2) O IES <VE> reconheceu as luminárias como vãos. As suas características inseridas no *Revit* não foram interpretadas no simulador.
  - (3) O piso foi reconhecido no *Ecotect* como um elemento “Piso”. Não foi atribuído um material para este elemento.
  - (4) As paredes foram reconhecidas no *Ecotect* como um elemento “Parede”. Não foi atribuído um material para este elemento.
  - (5) A cobertura foi reconhecida no *Ecotect* como um elemento “Cobertura”. Não foi atribuído um material para este elemento.
  - (6) As portas e janelas foram reconhecidas no *Ecotect* como os elementos “Porta” e “Janela”. Não foram atribuídos materiais para estes elementos.
- 3) Quantidade de retrabalho necessário para reconstruir o modelo e permitir a simulação.

A partir da análise do item dois e da Tabela 23 podemos afirmar que para a simulação da luz natural e da luz artificial é necessário reconfigurar os materiais e inserir as luminárias nos dois simuladores. Com relação ao referenciamento geográfico, é necessário que seja reconfigurado nas importações feitas a partir do *ArchicAD* 14.

Os resultados apresentados na exportação do modelo dos sistemas BIM para os simuladores ambientais não constam na literatura, segundo o nosso conhecimento da área. De igual forma, não há estudo detalhado sobre os tipos de dados que podem ser transferidos atualmente. Existem relatos sobre os formatos

que podem ser exportados entre os dois sistemas pesquisados, mas não sobre o tipo de informação que será transportada. Os resultados do experimento mostraram que existe uma lacuna a ser preenchida sobre estudos de interoperabilidade.

Os problemas enfrentados nas modificações do modelo no simulador ambiental, em especial no programa IES <VE> 6.1.1, também não poderiam ter sido previstos devido a falta de informações na literatura existente. O modelo foi desenvolvido no *software* dos sistemas BIM e é resultado da importação no simulador.

4) Transferência de dados dos simuladores ambientais para os *softwares* dos sistemas BIM

A exportação do simulador ambiental para os sistemas BIM é importante para atualizar no BIM as modificações feitas no simulador.

De acordo com a Tabela 24, onde (S) significa sim e (N) significa não, os elementos transportados dos dois simuladores ambientais foram o piso, as paredes, a cobertura e a reorientação do modelo. O anteparo físico (árvore) só foi transportado do *Ecotect* para o *ArchiCAD* e *Revit*. As luminárias, os materiais e as modificações nos vãos de portas e janelas não foram transportados.

Tabela 24 – Elementos transportados na exportação dos simuladores *Ecotect* e IES <VE> para os *softwares* dos sistemas BIM *ArchiCAD* e *Revit*

<b>EXPORTAÇÃO DO SIMULADOR AMBIENTAL PARA O BIM</b>				
<b>Elementos</b>	<b><i>Ecotect</i> para o <i>ArchiCAD</i></b>	<b><i>Ecotect</i> para o <i>Revit</i></b>	<b>IES &lt;VE&gt; para o <i>ArchiCAD</i></b>	<b>IES &lt;VE&gt; para o <i>Revit</i></b>
Luminárias	N	N	N	N
Piso	(1)	(1)	(1)	(1)
Paredes	(1)	(1)	(1)	(1)
Cobertura	(1)	(1)	(1)	(1)
Materiais	N	N	N	N
Reorientação do modelo	(2)	(2)	(2)	(2)
Anteparo físico (árvore)	S	S	(3)	(3)
Modificação nos vãos de portas e janelas	N	N	N	N

Fonte: Autoria nossa.

- (1) Os elementos aparecem na importação a partir do simulador ambiental como uma imagem. Não é possível editá-los e selecioná-los separadamente.
- (2) É possível atualizar o modelo a partir da imagem importada do simulador. Basta inseri-lo sobre a imagem e ajustar o novo ângulo de rotação.
- (3) O IES <VE> não permitiu a inserção da árvore, portanto esta não pode ser importada no programa dos sistemas BIM simplesmente porque não existia no modelo do simulador ambiental.

5) Retrabalho para recompor o modelo nos *softwares* BIM

A partir da análise do item quatro e da Tabela 24, pode-se afirmar que a exportação de volta do simulador ambiental para o BIM, após as análises e modificações no modelo, é deficiente. O modelo importado nos sistemas BIM tem o comportamento de uma imagem. Sendo assim, é necessário atualizar todas as alterações no modelo manualmente.

## 9 CONCLUSÃO

A garantia de eficiência energética em um projeto de uma edificação desenvolvido em programas dos sistemas BIM depende, fundamentalmente, da interoperabilidade entre esses *softwares* e os simuladores ambientais utilizados. Depende, também, da quantidade de retrabalho necessária para completar ou recompor o modelo após a exportação e realizar a simulação.

A interoperabilidade foi avaliada entre dois *softwares* dos sistemas BIM, *ArchiCAD 14* e *Revit 2011*, e dois simuladores ambientais, *Ecotect 2011* e IES <VE> 6.1.1. Foi feito experimento que consistiu no seguinte processo: um mesmo modelo foi desenvolvido nos dois programas BIM. Posteriormente foi exportado, no esquema gbXML, para os dois simuladores ambientais onde foram feitas as simulações e análises. Após esse processo o modelo foi exportado de volta para o BIM.

Os resultados – Tabela 23, capítulo 8 – mostraram que é necessário reconfigurar significativamente o modelo após a exportação para os simuladores nos quatro casos. De acordo com o experimento foram reconfigurados os materiais, o referenciamento geográfico e as luminárias. As exportações a partir do *Revit 2011* apresentaram interoperabilidade um pouco melhor, pois não foi necessário reconfigurar o referenciamento geográfico.

A exportação do modelo de volta para os sistemas BIM teve o objetivo de atualizar o modelo nos sistemas BIM. Os resultados do experimento – Tabela 24, capítulo 8 – mostraram que essa interoperabilidade é quase nula, pois a importação nos sistemas BIM resultou em um objeto único do modelo, não sendo possível editá-lo nem selecionar cada um de seus vetores.

Esses resultados mostram que os sistemas BIM contribuem para a eficiência energética de forma ainda bastante tímida, pelo menos no que diz respeito ao formato gbXML. Esta contribuição consiste quase que somente na transferência da geometria dos componentes construtivos com a maioria dos dados sobre propriedades, comportamentos e inter-relações não sendo transmitidos ou interpretados de forma correta. Isto implica retrabalho significativo após a exportação do modelo e nas atualizações nos sistemas BIM após as análises e

modificações no simulador. Assim o melhor seria, nas condições atuais, modelar o projeto diretamente no simulador.

Outra conclusão a que se pode chegar dos resultados apresentados é: o usuário, que tem por objetivo realizar a simulação lumínica no projeto da edificação como parte do processo para atingir a eficiência energética, deve, nas condições atuais, inserir as luminárias no simulador ambiental e não no programa dos sistemas BIM. O usuário deve saber que terá de reconfigurar os materiais e, dependendo do programa BIM que irá utilizar, o referenciamento geográfico no simulador ambiental. Também deve saber que, após as simulações e modificações no projeto, a atualização no modelo do programa BIM deverá ser feita manualmente.

Este estudo também mostra que as promessas do BIM como desenvolvimento de um modelo completo e análise energética, divulgadas pelos fabricantes dos *softwares* e fontes relacionadas ao assunto, ainda depende da criação de ferramentas e desenvolvimento dos *softwares* e, principalmente, de soluções para o problema da interoperabilidade. A premissa dos sistemas BIM de se constituírem representação única e integral dos componentes construtivos e dos edifícios proposta ainda não foi alcançada.

Embora o objetivo deste estudo não seja validar os *softwares* estudados, uma contribuição secundária diz respeito ao resultado das simulações da luz natural e da luz artificial. As simulações realizadas com o mesmo modelo e diferentes *softwares* não apresentaram igual resultado. A diferença maior ocorreu com a simulação da luz natural: os valores encontrados nas simulações desenvolvidas no IES <VE> 6.1.1 são mais que o dobro dos resultados das simulações no *Ecotect* 2011. A simulação da luz artificial apresentou resultados distintos somente no simulador IES <VE> 6.1.1. Ainda assim essa diferença ocorreu nos cômodos “Escritório 1” e “Escritório 2”. Contudo, é importante ressaltar, mais uma vez, que a validação dos *softwares* de análise ambiental utilizados nas experimentações descritas anteriormente se encontra além do escopo desta pesquisa.

## 10 DESDOBRAMENTOS FUTUROS

Uma solução para o problema da interoperabilidade é a criação de padrões que facilitem a comunicação de dados entre os programas BIM e os simuladores ambientais. Através dessa padronização haveria unificação no banco de dados de todos os programas e, portanto, estes reconheceriam os elementos, seus materiais e comportamentos. Iniciativas, nesse sentido, vêm sendo feitas por pesquisadores com o apoio de algumas empresas de programas dos sistemas BIM.

Uma delas é a criação do formato de domínio público IFC. Este formato partilha dados BIM entre *softwares* desenvolvidos por diferentes empresas sem a necessidade de suportar formatos nativos diversos. Criado em 1995 por uma organização internacional sem fins lucrativos, e reconhecido pela ISO, o IFC cria, através do padrão STEP, um arquivo textual com os dados codificados, para transferência. O capítulo 5, item 5.3.3, descreve, de forma detalhada, esse formato.

Pesquisas futuras podem avaliar a interoperabilidade entre os dois sistemas estudados nessa Dissertação através da utilização desse formato e de outros que vierem a surgir.

Muito se tem falado na literatura acadêmica, e em diversos veículos de divulgação comercial dos sistemas BIM, do potencial da interoperabilidade, mas pouco se fala do real estado da arte nesta área de forma mais rigorosa. Portanto, a principal contribuição ao conhecimento deste trabalho consiste em ter demonstrado que a interoperabilidade entre os sistemas BIM e os simuladores ambientais é ainda bastante incipiente e rudimentar, necessitando ainda de significativos esforços em pesquisa e desenvolvimento.

## REFERÊNCIAS

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: 15 jul. 2010.

AMORIM, C. et al. **Avaliação Ambiental Integrada e Simulação Computacional: Interfaces, Limitações e Potencialidades.** UnB. FAU. Primeiro Curso de Extensão em Avaliação Ambiental com Auxílio de *Software* de Simulação *Ecotect*. Brasília, DF. 2006.

AIA. MCGRAW Hill Construction. **Integrated Project Delivery.** Califórnia, Estados Unidos da América. 2007. Disponível em: <<http://www.ipd-ca.net/images/Integrated%20Project%20Delivery%20Definition.pdf>>. Acesso em: 9 ago. 2010.

AUTODESK. **Revit 2011.** Disponível em: <[http://images.autodesk.com/adsk/files/autodesk\\_revit\\_architecture\\_2011\\_brochure.pdf](http://images.autodesk.com/adsk/files/autodesk_revit_architecture_2011_brochure.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2010a.

\_\_\_\_\_. **Autodesk Ecotec Analysis.** Disponível em: <[http://images.autodesk.com/adsk/files/autodesk\\_ecotect\\_analysis\\_2011\\_brochure.pdf](http://images.autodesk.com/adsk/files/autodesk_ecotect_analysis_2011_brochure.pdf)>. Acesso em: 25 set. 2010b.

\_\_\_\_\_. **Autodesk Revit Architecture.** Disponível em: <<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=3781831&siteID=123112>>. Acesso em: 25 set. 2010c.

\_\_\_\_\_. **Autodesk Revit Architecture Services & Support.** Disponível em: <<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/ps/dl/index?siteID=123112&id=2334435&linkID=9273944>>. Acesso em: 25 set. 2010d.

\_\_\_\_\_. **Sustainable Building Design Software.** Disponível em: <<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=12602821&siteID=123112>>. Acesso em: 20 out. 2010e.

\_\_\_\_\_. **Autodesk Green Building Studio.** Disponível em: <<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=11179508&siteID=123112>>. Acesso em: 23 nov. 2010f.

\_\_\_\_\_. **.dxf Reference.** Disponível em:  
<[http://images.autodesk.com/adsk/files/acad\\_.dxf1.pdf](http://images.autodesk.com/adsk/files/acad_.dxf1.pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2010g.

\_\_\_\_\_. **Visão Geral de Luzes de Teia.** Disponível em:  
<<http://docs.autodesk.com/ACD/2011/PTB/filesAUG/WS73099cc142f48755f058a10f71c104f3-3b50.htm>>. Acesso em 10 jan. 2011.

BAMBARDEKAR, S.; POERSCHKE, U. **The Architect as Performer of Energy Simulation in the Early Design Stage.** In: Eleventh International IBPSA Conference. Glasgow, Scotland. 2009. Disponível em:  
<[http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09\\_1306\\_1313.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09_1306_1313.pdf)>. Acesso em: 9 out. 2010.

BIM Journal. **Moving Towards Integrated Project Practices.** Disponível em:  
<<http://bimjournal.com/art.asp?art=56&issue=19>>. Acesso em 23 ago. 2010.

BRIDGES, A. **The Challenge of Constraints** – A Discussion of Computer Applications in Architectural Design. University of Strathclyde, Department of Architecture, Glasgow, Scotland, U. K., 1993.

BROWNE, L. GbXML Adresses Interoperability Challenges, Supports Green Design. Micro Station Connections. Disponível em:  
<[http://www.microstationconnections.com/feature\\_full\\_guest.php?read=1&cpfeatureid=52445&page=1](http://www.microstationconnections.com/feature_full_guest.php?read=1&cpfeatureid=52445&page=1)>. Acesso em: 4 set. 2010.

CAD CRONOLOGY. **CAD History.** Disponível em:  
<<http://mbinfo.mbdesign.net/CAD1970.htm>>. Acesso em: 21 out. 2010.

CARUSO, GUY F. **International Energy Outlook 2008 with Projections to 2030.** Energy Information Administration. Washington, DC, 2008. Disponível em:  
<<http://www.eia.doe.gov/neic/speeches/caruso062508ieo.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

CASCADIA CENTER. Disponível em: <<http://www.millerhull.com/html/inprogress/cascadiacenter.htm>>. Acesso em: 20 nov. 2010.

CHRISTAKOU, E. D. **A Simulação Computacional da Luz Natural Aplicada ao Projeto de Arquitetura.** Dissertação, Brasília, 2004.

CIÊNCIA HOJE. **Um Clássico da Matemática.** v. 35, n. 205. 2004. Disponível em:  
<[http://www.dmat.ufpe.br/gradua/intervalo/ciencia\\_hoje\\_riemann.pdf](http://www.dmat.ufpe.br/gradua/intervalo/ciencia_hoje_riemann.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2010.

CIFE. **Software Interoperability**. Stanford University. California, Estados Unidos da America. 1997. Disponível em: <<http://cife.stanford.edu/online.publications/TR117.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2010.

CONCIERGE. Disponível em: <<http://www.concierge.com/travelguide/barcelona/photos/photoview/57982>>. Acesso: 9 dez. 2010.

COVERPAGES. **Green Building XML (gbXML)**. Disponível em: <<http://xml.coverpages.org/gbXML.html>>. Acesso em: 7 set. 2010.

CRESPO, C. C.; RUSCHEL, R. C. **Ferramentas BIM**: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do Projeto. III Encontro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção Civil. Porto Alegre, RS. 2007. Disponível em: <<http://www6.ufrgs.br/norie/tic2007/artigos/A1085.pdf>> Acesso em: 2 ago. 2010.

EASTMAN, Chuck. **What is BIM?** BIM Resources – Georgia Tech, Georgia, 2007. Disponível em: <[http://bim.arch.gatech.edu/content\\_view.asp?id=402](http://bim.arch.gatech.edu/content_view.asp?id=402)>. Acesso em: 22 Jan. 2010.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook** – A Guide to Building Information Modeling. John Wiley & Sons, New Jersey, 2008.

ELETROBRÁS. **Manual de Iluminação Eficiente**. Brasília, 2002.

ENCINA Ltda. **Export gbXML from ArchiCAD**. 2010. Disponível em: <[http://www.encina.co.uk/gbxml\\_export.html](http://www.encina.co.uk/gbxml_export.html)>. Acesso em: 15 out. 2010.

\_\_\_\_\_. **Software Download**. Disponível em: <<http://www.encina.co.uk/sw-download.html>>. Acesso em: 15 out. 2010.

ENERGY DESIGN RESOURCES. **eQUEST**. Disponível em: <<http://www.energydesignresources.com/Resources/SoftwareTools/eQUEST.aspx>>. Acesso em: 23 nov. 2010.

FILOSOFIX. Disponível em: <[www.filosofix.com.br](http://www.filosofix.com.br)>. Acesso em 20 abr. 2010.

GBXML. **About gbXML**. Disponível em: <<http://www.gbxml.org/aboutgbxml.php>>. Acesso em: 19 ago. 2010.

GBXML. **History**. Disponível em: <<http://www.gbxml.org/history.php>>. Acesso em: 4 set. 2010.

GEORGIA TECH. **BIM Tools List**. Digital Building Lab – Georgia Tech, Georgia. Disponível em: <[http://bim.arch.gatech.edu/app/bimtools/tool.asp?id=431&app\\_id=2](http://bim.arch.gatech.edu/app/bimtools/tool.asp?id=431&app_id=2)>. Acesso em: 20 set. 2010.

GORZCICA, Adam. **Motion as modern way of expressing architecture**. Disponível em: <[cgg-journal.com/2005-3/04/index.htm](http://cgg-journal.com/2005-3/04/index.htm)>. Acesso em: 21 abr. 2010.

GORDON, V. R.; HOLNESS, P. E. **BIM Gaining Momentum**. ASHRAE JOURNAL. EUA, 2008.

GRAPHISOFT. **ARCHICAD 14**. Disponível em: <[http://download.graphisoft.com/ftp/marketing/ac14/pdf/ac14\\_bro8p\\_hq.pdf](http://download.graphisoft.com/ftp/marketing/ac14/pdf/ac14_bro8p_hq.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2010a.

\_\_\_\_\_. **Energy Analysis**. Disponível em: <<http://www.graphisoft.com/products/archicad/interoperability/energy/>>. Acesso em: 20 set. 2010b.

\_\_\_\_\_. **Preparing Models for Analysis in ECOTECT**. Graphisoft R&D Zrt, 2008. Disponível em: <[http://download.graphisoft.com/ftp/download/ecotect/ArchiCAD\\_Model\\_Preparation\\_for\\_Ecotect.pdf](http://download.graphisoft.com/ftp/download/ecotect/ArchiCAD_Model_Preparation_for_Ecotect.pdf)>. Acesso em: 5 out. 2010c.

\_\_\_\_\_. **Graphisoft ECODESIGNER**. Disponível em: <[http://download.graphisoft.com/ftp/marketing/ed/ED14\\_Flyer\\_A4\\_LQ.pdf](http://download.graphisoft.com/ftp/marketing/ed/ED14_Flyer_A4_LQ.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2010d.

GREEN BIM. Disponível em: <<http://www.buildingsmartalliance.org/index.php/bsa/newsevents/news/Entry/greenbim2010smartmarketreport>>, Acesso em: 14 set. 2010.

GREEN BUILDING.COM. **Green History**. Estados Unidos da América, 2008. Disponível em: <<http://www.greenbuilding.com/greenHistory.html>>. Acesso em: 16 jan. 2010.

GUGGENHEIM BILBAO. **The Guggenheim Museum Bilbao Building**. Disponível em: <<http://www.guggenheim-bilbao.es/>> Acesso em: 28 out. 2010.

HARRIS, J. **Integration of BIM and Business Strategy**. Northwestern University Evanston, IL. Disponível em: <[http://www.wbdg.org/pdfs/integratebim\\_harris.pdf](http://www.wbdg.org/pdfs/integratebim_harris.pdf)>. Acesso em: 13 ago. 2010.

IAI. **Building Smart. International Alliance for Interoperability.** Disponível em: <<http://www.iai-tech.org/>>. Acesso em: 5 set. 2010a.

\_\_\_\_\_. **ifcXML Implementation Guide.** 2007. Disponível em: <[http://www.stanford.edu/group/narratives/classes/08-09/CEE215/ReferenceLibrary/Industry%20Foundation%20Classes%20\(IFC\)/ifcXML%20General/ifcXML%20Implementation%20Guide.pdf](http://www.stanford.edu/group/narratives/classes/08-09/CEE215/ReferenceLibrary/Industry%20Foundation%20Classes%20(IFC)/ifcXML%20General/ifcXML%20Implementation%20Guide.pdf)>. Acesso em: 5 set. 2010a.

\_\_\_\_\_. **Model** – Industry Foundation Classes (IFC). Disponível em: <<http://www.buildingsmart.com/bim>>. Acesso em: 5 set. 2010c.

\_\_\_\_\_. **About the buildingSMART Alliance.** Disponível em: <<http://www.buildingsmartalliance.org/index.php/about/>>. Acesso em: 27 set. 2010d.

\_\_\_\_\_. **IFC2 x 4 Release Candidate 2 Available.** Disponível em: <<http://www.iai-tech.org/groups/msg-members/news/ifc2x4-release-candidate-2-available>>. Acesso em: 5 nov. 2010e.

IES <VE>. **What We Do?** Disponível em: <<http://www.iesve.com/About-us/What-We-Do>>. Acesso em: 23 nov. 2010.

IES. **Illuminating Engineering Society.** New York, EUA. Disponível em: <[http://www.ies.org/about/what\\_is\\_iesna.cfm](http://www.ies.org/about/what_is_iesna.cfm)>. Acesso em 10 jan. 2011.

JACOSKI, C. A.; LAMBERTS, R. **A Interoperabilidade como Fator de Integração de Projetos na Construção Civil.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. Disponível em: <<http://www2.unochapeco.edu.br/~grua/documentos.php>>. Acesso em: 22 jul. 2010.

JERNIGAN, Finith. **Big BimLittle Bim.** Site Press, Salisbury, MD, USA, 2007.

KALISPERIS, Loukas. **CAD in Education: Penn State University.** In ACADIA Quarterly, vol. 15, number 3, 1996.

KERLOW, Isaac Victor. **The Art of 3-D Computer Animation and Imaging.** John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000.

KOLAREVIC, Branko. **Architecture in the Digital Age.** Design and Manufacturing. Taylor&Francis Group, New York, 2003.

KRYGIEL, Eddy; NIES, Bradley. **Green BIM – Successful Sustainable Design With Building Information Modeling.** Sybex Wiley Publishing, Indianapolis, 2008.

LAMBERTS, R. et al. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

LAMBERTS, R., et al. **Uso de Instrumentos Computacionais para Análise do Desempenho Térmico e Energético de Edificações no Brasil**. In: Ambiente Construído, v. 5, n. 4, p. 47-68, ISSN 1415-8876, Porto Alegre, RS. 2005. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/viewFile/3657/2013>>. Acesso em: 23 nov. 2010.

LOGAN, B. **The Structure of Design Problems**. University of Strathclyde, Reino Unido, 1987.

MAXON. **Why this package?** Disponível em: <<http://www.maxon.net/products/bodypaint-3d/why-this-package.html>>. Acesso em: 16 dez. 2010.

MAZZARELLA, L.; PASINI, M. **Building energy simulation and object-oriented modeling: review and reflections upon achieved results and further developments**. In: Eleventh International IBPSA Conference. Glasgow, Scotland. 2009. Disponível em: <[http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09\\_0638\\_645.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09_0638_645.pdf)>. Acesso em: 9 out. 2010.

MCGRAW\_HILL CONSTRUCTION. **Building Information Modeling (BIM)**. Massachusetts, USA. 2010. Disponível em: <[http://www.bim.construction.com/research/pdfs/2009\\_BIM\\_SmartMarket\\_Report.pdf](http://www.bim.construction.com/research/pdfs/2009_BIM_SmartMarket_Report.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2010a.

\_\_\_\_\_. **Green Bim**. Massachusetts, USA. 2010. Disponível em: <<http://www.buildingsmartalliance.org/index.php/bsa/newsevents/news/Entry/greenbim2010smartmarketreport>>. Acesso em: 14 set. 2010b.

\_\_\_\_\_. **Software Incompatibility Largest Obstacle to Interoperability, According to New Report From McGraw-Hill Construction**. Disponível em: <<http://www.mcgraw-hill.com/releases/construction/20071024.shtml>>. Acesso em: 23 ago. 2010c.

MITCHELL, William J.; MCCULLOUGH, Malcolm. **Digital Design Media**. John Wiley & Sons, Inc. Canada, 1994.

NIST. **BFRL Project: Tools for Integrated Building Energy and HVAC Design**. EUA, 2009. Disponível em: <[http://www.nist.gov/el/highperformance\\_buildings/intelligence/tools\\_int\\_bld\\_engy\\_anal\\_hvacdesign.cfm](http://www.nist.gov/el/highperformance_buildings/intelligence/tools_int_bld_engy_anal_hvacdesign.cfm)>. Acesso em: 2 set. 2010a.

\_\_\_\_\_. **NISTIR 7223** – Semantic Mapping Between IAI ifcXML and FIATECH AEX Models for Centrifugal Pumps. USA. 2005. Disponível em: <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build05/PDF/b05008.pdf>>. Acesso em: 7 set. 2010b.

\_\_\_\_\_. **Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry**. USA. 2004. Disponível em: <[http://www.arc-corporate.com/\\_pdf/NISTstudy.pdf](http://www.arc-corporate.com/_pdf/NISTstudy.pdf)>. Acesso em: 13 set. 2010c.

\_\_\_\_\_. **NISTIR 7417** – General Buildings Information Handover Guide: Principles, Methodology and Case Studies. USA. 2007. Disponível em: <[http://www.wbdg.org/pdfs/nistir\\_7417.pdf](http://www.wbdg.org/pdfs/nistir_7417.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2010d.

PROGRAMA PROCEL EDIFICA. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Brasília, 2008.

PUPO, Regiane T. **Concepção Arquitetônica em Ambiente Computacional**. In: I INTERNATIONAL WORKSHOP DIGITAL DESIGN FOR ARCHITECTURE, Bahia, 2006. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/.../arq000/esp414.asp>>. Acesso em: 21 mar. 2010.

REVIT TECHNOLOGY CORPORATION. **Autodesk to Acquire Revit Technology Corporation**; Acquisition Adds Complementary Technology for Building Industry. 2002. Disponível em: <<http://investors.autodesk.com/phoenix.zhtml?c=117861&p=irol-newsArticle&ID=261618>>. Acesso em: 24 jan. 2011.

ROBBINS, Edward. **Why architects draw**. MIT Press, Cambridge. Massachusetts, EUA, 1997.

ROGERS, Z. **Overview of Daylight Simulation Tools**. In: Velux second Symposium. Bilbao, Spain. 2007. Disponível em: <<http://www.thedaylightsite.com/filebank/Overview%20of%20Daylight%20Simulation%20Tools.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2010.

ROONEY, Joe; STEADMAN, Philip. **Principles of Computer-aided Design**. London: Pitman Publishing, 1987.  
SCHODEK, D. et al. **Digital Design and Manufacturing** – CAD/CAM Applications in Architecture and Design. New York: John Wiley & Sons, 2005.

SENSORIAL ARCHITECTURE. Disponível em: <[http://alexgeddes.blogspot.com/2008\\_10\\_01\\_archive.html](http://alexgeddes.blogspot.com/2008_10_01_archive.html)>. Acesso em: 30 out. 2010.

SMITH, D. K.; EDGAR, A. **Building Information Modeling (BIM)**. In: WBDG. Washington, DC. 2008. Disponível em: <<http://www.wbdg.org/bim/bim.php>>. Acesso em: 10 set. 2010.

SMITH D.K.; TARDIF M. **Building Information Modeling**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

SUTHERLAND, I. **Sketchpad: a man machine graphical communication system**. University of Cambridge. Computer Laboratory. United Kingdom, 2003.

TANG, D.; KIM, J. **Simulation Support for Sustainable Design of Buildings**. In: CTBUH. 2004. Disponível em: <[http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/paper-CTBUH2004\\_min\\_dt.pdf](http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/paper-CTBUH2004_min_dt.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2010.

TU DELFT. Disponível em: <<http://www.bk.tudelft.nl/dks/Participants/Alumni/Karina/lcparticle.htm>>. Acesso em: 20 abr. 2010.

U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Building Energy Software Tools Directory**. 2008. Disponível em: <[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/alpha\\_list.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm)>. Acesso em: 15 out. 2010.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. **Building Impacts**. Estados Unidos da América, 2008. Disponível em: <<http://www.usgbc.org>>. Acesso em: 10 jun. 2010.

UTZINGER, D. M.; BRADLEY, D. E. **Integrating Energy Simulation into the Design Process of High Performance Buildings: a Case Study of the Aldo Leopold Legacy Center**. In: Eleventh International IBPSA Conference. Glasgow, Scotland. 2009. Disponível em: <[http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09\\_1214\\_1221.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09_1214_1221.pdf)>. Acesso em: 9 out. 2010.

WIKIPEDIA. **AutoCAD .dxf** Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/.dxf>>. Acesso em: 23 nov. 2010.

\_\_\_\_\_. **C (programming language)**. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/C\\_\(programming\\_language\)](http://en.wikipedia.org/wiki/C_(programming_language))>. Acesso em: 15 set. 2010a.

\_\_\_\_\_. **Open Database Connectivity.** Disponível em:  
<<http://en.wikipedia.org/wiki/ODBC>>. Acesso em: 15 set. 2010b.

ZEVI, B. **Saber Ver a Arquitetura.** 5. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1996

## APÊNDICE

### MANUAL PARA EXPORTAÇÃO DO MODELO DOS SISTEMAS BIM PARA SIMULADORES AMBIENTAIS

Este manual foi desenvolvido para utilização nos *softwares* BIM *ArchiCAD* e *Autodesk Revit Architecture* e nos simuladores ambientais *Autodesk Ecotect Analysis* e *IES <VE>*. Tem como objetivo guiar o usuário na exportação de um modelo dos sistemas BIM para simuladores ambientais a fim de que sejam simuladas a luz natural e artificial. Após as simulações o usuário será guiado na exportação do modelo de volta para os sistemas BIM a fim de atualizá-lo.

#### No software BIM:

---

1. Desenvolva o modelo. Este deve conter, no mínimo, piso, paredes, vãos de portas e janelas, cobertura, especificação dos materiais e referenciamento geográfico.
2. Salve o arquivo em gbXML. Para isso clique em: **Export > gbXML**.  
O programa cria um novo arquivo nesse formato.  
Obs.: O *Revit* abre um quadro para verificação dos dados que serão exportados. Esse quadro mostra as zonas que serão exportadas, o tipo de edificação e o referenciamento geográfico.

#### Para o ArchiCAD:

Instale a extensão “ArchiCAD gbXML Export” disponível no endereço eletrônico [http://www.encia.co.uk/gbxml\\_export.html](http://www.encia.co.uk/gbxml_export.html).

Após a instalação, configure o modelo antes de salvar na extensão gbXML. Para configurar o modelo, faça o download do tutorial no endereço eletrônico [http://download.graphisoft.com/ftp/download/ecotect/ArchiCAD\\_Model\\_Preparation\\_for\\_Ecotect.pdf](http://download.graphisoft.com/ftp/download/ecotect/ArchiCAD_Model_Preparation_for_Ecotect.pdf).

Após a configuração clique em **Ficheiro > Guardar como > gbXML**.

## No simulador ambiental:

---

3. Clique em **File > Import > Model/Analysis Data...** > selecione o formato em **Files of type** e procure o arquivo salvo em gbXML no browser > **Open**.

O programa abre um quadro para verificação dos dados que serão importados. Esse quadro mostra as zonas que serão importadas, o tipo de edificação, o referenciamento geográfico e os materiais. Os dados que não estiverem corretos devem ser manualmente modificados. Após a verificação clique em **Open as New...**

Obs.: O *Ecotect* não mostra o referenciamento geográfico nesse quadro. Este deve ser manualmente configurada no programa.

### **Para o IES <VE>:**

Clique em **File > Import gbXML file...** > **Import** > selecione o formato em **Arquivos do tipo** e procure o arquivo salvo em gbXML no browser > **Abrir**.

Após a verificação dos dados no quadro clique em **Step 1: Check model...** O programa mostra um novo quadro onde destaca, em amarelo, os dados que não estão corretos. Após a conferência feche o quadro e clique em **I have checked the model is suitable for analysis > Ok**.

4. Simule a luz natural do modelo  
Para uma melhor análise da incidência da luz natural no modelo é importante que as simulações sejam desenvolvidas em três diferentes épocas e três horários diferentes: nos solstícios de verão (21/dez) e inverno (21/jun) e no equinócio (21/set). Devem ser executadas simulações de cada uma dessas datas nos horários de 9h, 12h e 15h.
5. Analise a iluminância nos ambientes. Tenha como parâmetros para esta análise a Norma ABNT NB-57 (maio de 1991) que estabelece valores mínimos para a iluminância de interiores e a "Regulamentação para

Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos” do PROCEL.

6. Simule a luz artificial no modelo.

A simulação da luz artificial tem como requisito as luminárias com o tipo, quantidade e potência das lâmpadas que a compõem. Insira estas antes da simulação com seus respectivos arquivos no padrão IES.

Esta iluminação será utilizada à noite, quando não há incidência de luz natural contribuindo para aumentar a quantidade de lux no ambiente.

**Para o IES <VE>:**

Antes da simulação, insira os tipos de luminária com seus respectivos arquivos IES.

Informe ao programa a luminária com o tipo, quantidade e potência das lâmpadas que a compõem, e a quantidade mínima de lux para cada ambiente.

7. Analise a iluminância nos ambientes. Mais uma vez, tenha como parâmetros para esta análise a Norma ABNT NB-57 que estabelece valores mínimos para a iluminância de interiores e a "Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos” do PROCEL.

Faça as modificações nas luminárias aumentando ou diminuindo a quantidade destas ou substituindo-as de modo a obter a quantidade mínima de lux estabelecida pela NB-57 para cada ambiente. Assim, será atendida também a regulamentação do PROCEL.

**Para o IES <VE>:**

O IES <VE> apresenta um quadro após a simulação. Esse quadro mostra opções com a quantidade de luminárias necessárias para atingir a quantidade de lux determinada, entre outros dados. Após a escolha de uma das opções, o programa automaticamente as insere no modelo.

8. Análise a luz natural + luz artificial.

Nessa simulação é importante considerar as três diferentes épocas e três horários diferentes (solstícios de verão (21/dez) e inverno (21/jun) e no equinócio (21/set). Horários de 9h, 12h e 15h) descritos no item 4.

Esta iluminação será utilizada durante o dia, com a contribuição da luz natural para minimizar o gasto energético proveniente das luminárias.

Essa simulação utiliza o modelo com as modificações resultantes da simulação da luz natural e as luminárias configuradas após a simulação da luz artificial.

9. Analise iluminância nos ambientes considerando as duas fontes de luz. Mais uma vez, tenha como parâmetros para esta análise a NB-57 e a regulamentação do PROCEL.

Distribua os circuitos das luminárias para que somente a quantidade necessária fique acesa durante o dia. Assim, pode ser obtida a quantidade mínima de lux estabelecida pela NB-57 para cada ambiente. Será atendida também a regulamentação do PROCEL.

**Para o IES <VE>:**

O IES <VE> apresenta um quadro após a simulação. Esse quadro mostra opções com a quantidade de luminárias necessárias para atingir a quantidade de lux determinada, entre outros dados. Após a escolha de uma das opções, o programa automaticamente as insere no modelo.

Após as simulações e modificações no modelo, o arquivo pode ser exportado de volta para o programa BIM para que as modificações feitas no simulador ambiental sejam atualizadas. Como os *softwares* aceitam a exportação do modelo somente em planta baixa, só é possível atualizar os elementos que aparecem nessa projeção ortogonal.

10. Clique em **File > Export > To External Analysis Tool... >** em **Save as type** selecione o formato **.dxf** e informe, através do browser, onde deseja salvar o arquivo. Em **File name** crie um nome para este arquivo. Clique em **Salvar**.

**Para o IES <VE>:**

Selecione o aplicativo "**ModelIT – Building Modeller**". Clique em **ModelIT > Export .dxf File... >** informe, através do browser, onde deseja salvar o arquivo. Em **Nome do arquivo** dê um nome para o novo arquivo. Clique em **Salvar**.

**No software BIM:**

---

11. Exporte o modelo de volta para o programa BIM. Clique em **Insert > Import > Import CAD**. Escolha o formato **.dxf** em **Files of type** e selecione o arquivo pelo browser. Clique em **Open**.

**Para o IES <VE>:**

1. Selecione **Ficheiro > Conteúdo Externo > Colocar Desenho Externo....** Escolha o formato **.dxf** em **Arquivos do tipo** e selecione o arquivo pelo browser. Clique em **Abrir**.
2. informe, através do browser, onde deseja salvar o arquivo. Em **Nome do arquivo** dê um nome para o novo arquivo. Clique em **Salvar**.