

Universidade Federal de Juiz de Fora  
Pós-Graduação em Ambiente Construído  
Mestrado em Ambiente Construído

Juliana Amaral de São José

**Estudo de desempenho de ferramenta computacional  
no cálculo da luz natural em edificações para a cidade  
de Juiz de Fora**

Juiz de Fora

2015

Juliana Amaral de São José

**Estudo de desempenho de ferramenta computacional no cálculo da  
luz natural em edificações para a cidade de Juiz de Fora**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído, na área de concentração de Gestão do Ambiente Construído, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ambiente Construído.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Martins Borges

Juiz de Fora

2015

São José, Juliana Amaral de.

Estudo de desempenho de ferramenta computacional no cálculo da luz natural em edificações para a cidade de Juiz de Fora / Juliana Amaral de São José. -- 2015.

144 p.

Orientador: Marcos Martins Borges

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2015.

1. Análise Lumínica. 2. Simulação Computacional. 3. Ecotect.

I. Borges, Marcos Martins, orient. II. Título.

Juliana Amaral de São José

**Estudo de desempenho de ferramenta computacional no cálculo da luz natural em edificações para a cidade de Juiz de Fora**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído, na área de concentração de Gestão do Ambiente Construído, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ambiente Construído.

Aprovada em 02 de junho de 2015

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Marcos Martins Borges  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Letícia Maria de Araújo Zambrano  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Prof. Dr. Ernani Simplício Machado  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Prof. Dr. Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá  
Universidade Federal de Viçosa

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pois sem sua presença este caminho não seria trilhado.

Ao meu orientador, Marcos Martins Borges, pela sua dedicação, nobreza e exemplo seguido por essa jornada, proporcionando a oportunidade de concretizar este trabalho.

À minha família - em especial à minha mãe, Marília Amaral de São José, ao meu pai, Jairo Eustáquio de São José, em lembrança, ao meu irmão Leonardo Amaral de São José, aos meus avós, tios e primos, pelo amor incondicional, exemplo de humanidade, superação e apoio dedicados a cada passo da minha vida.

À minha irmã Ana Carolina Amaral de São José Perrone e ao meu cunhado Ítalo Tuler Perrone, pelo apoio e auxílio na busca de caminhos, soluções e novas descobertas.

Em especial à amiga Suzana Keiko Ikegami, pela dedicação, companheirismo e incentivo, sabendo segurar minha postura erguida nos momentos mais difíceis do caminho.

Ao grande amigo Fábio Luiz da Fonseca, que esteve presente nos momentos decisivos deste caminho, dividindo as dores e as doçuras desta inesquecível batalha.

Ao amigo Gustavo Resgala Silva, pelo exemplo, incentivo e amizade incondicional.

Aos professores Antonio Ferreira Colchete Filho e Klaus Chaves Alberto, pelas palavras de apoio e nobreza de espírito, demonstrando integridade nas atitudes nos momentos decisivos desta jornada.

Aos professores Letícia Maria de Araújo Zambrano, Ernani Simplício Machado e Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá, pela experiência compartilhada e exemplo a ser seguido.

Aos queridos amigos e companheiros; aos colegas formados pela turma do mestrado, que acompanharam a construção desta história.

À Universidade Federal de Juiz de Fora e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pela oportunidade de realização deste trabalho.

A todos que participaram do meu caminho até a concretização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

A demanda crescente do mercado da construção civil por edificações que possuam baixo consumo energético exige, a cada dia, respostas rápidas e soluções de projeto eficientes. O uso de *software* na elaboração do projeto aperfeiçoa cada vez mais este processo. O objetivo dessa pesquisa foi conhecer a melhor aplicabilidade e usabilidade do *software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis* no processo de projeto, em relação à contribuição da luz natural no ambiente construído. O referido *software* se apresenta como uma alternativa para auxiliar a análise de conforto durante as primeiras etapas da elaboração do projeto. Para sua análise, foram cruzados os resultados de simulações computacionais e resultados obtidos através de medições feitas no local de estudo. A contribuição após a aferição de resultados deste trabalho, está na demonstração da adequação e usabilidade de *softwares* de simulação na otimização do processo de projeto. Assim, este estudo nos mostra a melhor aplicabilidade do *software* no que diz respeito à influência da iluminação natural na concepção arquitetônica. Este processo de usabilidade e desempenho do *software* pode proporcionar o desenvolvimento de novas metodologias de trabalho para o processo projetual.

**Palavras-chave:** análise lumínica, simulação computacional, *Ecotect<sup>TM</sup>*.

## ABSTRACT

The increasing market of low energy building constructions demand new efficiency projects and quickly solutions. The Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis software allows the evaluation of comfort during the early stages of project design. The aim of this research was to evaluate the software performance on the architectural project concerning the daylighting. A sequence of methodological analyses were performed to compare results from computational simulation and collected data from the study site. According to the results is possible to prove the suitability and usability of the software in the project optimization. This work shows the optimization of the software concerning the effect of daylighting on the architectonic conception. The performance and adequacy of the software leads to the development of new strategies for the design process.

**Keywords:** lumen analysis, computer simulation, Ecotect<sup>TM</sup>.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	18
1.2 JUSTIFICATIVA.....	19
1.3 OBJETIVO .....	19
1.4 RESTRIÇÃO PARA A PESQUISA .....	20
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	20
1.6 CONTRIBUIÇÕES .....	21
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	22
2.1 ILUMINAÇÃO NATURAL – CONCEITOS GERAIS.....	22
2.1.1. Método do Fluxo Dividido.....	29
2.2 MUDANÇA DE PERCEPÇÃO E DE PROCESSO DE PROJETO COM A INSERÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS .....	33
2.1.1. Tecnologia e Processo .....	35
2.1.2. CAD e Iluminação .....	38
2.3 INTEGRAÇÃO DE PROJETO.....	39
2.2.1. BIM e Iluminação.....	43
2.4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL VOLTADA À ILUMINAÇÃO .....	46
2.4.1. O <i>Ray Tracing</i> e o <i>Radiosity</i> .....	48
2.4.2. <i>Softwares</i> de Simulação.....	50
2.5 SISTEMAS DE ANÁLISE DE <i>SOFTWARE</i> .....	51
2.5.1. Método Experimental ou Empírico.....	52
2.5.2. Método Analítico .....	53
2.5.3. Método Comparativo.....	54
2.6 <i>AUTODESK<sup>R</sup> ECOTECH<sup>TM</sup> ANALYSIS</i> .....	56
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	60
3.1 PRIMEIRA ETAPA: Aproximação.....	62
3.2 SEGUNDA ETAPA: Ambiente Construído x Virtual.....	63
3.3 TERCEIRA ETAPA: Ferramentas Digitais .....	69
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	73
4.1 PRIMEIRA ETAPA: Aproximação.....	75
4.2 SEGUNDA ETAPA: Ambiente Construído x Virtual.....	81

4.3 TERCEIRA ETAPA: Ferramentas Digitais .....	84
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>87</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>92</b>
APÊNDICE I - Caderno de <i>Output's.audit</i> fornecidos pelo software <i>Energypius™</i> após a simulação .....	99
APÊNDICE II – Relatório de medições, fotografias e simulações no intervalo de uma hora pra cada sessão .....	123
APÊNDICE III – Relatório resultados extraídos do <i>EnergyPlus™</i> .....	136
ANEXO I – Softwares de simulação lumínica com seus respectivos fabricantes e características principais .....	139

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aspectos físicos e subjetivos da luz.....	23
Figura 2 – Subdivisão do céu em partes menores. Hemisfera de raio unitário segundo NBR 15.215-3, 2004.....	25
Figura 3 – Princípio do ângulo sólido projetado.....	25
Figura 4 – Céu Claro, distribuição de luminância.....	27
Figura 5 – Céu Encoberto, distribuição de luminância.....	27
Figura 6 – Variação de céu parcialmente encoberto.....	28
Figura 7 – Altura e azimute solar.....	28
Figura 8 – Componentes da Luz Natural.....	30
Figura 9 – Sobreposição Máscara de Obstrução sobre Diagrama de Contribuição Relativa.....	31
Figura 10 – Contribuição das superfícies internas na iluminância segundo Diagrama de Contribuição Relativa.....	32
Figura 11 – Nota na interface do <i>software</i> durante o momento de simulação.	32
Figura 12 – Interface digital em filme de ficção científica.....	36
Figura 13 – O uso da computação gráfica auxiliando o processo de projeto... 38	
Figura 14 – Inserção de informações geométricas e não geométricas dentro da plataforma BIM do <i>software Autodesk<sup>R</sup> Revit<sup>TM</sup></i> .....	41
Figura 15 – Extração de projeções para um mesmo modelo projetado.....	42
Figura 16 – Rede de tecnologia BIM. Representação do <i>lifecycle</i> .....	43
Figura 17 – Relação entre tecnologia BIM e ferramentas de simulação.....	45
Figura 18 – Arquivo em formato IES.....	50
Figura 19 – Arquivo em formato EULUMDAT.....	50
Figura 20 – Representação esquemática do processo metodológico.....	55
Figura 21 – Análise do conforto lumínico e térmico na plataforma de trabalho do <i>software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis</i> .....	58
Figura 22 – Análise do conforto auditivo na plataforma de trabalho do <i>software</i> <i>Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis</i> .....	58
Figura 23 – Iluminação Natural.....	59
Figura 24 – Estrutura metodológica.....	60
Figura 25 – Etapas de análise.....	62

Figura 26 – Imagem do globo terrestre planificado com locação das cidades em relação aos trópicos. ....	63
Figura 27 – Implantação da sala de aula na Faculdade de Engenharia da UFJF. ....	64
Figura 28 – Planta de Locação da sala de aula. ....	64
Figura 29 – Corte AA' da sala de aula. ....	65
Figura 30 – Modelo do luxímetro utilizado para as medições. ....	66
Figura 31 – Imagem da sala de aula fotografada após o momento de medição às 11h. ....	66
Figura 32 – Planta baixa da sala de aula com marcações dos pontos de medição pelo luxímetro. ....	67
Figura 33 – Sala de aula modelada em 3D com grelha de análise disposta sobre o piso. ....	69
Figura 34 – Interface da ferramenta <i>IDFEditor</i> , pertencente ao <i>software EnergyPlus™</i> para entrada de dados. ....	70
Figura 35 – Planta baixa do ambiente, modelada a partir do <i>software EnergyPlus™</i> com os pontos de análise da iluminância. ....	72
Figura 36 – Mapeamento digital do ambiente através da distribuição de iluminância. ....	74
Figura 37 – Modelo 3D. Análise considerando céu encoberto às 14h para a cidade de Juiz de Fora, em 17 de fevereiro. ....	75
Figura 38 – Simulação <i>Ecotect™</i> . Juiz de Fora, 14h céu encoberto. ....	76
Figura 39 – Juiz de Fora, céu encoberto. Planta baixa evidenciando as áreas com iluminância mais intensa. ....	76
Figura 40 – Simulações <i>Ecotect™</i> , céu encoberto. ....	77
Figura 41 – Simulação <i>Ecotect™</i> . Juiz de Fora, 14h céu claro, 17 de fevereiro. ....	79
Figura 42 – Juiz de Fora, céu claro. Planta baixa evidenciando as áreas com iluminância mais intensa. ....	79
Figura 43 – Simulações <i>Ecotect™</i> , céu claro. ....	80
Figura 44 – Simulação <i>Ecotect™</i> . 7h. ....	81
Figura 45 – Medição x <i>Ecotect™</i> . ....	83
Figura 46 – <i>Ecotect™</i> x <i>EnergyPlus™</i> x Medição. ....	86
Figura 47 – Linha de latitudes referenciais. ....	88

Figura 48 – Fotografia sala 4272 7h, dia 17/02/2011 .....	123
Figura 49 – Resultado de simulação feita no <i>Ecotect</i> <sup>TM</sup> 7h, dia 17/02/2011 ..	123
Figura 50 – Fotografia sala 4272 8h, dia 17/02/2011 .....	124
Figura 51 – Resultado de simulação feita no <i>Ecotect</i> <sup>TM</sup> 8h, dia 17/02/2011 ..	124
Figura 52 – Fotografia sala 4272 9h, dia 17/02/2011 .....	125
Figura 53 – Resultado de simulação feita no <i>Ecotect</i> <sup>TM</sup> 9h, dia 17/02/2011 ..	125
Figura 54 – Fotografia sala 4272 10h, dia 17/02/2011 .....	126
Figura 55 – Resultado de simulação feita no <i>Ecotect</i> <sup>TM</sup> 10h, dia 17/02/2011	126
Figura 56 - Fotografia sala 4272 11h, dia 17/02/2011 .....	127
Figura 57 – Resultado de simulação feita no <i>Ecotect</i> <sup>TM</sup> 11h, dia 17/02/2011	127
Figura 58 – Fotografia sala 4272 12h, dia 17/02/2011 .....	128
Figura 59 – Resultado de simulação feita no <i>Ecotect</i> <sup>TM</sup> 11h, dia 17/02/2011	128
Figura 60 – Fotografia sala 4272 13h, dia 17/02/2011 .....	129
Figura 61 – Resultado de simulação feita no <i>Ecotect</i> <sup>TM</sup> 13h, dia 17/02/2011	129
Figura 62 – Fotografia sala 4272 14h, dia 17/02/2011 .....	130
Figura 63 – Resultado de simulação feita no <i>Ecotect</i> <sup>TM</sup> 14h, dia 17/02/2011	130
Figura 64 – Fotografia sala 4272 15h, dia 17/02/2011 .....	131
Figura 65 – Resultado de simulação feita no <i>Ecotect</i> <sup>TM</sup> 15h, dia 17/02/2011	131
Figura 66 – Fotografia sala 4272 16h, dia 17/02/2011 .....	132
Figura 67 – Resultado de simulação feita no <i>Ecotect</i> <sup>TM</sup> 16h, dia 17/02/2011	132
Figura 68 – Fotografia sala 4272 17h, dia 17/02/2011 .....	133
Figura 69 – Resultado de simulação feita no <i>Ecotect</i> <sup>TM</sup> 17h, dia 17/02/2011	133
Figura 70 – Fotografia sala 4272 18h, dia 17/02/2011 .....	134
Figura 71 – Resultado de simulação feita no <i>Ecotect</i> <sup>TM</sup> 18h, dia 17/02/2011	134
Figura 72 – Fotografia sala 4272 19h, dia 17/02/2011 .....	135
Figura 73 – Resultado de simulação feita no <i>Ecotect</i> <sup>TM</sup> 19h, dia 17/02/2011	135

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Softwares de Simulação Lumínica .....	139
--	-----

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Fatores de Turvamento. ....	29
Tabela 2 – Refletância média das superfícies. ....	65
Tabela 3 – Quantidade mínima de pontos a serem medidos. ....	67
Tabela 4 – Dados de entrada, plataforma <i>IDFEditor</i> . ....	71
Tabela 5 – Iluminância às 7h, dia 17/02/2011, medido por luxímetro no ambiente real. ....	81
Tabela 6 – Formatação dos resultados do <i>EnergyPlus</i> <sup>TM</sup> extraídos em arquivo formato .csv. ....	84
Tabela 7 – Variação de iluminância em relação à altura solar. ....	87
Tabela 8 – Iluminância em relação à latitude e às estações do ano. ....	88
Tabela 9 – Medição de iluminância 7h, dia 17/02/2011 ....	123
Tabela 10 – Medição de iluminância 8h, dia 17/02/2011 ....	124
Tabela 11 – Medição de iluminância 9h, dia 17/02/2011 ....	125
Tabela 12 – Medição de iluminância 10h, dia 17/02/2011 ....	126
Tabela 13 – Medição de iluminância 11h, dia 17/02/2011 ....	127
Tabela 14 – Medição de iluminância 12h, dia 17/02/2011 ....	128
Tabela 15 – Medição de iluminância 13h, dia 17/02/2011 ....	129
Tabela 16 – Medição de iluminância 14h, dia 17/02/2011 ....	130
Tabela 17 – Medição de iluminância 15h, dia 17/02/2011 ....	131
Tabela 18 – Medição de iluminância 16h, dia 17/02/2011 ....	132
Tabela 19 – Medição de iluminância 17h, dia 17/02/2011 ....	133
Tabela 20 – Medição de iluminância 18h, dia 17/02/2011 ....	134
Tabela 21 – Medição de iluminância 19h, dia 17/02/2011 ....	135
Tabela 22 - Simulação feita no <i>EnergyPlus</i> <sup>TM</sup> , dia 17/02/2011 ....	136

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

<b>2D</b>	-	Duas dimensões – Geralmente referem-se ao plano
<b>3D</b>	-	Três dimensões – Geralmente referem-se ao espaço
<b>3DS</b>	-	Extensão de arquivo digital de objetos e ambientes em 3D lidos no programa 3D <i>Studio Max</i>
<b>ASHRAE</b>	-	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
<b>BESTEST</b>	-	<i>Building Energy Simulation Test</i>
<b>BIM</b>	-	<i>Building Information Modeling</i>
<b>CAD</b>	-	<i>Computer-aided Design</i>
<b>CC</b>	-	Componente do Céu
<b>CERL</b>	-	<i>Construction Engineering Research Laboratories</i>
<b>CIE</b>	-	<i>Commission Internationale de L'Eclairage</i>
<b>CIFE</b>	-	<i>Center of Integrated Facility Engineering</i>
<b>CIN</b>	-	Contribuição de Iluminação Natural
<b>CRE</b>	-	Componente Refletida Externamente
<b>CRI</b>	-	Componente Refletida Internamente
<b>CSV</b>	-	<i>Comma-separated values</i>
<b>CUB</b>	-	Custo Unitário Básico
<b>DOE</b>	-	<i>Department of Energy</i>
<b>DOS</b>	-	<i>Disk Operating System</i>
<b>DWG</b>	-	Extensão de arquivo digital para desenhos vetoriais em 2D e 3D com informações cartesianas lidas através de <i>software CAD</i>
<b>ENCE</b>	-	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
<b>EULUMDAT</b>	-	<i>Exchange of Luminaire Data</i>
<b>HDRI</b>	-	<i>High Dynamic Range Images</i>
<b>FLD</b>	-	Fator de Luz Diurna
<b>IEC</b>	-	<i>International Electrotechnical Commission</i>
<b>IES</b>	-	<i>Illuminating Engineering Society</i>
<b>ISO</b>	-	<i>International Organization for Standardization</i>
<b>LabCAA</b>	-	Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental

<b>LBNL</b>	-	<i>Lawrence Berkeley National Laboratory</i>
<b>LEED</b>	-	<i>Leadership in Energy &amp; Environmental Design</i>
<b>NREL</b>	-	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
<b>OSU</b>	-	<i>Oklahoma State University</i>
<b>TI</b>	-	Tecnologia da Informação
<b>UFJF</b>	-	Universidade Federal de Juiz de Fora
<b>UI</b>	-	<i>University of Illinois</i>

## 1. INTRODUÇÃO

A elaboração do projeto arquitetônico implica na adoção de códigos de comunicação que sejam legíveis para os diferentes grupos envolvidos no processo (IMAI, 2009). Nos últimos anos, devido às influências das novas ferramentas computacionais utilizadas na arquitetura, a forma de comunicação projetual entre os profissionais envolvidos trouxe uma mudança no processo de trabalho. Esta mudança se refletiu na facilidade de acesso, confiabilidade da informação do projeto, aumento da velocidade e qualidade do processo de tomada de decisões, além de melhorar a transmissão de informação entre profissionais e clientes (ALARCÓN; IZAGUIRRE, 2008). Este último aspecto contribui para a aplicação de um método de trabalho democrático envolvendo estas duas esferas participativas do produto.

Por outro lado, mesmo com estas novas ferramentas de projeto, a maior parte das construções, em geral, continua consumindo energia para superar níveis desconfortáveis de calor, frio e iluminação gerados pela própria edificação. Nos Estados Unidos, as construções são responsáveis por 1/3 do consumo de energia do país (BRADDOCK, 2004). No Brasil, segundo Moura e Motta (2013), o cenário não é diferente. A construção civil é o setor que mais consome recursos naturais, sendo a operação de edifícios responsável por aproximadamente 18% do consumo de energia e 50% da energia elétrica é consumida pelos sistemas de climatização e iluminação artificial. Isto está em desacordo com a ideia de que o desenvolvimento tecnológico, social e o equilíbrio ambiental devem caminhar juntos, gerando tecnologias limpas, sem agressões à biodiversidade e aos ecossistemas (ADAN, 2001). Portanto, as implicações ambientais e a situação do local onde se insere a obra de arquitetura são fatores de extrema relevância no processo projetual.

O uso da Tecnologia da Informação (TI) – conjunto de conhecimentos referentes à produção, distribuição, armazenamento, recuperação e utilização da informação (ALARCÓN; IZAGUIRRE 2008) – no processo de projeto, com o amparo de *softwares* de desenho e manipulação da forma, auxilia o processo de tomadas de decisões em todas as etapas do mesmo. No que diz respeito à análise e ao projeto das edificações, sob o olhar do conforto ambiental, existem, atualmente, diversos *softwares* capazes de gerar uma simulação

computacional e fornecer, através de imagens e gráficos, uma melhor apreensão do objeto.

Entre as diversas ferramentas computacionais atualmente disponíveis, o *software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis* possibilita envolver a abordagem do espaço tridimensional na análise do conforto visual, térmico e auditivo de uma maneira didática, de fácil compreensão e execução pelo usuário da ferramenta, bem como representar um meio facilitador da comunicação entre os profissionais envolvidos no projeto e o cliente. Ele reúne, em uma só plataforma, o estudo de variáveis ambientais que, até então, só poderiam ser analisados utilizando uma série de pequenos aplicativos distintos, por vezes mais específicos, como os desenvolvidos por diversos pesquisadores e instituições isoladas no mundo ou com ferramentas certificadas como o *EnergyPlus<sup>TM</sup>* (no Anexo I apresenta-se uma lista de *softwares* pesquisados, procedentes de vários países distintos). A associação desses elementos em um único programa, além de otimizar o processo, congrega diversos componentes de análise do conforto ambiental, tal como a análise lumínica em uma mesma interface, facilitando o uso e a compreensão dos mesmos.

A seguir, as questões abordadas na dissertação, bem como sua estrutura, estão pormenorizadas em cada subitem.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Diante da importância da utilização de *softwares* para a investigação do desempenho da edificação, é necessário fazer a verificação da precisão dos seus resultados em um estágio anterior ao seu uso. Logo, essa necessidade também se aplica ao *software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis* no desenvolvimento de projetos arquitetônicos. O devido uso e análise completa da ferramenta requer a aplicação de testes de acordo com suas finalidades específicas.

O desempenho e a validade do *software* supramencionado, já foram explorados em países do hemisfério norte, sobretudo Estados Unidos e países da Europa, levando em consideração suas condições ambientais, os materiais locais e respectivas técnicas construtivas. À luz dessas experiências, esta pesquisa se debruça sobre as condições climáticas brasileiras e suas técnicas

vigentes, a fim de avaliar o *software* em relação à iluminação natural de um ambiente localizado na cidade de Juiz de Fora - MG, visando poder aplicá-lo em situações reais de projeto para a referida região geográfica.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A inserção de tecnologia no processo de projeto requer também que esta seja submetida a testes que comprovem sua fidelidade e minimizem a suscetibilidade a erros. Devido à grande quantidade de *softwares* de simulação existentes e, por consequência, usando diferentes algoritmos para a simulação de iluminação natural, existe uma lacuna em relação ao quanto esses *softwares* são fiéis ou com poucos desvios do modelo físico real. Como muitos especialistas fazem uso dessas ferramentas de simulação no projeto de edificações, a importância da análise investigativa em relação à precisão dos resultados produzidos pelos *softwares* se faz extremamente presente e importante.

Essa iniciativa de análise do conforto lumínico apoiado por meio informatizado, através de alguns métodos de análise que serão exemplificados no capítulo Revisão Bibliográfica, começa a aparecer em ambientes acadêmicos brasileiros. Seguindo os princípios de verificação da legitimidade de *software*, que serão descritos adiante, esta pesquisa verifica a possibilidade de se atribuir confiabilidade aos trabalhos que usam a ferramenta de estudo *Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis* e os inserir de maneira mais adequada ao processo de projeto.

## 1.3 OBJETIVO

O objetivo geral dessa pesquisa foi gerar conhecimento a respeito do auxílio de *software* de simulação lumínica no processo de projeto. Em específico, o objetivo foi conhecer a melhor aplicação e uso do *software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis* no processo de projeto, em relação à contribuição da luz natural no ambiente construído.

#### 1.4 RESTRIÇÃO PARA A PESQUISA

Considerando-se a amplitude do problema, decidiu-se limitar a pesquisa à análise do desempenho do *software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis*, segundo variáveis ambientais do âmbito do cálculo da luz natural em ambientes. Esta delimitação se faz devido ao tempo restrito de trabalho, levando-se em consideração os procedimentos de medições e geração de resultados.

#### 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos a seguir sintetizados:

Capítulo 1 - **Introdução**: apresenta um recorte do tema e sua relevância acadêmica na abordagem estabelecida pelo estudo.

Capítulo 2 - **Revisão Bibliográfica**: aborda conteúdos que fornecem embasamento científico para o processo de análise elaborado em sequência. Nessa etapa de reunião de conceitos, foram estudados a transformação de percepção e de processo de projeto com inserção de novas tecnologias, a forma de projeção atual à luz da integração de projetos, bem como o uso de ferramentas aplicadas à simulação do conforto ambiental na edificação. O *software* escolhido para análise, *Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis*, possui uma seção destinada ao seu estudo, no qual apresenta-se a ferramenta de simulação abordando seus aspectos referentes à influência da iluminação natural na performance do edifício. Neste capítulo, também foram abordados os métodos de análise de *software* com a temática proposta nesta pesquisa. Para melhor compreensão do comportamento da iluminação natural, foi destinada uma seção para esclarecimento da temática e seus conceitos.

Capítulo 3 – **Materiais e Métodos**: escolhido um ambiente dentro da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, foram feitas análises do *software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis* através dos métodos de análise experimental e comparativa. Estes métodos estão descritos no item

“2.5 - Sistema de Análise de *Software*” da Revisão Bibliográfica. Neste capítulo, também se descreve o método de obtenção de dados de iluminação medidos no local, bem como das simulações feitas pelo *software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis* e pelo *software EnergyPlus<sup>TM</sup>*, já validado e aceito pelo meio científico, utilizado para a análise comparativa.

Capítulo 4 - **Análise de Resultados e Discussão**: apresenta-se o cruzamento dos dados lumínicos coletados no local com os dados calculados pelas simulações nos *softwares Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis* e *EnergyPlus<sup>TM</sup>*. Foram comparadas as conformidades e divergências dos resultados, identificando-se possíveis inconsistências no processo de simulação do *software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis*.

Capítulo 5 - **Conclusão**: apresenta o relato conclusivo proveniente não só dos resultados mas de toda a pesquisa gerada.

## 1.6 CONTRIBUIÇÕES

O estudo do desempenho do *software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis* na simulação do comportamento da luz natural na edificação, permitiu um novo olhar sobre o uso dos *softwares* de simulação como ferramentas inseridas no processo projetual expondo, sobretudo, a aplicabilidade desta ferramenta neste processo. Por meio desta pesquisa, abre-se possibilidade também para o desenvolvimento de novas metodologias para o trabalho desenvolvido no âmbito do projeto de edificações.

O desenvolvimento desta pesquisa dentro do ambiente acadêmico permitiu também reunir subsídios para o aperfeiçoamento científico da temática do conforto ambiental. Todo o processo de investigação do desempenho computacional, com relação à iluminação natural bem como o conhecimento do desempenho e aperfeiçoamento das técnicas usadas no processo projetual permite a otimização do trabalho no mercado no que se refere à qualidade ambiental do ambiente construído.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção aborda conceitos relacionados desde a transformação de percepção e de processo de projeto com inserção de novas tecnologias, bem como o uso dessas ferramentas aplicadas à simulação do conforto ambiental da edificação, com o intuito de embasar cientificamente o processo de análise abordado em sequência. Conceitos abordados nas seções a seguir.

### 2.1 ILUMINAÇÃO NATURAL – CONCEITOS GERAIS

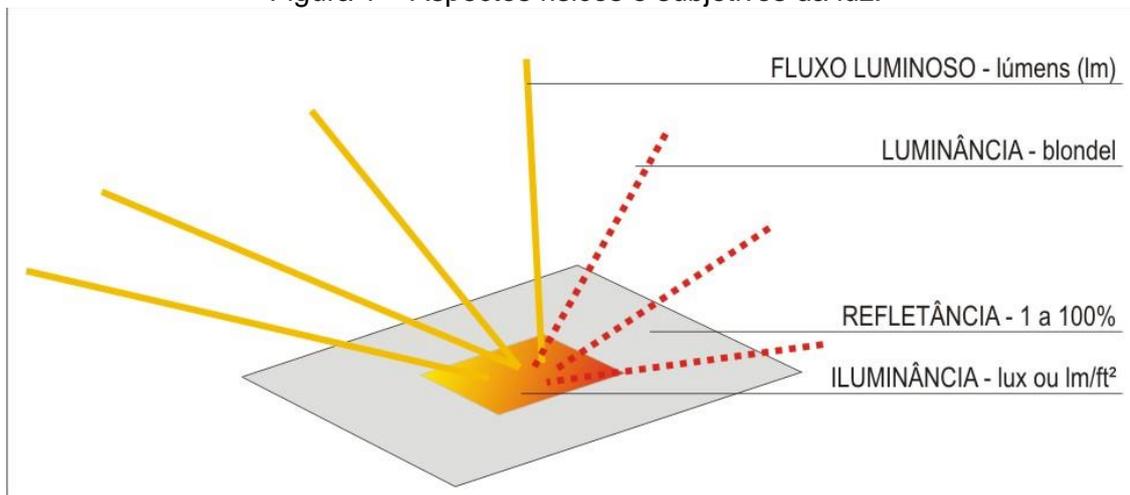
A iluminação natural é um elemento presente no espaço natural e no espaço edificado, interferindo diretamente na relação do homem com o meio em que vive. No ambiente construído, a luz natural ajuda a compor suas formas relacionando os elementos edificados com os sentidos humanos, agregando a estes suas percepções e sensações. Segundo a NBR 5.461 (1991), a luz é um atributo, normalmente produzido pela ação de um estímulo luminoso sobre o sistema visual, indispensável e comum a todas as percepções e sensações peculiares à visão. A percepção dos objetos é dada pelas diferenças de brilho e cor de seus elementos. O primeiro, o brilho, resulta da quantidade de luz recebida pelos olhos, podendo ser transmitido do próprio objeto ou de um elemento primário refletido por ele. Já o segundo, a cor, corresponde fisicamente à distribuição dos comprimentos de onda do espectro eletromagnético da luz.

A intensidade luminosa está relacionada com o sentido de propagação da luz e pode ser medida em *candelas*. A energia radiante visível é medida pelo fluxo luminoso produzido pela fonte luminosa. Esse fluxo é expresso em *lumens* e sua distribuição sobre uma superfície, expressa em *lumens* por unidade de área, é denominado a de iluminância. Para efeito de cálculo, mede-se a iluminância em *lúmen* por unidade de área ( $\text{lm}/\text{m}^2 = \text{lux}$ ).

Quando o fluxo luminoso atinge um objeto, este devolve uma quantidade física de brilho que pode ser medido por um fotômetro. Esta quantidade física de brilho do objeto é denominada luminância, e sua unidade de medida é o *apostilb* ou *blondel*. Já a refletância do objeto exprime a porção de fluxo luminoso incidente sobre uma superfície que é refletida na direção do

observador, para dar a superfície a sua luminância. A refletância expressa o poder refletor de uma superfície e é medida em porcentagem, sendo 100% para uma superfície branca, 50% para cinza claro e 1% para uma superfície totalmente negra (figura 1).

Figura 1 – Aspectos físicos e subjetivos da luz.



Fonte: adaptado de Hopkinson, Petherbridge e Longmore, 1975.

O uso da iluminação artificial potencializa os níveis de iluminância<sup>1</sup> nas ocasiões em que a luz natural não atinge níveis satisfatórios para conforto visual. Entretanto, o uso da iluminação artificial eleva o consumo energético na edificação, fazendo com que, se usada inadequadamente, a iluminação artificial acarrete gastos energéticos desnecessários. Nesse cenário, a aplicação mais adequada da iluminação natural nas edificações promove um melhor aproveitamento da luz, proporcionando um maior conforto ao usuário. O melhor aproveitamento da iluminação natural pode então representar uma redução do uso da iluminação artificial e conseqüentemente uma queda no consumo de energia.

A iluminação natural é composta pela luz direta do sol e pela luz difundida na atmosfera (abóbada celeste). O projeto arquitetônico que toma partido da iluminação natural depende do conhecimento da disponibilidade de luz proporcionada por essas fontes. Segundo a NBR 15.215-2 (2004) a disponibilidade de luz natural é a quantidade de luz em um determinado local,

<sup>1</sup> Razão entre o fluxo luminoso ( $d\phi_v$ ) distribuído sobre uma superfície ( $dA$ ), podendo ser definida pela fórmula:  $E_v = \frac{d\phi_v}{dA}$  (NBR 5.461, 1991).

em função de suas características geográficas (latitude e longitude), climáticas, época como o dia e o mês do ano, posição do sol e tipo de céu. A luminância<sup>2</sup> do céu não é uniforme e não se mantém constante a todo o momento, devido às mudanças na posição do sol e às variações nos mantos das nuvens. Segundo Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975), os cálculos de iluminação são adotados de maneira mais apropriada, distinguindo-se a luz proveniente do Sol e a luz do céu, já que o Sol caracteriza-se pela intensidade luminosa, como fonte, enquanto a abóbada celeste caracteriza-se pela difusão da luz proveniente do Sol, sendo conseqüentemente importante conhecer o seu fluxo luminoso.

A luz proveniente do Sol é superior ao necessário para a realização de tarefas pelo homem e gera aquecimento nos ambientes internos. Seu direcionamento e intensidade<sup>3</sup> podem gerar ofuscamento<sup>4</sup> e ganhos térmicos excessivos ocasionando desconforto ao usuário. Já a iluminância proveniente da luz do céu é obtido através de luz difusa com intensidade média abaixo de 20.000 lux. Considerado de grande importância à iluminação natural, a luz do céu é composta por parte da luz solar que atravessa a atmosfera e se difunde como fonte luminosa por processos de absorção, reflexão e transmissão de luz através das moléculas em suspensão no ar. Sua luminância pode ser obtida através de cálculos que subdividem a abóbada celeste (hemisfera) em partes menores, cada uma com seu nível de luminância (figura 2).

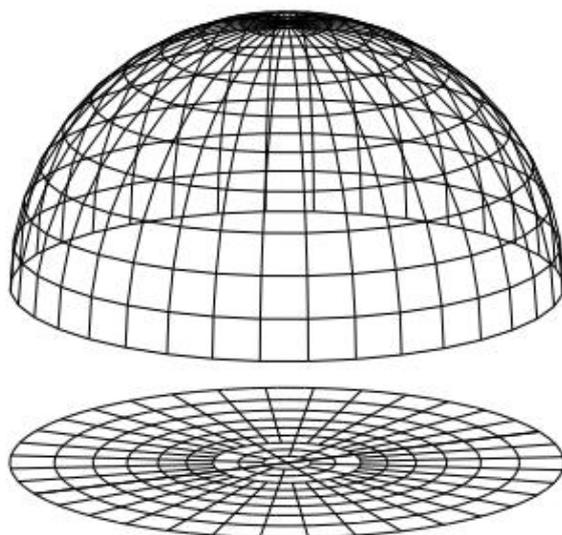
---

<sup>2</sup> Intensidade luminosa que emana de uma superfície em uma dada direção e num ponto dado sobre uma superfície real ou imaginária, podendo ser definida pela fórmula:  $L_v = d\phi_v / dA * \cos\theta * d\Omega$ . Onde:  $d\phi_v$  é o fluxo luminoso transmitido passa pelo ponto dado e se propaga no ângulo sólido  $d\Omega$ ,  $dA$  é a área que contém o ponto dado e  $\theta$  é o ângulo entre a normal e a direção do fecho (NBR 5.461,1991).

<sup>3</sup> É a razão do fluxo luminoso  $d\phi_v$ , que sai da fonte e se propaga no elemento de ângulo sólido  $d\Omega$  cujo eixo coincide com a direção considerada, logo:  $I_v = d\phi_v / d\Omega$ . (NBR 5.461,1991).

<sup>4</sup> Condição de visão na qual há desconforto ou redução da capacidade de distinguir detalhes ou objetos (NBR 5.461,1991).

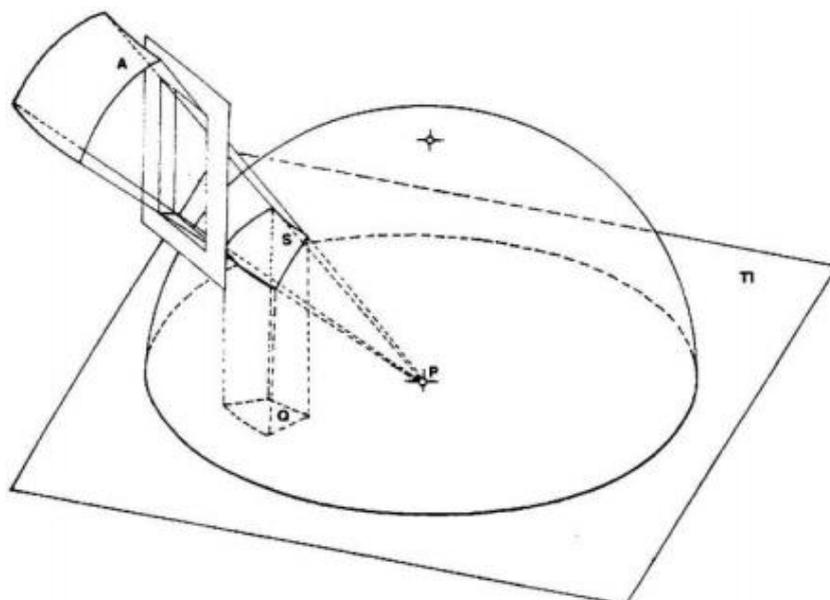
Figura 2 – Subdivisão do céu em partes menores. Hemisfera de raio unitário segundo NBR 15.215-3, 2004.



Fonte: ALBUQUERQUE, 2010.

A iluminação produzida pelo céu visto através de aberturas de uma edificação é definida pela direção e luminância de cada zona do céu e pelo ângulo sólido formado, independente da distância da fonte (figura 3). Logo, a iluminação em um ponto  $P$ , é dada em função da luminância da área de projeção radial através da abertura na hemisfera (NBR 15.215-2, 2004).

Figura 3 – Princípio do ângulo sólido projetado.



Fonte: NBR 15.215-3, 2004.

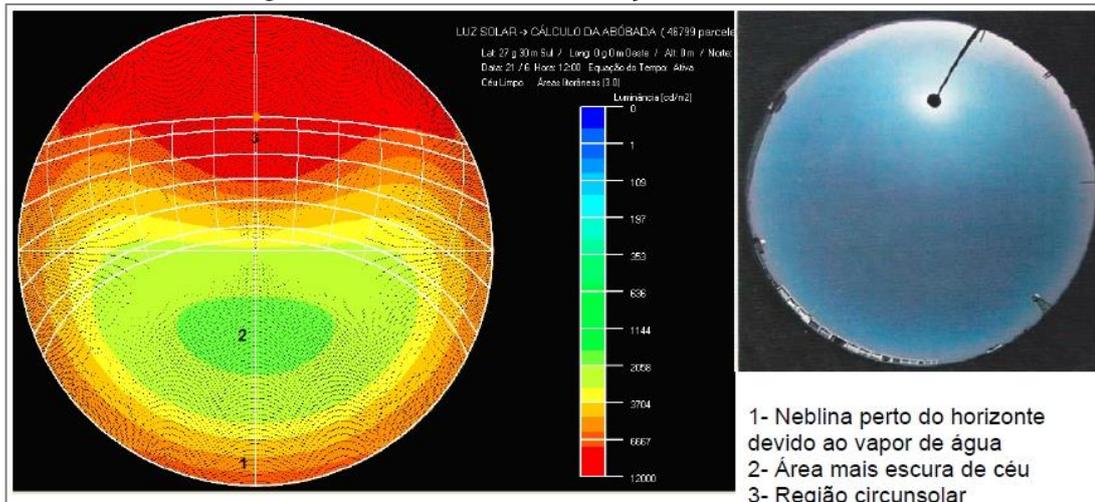
De acordo com a distribuição de luminâncias na superfície celeste, a norma brasileira NBR 15.215-1 (2004) referencia três tipos de céu, cada um com características próprias, que resultam superfícies de iluminância diferenciadas. Os tipos de céu são céu claro, céu encoberto e céu parcialmente encoberto ou intermediário. A norma não leva em consideração a condição de céu uniforme, caracterizada pela uniformidade de luminância em todos os pontos da abóbada celeste, devido à inexistência dessa situação em condições reais, existindo apenas em ambientes simulados. Seguem as características de cada tipo de céu:

- **Céu Claro:** caracteriza-se pela total, ou quase total, inexistência de nuvens e baixa nebulosidade. As pequenas partículas de água presentes na atmosfera fazem com que apenas os baixos comprimentos de onda, a porção azul do espectro, sejam direcionadas à superfície terrestre. O céu claro apresenta maior intensidade de luminância nas áreas ao redor do sol e um tom azul escuro no trecho correspondente a 90° da posição do Sol, ao longo do círculo formado ao redor dele (PEREIRA, 2009). A distribuição de luminância pode ser percebida na figura 4, à esquerda. À direita pode-se ver uma imagem HDRI<sup>5</sup> (*High Dynamic Range Images*) do mesmo céu mostrando o tom azul e o brilho máximo ao redor do Sol. A cobertura de nuvens, grandeza expressa em uma escala que varia de 0% a 100%, para o céu claro pode variar de 0% a 35% (NBR 15.215-2, 2004).

---

<sup>5</sup> Na imagem HDRI, são feitas várias fotografias com variação de exposição da objetiva da câmera fotográfica dentro de uma mesma cena. Após a captura, as fotografias são fundidas em uma única imagem. Esta técnica permite uma melhor visualização dos planos da cena e ajuste da sua iluminação (INANICI; GALVIN, 2004).

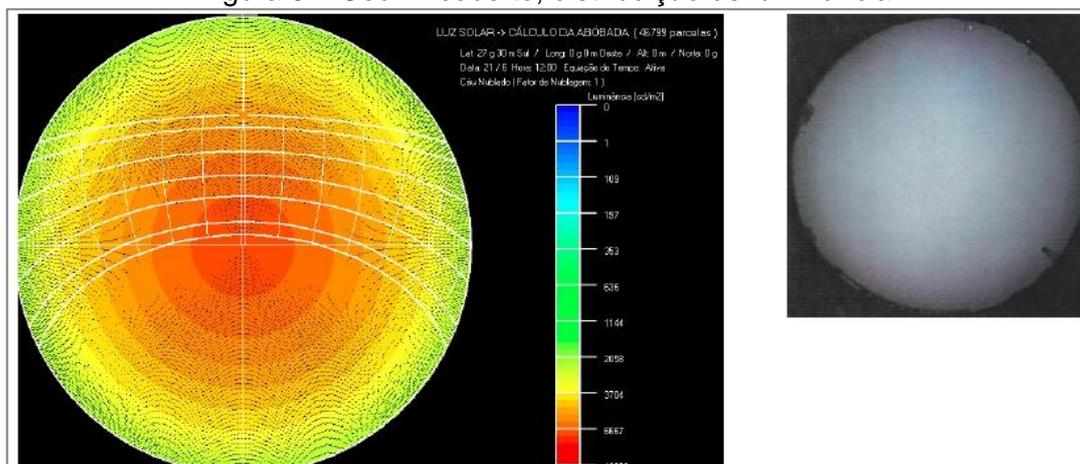
Figura 4 – Céu Claro, distribuição de luminância.



Fonte: PEREIRA, 2009.

- Céu Encoberto:** condição de céu caracterizada pelo preenchimento de nuvens em toda a superfície da abóbada celeste. A reflexão/refração da luz direta do Sol, para todos os comprimentos de onda, em grandes partículas de água em suspensão na atmosfera resulta em uma abóbada cinza-claro. Esse tipo de céu é utilizado, para efeito de cálculo, como condição mínima de projeto. Na figura 5, nota-se à esquerda uma considerável redução da intensidade de luminância, porém sua distribuição acontece de maneira mais homogênea em relação ao tipo de céu claro. A intensidade mais elevada é percebida no centro da abóbada. À direita pode-se ver uma imagem HDRI do mesmo céu. Para esse céu, a cobertura de nuvens pode variar de 75% a 100%.

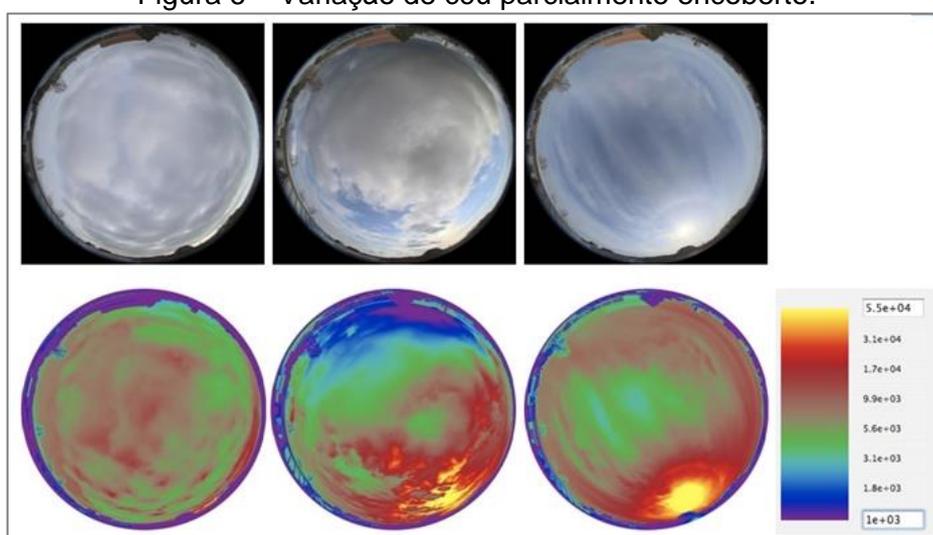
Figura 5 – Céu Encoberto, distribuição de luminância.



Fonte: PEREIRA, 2009.

- **Céu Parcialmente Encoberto:** possui a presença de nuvens combinadas com o céu azul e períodos de nebulosidade variável (PEREIRA, 2009). A variação da intensidade de luminância na abóbada é grande durante o dia. A figura 6 apresenta uma sequência de imagens HDRI de um céu parcialmente encoberto, acima da figura. Nota-se nas distribuições de luminância correspondentes às imagens, a variação das áreas mais e menos iluminadas. Para esse céu, a cobertura de nuvens pode variar de 35% a 75%.

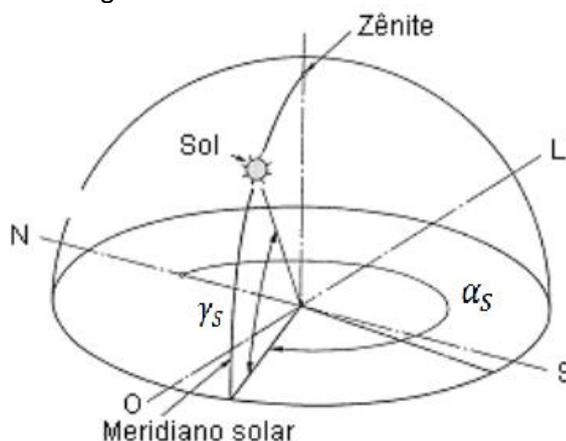
Figura 6 – Variação de céu parcialmente encoberto.



Fonte: Inanici, 2015.

A iluminância proveniente do céu em um plano horizontal pode ser estimada em função da altura solar  $\gamma_s$  (figura 7).

Figura 7 – Altura e azimute solar.



Fonte: NBR 15.215-2, 2004.

Para a condição de céu claro, a iluminância  $E_{ch}$  pode ser expressa de acordo com as equações 1 e 2:

$$E_{ch} = 0,8 + 15,5 * \sqrt{\text{sen } \gamma_S} , \text{ para } T = 3,00 \text{ (condição de céu limpo)} \quad (1)$$

$$E_{ch} = (0,9 + 6,5 * \tan \gamma_S) , \text{ para } T = 5,5 \text{ (condição de céu turvo)} \quad (2)$$

T é o fator de turvamento (tabela 1), coeficiente atmosférico através do qual a iluminação é atenuada. Sendo:

Tabela 1 – Fatores de Turvamento.

Região	Fator de Turvamento (T)
Ar limpo e seco	1,0
Ar seco em áreas montanhosas	1,5
Áreas rurais	2,5
Áreas urbanas	3,0 a 5,5
Áreas industriais	> 5,5

Fonte: NBR 15.215-2, 2004.

Para a condição de céu encoberto, a iluminância  $E_{ceh}$  pode ser expressa de acordo com a equação 3:

$$E_{ceh} = 0,3 + 21 * \text{sen } \gamma_S \quad (3)$$

Para a condição de céu parcialmente encoberto, a iluminância  $E_{cih}$  pode ser expressa de acordo com a equação 4:

$$E_{cih} = 0,3 + 45 * \text{sen } \gamma_S \quad (4)$$

### 2.1.1. Método do Fluxo Dividido

Para ambientes internos, os cálculos de iluminação podem ser auxiliados pelo método de fluxo dividido. Este método se baseia no Fator de Luz Diurna (FLD) que é a razão entre a iluminação natural de um ponto específico em um plano horizontal dentro do modelo devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste, e a iluminação num plano horizontal externo produzida pela abóbada celeste totalmente desobstruída, expressa em porcentagem (NBR 15.215-1, 2004). O Fator de Luz do Dia, segundo a NBR 15.215-3 (2004), pode ser expresso pela equação 5:

$$DF = \frac{E_P}{E_E} * 100\% \quad (5)$$

Onde:

$DF$  é o Fator de Luz do Dia, “*Daylight Factor*”;

$E_p$  é a iluminância em um ponto localizado em um plano horizontal interno;

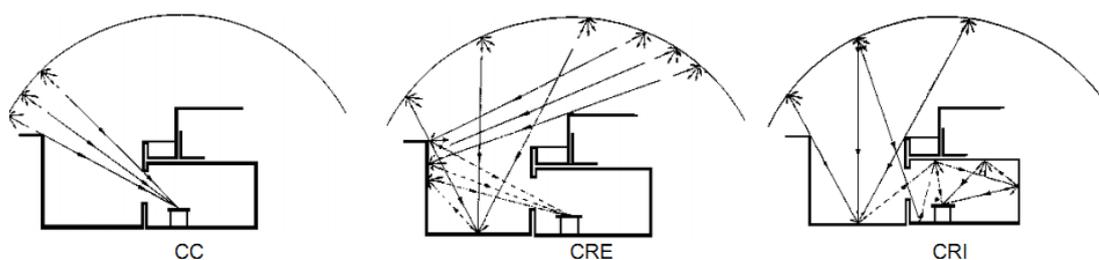
$E_E$  é a iluminância simultânea em um plano horizontal externo devida à uma abóbada celeste desobstruída.

Segundo Cardoso, Almeida e Bragança (2007), a análise básica de iluminação natural deve utilizar dois tipos céu: céu encoberto padrão e céu claro, seguindo a norma da CIE (*Commission Internationale de L’Eclairage*). Além disso, os dados geográficos do local, tais como latitude, longitude e orientação do edifício, devem ser preenchidos para o alcance dos resultados que podem ser apresentados numericamente ou graficamente em formatos distintos. Para Sibilio, Falconetti e Maffei (2008), o método é baseado no pressuposto de que existem três componentes da luz natural que atinge qualquer ponto dentro de um ambiente, ignorando a luz solar direta. As componentes são:

- Componente do Céu (CC): componente proveniente diretamente do céu, penetrando no ambiente através de uma abertura, como uma janela;
- Componente Refletida Externamente (CRE): componente refletida no chão, árvores ou outros edifícios, previamente à sua penetração no interior do ambiente;
- Componente Refletida Internamente (CRI): componente proveniente da inter-reflexão de uma ou mais superfícies internas no ambiente.

A figura 8 ilustra esquematicamente o comportamento dessas componentes no ambiente.

Figura 8 – Componentes da Luz Natural.  
sendo:  $FLD = CC + CRE + CRI$ .



Fonte: NBR 15.215-3, 2004.

A Contribuição de Iluminação Natural (CIN) equivalente ao Fator de Luz Diurna aplicado para qualquer condição de céu com distribuição de luminância conhecida pode ser calculada pela equação 6:

$$CIN = (CC + CRE + CRI) * K_T * K_M * K_C \quad (6)$$

Onde:

K é o fator de correção relativo aos efeitos redutores produzidos pelos separadores contidos na abertura, ou seja,

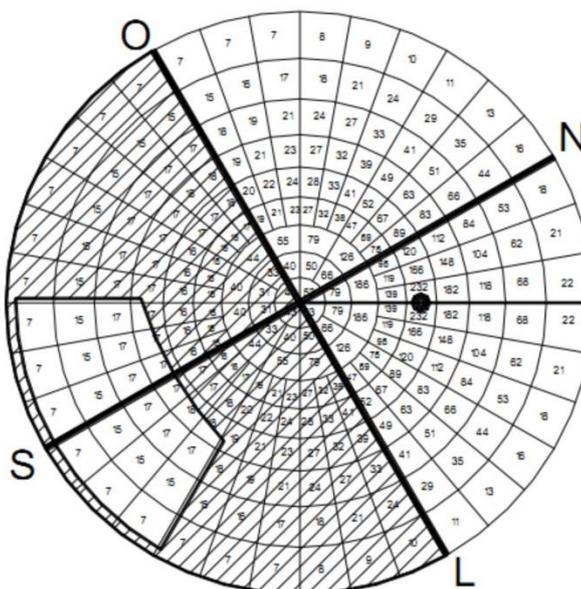
$K_T$  é o fator de transmissividade do vidro;

$K_M$  é o fator de manutenção;

$K_C$  é o fator de caixilho.

A CC é calculada através da soma das parcelas de contribuição relativas à fração de céu visível através da abertura (figura 9).

Figura 9 – Sobreposição Máscara de Obstrução sobre Diagrama de Contribuição Relativa

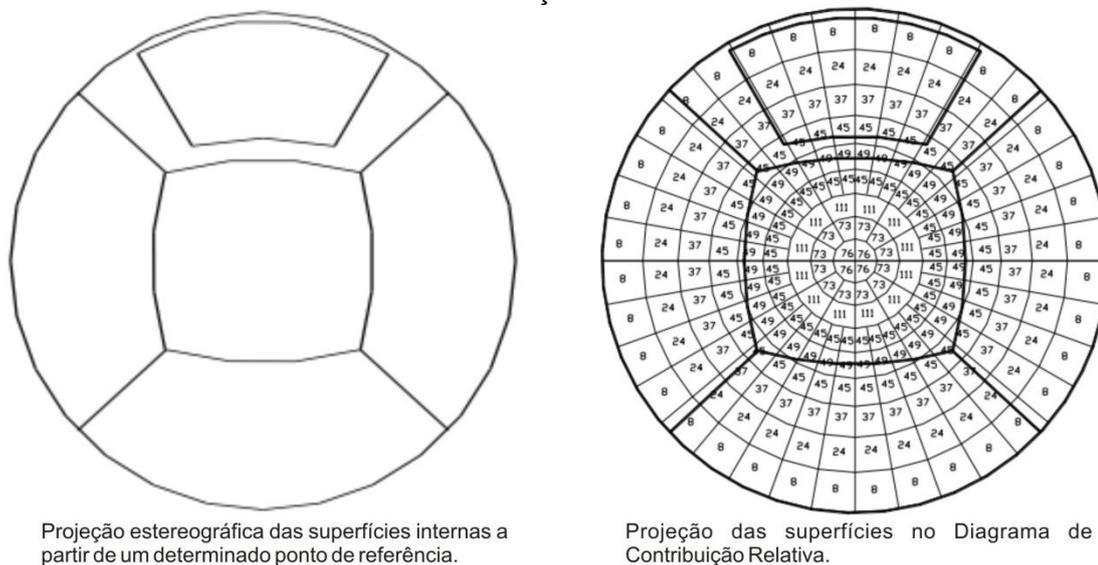


Fonte: NBR 15.215-3, 2004.

A CRE é calculada em função do coeficiente de reflexão da superfície externa, quando essa superfície não for iluminada pelo sol direto, ou pela multiplicação da iluminância na superfície oposta à abertura pelo fator de forma correspondente à área obstruída da abóbada celeste, quando a superfície de reflexão externa for iluminada diretamente pelo sol.

A CRI é calculada através da soma das parcelas de contribuição relativas à fração de céu projetada nas superfícies internas visíveis a partir de um ponto (figura 10).

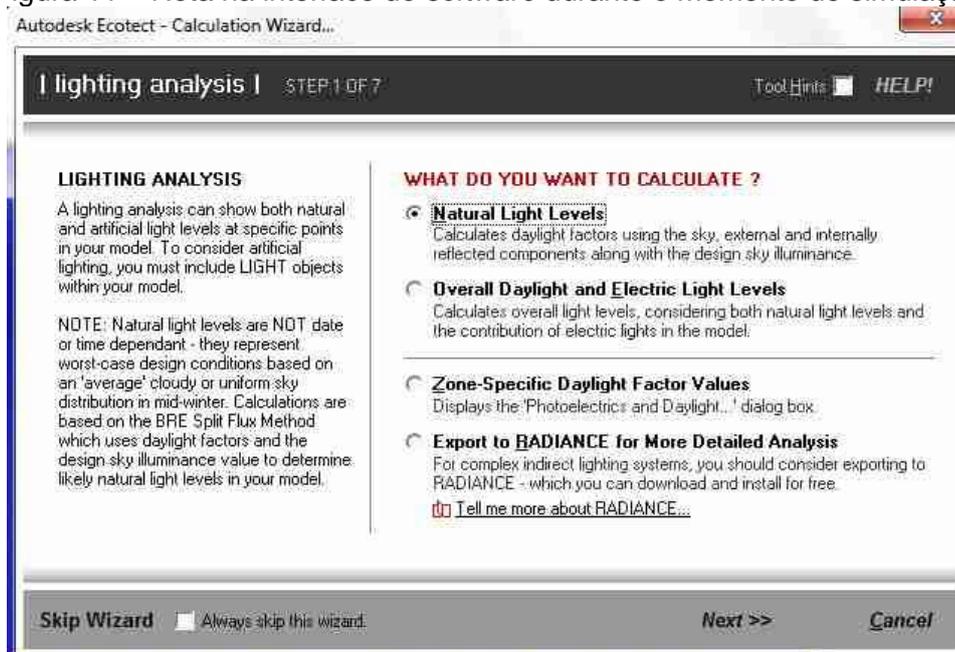
Figura 10 – Contribuição das superfícies internas na iluminância segundo Diagrama de Contribuição Relativa



Fonte: NBR 15.215-3, 2004.

O método do fluxo dividido está presente nos *softwares* de iluminação natural a exemplo do *Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis* que utiliza esse método para o cálculo de iluminação em ambientes internos, como visto na figura 10.

Figura 11 – Nota na interface do *software* durante o momento de simulação.



Fonte: Autodesk (2010).

Transcrição da nota:

*“NOTE: Natural light levels are NOT date or time dependant - they represent worst-case design conditions based on an 'average' cloudy or uniform sky distribution in mid-winter. Calculations are based on the BRE Split Flux Method which uses daylight factors and the design sky illuminance value to determine likely natural light levels in your model.”*  
(AUTODESK, 2010)

Tradução:

Nota: Os níveis de luz natural não são dependentes de data ou hora – eles representam as piores condições de projeto baseado no céu parcialmente nublado ou céu com distribuição uniforme no inverno. Os cálculos são baseados no método BRE de fluxo dividido que utiliza fator de luz do dia e a iluminância projetada pelo céu para determinar os prováveis níveis de luz natural em seu modelo.

## 2.2 MUDANÇA DE PERCEPÇÃO E DE PROCESSO DE PROJETO COM A INSERÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS

A arquitetura e a indústria da construção passam, constantemente, por um processo natural de evolução tecnocientífica que prima pela melhoria da qualidade do produto, além da busca permanente pela excelência do processo de produção. Esse avanço é pautado pela melhoria de ferramentas que trazem um nível de proximidade cada vez maior do objeto projetado com a realidade, inserindo de uma maneira mais fluente, o ambiente virtual no espaço real e concreto. Com a inserção de novas tecnologias, profissionais e pesquisadores da área estão inseridos em diversas discussões relacionadas a essas modificações do processo. Esse novo paradigma acaba por gerar uma nova concepção de trabalho e ensino da arquitetura.

Segundo Carvalho e Almeida (2002), a arquitetura pode ser vista como um produto da cultura que reflete todos os costumes e valores de uma época. Variações nos contextos físico, tecnológico e social provocam revisões na forma de concepção do arquiteto, introduzindo novas respostas na prática

arquitetônica e no ambiente construído. Para os autores, as novas tecnologias vêm gradativamente modificando a forma de se pensar o espaço. Através da tecnologia, o espaço pode ser contemplado de pontos de observação diferentes, por planos de projeções que se alternam a cada informação inserida no ciberespaço.

Ao criar um modelo tridimensional em plataforma virtual, o arquiteto tem a possibilidade de analisar e compreender o ambiente, abrindo possibilidade para o exame mais preciso do espaço através das variáveis como a iluminação que interfere diretamente no conforto visual, por exemplo. Poder avaliar visualmente e também quantitativamente como a edificação irá se comportar, auxilia o arquiteto a fazer suas considerações e interferências, encontrando soluções num estágio anterior à execução efetiva da obra (CARVALHO, 2009). Além das soluções formais, pode-se analisar o projeto em relação às questões de sustentabilidade, hoje em crescente discussão. Em junho de 2014, foi divulgado no Diário Oficial da União a Instrução Normativa tornando obrigatória a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edificações públicas federais (DOU, 2014). A ENCE informa as classificações individuais para a envoltória do edifício, para a iluminação e para o condicionamento de ar. A Instrução Normativa exige que os projetos visem a ENCE Geral de Projeto classe "A" e a construção vise a ENCE Geral da Edificação Construída classe "A". O mesmo se aplica para as obras de *retrofit*, que devem ser contratadas visando à obtenção da ENCE Parcial da Edificação Construída classe "A". Apenas são dispensadas da obtenção da ENCE as edificações com até 500 m<sup>2</sup> que possuem o valor da obra inferior ao Custo Unitário Básico (CUB) da Construção Civil abaixo da média brasileira para edificações até 500 m<sup>2</sup>. Isso representa um desenvolvimento do processo desde a fase de concepção, representação e produção do produto. O modelo tridimensional torna-se, com isso, peça fundamental do processo de criação, reunindo instrumentos de precisão em conforto ambiental e sistemas gráficos de representação e análise do produto. Dessa forma, as tecnologias inseridas no processo de projeto podem interferir diretamente no desempenho do futuro edifício.

### 2.1.1. Tecnologia e Processo

A Computação Gráfica foi definida pela ISO (*International Organization for Standardization*) como um "conjunto de métodos utilizados na conversão de dados e/ou para um dispositivo gráfico via computador". O uso da interface gráfica promoveu uma mudança intensa no modo como os seres humanos interagem com o computador, e expandiu enormemente a capacidade de usar os computadores entre pessoas que antes não os usavam devido às antigas interfaces arcaicas de linha de comando (JOHNSON, 2001). Para Steven Johnson (2001), a mudança do sistema analógico para o digital é tão cultural e imaginativa quanto tecnológica e econômica. Assim, o registro de imagens bidimensionais e tridimensionais é feito a partir da inserção de informações em interface virtual codificada, o que transforma a maneira de como se produz e registra a imagens. Segundo Plaza e Tavares (1998), a imagem de cunho digital apresenta-se como uma reviravolta na imagem pré-industrial porque inaugura um novo paradigma. Segundo eles, a imagem pós-industrial tem como característica o uso de equipamentos tecnológicos para a produção de uma imagem cuja estrutura do suporte é formada por códigos numéricos que são a base da imagem digital.

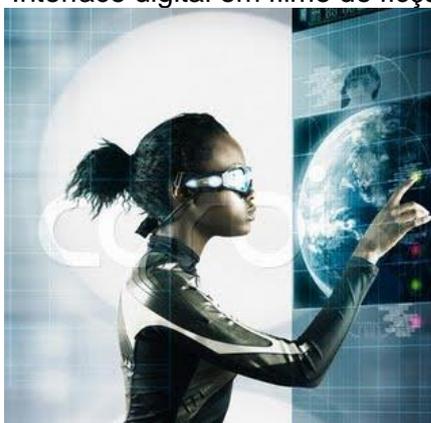
Uma ferramenta bastante difundida no meio profissional arquitetônico brasileiro é o sistema CAD (*computer-aided design*) que é baseada em descrição cartesiana da realidade. Nesta, apesar da possibilidade de produção de modelos tridimensionais, a base para a produção de tal modelo ainda é o suporte bidimensional. Segundo Gonçalves (2009), neste sistema, o objeto ainda não é representado em sua totalidade, ou seja, o criador é colocado em uma posição determinada e registra a sua observação parcial do objeto. Segundo ele, para registrar sua totalidade, é necessário alterar a posição do criador em relação ao objeto, ou do objeto em relação ao criador e fazer um novo registro.

Ainda, segundo o autor, o computador e os programas gráficos possibilitam a representação do espaço em um ambiente similar ao real integrando os sistemas de representação utilizados nos meios tradicionais em uma linguagem que permite a representação do espaço sobre um suporte multidimensional. Neste meio, o criador tem a possibilidade de manipular a

peça tendo a completa visualização do objeto. As tecnologias computacionais contribuem para o desenvolvimento de ferramentas multimídia de projeto. A possibilidade de manipulação e visualização do conjunto em tempo real, para Gonçalves (2009), modificou a importância da representação na elaboração do objeto. Profissionais da área de projeto utilizam cada vez mais o computador para a elaboração de desenho, construção e análise dos elementos projetados. Um dos principais avanços da tecnologia da computação gráfica é o transmitir mais facilmente as ideias do projeto ao cliente e para os demais atores participativos. A transformação do processo do projeto e o avanço tecnológico predial dependem não só do permanente progresso nos sistemas gráficos computacionais, como deste permanente diálogo entre os diferentes profissionais responsáveis pela construção. Segundo Pupo, Scarazzato e Delbim (2007), na área da iluminação natural e artificial, a indústria da computação gráfica para a arquitetura tem avançado muito rapidamente como ferramenta indispensável para análises e simulações.

Segundo Requena (2007), nossa sociedade assiste ao desenvolvimento da possibilidade das máquinas emitirem informações das mais diversas espécies (auditivas, hápticas - tátil, propioceptivas), solicitando assim uma grande parte do nosso sistema sensorial, de forma que o corpo se vê aumentado por novas possibilidades de ação sobre a máquina além dessa nova matriz perceptual (figura 12). Além disso, fica nítido que, inserido neste ambiente comunicacional, um novo perfil de usuários seria definido: mais naturalizado com a tecnologia digital e cada vez mais apto a estabelecer um diálogo constante com as máquinas.

Figura 12 – Interface digital em filme de ficção científica.

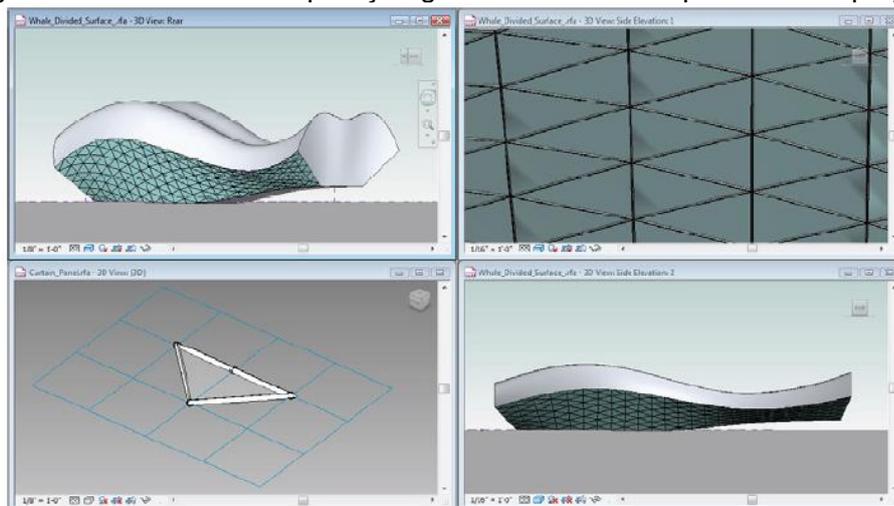


Fonte: Kubrak, 2012.

No entanto, o meio digital incorpora sob uma mesma linguagem sistemas de representação que ampliam a capacidade de percepção espacial, possibilitando a criação de objetos constituídos por elementos de alto grau de complexidade geométrica. Neste entendimento, Couchot (2003) afirma que a passagem das técnicas analógicas às técnicas numéricas é acompanhada por uma sucessão de rupturas radicais que afetam diretamente a nossa percepção do espaço e do tempo. Essa mudança de interação do criador com o objeto projetado tem proporcionado ao arquiteto alcançar novas geometrias, tornando o seu processo projetual mais dinâmico e otimizado. Simulações tridimensionais incluídas em *softwares* de iluminação são incrementadas a cada versão e *softwares* lançados. O avanço da computação gráfica com o desenvolvimento de técnicas avançadas de renderização e animação auxiliam na visualização e análise lumínica dos ambientes projetados. Portanto, os arquitetos têm uma possibilidade maior de apresentarem alternativas às visões restritivas derivadas das técnicas de perspectiva.

Carvalho e Almeida (2002) exemplificam a nova forma de projetar com arquitetos que estão em busca de novas formas arquitetônicas através de meios gráficos que permitem essa facilidade de criação (figura 13). O arquiteto Peter Eisenman vem utilizando o computador como uma ferramenta para a geração de formas e estruturas imprevisíveis. Eisenman vê o computador como um instrumento que permite ao objeto surgir com suas próprias regras. Segundo Lévy (1996), o objeto criado virtualmente é ubiquamente modelo e objeto, é real em potência e se atualiza a cada representação. Além dos aspectos formais, a mobilidade de modelagem somada à inserção de dados climáticos e variáveis inerentes ao local de inserção do projeto, constituídas em uma plataforma de fácil interação e de boa difusão no mercado, refletem na alta performance do conforto ambiental no ambiente construído.

Figura 13 – O uso da computação gráfica auxiliando o processo de projeto.



Fonte: Autodesk, 2010.

### 2.1.2. CAD e Iluminação

A iluminação é analisada, em meio ao processo de projeto, através de cálculos matemáticos e geometria descritiva que podem ser adotados de maneira manual ou através de simulações computacionais. Estas são feitas com a utilização de *softwares* que também lançam mão dessa base matemática para a realização dos seus procedimentos. No caso das simulações, o usuário obtém suas respostas de maneira mais dinâmica e com apelo e percepção visual muito maior.

Para esta última forma de análise citada ser realizada, é necessário que se produza uma modelagem tridimensional do objeto projetado, para uma posterior inserção de dados climáticos e simulação dos seus resultados. Assim, o sistema CAD contribui na elaboração das informações cartesianas, produzindo uma modelagem geométrica simples e precisa, pronta para ser exportada como arquivos, com extensões DWG<sup>6</sup> e 3DS<sup>7</sup> por exemplo, para outros programas que produzam as simulações lumínicas. Logo, essa compatibilidade entre *softwares* CAD e *softwares* de simulação lumínica é essencial, pois apesar da maioria dos *softwares* de iluminação também serem capazes de produzir a modelagem do objeto, raramente o projeto é realizado neles. A maioria dos projetos são elaborados em *softwares* CAD e sua

<sup>6</sup> Extensão de arquivo digital para desenhos vetoriais em 2D e 3D com informações cartesianas lidas através de *software* CAD.

<sup>7</sup> Extensão de arquivo digital de objetos e ambientes em 3D lidos no programa *3D Studio Max*.

remodelagem em *softwares* de simulação lumínica representaria um prejuízo temporal e econômico.

### 2.3 INTEGRAÇÃO DE PROJETO

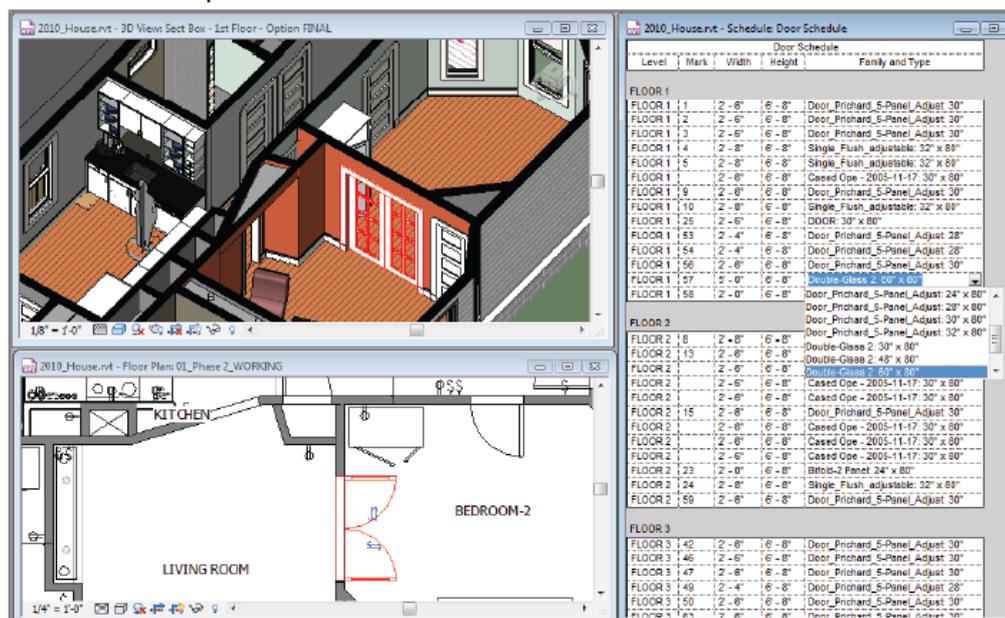
A transformação do processo do projeto e o avanço tecnológico predial visam não só o permanente progresso nos sistemas gráficos computacionais, como o permanente diálogo entre os atores responsáveis pela construção e funcionamento do ambiente construído. Para Carvalho e Almeida (2002), durante o processo projetual, uma ideia inicial vai se transformando em algo compreensível a fim de ser comunicada. Para isso, os profissionais dispõem de uma linguagem técnica de compreensão mútua a fim de transmitir a informação de um elemento ainda não construído. Antes do uso do computador e dos programas gráficos, cada sistema de representação (plantas, cortes, elevações e perspectivas, por exemplo) era realizado de forma individual sem relações paramétricas que os conectassem, ou seja, se uma entidade fosse alterada em um sistema, esta deveria ser atualizada manualmente em cada um, correndo-se o risco dos sistemas ficarem com informações diferentes e conflitantes. Os programas de interface gráfica 3D, possibilitaram representar o objeto tanto em sistemas de representação 2D, como em imagens tridimensionais através de ferramentas de visualização que seleciona apenas o foco de interesse de análise.

Apesar de todas as pesquisas que vêm se desenvolvendo no mundo, analisando diferentes usos para o computador na arquitetura, a grande maioria de arquitetos no Brasil, hoje, usa os sistemas CAD basicamente para criar uma representação 2D de seus projetos fazendo uso de planos, seções, elevações e detalhes individuais. Apenas um pequeno número de arquitetos usa os sistemas CAD para criar uma imagem 3D da forma plástica de seus projetos de edifício, usada como imagem demonstrativa ao final do processo. Raramente são usados como geradores de *design* ou como uma ferramenta para análise em meio ao processo (CARVALHO; ALMEIDA 2002). Assim, a tradução do pensamento projetual por meio dos instrumentos gráficos tradicionais resulta em uma série de desenhos seguindo uma sequência de construções

geométricas, padronizados e acompanhados de convenções (normas técnicas).

Softwares baseados na tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) modificam o exercício projetual e vêm transformando a maneira de pensar e trabalhar no setor de projetos, pois dentre outros motivos, atuam principalmente na gestão do processo de projeto. O BIM se baseia na modelagem de um protótipo virtual, modelagem do produto, com todas as informações referentes à edificação, como se fosse a construção do edifício dentro da plataforma virtual. O modelo virtual é alimentado com informações de cada elemento da edificação durante todo o processo de projeto. Esse processo permite a visualização de todas as características e informações referentes a qualquer elemento do modelo, como dados de manutenção e até demolição (NOME et al., 2010). Funciona como um grande banco de dados com informações que acompanham a edificação durante todo o seu ciclo de vida. Ayres e Scheer (2007) atribuem a esse protótipo a denominação de *edifício virtual*, pela carga de informações presentes no corpo do modelo. Uma das principais características dessa tecnologia é a interação de informações geométricas com dados não geométricos através do estabelecimento de relações associativas e paramétricas (figura 14). Para isso, as informações geométricas abrangem as características espaciais do objeto e as informações não geométricas incluem características como custo, material, peso, resistência, etc. (KALE; ARDITI, 2005).

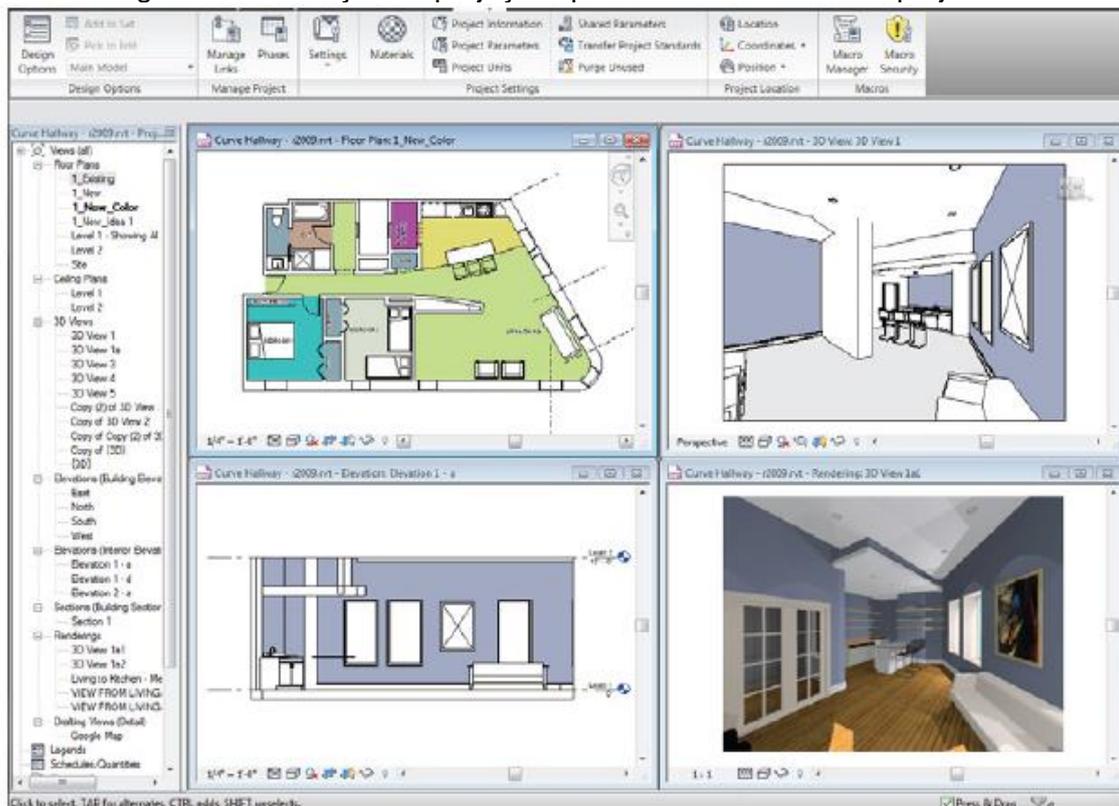
Figura 14 – Inserção de informações geométricas e não geométricas dentro da plataforma BIM do software Autodesk<sup>R</sup> Revit<sup>TM</sup>.



Fonte: Autodesk, 2010.

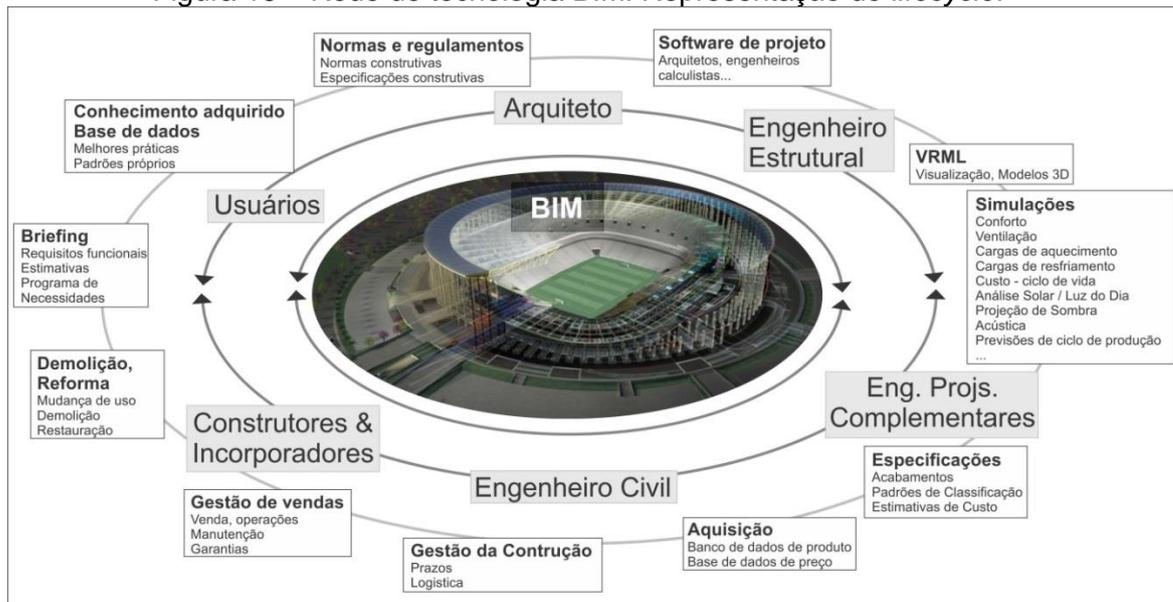
Na tecnologia BIM, os diferentes profissionais atuantes no processo de projeto e interferentes nas informações do ciclo de vida do produto, utilizam um modelo único de trabalho. Dele são extraídos as representações, documentações, relatórios quantitativos, especificações dos materiais e qualquer tipo de informação presente no protótipo. Podem-se extrair inúmeras projeções técnicas para suprir o entendimento do projeto, permitindo a sobreposição desses elementos (figura 15). Neste processo, o BIM elimina a necessidade de correção técnica das representações como plantas e elevações de maneira individual, ou seja, quando o edifício virtual é modificado, todas as representações dele são atualizadas instantaneamente. Com isso, o protótipo BIM permite agilidade nas correções, facilidade nos trâmites, consistência de dados e diminuição de incompatibilidades (NOME et al., 2010). Dessa forma, a atenção do profissional se volta primordialmente às soluções do projeto, já que a partir do desenvolvimento dessas soluções, as representações são geradas simultaneamente pelo *software*.

Figura 15 – Extração de projeções para um mesmo modelo projetado.



Fonte: Autodesk, 2010.

Para Scheer *et al.* (2007), além da criação de maquetes eletrônicas e agilidade do processo, a tecnologia BIM traz consigo uma grande vantagem na visualização tridimensional do modelo que permite verificar as inadequações e incompatibilidades instantaneamente, auxiliando nos processos de decisão de maneira intuitiva, em todas as etapas do projeto. A alimentação de um único modelo por diversos profissionais traz consigo a necessidade de gerenciamento eficiente do processo, determinando como e quando os intervenientes poderão inserir e modificar as informações do modelo (figura 16). Torna-se de responsabilidade do gerente BIM integrar os intervenientes envolvidos, dominar o fluxo de informações, reduzindo ao máximo as incompatibilidades, objetivando a excelência da produção e qualidade do produto final. Ruschel e Fabricio (2008) apontam como motivos para esta coordenação a “especialização cada vez maior das diferentes áreas; conformação de equipes de projeto localizadas em diferentes localidades e o número crescente de soluções tecnológicas sendo agregadas nos empreendimentos”.

Figura 16 – Rede de tecnologia BIM. Representação do *lifecycle*.

Fonte: adaptado de Smith, 2015.

A tecnologia BIM resgata um dos conceitos centrais da Engenharia Simultânea de integração no projeto de visões de diferentes agentes do processo de produção, conformando equipes de projeto multidisciplinares capazes de identificar as demandas dos clientes e o desempenho do produto ao longo do seu ciclo de vida (FABRICIO, 2002). Nela, o fluxo de informações precisa ser controlado e a interação entre os participantes da equipe precisa ser estreitado através da coordenação de projetos. Uma forte orientação para a satisfação dos clientes e usuários é condição *sine qua non* para o sucesso do desenvolvimento de um novo produto. A Engenharia Simultânea e o Projeto Simultâneo devem buscar, como ponto de partida, identificar novas necessidades e desejos dos clientes e atendê-los rapidamente por meio de um processo de projeto que garanta agilidade na geração e materialização de novos conceitos de produto (FABRICIO, 2002).

### 2.2.1. BIM e Iluminação

Com a tecnologia BIM, os projetos que compõem um empreendimento, como projeto estrutural, instalações elétricas, hidrossanitárias, pneumáticas, incêndio, topografia, etc., são desenvolvidas concomitantemente ao projeto arquitetônico, sendo atualizados de forma conjunta, reduzindo o risco de erros.

Da mesma forma, os parâmetros de conforto ambiental podem ser analisados em meio ao processo, permitindo que os projetos que envolvem a luz natural e artificial, a temperatura e a acústica possam ser desenvolvidos conjuntamente aos demais projetos. Essa prática insere os parâmetros de conforto diretamente no processo de projeto global do empreendimento.

Dessa forma, a tecnologia BIM pode auxiliar nesse aspecto ao inserir informações multidisciplinares em um mesmo modelo, agregando dados mais integrados às necessidades de diferentes usuários. Estas informações podem ser extraídas e analisadas para gerar informações e trazer melhoria ao produto. Este processo cria oportunidade para que as medidas de sustentabilidade e análise de desempenho sejam realizadas durante o processo de projeto, trazendo questões como a iluminação para serem discutidas e solucionadas por todos os envolvidos nos estágios iniciais do projeto. Isso faz com que esse tipo de parâmetro não seja visto posteriormente à elaboração total do projeto, abrindo possibilidade para soluções de baixo custo mais apropriadas ao conceito do empreendimento, não sendo feitas de forma apenas paliativas no final do processo. No processo de projeto tradicional, utilizando *softwares* CAD e modelos físicos, a análise do desempenho da construção requer uma grande intervenção humana de análise e interpretação, o que torna o processo muito caro e demorado (AZHAR; BROWN, 2009). Segundo o autor, esta questão econômica é uma das principais razões para o impedimento da implementação de projetos sustentáveis apontada por pesquisa realizada pelo *Center of Integrated Facility Engineering* (CIFE).

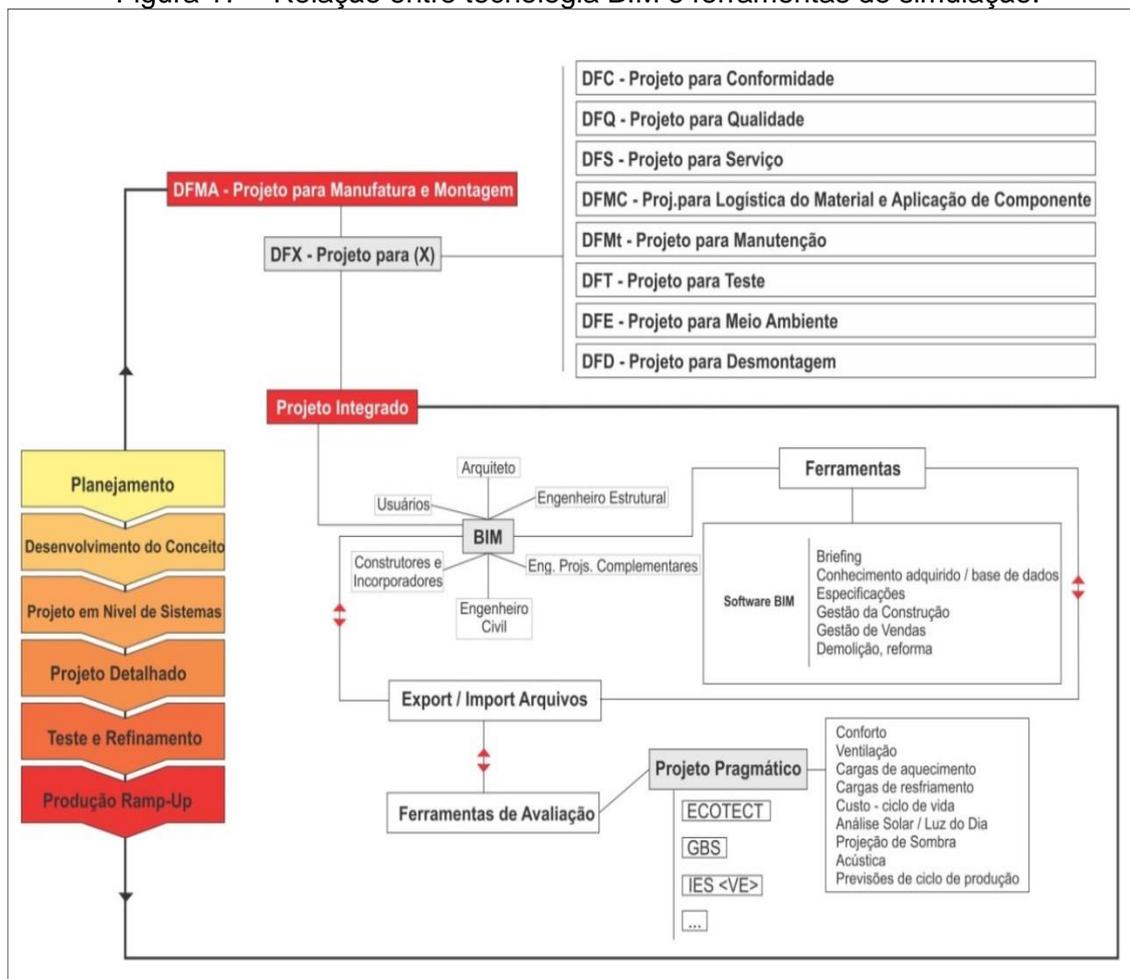
O BIM pode auxiliar na elaboração do projeto sustentável contribuindo, por exemplo, nas decisões relacionadas à orientação do edifício; no planejamento do envelope, auxiliando a análise da iluminação; captação de água pluvial; utilização de energias renováveis e o uso de materiais sustentáveis. Para projetos que visem à certificação LEED<sup>8</sup>, o BIM auxilia no fornecimento de modelos que comprovem a qualificação para o crédito. A figura 17 mostra um organograma mostrando o processo projetual relacionado

---

<sup>8</sup> *Leadership in Energy & Environmental Design*, ou Licença em Energia e Projeto Ambiental, é um programa de certificação de edifícios verdes de acordo com critérios de racionalização de recursos (energia, água, etc) atendidos por um edifício. Para receber a certificação LEED, a edificação deve satisfazer os pré-requisitos para ganhar pontos e alcançar diferentes níveis de certificação. A certificação LEED foi concebida e é concedida pela organização não governamental americana USGBC, *U.S. Green Building Council* (USGBC, 2015).

às análises de eficiência da edificação. No organograma é possível observar à esquerda o fluxo do processo de projeto partindo da fase de planejamento até chegar à fase produção do produto. Durante esse processo, detalhado por Ulrich e Eppinger (2000), notam-se as fases de projeto e de teste e refinamento de um protótipo. Antes do projeto integrado, os projetos específicos para cada parte do sistema eram feitos de forma individualizada, necessitando a todo momento de compatibilização entre eles. Como visto ao longo do capítulo, a tecnologia BIM integra todos os projetos desenvolvidos, bem como os membros atuantes no processo. Com a finalidade de testar o funcionamento do ambiente construído, ainda em fase de elaboração do projeto, os *softwares* de simulação lumínica também se integram diretamente nesse sistema tornando-se parte fundamental no processo de projeto.

Figura 17 – Relação entre tecnologia BIM e ferramentas de simulação.



Fonte: adaptado de Azhar e Brown (2009); Ulrich e Eppinger (2000).

## 2.4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL VOLTADA À ILUMINAÇÃO

A iluminação está presente no projeto tanto nas fases de concepção arquitetônica, através das aberturas que ligam os espaços exteriores e interiores, quanto na elaboração de projetos específicos de iluminação, como nos projetos de iluminação cênica de espaços interiores. Esses elementos se fazem importantes tanto de forma quantitativa, calculando-se matematicamente valores específicos para atender um determinado fim, quanto qualitativamente envolvendo as sensações provocadas pelo objeto edificado. O tratamento da iluminação se conjuga com outros componentes trabalhados no projeto como a comunicação física e visual com o ambiente externo, o aproveitamento dos recursos naturais e o consumo de energia. Esses fatores trabalhados no projeto repercutem em novas soluções plásticas e técnicas provocando reações da sociedade perante o ambiente construído. Nesta abordagem, Millet (1996, apud PUPO; SCARAZZATO; DELBIM, 2007) relaciona o efeito da iluminação com a percepção humana, afirmando que a luz obtém significado na arquitetura de forma relacional, hora revelando ou ocultando detalhes, a própria edificação, seus espaços, suas formas e seus significados.

O aproveitamento de recursos naturais em edificações pode ser um meio eficiente para a economia de energia elétrica e de melhoria da qualidade do espaço interno da edificação. O uso de tais recursos, bem como a utilização adequada de iluminação artificial por exemplo, pode ser previsto e calculado através de simulações feitas durante a fase de projeto, informando o usuário em relação ao uso de tais recursos anteriormente à execução da obra. No código computacional, avalia-se o espaço através da modelagem digital do ambiente real. Neste sentido, a utilização de *softwares* de simulação pode simplificar a tarefa de elaboração de ideias e adequação de técnicas nas diversas fases do projeto (CARVALHO, 2009). São utilizadas equações matemáticas para descrever os fenômenos físicos da luz, além de banco de dados com informações auxiliares, e modelos matemáticos de fontes de luz. Além disso, os *softwares* auxiliam o entendimento do comportamento da luz e dos materiais através de cálculos avançados. As diversas formas de simulação e imagens sintetizadas por *softwares* específicos têm contribuído muito no

campo da iluminação artificial, facilitando a compreensão de fatores pré e pós projetuais (PUPO; SCARAZZATO; DELBIM 2007).

Segundo Christakou (2004), os *softwares* de simulação de iluminação eram limitados a trabalhar com formas retangulares com restrições na modelagem de aberturas e geometria, sendo restritas também a paredes lisas. O interesse pela simulação teve início na década de 1970 devido a possibilidade de visualização de imagens. Segundo o autor, foi em 1990 que surgiu o *Desktop Radiance*, primeiro *software* de simulação da luz natural em versão documentada. Nele eram utilizados novos algoritmos que permitiam a análise de imagens sintetizadas, porém, além de sua complexidade de operação, o *software* necessitava de uma estação de trabalho gráfica, limitando seu uso a poucos pesquisadores. Este inconveniente acabava restringindo o uso do *software*, porém foi superado com o surgimento frequente de novos processadores e aplicativos que se propõem a realizar simulações da luz natural de maneira mais acessível e rápida aos arquitetos. Atualmente, é possível gerar o comportamento da luz em modelos tridimensionais importados de ferramentas CAD. Essa constante atualização das ferramentas possibilitando a visualização em imagens de alta definição do objeto projetado, aumentou significativamente o interesse por esse tipo de *software* e suas representações através de imagens sintetizadas.

Na simulação de um espaço arquitetônico, os *softwares* lançam imagens sintetizadas de um modelo 3D, construído a partir de informações geométricas em forma de coordenadas cartesianas x, y, z, com inclusão de informações descritivas do objeto e algoritmos preditivos que computam o comportamento de certas variáveis daquele espaço (CHRISTAKOU, 2004). O uso de imagem renderizada<sup>9</sup> é a prática mais comum nas apresentações de iluminação, devido à facilidade de execução e interpretação demonstrando o resultado final do projeto. Seu grau de satisfação está relacionado com a modelagem do ambiente, do *software* usado e do método de apresentação final escolhido. Para a simulação lumínica de um ambiente, é necessário que o *software* possua algoritmos de iluminação que descrevem como as superfícies individuais refletem ou transmitem a luz. Para isso, os *softwares* de

---

<sup>9</sup> Renderização é um processo digital que transforma modelos (2D e 3D), desenvolvidos em *softwares* específicos, em imagem, vídeo ou até mesmo áudio.

computação gráfica utilizam códigos matemáticos baseados em modelos de Iluminação Local ou de Iluminação Global (CARVALHO, 2009). Segundo Carvalho (2009), a Iluminação Local avalia informações de luz que chegam diretamente à superfície, ou seja, não considera a reflexão da luz, considerando somente a contribuição das fontes de luzes diretas, como a luz do Sol, da abóbada celeste e de luminárias. Já na Iluminação Global, todas as contribuições das fontes de luz diretas e refletidas são avaliadas. Esta última utiliza dois algoritmos, o Ray Tracing e o Radiosity (PUPO; SCARAZZATO; DELBIM, 2007). Identificando a descrição da luz que chega a superfície, estes algoritmos matemáticos podem prever a intensidade, a cor e a distribuição da luz que sai daquela superfície. Para obtenção de imagens precisas, é importante analisar os objetos que interagem com a luz, além de considerar apenas a fonte de iluminação. Em outras palavras, é importante que o *software* analise a interferência entre as superfícies que bloqueiam luz (aquelas que impedem a iluminação de objetos posicionados atrás delas em relação à fonte de luz), superfícies brilhantes (que refletem nelas próprias outros objetos), superfícies transparentes (que permitem ver outros objetos através delas) e superfícies que refletem luz em outras superfícies. A maneira como a luz é refletida depende diretamente da suavidade da superfície do objeto. Se o objeto possui superfície rugosa, ele tende a refletir os fótons em todas as direções. Esta é uma característica de superfícies difusas. Em contrapartida, as superfícies lisas tendem a refletir os fótons em uma direção, sendo conhecidas como superfícies especulares. A iluminação final do ambiente possui a interação entre essas superfícies (PUPO; SCARAZZATO; DELBIM, 2007).

#### **2.4.1. O Ray Tracing e o Radiosity**

No algoritmo *Ray Tracing*, são traçados raios no sentido inverso de cada pixel dentro do modelo 3D. Segundo Pupo, Scarazzato e Delbim (2007), este algoritmo reconhece que, embora bilhões de fótons possam estar distribuídos pelo ambiente, os fótons que primeiramente importam para quem está renderizando a cena, são aqueles captados pelo olho humano. Dessa forma, apenas as informações necessárias para construir a imagem são computadas. No entanto, quando necessário uma mudança de campo visual, a simulação da

cena tem que ser refeita. Este algoritmo possui um grande número de efeitos de luz, podendo captar características de iluminação direta, sombras, reflexões de superfícies especulares, e refração. Contudo, esse algoritmo possui desvantagens como não levar em conta as inter-reflexões difusas, calculando corretamente apenas a luz que chega diretamente da fonte. Isso gera imagens sem muita profundidade, em relação aos efeitos de luz e sombra. Além de necessitar de computadores com uma configuração que atenda esse processamento de imagens, mesmo em ambientes de moderada complexidade, pois requer um processo para cada visualização (PUPO; SCARAZZATO; DELBIM, 2007).

O algoritmo *Radiosity* se baseia no cálculo da intensidade de pequenos pontos do ambiente. Isso é feito através da divisão da superfície original em uma malha de pequenas superfícies conhecidas como elementos. Esses elementos iniciais podem ser subdivididos por elementos menores onde uma diferença significativa de intensidade pode ser detectada entre elementos adjacentes à malha. A luz é distribuída de cada fonte para todas as superfícies da cena. Dependendo da característica da superfície, parte da energia que alcança um elemento qualquer da malha pode ser absorvida e o restante refletido. Podendo também, uma superfície bloquear outra gerando as sombras. Na metodologia desse algoritmo todas as superfícies são consideradas difusas, ou seja, refletem a luz em todas as direções por igual. Após a distribuição de energia é determinado, através de uma análise refinada, qual superfície tem maior energia para ser refletida. Esta é considerada uma área de fonte de luz, emitindo a energia refletida, através da iluminação indireta, para todas as outras superfícies do ambiente. Esse processo ocorre sucessivamente até que a maioria da energia do ambiente seja absorvida, levando a simulação a um estado de convergência, de equilíbrio de energia (PUPO; SCARAZZATO; DELBIM, 2007).

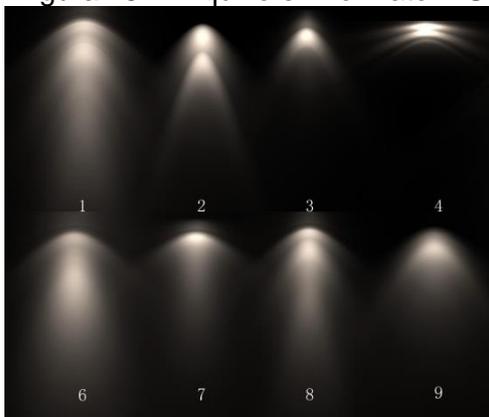
Esses dois algoritmos podem ser combinados sendo usados simultaneamente. O *radiosity* pode compensar a imprecisão da luz ambiente, levando a uma imagem realística, enquanto o *ray tracing* não precisando criar nenhum raio de sombra, apenas os refletidos e os transmitidos, reduz consideravelmente o tempo de renderização da imagem. Dessa forma o *radiosity* traz consigo a excelência em renderizações difusas de inter-reflexões, e

o *ray tracing* com renderizações especulares de reflexão. Ambos contribuem concomitantemente para a melhoria da visualização da cena simulada.

#### 2.4.2. Softwares de Simulação

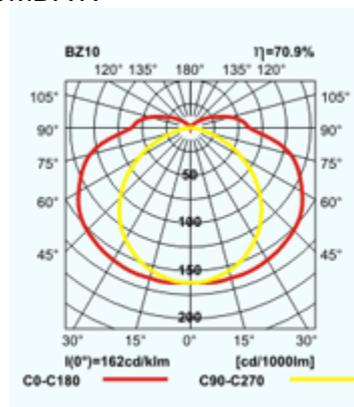
Existem dezenas de *softwares* de simulação envolvendo iluminação natural e artificial no mercado, que buscam agilizar o processo de decisões em diferentes etapas do projeto. Esta variedade se dá também no formato de saída e entrada de informação nos programas, o que acaba por gerar incompatibilidade entre esses arquivos gerados. Com intuito de padronizar as informações fotométricas, por exemplo, fornecidas pelos fabricantes de luminárias, o Comitê da Sociedade de Engenharia de Iluminação da América do Norte lançou a norma IES LM-63 que determina que todo fabricante de luminária forneça o formato de arquivo IES “*Illuminating Engineering Society*” (figura 18). A norma revisada em 1991 e 1995 contribuiu para a facilidade de transferência de dados fotométricos em arquivos eletrônicos entre os fabricantes de luminárias e os usuários. Outra iniciativa nesse sentido foi o desenvolvimento de um formato de arquivo fotométrico, o EULUMDAT “*Exchange of Luminaire Data*” (figura 19) compatível com a plataforma DOS “*Disk Operating System*”, desenvolvido pelo *Axel Stockmar da LCI Software Engineering* em Berlin. Esse formato se tornou padrão entre os fabricantes europeus e permite o cálculo de luminárias compostas de vários tipos de lâmpadas muito próximas, o que não ocorre no IES.

Figura 18 – Arquivo em formato IES



Fonte: Architekt, 2014.

Figura 19 – Arquivo em formato EULUMDAT.



Fonte: Remontowa, 2014.

O uso de ferramentas que auxiliam a simulação computacional permite apoiar a prática do projeto com a agilidade na realimentação de informações apoiando a tomada de decisões e análise do objeto construído em relação ao seu impacto ambiental. Com a entrada de informações específicas e cálculo numérico das variáveis descritas acima, pode-se avaliar previamente as condições de conforto visual, computando os diversos níveis de iluminação em diferentes pontos do ambiente, abrindo possibilidade aos ajustes prévios à execução da edificação (CHRISTAKOU, 2004). O quadro 1 no Anexo I apresenta uma relação de *softwares* de simulação lumínica com seus respectivos fabricantes e características principais. As informações foram extraídas do trabalho dos autores Carvalho (2009); Pupo, Scarazzato e Delbim (2007), bem como dos sites oficiais dos representantes pela comercialização dos *softwares*.

Segundo Carvalho (2009), devido à grande quantidade de programas de simulação existentes, e por consequência calculados por diferentes maneiras para iluminação natural, existe uma lacuna em relação ao quanto esses programas são fiéis ou com poucos desvios do modelo físico real. Como muitos especialistas fazem uso dessas ferramentas de simulação no projeto de edificações, a importância da análise investigativa em relação à confiabilidade e precisão dos resultados produzidos por tais ferramentas se faz extremamente presente e importante.

## 2.5 SISTEMAS DE ANÁLISE DE SOFTWARE

Existe no mercado um crescente número de *softwares* que analisam o comportamento ambiental da edificação sob base de cálculos matemáticos variados. Somado a grande variedade de métodos de análise adotados por esses *softwares*, Pereira (2009) relata em seu trabalho a possibilidade de ocorrência de erros consideráveis na análise lumínica feitas pelas ferramentas, que podem ser feitas através de análises com programas de simulação computacional distintos, ou por inadequações nos procedimentos experimentais realizados com modelos físicos. Para Pereira (2009), este fato ocorre porque tanto o modelo teórico como os experimentais não representam

precisamente a realidade do fenômeno da iluminação natural, carecendo de validação sistemática de desempenho.

Alguns autores relatam a importância da validação dessas ferramentas previamente ao seu uso.

Roy (2000) afirma que para a análise de uma ferramenta de simulação de iluminação natural, são necessárias medições comparativas e criteriosas que avaliem a realidade e o que está sendo simulado. Segundo ele, para analisar se uma ferramenta está respondendo de forma satisfatória e descrevendo de maneira significativa os fenômenos físicos de iluminação, é necessário desenvolver um processo metodológico capaz de fornecer as informações necessárias ao processo de implementação de estratégias e técnicas adotadas no projeto da edificação.

Maamari *et al.* (2003) relatam que mesmo sendo precisas em aspectos específicos, algumas ferramentas podem não ter um desempenho satisfatório em outros aspectos, bem como não levar em conta certas leis físicas para os cálculos de propagação da iluminação, por exemplo.

Shalaby, King e Gold (2005) observaram divergências na ordem de 17 a 35% nas medidas de iluminância em interiores para *software* de simulação computacional e medições em tempo real, de onde os autores concluem que poderia ser utilizado um coeficiente de correção para melhorar as estimativas.

Esses relatos endossam a necessidade dos esforços de validação dos *softwares* de análise ambiental, provando que uma escolha consciente de um programa computacional que satisfaça as necessidades do usuário não é uma tarefa banal.

Da mesma forma que existem variados tipos de *softwares* com base de cálculos matemáticos variados, existem também variadas formas de analisar o desempenho destes. A seguir são listados três conceitos de método de análise de *software* bem como algumas metodologias que seguem esses conceitos.

### **2.5.1. Método Experimental ou Empírico**

Esse tipo de análise examina os resultados do *software* com os resultados medidos em modelos físicos ou em ambientes reais, considerando as incertezas provenientes do processo de medição. Segundo Jensen (1995

apud LAMBERTS; WESTPHAL, 2004), este é o procedimento mais aceitável em termos de validação, pois se trata da verificação dos dados simulados por medições reais em modelo semelhante. Porém, para ele nem sempre é possível efetuar em uma edificação todas as medições necessárias para validação em um programa de simulação térmica.

### 2.5.2. Método Analítico

Esta análise se dá a partir de uma solução numérica conhecida (JUDKOFF; NEYMARK, 1998). Através dessa análise, comparam-se os valores simulados no *software* a ser validado com os valores calculados através de referências analíticas, que geralmente são limitados quanto à propagação da luz (CARVALHO, 2009). Com a comparação de resultados, é possível mensurar suas divergências. Segundo Pereira (2009), esse método geralmente é aplicado em casos simplificados nas etapas preliminares do projeto ou para testar parâmetros específicos referentes à propagação da luz. Um exemplo de análise analítica é o Método CIE 171:2006.

- Método CIE 171:2006:

A *Commission Internationale de L'Eclairage* (CIE), ou Comissão Internacional de Iluminação, fundada em 1913 e sediada em Viena (Áustria), é uma entidade internacional independente que se dedica ao intercâmbio de informações sobre todos os assuntos relacionados à iluminação. É reconhecida pela ISO (*International Organization for Standardization*) e pela IEC (*International Electrotechnical Commission*) como organização de caráter normativo (CARVALHO, 2009). A CIE publicou a CIE 171:2006 para o teste de precisão de programas de simulação computacional de iluminação (PEREIRA, 2009). Essa publicação consiste em um relatório técnico com dezenas de estudos de caso a serem testados tanto referentes à iluminação natural, quanto a iluminação artificial com o objetivo de localizar erros de cálculo dos programas. Estes estudos de caso permitem comparações objetivas entre diferentes *softwares* em relação a diferentes áreas da simulação de iluminação, com a abordagem em diferentes aspectos da propagação da luz.

O relatório técnico desenvolvido pela CIE disponibiliza diversos protocolos para validação de *softwares* de iluminação. Esse método é proposto individualmente a fim de testar diferentes aspectos da propagação da luz, o que possibilita isolar um dado aspecto da propagação da luz e minimizar ou eliminar as incertezas nos valores de referência. Em contrapartida pode ocorrer imprecisões nesses valores. Os testes são referenciados a parâmetros que podem ser divididos em três grupos: a - descrição da fonte luminosa e cálculos para a propagação da luz; b - transferência da iluminação por aberturas e seus componentes ou obstruções; c - inter-flexões entre diferentes tipos de materiais com diferentes propriedades fotométricas (CARVALHO, 2009).

A CIE recomenda uma sequência metodológica que segue com a escolha de protocolos experimentais; descrição dos cenários testados; estimativa de fontes de erros potenciais e apresentação de valores de referência baseados em medidas e estimativas de erro. Os protocolos por sua vez, são divididos em duas seções: a primeira com seis propostas experimentais de estudos de caso para análise de iluminação artificial, e a segunda com treze referências analíticas relacionadas à iluminação de forma geral.

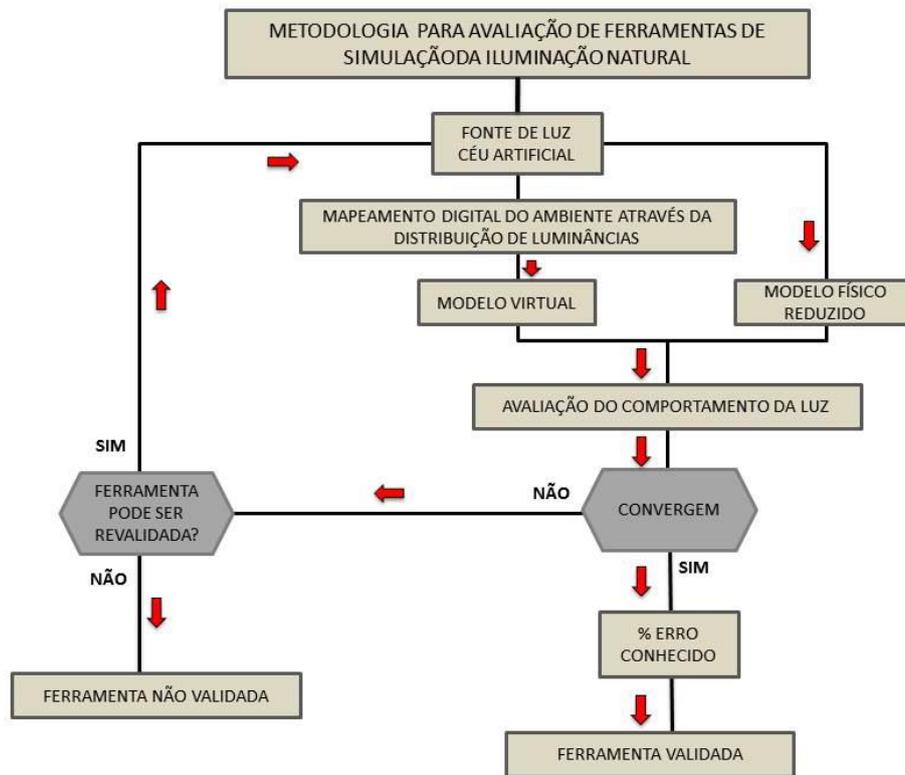
### **2.5.3. Método Comparativo**

É feita a partir da comparação dos resultados obtidos em simulações realizadas em *softwares* distintos com base em um *software* que já foi validado anteriormente. Segundo Carvalho (2009), é o método mais empregado e possui a vantagem de fornecer ao usuário a possibilidade de escolher qual o programa possui melhor performance de acordo com o desempenho esperado. No entanto, Pereira (2009) ressalta que os resultados das comparações requerem o máximo de transparência no processo ocorrido nas simulações.

- **Método desenvolvido por Pereira**

Em seu trabalho, Pereira (2009) propõe uma metodologia de análise de ferramentas de simulação de iluminação natural. Sua metodologia se baseia no conceito de análise comparativa seguindo os procedimentos ilustrados na figura 20:

Figura 20 – Representação esquemática do processo metodológico.



Fonte: PEREIRA (2009).

Dessa forma, sua metodologia consiste em:

- capturar a distribuição da fonte de iluminação do ambiente (céu artificial);
- carregar, através do mapeamento de luminâncias, a ferramenta de simulação a ser validada;
- elaborar um modelo físico semelhante, reproduzido em escala reduzida
- captação de imagem do céu artificial utilizando máquina fotográfica digital IQ Cam em modelo físico;
- análise da luminância do céu artificial a partir da imagem captada através do *software* RT-32, que manipula a máquina fotográfica digital IQ Cam.
- cruzamento de dados entre resultados do modelo virtual e modelo físico em escala reduzida / *software* RT-32.

- Método BESTEST (*ASHRAE Standard 140*)

Desenvolvido pela *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), o método *Building Energy Simulation Test* (BESTEST) tem o intuito de contribuir no teste e detecção de erros em programas de simulação energética de edificações. O método apresenta uma base de dados de saída - carga térmica de aquecimento e resfriamento, temperatura interna, radiação solar incidente e transmitida através de superfícies envidraçadas - calculados por programas denominados Estados da Arte em simulação energética nos Estados Unidos e Europa. A vantagem desse método é que cada programa de simulação é examinado sob uma variada gama de parâmetros baseados em vários tipos de dados de saída, minimizando a possibilidade de uma variável encobrir o erro da outra.

Atualmente, a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) adota o método BESTEST como norma para teste e análise de programas computacionais para análise energética de edificações, sob o título de *ASHRAE Standard 140* (ASHRAE, 2001). Este apresenta 40 casos com variáveis que incluem massa térmica, ganho de calor através de radiação solar direta, sombreamento nas janelas, zonas ensolaradas, efeito do solo, ventilação noturna, propagação e ajuste de temperatura de controle de aquecimento e resfriamento (WESTPHAL; LAMBERTS, 2003). Segundo os autores, o BESTEST foi desenvolvido para testar a maior quantidade de programas de simulação possível com níveis de detalhamentos diferentes. Porém, alguns casos não podem ser simulados em algumas ferramentas simplificadas. Outra desvantagem do método é que ele utiliza como base apenas o clima frio e seco de Denver no Colorado, com o verão seco, inverno seco e grandes variações diárias de temperatura. Em etapa subsequente o método será adaptado ao clima quente e úmido (WESTPHAL; LAMBERTS, 2003).

## 2.6 AUTODESK<sup>R</sup> ECOTECH<sup>TM</sup> ANALYSIS

Entre os *softwares* de iluminação, o *software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis* começou a ganhar visibilidade no mercado a partir de 2009, ano no qual foi adquirido pela empresa *Autodesk<sup>R</sup>* que possui uma presença forte

entre os projetistas brasileiros com os *softwares* *AutoCAD*<sup>TM</sup>, *3D Studio MAX*<sup>TM</sup> e recentemente com o *software* *Revit*<sup>TM</sup> de tecnologia BIM. Por ser escrito por arquitetos, o *software* possui uma interface e plataforma de entrada de dados de fácil leitura para os projetistas, de forma que o usuário possa alcançar os resultados facilmente. O *Autodesk*<sup>R</sup> *Ecotect*<sup>TM</sup> *Analysis* apresenta resultados gráficos de fácil compreensão por parte tanto de profissionais da área de projeto e iluminação, quanto por clientes leigos no assunto. Essas características fazem com que o *software* possa ser explorado facilmente por profissionais da área de projeto. No entanto, para que isso aconteça de forma confiável, é necessário que se conheça sua melhor aplicação em meio ao processo de projeto e, em relação a essa pesquisa, é importante trazer o conhecimento do desempenho do *software* em relação aos projetos de edificações desenvolvidos para a cidade de Juiz de Fora.

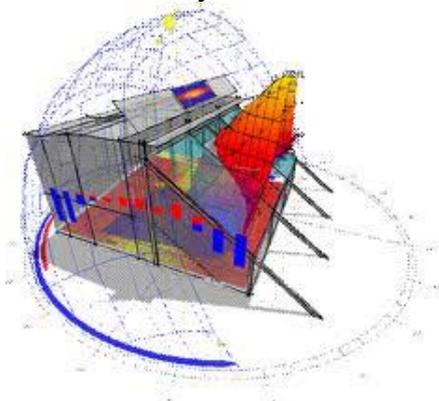
No que se refere à inserção de propriedades físicas do meio no processo de projeto, Tschumi (1994) evidencia a incapacidade inerente às plantas, cortes, fachadas e perspectivas de trazerem ao projeto noções como ruído, luz ou outros acontecimentos espaciais. Para ele, esta forma de representação exclui a ideia de tempo do projeto. Segundo Broadbent (1988), o *design* pragmático é fundamentado pela inserção de fatores físicos do meio no processo projetual. Segundo o autor, a computação gráfica adequa-se a esta modalidade através dos procedimentos de modelagem e simulação. Santaella (2006), por sua vez, afirma que a contribuição inestimável do computador está em seu poder de colocar os modelos à prova, sem necessitar submetê-los a experiências reais, ou seja, abre a possibilidade de testar o objeto antes mesmo de ele existir. Um modelo consiste em um sistema matemático que procura, em operação, propriedades de um sistema representado, que visa funcionar como uma réplica computacional da estrutura, do comportamento ou das propriedades de um fenômeno real ou imaginário. A simulação, por sua vez, consiste em uma experimentação simbólica do modelo (MACHADO, 1993).

No que diz respeito à análise e ao projeto das edificações sob o olhar do conforto ambiental, existem atualmente, diversos *softwares* capazes de gerar uma simulação computacional e fornecer, através de imagens e gráficos, uma melhor apreensão do objeto. Entretanto, no Brasil essas ferramentas são

pouco utilizadas por escritórios de projeto. Seu uso está mais concentrado em universidades e centros de pesquisa, não se materializando, assim, em recursos que possam contribuir na efetiva redução do consumo de energia ou em melhores condições de conforto das novas edificações.

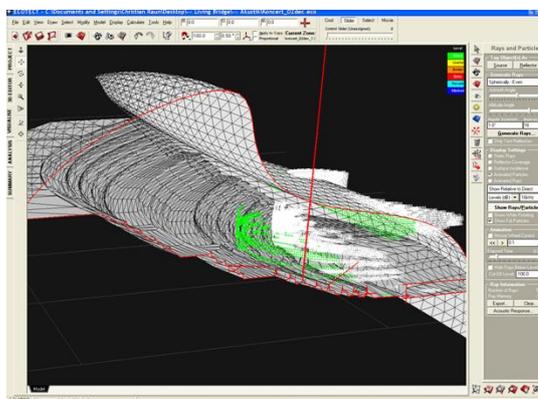
O *software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis* analisa o desenho sustentável do edifício com ferramentas que ajudam a medir seu impacto ambiental e sua performance. Esta ferramenta ajuda a tornar mais fácil o projeto no que diz respeito às simulações e visualização de resultados. Promete envolver a abordagem do espaço tridimensional na análise do conforto luminoso, térmico e acústico de uma maneira didática, de fácil compreensão e execução pelo usuário da ferramenta, bem como representar um meio facilitador da comunicação entre os profissionais envolvidos no projeto e o cliente. Este *software* contempla ferramentas interativas que possibilitam análise segundo parâmetros como a análise do conforto térmico segundo a ISO 7730-1993, ventilação natural, energia eólica, captação fotovoltaica, o estudo da umidade do ar baseado na relação entre temperatura e umidade absoluta, análise acústica a manipulação entre escala de projeto, imagens e espectros gráficos (figura 21), impacto visual, a análise da propagação de uma frequência de onda sonora dentro de um objeto simulado (figura 22) e o acesso à base de dados que permitem estimar o calor e a luz provenientes do Sol segundo local, orientação e hora fornecidos, além de sombras e reflexões produzidos (AUTODESK, 2009).

Figura 21 – Análise do conforto lumínico e térmico na plataforma de trabalho do *software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis*.



Fonte: AUTODESK, 2009.

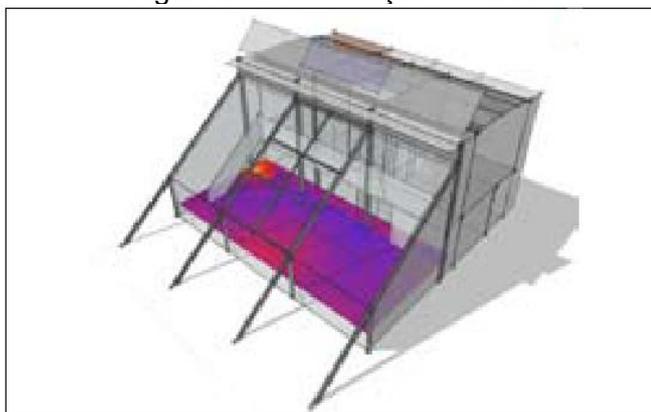
Figura 22 – Análise do conforto auditivo na plataforma de trabalho do *software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis*.



Fonte: AUTODESK, 2009.

Na análise do conforto lumínico, o *software* examina, por exemplo, os ângulos de projeção local, obstruções e fator de céu visível. Verifica a radiação solar incidente nas janelas e superfícies, mostrando a radiação diferencial calculada durante todo o período do dia. O *software* mostra as posições e o caminho aparente do Sol, através de marcações de sombras e reflexões para o modelo, para qualquer data, hora e locais simulados. Calcula os fatores de luz e níveis de iluminância em qualquer ponto do modelo ou sobre um *grid* de análise, levando-se em consideração a luz natural (figura 23). Cálculo do potencial de economia em relação ao projeto de iluminação artificial.

Figura 23 – Iluminação Natural.



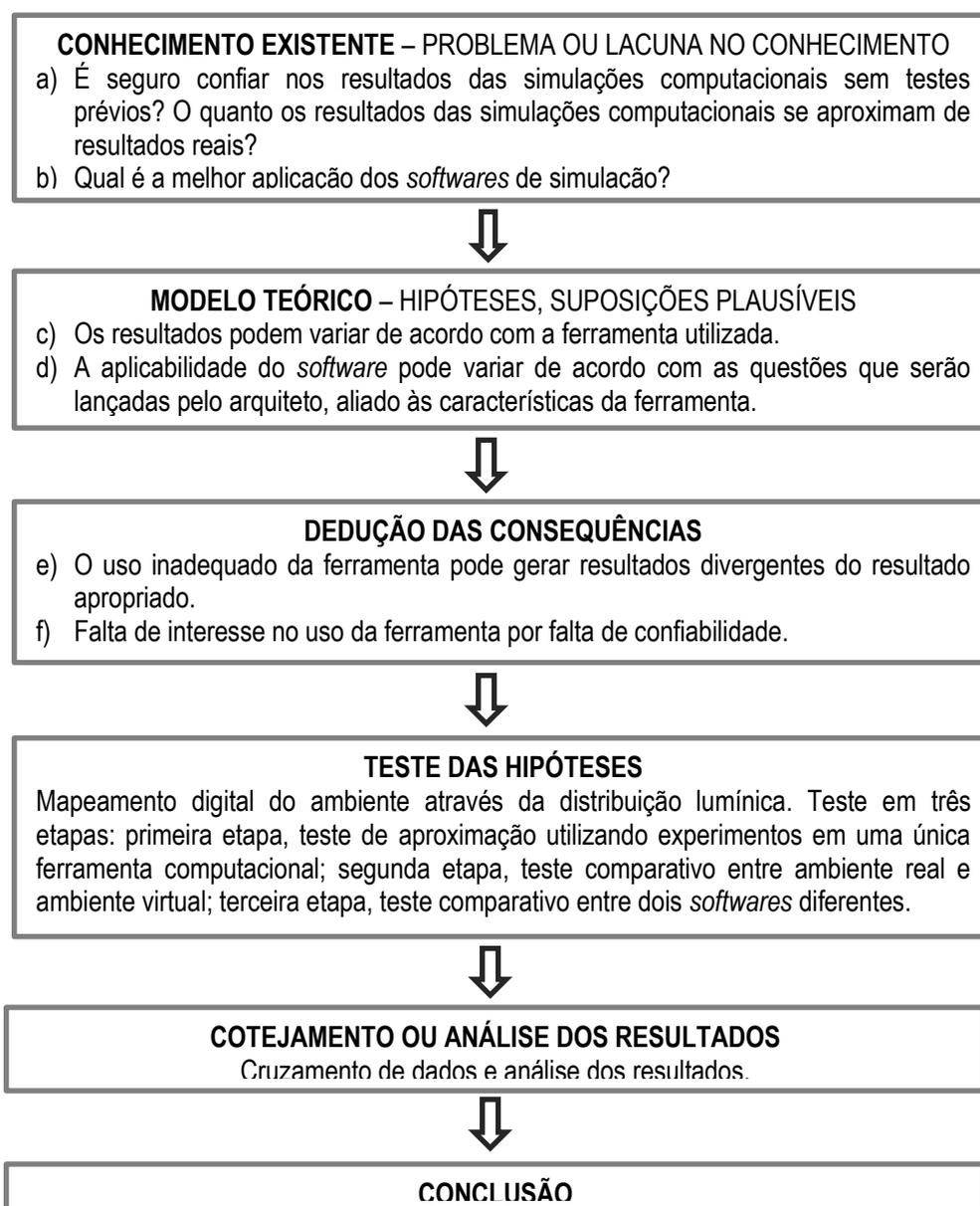
Fonte: AUTODESK, 2009.

Logo, o *software* reúne em uma só plataforma o estudo de variáveis ambientais que, até então, só poderiam ser analisados utilizando uma série de pequenos aplicativos distintos, como os desenvolvidos por diversos pesquisadores e instituições isoladas no mundo. A associação desses elementos em um único programa, além de aperfeiçoar o processo, congrega diversos componentes de análise do conforto ambiental em uma mesma interface facilitando o uso e a compreensão dos mesmos.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta dissertação foi baseada na estrutura metodológica proposta por Prodanov e Freitas (2013), seguindo o método de pesquisa científica hipotético-dedutivo. Dentro desse método, os autores propõem uma hierarquização das fases da pesquisa com associação de questões a serem problematizadas. Dessa forma, o tema proposto é fracionado em etapas de acordo com o método, como segue na figura 24:

Figura 24 – Estrutura metodológica.



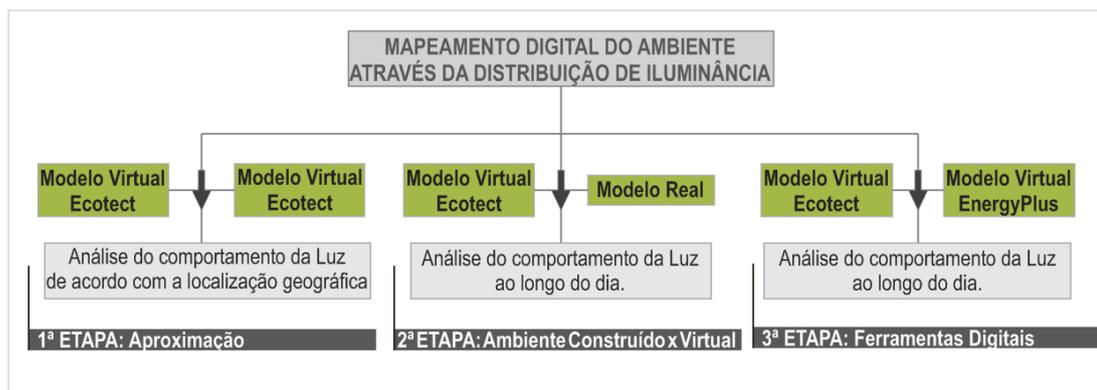
Fonte: adaptado de Prodanov e Freitas (2013).

A análise do *software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis* aqui proposta, busca determinar sua melhor aplicabilidade dentro do campo de projeção do edifício, permitindo mostrar qual a etapa do processo de projeto mais indicada para seu uso no que se refere às questões de iluminação natural. Sendo assim, foi estudado o procedimento de cálculo da iluminância utilizado pela ferramenta e analisadas simulações no *software* em questão para legitimar o processo verificando a aplicação dos resultados para um ambiente determinado.

Foram confrontados os resultados de simulações realizadas utilizando o *software Autodesk<sup>R</sup> Ecotect<sup>TM</sup> Analysis* com dados medidos no ambiente objeto estudo, além de serem comparados com os resultados de um *software* já validado, o *EnergyPlus<sup>TM</sup>*. Para isso, foram desenvolvidos três experimentos que examinam o mapeamento digital do ambiente através da distribuição de iluminância. Numa primeira bateria de testes, denominada “1ª Etapa: Aproximação”, com o propósito de analisar o desempenho do *software Ecotect<sup>TM</sup>* frente ao comportamento da luz de acordo com a localização geográfica, foram comparados os resultados de simulações feitas para um mesmo modelo localizado em cinco regiões distintas do globo terrestre. Numa segunda bateria de testes, denominada “2ª Etapa: Ambiente Construído X Ambiente Virtual”, com o propósito de analisar o desempenho do *software Ecotect<sup>TM</sup>* em relação ao comportamento da luz ao longo do dia, frente a uma situação real, foram comparados os resultados de simulações com o resultado de medições obtidas num ambiente construído utilizado como objeto de estudo. Numa terceira bateria de testes, denominada “3ª Etapa: Ferramentas Digitais”, com o propósito de analisar o desempenho do *software Ecotect<sup>TM</sup>* em relação ao comportamento da luz ao longo do dia, frente o desempenho do *software EnergyPlus<sup>TM</sup>*, foram comparados os resultados de simulações feitas em ambos os softwares para um mesmo objeto de estudo. Desta forma, foram produzidas avaliações experimentais e comparativas segundo os aspectos descritos na seção “2.5 Sistemas de Análise de *Software*”.

A seguir, as etapas de análise (figura 25) estão pormenorizadas em cada subitem.

Figura 25 – Etapas de análise.

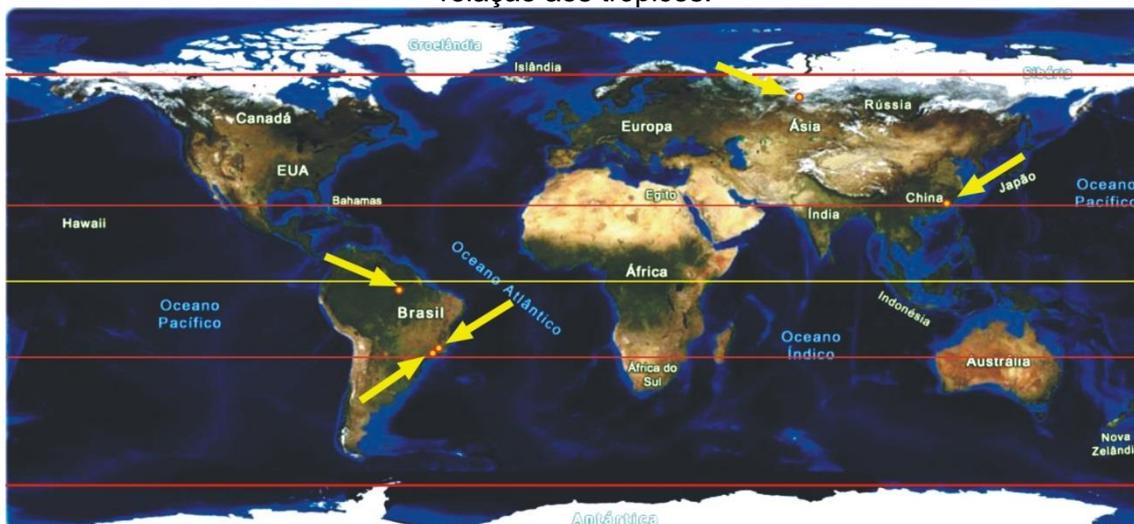


Fonte: o autor.

### 3.1 PRIMEIRA ETAPA: Aproximação

Esta etapa objetiva determinar a influência da localização geográfica do sítio e do clima nos resultados da simulação da iluminação natural no ambiente. Para isso, simulações foram realizadas com dados da cidade de Juiz de Fora e comparadas com simulações feitas para outras cidades de diferentes localizações no globo terrestre e diferentes comportamentos climáticos. Os dados utilizados foram obtidos a partir da importação de arquivos .epw disponíveis para o programa *Energyplus*<sup>TM</sup> (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2011) oferecido de forma gratuita através de site oficial da instituição onde é desenvolvido. As cidades escolhidas foram Juiz de Fora, cidade brasileira em que o estudo e as medições *in loco* foram feitos; Rio de Janeiro, cidade brasileira com latitude próxima ao Trópico de Capricórnio; Manaus, cidade brasileira com latitude próxima ao Equador; Hong Kong, cidade chinesa com latitude próxima ao Trópico de Câncer; e Moscou, cidade russa da Ásia Setentrional com latitude elevada e clima bem adverso, se comparado com o clima da cidade de estudo (figura 26). Todo o procedimento de simulação foi feito com o auxílio de um tutorial disponibilizado pela organização *Ecotect Community Wiki* (2011), disponível on-line.

Figura 26 – Imagem do globo terrestre planificado com locação das cidades em relação aos trópicos.



Fonte: adaptado de NASA, 2011.

### 3.2 SEGUNDA ETAPA: Ambiente Construído x Virtual

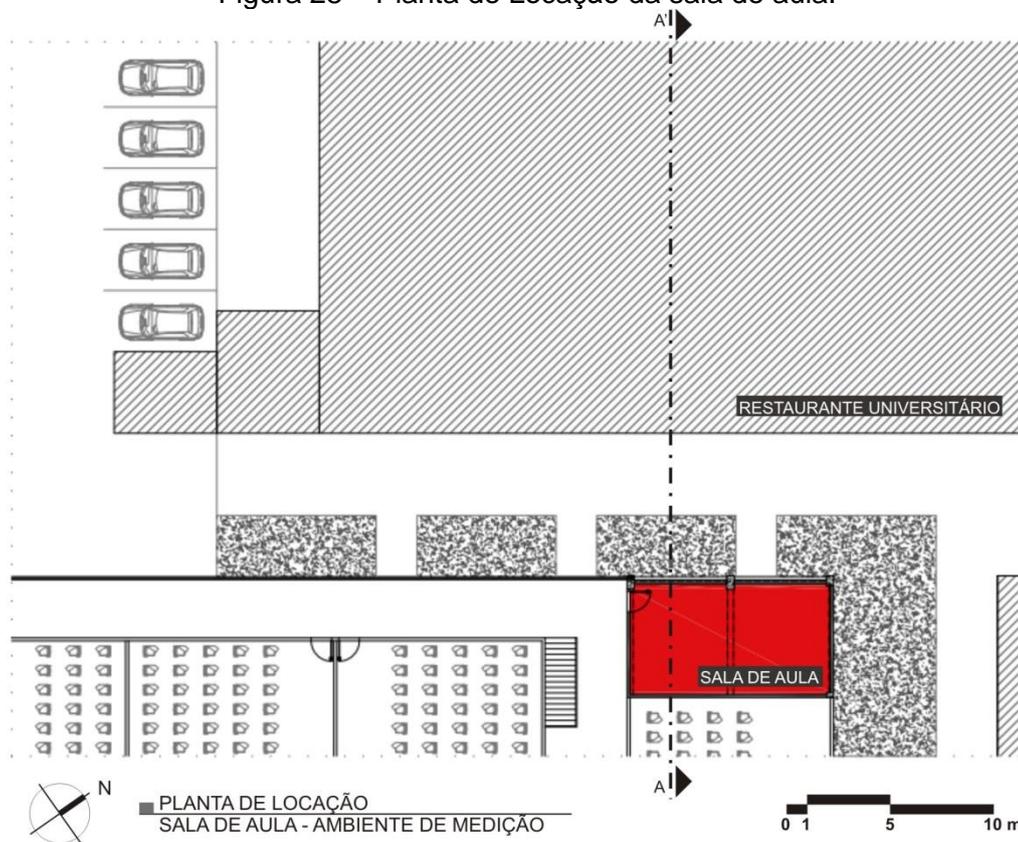
Em um segundo momento, as simulações visaram determinar o quanto os resultados obtidos pelo programa para a cidade de Juiz de Fora se aproximam dos resultados reais, obtidos através de medições. Para isso, foi realizada uma comparação entre os resultados medidos no local e os dados simulados. Essa proposta foi realizada repetindo-se a simulação para o mesmo intervalo horário das medições, considerando tanto o céu encoberto padrão CIE quanto o céu claro. Os resultados das medições e simulações foram compilados de forma a serem comparados os momentos correspondentes a cada tipo de céu ocorrido durante o dia de medição. Para o desenvolvimento desse trabalho, foram levantados dados climáticos da cidade e determinada a geometria de uma sala de aula na faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Minas Gerais. O local apresenta latitude de  $21^{\circ} 77' S$ , longitude de  $43^{\circ} 36' W$ . A sala está localizada no segundo pavimento do edifício projetado por Marcos Martins Borges como ampliação do edifício da faculdade de Engenharia existente no campus da UFJF, situado ao lado do restaurante universitário (figuras 27 a 29).

Figura 27 – Implantação da sala de aula na Faculdade de Engenharia da UFJF.



Fonte: adaptado de CNES, 2015.

Figura 28 – Planta de Localização da sala de aula.



Fonte: o autor.

Figura 29 – Corte AA' da sala de aula.



Fonte: o autor.

O interior da sala é iluminado por duas janelas na fachada noroeste e seus revestimentos possuem propriedades segundo listagem da tabela 2.

Tabela 2 – Refletância média das superfícies.

Refletância média das superfícies	
Paredes	85%
Piso	30%
Teto	85%
Janelas	15%

Fonte: Hopkinson, Petherbrige e Longmore (1975)

A fim de comparar os resultados dos níveis de iluminância real do local e a iluminância simulada pelo *software*, foram realizadas medições em intervalo de uma hora, das 7h às 19h, no dia 17 de fevereiro de 2011, em 9 pontos da sala, utilizando para tanto um aparelho luxímetro digital modelo *Instrutherm* LD-209 (figuras 30 e 31).

Figura 30 – Modelo do luxímetro utilizado para as medições.



Fonte: o autor.

Figura 31 – Imagem da sala de aula fotografada após o momento de medição às 11h.



Fonte: o autor.

A coleta das iluminâncias foram feitas de acordo com a norma NBR 15.215-4 (2004), segundo a qual foram medidos os valores de iluminância de acordo a divisão de pontos específicos para o ambiente. Não foi objetivo da pesquisa analisar a iluminância sobre plano de trabalho bem como mensurar a interferência de mobiliário no resultado da pesquisa. Dessa forma, a sala foi disposta livre de mobiliário e o plano do piso foi assumido como plano de referência para as medições. Segundo a norma os pontos foram dispostos em uma malha dividida em quadrantes de maneira a evitar que os pontos ficassem muito próximos às paredes. Para o estabelecimento do número mínimo de pontos necessários para a verificação do nível de iluminação natural com erro inferior a 10% segundo a norma, foi considerado o índice local de acordo com a equação 7:

$$K = \frac{C \times L}{H_m \times (C+L)} \quad (7)$$

Onde:

$K$  é o índice local;

$L$  é a largura do ambiente, em metros;

$C$  é o comprimento do ambiente, em metros;

$H_m$  é a distância vertical, em metros, entre a superfície de coleta e o topo da janela.

Sendo:

$$K = \frac{9 \times 4,5}{3,02 \times (9+4,5)} = 0,99 \quad (8)$$

A quantidade de pontos medidos segundo a tabela 3, foram 9 pontos.

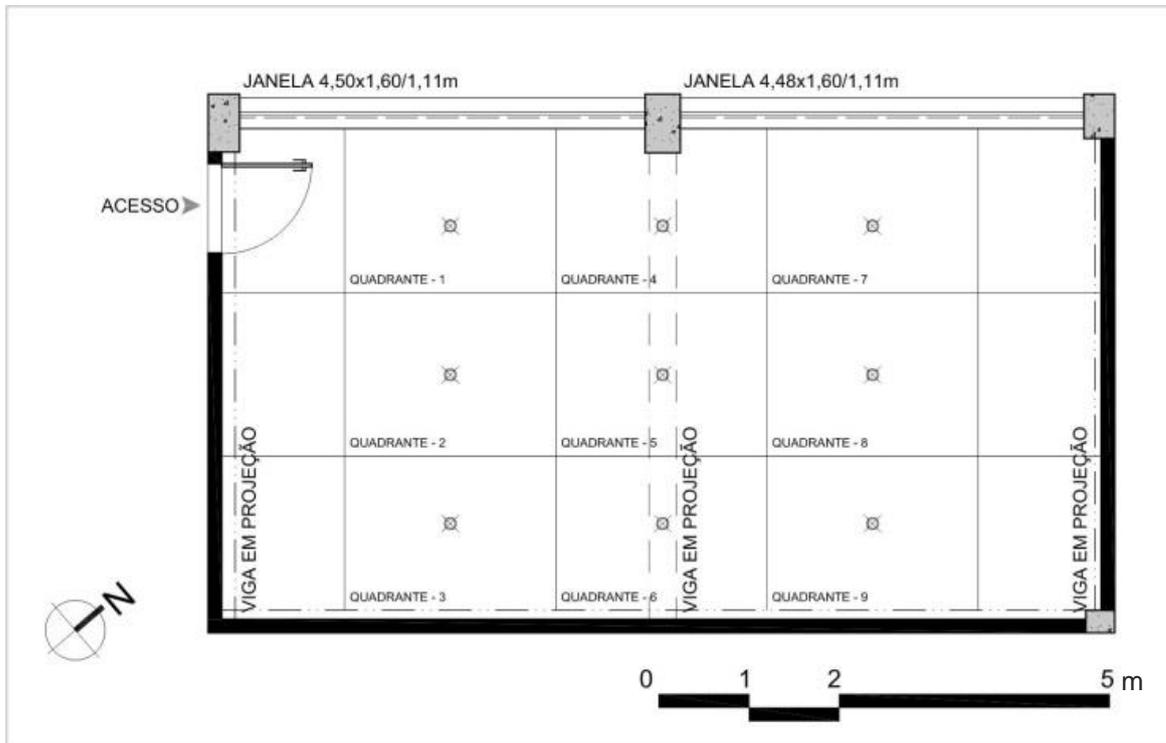
Tabela 3 – Quantidade mínima de pontos a serem medidos.

K	Nº de pontos
$K < 1$	9
$1 \leq K < 2$	16
$2 \leq K < 3$	25
$K \geq 3$	36

Fonte: NBR 15.215-4 (2004)

A figura 32 apresenta a planta baixa da sala de medição dividida em quadrantes, no centro dos quais foram localizados os 9 medidos.

Figura 32 – Planta baixa da sala de aula com marcações dos pontos de medição pelo luxímetro.



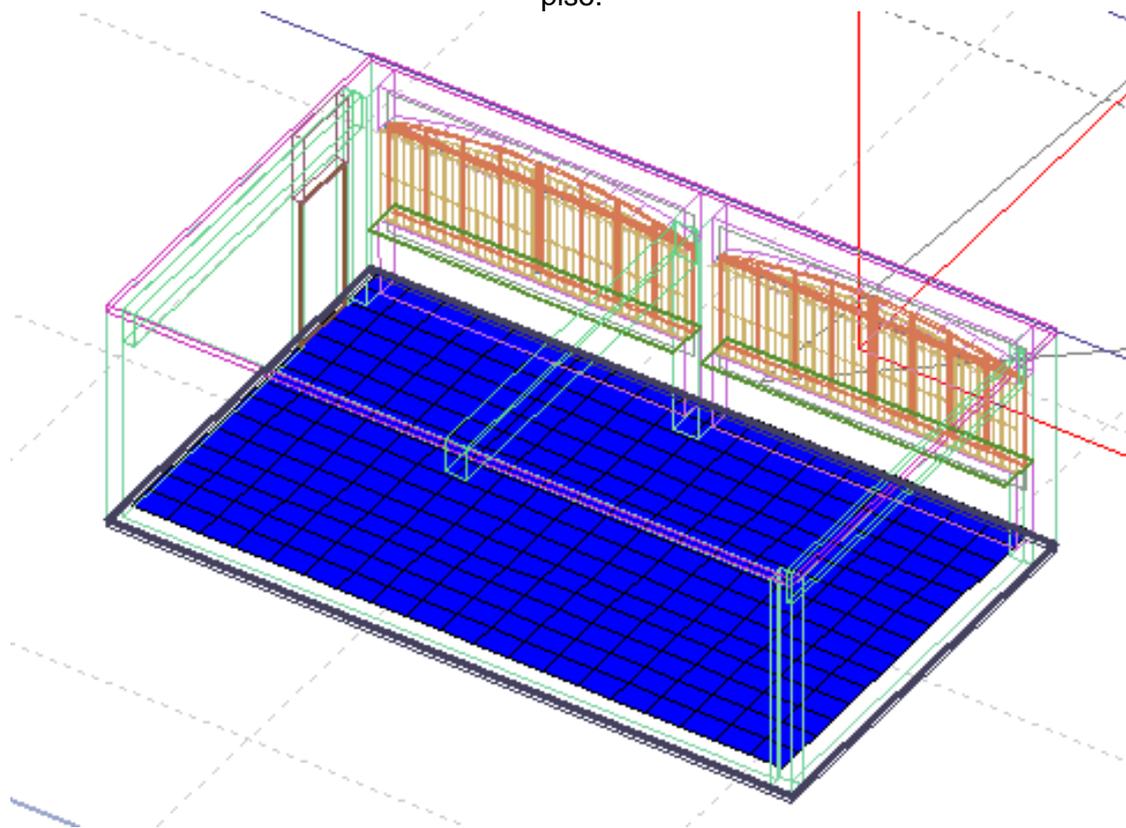
Fonte: o autor.

O sensor foi mantido apoiado sobre a superfície avaliada, o plano do piso, dessa forma a fotocélula permaneceu nivelada durante todo o processo de coleta. Previamente a coleta, a fotocélula foi exposta a luz por 7 minutos e durante a coleta o medidor foi posicionado na mesma direção, porém em sentido contrário às aberturas a fim de evitar sombras na fotocélula. As medições foram feitas a uma distância de aproximadamente 1,50m do corpo aparelho luxímetro, que por sua vez foi mantido com o braço da fotocélula esticado a uma distância de 0,70m do ponto de medição. Para registro do aspecto geral da iluminação existente, a cada momento de medição foi tomada uma fotografia com uma câmera digital modelo *Canon Power Shot S3 IS* em modo automático.

Em seguida à campanha de medições, procedeu-se a elaboração de um modelo virtual do ambiente, que foi realizado utilizando-se o *software AutoCAD*. Inicialmente, determinaram-se as projeções em 2D dos elementos presentes na edificação, a partir de levantamento planimétrico feito no local. Posteriormente o ambiente foi modelado em 3D, utilizando-se o *software 3dStudioMAX™*, também comercializado pela empresa *Autodesk®*. Finalmente, após a modelagem da geometria em três dimensões, o modelo foi transferido em arquivo 3ds para o *software Ecotect™* e nele então foram atribuídos materiais respectivos aos elementos de alvenaria, piso, janela, estruturas e teto, disponíveis na biblioteca de materiais do próprio *software*. A comunicação de dados em todas estas etapas foi facilitada por se tratar de *softwares* da mesma empresa e com compatibilidade entre exportação e importação em arquivos com extensão comum entre eles. Isto se tornou um facilitador para o desenvolvimento do estudo.

Com o objetivo de simular a iluminância nos mesmos pontos estabelecidos no local, modelou-se em uma grelha virtual repousada a 0,02m da superfície do piso, com 21 colunas e 18 linhas, o que configura uma malha com 378 pontos (figura 33). A cada ponto, o *Ecotect™* apresenta um valor específico em lux, plotando graficamente este resultado numa escala de tonalidades sobre a superfície da malha. A divisão dos pontos dessa grelha foi criada de modo a apresentar uma coincidência entre alguns pontos com aqueles fixados na sala de aula e usados para as medições. Isto permitiu a comparação dos resultados entre as duas situações.

Figura 33 – Sala de aula modelada em 3D com grelha de análise disposta sobre o piso.



Fonte: o autor.

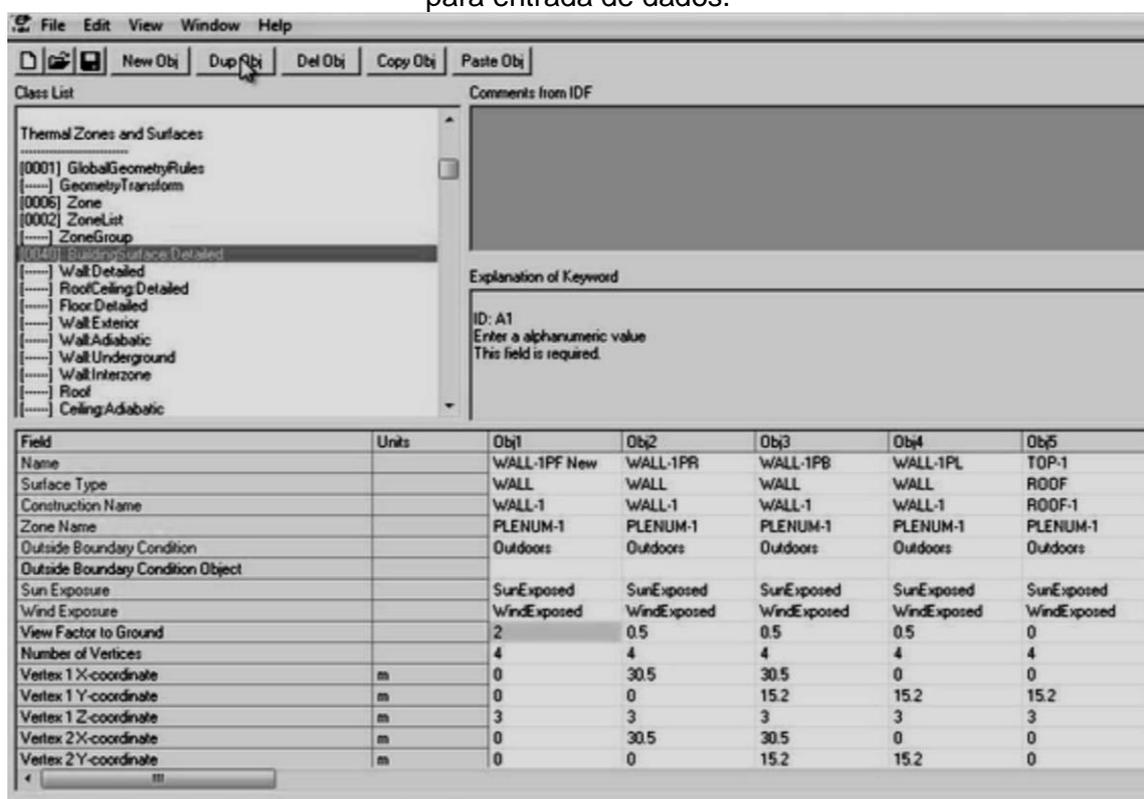
### 3.3 TERCEIRA ETAPA: Ferramentas Digitais

Esta etapa busca determinar o quanto os resultados do *software Ecotect™* se aproximam dos resultados obtidos por um *software* já validado. Para isso, foram feitas simulações utilizando o mesmo objeto de estudo – sala virtual – porém através do *software EnergyPlus™*. Este *software* é uma ferramenta americana de simulação de carga já aceita no mercado possuindo suas raízes nos programas BLAST e DOE-2 que foram lançados no final dos anos 1970 e 1980 para a análise energética e simulação de carga térmica nas edificações. O *Energyplus™* foi desenvolvido em conjunto com *U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories (CERL)*, *University of Illinois (UI)*, *Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)*, *Oklahoma State University (OSU)*, *GARD Analytics* e *Department of Energy (DOE)*. Em relação à iluminação natural, o *software* analisa a interferência da iluminância no consumo de energia em relação às condições ambientais e os tipos de controle

de iluminação e gerenciamento de aberturas em função da disponibilidade de luz natural e ocorrência de ofuscamento (DIDONÉ, 2009).

Para simulação no *Energyplus*<sup>TM</sup> foram usados dados numéricos de entrada, *Inputs*, inseridos ponto a ponto na ferramenta *IDFEditor* (figura 34) que compila esses valores em informação legível ao programa para sua simulação. Na tabela 4, seguem os dados de entrada, referentes aos dados climáticos da cidade de Juiz de Fora, tal como inseridos no programa e extraídos através dos *output's .audit* do *Energyplus*<sup>TM</sup>.

Figura 34 – Interface da ferramenta *IDFEditor*, pertencente ao software *EnergyPlus*<sup>TM</sup> para entrada de dados.



Fonte: Energy, 2015.

Tabela 4 – Dados de entrada, plataforma *IDFEditor*

Item referente à plataforma <i>IDFEditor</i>	Informação inserida
96	JUIZ DE FORA Ann Htg 99% Condns DB, !- Name
97	19.8, !- Maximum Dry-Bulb Temperature {C}
98	0.0, !- Daily Dry-Bulb Temperature Range {deltaC}
99	18.8, !- Humidity Indicating Conditions at Maximum Dry-Bulb
100	91181, !- Barometric Pressure {Pa}
101	1.9, !- Wind Speed {m/s}
102	38, !- Wind Direction {deg}
103	0.4, !- Sky Clearness
104	0, !- Rain Indicator
105	0, !- Snow Indicator
106	17, !- Day of Month
107	2, !- Month
108	SummerDesignDay, !- Day Type
109	0, !- Daylight Saving Time Indicator
110	WetBulb; !- Humidity Indicating Type
111	
112	
113	SizingPeriod:DesignDay,
114	JUIZ DE FORA Ann Clg 1% Condns DB=>MWB, !- Name
115	31.4, !- Maximum Dry-Bulb Temperature {C}
116	13.8, !- Daily Dry-Bulb Temperature Range {deltaC}
117	23.8, !- Humidity Indicating Conditions at Maximum Dry-Bulb
118	91181, !- Barometric Pressure {Pa}
119	5.6, !- Wind Speed {m/s}
120	97, !- Wind Direction {deg}
121	1.00, !- Sky Clearness
122	0, !- Rain Indicator
123	0, !- Snow Indicator
124	17, !- Day of Month
125	2, !- Month
126	SummerDesignDay, !- Day Type
127	0, !- Daylight Saving Time Indicator
128	WetBulb; !- Humidity Indicating Type

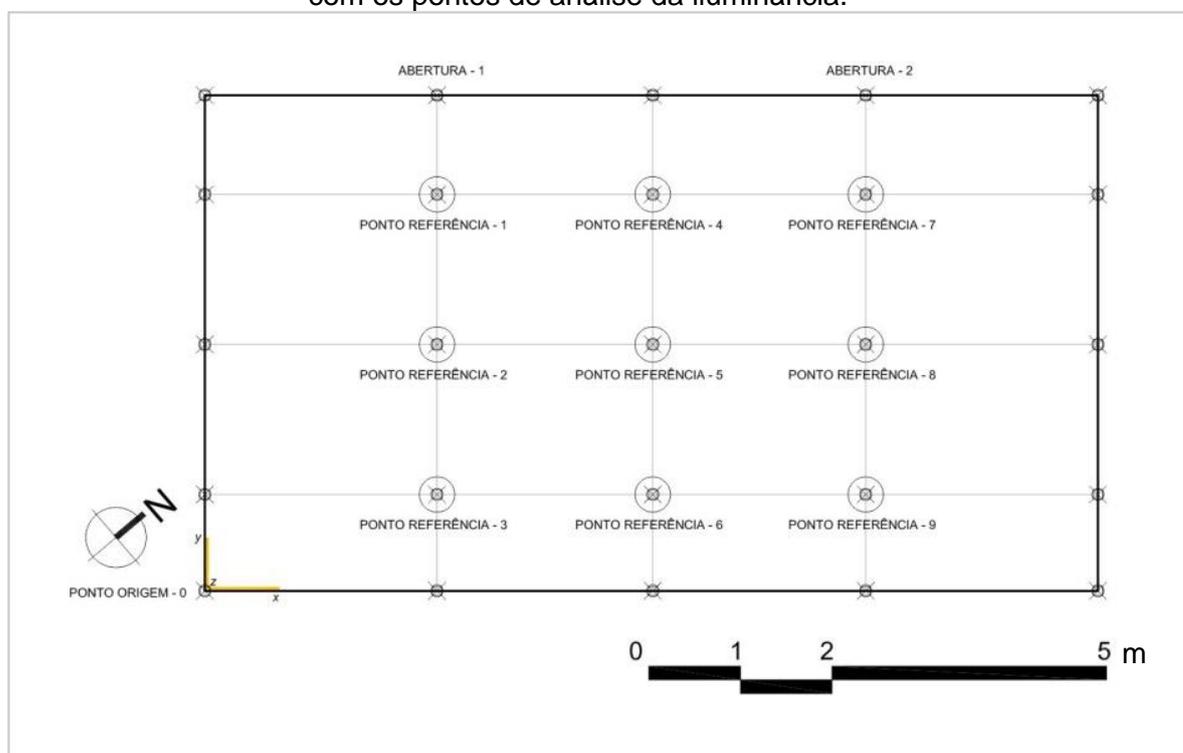
Fonte: o autor.

Coordenadas numéricas para modelagem, bem como aberturas e localização geográfica da sala de medição simulada, podem ser vistos com mais detalhes no caderno de *output's .audit* do Apêndice I desta dissertação. Os *input's* em destaque se referem respectivamente: à localização da sala de medição na UFJF; aos dados climáticos referentes ao dia de medição

fornecidos pelo Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental (LabCAA) do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Juiz de Fora; aos dados construtivos / geométricos da sala de medição e ao grid de pontos nos quais foram extraídos os valores de iluminância expostos no capítulo Análise de Resultados.

Estes dados traduzem as referências geométricas e de localização da mesma sala de aula da Faculdade de Engenharia da UFJF e data de simulação visto no momento anterior. Para manter o mesmo padrão de análise, também foi adotado o conceito de análise de iluminância nos nove pontos determinados no momento da medição local. Para encontrar os pontos de análise de iluminância, a superfície interna da sala foi dividida em 25 zonas separadas em 5 eixos coordenados em x e 5 eixos coordenados em y. Assim o foco de análise se deu sobre as nove zonas internas, adotando os eixos 1 e 5 de ambas as coordenadas x e y como eixos auxiliares (figura 35). As simulações foram feitas para cada intervalo de hora no período de 7h às 19h.

Figura 35 – Planta baixa do ambiente, modelada a partir do *software EnergyPlus™* com os pontos de análise da iluminância.



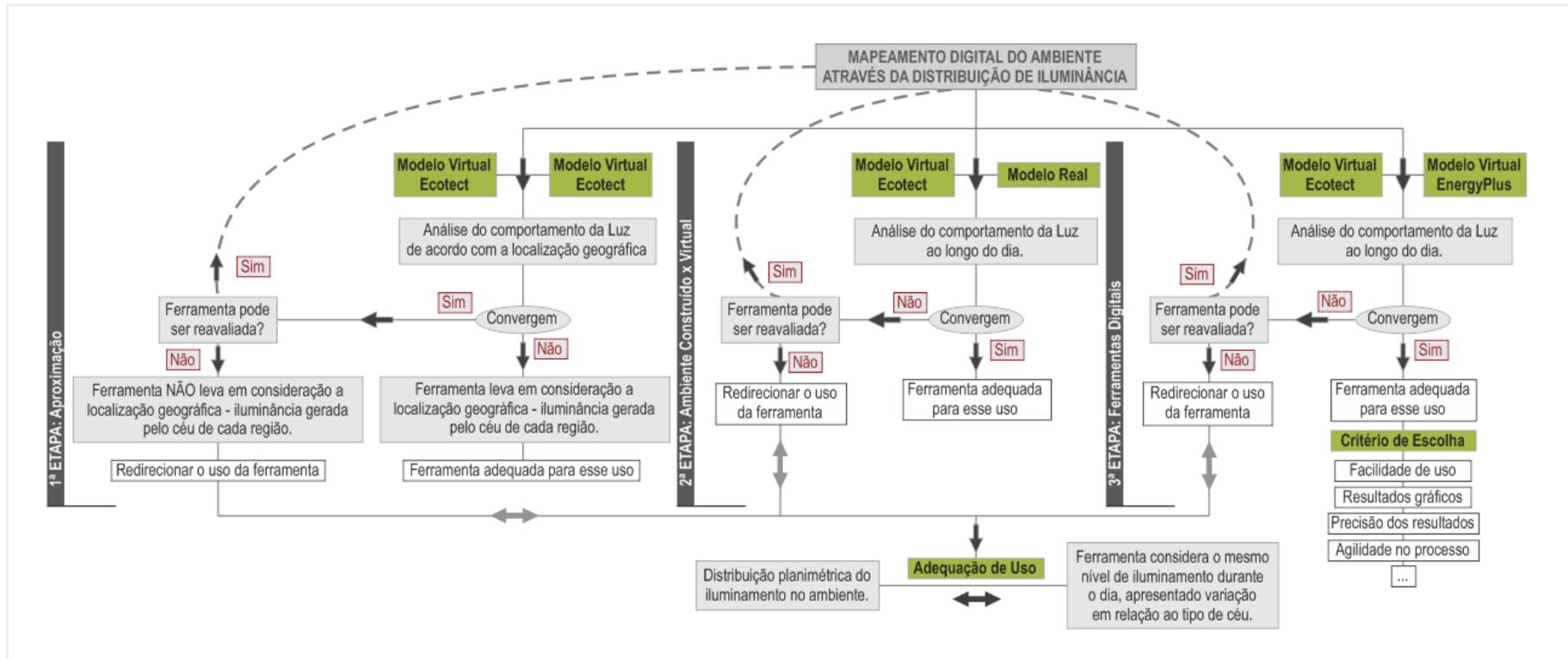
Fonte: o autor.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta o cruzamento dos resultados comparando as conformidades e divergências dos dados extraídos das simulações e das medições *in loco*.

A análise dos resultados foi feita segundo algoritmo demonstrado na figura 36. No mapa em questão, podemos observar as três etapas de análise. Na primeira etapa, o mapeamento digital do ambiente é feito comparando o comportamento da luz de acordo com a localização geográfica de modelos elaborados no *Ecotect*<sup>TM</sup>. Os resultados dessa etapa revelam se o *software* leva em consideração a localização geográfica na iluminância gerada pelo céu de cada região. Na segunda etapa, o mapeamento digital do ambiente é feito comparando o comportamento da luz utilizando o *Ecotect*<sup>TM</sup> e um modelo real. Os resultados dessa etapa revelam se a simulação do *software* se aproxima da situação real analisada. Na terceira etapa, é feita uma comparação entre os *softwares Ecotect*<sup>TM</sup> e *EnergyPlus*<sup>TM</sup>. Os resultados dessa etapa revelam as aproximações e divergências das duas ferramentas e a aplicação mais apropriada de acordo com cada desempenho. O algoritmo mostra que o cruzamento dos resultados conduz à reflexão da adequação do uso do *software* no processo do projeto. A análise dos resultados, bem como seus desdobramentos é apresentada a seguir.

Figura 36 – Mapeamento digital do ambiente através da distribuição de iluminância.

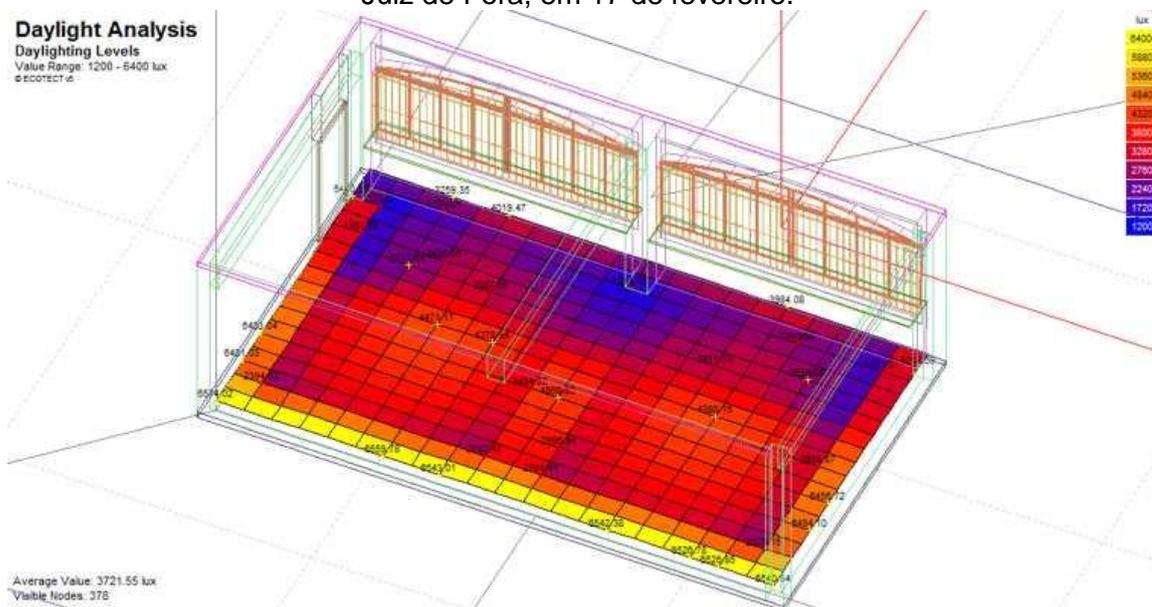


Fonte: o autor.

#### 4.1 PRIMEIRA ETAPA: Aproximação

Para um primeiro grupo de simulações, com base no método de Fluxo Dividido, a figura 37 mostra o resultado apresentado pelo *software* para a cidade de estudo, Juiz de Fora, às 14h com condição de céu encoberto. Na imagem em escala de cor, é perceptível a influência das aberturas na fachada noroeste, bem como a redução da iluminância próximo à fachada, devido à altura do peitoril.

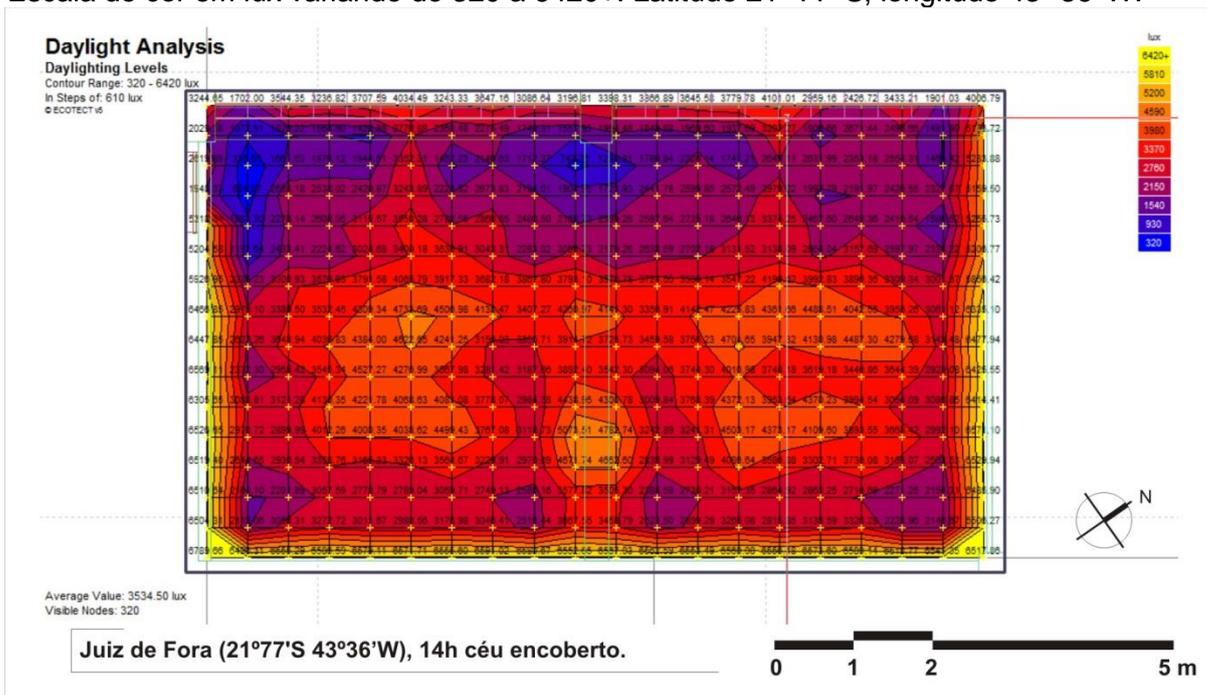
Figura 37 – Modelo 3D. Análise considerando céu encoberto às 14h para a cidade de Juiz de Fora, em 17 de fevereiro.



Fonte: o autor.

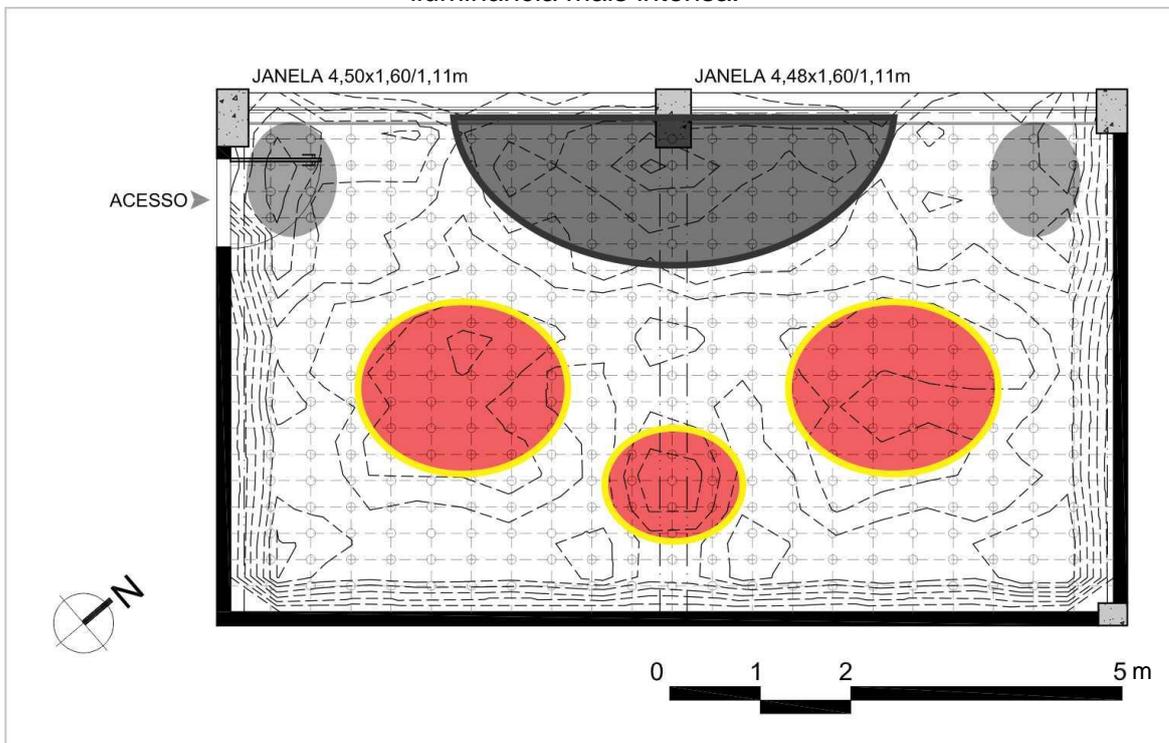
A escala cromática é graduada com a unidade de iluminância *lux*. Os níveis de iluminâncias mais baixos estão em azul e os mais altos em amarelo (figura 38). Para tanto, pode-se observar que no centro do ambiente simulado existe a presença de duas grandes áreas com iluminância mais intensa, representadas em vermelho. Em contrapartida, existe uma área de sombra no entorno do pilar central que, conjugado com a área de peitoril das janelas, formam um volume opaco obstruindo a passagem de luz natural (figura 39). Repetindo a simulação considerando o mesmo dia de análise, 17 de fevereiro, para as cidades escolhidas de diferentes localizações no globo terrestre, obtêm-se os resultados demonstrados na figura 40.

Figura 38 – Simulação *Ecotect*<sup>TM</sup>. Juiz de Fora, 14h céu encoberto.  
Escala de cor em lux variando de 320 a 6420+. Latitude 21° 77' S, longitude 43° 36' W.



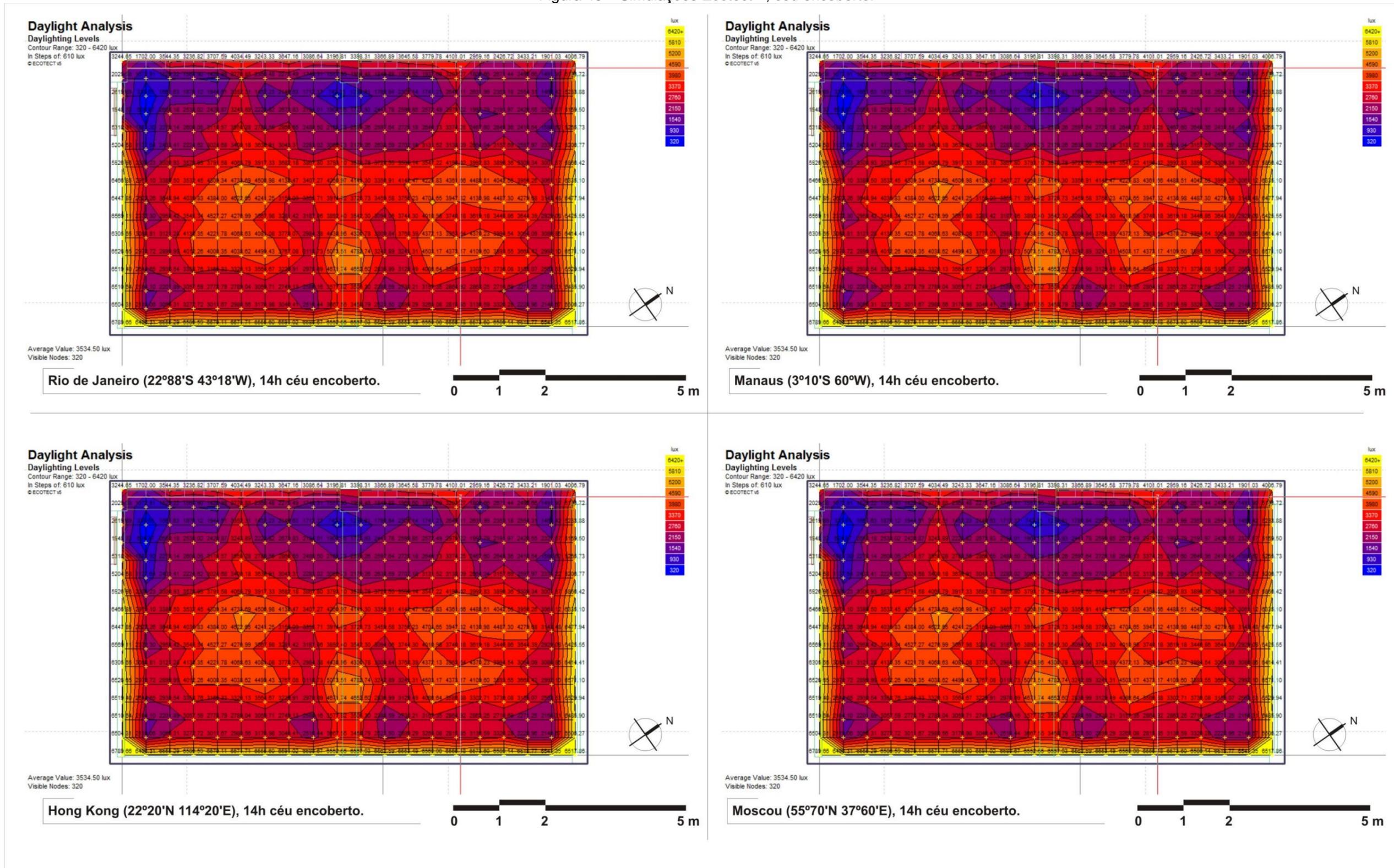
Fonte: o autor.

Figura 39 – Juiz de Fora, céu encoberto. Planta baixa evidenciando as áreas com iluminância mais intensa.



Fonte: o autor.

Figura 40 – Simulações Ecotect™, céu encoberto.

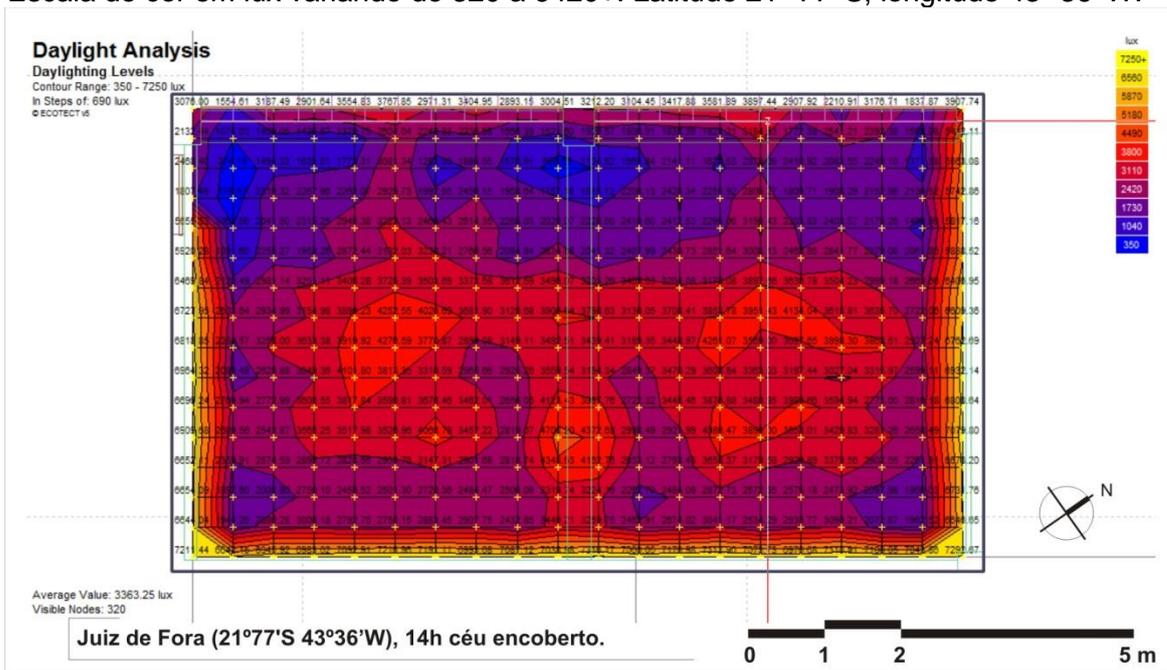


Fonte: o autor.

É possível notar que os resultados obtidos para a cidade de Juiz de Fora, são os mesmos resultados obtidos para as demais localizações geográficas simuladas. Essa equivalência fica mais evidenciada quando isolamos o grid de simulação e apreciamos apenas as áreas destacadas com maior e menor intensidade. Dessa forma, evidencia-se que o *software* não leva em consideração a localização geográfica para a simulação utilizando o céu encoberto. O mesmo ocorre com as simulações para o céu claro. Conforme ocorrido nas simulações para céu encoberto, as simulações para céu claro realizadas considerando as oito cidades espalhadas pelo globo terrestre, também repetiram os mesmos resultados das simulações realizadas para a cidade de Juiz de Fora. Entretanto, nota-se uma alteração fundamental entre as simulações considerando-se os dois tipos de céu (figura 41). Os resultados obtidos para simulação sob a condição de céu claro, para a cidade de Juiz de Fora, apresentam nível de iluminância mais ameno, sobretudo nos três pontos nodais no centro da sala. Essa redução de nível nos pontos nodais produz uma área de sombra mais espalhada em direção às laterais do ambiente apesar de menos profunda (figura 42). Repetindo a simulação considerando o mesmo dia de análise, 17 de fevereiro, para as cidades escolhidas de diferentes localizações no globo terrestre, obtêm-se os resultados apresentados na figura 43.

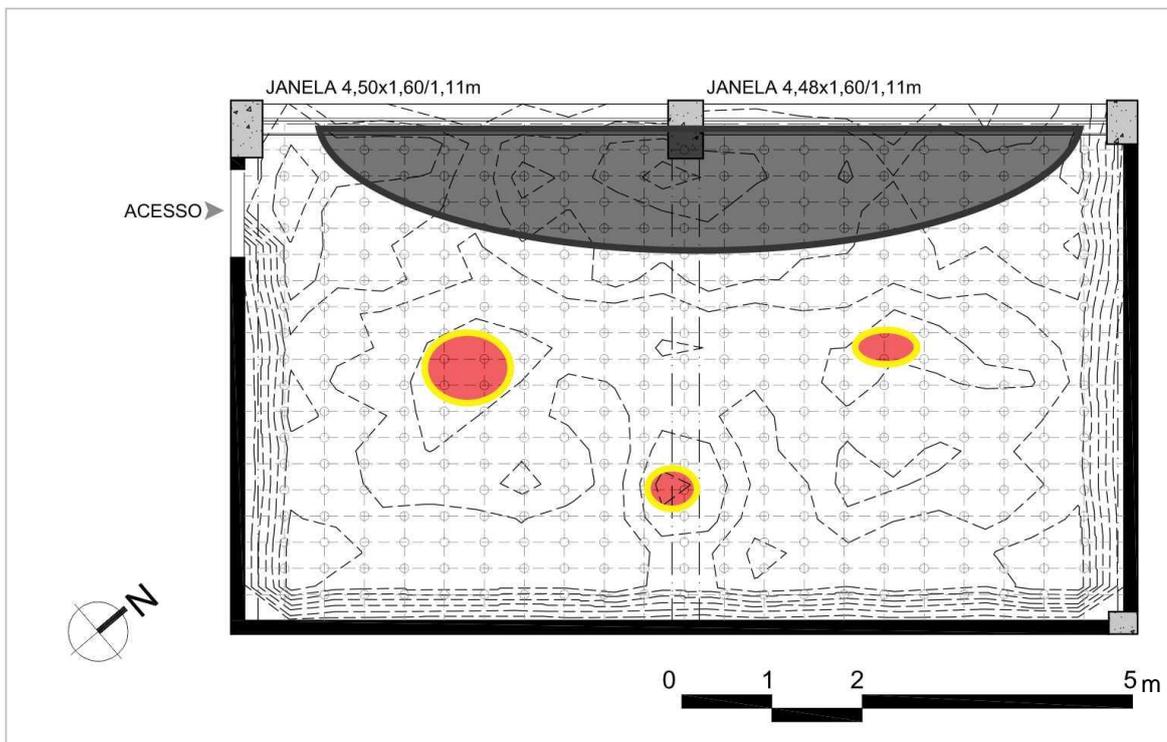
Estes primeiros resultados demonstram que no *Ecotect*<sup>TM</sup>, o cálculo dos níveis de iluminação interiores a uma edificação é obtido considerando-se apenas variáveis geométricas do modelo simulado e luminâncias padrão do céu, tanto o encoberto, quanto o claro. Estas variáveis geométricas se mantêm constantes para qualquer posição geográfica do sítio em estudo. Este comportamento se mostra consistente à observação apresentada em nota existente na interface do *software* durante o momento da simulação, na qual se divulga que não são utilizados os dados climáticos das cidades para fazer o estudo, sendo ele baseado no método de fluxo dividido (figura 11). Entretanto, características importantes para o cálculo da iluminação natural são desconsideradas, como a turbidez atmosférica, influência da altitude e clima do local, entre outras.

Figura 41 – Simulação *Ecotect*<sup>TM</sup>. Juiz de Fora, 14h céu claro, 17 de fevereiro. Escala de cor em lux variando de 320 a 6420+. Latitude 21° 77' S, longitude 43° 36' W.



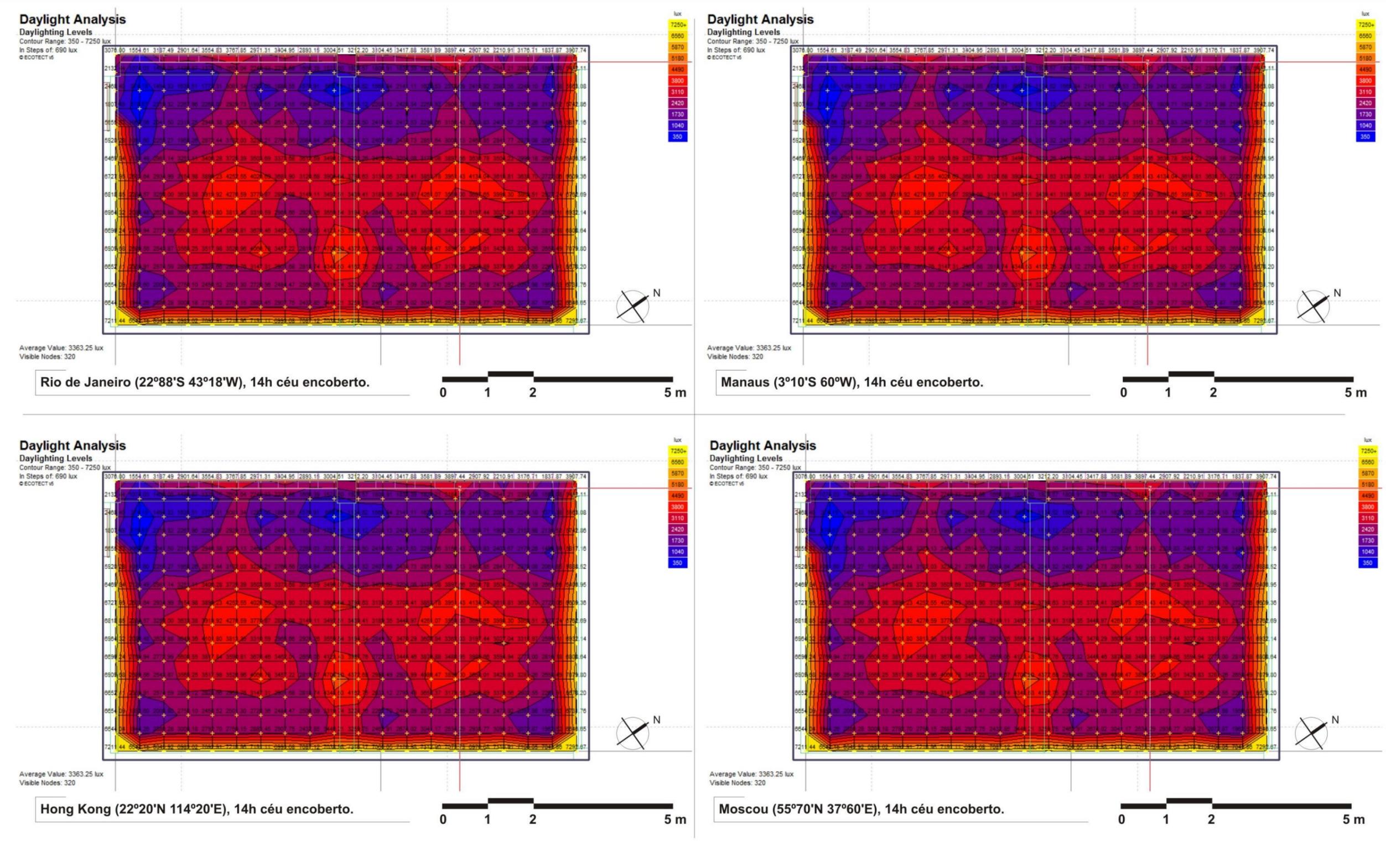
Fonte: o autor.

Figura 42 – Juiz de Fora, céu claro. Planta baixa evidenciando as áreas com iluminância mais intensa.



Fonte: o autor.

Figura 43 – Simulações Ecotect™, céu claro.



Fonte: o autor.

#### 4.2 SEGUNDA ETAPA: Ambiente Construído x Virtual

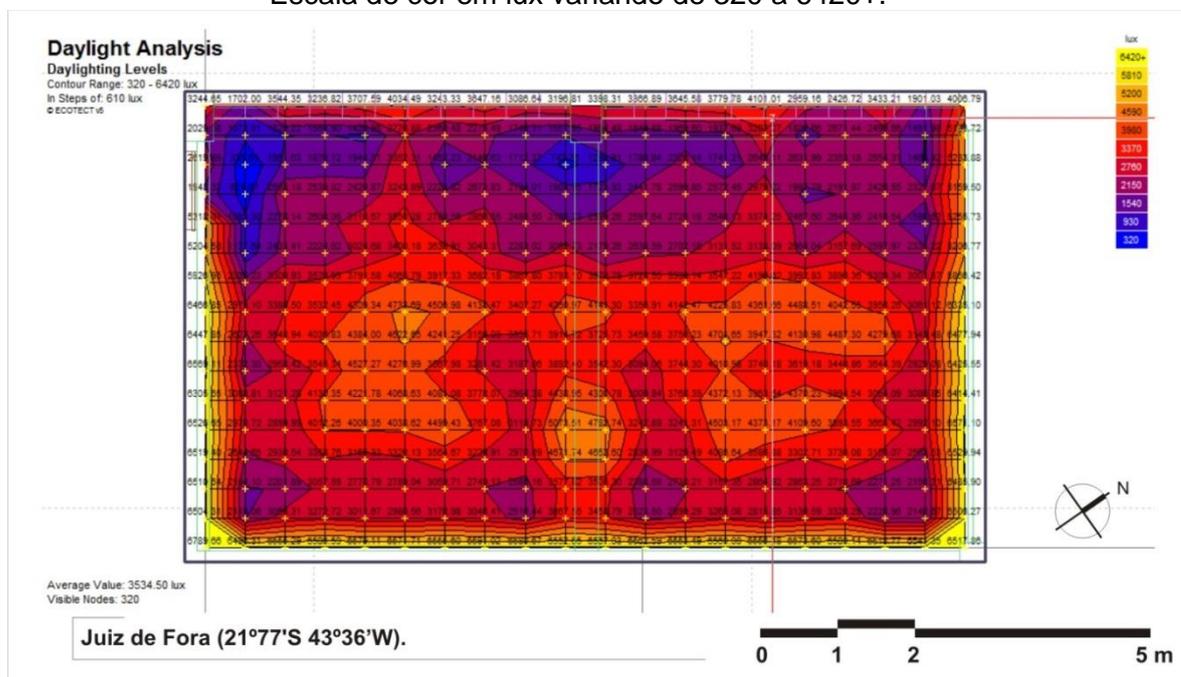
Para o segundo grupo de simulações, tem-se uma relação de medição horária correspondente a cada resultado de simulação gerada. Segue na tabela 5, os resultados para cada ponto levantado e a simulação correspondente ao horário de 7h:

Tabela 5 – Iluminância às 7h, dia 17/02/2011, medido por luxímetro no ambiente real.

Medições de Iluminação			
UFJF - Engenharia de Produção - Sala 4272			
Data: 17 de Fevereiro de 2011			
HORÁRIO			07:00
Medida Interna			
Janelas Referência	Esquerda / Escala	Centro / Escala	Direita / Escala
1ª Linha	1º) 152 / 2.000	4º) 176 / 2.000	7º) 164 / 2.000
2ª Linha	2º) 130 / 2.000	5º) 147 / 2.000	8º) 108 / 2.000
3ª Linha	3º) 110 / 2.000	6º) 105 / 2.000	9º) 67 / 2.000

Fonte: o autor.

Figura 44 – Simulação *Ecotect*<sup>TM</sup>. 7h.  
Escala de cor em lux variando de 320 a 6420+.



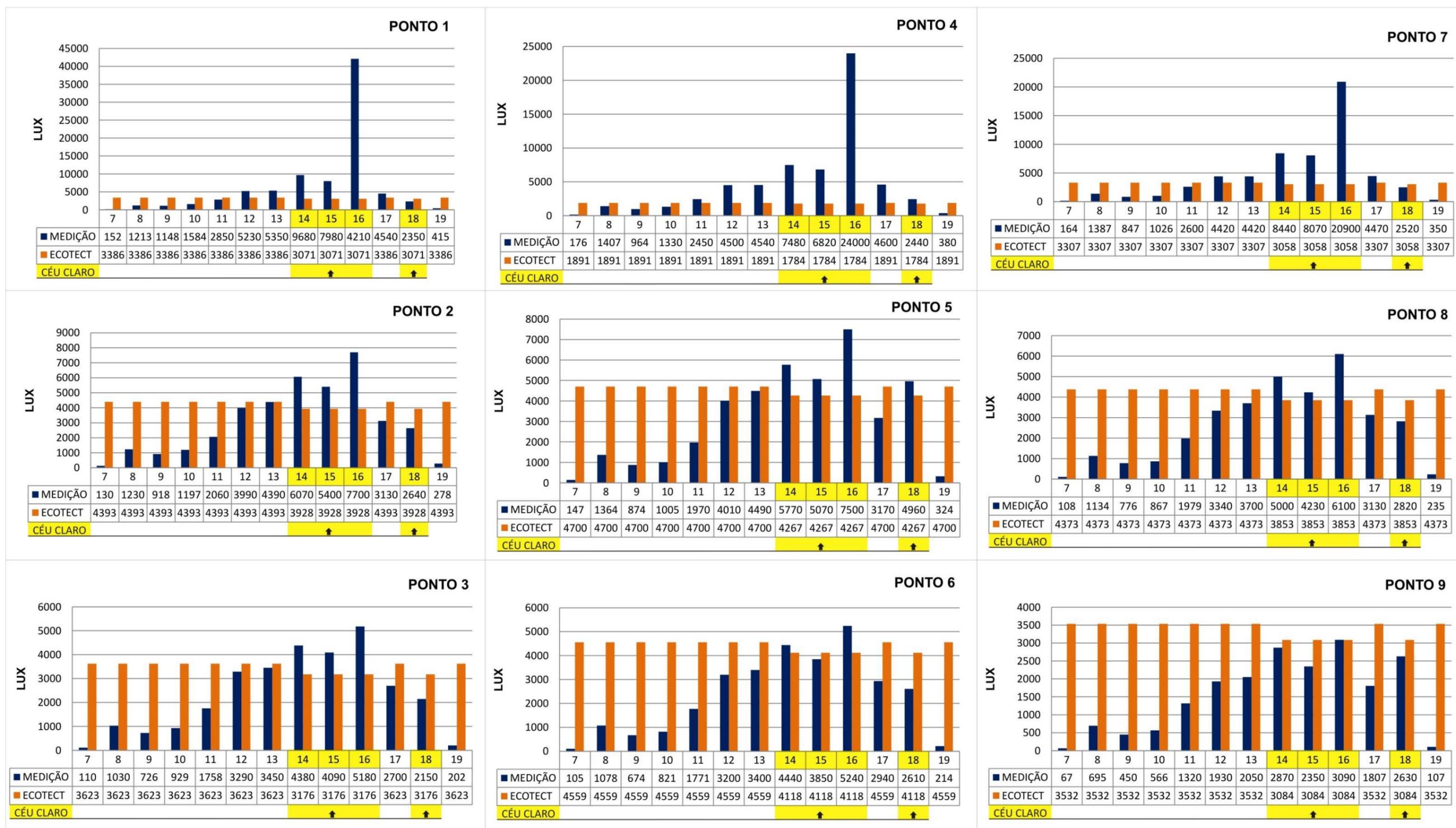
Fonte: o autor.

No Apêndice II, segue o relatório de medições, fotografias e simulações no intervalo de uma hora para cada sessão.

Comparando-se os dados obtidos nas simulações e nas medições, os gráficos apresentados na figura 45 mostram as diferenças de valores encontradas para as duas condições de céu, para uma mesma data. O dia em questão apresentou variações na cobertura da abóbada celeste, com momentos encoberto e momentos claro. Para suplantar esta dificuldade, os dados teóricos utilizados na comparação foram retirados de diferentes simulações (céus claro e encoberto CIE) e plotados no mesmo gráfico, a cada hora considerada.

Os resultados revelam que, tanto em momentos de céu claro quanto em momentos de céu encoberto, o resultado da simulação permanece constante apresentando apenas uma pequena variação entre essas duas situações. Além disso, pode-se ver que existe uma variação considerável entre o resultado medido e o resultado simulado, havendo alguns picos de luminosidade durante o dia no local de medição. Existem algumas concordâncias esporádicas que variam em relação aos horários e pontos, fazendo com que as curvas de medição e simulação se aproximem em alguns momentos, como é o caso do ponto 5, ponto central da sala. Neste caso, a melhor concordância foi encontrada para o horário de 13h, em que existe uma aproximação grande entre o valor medido e o valor simulado. De qualquer forma, o fato de não considerar outras variáveis climáticas e geográficas na simulação, compromete os resultados das simulações, como se pode notar nos gráficos extraídos de cada ponto da sala de medição.

Figura 45 – Medição x Ecotect™.  
 Comparação das iluminâncias provenientes de medição e de simulação para o dia 17 de fevereiro de 2011 em condição de céu encoberto e claro.



Fonte: o autor.

### 4.3 TERCEIRA ETAPA: Ferramentas Digitais

Para o terceiro grupo de simulações, extraiu-se a iluminância nas 25 zonas pontuadas segundo os arquivos de entrada mencionados anteriormente. Esse resultado é dado através de um arquivo de saída de texto .csv. Extraindo os resultados do formato .csv e transformando-os em tabela de excel, encontra-se uma grade cuja a ordenação dos pontos se dá através de eixos nomeados dispostos a partir da origem 0,0,0. (vide nomeação dos pontos considerados na figura 35). Dessa forma, levando esse raciocínio para a grade de pontos tem-se:

Tabela 6 – Formatação dos resultados do *EnergyPlus*<sup>TM</sup> extraídos em arquivo formato .csv.

		Origem x (0)	x (2,34)	x (4,51)	x (6,66)	x (9,0)
17/02/2011 - 07:00h		eixo 1	eixo 2	eixo 3	eixo 4	eixo 5
Origem y (0)	eixo 5	0	0	0	0	0
y (0,87)	eixo 4	0	PONTO 3	PONTO 6	PONTO 9	0
y (2,23)	eixo 3	0	PONTO 2	PONTO 5	PONTO 8	0
y (3,60)	eixo 2	0	PONTO 1	PONTO 4	PONTO 7	0
y (4,50)	eixo 1	0	0	0	0	0

Fonte: o autor.

No Apêndice III desta dissertação, seguem os valores extraídos do arquivo de saída .csv inseridos em tabela para a melhor leitura dos resultados. Cruzando os resultados de simulação horária do *software Ecotect*<sup>TM</sup> com os resultados de simulação horária do *software EnergyPlus*<sup>TM</sup>, temos os seguintes valores indicados na figura 46 para céu encoberto e céu claro. Nele é perceptível a diferença de resultados relativos à alteração de céu para o *software Ecotect*<sup>TM</sup>. Ao observar os gráficos resultantes de cada ponto, pode-se

notar uma linearidade nos resultados do *software Ecotect*<sup>TM</sup>, o que não acontece com os resultados do *Energyplus*<sup>TM</sup>. Ao contrário dos resultados do *Ecotect*<sup>TM</sup>, as parábolas do *Energyplus*<sup>TM</sup> demonstram uma evolução dos valores em lux que vão crescendo ao longo do dia até atingir seu ponto máximo por volta de 16h, dependendo do ponto analisado. Esse comportamento se assemelha mais com o comportamento da iluminância real, em que se percebe uma variação ao longo do dia com valores que crescem a partir das primeiras horas da manhã e decrescem ao entardecer. É possível notar também que a curva média da iluminância medida no local e a curva média da simulação feita pelo *EnergyPlus*<sup>TM</sup>, tendem para uma crescente com o ponto máximo próximo as 16h. Apesar da semelhança entre as curvas médias, existe uma diferença entre ambas que se deve aos picos de luminosidade nos momentos de céu claro. Esses picos de luminosidade elevam o topo da curva média da medição, afastando-a da curva média do *EnergyPlus*<sup>TM</sup>.

Figura 46 – Ecotect™ x EnergyPlus™ x Medição.

Comparação das iluminâncias para as simulações utilizando os softwares Ecotect™ e EnergyPlus™ sob condição simultânea de céu claro e encoberto, respeitados os horários de registro.



Fonte: o autor.

## 5. CONCLUSÃO

Segundo Hopkinson, Petherbrige e Longmore (1975), a quantidade de luz recebida no interior de um compartimento depende do tamanho e da distribuição das janelas no ambiente e da distribuição da luminância do céu. Esta, por sua vez, está diretamente relacionada com a presença ou ausência de nuvens e com a altura solar. Segundo os autores, a variação da luz natural se deve ao movimento aparente do sol no céu em função da hora do dia, estação do ano e da posição do edifício na superfície terrestre, sua latitude, longitude e orientação. A tabela 7 apresenta a variação de iluminâncias geradas em um plano externo, de acordo com a variação da altura solar e do clima.

Tabela 7 – Variação de iluminância em relação à altura solar.

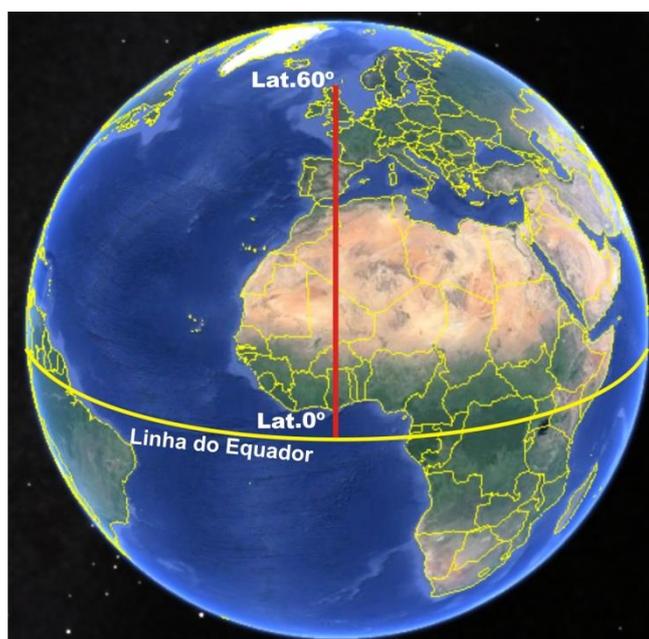
Altura solar (h)	Massa de Ar (m)	Iluminação solar perpendicular aos raios solares (lux)	
		Climas soalheiros e climas menos soalheiros* (céu limpo)	Climas menos soalheiros* (céu limpo médio)
5°	10,4	12.000	8.400
10°	5,6	35.600	24.900
15°	3,8	52.800	39.500
20°	2,9	65.200	45.600
30°	2,0	80.000	56.600
40°	1,55	88.500	61.900
50°	1,3	93.600	65.600
60°	1,15	96.700	67.700
70°	1,05	98.700	69.100
80°	1,02	99,600	69.800
90°	1,0	100.000	70.000

\* Soalheiro refere-se ao ambiente muito exposto ao sol.

Fonte: Hopkinson, Petherbrige e Longmore (1975)

Em relação à localização geográfica, a tabela 8 apresenta a variação de iluminância média gerada de acordo com as estações do ano em um alinhamento de latitudes que partem da Linha do Equador, passam pela Grã-Bretanha atingem o norte do Reino Unido (figura 47).

Figura 47 – Linha de latitudes referenciais.



Fonte: adaptado de CNES, 2015.

Tabela 8 – Iluminância em relação à latitude e às estações do ano.

Latitude	21 de Dezembro (lux)			21 de Março / 21 de Setembro (lux)			21 de Junho (lux)		
	8 e 16h	10 e 14h	12h	8 e 16h	10 e 14h	12h	8 e 16h	10 e 14h	12h
0°	77.200	94.400	98.100	80.100	96.700	100.000	77.200	94.400	98.100
30°	41.400	79.500	86.000	75.000	92.900	96.700	86.000	97.300	99.800
40°	14.500	66.800	76.000	70.100	89.400	93.600	86.700	96.600	99.100
50°	-	29.800	39.800	43.600	58.700	62.000	60.400	66.600	68.200
60°	-	4.200	13.900	35.900	52.500	56.100	59.400	64.800	66.400

Fonte: Adaptado de Hopkinson, Petherbrige e Longmore (1975).

Assim, Hopkinson, Petherbrige e Longmore (1975) evidenciam que a localização geográfica aliada ao tipo de céu, clima e altitude solar, influencia na iluminância gerada em uma superfície. Porém as simulações feitas no *software*

*Ecotect*<sup>TM</sup> não apresentam resultado semelhante. A partir dos dados apurados, pode-se concluir que o *software Ecotect*<sup>TM</sup> não leva em consideração os dados específicos do local para efetuar o cálculo da iluminância. Dessa forma, os resultados obtidos para determinada localidade se equivalem aos resultados obtidos para qualquer outra localidade do globo terrestre. Em outras palavras, o *software* considera a luminosidade proveniente da abóbada celeste igual para qualquer ponto na superfície terrestre. O estudo realizado evidencia que, ao contrário do que se esperava inicialmente – pois existem campos específicos para tal na interface do código computacional – o preenchimento dos dados geométricos do local, como latitude, longitude e altitude não interferem nos resultados. Esta característica do programa computacional implica numa absoluta influência das formas geométricas e, por consequência da modelagem, nos resultados das simulações. Isso indica possíveis ocorrências de discrepâncias e interferência nos resultados, conforme o grau de precisão do modelo geométrico submetido às simulações. Esta conclusão corrobora o estudo realizado por Ibarra e Reinhart (2009), que revelou alteração nos resultados dos experimentos produzidos pelas divergências entre diversos modelos distintos.

Ao compararmos os dados simulados com os dados medidos no local, verifica-se um considerável desvio entre os valores obtidos. Isso demonstra a importância dos dados climáticos do local no cálculo da iluminância, além daqueles relacionados à geometria da sala. Os resultados obtidos através do *software EnergyPlus*<sup>TM</sup> endossam ainda essa conclusão, já que nele são inseridos dados climáticos do local de simulação originando como resultado uma parábola para cada ponto em relação à iluminância e sua distribuição horária. Esses resultados do *EnergyPlus*<sup>TM</sup> mostram uma variação da iluminância ao longo do dia, ao contrário do ocorrido no *Ecotect*<sup>TM</sup> no qual a variação se apresenta apenas na diferenciação do tipo de céu, permanecendo a mesma durante o decorrer das horas.

Assim, quando houver necessidade de investigar os níveis de iluminação natural que podem ser obtidos com a utilização de janelas ou outros dispositivos, é necessário exportar o modelo para outro *software* que considere as variáveis climáticas na simulação. Da mesma forma, por utilizar o método de fluxo dividido, a componente direta da luz, proveniente do Sol, não é

considerada nos cálculos executados pelo *Ecotect*<sup>TM</sup>, o que limita um pouco sua utilização no projeto de dispositivos passivos de reflexão da luz como *lightselves*, por exemplo. Também neste caso, outro *software* deve ser utilizado para a obtenção de resultados mais precisos. Tudo isto implica que o *Ecotect*<sup>TM</sup> não se aplica a realizar análises precisas dos níveis de iluminância em ambientes, limitando o *software* a estudos basicamente conceituais do projeto, ou seja, em etapas de concepção da edificação.

Em contrapartida, o *software Ecotect*<sup>TM</sup> revela-se uma ferramenta muito útil na visualização da distribuição espacial da luz natural na sala em estudo, ou seja, ele é capaz de mostrar claramente as áreas da sala mais e menos iluminadas, considerando uma situação padrão, ou seja, um céu sem presença da radiação solar direta com uma distribuição média de luminâncias. Assim, duas ou mais geometrias diferentes podem ser simuladas e comparadas para se obter uma primeira escolha em termos de desempenho do edifício perante este tipo de fonte de luz natural. Comparando-se esse aspecto com a evolução do trabalho no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>, percebe-se um ganho prático considerável já que o desenvolvimento da análise no *software Ecotect*<sup>TM</sup> é mais didática com ferramentas e interface autoexplicativa, além de os resultados serem, em grande parte, gráficos. O que não acontece com o *software EnergyPlus*<sup>TM</sup>, no qual a inserção de dados é numérica em uma plataforma que dialoga com o usuário através de tabelas.

No atual estágio de desenvolvimento do *software EnergyPlus*<sup>TM</sup>, foi lançado um suíte de aplicativos chamado *OpenStudio Plug-in* criado pelo *National Renewable Energy Laboratory do U.S. Department of Energy* permitindo a realização de simulação energética feita pelo *software EnergyPlus*<sup>TM</sup> dentro da plataforma do *software* de modelagem 3D *SketchUp*. Os criadores do *software EnergyPlus*<sup>TM</sup> elaboraram o *Plug-in* a fim de facilitar a modelagem geométrica do modelo de estudo, já que o usuário encontrava dificuldades em inserir essa informação de entrada dentro da plataforma *EnergyPlus*<sup>TM</sup>. O *Plug-in* é gratuito e permite aos usuários criar rapidamente e editar a geometria do edifício, fornecendo-o como arquivo de entrada para as simulações no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>, sem que precise sair da plataforma *SketchUp*. Além de modelar a geometria do edifício, o *Plug-in* permite criar e editar zonas de estudo energético, realizar estudos de sombreamento, além de misturar o

conteúdo da simulação com imagens de fundo, paisagismo, pessoas e detalhes de acabamento arquitetônico. Apesar da aparente facilidade de uso, os criadores do *Plug-in* recomendam que o usuário já tenha experiência no uso do *EnergyPlus*<sup>TM</sup>. Eles alertam que o *OpenStudio* ainda não consegue trabalhar com todos os objetos de entrada e a edição de alguns arquivos pode ser necessária fora do *SketchUp*, podendo ser necessário o uso de ferramentas editores de texto ou mesmo o *IDF Editor*. É oferecido um suporte técnico através de fórum pelo <openstudio-support@lists.sourceforge.net>. (ENERGY, 2015).

Em resumo, os resultados gráficos do comportamento da iluminação natural unidos à facilidade de trabalho do modelo levam a crer que o *Ecotect*<sup>TM</sup> nos oferece resultados interessantes para a fase de concepção inicial do projeto. Se considerarmos que a maior parte das decisões que afetam o consumo energético de uma edificação ocorre na elaboração dos desenhos preliminares (BROW, 2004) e que as informações devem ser apresentadas na forma que sejam úteis ao projetista, o *software Ecotect*<sup>TM</sup> pode fazer a diferença na qualidade da edificação, sobretudo nas fases de preliminares de projeto. Pode-se concluir que na fase inicial, na qual os arquitetos buscam soluções formais para o seu projeto, o *software Ecotect*<sup>TM</sup> atende à demanda de conhecimento da relação de causa e efeito entre o objeto projetado e a iluminação natural. Por outro lado, o *software EnergyPlus*<sup>TM</sup> requer informações mais detalhadas quanto à forma e materiais utilizados no projeto, para desenvolver um estudo mais preciso quanto à intensidade da iluminância, sendo muito útil nas fases avançadas do projeto.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAN, R. S. **Princípios do Ecoedifício**. São Paulo: Aquariana, 2001.

ALBUQUERQUE, D. D. **Avaliação da Influência da Luz Natural na redução do consumo de energia em edifícios comerciais: Análise em Maceió – AL**. Maceió, 2010. Dissertação – Universidade Federal de Alagoas.

ALARCÓN, L. F.; IZAGUIRRE, L. E. **Modelación Multidimensional: um mecanismo de mejora para la gestión de proyectos de construcción**. Santiago: Universidade Católica do Chile, 2008.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ANSI/ASHRAE Standard 140-2001: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs**. Atlanta, USA: ASHRAE, 2001.

ARCHITEKTT. **IES Collection 1**. Disponível em: <<http://architektt.com/ies-collection-1/>>. Acesso em: 28 nov. 2014

AUTODESK, Ecotect Análisis. Disponível em <<http://ecotect.com/>> Acesso em: 05 out. 2009.

\_\_\_\_\_, Ecotect Análisis. Disponível em <<http://ecotect.com/>> Acesso em: 12 nov. 2010.

AYRES F. C.; SCHEER, S. **Diferentes abordagens do uso do CAD no processo de projeto arquitetônico**. In: VII Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios, Curitiba, 2007.

AZHAR, S.; BROWN, J. **BIM for Sustainability Analysis**. In: International Journal of Construction Education and Research. Routledge, 2009. p. 276-292.

BRADDOCK, J. **BedZed Case Study**. Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts, 2004.

BROADBENT, G. **Design in Architecture: Architecture and Human Sciences**. David Fulton, London, 1988.

BROW, G.Z.; DEKAY, M. **Sol, Vento & Luz Estratégias para o Projeto de Arquitetura**. Trad. Alexandre F. S. Salvaterra. 2. Ed. Artmed. Porto Alegre, 2004.

CARDOSO, C.; ALMEIDA, M; BRAGANÇA, L. **Natural illumination availability in Ponte da Pedra apartment block – a case study**. In: Portugal SB07. Sustainable Construction, Materials and Practices. Portugal, 2007.

CARVALHO, C. R. **Avaliação do programa APOLUX segundo protocolos do relatório CIE 171:2006 referentes a iluminação natural**. Florianópolis, 2009. Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina.

CARVALHO, G. L.; ALMEIDA, I. A. C. **A representação do projeto arquitetônico aliando a computação gráfica aos traçados de desenho tradicionais**. In: XIV Congresso Internacional de Ingenieria Gráfica, Santander, Espanha, 2002.

CHRISTAKOU, E. **A simulação da luz natural aplicada ao projeto de arquitetura**. Brasília, 2004. Dissertação PPG-FAU Universidade de Brasília.

CNES, Astrium. **DigitalGlobe**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Universidade+Federal+de+Juiz+de+Fora/@-21.7784132,-43.3722202,728m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x989b9f99b33491:0xd9b48a8f80341c0d>>. Acesso em jun. 2015.

\_\_\_\_\_, Astrium. **DigitalGlobe**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@14.3115768,12.628586,12443198m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em jun. 2015.

COUCHOT, E. **A tecnologia na arte: da fotografia à realidade virtual**. Trad. Sandra Rey. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2003.

DIDONÉ, E. L. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC**. Florianópolis, 2009. Tese - Universidade Federal de Santa Catarina.

DOU, Diário Oficial da União. **Instrução Normativa nº2**. 4 de junho de 2014. Pag. 102-103. Publicada em 05 de junho de 2014.

ECOTECT Community Wiki. **Archived Ecotect Resources - Community Wiki**. Disponível em: <<http://wiki.naturalfrequency.com>>. Acesso em: 02 abr. 2011.

ENERGY, U.S. Department of. **Energy Efficiency & Renewable Energy**. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acesso em: 13 fev. 2015.

FABRICIO, M. M. **Projeto simultâneo na construção de edifícios**. São Paulo, 2002. Tese - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

GONÇALVES, M. M. **O uso do computador como meio para a representação do espaço: Estudo de caso na área de ensino do Digital & Virtual Design**. São Paulo, 2009. Tese - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

HOPKINSON, R. G; PETHERBRIDGE, P; LONGMORE, J. **Iluminação Natural**. Tradução de Antônio S. Lobato de Faria. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.

IBARRA, D. I.; REINHART, C. F. **Daylight Factor Simulations – How close do simulation beginners 'really' get?** In: Eleventh International IBPSA Congerence. Glasgow, 2009.

IMAI, C. **O processo projetual e a percepção dos usuários: o uso de modelos tridimensionais físicos na elaboração de projetos de habitação social**. Londrina: UEL, 2009.

INANICI, M; GALVIN, J. **Evaluation of High Dynamic Range Photography as a Luminance Mapping Technique**. Lawrence Berkeley National Laboratory. University of California, 2004.

INANICI, M. **Development and evaluation of image based sky models for daylighting applications**. Disponível em: <<http://faculty.washington.edu/inanici/MI-RESEARCH.html>> Acesso fev. 2015.

JOHNSON, S. **Cultura da interface: como o computador transforma nossa maneira de criar e comunicar.** Tradução Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2001.

JUDKOFF, R.; NEYMARK, J. **The BESTEST Method for Evaluating and Diagnosing Buildin Energy Software.** ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings Proceedings, 1998.

KALE, S; ARDITI, D. **Diffusion of Computer Aided Design Technology in Architectural Design Practice.** Journal of Construction Engineering and Management (ASCE), v. 131, 2005.

KUBRAK, T. **Ciberespaço e cultura.** Disponível em: <<http://comunicacaoeinfo.blogspot.com.br/2010/04/ciberespaco-e-cibercultura.html>>. Acesso: maio de 2012.

LAMBERTS, R; WESTPHAL, F. S. **Simulação térmica e energética de edificações a partir de dados climáticos simplificados: validação através do método BESTEST.** Florianópolis: UFSC: 2004.

LÉVY, P. **O que é o Virtual?** Tradução de Paulo Neves. São Paulo: Editora 34, 1996.

MAAMARI, F.; FONTOYNONT, M.; HIRATA, M.; KOSTER, J.; MARTY, C.; TRANSSGRASSOULIS, **A. Reliable Datasets for Lighting Programs Validation, Benchmark Results.** In: Conference International CISBAT 2003, EPFL Lausanne / Switzerland, 2003.

MACHADO, A. **Máquina e Imaginário: o desafio das poéticas tecnológicas.** São Paulo: Edusp, 1993.

MOURA, M; MOTTA, A.L.T.S. **O fator energia na construção civil.** In: IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Rio de Janeiro, 2013.

NASA. **Luzes do Planeta Terra.** Disponível em: <[www.guiageo-mapas.com\\_mundo-noite.htm](http://www.guiageo-mapas.com_mundo-noite.htm)> Acesso: 15 de dez. de 2011.

NBR 5.461. **Iluminação – Terminologia.** Rio de Janeiro, 1991.

NBR 15.215-1. **Iluminação Natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições.** Rio de Janeiro, 2004.

NBR 15.215-2. **Iluminação Natural – Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural.** Rio de Janeiro, 2004.

NBR 15.215-3. **Iluminação Natural – Parte 3: Procedimentos de cálculo determinação da iluminação natural em ambientes internos.** Rio de Janeiro, 2004.

NBR 15.215-4. **Iluminação Natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição.** Rio de Janeiro, 2004.

NOME, C. A.; CABIZUCA, L.; GOULART, S. V.G.; PEREIRA, F. O.R.; PEREIRA, A. T.C. **BIM BR: Uma proposta de modelo para desenvolvimento e teste de processos e protocolos para o uso de tecnologias BIM.** In: ENTAC XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Canela, 2010.

PEREIRA, R. C. **Avaliação de Ferramentas de Simulação de Iluminamento Natural por meio de Mapeamento Digital de Luminâncias da Abóbada Celeste e Entorno.** Florianópolis, 2009. Tese – Universidade Federal de Santa Catarina.

PLAZA, J.; TAVARES, M. **Processos criativos com os meios eletrônicos: Poéticas Digitais.** São Paulo: Hucitec, 1998.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

PUPO, R. T.; SCARAZZATO, P. S.; DELBIM, S. **Metodologia para a escolha de programas de simulação de iluminação artificial em ambientes, através de análise e comparação de softwares.** In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, 2007.

REQUENA, C. A. J. **Habitar híbrido: interatividade e experiência na era da cibercultura**. São Carlos, 2007. Dissertação - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

REMONTOWA. **Piki eulumdat XII 2010**. Disponível em: < disponível em: <http://polam-rem.com.pl/narzedzia-do-projektowanie-oswietlenia.html>>. Acesso em: 28 nov. 2014.

ROY, G. G. **A Comparative Study of Lighting Simulation Packages Suitable for use in Architectural Design**. School of Engineering Murdoch University - Australia, 2000.

RUSCHEL, R.C; FABRICIO, M. M. **Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção Civil: Uma experiência de ensino**. In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Fortaleza, 2008.

SANTAELLA, L. **Por uma epistemologia das imagens tecnológicas: seus modos de apresentar, indicar e representar a realidade**. In: Imagem (Ir) realidade: comunicação e cibernímia. Porto Alegre: Sulinas, 2006.

SCHEER, S.; ITO, A. L. Y.; AYRES F., C.; AZUMA, F.; BEBER, M. **Impactos do uso do sistema CAD Geométrico e o uso do sistema CAD-BIM no processo de projeto em escritórios de arquitetura**. In: VII Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios, Curitiba, 2007.

SHALABY, A. M.; KING, J.; GOLD, M. **Evaluating Lightscape's accuracy for predicting daylighting illuminance compared to an actual space**. International Solar Energy Society (ISES), 2005.

SIBILIO, S., FALCONETTI, P.; MAFFEI, L. **475: Daylighting design for low energy buildings in south Italy**. In: 25 th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Dublin, 2008.

SMITH, D. **"Why move to BIM?" Introduction to BIM and the building SMART alliance**. National Institute of Building Sciences, International Alliance for Interoperability. Disponível em: <<http://www.freeptdb.com/details-why>>

move-to-bim-introduction-to-bim-and-the-183922.html>. Acesso em: 12 fev. 2015.

TSCHUMI, B. ***Architecture and disjunction***. Cambridge. MIT press., 1994.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. ***Product design and development***. International Edition, Boston: McGraw-Hill, 2000.

U.S. Department of Energy. ***Energyplus Energy Simulation Software***. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acesso em: 02 abr. 2011.

USGBC, **U.S. Green Building Concil.** Disponível em: <<http://www.usgbc.org/leed>>. Acesso em: 29 mar. 2015.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. **Ferramenta computacional para análise energética de edificações a partir de dados climáticos simplificados: Validação através do método BESTEST**. IN: ENCAC - COTEDI, Curitiba, 2003.

APÊNDICE I - Caderno de *Output's.audit* fornecidos pelo software *Energyplus™* após a simulação

```

Processing Data Dictionary (Energy+.idd) File -- Complete
Maximum number of Alpha Args=    4500
Maximum number of Numeric Args=   3200
Number of Object Definitions=     635
Number of Section Definitions=     2
Processing Input Data File (in.idf) -- Start
  1 !-Generator IDFEditor 1.41
  2 !-Option SortedOrder
  3
  4 !-NOTE: All comments with '!-' are ignored by the IDFEditor and are generated
automatically.
  5 !-   Use '!' comments if they need to be retained when using the IDFEditor.
  6
  7
  8 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: VERSION =====
  9
 10 ! DaylightingDeviceShelf.idf
 11 !
 12 ! Basic file description:
 13 ! This model consists of two separate buildings. Both buildings are identical in
geometry and construction.
 14 ! Both buildings have a two-piece window composed of an upper and a lower
window on the south wall.
 15 ! On one of the buildings a daylighting shelf projects between the two
windows with inside and outside
 16 ! surfaces. All interior surfaces except floor are painted white for optimal
daylight distribution.
 17 ! An illuminance map is output for both building zones.
 18 ! Run:    2 design days.
 19 ! Building: Standard constructions. Floors are partitions. No shading between
buildings.
 20 ! Internal: Added lights from DaylightingDeviceTubular
 21 ! System:  None.
 22 ! Plant:   None.
 23 ! FCW, 6/17/04: changed height for daylighting illuminance maps from 0.0m
to 0.8m to correspond
 24 !           to reference point height
 25 Version,
 26 7.0;           !- Version Identifier
 27
 28

```

```

29 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SIMULATIONCONTROL
=====
30
31 SimulationControl,
32 NO,          !- Do Zone Sizing Calculation
33 NO,          !- Do System Sizing Calculation
34 NO,          !- Do Plant Sizing Calculation
35 YES,         !- Run Simulation for Sizing Periods
36 NO;         !- Run Simulation for Weather File Run Periods
37
38
39 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: BUILDING =====
40
41 Building,
42 Sala de Medição - UFJF, !- Name
43 0.0,         !- North Axis {deg}
44 Suburbs,     !- Terrain
45 0.04,        !- Loads Convergence Tolerance Value
46 0.04,        !- Temperature Convergence Tolerance Value {deltaC}
47 FullInteriorAndExterior, !- Solar Distribution
48 25,          !- Maximum Number of Warmup Days
49 6;           !- Minimum Number of Warmup Days
50
51
52 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SHADOWCALCULATION
=====
53
54 ShadowCalculation,
55 20;          !- Calculation Frequency
56
57
58 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:
SURFACECONVECTIONALGORITHM:INSIDE =====
59
60 SurfaceConvectionAlgorithm:Inside,
61 TARP;        !- Algorithm
62
63
64 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:
SURFACECONVECTIONALGORITHM:OUTSIDE =====
65
66 SurfaceConvectionAlgorithm:Outside,
67 DOE-2;       !- Algorithm
68
69
70 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:
HEATBALANCEALGORITHM =====
71

```

```

72 HeatBalanceAlgorithm,
73   ConductionTransferFunction; !- Algorithm
74
75
76 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: TIMESTEP =====
77
78 Timestep,
79   6;           !- Number of Timesteps per Hour
80
81
82 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SITE:LOCATION
=====
83
84 Site:Location,
85   JUIZ DE FORA-MG,    !- Name
86   -21.77,           !- Latitude {deg}
87   -46.36,           !- Longitude {deg}
88   -3,               !- Time Zone {hr}
89   695;              !- Elevation {m}
90
91
92 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SIZINGPERIOD:DESIGNDAY
=====
93
94
95 SizingPeriod:DesignDay,
96   JUIZ DE FORA Ann Htg 99% Condns DB, !- Name
97   19.8,             !- Maximum Dry-Bulb Temperature {C}
98   0.0,             !- Daily Dry-Bulb Temperature Range {deltaC}
99   18.8,             !- Humidity Indicating Conditions at Maximum Dry-Bulb
100  91181,           !- Barometric Pressure {Pa}
101  1.9,             !- Wind Speed {m/s}
102  38,              !- Wind Direction {deg}
103  0.4,             !- Sky Clearness
104  0,               !- Rain Indicator
105  0,               !- Snow Indicator
106  17,              !- Day of Month
107  2,               !- Month
108  SummerDesignDay, !- Day Type
109  0,               !- Daylight Saving Time Indicator
110  WetBulb;         !- Humidity Indicating Type
111
112
113 SizingPeriod:DesignDay,
114   JUIZ DE FORA Ann Clg 1% Condns DB=>MWB, !- Name
115   31.4,           !- Maximum Dry-Bulb Temperature {C}
116   13.8,           !- Daily Dry-Bulb Temperature Range {deltaC}
117   23.8,           !- Humidity Indicating Conditions at Maximum Dry-Bulb
118   91181,          !- Barometric Pressure {Pa}

```

```

119 5.6,          !- Wind Speed {m/s}
120 97,          !- Wind Direction {deg}
121 1.00,       !- Sky Clearness
122 0,          !- Rain Indicator
123 0,          !- Snow Indicator
124 17,         !- Day of Month
125 2,          !- Month
126 SummerDesignDay,    !- Day Type
127 0,          !- Daylight Saving Time Indicator
128 WetBulb;    !- Humidity Indicating Type
129
130
131 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: RUNPERIOD =====
132
133 RunPeriod,
134 ,           !- Name
135 2,          !- Begin Month
136 17,         !- Begin Day of Month
137 2,          !- End Month
138 17,         !- End Day of Month
139 Thursday,   !- Day of Week for Start Day
140 Yes,        !- Use Weather File Holidays and Special Days
141 Yes,        !- Use Weather File Daylight Saving Period
142 No,         !- Apply Weekend Holiday Rule
143 Yes,        !- Use Weather File Rain Indicators
144 Yes;        !- Use Weather File Snow Indicators
145
146
147 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SCHEDULETYPELIMITS
=====
148
149 ScheduleTypeLimits,
150 On/Off,     !- Name
151 0,          !- Lower Limit Value
152 1,          !- Upper Limit Value
153 DISCRETE;   !- Numeric Type
154
155
156 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SCHEDULE:COMPACT
=====
157
158 Schedule:Compact,
159 AlwaysOnSchedule,    !- Name
160 On/Off,              !- Schedule Type Limits Name
161 THROUGH: 12/31,     !- Field 1
162 FOR: AllDays,       !- Field 2
163 UNTIL: 24:00,      !- Field 3
164 1;                  !- Field 4
165
166

```

167 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL =====

168

169 Material,

170 A1 - 1 IN STUCCO, !- Name

171 Smooth, !- Roughness

172 2.5389841E-02, !- Thickness {m}

173 0.6918309, !- Conductivity {W/m-K}

174 1858.142, !- Density {kg/m<sup>3</sup>}

175 836.8, !- Specific Heat {J/kg-K}

176 0.90, !- Thermal Absorptance

177 0.92, !- Solar Absorptance

178 0.92; !- Visible Absorptance

179

180 Material,

181 C4 - 4 IN COMMON BRICK, !- Name

182 Rough, !- Roughness

183 0.1014984, !- Thickness {m}

184 0.7264224, !- Conductivity {W/m-K}

185 1922.216, !- Density {kg/m<sup>3</sup>}

186 836.8, !- Specific Heat {J/kg-K}

187 0.90, !- Thermal Absorptance

188 0.76, !- Solar Absorptance

189 0.76; !- Visible Absorptance

190

191 Material,

192 E1 - 3 / 4 IN PLASTER OR GYP BOARD, !- Name

193 Smooth, !- Roughness

194 1.9050000E-02, !- Thickness {m}

195 0.7264224, !- Conductivity {W/m-K}

196 1601.846, !- Density {kg/m<sup>3</sup>}

197 836.8, !- Specific Heat {J/kg-K}

198 0.90, !- Thermal Absorptance

199 0.30, !- Solar Absorptance

200 0.30; !- Visible Absorptance

201

202 Material,

203 C6 - 8 IN CLAY TILE, !- Name

204 Smooth, !- Roughness

205 0.2033016, !- Thickness {m}

206 0.5707605, !- Conductivity {W/m-K}

207 1121.292, !- Density {kg/m<sup>3</sup>}

208 836.8, !- Specific Heat {J/kg-K}

209 0.90, !- Thermal Absorptance

210 0.82, !- Solar Absorptance

211 0.82; !- Visible Absorptance

212

213 Material,

214 C10 - 8 IN HW CONCRETE, !- Name

215 MediumRough, !- Roughness

216	0.2033016,	!- Thickness {m}
217	1.729577,	!- Conductivity {W/m-K}
218	2242.585,	!- Density {kg/m <sup>3</sup> }
219	836.8,	!- Specific Heat {J/kg-K}
220	0.90,	!- Thermal Absorptance
221	0.65,	!- Solar Absorptance
222	0.65;	!- Visible Absorptance
223		
224	Material,	
225	E2 - 1 / 2 IN SLAG OR STONE,	!- Name
226	Rough,	!- Roughness
227	1.2710161E-02,	!- Thickness {m}
228	1.435549,	!- Conductivity {W/m-K}
229	881.0155,	!- Density {kg/m <sup>3</sup> }
230	1673.6,	!- Specific Heat {J/kg-K}
231	0.90,	!- Thermal Absorptance
232	0.55,	!- Solar Absorptance
233	0.55;	!- Visible Absorptance
234		
235	Material,	
236	E3 - 3 / 8 IN FELT AND MEMBRANE,	!- Name
237	Rough,	!- Roughness
238	9.5402403E-03,	!- Thickness {m}
239	0.1902535,	!- Conductivity {W/m-K}
240	1121.292,	!- Density {kg/m <sup>3</sup> }
241	1673.6,	!- Specific Heat {J/kg-K}
242	0.90,	!- Thermal Absorptance
243	0.75,	!- Solar Absorptance
244	0.75;	!- Visible Absorptance
245		
246	Material,	
247	B5 - 1 IN DENSE INSULATION,	!- Name
248	VeryRough,	!- Roughness
249	2.5389841E-02,	!- Thickness {m}
250	4.3239430E-02,	!- Conductivity {W/m-K}
251	91.30524,	!- Density {kg/m <sup>3</sup> }
252	836.8,	!- Specific Heat {J/kg-K}
253	0.90,	!- Thermal Absorptance
254	0.50,	!- Solar Absorptance
255	0.50;	!- Visible Absorptance
256		
257	Material,	
258	ROOFING - ASPHALT SHINGLES,	!- Name
259	VeryRough,	!- Roughness
260	3.1999999E-03,	!- Thickness {m}
261	2.9999999E-02,	!- Conductivity {W/m-K}
262	1121.29,	!- Density {kg/m <sup>3</sup> }
263	830.0,	!- Specific Heat {J/kg-K}
264	0.90,	!- Thermal Absorptance

265 0.70, !- Solar Absorptance  
 266 0.70; !- Visible Absorptance  
 267  
 268 Material,  
 269 BB46 - 5 / 8 IN PLYWOOD, !- Name  
 270 Smooth, !- Roughness  
 271 9.9999998E-03, !- Thickness {m}  
 272 0.110, !- Conductivity {W/m-K}  
 273 544.62, !- Density {kg/m3}  
 274 1210.0, !- Specific Heat {J/kg-K}  
 275 0.90, !- Thermal Absorptance  
 276 0.30, !- Solar Absorptance  
 277 0.30; !- Visible Absorptance  
 278  
 279 Material,  
 280 INS - GLASS FIBER BONDED 3 IN, !- Name  
 281 VeryRough, !- Roughness  
 282 7.000E-02, !- Thickness {m}  
 283 2.9999999E-02, !- Conductivity {W/m-K}  
 284 96.11, !- Density {kg/m3}  
 285 790.0, !- Specific Heat {J/kg-K}  
 286 0.90, !- Thermal Absorptance  
 287 0.50, !- Solar Absorptance  
 288 0.50; !- Visible Absorptance  
 289  
 290 Material,  
 291 C12 - 2 IN HW CONCRETE - PAINTED WHITE, !- Name  
 292 MediumRough, !- Roughness  
 293 5.0901599E-02, !- Thickness {m}  
 294 1.729577, !- Conductivity {W/m-K}  
 295 2242.585, !- Density {kg/m3}  
 296 836.8, !- Specific Heat {J/kg-K}  
 297 0.90, !- Thermal Absorptance  
 298 0.30, !- Solar Absorptance  
 299 0.30; !- Visible Absorptance  
 300  
 301  
 302 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:  
 WINDOWMATERIAL:GLAZING =====  
 303  
 304 WindowMaterial:Glazing,  
 305 CLEAR GLASS, !- Name  
 306 SpectralAverage, !- Optical Data Type  
 307 , !- Window Glass Spectral Data Set Name  
 308 0.003, !- Thickness {m}  
 309 0.837, !- Solar Transmittance at Normal Incidence  
 310 7.50E-02, !- Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence  
 311 7.50E-02, !- Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence  
 312 0.898, !- Visible Transmittance at Normal Incidence

```

313 8.10E-02,      !- Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence
314 8.10E-02,      !- Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence
315 0.0,           !- Infrared Transmittance at Normal Incidence
316 0.84,          !- Front Side Infrared Hemispherical Emissivity
317 0.84,          !- Back Side Infrared Hemispherical Emissivity
318 0.90;          !- Conductivity {W/m-K}
319
320
321 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: CONSTRUCTION
=====
322
323 Construction,
324  EXTWALL80,      !- Name
325  A1 - 1 IN STUCCO,  !- Outside Layer
326  C4 - 4 IN COMMON BRICK, !- Layer 2
327  E1 - 3 / 4 IN PLASTER OR GYP BOARD; !- Layer 3
328
329 Construction,
330  FLOOR SLAB 8 IN,  !- Name
331  C10 - 8 IN HW CONCRETE; !- Outside Layer
332
333 Construction,
334  ROOF,           !- Name
335  ROOFING - ASPHALT SHINGLES, !- Outside Layer
336  E3 - 3 / 8 IN FELT AND MEMBRANE, !- Layer 2
337  BB46 - 5 / 8 IN PLYWOOD; !- Layer 3
338
339 Construction,
340  STANDARD WINDOW,  !- Name
341  CLEAR GLASS;     !- Outside Layer
342
343
344 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: GLOBALGEOMETRYRULES
=====
345
346 GlobalGeometryRules,
347  UpperLeftCorner,  !- Starting Vertex Position
348  CounterClockWise, !- Vertex Entry Direction
349  Relative;        !- Coordinate System
350
351
352 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: ZONE =====
353
354 Zone,
355  Standard Zone,   !- Name
356  311,            !- Direction of Relative North {deg}
357  50.0,           !- X Origin {m}
358  50.0,           !- Y Origin {m}
359  0.0,            !- Z Origin {m}

```

```

360 1,          !- Type
361 1,          !- Multiplier
362 autocalculate,    !- Ceiling Height {m}
363 autocalculate;    !- Volume {m3}
364
365 Zone,
366 Daylit Zone,      !- Name
367 311,             !- Direction of Relative North {deg}
368 0.0,             !- X Origin {m}
369 0.0,             !- Y Origin {m}
370 0.0,             !- Z Origin {m}
371 1,              !- Type
372 1,              !- Multiplier
373 autocalculate,    !- Ceiling Height {m}
374 autocalculate;    !- Volume {m3}
375
376
377 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:
BUILDINGSURFACE:DETAILED =====
378
379 BuildingSurface:Detailed,
380 Standard South Wall,  !- Name
381 Wall,              !- Surface Type
382 EXTWALL80,        !- Construction Name
383 Standard Zone,     !- Zone Name
384 Outdoors,         !- Outside Boundary Condition
385 ,                 !- Outside Boundary Condition Object
386 SunExposed,       !- Sun Exposure
387 WindExposed,     !- Wind Exposure
388 0.5,              !- View Factor to Ground
389 4,                 !- Number of Vertices
390 0.0,              !- Vertex 1 X-coordinate {m}
391 0.0,              !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
392 3.06,             !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
393 0.0,              !- Vertex 2 X-coordinate {m}
394 0.0,              !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
395 0.0,              !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
396 9.76,             !- Vertex 3 X-coordinate {m}
397 0.0,              !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
398 0.0,              !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
399 9.76,             !- Vertex 4 X-coordinate {m}
400 0.0,              !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
401 3.06;            !- Vertex 4 Z-coordinate {m}
402
403 BuildingSurface:Detailed,
404 Standard West Wall,  !- Name
405 Wall,              !- Surface Type
406 EXTWALL80,        !- Construction Name

```

407 Standard Zone,            !- Zone Name  
 408 Outdoors,                !- Outside Boundary Condition  
 409 ,                         !- Outside Boundary Condition Object  
 410 SunExposed,              !- Sun Exposure  
 411 WindExposed,             !- Wind Exposure  
 412 0.5,                      !- View Factor to Ground  
 413 4,                         !- Number of Vertices  
 414 0.0,                      !- Vertex 1 X-coordinate {m}  
 415 5.56,                     !- Vertex 1 Y-coordinate {m}  
 416 3.06,                     !- Vertex 1 Z-coordinate {m}  
 417 0.0,                      !- Vertex 2 X-coordinate {m}  
 418 5.56,                     !- Vertex 2 Y-coordinate {m}  
 419 0.0,                      !- Vertex 2 Z-coordinate {m}  
 420 0.0,                      !- Vertex 3 X-coordinate {m}  
 421 0.0,                      !- Vertex 3 Y-coordinate {m}  
 422 0.0,                      !- Vertex 3 Z-coordinate {m}  
 423 0.0,                      !- Vertex 4 X-coordinate {m}  
 424 0.0,                      !- Vertex 4 Y-coordinate {m}  
 425 3.06;                    !- Vertex 4 Z-coordinate {m}  
 426  
 427 BuildingSurface:Detailed,  
 428 Standard North Wall,    !- Name  
 429 Wall,                     !- Surface Type  
 430 EXTWALL80,              !- Construction Name  
 431 Standard Zone,           !- Zone Name  
 432 Outdoors,                !- Outside Boundary Condition  
 433 ,                         !- Outside Boundary Condition Object  
 434 SunExposed,              !- Sun Exposure  
 435 WindExposed,             !- Wind Exposure  
 436 0.5,                      !- View Factor to Ground  
 437 4,                         !- Number of Vertices  
 438 9.76,                     !- Vertex 1 X-coordinate {m}  
 439 5.56,                     !- Vertex 1 Y-coordinate {m}  
 440 3.06,                     !- Vertex 1 Z-coordinate {m}  
 441 9.76,                     !- Vertex 2 X-coordinate {m}  
 442 5.56,                     !- Vertex 2 Y-coordinate {m}  
 443 0.0,                      !- Vertex 2 Z-coordinate {m}  
 444 0.0,                      !- Vertex 3 X-coordinate {m}  
 445 5.56,                     !- Vertex 3 Y-coordinate {m}  
 446 0.0,                      !- Vertex 3 Z-coordinate {m}  
 447 0.0,                      !- Vertex 4 X-coordinate {m}  
 448 5.56,                     !- Vertex 4 Y-coordinate {m}  
 449 3.06;                    !- Vertex 4 Z-coordinate {m}  
 450  
 451 BuildingSurface:Detailed,  
 452 Standard East Wall,     !- Name  
 453 Wall,                     !- Surface Type  
 454 EXTWALL80,              !- Construction Name

455 Standard Zone,            !- Zone Name  
 456 Outdoors,                !- Outside Boundary Condition  
 457 ,                         !- Outside Boundary Condition Object  
 458 SunExposed,              !- Sun Exposure  
 459 WindExposed,             !- Wind Exposure  
 460 0.5,                     !- View Factor to Ground  
 461 4,                         !- Number of Vertices  
 462 9.76,                    !- Vertex 1 X-coordinate {m}  
 463 0.0,                     !- Vertex 1 Y-coordinate {m}  
 464 3.06,                    !- Vertex 1 Z-coordinate {m}  
 465 9.76,                    !- Vertex 2 X-coordinate {m}  
 466 0.0,                     !- Vertex 2 Y-coordinate {m}  
 467 0.0,                     !- Vertex 2 Z-coordinate {m}  
 468 9.76,                    !- Vertex 3 X-coordinate {m}  
 469 5.56,                    !- Vertex 3 Y-coordinate {m}  
 470 0.0,                     !- Vertex 3 Z-coordinate {m}  
 471 9.76,                    !- Vertex 4 X-coordinate {m}  
 472 5.56,                    !- Vertex 4 Y-coordinate {m}  
 473 3.06;                    !- Vertex 4 Z-coordinate {m}  
 474  
 475 BuildingSurface:Detailed,  
 476 Standard Floor,         !- Name  
 477 Floor,                   !- Surface Type  
 478 FLOOR SLAB 8 IN,        !- Construction Name  
 479 Standard Zone,         !- Zone Name  
 480 Surface,                !- Outside Boundary Condition  
 481 Standard Floor,         !- Outside Boundary Condition Object  
 482 NoSun,                  !- Sun Exposure  
 483 NoWind,                 !- Wind Exposure  
 484 1.0,                     !- View Factor to Ground  
 485 4,                        !- Number of Vertices  
 486 0.0,                     !- Vertex 1 X-coordinate {m}  
 487 0.0,                     !- Vertex 1 Y-coordinate {m}  
 488 0.0,                     !- Vertex 1 Z-coordinate {m}  
 489 0.0,                     !- Vertex 2 X-coordinate {m}  
 490 5.56,                    !- Vertex 2 Y-coordinate {m}  
 491 0.0,                     !- Vertex 2 Z-coordinate {m}  
 492 9.76,                    !- Vertex 3 X-coordinate {m}  
 493 5.56,                    !- Vertex 3 Y-coordinate {m}  
 494 0.0,                     !- Vertex 3 Z-coordinate {m}  
 495 9.76,                    !- Vertex 4 X-coordinate {m}  
 496 0.0,                     !- Vertex 4 Y-coordinate {m}  
 497 0.0;                    !- Vertex 4 Z-coordinate {m}  
 498  
 499 BuildingSurface:Detailed,  
 500 Standard Ceiling,       !- Name  
 501 Roof,                    !- Surface Type  
 502 ROOF,                   !- Construction Name  
 503 Standard Zone,         !- Zone Name

504 Outdoors,                    !- Outside Boundary Condition  
 505 ,                               !- Outside Boundary Condition Object  
 506 SunExposed,                   !- Sun Exposure  
 507 WindExposed,                   !- Wind Exposure  
 508 0.0,                           !- View Factor to Ground  
 509 4,                               !- Number of Vertices  
 510 0.0,                           !- Vertex 1 X-coordinate {m}  
 511 5.56,                           !- Vertex 1 Y-coordinate {m}  
 512 3.06,                           !- Vertex 1 Z-coordinate {m}  
 513 0.0,                           !- Vertex 2 X-coordinate {m}  
 514 0.0,                           !- Vertex 2 Y-coordinate {m}  
 515 3.06,                           !- Vertex 2 Z-coordinate {m}  
 516 9.76,                           !- Vertex 3 X-coordinate {m}  
 517 0.0,                           !- Vertex 3 Y-coordinate {m}  
 518 3.06,                           !- Vertex 3 Z-coordinate {m}  
 519 9.76,                           !- Vertex 4 X-coordinate {m}  
 520 5.56,                           !- Vertex 4 Y-coordinate {m}  
 521 3.06;                           !- Vertex 4 Z-coordinate {m}  
 522  
 523 BuildingSurface:Detailed,  
 524 Daylit South Wall,            !- Name  
 525 Wall,                           !- Surface Type  
 526 EXTWALL80,                    !- Construction Name  
 527 Daylit Zone,                   !- Zone Name  
 528 Outdoors,                    !- Outside Boundary Condition  
 529 ,                               !- Outside Boundary Condition Object  
 530 SunExposed,                   !- Sun Exposure  
 531 WindExposed,                   !- Wind Exposure  
 532 0.5,                           !- View Factor to Ground  
 533 4,                               !- Number of Vertices  
 534 0.0,                           !- Vertex 1 X-coordinate {m}  
 535 0.0,                           !- Vertex 1 Y-coordinate {m}  
 536 3.06,                           !- Vertex 1 Z-coordinate {m}  
 537 0.0,                           !- Vertex 2 X-coordinate {m}  
 538 0.0,                           !- Vertex 2 Y-coordinate {m}  
 539 0.0,                           !- Vertex 2 Z-coordinate {m}  
 540 9.76,                           !- Vertex 3 X-coordinate {m}  
 541 0.0,                           !- Vertex 3 Y-coordinate {m}  
 542 0.0,                           !- Vertex 3 Z-coordinate {m}  
 543 9.76,                           !- Vertex 4 X-coordinate {m}  
 544 0.0,                           !- Vertex 4 Y-coordinate {m}  
 545 3.06;                           !- Vertex 4 Z-coordinate {m}  
 546  
 547 BuildingSurface:Detailed,  
 548 Daylit West Wall,            !- Name  
 549 Wall,                           !- Surface Type  
 550 EXTWALL80,                    !- Construction Name  
 551 Daylit Zone,                   !- Zone Name  
 552 Outdoors,                    !- Outside Boundary Condition

553 , !- Outside Boundary Condition Object  
 554 SunExposed, !- Sun Exposure  
 555 WindExposed, !- Wind Exposure  
 556 0.5, !- View Factor to Ground  
 557 4, !- Number of Vertices  
 558 0.0, !- Vertex 1 X-coordinate {m}  
 559 5.56, !- Vertex 1 Y-coordinate {m}  
 560 3.06, !- Vertex 1 Z-coordinate {m}  
 561 0.0, !- Vertex 2 X-coordinate {m}  
 562 5.56, !- Vertex 2 Y-coordinate {m}  
 563 0.0, !- Vertex 2 Z-coordinate {m}  
 564 0.0, !- Vertex 3 X-coordinate {m}  
 565 0.0, !- Vertex 3 Y-coordinate {m}  
 566 0.0, !- Vertex 3 Z-coordinate {m}  
 567 0.0, !- Vertex 4 X-coordinate {m}  
 568 0.0, !- Vertex 4 Y-coordinate {m}  
 569 3.06; !- Vertex 4 Z-coordinate {m}  
 570  
 571 BuildingSurface:Detailed,  
 572 Daylit North Wall, !- Name  
 573 Wall, !- Surface Type  
 574 EXTWALL80, !- Construction Name  
 575 Daylit Zone, !- Zone Name  
 576 Outdoors, !- Outside Boundary Condition  
 577 , !- Outside Boundary Condition Object  
 578 SunExposed, !- Sun Exposure  
 579 WindExposed, !- Wind Exposure  
 580 0.5, !- View Factor to Ground  
 581 4, !- Number of Vertices  
 582 9.76, !- Vertex 1 X-coordinate {m}  
 583 5.56, !- Vertex 1 Y-coordinate {m}  
 584 3.06, !- Vertex 1 Z-coordinate {m}  
 585 9.76, !- Vertex 2 X-coordinate {m}  
 586 5.56, !- Vertex 2 Y-coordinate {m}  
 587 0.0, !- Vertex 2 Z-coordinate {m}  
 588 0.0, !- Vertex 3 X-coordinate {m}  
 589 5.56, !- Vertex 3 Y-coordinate {m}  
 590 0.0, !- Vertex 3 Z-coordinate {m}  
 591 0.0, !- Vertex 4 X-coordinate {m}  
 592 5.56, !- Vertex 4 Y-coordinate {m}  
 593 3.06; !- Vertex 4 Z-coordinate {m}  
 594  
 595 BuildingSurface:Detailed,  
 596 Daylit East Wall, !- Name  
 597 Wall, !- Surface Type  
 598 EXTWALL80, !- Construction Name  
 599 Daylit Zone, !- Zone Name  
 600 Outdoors, !- Outside Boundary Condition

601 , !- Outside Boundary Condition Object  
 602 SunExposed, !- Sun Exposure  
 603 WindExposed, !- Wind Exposure  
 604 0.5, !- View Factor to Ground  
 605 4, !- Number of Vertices  
 606 9.76, !- Vertex 1 X-coordinate {m}  
 607 0.0, !- Vertex 1 Y-coordinate {m}  
 608 3.06, !- Vertex 1 Z-coordinate {m}  
 609 9.76, !- Vertex 2 X-coordinate {m}  
 610 0.0, !- Vertex 2 Y-coordinate {m}  
 611 0.0, !- Vertex 2 Z-coordinate {m}  
 612 9.76, !- Vertex 3 X-coordinate {m}  
 613 5.56, !- Vertex 3 Y-coordinate {m}  
 614 0.0, !- Vertex 3 Z-coordinate {m}  
 615 9.76, !- Vertex 4 X-coordinate {m}  
 616 5.56, !- Vertex 4 Y-coordinate {m}  
 617 3.06; !- Vertex 4 Z-coordinate {m}  
 618  
 619 BuildingSurface:Detailed,  
 620 Daylit Floor, !- Name  
 621 Floor, !- Surface Type  
 622 FLOOR SLAB 8 IN, !- Construction Name  
 623 Daylit Zone, !- Zone Name  
 624 Surface, !- Outside Boundary Condition  
 625 Daylit Floor, !- Outside Boundary Condition Object  
 626 NoSun, !- Sun Exposure  
 627 NoWind, !- Wind Exposure  
 628 1.0, !- View Factor to Ground  
 629 4, !- Number of Vertices  
 630 0.0, !- Vertex 1 X-coordinate {m}  
 631 0.0, !- Vertex 1 Y-coordinate {m}  
 632 0.0, !- Vertex 1 Z-coordinate {m}  
 633 0.0, !- Vertex 2 X-coordinate {m}  
 634 5.56, !- Vertex 2 Y-coordinate {m}  
 635 0.0, !- Vertex 2 Z-coordinate {m}  
 636 9.76, !- Vertex 3 X-coordinate {m}  
 637 5.56, !- Vertex 3 Y-coordinate {m}  
 638 0.0, !- Vertex 3 Z-coordinate {m}  
 639 9.76, !- Vertex 4 X-coordinate {m}  
 640 0.0, !- Vertex 4 Y-coordinate {m}  
 641 0.0; !- Vertex 4 Z-coordinate {m}  
 642  
 643 BuildingSurface:Detailed,  
 644 Daylit Ceiling, !- Name  
 645 Roof, !- Surface Type  
 646 ROOF, !- Construction Name  
 647 Daylit Zone, !- Zone Name  
 648 Outdoors, !- Outside Boundary Condition

```

649 ,                !- Outside Boundary Condition Object
650 SunExposed,      !- Sun Exposure
651 WindExposed,     !- Wind Exposure
652 0.0,             !- View Factor to Ground
653 4,                !- Number of Vertices
654 0.0,             !- Vertex 1 X-coordinate {m}
655 5.56,            !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
656 3.06,            !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
657 0.0,             !- Vertex 2 X-coordinate {m}
658 0.0,             !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
659 3.06,            !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
660 9.76,            !- Vertex 3 X-coordinate {m}
661 0.0,             !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
662 3.06,            !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
663 9.76,            !- Vertex 4 X-coordinate {m}
664 5.56,            !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
665 3.06;           !- Vertex 4 Z-coordinate {m}
666
667
668 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:
FENESTRATIONSURFACE:DETAILED =====
669
670 FenestrationSurface:Detailed,
671 Standard Lower Window, !- Name
672 WINDOW,              !- Surface Type
673 Standard Window,     !- Construction Name
674 Standard South Wall, !- Building Surface Name
675 ,                    !- Outside Boundary Condition Object
676 0.5,                 !- View Factor to Ground
677 ,                    !- Shading Control Name
678 ,                    !- Frame and Divider Name
679 1.0,                 !- Multiplier
680 4,                   !- Number of Vertices
681 0.2,                 !- Vertex 1 X-coordinate {m}
682 5.56,                !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
683 1.11,                !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
684 0.2,                 !- Vertex 2 X-coordinate {m}
685 5.56,                !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
686 2.4,                 !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
687 4.7,                 !- Vertex 3 X-coordinate {m}
688 5.56,                !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
689 2.4,                 !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
690 4.7,                 !- Vertex 4 X-coordinate {m}
691 5.56,                !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
692 1.11;               !- Vertex 4 Z-coordinate {m}
693
694 FenestrationSurface:Detailed,
695 Standard Upper Window, !- Name

```

```

696 WINDOW,          !- Surface Type
697 Standard Window,  !- Construction Name
698 Standard South Wall, !- Building Surface Name
699 ,                !- Outside Boundary Condition Object
700 0.5,             !- View Factor to Ground
701 ,                !- Shading Control Name
702 ,                !- Frame and Divider Name
703 1.0,             !- Multiplier
704 4,               !- Number of Vertices
705 5.09,            !- Vertex 1 X-coordinate {m}
706 5.56,            !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
707 1.11,            !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
708 5.09,            !- Vertex 2 X-coordinate {m}
709 5.56,            !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
710 2.4,             !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
711 9.57,            !- Vertex 3 X-coordinate {m}
712 5.56,            !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
713 2.4,             !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
714 9.57,            !- Vertex 4 X-coordinate {m}
715 5.56,            !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
716 1.11;           !- Vertex 4 Z-coordinate {m}
717
718 FenestrationSurface:Detailed,
719 Daylit Lower Window, !- Name
720 WINDOW,          !- Surface Type
721 Standard Window,  !- Construction Name
722 Daylit South Wall, !- Building Surface Name
723 ,                !- Outside Boundary Condition Object
724 0.5,             !- View Factor to Ground
725 ,                !- Shading Control Name
726 ,                !- Frame and Divider Name
727 1.0,             !- Multiplier
728 4,               !- Number of Vertices
729 0.2,             !- Vertex 1 X-coordinate {m}
730 5.56,            !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
731 1.11,            !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
732 0.2,             !- Vertex 2 X-coordinate {m}
733 5.56,            !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
734 2.4,             !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
735 4.7,             !- Vertex 3 X-coordinate {m}
736 5.56,            !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
737 2.4,             !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
738 4.7,             !- Vertex 4 X-coordinate {m}
739 5.56,            !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
740 1.11;           !- Vertex 4 Z-coordinate {m}
741
742 FenestrationSurface:Detailed,
743 Daylit Upper Window, !- Name

```

```

744 WINDOW,                !- Surface Type
745 Standard Window,      !- Construction Name
746 Daylit South Wall,    !- Building Surface Name
747 ,                      !- Outside Boundary Condition Object
748 0.211,                !- View Factor to Ground
749 ,                      !- Shading Control Name
750 ,                      !- Frame and Divider Name
751 1.0,                  !- Multiplier
752 4,                    !- Number of Vertices
753 5.09,                 !- Vertex 1 X-coordinate {m}
754 5.56,                 !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
755 1.11,                 !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
756 5.09,                 !- Vertex 2 X-coordinate {m}
757 5.56,                 !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
758 2.4,                  !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
759 9.57,                 !- Vertex 3 X-coordinate {m}
760 5.56,                 !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
761 2.4,                  !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
762 9.57,                 !- Vertex 4 X-coordinate {m}
763 5.56,                 !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
764 1.11;                 !- Vertex 4 Z-coordinate {m}
765
766
767 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: LIGHTS =====
768
769 Lights,
770 Daylit Zone Lights 1, !- Name
771 Daylit Zone,          !- Zone or ZoneList Name
772 AlwaysOnSchedule,     !- Schedule Name
773 LightingLevel,        !- Design Level Calculation Method
774 800,                  !- Lighting Level {W}
775 ,                      !- Watts per Zone Floor Area {W/m2}
776 ,                      !- Watts per Person {W/person}
777 0,                    !- Return Air Fraction
778 0.40,                 !- Fraction Radiant
779 0.20,                 !- Fraction Visible
780 1.0,                  !- Fraction Replaceable
781 GeneralLights;        !- End-Use Subcategory
782
783 Lights,
784 Standard Zone Lights 1, !- Name
785 Standard Zone,        !- Zone or ZoneList Name
786 AlwaysOnSchedule,     !- Schedule Name
787 LightingLevel,        !- Design Level Calculation Method
788 800,                  !- Lighting Level {W}
789 ,                      !- Watts per Zone Floor Area {W/m2}
790 ,                      !- Watts per Person {W/person}

```

```

791 0,                !- Return Air Fraction
792 0.40,             !- Fraction Radiant
793 0.20,             !- Fraction Visible
794 1.0,              !- Fraction Replaceable
795 GeneralLights;    !- End-Use Subcategory
796
797
798 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: DAYLIGHTING:CONTROLS
=====
799
800 Daylighting:Controls,
801 Daylit Zone,      !- Zone Name
802 2,                !- Total Daylighting Reference Points
803 4.9,              !- X-Coordinate of First Reference Point {m}
804 4.36,             !- Y-Coordinate of First Reference Point {m}
805 0.8,              !- Z-Coordinate of First Reference Point {m}
806 4.9,              !- X-Coordinate of Second Reference Point {m}
807 1.06,             !- Y-Coordinate of Second Reference Point {m}
808 0.8,              !- Z-Coordinate of Second Reference Point {m}
809 1.0,              !- Fraction of Zone Controlled by First Reference Point
810 0.0,              !- Fraction of Zone Controlled by Second Reference Point
811 550,              !- Illuminance Setpoint at First Reference Point {lux}
812 0,                !- Illuminance Setpoint at Second Reference Point {lux}
813 1,                !- Lighting Control Type
814 0.0,              !- Glare Calculation Azimuth Angle of View Direction
Clockwise from Zone y-Axis {deg}
815 20.0,            !- Maximum Allowable Discomfort Glare Index
816 0.3,              !- Minimum Input Power Fraction for Continuous Dimming
Control
817 0.2,              !- Minimum Light Output Fraction for Continuous Dimming
Control
818 0,                !- Number of Stepped Control Steps
819 1.0;              !- Probability Lighting will be Reset When Needed in
Manual Stepped Control
820
821 Daylighting:Controls,
822 Standard Zone,    !- Zone Name
823 2,                !- Total Daylighting Reference Points
824 4.9,              !- X-Coordinate of First Reference Point {m}
825 4.36,             !- Y-Coordinate of First Reference Point {m}
826 0.8,              !- Z-Coordinate of First Reference Point {m}
827 4.9,              !- X-Coordinate of Second Reference Point {m}
828 1.06,             !- Y-Coordinate of Second Reference Point {m}
829 0.8,              !- Z-Coordinate of Second Reference Point {m}
830 1.0,              !- Fraction of Zone Controlled by First Reference Point
831 0.0,              !- Fraction of Zone Controlled by Second Reference Point
832 550,              !- Illuminance Setpoint at First Reference Point {lux}

```

```

832 550,          !- Illuminance Setpoint at First Reference Point {lux}
833 0,           !- Illuminance Setpoint at Second Reference Point {lux}
834 1,           !- Lighting Control Type
835 0.0,         !- Glare Calculation Azimuth Angle of View Direction
Clockwise from Zone y-Axis {deg}
836 20.0,        !- Maximum Allowable Discomfort Glare Index
837 0.3,         !- Minimum Input Power Fraction for Continuous
Dimming Control
838 0.2,         !- Minimum Light Output Fraction for Continuous
Dimming Control
839 0,           !- Number of Stepped Control Steps
840 1.0;         !- Probability Lighting will be Reset When Needed in
Manual Stepped Control
841
842
843 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:
OUTPUT:ILLUMINANCEMAP =====
844
845 Output:IlluminanceMap,
846 Daylit Map,   !- Name
847 Daylit Zone, !- Zone Name
848 0.02,         !- Z height {m}
849 0.1,          !- X Minimum Coordinate {m}
850 9.66,         !- X Maximum Coordinate {m}
851 5,           !- Number of X Grid Points
852 0.1,          !- Y Minimum Coordinate {m}
853 5.46,         !- Y Maximum Coordinate {m}
854 5;           !- Number of Y Grid Points
855
856 Output:IlluminanceMap,
857 Standard Map, !- Name
858 Standard Zone, !- Zone Name
859 0.02,         !- Z height {m}
860 0.1,          !- X Minimum Coordinate {m}
861 9.66,         !- X Maximum Coordinate {m}
862 5,           !- Number of X Grid Points
863 0.1,          !- Y Minimum Coordinate {m}
864 5.46,         !- Y Maximum Coordinate {m}
865 5;           !- Number of Y Grid Points
866
867
868 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:
OUTPUT:VARIABLEDICTIONARY =====
869
870 Output:VariableDictionary,
871 Regular;      !- Key Field
872
873
874 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:
OUTPUT:SURFACES:LIST =====

```

```

875
876 Output:Surfaces:List,
877   Details;           !- Report Type
878
879
880 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:
OUTPUT:SURFACES:DRAWING =====
881
882 Output:Surfaces:Drawing,
883   DXF;               !- Report Type
884
885
886 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:
OUTPUT:CONSTRUCTIONS =====
887
888 Output:Constructions,
889   Constructions;     !- Details Type 1
890
891
892 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:
OUTPUT:TABLE:SUMMARYREPORTS =====
893
894 Output:Table:SummaryReports,
895   AllSummary;        !- Report 1 Name
896
897
898 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:
OUTPUTCONTROL:TABLE:STYLE =====
899
900 OutputControl:Table:Style,
901   HTML;              !- Column Separator
902
903
904 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUT:VARIABLE
=====
905
906 Output:Variable,
907   *,                 !- Key Value
908   Zone/Sys Air Temperature,!- Variable Name
909   hourly;           !- Reporting Frequency
910
911 Output:Variable,
912   *,                 !- Key Value
913   Solar Altitude Angle, !- Variable Name
914   Hourly;           !- Reporting Frequency
915
916 Output:Variable,
917   *,                 !- Key Value
918   Solar Azimuth Angle, !- Variable Name

```

919 Hourly;                   !- Reporting Frequency  
 920  
 921 Output:Variable,  
 922 \*,                       !- Key Value  
 923 Direct Solar,           !- Variable Name  
 924 Hourly;                 !- Reporting Frequency  
 925  
 926 Output:Variable,  
 927 \*,                       !- Key Value  
 928 Diffuse Solar,         !- Variable Name  
 929 Hourly;                 !- Reporting Frequency  
 930  
 931 Output:Variable,  
 932 \*,                       !- Key Value  
 933 Daylight Illum at Ref Point 1, !- Variable Name  
 934 Hourly;                 !- Reporting Frequency  
 935  
 936 Output:Variable,  
 937 \*,                       !- Key Value  
 938 Daylight Illum at Ref Point 2, !- Variable Name  
 939 Hourly;                 !- Reporting Frequency  
 940  
 941 Output:Variable,  
 942 \*,                       !- Key Value  
 943 Glare Index at Ref Point 1, !- Variable Name  
 944 Hourly;                 !- Reporting Frequency  
 945  
 946 Output:Variable,  
 947 \*,                       !- Key Value  
 948 Glare Index at Ref Point 2, !- Variable Name  
 949 Hourly;                 !- Reporting Frequency  
 950  
 951 Output:Variable,  
 952 \*,                       !- Key Value  
 953 Surface Ext Sunlit Area, !- Variable Name  
 954 Hourly;                 !- Reporting Frequency  
 955  
 956 Output:Variable,  
 957 \*,                       !- Key Value  
 958 Surface Ext Solar Incident, !- Variable Name  
 959 Hourly;                 !- Reporting Frequency  
 960  
 961 Output:Variable,  
 962 \*,                       !- Key Value  
 963 Surface Ext Solar Beam Incident, !- Variable Name  
 964 Hourly;                 !- Reporting Frequency  
 965  
 966 Output:Variable,

```

967 *,                !- Key Value
968 Surface Ext Solar Sky Diffuse Incident, !- Variable Name
969 Hourly;           !- Reporting Frequency
970
971 Output:Variable,
972 *,                !- Key Value
973 Surface Ext Solar Ground Diffuse Incident, !- Variable Name
974 Hourly;           !- Reporting Frequency
975
976 Output:Variable,
977 *,                !- Key Value
978 Window Transmitted Solar,!- Variable Name
979 Hourly;           !- Reporting Frequency
980
981 Output:Variable,
982 *,                !- Key Value
983 Window Solar Absorbed:All Glass Layers, !- Variable Name
984 Hourly;           !- Reporting Frequency
985
986
987 !- ===== ALL OBJECTS IN CLASS:
OUTPUT:METER:METERFILEONLY =====
988
989 Output:Meter:MeterFileOnly,
990 Electricity:Facility, !- Name
991 monthly;          !- Reporting Frequency
992
993 Output:Meter:MeterFileOnly,
994 Electricity:Building, !- Name
995 monthly;          !- Reporting Frequency
996
997 Output:Meter:MeterFileOnly,
998 InteriorLights:Electricity, !- Name
999 monthly;          !- Reporting Frequency
1000
1001 Output:Meter:MeterFileOnly,
1002 Electricity:Facility, !- Name
1003 runperiod;        !- Reporting Frequency
1004
1005 Output:Meter:MeterFileOnly,
1006 Electricity:Building, !- Name
1007 runperiod;        !- Reporting Frequency
1008
1009 Output:Meter:MeterFileOnly,
1010 InteriorLights:Electricity, !- Name
1011 runperiod;        !- Reporting Frequency
1012

```

```

Processing Input Data File (in.idf) -- Complete
Number of IDF "Lines"=      84
Maximum number of Alpha IDF Args=      8
Maximum number of Numeric IDF Args=    18
Number of IDF "Lines"=      84
Number of Defaulted Fields=      0
Number of Fields with Defaults=    248
Number of Autosized Fields=      0
Number of Autosizable Fields =      0
Number of Autocalculated Fields=     4
Number of Autocalculatable Fields =   36
Getting object=VERSION
Getting object=TIMESTEP
Getting object=SIMULATIONCONTROL
Getting object=SIZINGPERIOD:DESIGNDAY
Getting object=RUNPERIOD
Getting object=SITE:LOCATION
Getting object=OUTPUT:VARIABLE
Getting object=SCHEDULE:COMPACT
Processing Schedule Input -- Start
Getting object=SCHEDULETYPELIMITS
Processing Schedule Input -- Complete
Getting object=BUILDING
Getting object=SURFACECONVECTIONALGORITHM:INSIDE
Getting object=SURFACECONVECTIONALGORITHM:OUTSIDE
Getting object=HEATBALANCEALGORITHM
Getting object=MATERIAL
Getting object=WINDOWMATERIAL:GLAZING
Getting object=OUTPUT:SURFACES:LIST
Getting object=OUTPUT:SURFACES:DRAWING
Getting object=OUTPUT:VARIABLEDICTIONARY
Getting object=OUTPUT:CONSTRUCTIONS
Getting object=CONSTRUCTION
Getting object=ZONE
Getting object=GLOBALGEOMETRYRULES
Getting object=BUILDINGSURFACE:DETAILED
Getting object=FENESTRATIONSURFACE:DETAILED
Getting object=LIGHTS
Getting object=SHADOWCALCULATION
Getting object=OUTPUT:ILLUMINANCEMAP
Getting object=DAYLIGHTING:CONTROLS
Getting object=OUTPUT:METER:METERFILEONLY
Getting object=OUTPUTCONTROL:TABLE:STYLE
Getting object=OUTPUT:TABLE:SUMMARYREPORTS
NumOfRVariable=    1077
NumOfRVariable(Total)=    1077
NumOfRVariable(Actual)=    104
NumOfRVariable(Summed)=    12
NumOfRVariable(Meter)=    12

```

NumOfIVariable=	31	
NumOfIVariable(Total)=	31	
NumOfIVariable(Actual)=	0	
NumOfIVariable(Summed)=	0	
MaxRVariable=	1000	
MaxIVariable=	10	
NumEnergyMeters=	29	
NumVarMeterArrays=	12	
maxUniqueKeyCount=	0	
maxNumberOfFigures=	1	
MonthlyFieldSetInputCount=	0	
NumConsideredOutputVariables=	16	
MaxConsideredOutputVariables=	16	
numActuatorsUsed=	0	
numEMSActuatorsAvailable=	0	
maxEMSActuatorsAvailable=	0	
numInternalVariablesUsed=	0	
numEMSInternalVarsAvailable=	0	
maxEMSInternalVarsAvailable=	0	
NumOfNodeConnections=	0	
MaxNumOfNodeConnections=	0	

APÊNDICE II – Relatório de medições, fotografias e simulações no intervalo de uma hora pra cada sessão

Tabela 9 – Medição de iluminância 7h, dia 17/02/2011

Medições de Iluminação			
UFJF - Engenharia de Produção - Sala 4272			
Data: 17 de Fevereiro de 2011			
HORÁRIO			07:00
Medida Interna			
Janelas Referência	Esquerda / Escala	Centro / Escala	Direita / Escala
1ª Linha	1º) 152 / 2.000	4º) 176 / 2.000	7º) 164 / 2.000
2ª Linha	2º) 130 / 2.000	5º) 147 / 2.000	8º) 108 / 2.000
3ª Linha	3º) 110 / 2.000	6º) 105 / 2.000	9º) 67 / 2.000

Figura 48 – Fotografia sala 4272 7h, dia 17/02/2011



Figura 49 – Resultado de simulação feita no Ecotect™ 7h, dia 17/02/2011

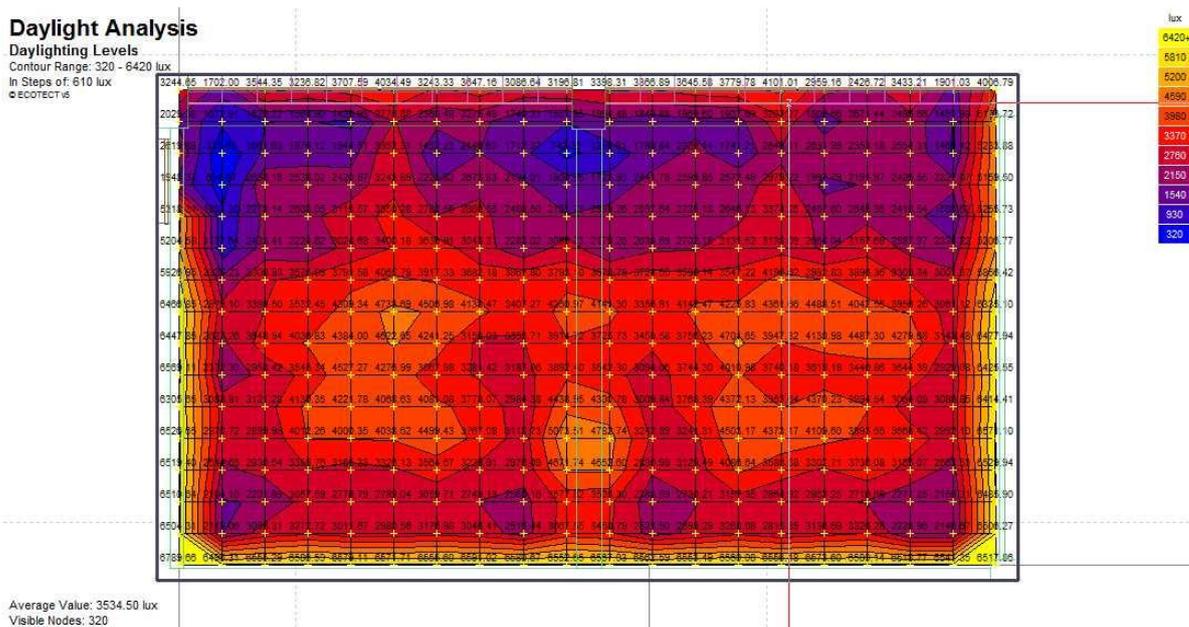


Tabela 10 – Medição de iluminância 8h, dia 17/02/2011

Medições de Iluminação			
UFJF - Engenharia de Produção - Sala 4272			
Data: 17 de Fevereiro de 2011			
HORÁRIO			08:00
Medida Interna			
Janelas Referência	Esquerda / Escala	Centro / Escala	Direita / Escala
1ª Linha	1º) 1.213 / 2.000	4º) 1.407 / 2.000	7º) 1.387 / 2.000
2ª Linha	2º) 1.230 / 2.000	5º) 1.364 / 2.000	8º) 1.134 / 2.000
3ª Linha	3º) 1.030 / 2.000	6º) 1.078 / 2.000	9º) 695 / 2.000

Figura 50 – Fotografia sala 4272 8h, dia 17/02/2011



Figura 51 – Resultado de simulação feita no Ecotect™ 8h, dia 17/02/2011

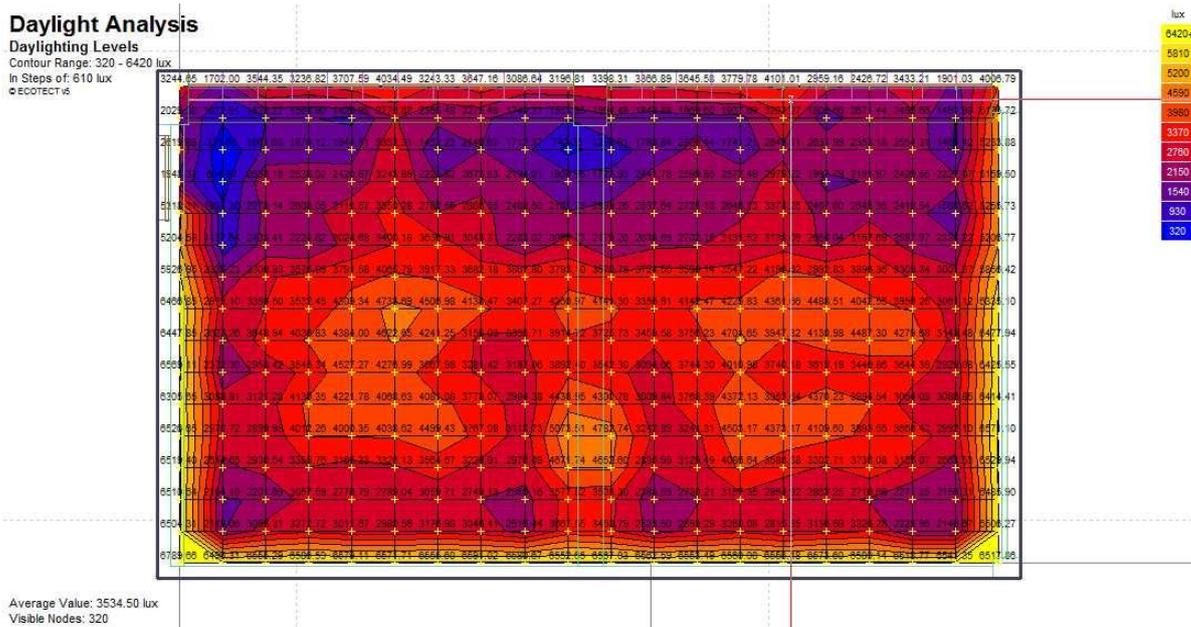


Tabela 11 – Medição de iluminância 9h, dia 17/02/2011

Medições de Iluminação			
UFJF - Engenharia de Produção - Sala 4272			
Data: 17 de Fevereiro de 2011			
HORÁRIO			09:00
Medida Interna			
Janelas Referência	Esquerda / Escala	Centro / Escala	Direita / Escala
1ª Linha	1º) 1.148 / 2.000	4º) 964 / 2.000	7º) 847 / 2.000
2ª Linha	2º) 918 / 2.000	5º) 874 / 2.000	8º) 776 / 2.000
3ª Linha	3º) 726 / 2.000	6º) 674 / 2.000	9º) 450 / 2.000

Figura 52 – Fotografia sala 4272 9h, dia 17/02/2011



Figura 53 – Resultado de simulação feita no Ecotect™ 9h, dia 17/02/2011

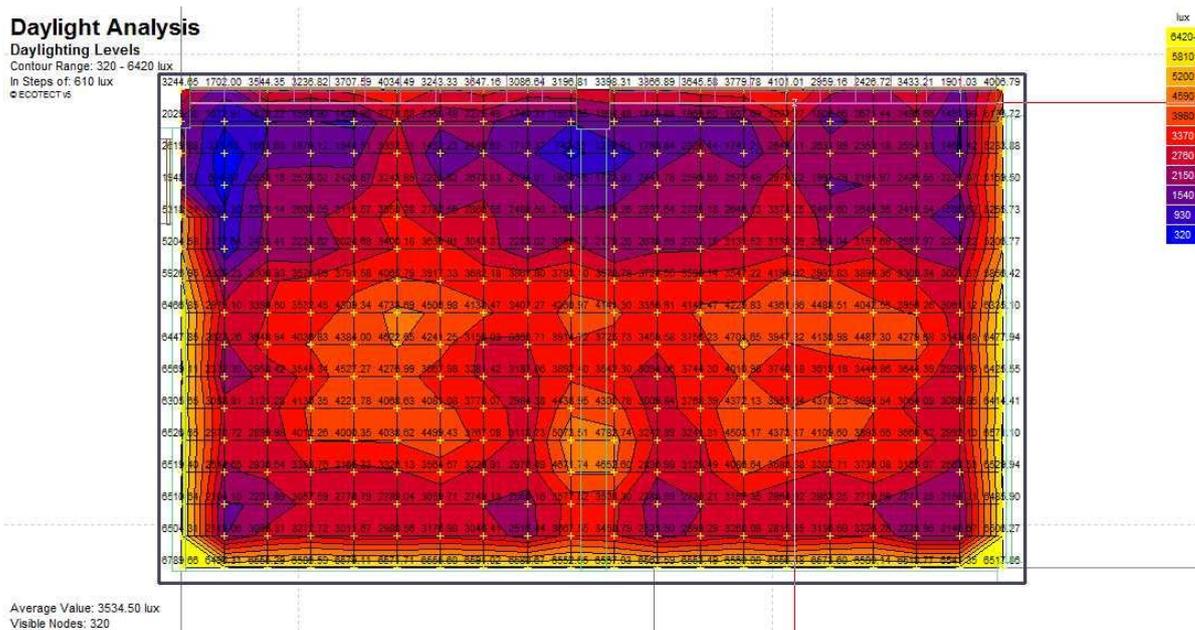


Tabela 12 – Medição de iluminância 10h, dia 17/02/2011

Medições de Iluminação			
UFJF - Engenharia de Produção - Sala 4272			
Data: 17 de Fevereiro de 2011			
HORÁRIO			10:00
Medida Interna			
Janelas Referência	Esquerda / Escala	Centro / Escala	Direita / Escala
1ª Linha	1º) 1.584 / 2.000	4º) 1.330 / 2.000	7º) 1.026 / 2.000
2ª Linha	2º) 1.197 / 2.000	5º) 1.005 / 2.000	8º) 867 / 2.000
3ª Linha	3º) 929 / 2.000	6º) 821 / 2.000	9º) 566 / 2.000

Figura 54 – Fotografia sala 4272 10h, dia 17/02/2011



Figura 55 – Resultado de simulação feita no Ecotect™ 10h, dia 17/02/2011

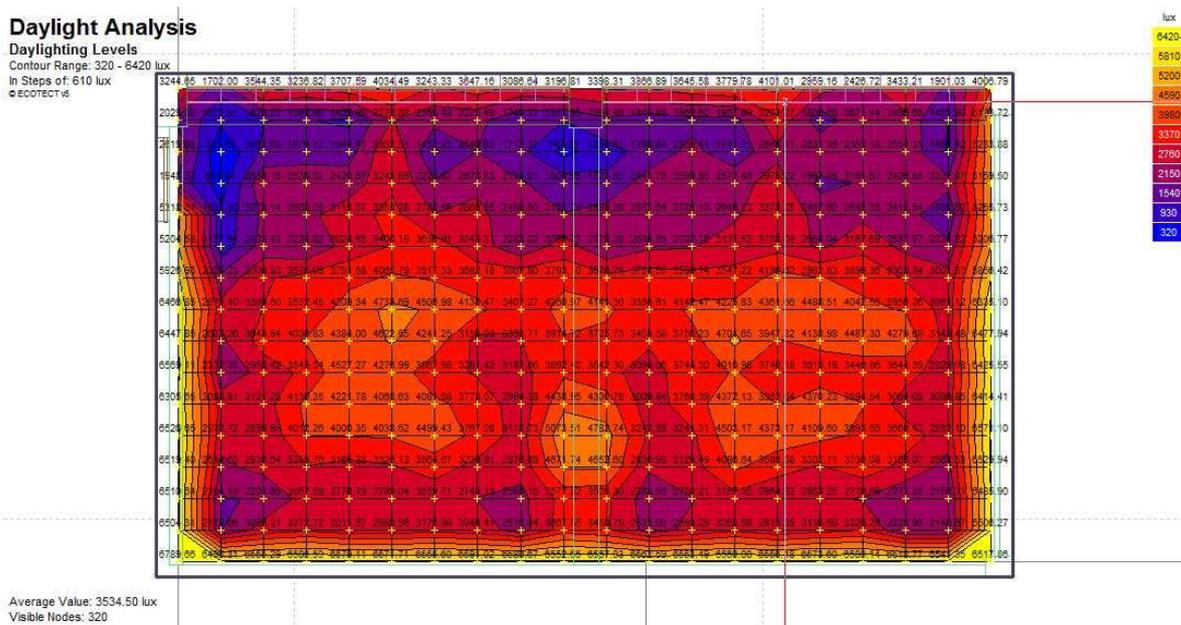


Tabela 13 – Medição de iluminância 11h, dia 17/02/2011

Medições de Iluminação			
UFJF - Engenharia de Produção - Sala 4272			
Data: 17 de Fevereiro de 2011			
HORÁRIO			11:00
Medida Interna			
Janelas Referência	Esquerda / Escala	Centro / Escala	Direita / Escala
1ª Linha	1º) 285 / 20.000	4º) 245 / 20.000	7º) 260 / 20.000
2ª Linha	2º) 206 / 20.000	5º) 197 / 20.000	8º) 1979 / 2.000
3ª Linha	3º) 1.758 / 2.000	6º) 1.771 / 2.000	9º) 1.320 / 2.000

Figura 56 - Fotografia sala 4272 11h, dia 17/02/2011



Figura 57 – Resultado de simulação feita no Ecotect™ 11h, dia 17/02/2011

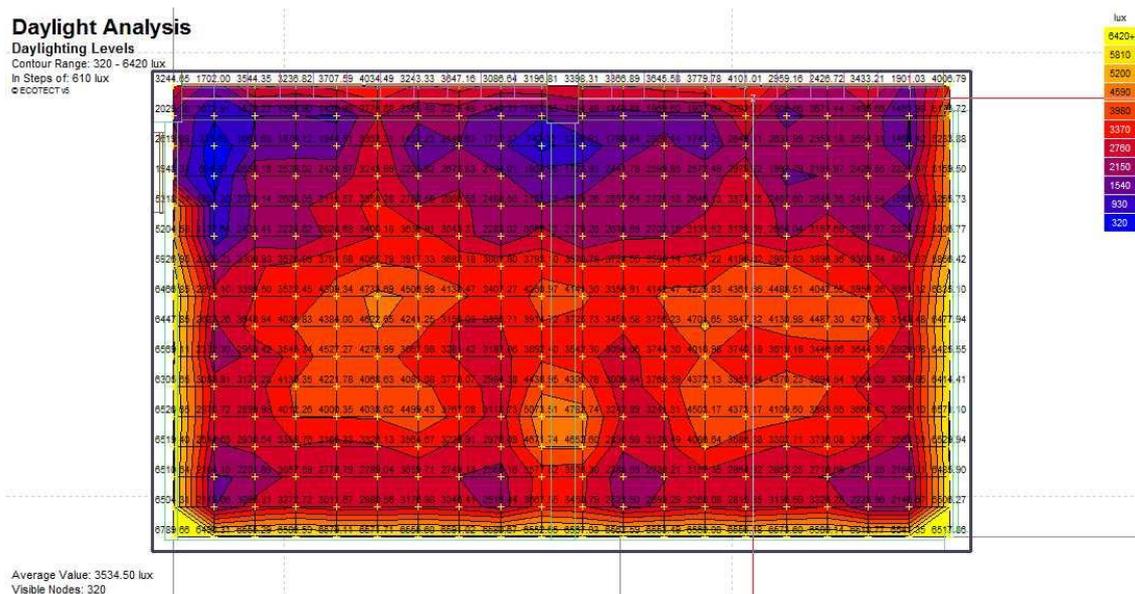


Tabela 14 – Medição de iluminância 12h, dia 17/02/2011

Medições de Iluminação			
UFJF - Engenharia de Produção - Sala 4272			
Data: 17 de Fevereiro de 2011			
HORÁRIO			12:00
Medida Interna			
Janelas Referência	Esquerda / Escala	Centro / Escala	Direita / Escala
1ª Linha	1º) 523 / 20.000	4º) 450 / 20.000	7º) 442 / 20.000
2ª Linha	2º) 399 / 20.000	5º) 401 / 20.000	8º) 334 / 20.000
3ª Linha	3º) 329 / 20.000	6º) 320 / 20.000	9º) 193 / 20.000

Figura 58 – Fotografia sala 4272 12h, dia 17/02/2011



Figura 59 – Resultado de simulação feita no Ecotect™ 11h, dia 17/02/2011

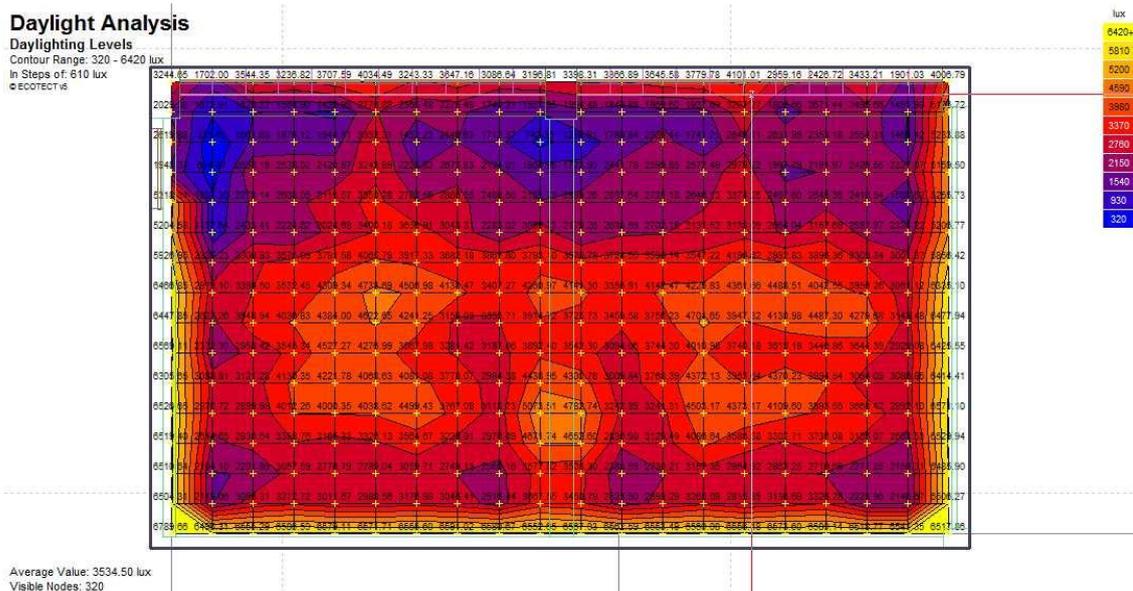


Tabela 15 – Medição de iluminância 13h, dia 17/02/2011

Medições de Iluminação			
UFJF - Engenharia de Produção - Sala 4272			
Data: 17 de Fevereiro de 2011			
HORÁRIO			13:00
Medida Interna			
Janelas Referência	Esquerda / Escala	Centro / Escala	Direita / Escala
1ª Linha	1º) 535 / 20.000	4º) 454 / 20.000	7º) 442 / 20.000
2ª Linha	2º) 439 / 20.000	5º) 449 / 20.000	8º) 370 / 20.000
3ª Linha	3º) 345 / 20.000	6º) 340 / 20.000	9º) 205 / 20.000

Figura 60 – Fotografia sala 4272 13h, dia 17/02/2011



Figura 61 – Resultado de simulação feita no Ecotect™ 13h, dia 17/02/2011

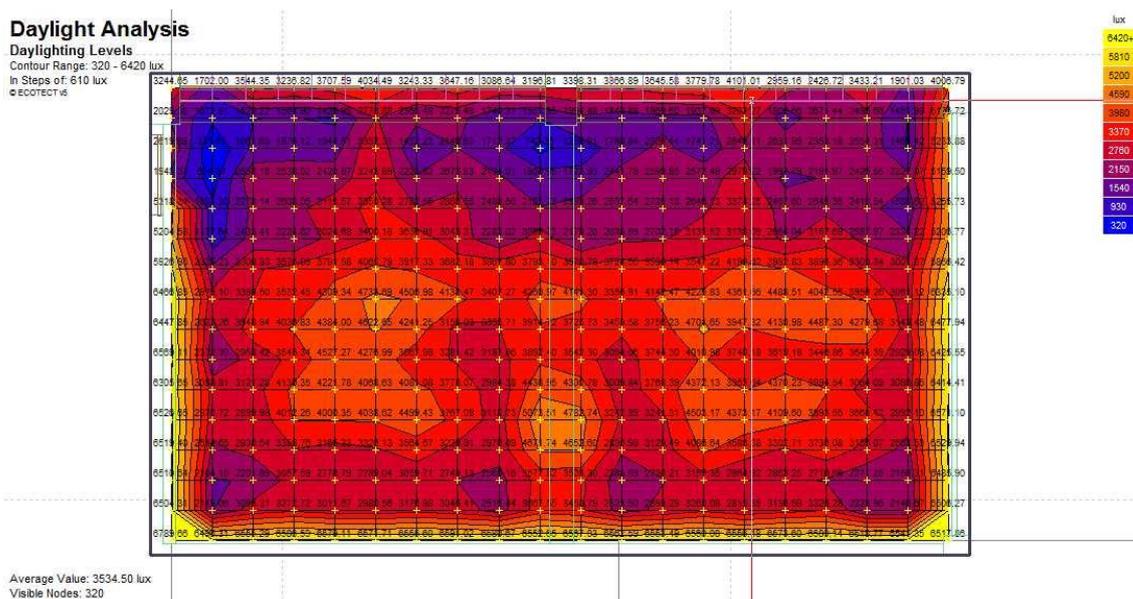


Tabela 16 – Medição de iluminância 14h, dia 17/02/2011

Medições de Iluminação			
UFJF - Engenharia de Produção - Sala 4272			
Data: 17 de Fevereiro de 2011			
HORÁRIO			14:00
Medida Interna			
Janelas Referência	Esquerda / Escala	Centro / Escala	Direita / Escala
1ª Linha	1º) 968 / 20.000	4º) 748 / 20.000	7º) 844 / 20.000
2ª Linha	2º) 607 / 20.000	5º) 577 / 20.000	8º) 500 / 20.000
3ª Linha	3º) 438 / 20.000	6º) 444 / 20.000	9º) 287 / 20.000

Figura 62 – Fotografia sala 4272 14h, dia 17/02/2011



Figura 63 – Resultado de simulação feita no Ecotect™ 14h, dia 17/02/2011

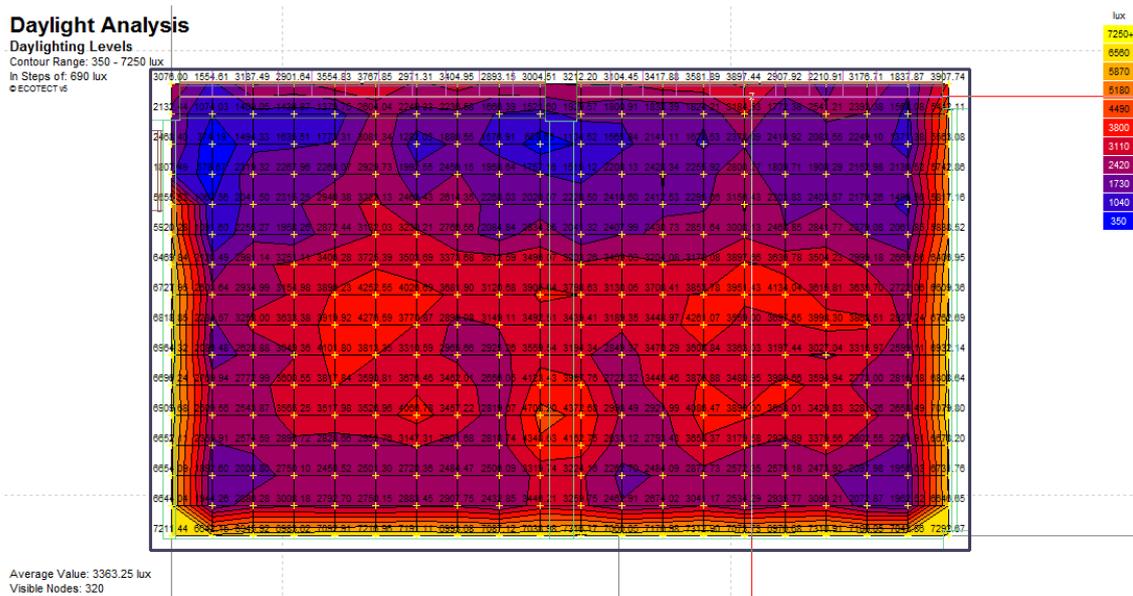


Tabela 17 – Medição de iluminância 15h, dia 17/02/2011

Medições de Iluminação			
UFJF - Engenharia de Produção - Sala 4272			
Data: 17 de Fevereiro de 2011			
HORÁRIO			15:00
Medida Interna			
Janelas Referência	Esquerda / Escala	Centro / Escala	Direita / Escala
1ª Linha	1º) 798 / 20.000	4º) 682 / 20.000	7º) 807 / 20.000
2ª Linha	2º) 540 / 20.000	5º) 507 / 20.000	8º) 423 / 20.000
3ª Linha	3º) 409 / 20.000	6º) 385 / 20.000	9º) 235 / 20.000

Figura 64 – Fotografia sala 4272 15h, dia 17/02/2011



Figura 65 – Resultado de simulação feita no Ecotect™ 15h, dia 17/02/2011

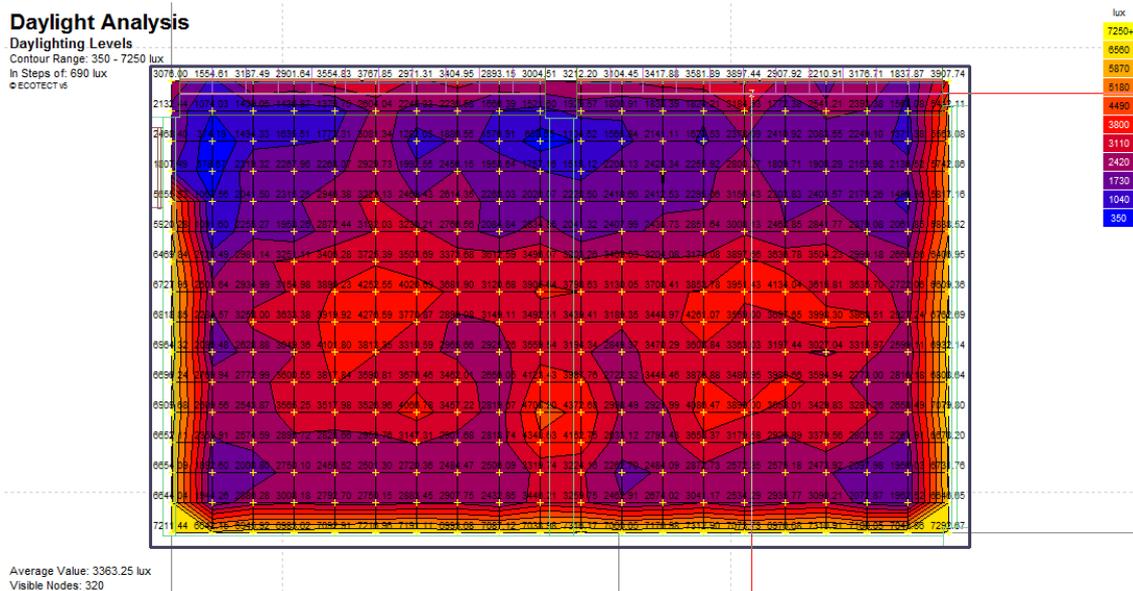


Tabela 18 – Medição de iluminância 16h, dia 17/02/2011

Medições de Iluminação			
UFJF - Engenharia de Produção - Sala 4272			
Data: 17 de Fevereiro de 2011			
HORÁRIO			16:00
Medida Interna			
Janelas Referência	Esquerda / Escala	Centro / Escala	Direita / Escala
1ª Linha	1º) 421 / 100.000	4º) 240 / 100.000	7º) 209 / 100.000
2ª Linha	2º) 770 / 20.000	5º) 750 / 20.000	8º) 610 / 20.000
3ª Linha	3º) 518 / 20.000	6º) 524 / 20.000	9º) 309 / 20.000

Figura 66 – Fotografia sala 4272 16h, dia 17/02/2011



Figura 67 – Resultado de simulação feita no Ecotect™ 16h, dia 17/02/2011

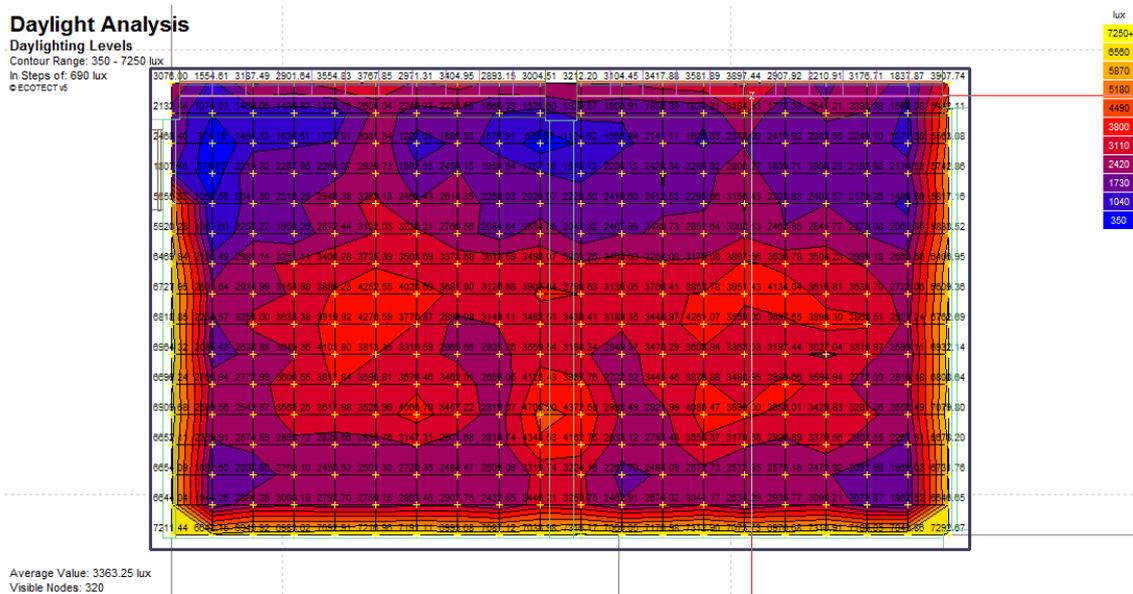


Tabela 19 – Medição de iluminância 17h, dia 17/02/2011

Medições de Iluminação			
UFJF - Engenharia de Produção - Sala 4272			
Data: 17 de Fevereiro de 2011			
HORÁRIO			17:00
Medida Interna			
Janelas Referência	Esquerda / Escala	Centro / Escala	Direita / Escala
1ª Linha	1º) 454 / 20.000	4º) 460 / 20.000	7º) 447 / 20.000
2ª Linha	2º) 313 / 20.000	5º) 317 / 20.000	8º) 313 / 20.000
3ª Linha	3º) 270 / 20.000	6º) 294 / 20.000	9º) 1807 / 2.000

Figura 68 – Fotografia sala 4272 17h, dia 17/02/2011



Figura 69 – Resultado de simulação feita no Ecotect™ 17h, dia 17/02/2011

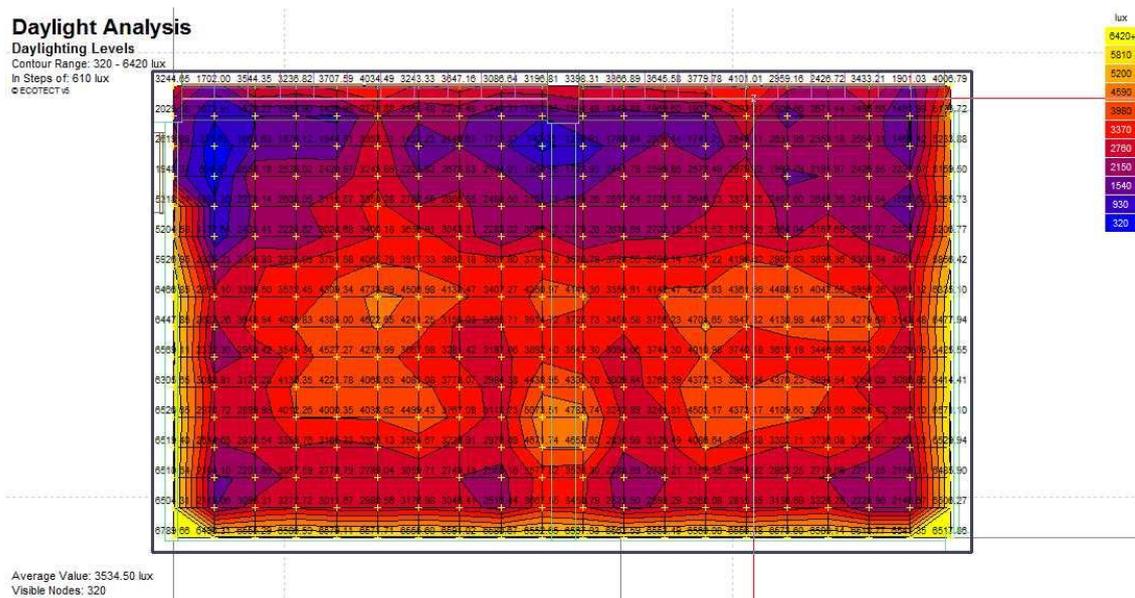


Tabela 20 – Medição de iluminância 18h, dia 17/02/2011

Medições de Iluminação			
UFJF - Engenharia de Produção - Sala 4272			
Data: 17 de Fevereiro de 2011			
HORÁRIO			18:00
Medida Interna			
Janelas Referência	Esquerda / Escala	Centro / Escala	Direita / Escala
1ª Linha	1º) 235 / 20.000	4º) 244 / 20.000	7º) 252 / 20.000
2ª Linha	2º) 264 / 20.000	5º) 496 / 20.000	8º) 282 / 20.000
3ª Linha	3º) 215 / 20.000	6º) 261 / 20.000	9º) 263 / 20.000

Figura 70 – Fotografia sala 4272 18h, dia 17/02/2011



Figura 71 – Resultado de simulação feita no Ecotect™ 18h, dia 17/02/2011

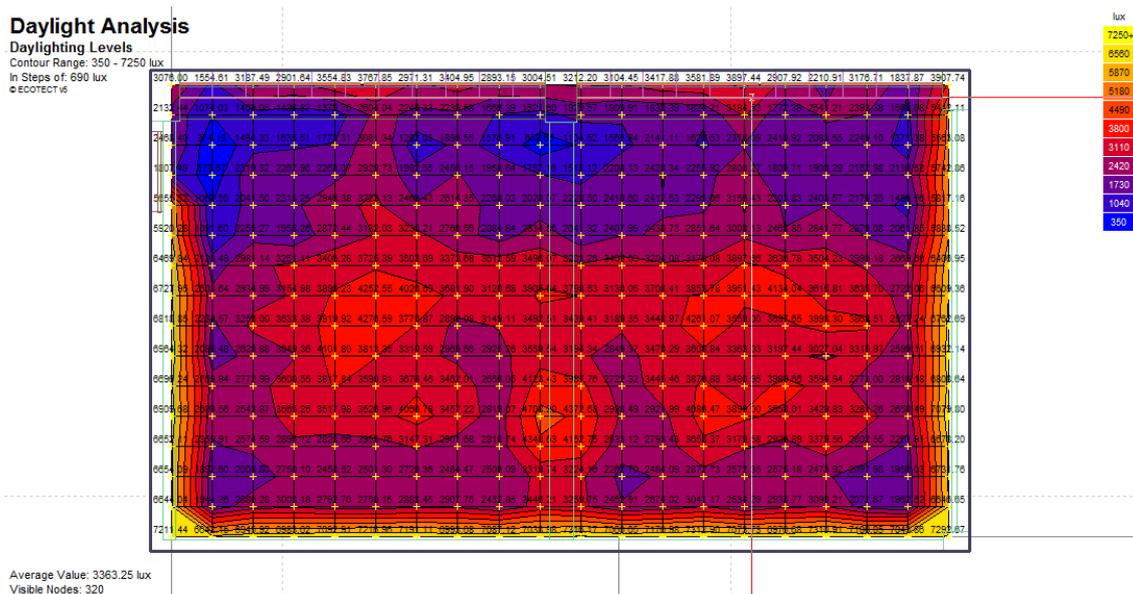


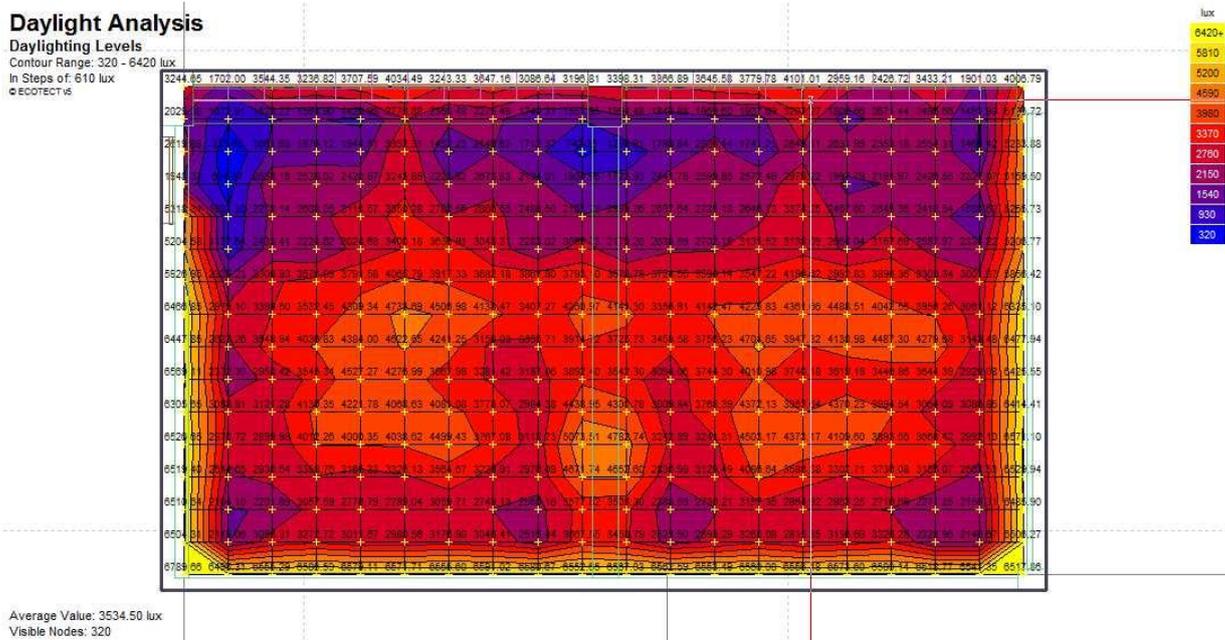
Tabela 21 – Medição de iluminância 19h, dia 17/02/2011

Medições de Iluminação			
UFJF - Engenharia de Produção - Sala 4272			
Data: 17 de Fevereiro de 2011			
HORÁRIO			19:00
Medida Interna			
Janelas Referência	Esquerda / Escala	Centro / Escala	Direita / Escala
1ª Linha	1º) 415 / 2.000	4º) 380 / 2.000	7º) 350 / 2.000
2ª Linha	2º) 278 / 2.000	5º) 324 / 2.000	8º) 235 / 2.000
3ª Linha	3º) 202 / 2.000	6º) 214 / 2.000	9º) 107 / 2.000

Figura 72 – Fotografia sala 4272 19h, dia 17/02/2011



Figura 73 – Resultado de simulação feita no Ecotect™ 19h, dia 17/02/2011



APÊNDICE III – Relatório resultados extraídos do *EnergyPlus*<sup>TM</sup>

(continua)

Tabela 22 - Simulação feita no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>, dia 17/02/2011

17/02/2011 - 07:00		Origem x (0)	x (2,34)	x (4,51)	x (6,66)	x (9,0)
		eixo 1	eixo 2	eixo 3	eixo 4	eixo 5
Origem y (0)	eixo 5	26	26	31	26	30
y (0,87)	eixo 4	33	3) 28	6) 28	9) 31,5	28
y (2,23)	eixo 3	26	2) 28	5) 28	8) 28	29
y (3,60)	eixo 2	37	1) 66,5	4) 42	7) 59,5	28
y (4,50)	eixo 1	27	28	28	27	26
17/02/2011 - 08:00		Origem x (0)	x (2,34)	x (4,51)	x (6,66)	x (9,0)
		eixo 1	eixo 2	eixo 3	eixo 4	eixo 5
Origem y (0)	eixo 5	286	286	321	286	315
y (0,87)	eixo 4	340	3) 329	6) 329	9) 343	301
y (2,23)	eixo 3	286	2) 329	5) 329	8) 336	306
y (3,60)	eixo 2	371	1) 539	4) 427	7) 493,5	298
y (4,50)	eixo 1	287	296	298	289	286
17/02/2011 - 09:00		Origem x (0)	x (2,34)	x (4,51)	x (6,66)	x (9,0)
		eixo 1	eixo 2	eixo 3	eixo 4	eixo 5
Origem y (0)	eixo 5	947,25	947,25	1030,5	947,25	1014,75
y (0,87)	eixo 4	1086,75	3) 1001	6) 1001	9) 1113	981
y (2,23)	eixo 3	947,25	2) 1001	5) 1001	8) 1011,5	994,5
y (3,60)	eixo 2	1181,25	1) 1470	4) 1232	7) 1372	976,5
y (4,50)	eixo 1	949,5	974,25	983,25	954	947,25
17/02/2011 - 10:00		Origem x (0)	x (2,34)	x (4,51)	x (6,66)	x (9,0)
		eixo 1	eixo 2	eixo 3	eixo 4	eixo 5
Origem y (0)	eixo 5	1421,75	1421,75	1518	1421,75	1498,75
y (0,87)	eixo 4	1603,25	3) 1473,5	6) 1473,5	9) 1592,5	1460,25
y (2,23)	eixo 3	1421,75	2) 1473,5	5) 1473,5	8) 1484	1476,75
y (3,60)	eixo 2	1757,25	1) 1991,5	4) 1746,5	7) 1893,5	1454,75
y (4,50)	eixo 1	1427,25	1465,75	1479,5	1432,75	1421,75
17/02/2011 - 11:00		Origem x (0)	x (2,34)	x (4,51)	x (6,66)	x (9,0)
		eixo 1	eixo 2	eixo 3	eixo 4	eixo 5
Origem y (0)	eixo 5	1764	1764	1866	1764	1845
y (0,87)	eixo 4	1971	3) 1809,5	6) 1809,5	9) 1921,5	1806
y (2,23)	eixo 3	1764	2) 1809,5	5) 1809,5	8) 1816,5	1824
y (3,60)	eixo 2	2214	1) 2341,5	4) 2117,5	7) 2261	1800
y (4,50)	eixo 1	1773	1833	1854	1779	1764

(continuação)

17/02/2011 - 12:00		Origem x (0)	x (2,34)	x (4,51)	x (6,66)	x (9,0)
		eixo 1	eixo 2	eixo 3	eixo 4	eixo 5
Origem y (0)	eixo 5	1932	1932	2040	1932	2016
y (0,87)	eixo 4	2148	3) 2058	6) 2058	9) 2163	1974
y (2,23)	eixo 3	1932	2) 2058	5) 2058	8) 2068,5	1995
y (3,60)	eixo 2	2499	1) 2642,5	4) 2415	7) 2586,5	1971
y (4,50)	eixo 1	1938	2028	2052	1953	1932
17/02/2011 - 13:00		Origem x (0)	x (2,34)	x (4,51)	x (6,66)	x (9,0)
		eixo 1	eixo 2	eixo 3	eixo 4	eixo 5
Origem y (0)	eixo 5	2188	2188	2326	2188	2294
y (0,87)	eixo 4	2428	3) 2254	6) 2254	9) 2362,5	2240
y (2,23)	eixo 3	2188	2) 2254	5) 2254	8) 2264,5	2268
y (3,60)	eixo 2	2928	1) 2968	4) 2684,5	7) 2950,5	2236
y (4,50)	eixo 1	2195	2307	2310	2217	2188
17/02/2011 - 14:00		Origem x (0)	x (2,34)	2307,2	2310,4	2217,6
		eixo 1	eixo 2	eixo 3	eixo 4	eixo 5
Origem y (0)	eixo 5	2307,5	2307,5	2496	2307,5	2453,75
y (0,87)	eixo 4	2551,25	3) 2394	6) 2394	9) 2520	2372,5
y (2,23)	eixo 3	2307,5	2) 2394	5) 2394	8) 2404,5	2414,75
y (3,60)	eixo 2	3110,25	1) 3384,5	4) 2922,5	7) 3433,5	2372,5
y (4,50)	eixo 1	2310,75	2414,75	2401,75	2340	2307,5
17/02/2011 - 15:00		Origem x (0)	x (2,34)	x (4,51)	x (6,66)	x (9,0)
		eixo 1	eixo 2	eixo 3	eixo 4	eixo 5
Origem y (0)	eixo 5	2366	2366	2640	2366	2583
y (0,87)	eixo 4	2610	3) 2485	6) 2485	9) 2653	2461
y (2,23)	eixo 3	2366	2) 2485	5) 2485	8) 2499	2534
y (3,60)	eixo 2	3105	1) 4063,5	4) 3097,5	7) 4154,5	2458,5
y (4,50)	eixo 1	2369	2451	2438	2395	2366
17/02/2011 - 16:00		Origem x (0)	x (2,34)	x (4,51)	x (6,66)	x (9,0)
		eixo 1	eixo 2	eixo 3	eixo 4	eixo 5
Origem y (0)	eixo 5	2460,5	2460,5	2880,5	2460,5	2831,5
y (0,87)	eixo 4	2712,5	3) 2509,5	6) 2509,5	9) 2761,5	2632
y (2,23)	eixo 3	2460,5	2) 2509,5	5) 2509,5	8) 2527	2768,5
y (3,60)	eixo 2	3108	1) 5204,5	4) 3188,5	7) 4809	2618
y (4,50)	eixo 1	2464	2534	2527	2488,5	2460,5
17/02/2011 - 17:00		Origem x (0)	x (2,34)	x (4,51)	x (6,66)	x (9,0)
		eixo 1	eixo 2	eixo 3	eixo 4	eixo 5
Origem y (0)	eixo 5	2453	2453	3015,5	2453	3034
y (0,87)	eixo 4	2689	3) 2460,5	6) 2460,5	9) 2901,5	2797
y (2,23)	eixo 3	2453	2) 2460,5	5) 2460,5	8) 2492	3059
y (3,60)	eixo 2	2982	1) 6198,5	4) 3279,5	7) 4802	2704
y (4,50)	eixo 1	2456	2516	2508	2475	2453

(conclusão)

17/02/2011 - 18:00		Origem x (0)	x (2,34)	x (4,51)	x (6,66)	x (9,0)
		eixo 1	eixo 2	eixo 3	eixo 4	eixo 5
Origem y (0)	eixo 5	2097	2097	2610	2097	2673
y (0,87)	eixo 4	2299,5	3) 2320,5	6) 2320,5	9) 3199	2565
y (2,23)	eixo 3	2097	2) 2320,5	5) 2320,5	8) 2369,5	2781
y (3,60)	eixo 2	2484	1) 5827,5	4) 3153,5	7) 4263	2367
y (4,50)	eixo 1	2097	2142	2137,5	2110,5	2097
17/02/2011 - 19:00		Origem x (0)	x (2,34)	x (4,51)	x (6,66)	x (9,0)
		eixo 1	eixo 2	eixo 3	eixo 4	eixo 5
Origem y (0)	eixo 5	1596	1596	1974	1596	2016
y (0,87)	eixo 4	1764	3) 1631	6) 1631	9) 2513	2016
y (2,23)	eixo 3	1596	2) 1631	5) 1631	8) 1680	2142
y (3,60)	eixo 2	1890	1) 3472	4) 2159,5	7) 2627,5	1806
y (4,50)	eixo 1	1596	1638	1638	1596	1596

## ANEXO I – Softwares de simulação lumínica com seus respectivos fabricantes e características principais

Quadro 1 – Softwares de Simulação Lumínica

(continua)

SOFTWARES DE SIMULAÇÃO LUMÍNICA						
SOFTWARE	PRODUÇÃO / CRIAÇÃO	PAÍS / REGIÃO		PLATAFORMA OPERACIONAL	SITE DISPONÍVEL	INFORMAÇÕES ADICIONAIS
ADELIN (Advanced Day and Electric Lighting Integrated New Environment)	Fraunhofer Institute for Buildings		Suíça	Windows / Sistema CAD SCRIBE MODELLER	<a href="http://www.ibp.fhg.de/wt/adeline">http://www.ibp.fhg.de/wt/adeline</a>	É capaz de importar arquivos DXF e outros sistemas CAD. Seus modelos em 2D ou 3D permitem o uso das ferramentas SUPERLITE e RADIANCE para luz natural e o RADLINK para simulação de energia. Importa tanto informações fotométricas IES quanto EULUMDAT, além de inserir mobiliário.
AGI 32	LIGHTING ANALYSTIS Inc.		Estados Unidos / Colorado	Windows	<a href="http://www.agi32.com">http://www.agi32.com</a>	É utilizada para simular ou quantificar a distribuição da luz natural ou artificial na edificação, através de cálculos numéricos ponto a ponto de luz incidente direta ou refletida em superfícies, ou em pontos de um espaço e o cálculo total que aplica a interação entre a luz e a superfície através da <i>radiosity</i> . Trabalha também a renderização de imagens realísticas com o uso do <i>ray tracing</i> , com uma posterior conversão da imagem em arquivo JPG. O <i>software</i> possui modelador 3D capaz de elaborar objetos complexos em <i>wireframe</i> e posteriormente sintetizá-los. É compatível com a importação de arquivos CAD em DWG e DXF. Permite a aplicação de texturas em qualquer superfície, inserção de mobiliário, percepção da luminância e iluminância, e a simulação da luz natural em diversas horas do dia. O <i>software</i> AGI 32 foi testado e validado através de uma avaliação simples baseada no Hélios 32
APOLUX	Laboratório de Conforto Ambiental - UFSC/ARQ / Anderson Claro		Brasil / Santa Catarina	Windows	<a href="http://www.labcon.ufsc.br/foton/">http://www.labcon.ufsc.br/foton/</a>	Foi testado e validado através de comparação feita com seus resultados e medições <i>in loco</i> e em modelos em escala reduzida.
BUILDING DESIGN ADVISOR	Lawrence Berkeley Laboratory		Estados Unidos / Califórnia	Windows	<a href="http://gaia.lbl.gov/BDA">http://gaia.lbl.gov/BDA</a>	-
COMPULYTE II – by AGI light	Crescent / Stonco / Exceline		Estados Unidos / New Jersey	Windows	<a href="http://www.genlytesupplydivision.com">http://www.genlytesupplydivision.com</a>	Foi testada e validada por meio de uma avaliação básica.

(continuação)

SOFTWARES DE SIMULAÇÃO LUMÍNICA					
SOFTWARE	PRODUÇÃO / CRIAÇÃO	PAÍS / REGIÃO	PLATAFORMA OPERACIONAL	SITE DISPONÍVEL	INFORMAÇÕES ADICIONAIS
DAYLIGHT	ArchiPhysics	 Estados Unidos	Windows e Mac OSX	<a href="http://www.archiphysics.com">http://www.archiphysics.com</a>	-
DAYLIGHT 1 2 3	Institute for Research in Construction	 Canadá	Windows, Linux e Mac OSX	<a href="http://www.daylight1-2-3.com">http://www.daylight1-2-3.com</a>	Foi testado e validado. O <i>software</i> utiliza uma versão que lê os <i>softwares</i> RADIANCE e DAYSIM, também de simulação lumínica.
DAYSIM	Institute for Research in Construction	 Canadá	Windows livre, Mac OSX e Linux/Unix	<a href="http://www.daysim.com">http://www.daysim.com</a>	Foi testado e validado baseando-se no <i>software</i> RADIANCE.
DeLIGHT	Lawrence Berkeley Laboratory	 Estados Unidos / Califórnia	Windows	-	-
DESKTOP RADIANCE	Lawrence Berkeley National	 Estados Unidos / Califórnia	Windows	-	Integra o sistema RADIANCE com a plataforma AutoCAD. Funciona como plug-in inserido no AutoCAD.
DIALUX	Dial GmbH	 Alemanha	Windows	<a href="http://www.dialux.com">http://www.dialux.com</a>	Foi testada e validada segundo as normas internacionais EN12464 ISO 8995, EN1838 e EN13201, no laboratório de credenciamento de iluminação DIAL. Seus resultados são compatíveis segundo o relatório técnico CIE 171: 2006. O <i>software</i> produz cálculos e visualização de sistemas de iluminação artificial e natural. Importa e exporta arquivos de programas CAD, utiliza o <i>ray tracing</i> integrado para criação de imagens fotorealísticas. Gratuito e disponível em 20 línguas, a ferramenta trabalha com formatos internacionais de informações fotométricas, com catálogos eletrônicos que podem ser inseridos na cena pelo sistema <i>drag-and-drop</i> , assim como texturas e mobiliários.
ECO LUMEN	Eco Lumen	 Índia	Windows	<a href="http://www.ecolumen.com">http://www.ecolumen.com</a>	Foi testada e validada segundo avaliação comparativa com outros <i>softwares</i> .

(continuação)

SOFTWARES DE SIMULAÇÃO LUMÍNICA						
SOFTWARE	PRODUÇÃO / CRIAÇÃO	PAÍS / REGIÃO		PLATAFORMA OPERACIONAL	SITE DISPONÍVEL	INFORMAÇÕES ADICIONAIS
ECOTECT	SQUARE ONE research PTY LTD		Austrália	Windows	<a href="http://www.ecotect.com">http://www.ecotect.com</a>	Atualmente, a partir de 2009, é comercializado pela empresa Autodesk sob o nome de <i>Autodesk Ecotect Analysis</i> . O <i>software</i> foi totalmente escrito e desenhado por arquitetos e possui uma interface de fácil interação com o usuário. De fácil integração com os processos de projeção, o ECOTECT auxilia como fator decisório em qualquer etapa do projeto. Possui interface amigável, importando arquivos em formato IES, tem módulo de distribuição de luminárias com espaçamento e efetua cálculos e visualização dos vetores de luz. Após simulação lumínica, o <i>software</i> possibilita a exportação da modelagem e dos dados de materiais para outros <i>softwares</i> mais específicos de acabamento de imagem.
EnergyPlus	Departamento de Energia dos Estados Unidos		Estados Unidos	Windows	<a href="http://www.energyplus.gov">http://www.energyplus.gov</a>	Foi elaborado a partir da fusão dos códigos do BLAST e DOE-2. O <i>software</i> é uma ferramenta de simulação térmica e energética de edificações integrada com os seus sistemas. Através do EnergyPlus pode-se desenvolver estudos para melhoria da eficiência energética de edificações existentes ou em fase de projeto. Possui integração dos algoritmos COMIS, TRNSYS e SPARK.
FLUCS	IES Limited		Escócia	Windows	<a href="http://www.ies4d.com">http://www.ies4d.com</a>	-
FLUCS DL	IES Limited		Escócia	Windows	<a href="http://www.iesve.com">http://www.iesve.com</a>	-
FLUCS PRO	IES Limited		Escócia	Windows	<a href="http://www.iesve.com">http://www.iesve.com</a>	-
GENELUX-WEB	Département Génie Civil et Bâtiment		França	Plataforma Web	-	Foi testada e validada através de comparação de valores simulados com soluções analíticas.
HELIOS 32	Heart Consultants Limited		Estados Unidos	Windows	<a href="http://www.helios32.com/main.htm">http://www.helios32.com/main.htm</a>	Foi testada e validada através de avaliação básica.

SOFTWARES DE SIMULAÇÃO LUMÍNICA						
SOFTWARE	PRODUÇÃO / CRIAÇÃO	PAÍS / REGIÃO		PLATAFORMA OPERACIONAL	SITE DISPONÍVEL	INFORMAÇÕES ADICIONAIS
INSPIRER	Integra Inc		Japão / Tóquio	Windows	<a href="http://www.integra.jp/en/inspirer/index.html">http://www.integra.jp/en/inspirer/index.html</a>	O <i>software</i> engloba todo o processo de iluminação com fontes de luz e objetos de cena que refletem e transmitem luminância, possui resultados de visualização quase que imediatos. Importa modelos em formatos IGES, DXF, VRML, ARRIS, Intergraph e Softimage por exemplo, e exporta nos formatos IGES, DXF, VRML, além de possuir um modelador geométrico interno. Aplica materiais e mapas de texturas abrindo possibilidade para ajuste de câmeras e iluminação. Valores de luminância e iluminância podem ser avaliados em pontos específicos ou em todo o ambiente através de imagens renderizadas em pseudocor para análise de dados físicos.
LESO-DIAL	Solar Energy and Building Physics Laboratory		Suíça	Windows	-	-
LIGHT PRO	IES Limited		Escócia	Windows	<a href="http://www.iesve.com">http://www.iesve.com</a>	-
LIGHT TOOL	Laboratório de Conforto Ambiental - UFSC/ARQ / Anderson Claro, Patrocinado pela Empresa IDELPA ILUMINAÇÃO		Brasil / Santa Catarina	Windows	<a href="http://www.indelpe.com.br">http://www.indelpe.com.br</a>	Foi testado e validado com base no programa APOLUX.
LIGHTSCAPE	Discret		Estados Unidos	Unix e Windows	-	O <i>software</i> proporciona um refinamento progressivo permitindo controle da qualidade da visualização do modelo. Combina interface voltada para especificações de iluminação e materiais com a aplicação dos algoritmos radiosity e ray-tracing. Importa arquivos DWG e formatos de geometria 3D, além de formatos fotométricos.
LIGHTSKETCH	School of Architecture da Carnegie Mellon University		Estados Unidos / Pittsburgh	Windows	-	Possibilita a modelagem, o desenho de símbolos arquitetônicos e de iluminação em linguagem de croquis, linguagem Sketch, e posteriormente convertidos em modelo 3D para a visualização da simulação. Utiliza o motor de cálculo RADIANCE

SOFTWARES DE SIMULAÇÃO LUMÍNICA					
SOFTWARE	PRODUÇÃO / CRIAÇÃO	PAÍS / REGIÃO	PLATAFORMA OPERACIONAL	SITE DISPONÍVEL	INFORMAÇÕES ADICIONAIS
LIGHTSTUDIO	Die Lichtplaner	 Alemanha	Windows	<a href="http://www.lichtplaner.com/Default.aspx">http://www.lichtplaner.com/Default.aspx</a>	Pode funcionar como um plug-in para renderização fotorealística dentro do <i>software</i> 3D Studio Max. Compatível com o RADIANCE, importa arquivos fotométricos IES e EULUMDAT. Pode ser utilizado no módulo simples, simplificando o controle de renderização, ou no módulo expert que permite o usuário utilizar as funções do RADIANCE no 3D Studio Max.
LUMEM MICRO	Lighting Technologies Inc.	 Estados Unidos / Colorado	Windows	<a href="http://www.lighting-technologies.com">http://www.lighting-technologies.com</a>	Comercializado pela LTI OPTICS
OPTOMIZER	Fielding Data Labs	 Estados Unidos / Califórnia	Windows	-	-
POV-RAY	Persistence of Vision Raytracer Pty. Ltd	 Estados Unidos	Linux, Mac OSX e Windows	<a href="http://www.povray.org/">http://www.povray.org/</a>	-
QUICK CALC	ExceLine	 Estados Unidos / Nova Jersey	Windows e Mac OSX	<a href="http://www.exceline.com">http://www.exceline.com</a>	Foi testado e validado através de avaliação básica.
QUICK EST	Crescent/Stonco	 Estados Unidos / Nova Jersey	Windows e Mac OSX	<a href="http://www.genlytesupplydivision.com">http://www.genlytesupplydivision.com</a>	Foi testado e validado através de avaliação básica.
RADIANCE	Lawrence Berkeley C/O Centre for Research in the Built Environment	 Estados Unidos / Califórnia	Linux, Mac OSX e Windows	<a href="http://radsite.lbl.gov/radiance/home.html">http://radsite.lbl.gov/radiance/home.html</a>	Foi testado e validado.
RADIANCE CONTROL PANEL		 País de Gales / Cardiff	Windows	<a href="http://www.squ1.com">http://www.squ1.com</a>	Foi testado e validado com base no DESKTOP RADIANCE.
RAYFRONT	ALWARE	 Alemanha	Linux, Mac OSX e Windows	<a href="http://www.schorsch.com/">http://www.schorsch.com/</a>	O <i>software</i> é uma interface para o uso do RADIANCE.
RAYSHADE	Stanford University	 Estados Unidos	Linux, Mac OSX, DOS, AMIGA, OS2	<a href="ftp://graphics.stanford.edu/pub/rayshade/">ftp://graphics.stanford.edu/pub/rayshade/</a>	-
RENDERPARK	Computer Graphics Research Group, Katholieke Universiteit Leuven	 Bélgica	Linux	<a href="http://www2.cs.kuleuven.be/~graphics/renderpark/">http://www2.cs.kuleuven.be/~graphics/renderpark/</a>	-

(conclusão)

SOFTWARES DE SIMULAÇÃO LUMÍNICA					
SOFTWARE	PRODUÇÃO / CRIAÇÃO	PAÍS / REGIÃO	PLATAFORMA OPERACIONAL	SITE DISPONÍVEL	INFORMAÇÕES ADICIONAIS
RELUX	INFORMATIK AG	 Alemanha	Windows	<a href="http://www.relux.biz/">http://www.relux.biz/</a>	-
SKYVISION	Institute for Research in Construction	 Canadá	Windows	<a href="http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/light/skyvision/">http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/light/skyvision/</a>	-
SUPERLITE	Lawrence Berkeley Laboratory	 Estados Unidos / California	Mainframes e DOS	<a href="http://eetd.lbl.gov/btd/tools/superlite/superlite2.htm">http://eetd.lbl.gov/btd/tools/superlite/superlite2.htm</a>	-
TROPLUX	Laboratório de Conforto Ambiental - UFAL / Ricardo Cabús	 Brasil / Alagoas	Windows	<a href="http://www.ctec.ufal.br/grupopesquisa/grilu/">http://www.ctec.ufal.br/grupopesquisa/grilu/</a>	Foi testado e validado através de comparação feita com seus resultados e métodos simplificados, com resultados de outro <i>software</i> (Lúmen Micro) e com dados provenientes de monitoramento.
VIRTUAL LIGHTING SIMULATOR	Lawrence Berkeley	 Estados Unidos / California	Plataforma Web	<a href="http://gaia.lbl.gov/vls">http://gaia.lbl.gov/vls</a>	-
VISUAL	Acuity Brands Lighting	 Estados Unidos / Geórgia	Windows	<a href="http://www.visuallightingsoftware.com">http://www.visuallightingsoftware.com</a>	Foi testado e validado através de avaliação básica.

Fonte: adaptado de Carvalho (2009); Pupo, Scarazzato e Delbim (2007)

