



**INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO**  
Universidade Técnica de Lisboa

**FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO AMBIENTAL E ENERGÉTICA PARA A PRÁTICA DE  
PROJETO DE ARQUITETURA**  
UMA ANÁLISE CRÍTICA E COMPARATIVA

**CINDY MARIA DA SILVA MARQUEZ**

Dissertação para a obtenção de Grau de Mestre em  
**ARQUITETURA**

**Júri:**

Presidente: Professora Doutora Teresa Frederica Tojal de Valsassina Heitor  
Orientador: Professor Doutor Manuel de Arriaga Brito Correia Guedes  
Vogal: Professor Doutor Manuel Guilherme Caras Altas Duarte Pinheiro

**JUNHO 2012**



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Doutor Manuel Correia Guedes, pela atenção dispensada, apoio, motivação e crítica, fundamentais para o desenvolvimento e conclusão desta dissertação.

Aos representantes dos programas de simulação pela disponibilização de licenças de exploração dos mesmos.

Ao Eng.º Mário de Matos pela rápida disponibilização de dados sobre o caso de estudo, essenciais para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus colegas e amigos Marta, Clarissa, Ana Salvado, Débora Chaves, João, Diogo, Ana Gil, Mariana, Ana Roxo, Débora Martins, Miguel e Afonso pelo apoio e pela companhia, crítica, conhecimento e momentos compartilhados ao longo do curso.

Ao meu melhor amigo Ricardo Santos, pelo constante incentivo e apoio, compreensão e força nos momentos mais difíceis.

À minha família, a minha mãe, o meu pai, o meu irmão, os meus tios e o meu avô, pelo amor, paciência e cuidado.

A todos os restantes que contribuíram, de alguma maneira, para o desenvolvimento e conclusão desta dissertação.



## RESUMO

Hoje, mais do que nunca, é exigido aos arquitetos uma abordagem cada vez mais focalizada no desempenho sustentável das edificações. Assim, é necessário que este pensamento seja inculcado desde o início do ato de projetar. Neste âmbito, surgem programas informáticos (*softwares*) de simulação ambiental e energética de apoio ao projeto que permitem ao respetivo autor simular o desempenho do edifício, possibilitando uma maior otimização do mesmo. No entanto, esses *softwares* apresentam alguns prós e contras, que permitem uma análise do projeto mais ou menos real.

Análises comparativas neste campo são pouco frequentes e, quando existem, têm uma linguagem muito técnica, raramente tendo em conta o tipo de utilizador. Deste modo, o objetivo principal desta dissertação é fazer uma análise crítica e comparativa de vários *softwares* de simulação ambiental e energética tendo em conta a ótica do arquiteto. A interpretação dos resultados obtidos permite a recomendação de *softwares* dos softwares mais adequados à prática arquitetónica que visa o desempenho sustentável.

Esta análise, qualitativa e quantitativa, será posta em prática através de um caso de estudo, o Pavilhão de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, que será a base de comparação dos vários *softwares*.

**Palavras-chave:** *Software*, Sustentabilidade, Desempenho Ambiental e Energético



## **ABSTRACT**

Today, more than ever, an approach focused on the sustainable performance of buildings is required from the architects. Hence, there is a need to inculcate such philosophy since the beginning of the act of designing. Within this scope, environmental and energy simulation *softwares* are useful to allow a technical design support, enabling it to simulate the building's performance and an increased optimization of the building project itself. However, such *softwares* have advantages and disadvantages.

The comparative research and analysis in this field are very rare or even non-existent, and have an unfamiliar technical language that is unfamiliar to the architect reader. Therefore, the primary goal of this dissertation is to make a critical and comparative analysis of several environmental and energy simulation *softwares* taking into account the architect's perspective.

The interpretation of the results obtained from such analyses can be used to adapt each *software* to the architectural practice that targets the sustainable performance.

This qualitative and quantitative analysis will consider a case study, the Civil Engineering Department Building of Instituto Superior Técnico that will serve as the basis of comparison between the *softwares*.

**Keywords:** *Software*, Sustainability, Environmental and Energy Performance





# ÍNDICE

INTRODUÇÃO .....	1
1. ENQUADRAMENTO DOS <i>SOFTWARES</i> NA ARQUITETURA .....	5
1.1. EVOLUÇÃO DO USO DE <i>SOFTWARES</i> DE SIMULAÇÃO AMBIENTAL.....	6
1.2. ANÁLISES COMPARATIVAS EXISTENTES.....	9
1.3. CONCEITOS BASE.....	12
2. <i>SOFTWARES</i> DE SIMULAÇÃO AMBIENTAL E ENERGÉTICA .....	19
2.1. <i>AUTODESK® ECOTECH® ANALYSIS</i> .....	21
2.2. <i>DESIGNBUILDER®</i> .....	23
2.3. <i>EQUEST®</i> .....	25
2.4. <i>LT-PORTUGAL®</i> .....	27
2.5. <i>VE-GAIA®</i> .....	29
3. ANÁLISE COMPARATIVA: DESEMPENHO DOS <i>SOFTWARES</i> .....	31
3.1. OBJETIVOS .....	32
3.2. METODOLOGIA .....	33
3.3. CASO DE ESTUDO: O PAVILHÃO DE ENGENHARIA CIVIL, IST.....	34
3.3.1. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....	34
3.3.2. MATERIAIS E OCUPAÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....	38
3.3.3. ESPAÇOS ESCOLHIDOS.....	41
3.4. PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISES .....	42
3.5. ANÁLISE QUALITATIVA.....	43
3.5.1. SISTEMA .....	43
3.5.2. FUNCIONALIDADES.....	46
3.5.3. MODELAÇÃO .....	47
3.5.3.1. EXTENSÃO.....	47
3.5.3.2. MODELAÇÃO DO EDIFÍCIO .....	49
3.5.3.3. MODELAÇÃO DE AVAC .....	53
3.5.4. <i>OUTPUTS/RESULTADOS</i> .....	55
3.5.5. UTILIZADOR.....	58
3.6. ANÁLISE QUANTITATIVA.....	62
3.6.1. CONSUMO ENERGÉTICO (ELÉTRICO) .....	63
3.6.2. EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> .....	65
3.6.3. CONFORTO TÉRMICO.....	66
3.6.4. ILUMINÂNCIA .....	68

4.	DISCUSSÃO DE RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES DE UTILIZAÇÃO .....	71
4.1.	DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	72
4.2.	RECOMENDAÇÕES DE UTILIZAÇÃO.....	75
	CONCLUSÃO .....	77
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA .....	81
	ANEXOS .....	87
	ANEXO A: QUESTIONÁRIOS .....	A-1
	ANEXO B: TABELAS DE REFERÊNCIA.....	B-1
	ANEXO C: CASO DE ESTUDO .....	C-1
	ANEXO D: SIMULAÇÕES OBTIDAS .....	D-1
	ANEXO E: OUTRAS SIMULAÇÕES.....	E-1

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ESCALA DE SENSIBILIDADE TÉRMICA .....	16
FIGURA 2: RELAÇÃO PPD – PMV .....	16
FIGURA 3: INTERFACE 1 DO <i>AUTODESK® ECOTECT® ANALYSIS</i> .....	21
FIGURA 4: INTERFACE 2 DO <i>AUTODESK® ECOTECT® ANALYSIS</i> .....	22
FIGURA 5: INTERFACE 1 DO <i>DESIGNBUILDER®</i> .....	23
FIGURA 6: INTERFACE 2 DO <i>DESIGNBUILDER®</i> .....	24
FIGURA 7: INTERFACE 1 DO <i>EQUEST®</i> .....	25
FIGURA 8: INTERFACE 2 DO <i>EQUEST®</i> .....	26
FIGURA 9: INTERFACE 1 DO <i>LT-PORTUGAL®</i> .....	27
FIGURA 10: INTERFACE 2 DO <i>LT-PORTUGAL®</i> .....	28
FIGURA 11: INTERFACE 1 DO <i>VE-GAIA®</i> .....	29
FIGURA 12: INTERFACE 2 DO <i>VE-GAIA®</i> .....	30
FIGURA 13: MAQUETE DE INSERÇÃO DO PAVILHÃO .....	34
FIGURA 14: VISTA SUL DO PAVILHÃO .....	34
FIGURA 15: PLANTA ESQUEMÁTICA PISO -3 .....	35
FIGURA 16: PLANTA ESQUEMÁTICA PISO -2 .....	35
FIGURA 17: PLANTA ESQUEMÁTICA PISO -1 .....	36
FIGURA 18: PLANTA ESQUEMÁTICA PISO 0 .....	36
FIGURA 19: PLANTA ESQUEMÁTICA PISO 1 .....	36
FIGURA 20: PLANTA ESQUEMÁTICA PISO 2 .....	37
FIGURA 21: PLANTA ESQUEMÁTICA PISO 3 .....	37
FIGURA 22: PLANTA ESQUEMÁTICA DO PISO 0 COM A LOCALIZAÇÃO DOS ESPAÇOS A ANALISAR .....	41
FIGURA 23: PLANTA ESQUEMÁTICA DO PISO 3 COM A LOCALIZAÇÃO DO ESPAÇO A ANALISAR .....	41
FIGURA 24: RESULTADO DO CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA NO AQUÁRIO PELO <i>AUTODESK® ECOTECT® ANALYSIS</i> .....	68
FIGURA 25: RESULTADO DO CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA NO AQUÁRIO PELO <i>DESIGNBUILDER®</i> .....	68
FIGURA 26: RESULTADO DO CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA NO AQUÁRIO PELO <i>VE-GAIA®</i> .....	68
FIGURA 27: RESULTADO DO CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA NO GABINETE PELO <i>AUTODESK® ECOTECT® ANALYSIS</i> .....	69
FIGURA 28: RESULTADO DO CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA NO GABINETE PELO <i>DESIGNBUILDER®</i> .....	69
FIGURA 29: RESULTADO DO CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA NO GABINETE PELO <i>VE-GAIA®</i> .....	69
FIGURA 30: RESULTADO DO CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA NA SALA TIPO DE ARQUITETURA PELO <i>AUTODESK® ECOTECT® ANALYSIS</i> .....	70
FIGURA 31: RESULTADO DO CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA NA SALA TIPO DE ARQUITETURA PELO <i>DESIGNBUILDER®</i> .....	70
FIGURA 32: RESULTADO DO CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA NA SALA TIPO DE ARQUITETURA PELO <i>VE-GAIA®</i> .....	70
FIGURA 33: CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO DO PAVILHÃO DE CIVIL (GRÁFICO) OBTIDO PELO <i>AUTODESK® ECOTECT® ANALYSIS</i> .....	D-2
FIGURA 34: CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL DO PAVILHÃO DE CIVIL (GRÁFICO E TABELA) OBTIDO PELO <i>DESIGNBUILDER®</i> .....	D-3
FIGURA 35: CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL DO PAVILHÃO DE CIVIL (GRÁFICO) OBTIDO PELO <i>EQUEST®</i> .....	D-4
FIGURA 36: CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL DO PAVILHÃO DE CIVIL OBTIDO PELO <i>LT-PORTUGAL®</i> .....	D-5

FIGURA 37: EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> MENSAL DO PAVILHÃO DE CIVIL (GRÁFICO) OBTIDO PELO <i>AUTODESK® ECOTECH® ANALYSIS</i> .....	D-6
FIGURA 38: EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> MENSAL DO PAVILHÃO DE CIVIL (GRÁFICO E TABELA) OBTIDO PELO <i>DESIGNBUILDER®</i> .....	D-7
FIGURA 39: EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> ANUAL DO PAVILHÃO DE CIVIL OBTIDO PELO LT-PORTUGAL®.....	D-8
FIGURA 40: CONFORTO PMV NO DIA 29/08 DO AQUÁRIO (GRÁFICO) OBTIDO PELO <i>AUTODESK® ECOTECH® ANALYSIS</i> .....	D-9
FIGURA 41: CONFORTO PMV NO DIA 31/01 DO AQUÁRIO (GRÁFICO) OBTIDO PELO <i>AUTODESK® ECOTECH® ANALYSIS</i> .....	D-9
FIGURA 42: CONFORTO PMV NO DIA 29/08 DO GABINETE (GRÁFICO) OBTIDO PELO <i>AUTODESK® ECOTECH® ANALYSIS</i> .....	D-10
FIGURA 43: CONFORTO PMV NO DIA 31/01 DO GABINETE (GRÁFICO) OBTIDO PELO <i>AUTODESK® ECOTECH® ANALYSIS</i> .....	D-10
FIGURA 44: CONFORTO PMV NO DIA 29/08 DA SALA TIPO DE ARQUITETURA (GRÁFICO) OBTIDO PELO <i>AUTODESK® ECOTECH® ANALYSIS</i> D-11	
FIGURA 45: CONFORTO PMV NO DIA 31/01 DA SALA TIPO DE ARQUITETURA (GRÁFICO) OBTIDO PELO <i>AUTODESK® ECOTECH® ANALYSIS</i> D-11	
FIGURA 46: CONFORTO PMV DIÁRIO DO AQUÁRIO AO LONGO DO ANO (GRÁFICO) OBTIDO PELO <i>DESIGNBUILDER®</i> .....	D-12
FIGURA 47: CONFORTO PMV DIÁRIO DO GABINETE AO LONGO DO ANO (GRÁFICO) OBTIDO PELO <i>DESIGNBUILDER®</i> .....	D-12
FIGURA 48: CONFORTO PMV DIÁRIO DA SALA TIPO DE ARQUITETURA AO LONGO DO ANO (GRÁFICO) OBTIDO PELO <i>DESIGNBUILDER®</i> ....	D-13

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1: INFORMAÇÕES DOS <i>SOFTWARES</i> , SOBRE CRIADORES, VERSÕES UTILIZADAS E LÍNGUA QUE APRESENTAM .....	20
TABELA 2: DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS DOS ELEMENTOS PRINCIPAIS EXTERIORES E INTERIORES DO CASO DE ESTUDO .....	38
TABELA 3: PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DOS MATERIAIS DA ENVOLVENTE OPACA .....	39
TABELA 4: PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS.....	39
TABELA 5: PROPRIEDADES DA COBERTURA EM POLICARBONATO.....	39
TABELA 6: CONDIÇÕES DE OCUPAÇÕES DOS ESPAÇOS.....	40
TABELA 7: CARACTERIZAÇÃO DOS <i>SOFTWARES</i> CONSOANTE O PARÂMETRO SISTEMA E OS SEUS CRITÉRIOS .....	44
TABELA 8: CLASSIFICAÇÃO DOS <i>SOFTWARES</i> CONSOANTE O PARÂMETRO SISTEMA E OS SEUS CRITÉRIOS .....	45
TABELA 9: CARACTERIZAÇÃO DOS <i>SOFTWARES</i> CONSOANTE O PARÂMETRO FUNCIONALIDADE E OS SEUS CRITÉRIOS .....	46
TABELA 10: CLASSIFICAÇÃO DOS <i>SOFTWARES</i> CONSOANTE O PARÂMETRO FUNCIONALIDADE E OS SEUS CRITÉRIOS .....	47
TABELA 11: CARACTERIZAÇÃO DOS <i>SOFTWARES</i> CONSOANTE O SUB-PARÂMETRO EXTENSÃO RELATIVO AO PARÂMETRO MODELAÇÃO E OS SEUS CRITÉRIOS .....	48
TABELA 12: CARACTERIZAÇÃO DOS <i>SOFTWARES</i> CONSOANTE O SUB-PARÂMETRO MODELAÇÃO DO EDIFÍCIO RELATIVO AO PARÂMETRO MODELAÇÃO E OS SEUS CRITÉRIOS.....	50
TABELA 13: CARACTERIZAÇÃO DOS <i>SOFTWARES</i> CONSOANTE O SUB-PARÂMETRO MODELAÇÃO DO AVAC RELATIVO AO PARÂMETRO MODELAÇÃO E OS SEUS CRITÉRIOS.....	53
TABELA 14: CLASSIFICAÇÃO DOS <i>SOFTWARES</i> CONSOANTE O PARÂMETRO MODELAÇÃO E OS SEUS CRITÉRIOS .....	54
TABELA 15: CARACTERIZAÇÃO DOS <i>SOFTWARES</i> CONSOANTE O PARÂMETRO <i>OUTPUTS</i> /RESULTADOS E OS SEUS CRITÉRIOS .....	56
TABELA 16: CLASSIFICAÇÃO DOS <i>SOFTWARES</i> CONSOANTE O PARÂMETRO <i>OUTPUTS</i> /RESULTADOS E OS SEUS CRITÉRIOS.....	58
TABELA 17: CARACTERIZAÇÃO DOS <i>SOFTWARES</i> CONSOANTE O PARÂMETRO UTILIZADOR E OS SEUS CRITÉRIOS.....	59
TABELA 18: CLASSIFICAÇÃO DOS <i>SOFTWARES</i> CONSOANTE O PARÂMETRO UTILIZADOR E OS SEUS CRITÉRIOS .....	61
TABELA 19: SUMÁRIO DOS RESULTADOS DO CONSUMO ENERGÉTICO DOS <i>SOFTWARES</i> E VALORES REAIS.....	63
TABELA 20: SUMÁRIO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> DOS <i>SOFTWARES</i> E VALORES REAIS.....	65
TABELA 21: SUMÁRIO DOS RESULTADOS DO CONFORTO TÉRMICO DOS <i>SOFTWARES</i> .....	66
TABELA 22: SUMÁRIO DA CLASSIFICAÇÃO DOS <i>SOFTWARES</i> EM TODOS OS PARÂMETROS .....	73
TABELA 23: RESPOSTAS AOS QUESTIONÁRIOS RELATIVOS AOS <i>SOFTWARES</i> <i>AUTODESK</i> <sup>®</sup> <i>ECOTECH</i> <sup>®</sup> <i>ANALYSIS</i> E <i>DESIGNBUILDER</i> <sup>®</sup> .....	A-5
TABELA 24: RESPOSTAS AOS QUESTIONÁRIOS RELATIVOS AOS <i>SOFTWARES</i> LT-PORTUGAL <sup>®</sup> , <i>AUTOCAD</i> <sup>®</sup> E <i>ARCHICAD</i> <sup>®</sup> / <i>ARTLANTIS</i> <sup>®</sup> .....	A-6
TABELA 25: CONDIÇÕES DE OCUPAÇÕES DOS ESPAÇOS.....	B-2
TABELA 26: CONDIÇÕES DE OCUPAÇÕES DOS ESPAÇOS.....	B-3
TABELA 27: CONSUMOS REAIS FORNECIDOS DO CASO DE ESTUDO .....	C-15
TABELA 28: CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO DO PAVILHÃO DE CIVIL (TABELA) OBTIDO PELO <i>AUTODESK</i> <sup>®</sup> <i>ECOTECH</i> <sup>®</sup> <i>ANALYSIS</i> .....	D-2
TABELA 29: CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL DO PAVILHÃO DE CIVIL (GRÁFICO) OBTIDO PELO <i>EQUEST</i> <sup>®</sup> .....	D-4
TABELA 30: CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL DO PAVILHÃO DE CIVIL (TABELA) OBTIDO PELO <i>VE-GAIA</i> <sup>®</sup> .....	D-5
TABELA 31: EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> MENSAL DO PAVILHÃO DE CIVIL (TABELA) OBTIDO PELO <i>AUTODESK</i> <sup>®</sup> <i>ECOTECH</i> <sup>®</sup> <i>ANALYSIS</i> .....	D-6
TABELA 32: EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> MENSAL DO PAVILHÃO DE CIVIL (TABELA) OBTIDO PELO <i>VE-GAIA</i> <sup>®</sup> .....	D-8

TABELA 33: CONFORTO PMV DIÁRIO DO AQUÁRIO, DO GABINETE E DA SALA TIPO DE ARQUITETURA NOS MESES DE JANEIRO E AGOSTO (TABELA) OBTIDO PELO <i>DESIGNBUILDER</i> ® .....	D-14
TABELA 34: OUTRAS SIMULAÇÕES POSSÍVEIS NO <i>AUTODESK</i> ® <i>ECOTECH</i> ® <i>ANALYSIS</i> .....	E-2
TABELA 35: OUTRAS SIMULAÇÕES POSSÍVEIS NO <i>DESIGNBUILDER</i> ® .....	E-4
TABELA 36: OUTRAS SIMULAÇÕES POSSÍVEIS NO <i>EQUEST</i> ® .....	E-7
TABELA 37: OUTRAS SIMULAÇÕES POSSÍVEIS NO <i>LT-PORTUGAL</i> ® .....	E-9
TABELA 38: OUTRAS SIMULAÇÕES POSSÍVEIS NO PELO <i>VE-GAIA</i> ® .....	E-10

## SIGLAS E ABREVIATURAS

2D	2 Dimensões
3D	3 Dimensões
ADENE	Agência para a Energia
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Arrefecimento e Ar-Condicionado)
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado
AVI	<i>Audio Video Interleaved</i> (formato de ficheiro de vídeo)
BIN	<i>Binary File</i> (ficheiro binário)
BMP	<i>Bitmap</i> (ficheiro de imagem)
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
CFD	<i>Computational Fluids Dynamics</i> (Dinâmica de Fluidos Computacional)
CIBSE	<i>Chartered Institution of Building Services Engineers</i> (Instituição Qualificada de Engenheiros de Serviços de Construção)
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CSV	<i>Comma Separated Values text file format</i> (Formato de ficheiro de texto de Valores Separados por Vírgulas)
DWG	<i>Drawing File</i> (ficheiro de desenho)
DXF	<i>Drawing Exchange Format</i> (Formato de Intercâmbio de Desenho – é um formato de ficheiro CAD utilizado pela <i>Autodesk</i> , para permitir a troca de dados entre o <i>AutoCAD</i> e outros programas)
EMF	<i>Enhanced Metafile</i> (ficheiro de imagem)
EPW	<i>EnergyPlus Weather Data</i> (ficheiro climático)
FAQ	<i>Frequent Asked Questions</i> (Questões frequentemente perguntadas)
gbXML	<i>Green building XML</i> (Ficheiro do tipo XML que permite a fácil transferência de informação de modelos 3D BIM para programas de análise energética)
GIF	<i>Graphics Interchange Format</i> (ficheiro de imagem)
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i> (Linguagem de Marcação Hipertexto, formato de páginas de internet)
IP	<i>Inch-Pound</i> (Sistema polegadas-libras, diferente do Sistema Internacional (SI))
IST	Instituto Superior Técnico
JPEG	<i>Joint Photographic Experts Group</i> (formato de imagem)
LAB	Laboratório de Arquitetura Bioclimática
PDF	<i>Portable Document Format</i> (Formato de Documento Portátil)
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i> (Média Prevista de Votos)

PNG	<i>Portable Network Graphics</i> (formato de imagem)
PPD	<i>Predicted Percentage Dissatisfied</i> (Percentagem de Insatisfação Prevista)
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
SI	Sistema Internacional
TIFF	<i>Tagged Image Format File</i> (ficheiro de imagem)
VRML	<i>Virtual Reality Modeling Language</i> (Linguagem de Modelação em Realidade Virtual)
WEA	<i>Weather Data files</i> (ficheiros de clima)
WMF	<i>Windows Metafile</i> (ficheiro de imagem)
WMV	<i>Windows Media Video</i> (ficheiro de vídeo)
XML	<i>Extensible Markup Language</i> (Linguagem de marcação extensível)



## **INTRODUÇÃO**

Existe uma necessidade cada vez maior, em Arquitetura, do uso de programas informáticos (*softwares*) para a realização de uma análise mais detalhada de algumas variáveis essenciais (a nível do conforto, da luz, dos desempenhos em termos da sustentabilidade, dos custos, ...) que feitas de outra forma são morosas e pouco precisas. Sendo assim, é quase obrigatória a existência de algum suporte de *software*, pois a utilização da ferramenta permite determinar os efeitos que as variáveis têm no desempenho do edifício de forma rápida e precisa. No entanto, se o *software* não corresponder às necessidades do utilizador, este será pouco útil para a tarefa a desempenhar. Assim, surgem os estudos comparativos deste tipo de *softwares*. No entanto dos realizados até agora, poucos são os que consideram o utilizador, e aqueles que o fazem, raramente destacam o arquiteto como principal utilizador. Além disso, nenhum dos estudos efetuados foi feito em Portugal. Tendo em conta estes fatores, esta dissertação tem como tema a comparação entre vários *softwares* de simulação ambiental e energética existentes no mercado, procurando compreender qual o *software* mais acessível para um arquiteto. Este estudo é de extrema importância, pois permite, de acordo com a utilização pretendida, saber qual o *software* mais adequado, possibilitando uma maior rapidez e precisão no processamento e interpretação dos resultados obtidos.

Para o desenvolvimento desta dissertação pretenderam-se atingir os seguintes objetivos:

1. Realizar o levantamento de *softwares* de simulação ambiental e energético, disponíveis no mercado;
2. Analisar as características dos diferentes *softwares* na perspetiva do arquiteto, a nível de resultados obtidos (*outputs*), facilidade de utilização, rigor dos resultados, e a sua adequação a diferentes finalidades, tendo em conta um caso de estudo;
3. Efetuar recomendações para diferentes tipos de utilização, como a adequação à prática profissional e ao ensino da arquitetura;

Para o alcance dos objetivos propostos, foi necessária uma metodologia baseada na investigação teórica inicial, seguida de uma investigação prática, baseada num caso de estudo.

Foi realizada uma consulta bibliográfica de modo a compreender os programas e os conceitos teóricos e princípios subjacentes às suas diferentes ferramentas. Esta consulta baseia-se nas páginas da *internet* das empresas que geraram os programas em análise, como a página da Autodesk® referente ao Autodesk® Ecotect® Analysis [1] ou a página do DesignBuilder® [2], em alguns artigos referentes a análises comparativas deste género já realizadas, e também em livros que explicam os conceitos referentes aos programas.

A investigação prática baseou-se na utilização de *softwares* de simulação ambiental e energética como o *Autodesk® Ecotect® Analysis*, o *DesignBuilder®*, o *eQUEST®*, o *LT Portugal®* e o *VE-Gaia®*, estando alguns destes *softwares* disponíveis no LAB, e foi feita uma análise crítica, qualitativa e quantitativamente, de cada um. Para uma comparação mais completa, essa análise foi efetuada também através de um caso de estudo – O Pavilhão de Engenharia Civil do IST. A nível da análise quantitativa, apenas se obtiveram os valores reais do caso de estudo a nível de consumo energético e de emissões de CO<sub>2</sub>. No entanto, a nível de outras simulações, fez-se uma comparação, mas só entre os resultados obtidos pelos vários *softwares*.

Para melhor avaliar e objetivar os parâmetros escolhidos para a análise qualitativa realizou-se um questionário aos alunos do 4º ano de Arquitetura que frequentam a disciplina de Design Ambiental I (ano letivo 2010/2011), que se apresenta no Anexo A. Este questionário serviu também para um melhor entendimento da perspetiva de utilizadores que são estudantes de arquitetura sobre os *softwares* utilizados nas aulas (*Autodesk® Ecotect® Analysis*, *DesignBuilder®*, *LT-Portugal®*, *AutoCAD®* e *ArchiCAD®/Artlantis®*).

Após a análise e comparação dos vários *softwares*, verificaram-se qual ou quais os *softwares* mais acessíveis para uma prática arquitetónica corrente, isto é, facilmente manuseáveis, intuitivos e representáveis graficamente, mais “amigos do utilizador”, e quais aqueles que se dispõem a análises mais aprofundadas no âmbito de trabalhos de investigação.

As referências apresentadas nesta dissertação poderão ter de ser seguidas pelo utilizador que queira aprender mais sobre detalhes específicos de um determinado tema, ou mesmo para avaliar da sua perspetiva um *software* específico. A dissertação não contém todos os detalhes técnicos, sendo fornecidos alguns conceitos base para o entendimento geral do assunto que se trata e também uma gama de referências que o leitor pode seguir para algum detalhe mais técnico.

Esta dissertação divide-se em quatro capítulos. O 1º capítulo, onde é feita uma revisão bibliográfica e do estado da arte atual, relativamente a estudos comparativos já efetuados, destina-se ao enquadramento do tema, que, de uma forma condensada e simplificada, permite entender o que são programas de simulação ambiental. Para um melhor entendimento, também são descritos alguns conceitos subjacentes aos *softwares* em estudo. O 2º capítulo dedica-se à descrição geral dos programas selecionados e às razões dessas escolhas. No 3º capítulo desenvolve-se a comparação qualitativa e quantitativa dos *softwares*, descrevendo os objetivos, a metodologia aplicada, o caso de estudo, o processo de preparação dos modelos para as simulações e as características de cada um dos programas obtidos após a análise dos mesmos, através do caso de estudo. No 4º capítulo realiza-se a síntese dos resultados do capítulo anterior para se proceder a uma discussão dos resultados e à posterior recomendação dos *softwares* para situações específicas. Por último, são apresentadas as conclusões do trabalho.



## **1. ENQUADRAMENTO DOS *SOFTWARES* NA ARQUITETURA**

O presente capítulo tem como objetivo entender a importância dos programas informáticos (*softwares*) de Simulação Ambiental e Energética e o seu impacto na arquitetura, através da descrição da evolução do seu uso ao longo da história até à atualidade e quais as perspetivas futuras, da revisão do estado da arte a nível de estudos comparativos deste tipo de *softwares* e da definição de alguns conceitos base que são subjacentes a este tipo de *softwares*.

No entanto para um entendimento dessa importância e do seu impacto, é importante definir o conceito de Simulação Ambiental e Energética. O *The American Institute of Architects* [3] define-o como sendo a prática do uso de programas de computador para modelação e simulação da *performance* energética de um edifício inteiro ou os sistemas dentro do edifício. Esta modelação completa do edifício providencia informação valiosa sobre o edifício e o uso de sistemas energéticos, bem como os custos operacionais. Um aspeto importante deste tipo de modelação/simulação é que considera a interação entre os diferentes elementos do edifício, como o impacto da iluminação nos ganhos de espaço condicionado ou o impacto de iluminação natural nos ganhos de iluminação elétrica. O impacto de diferentes usos do edifício e padrões de ocupação também são considerados.

### **1.1. EVOLUÇÃO DO USO DE *SOFTWARES* DE SIMULAÇÃO AMBIENTAL**

Para entender a evolução do uso dos *softwares* de simulação ambiental é necessário entender o que é o Desenvolvimento Sustentável. Ao longo dos anos, várias definições foram encontradas. A que se descreve nesta dissertação foi definida no Relatório de Brundtland, publicado em 1987 [4]. Neste relatório define o Desenvolvimento Sustentável como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades. Este conceito aparece, inicialmente, no contexto da crise ambiental a nível mundial (1973) em conjunto com a eficiência energética dos edifícios. Deste modo, os arquitetos tiveram de começar a projetar os seus edifícios, pensando na redução do uso de recursos não-renováveis, na minimização do impacto ambiental e no comportamento térmico dos edifícios, ou seja, edifícios sustentáveis e eficientes termicamente. Assim, surge a necessidade de avaliar a sustentabilidade e eficiência dos mesmos, de um modo expedito e rápido, e a melhor maneira de o fazer é utilizando *softwares* de simulação ambiental e energética, pois os cálculos feitos à mão são morosos e por vezes pouco precisos, sendo também muito caros.

Segundo Mills [5, p.865] os *softwares* de simulação energética surgiram nos anos 70. Até então, as auditorias energéticas eram elaboradas à mão e a um custo significativo. Nos anos 80, os primeiros *softwares* de Análise e Desenho baseado em simulação de 1ª geração começaram a ser utilizados por investigadores e consultores. Os anos 90 foram marcados pela melhoria das ferramentas e a rápida proliferação de ferramentas destinadas a um espectro mais amplo de usuários, incluindo consumidores comerciais e residenciais, e pela chegada de ferramentas baseadas na *internet*. Esta afluência de utilizadores e o desenvolvimento dos *softwares* fez com que os preços das auditorias baixassem consideravelmente. Mills refere ainda que, apesar de das melhorias apresentadas ao longo do tempo, os *softwares* energéticos residenciais atingiram uma penetração de mercado muito baixa [p.866], devido à variedade de *softwares* existentes, que são desenvolvidos por diferentes equipas, não havendo uma unificação neste sentido. Apesar desta análise de Mills [5] ter sido feita em 2003, esta realidade ainda se verifica, pois atualmente existem cerca de 400 *softwares* de simulação ambiental e energética na página do Departamento de Energia dos EUA [6], quase todos os que existem a nível mundial. Isto implica uma enorme variedade de opções, de interfaces, interoperabilidade com programas de modelação, tipos de consumos considerados, entre outros, que leva a um conflito de resultados. No final, para os utilizadores, apesar de cada *software* até aparentar ser bastante avançado e interessante para a simulação energética de edifícios, é difícil escolher dada a extensa variedade. As descrições feitas pelos autores nem sempre são as mais explícitas e não é possível avaliar todos os *softwares* que pareçam adequados para a finalidade pretendida. Neste sentido, o estudo feito nesta dissertação é de extrema importância.

Devido à crise ambiental, sentida a nível mundial, foram criadas legislações ou normativas que visam reduzir os impactos das novas construções ou reabilitações, aumentando cada vez mais o número de utilizadores deste tipo de *softwares*, pois através da análise dos seus *outputs*, é possível verificar a concordância com as legislações vigentes, de uma maneira fácil e relativamente rápida.

Apesar desta mais-valia, hoje em dia ainda há muitos arquitetos que não utilizam este tipo de ferramentas no seu dia-a-dia, pois na maioria, quando projetam um edifício têm de ter em consideração uma grande variedade de fatores, sendo a eficiência energética e ambiental apenas um deles, e por vezes nem sequer é pensada, pois muitas vezes não têm o conhecimento necessário. Além disso, quando consideram este fator, normalmente só realizam as simulações já quando o edifício está totalmente definido. Este tipo de atitude leva a que caso sejam necessárias alterações, estas vão ser mais difíceis e mais caras, pois o pensamento de desenvolver um projeto sustentável não foi aplicado logo nos inícios de projeto, onde se podem evitar erros grosseiros. Outro motivo pela qual os arquitetos relutantemente usam este tipo de *softwares* é o facto de, muitas vezes, ser necessário um conhecimento profundo de análise numérica e térmica, o que não é muito comum nos arquitetos. Para além disso, são poucos os *softwares* que fazem recomendações para a melhoria a nível ambiental e energético dos edifícios, sendo necessário que o próprio utilizador dos *softwares* teste as várias soluções, o que, na maioria das vezes, se torna difícil numa fase avançada de projeto.

Assim, é importante, considerar as questões de eficiência energética e ambiental logo nos inícios de projeto, para minimizar as alterações no final. Deste modo, é de extrema importância que os *softwares* sejam flexíveis ao ponto de conseguirem fazer avaliações de projetos ainda no estado de conceptualização, quando se tem em consideração somente a forma, a orientação, a percentagem de envidraçado e o tipo de edifício que se está a projetar, isto é, sem ter muitos dados de entrada (*inputs*), obtendo resultados que, embora não muito precisos, consigam dar uma noção geral da eficiência, conforme várias soluções. Não obstante, devem também conseguir fazer avaliações quando os projetos já atinjam estados de desenvolvimento mais detalhado, onde há mais informação para uma simulação mais precisa.

Apesar de nas últimas décadas o uso destas ferramentas não ter sido muito popular, atualmente esses valores começam a aumentar e prevê-se que estas ferramentas farão parte do dia-a-dia de cada *atelier*. Esta realidade não se deve apenas à existência de legislações, que vão ser cada vez mais restritas, mas também ao facto de a tecnologia estar a evoluir vertiginosamente, levando a um aperfeiçoamento dos cálculos dos *softwares* combinado com um interface apelativo e de fácil utilização. Apesar de atualmente ainda não ser uma realidade para todos os *softwares*, prevê-se que o desenvolvimento deste tipo de ferramentas evolua ao ponto de fazer uma análise do edifício e indicar quais as melhores soluções para uma otimização dos consumos e conforto, possibilitando ao arquiteto a escolha da solução que mais lhe agrada, tendo em conta o design e os consumos. Isto iria aumentar o número de utilizadores deste tipo de ferramentas em grande escala.



## 1.2. ANÁLISES COMPARATIVAS EXISTENTES

Nas últimas décadas centenas de *softwares* de simulação ambiental e energética tem sido desenvolvidas e melhoradas para o uso da comunidade. Atualmente, na página do Departamento de Energia dos Estados Unidos da América [6] existem mais de 400 *softwares* de simulação ambiental e energética. Cada um destes *softwares* tem uma breve descrição, que tipo de utilizadores a que se destina, o tipo de inputs que necessita, o tipo de *outputs* que gera, o conhecimento necessário, as fraquezas e os pontos fortes. Estes pequenos parâmetros servem para uma breve introdução ao tipo de *software* com que se está a lidar.

Ao longo dos anos, para um melhor desenvolvimento destas ferramentas, surgiu a necessidade de compará-las para entender o que seria necessário melhorar em cada uma delas.

Atualmente existem vários estudos efetuados neste campo. No entanto, nenhum foi feito em Portugal e, considerando que apenas à relativamente pouco tempo os arquitetos começaram a explorar este tipo de ferramentas, os estudos comparativos que se realizaram têm uma linguagem muito técnica, e raramente têm em consideração o utilizador. Daí a necessidade de realizar este estudo.

Foram encontrados alguns estudos interessantes que ajudaram a desenvolver esta dissertação. Em 1997, Crawley *et. al* [7], realizaram dois workshops sobre a próxima geração de *softwares* de simulação energética, sendo um direcionado para programadores e outro para utilizadores. Os *workshops* serviram para o desenvolvimento de um novo *software*, com capacidades muito superiores às do *softwares* existentes na altura, obtendo informação da perspectiva de utilizadores e de programadores. Cada *workshop* estava dividido em três sessões: Aplicações, Capacidades e Métodos e Estruturas, para o *workshop* dos programadores, e Aplicações, Capacidades e Interface dos Utilizadores, para o *workshop* dos utilizadores. O objetivo era encontrar novas ideias para o desenvolvimento de um *software* melhor e mais complexo, onde o âmbito era a simulação dos processos dos ciclos de vida dos edifícios que influenciam a performance energética e a sustentabilidade ambiental. No entanto, o resultado foi diferente do esperado, pois grande parte dos utilizadores e dos programadores não sugeriram novas ideias. As ideias geradas eram relacionadas com os problemas básicos das ferramentas e que deveriam ser melhorados antes de qualquer avanço tecnológico. Este estudo permitiu um grande avanço no desenvolvimento deste tipo de ferramentas, pois atualmente crê-se que esses problemas já estão bastante minimizados, pois a evolução que decorreu ao longo dos últimos anos, após esses *workshops*, foi bastante acentuada. Além disso, há cada vez mais equipas a desenvolver e melhorar este género de *softwares*, pois o interesse nestes temas é cada vez mais forte.

Em 2000, Ellis e Mathews [8] fizeram um estudo para o desenvolvimento de uma ferramenta de simulação térmica desenhada para arquitetos. Este estudo realça a importância de que os *softwares* devem considerar os inícios de projeto para um arquiteto escolher a melhor opção, sem grandes custos, *inputs* complexos e *outputs* simples de entender. A ferramenta era simples, pois o número de *inputs* era reduzido e eram definidos de maneira a que os arquitetos se pudessem relacionar com eles. Este estudo realça também a importância do *software* ser amigo do utilizador, fácil de utilizar, obter *outputs* rápidos (mais importante que o rigor) e ter várias alternativas disponíveis. Assim, com este artigo, é possível entender melhor quais as necessidades de um arquiteto perante este tipo de ferramentas, fator crucial para o desenvolvimento desta dissertação.

Em 2002, Woolf [9] realiza um artigo onde faz uma breve descrição de uma ferramenta de projetos de energia renovável direcionada para arquitetos, o *Renew*, fazendo também uma pequena comparação com outras duas ferramentas e descrevendo sumariamente as vantagens e desvantagens obtidas. Neste artigo Woolf refere que grande parte dos arquitetos está a tentar projetar edifícios que são mais económicos no seu uso energético. Para reduzir o impacto ambiental dos seus edifícios, os arquitetos começam-se a virar para a integração de sistemas de energias renováveis nos seus edifícios, que muitas vezes requer o conhecimento específico, que um arquiteto não possui e as ferramentas existentes são muitas vezes orientadas para a otimização de projetos detalhados. A criação desta ferramenta tem a intenção de ser direcionada para arquitetos, sendo interativa, de rápida configuração, não sendo necessária informação detalhada ou conhecimento técnico, o que permite comparações simples e transparentes entre diferentes tecnologias. Sendo uma ferramenta direcionada para o edifício e não para os sistemas, possibilita a configuração de diversas tecnologias de energias renováveis, trabalhando em conjunto para servir o edifício. Este artigo, apesar de ser somente direcionado para sistemas de energia renováveis, é bastante interessante visto perceber-se como uma ferramenta pode funcionar tendo em conta o arquiteto, uma visão bastante importante para o desenvolvimento desta dissertação.

Em 2002, Mills [5] realiza um estudo direcionado à comparação entre vários *softwares* de simulação energética América do Norte, a nível residencial. A comparação é realizada entre 65 *softwares* existentes, tendo em conta vários parâmetros, que ajudaram ao desenvolvimento da análise qualitativa desta dissertação. Os parâmetros principais apresentados neste artigo são: Informação Geral sobre o *software*, Características Técnicas a nível geral do edifício, das Fachadas, dos Sistemas AVAC, dos Aparelhos principais, dos Usos Finais Diversos, do Efeito dos Ocupantes, dos Cálculos e Conteúdo e da Análise Económica, Métodos e Detalhes de Análise Energética, Características Predefinidas, *Outputs* e Serviços de Suporte/Ajuda. Apresenta quadros relativamente detalhados, com informação que nos deixa entender um pouco melhor cada *software* que ele analisou. Chega a conclusões bastante interessantes, como o facto de a alteração de *inputs* nem sempre resultar na alteração expectável no uso energético, que os programas impõem escolhas desconcertantes e muitas vezes requerem *inputs* confusos e que diferentes utilizadores chegam a diferentes resultados, devido ao julgamento e conhecimento de cada um. Estas conclusões servem de base para ver se os *softwares* atuais tiveram alguma melhoria ou se, no final, se chega à mesma conclusão. Este estudo não tem em conta o arquiteto como utilizador, o que leva a uma análise mais técnica e complexa.

Em 2005, Crawley *et al* [10] realizam um relatório detalhado da comparação das características e capacidades dos vinte maiores programas de simulação energética. Neste estudo estão incluídos o *Autodesk® Ecotect® Analysis*, na altura ainda pertencente ao grupo *Square One*, o *eQUEST®* e o *IES-VE®* (o *VE-Gaia®* é parte integrante deste *software*). Os principais parâmetros avaliados neste relatório foram Características Gerais de Modelação, Cargas de Zonas, Fachadas do Edifício e Iluminação Natural, Infiltração, Ventilação e Fluxo de Ar de Zonas Múltiplas, Sistemas de Energia Renovável, Sistemas Elétricos e Equipamentos, Sistemas AVAC, Equipamentos AVAC, Emissões Ambientais, Avaliação Económica, Disponibilidade de Dados Climáticos, Relatório de Resultados, Validação e Interface do Utilizador, Ligações para outros programas e Disponibilidade. Apesar deste estudo também não ter em consideração o arquiteto como utilizador, foi bastante importante para o desenvolvimento desta tese, pois é um estudo bastante complexo, apresentam quadros com parâmetros detalhados e inclui três dos cinco *softwares* a serem analisados nesta dissertação (apesar de versões anteriores). Alguns dos parâmetros deste relatório são considerados na análise qualitativa.

Em 2009, Parker e Cummings [11] apresentam um relatório sobre a comparação entre dois programas de simulação energética – o *EnergyGauge USA®* e o *BEopt®*. Neste estudo, eles é realizada uma análise quantitativa bastante ampla, em que comparam em vários parâmetros os resultados obtidos por cada *software*, para verificar o rigor de cada *software* relativamente a cada parâmetro. Os parâmetros escolhidos são bastante específicos, por vezes sendo o tipo de isolamento ou a espessura de um determinado material, sendo uma abordagem um pouco diferente da pretendida.

Todos os artigos/relatórios referidos que comparam ferramentas deste género, apesar de interessantes e importantes para o desenvolvimento desta dissertação, não tiveram em consideração o arquiteto como utilizador e são bastante complexos. No entanto, em 2004, surge um relatório realizado por arquitetos, Lam *et al* [12], sobre a comparação de *softwares* de simulação energética, tendo em conta as fases iniciais de projeto. Este é o estudo mais importante e de onde vai ser retirada a maior parte dos parâmetros para a análise qualitativa. Os parâmetros principais utilizados pelos autores são características relacionadas com os Sistemas, Extensão para outros *softwares*, Funcionalidade, Utilizador, Modelação a nível da Informação do Projeto, da Modelação do Edifício e dos Sistemas de AVAC, e Resultados de *Outputs*. Neste relatório são analisados 5 *softwares*, estando incluídos o *eQUEST®* e o *Autodesk® Ecotect® Analysis*. A matriz utilizada na análise qualitativa é bastante útil para o desenvolvimento desta dissertação, pois os parâmetros são escolhidos por arquitetos, os resultados tem a perspetiva de arquitetos e as conclusões são feitas por arquitetos, dando um melhor entendimento da perspetiva do arquiteto sobre o assunto no geral.

Finalmente, com todos os artigos encontrados sobre comparação de *softwares* de simulação energética, foi possível reunir vários parâmetros pertinentes para uma avaliação qualitativa com qualidade e conseguiu-se considerar vários aspetos valiosos para um melhor entendimento da perspetiva do arquiteto inserido neste tema. Considerando todos os artigos consultados, o estudo realizado nesta dissertação é de extrema importância, pois é algo novo que se realiza a nível nacional e que é ainda pouco realizado no exterior, isto é, a nível da perspetiva do utilizador, o arquiteto, e das recomendações que se efetuam após a análise crítica a cada *software*.

### 1.3. CONCEITOS BASE

Segundo o *American Institute of Architects* [3] existem variados aspetos a considerar nos usos energéticos de um edifício, incluindo o contexto geográfico e climático, funções e horários de ocupação, definição da envolvente do edifício e o desenho do sistema de AVAC, técnicas de conservação de energia, entre outros.

Infelizmente, hoje em dia quase todos os *softwares* apenas simulam os edifícios em estudo, mas não dão sugestões do que se poderia melhorar para um melhor desempenho do edifício. Por isso são os próprios utilizadores que necessitam de interpretar os resultados obtidos para saber exatamente o que se deve alterar para melhorar o desempenho do edifício. Ou seja, é necessário um conhecimento básico de que é que os *softwares* tratam e que conceitos estão por detrás das análises que efetuam para poderem realizar alterações informadas e pertinentes.

De seguida, apresenta-se uma versão simplificada de alguns dos conceitos base subjacentes aos *softwares*. Para um entendimento geral destas noções básicas foram-se buscar referências ao RCCTE [13] e ao RSECE [14], que são os regulamentos aplicados em Portugal.

#### CONSUMO ENERGÉTICO

Para o cálculo do consumo energético, é necessário ter em conta vários aspetos, como foi já referido. Os principais aspetos são o contexto geográfico e climático, os sistemas de climatização e o cálculo térmico do edifício, que engloba os conceitos de perdas por pontes térmicas, por ventilação, pela envolvente (cobertura, paredes e solo), ganhos internos e ganhos solares.

O contexto geográfico é muito importante, pois, no caso de Portugal, para o cálculo térmico, o país está dividido por zonas, tendo cada zona características diferentes associadas. As zonas são divididas em zonas de Verão e Inverno e cada uma delas em zonas 1, 2 e 3, e nas zonas de Verão ainda são subdivididas em Norte ou Sul.

O contexto climático é outro fator bastante importante para o cálculo do consumo energético de um edifício, pois é através das informações fornecidas a nível de temperaturas, de humidades e de ventos, que permite saber quais as melhores soluções arquitetónicas a aplicar para o tipo de clima apropriado. Além disso, também são importantes para o cálculo térmico.

Os sistemas de climatização são o conjunto de equipamentos combinados de forma coerente com vista a satisfazer um ou mais dos objetivos da climatização (ventilação, aquecimento, arrefecimento, humidificação, desumidificação e purificação do ar). No caso de os satisfazer todos, tem-se o ar condicionado. [14, p. 2431]. São outro fator bastante importante para o cálculo do consumo energético, pois são os principais causadores de consumo energético dos edifícios, visto a maioria dos edifícios estar mal pensado para o clima a que se adequa. Os principais combustíveis utilizados para estes sistemas são a eletricidade e/ou o gás natural.

Para o cálculo térmico é necessário saber alguns termos. Esses termos são retirados das apresentações da disciplina de Física das Construções, efetuadas pelo professor Rodrigues [15], pois são bastante claras e simples de entender.

“A nível da termodinâmica existem duas leis que se seguem para o cálculo térmico dos edifícios.

Lei Zero: Ocorre transferência de calor entre dois sistemas em contato térmico se as suas temperaturas tiverem valores diferentes. De contrário, diz-se que os sistemas estão em equilíbrio térmico.

2ª Lei: O calor não passa espontaneamente de um corpo a menor temperatura (frio) para outro a maior temperatura (quente). O calor fluirá do sistema mais quente para o sistema mais frio, até ser restabelecido o equilíbrio térmico.

Para a transmissão de calor entre corpos existem 3 métodos: Condução, Convecção e Radiação.

A condução térmica ocorre por via de vibrações ou colisões entre partículas, que assim transferem energia das zonas mais quentes (maior energia) para as zonas mais frias (menor energia). A condução térmica entre duas regiões exige contato físico entre elas. Em térmica dos edifícios a hipótese de fluxo unidimensional aplica-se em zonas correntes de construção. Em zonas de mudanças de geometria ou propriedades dos materiais, o fluxo de calor é multidimensional, originando pontes térmicas. As pontes térmicas podem constituir um fator importante de redução da qualidade térmica numa construção, não só pelo acréscimo de perdas (ganhos) de calor mas também porque cresce o risco de condensações. Nas pontes térmicas as temperaturas são mais baixas no paramento interior e mais altas no exterior relativamente à zona corrente.

A convecção térmica não envolve transferência microscópica de calor, por átomos ou moléculas, como na condução. O fluxo de calor é devido a um movimento macroscópico de matéria de uma região quente para outra fria. O movimento pode ser natural ou forçado. Em térmica dos edifícios distinguem-se duas situações típicas de transferência de calor por convecção: ar-sólido e ar-ar. Na primeira ocorrem trocas de calor entre o ambiente (interno e externo) e as superfícies da envolvente (paredes, tetos, pavimentos). Na segunda ocorrem trocas de calor entre massas de ar exterior e interior, através das aberturas da envolvente (ventilação através de janelas, condutas; infiltrações através de frinchas, juntas).

A radiação térmica é a radiação eletromagnética emitida por um corpo causada pela temperatura a que se encontra. Quando a radiação incide sobre uma superfície é em parte refletida, transmitida e absorvida. A parcela de radiação que altera a temperatura da superfície é a radiação absorvida. A troca de calor por radiação entre duas superfícies ocorre mesmo que não exista um meio físico a separá-las. É um processo que ocorre no vácuo.

O balanço energético de um espaço para o caso de temperatura controlada por termostato é:

***Energia Auxiliar = Perdas através da Envolvente<sup>1</sup> (condução, convecção, radiação) – (Ganhos Solares + Ganhos Internos)***

Este balanço pode ser considerado nas estações de aquecimento e de arrefecimento, tendo diferentes valores para cada estação.

Na estação de aquecimento, o balanço é representado pelas necessidades de aquecimento, demonstrada na seguinte fórmula:

$$1. N_{ic} = Q_t + Q_v - Q_{gu},$$

sendo  $Q_t$  as perdas por condução pela envolvente,  $Q_v$  as perdas por renovação de ar e  $Q_{gu}$  os ganhos de calor úteis.

As perdas por condução pela envolvente englobam as perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior, as perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçados e pavimentos em contacto com locais-não aquecidos, as perdas de calor pelos pavimentos e paredes em contacto com o solo e as perdas de calor pelas pontes térmicas existentes no edifício.

Os ganhos de calor úteis incluem os ganhos internos e os ganhos solares.

Os ganhos térmicos internos incluem qualquer fonte de calor situado no espaço a aquecer, excluindo o sistema de aquecimento, nomeadamente: ganhos de calor associado ao metabolismo dos ocupantes e calor dissipado nos equipamentos e nos dispositivos de iluminação.

Na estação de arrefecimento, o balanço é representado pelas necessidades arrefecimento, demonstrada na seguinte fórmula:

$$2. N_{vc} = (1 - \eta) \cdot Q_g,$$

Sendo  $Q_g$  os ganhos brutos e  $\eta$  o fator de utilização.

---

<sup>1</sup> Envolvente — componente do edifício que marca a fronteira entre o espaço interior e o ambiente exterior. Está intimamente ligada à arquitetura e à construção da «pele» do edifício propriamente dita mas também depende das relações físicas desta com as fundações, a estrutura e os demais elementos construtivos. [14, p. 2430]

O fator de utilização representa a fração dos ganhos utilizáveis para o conforto. Os ganhos brutos englobam os ganhos por condução através da envolvente, os ganhos solares através dos envidraçados, os ganhos por renovação do ar e os ganhos internos.”

No global, são contabilizados todos estes fatores para um consumo total energético do edifício.

A nível de emissões de CO<sub>2</sub>, estes podem ser calculados tendo em conta o resultado dos consumos de energia, através de fatores de conversão. Estes fatores consideram um mix energético e são publicados anualmente (a nível nacional). A título de curiosidade, este ano o valor desse fator é 0,47kgCO<sub>2</sub>/kWh<sup>2</sup>.

## ILUMINÂNCIA

A nível de iluminação, nesta dissertação consideram-se as análises da Iluminância, em termos de luz natural. Tal como a nível do consumo energético, consideraram-se os termos retirados das apresentações da disciplina de Física das Construções, efetuadas pelo professor Rodrigues [16], pois são bastante claras e simples de entender.

“A luz o dia que entra num edifício resulta: da iluminação direta da abóbada celeste, da iluminação direta do sol e da iluminação refletida do solo e das outras superfícies. Para o projeto de iluminação natural existem 3 modelos de céu que podem ser utilizados para o cálculo das luminâncias:

Distribuição Uniforme de Luminância, que representa um céu de luminância constante, correspondendo a uma situação de céu encoberto com nuvens espessas, em que o sol não é visível; Distribuição Padrão de Céu Encoberto, em que a luminância não é uniforme, correspondendo a uma situação de céu coberto com nuvens ligeiras numa atmosfera limpa, em que o sol não é visível; Distribuição de Céu Limpo, que é um modelo de luminância variável, correspondendo a uma situação de céu limpo. O efeito da posição do sol é considerado mas não a sua luz direta.

A luminância (L) é dada pela razão entre a intensidade luminosa e a área da superfície aparente.

O fluxo luminoso ( $\phi$ ) é a potência da fração visível da radiação eletromagnética emitida ou recebida por um corpo. As unidades desta grandeza são os lumens.”

A iluminância (E), ou iluminação, é o fluxo luminoso incidente numa superfície, por unidade de área dessa superfície. A unidade base desta grandeza é lumen/m<sup>2</sup>, que equivale a 1 lux. Esta representa-se pela seguinte fórmula:

$$3. E = \frac{\phi}{A}$$

em que A é a área projetada em m<sup>2</sup>.

---

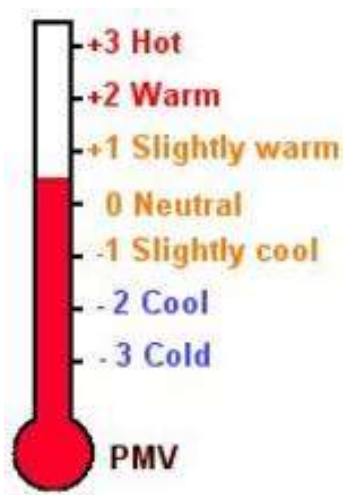
<sup>2</sup> O valor é retirado do Despacho nº 17313/2008 do SGCIE [17]

## CONFORTO TÉRMICO - PMV

No que respeita ao cálculo de conforto térmico, existem vários modelos que se podem seguir. Nesta dissertação vai-se fazer a análise comparativa dos outputs obtidos pelo modelo de cálculo do índice *Predicted Mean Vote* (PMV), que é o único comum a alguns dos *softwares* a analisar.

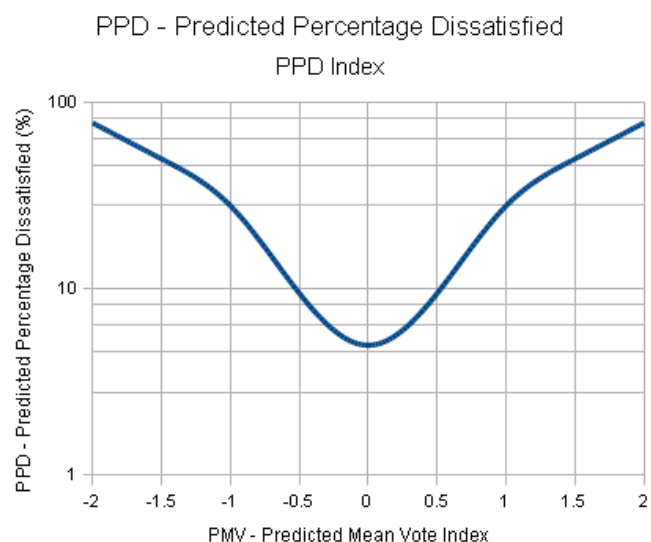
Este modelo foi desenvolvido por P. O. Fanger, um especialista na área dos efeitos que ambientes interiores tem na saúde. O modelo PMV combina quatro variáveis físicas (temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura radiante média e humidade relativa) e duas variáveis pessoais (isolamento da roupa e níveis de atividade) num índice que pode ser utilizado para prever o conforto térmico. O índice fornece uma pontuação que corresponde à escala de sensibilidade térmica da ASHRAE, e representa a sensibilidade térmica média sentida por um grande grupo de pessoas num espaço [18]. A escala de sensibilidade térmica é representada na figura 1.

Pode-se estabelecer uma relação entre o PMV e a percentagem prevista de insatisfação (PPD). A PPD é medida quantitativa do conforto térmico de um grupo de pessoas num ambiente térmico particular [19]. A relação que pode estabelecer está representada na figura 2, onde se verifica que à medida que o valor do PMV se afasta do 0, tanto na direção positiva como na negativa, a PPD aumenta. É de notar que mesmo com PMV = 0, pelo menos aprox. 5% das pessoas vai estar insatisfeita com o clima térmico do espaço.



**Figura 1:** Escala de Sensibilidade Térmica

Fonte: <http://lumasenseinc.com/EN/products/thermal-comfort/pmv-calculation/>



**Figura 2:** Relação PPD – PMV

Fonte: [http://www.engineeringtoolbox.com/predicted-mean-vote-index-PMV-d\\_1631.html](http://www.engineeringtoolbox.com/predicted-mean-vote-index-PMV-d_1631.html)



## CONCEITOS TERMOFÍSICOS

Na definição das características termofísicas dos materiais do caso de estudo, que se encontra mais adiante, são definidos alguns conceitos que vão ser explicados de modo geral neste capítulo. São conceitos mais técnicos que permitem a caracterização nos *softwares* dos materiais, de maneira uniforme para todos eles, levando a resultados com menor margem de erro. Os conceitos são os seguintes:

- **Resistência Térmica** de um elemento, que representa o inverso da quantidade de calor por unidade de tempo e por unidade de área que atravessa o elemento por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces. [13, p 2477]
- **Condutibilidade Térmica**, que é uma propriedade térmica típica de um material homogêneo que é igual à quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma camada de espessura e de área unitárias desse material por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces. [13, p 2476]
- **Massa Específica** é a razão entre a massa (m) de uma quantidade da substância e o volume (V) correspondente. [20]
- **Calor Específico**, que consiste na quantidade de calor que é necessário fornecer à unidade de massa de uma substância para elevar a sua temperatura de um grau e expressa-se em calorias por grama e por grau, ou no sistema SI, em Joules por quilograma por grau. [21]
- **Fator Solar**, que é o quociente entre a energia solar transmitida através do vidro para o interior e a energia solar nele incidente. [13, p.2476]
- **Coefficiente de Transmissão Térmica (U)**: é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa. [13, p. 2475]



## **2. *SOFTWARES* DE SIMULAÇÃO AMBIENTAL E ENERGÉTICA**

Atualmente existem centenas de *softwares* de simulação energética, ambiental e sustentável de edifícios, tendo cada um características específicas. Nesta dissertação pretende-se fazer uma comparação de alguns desses *softwares*, tendo sido escolhidos os mais pertinentes, tendo em conta que o utilizador final é o arquiteto. Neste capítulo faz-se uma breve descrição dos programas de análise de desempenho ambiental que são utilizados para o desenvolvimento desta dissertação, a razão da escolha dos mesmos e a facilidade com que cada *software* se pode obter.

Salienta-se que para a instalação de todos os *softwares*, bastou fazer o *download* da página correspondente e ativá-lo (caso seja necessário) com a licença apropriada, à exceção do LT-Portugal® que foi fornecido diretamente por um dos criadores da ferramenta. As descrições que se seguem foram retiradas, não integralmente, das páginas de internet [1] [2] [22] [23] correspondentes a cada *software*.

Na seguinte tabela encontram-se as informações respetivas a quem desenvolveu cada *software*, as versões e licenças utilizadas e a língua em que se apresentam.

**Tabela 1:** Informações dos *softwares*, sobre criadores, versões utilizadas e língua que apresentam

Fonte: Autor

<b>SOFTWARE</b>	<b>DESENVOLVIDO POR</b>	<b>VERSÃO/LICENÇA</b>	<b>LÍNGUA</b>
<b>Autodesk® Ecotect® Analysis</b>	<i>Square One Research</i> , recentemente adquirido pela <i>Autodesk®</i>	Versão 2011, Licença Educacional	Inglês
<b>DesignBuilder®</b>	<i>DesignBuilder® Software Ltd</i>	Versão 3.0.0.048, Licença Profissional	Inglês, Francês e Alemão <sup>3</sup>
<b>eQUEST®</b>	<i>James J. Hirsh® and Associates</i>	Versão 3.64, Licença Freeware	Inglês
<b>LT-Portugal®</b>	Projeto LT-Portugal: Nick Baker (Univ. Cambridge), Manuel Correia Guedes (IST), Nabeel Shaikh (Univ. Cambridge), Luís Calixto (IST) e Ricardo Aguiar (LNEG).	Versão 1.0, Licença Profissional	Português
<b>VE-Gaia®</b>	<i>Integrated Environmental Solutions (IES)</i>	Versão 6.4.0.8, Licença Educacional	Inglês

<sup>3</sup> Supostamente este *software* teria a possibilidade de se apresentar em mais três línguas: o italiano, o espanhol e o português. No entanto, para os dois primeiros é necessária uma licença especial e o último simplesmente não funciona, apresentando-se igualmente em inglês.

## 2.1. AUTODESK® ECOTECT® ANALYSIS

O Autodesk® Ecotect® Analysis é um *software* muito utilizado em várias Faculdades de Arquitetura, tendo sido, inclusivamente, utilizado nas aulas de *Design Ambiental I e II*, lecionadas no Mestrado em Arquitetura do Instituto Superior Técnico. Este simulador é uma solução de análise de *design* sustentável com ferramentas de trabalho direcionadas para o arquiteto, que ajudam a quantificar o impacto dos fatores ambientais sobre o desempenho de um edifício. O *software* facilita a condução das simulações e a visualização dos resultados, isto é, a interação e interpretação.

Através da modelação em Revit® ou ArchiCAD (formato gbXML), é possível a importação dos ficheiros 3D, sem grandes necessidades de remodelar o projeto no Autodesk® Ecotect® Analysis o que se revela uma das falhas em relação ao AutoCAD® (formato DXF), *software* utilizado por grande parte dos utilizadores.

O Autodesk® Ecotect® Analysis inclui uma variedade de análises, podendo-se considerar satisfatoriamente completo, sendo utilizado nas situações mais correntes, quando não é necessário um aprofundamento de algum parâmetro mais específico. Para esse aprofundamento, existe a opção de exportação para outros *softwares* de simulação energética e ambiental considerados mais rigorosos a nível de cálculo. Tem como suas principais áreas de estudo: Ventilação Natural, Desempenho Térmico, Conforto Térmico, Radiação Solar, Impacto Visual, Sombreamento, Fator luz-dia e Iluminância e Análise Acústica.

Este é dos poucos programas que foi desenvolvido por arquitetos e para arquitetos, fornecendo *outputs* mais apelativos e de maior facilidade de interpretação, sendo uma das principais razões para escolher este programa. A outra razão é o facto de ser um dos programas lecionados nas aulas de *Design Ambiental I e II*, havendo uma maior familiaridade com o mesmo.

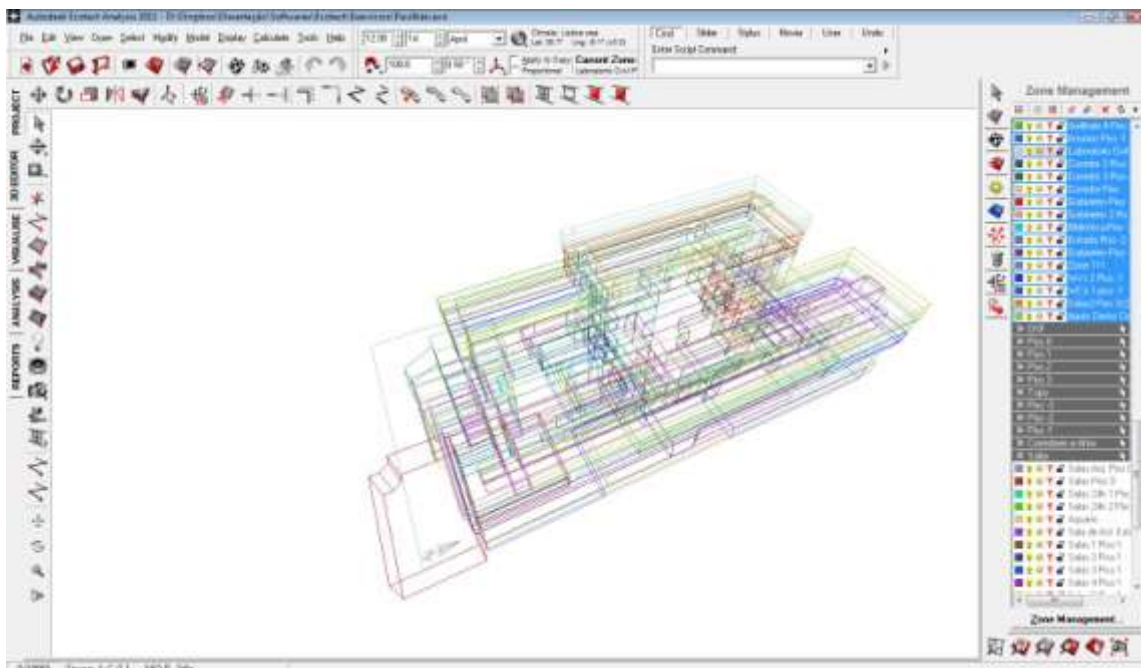
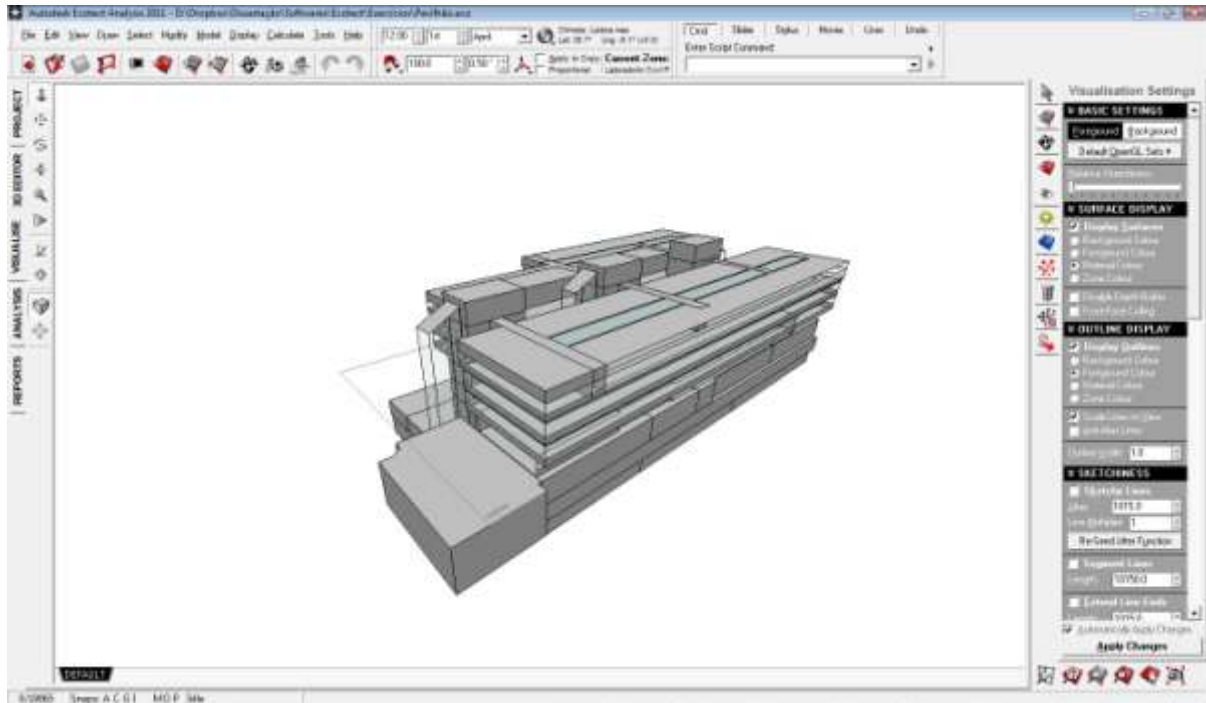


Figura 3: Interface 1 do Autodesk® Ecotect® Analysis

Fonte: Autor

Este *software* tem uma licença educacional grátis, válida por 3 anos. Para obter-se esta licença, basta registrar-se na página da Autodesk® Ecotect® Analysis [1]. Existe também um trial de 30 dias, para quem não é estudante, para a exploração do *software* e das suas capacidades.



**Figura 4:** Interface 2 do Autodesk® Ecotect® Analysis

Fonte: Autor

## 2.2. DESIGNBUILDER®

O *DesignBuilder*® é também muito popular nas faculdades de Arquitetura, e também foi utilizado nas aulas de *Design Ambiental I e II*. É um *software* fácil de usar, permitindo o desenho de edifícios complexos por utilizadores menos experientes. Utiliza uma simulação energética dinâmica bastante avançada, pois tem como base o *Energy Plus*®, um programa de cálculo bastante rigoroso. Oferece dados do comportamento físico e ambiental do edifício, uma simulação detalhada e uma visualização imediata e realística. No entanto, na importação de ficheiros 3D, verifica-se o mesmo problema que no *Autodesk® Ecotect® Analysis*.

As suas principais análises são: cálculo do consumo energético, simulação térmica em edifícios ventilados naturalmente, conforto térmico, fator luz-dia e iluminância, sombreamento e cálculo de equipamentos de aquecimento e arrefecimento.

As principais razões para a escolha deste *software* foram o facto de ter um programa base para os cálculos bastante robusto e rigoroso (*Energy Plus*®), mas sem a necessidade de interação com o mesmo, além da familiaridade adquirida nas aulas.

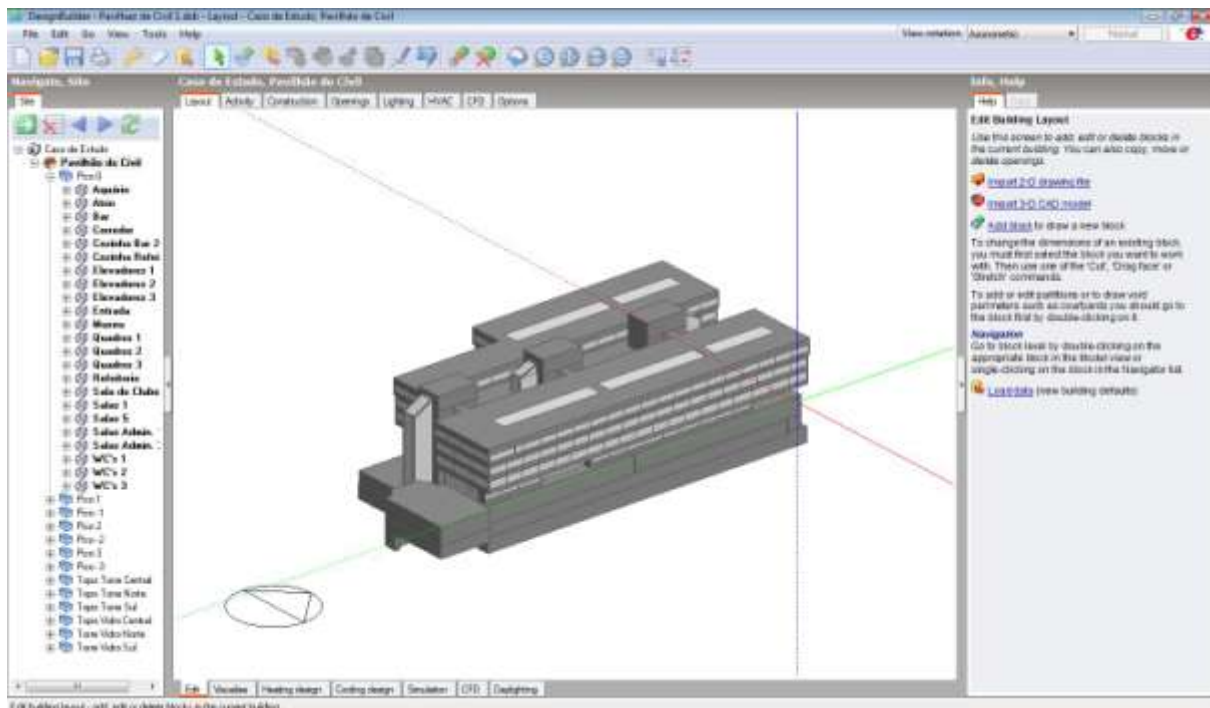
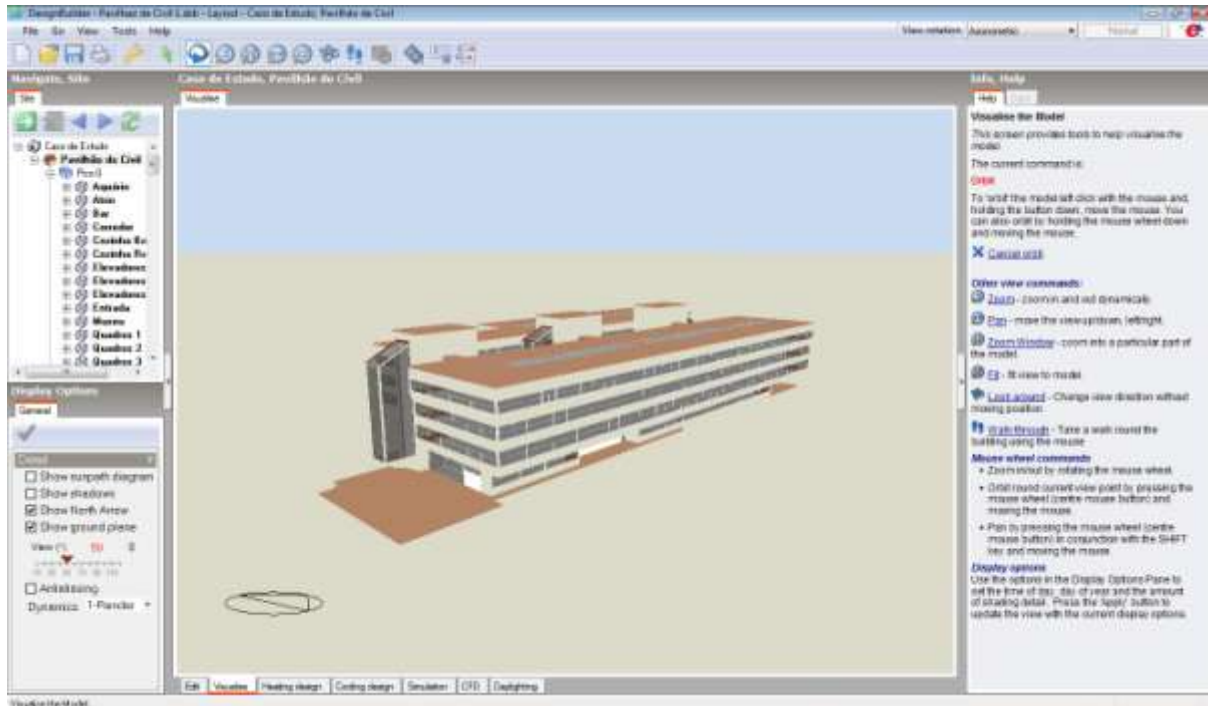


Figura 5: Interface 1 do *DesignBuilder*®

Fonte: Autor

Este *software* possui uma licença educacional, mas no entanto, não é gratuita. No entanto, para o âmbito desta tese, os responsáveis pelas vendas do programa forneceram uma licença de três meses, com todos os módulos disponíveis, renovando-a uma vez mais, dando um total de seis meses de utilização gratuita. Existe também um trial de 30 dias, para quem queira explorar as capacidades deste *software*.



**Figura 6:** Interface 2 do DesignBuilder®

Fonte: Autor



## 2.3. eQUEST®

O eQUEST® é um *software* que utiliza a tecnologia do DOE-2®, que tal como o Energy Plus®, é um dos programas de cálculo mais robustos e rigorosos utilizados atualmente, tornando-o um programa completo e sofisticado, mas de mais fácil utilização. É direcionado para obter análises detalhadas, a nível profissional, de uma maneira relativamente rápida e eficaz. Os resultados obtidos podem ser expressos por diversos formatos de gráficos, sendo possíveis múltiplas simulações, expondo os gráficos dos resultados das várias simulações, permitindo uma otimização dos resultados. Tem como principais análises cálculo de necessidades de aquecimento e arrefecimento e simulação de custos do ciclo de vida do edifício, fornecendo também análises comparativas de variadas soluções.

Como utiliza o DOE-2 como base de cálculo, um programa rigoroso e atual, torna-se interessante incluí-lo na análise comparativa, pois dá uma maior dinâmica à mesma, sendo a principal razão para a escolha deste *software*. Sendo um interface do DOE-2 não tem que lidar com as dificuldades de manuseamento desse mesmo programa, torna-se mais uma razão para a escolha deste *software*.

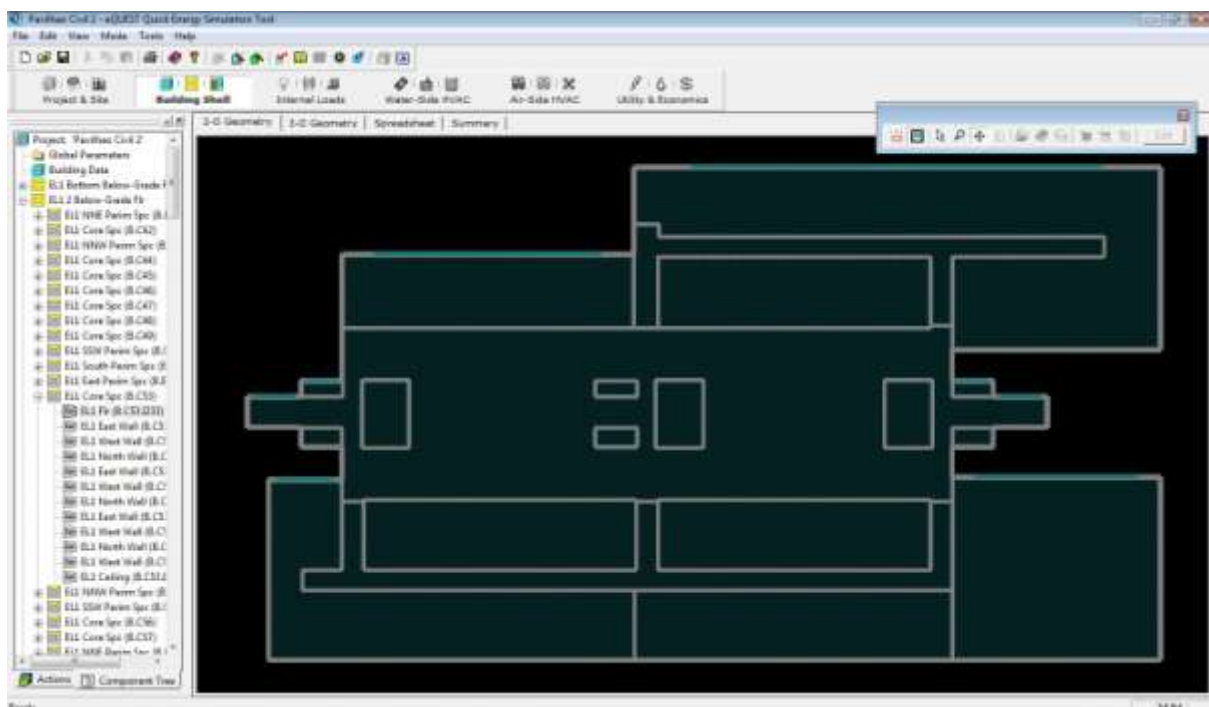
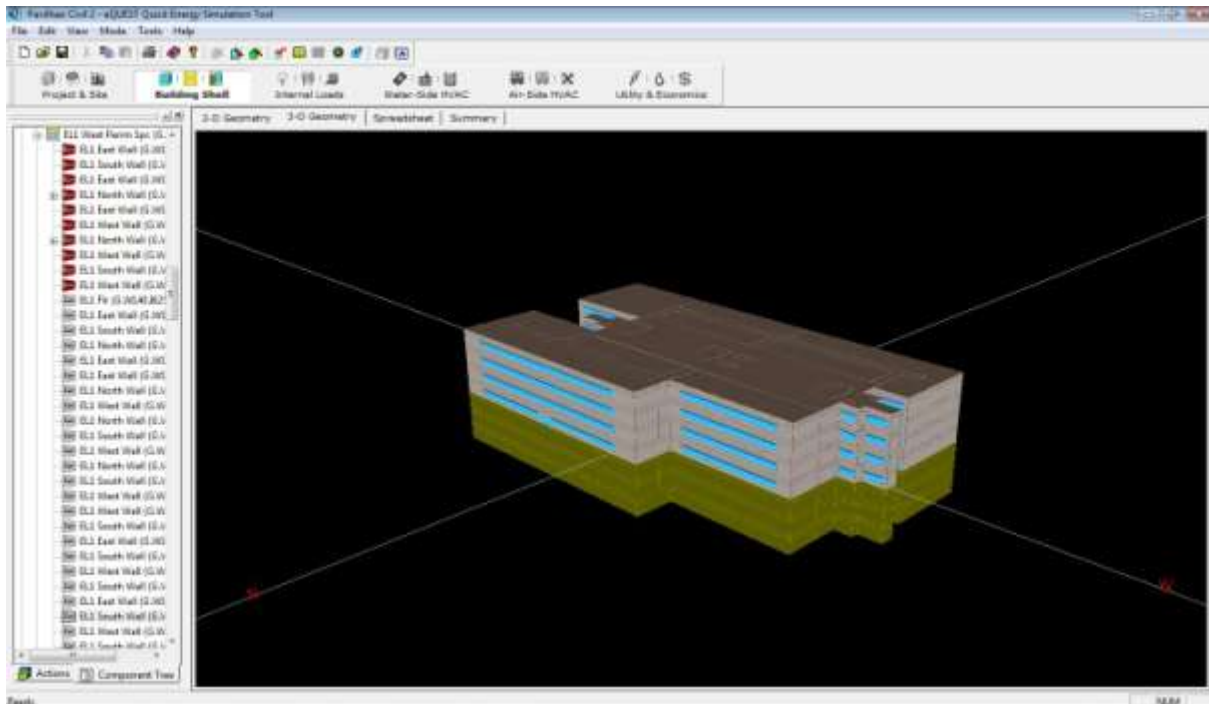


Figura 7: Interface 1 do eQUEST®

Fonte: Autor

Este *software* é *freeware*, não necessitando de qualquer tipo de licença para a sua utilização. No entanto, é necessário referir sempre que o *software* é patenteado por James J. Hirsh® e Associados, criadores do mesmo.



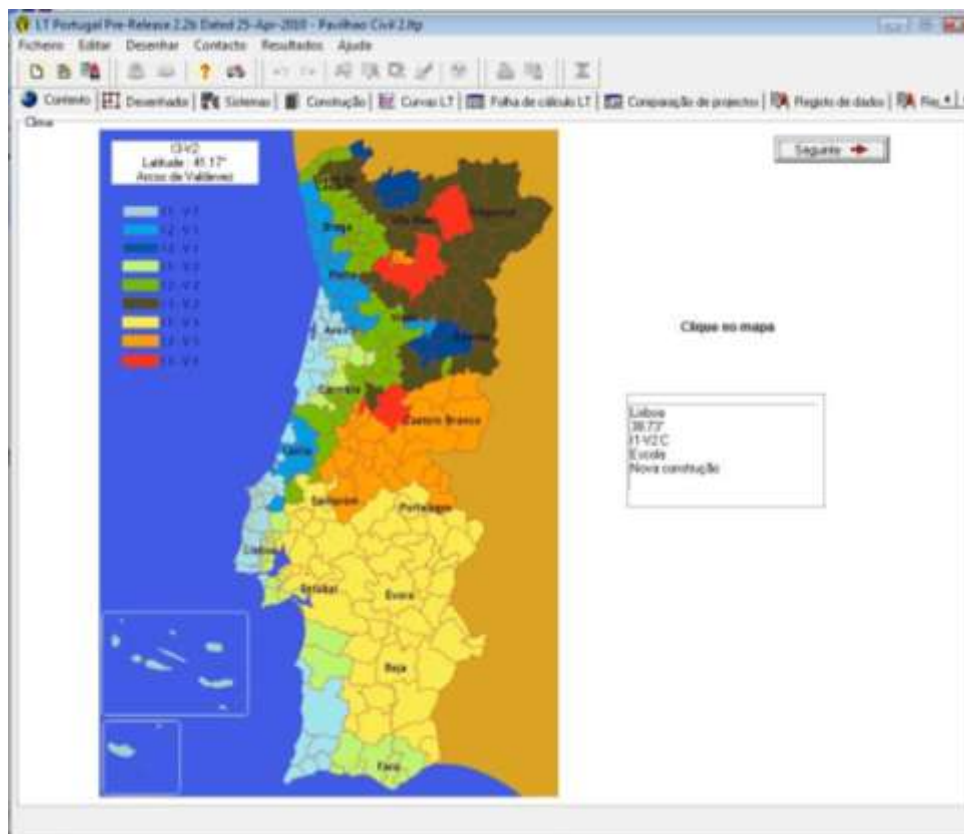
**Figura 8:** Interface 2 do eQUEST®

Fonte: Autor

## 2.4. LT-PORTUGAL®

O LT-Portugal® é o outro *software* também utilizado nas aulas de *Design Ambiental I e II*, visto ter sido desenvolvido parcialmente pelo responsável dessas aulas, o professor Manuel Correia Guedes. É um *software* de *design* energético que determina de forma rápida o uso de energia do edifício, luz, arrefecimento, ventilação e aquecimento. Este *software* é uma variante do método LT, pois é aplicada a regulamentação portuguesa (RCCTE). É de fácil utilização e é aplicável a uma grande diversidade de situações. Os seus *outputs* são de fácil interpretação. São apresentados gráficos, tabelas e casos de comparação, permitindo uma otimização das soluções escolhidas.

É dos poucos programas que aplica a legislação portuguesa, sendo a principal razão para ser utilizado no desenvolver desta dissertação.



**Figura 9:** Interface 1 do LT-Portugal®

Fonte: Autor



## 2.5. VE-GAIA®

O *VE-Gaia* é uma ferramenta bastante útil e fácil de manusear, desde a modelação até a obtenção de resultados. Tem várias particularidades que não se verificam nos outros programas a analisar. Permite a criação de notas em cada função que se executa, proporcionando um trabalho em equipa mais organizado. Além disso, consoante o clima onde o projeto está inserido, ele efetua uma avaliação bioclimática e, após essa avaliação, fornece uma lista de recomendações para uma construção mais sustentável naquele tipo de clima.

Este *software* possibilita a importação de ficheiros provenientes do *Google SketchUp™*, *Autodesk® Revit®* e formatos gbXML e DXF. Tem como principais análises a simulação energética/de carbono, análise de recursos naturais, revisão de materiais e da métrica do edifício, análise bioclimática, cálculo de necessidades de aquecimento/arrefecimento, iluminação natural e sombreamento.

Além do programa *Autodesk Ecotect® Analysis*, este é dos poucos que tem em conta o arquiteto como utilizador principal, ou seja, preocupa-se com a ótica do mesmo. Além disso, contém as particularidades exclusivas referidas anteriormente. Assim, considera-se um dos *softwares* mais pertinentes para o desenvolvimento desta dissertação, sendo estas as principais razões da sua escolha.

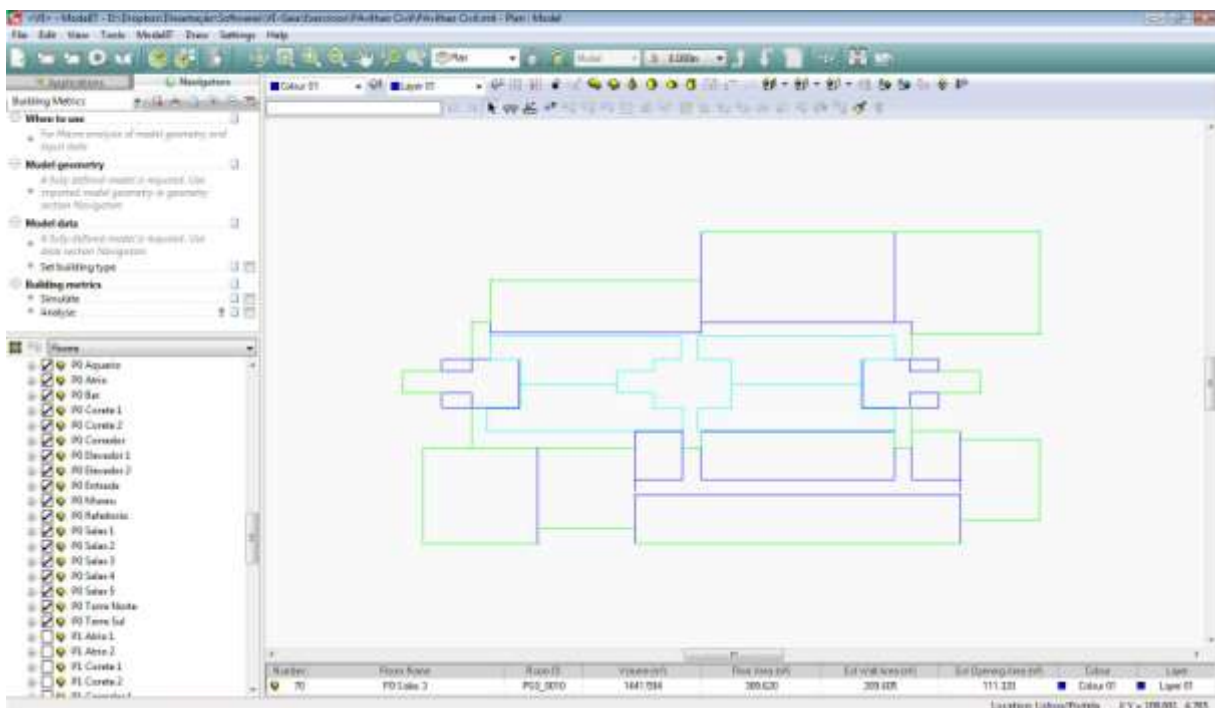
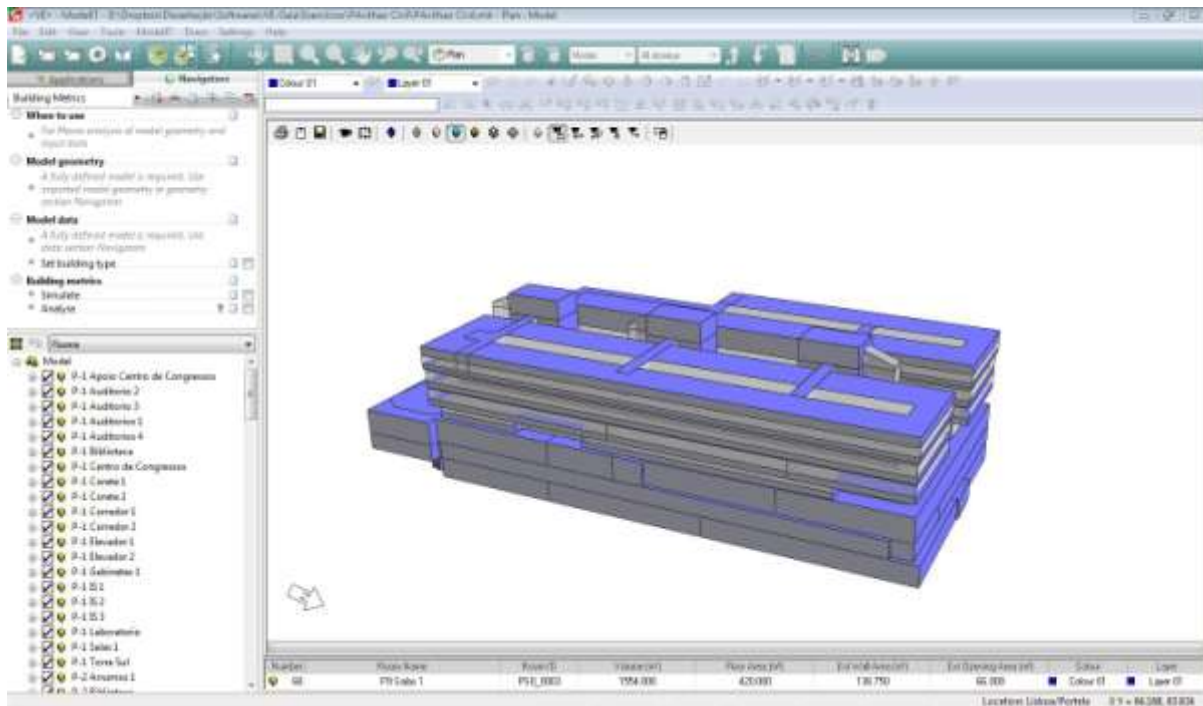


Figura 11: Interface 1 do VE-Gaia®

Fonte: Autor

Este *software* possui uma licença educacional grátis válida por um ano. Para a obtenção da licença basta registrar-se na página da IES-VE® [23]. No entanto, caso não seja estudante, existe uma versão trial de 30 dias, para exploração das competências deste *software*.



**Figura 12:** Interface 2 do VE-Gaia®

Fonte: Autor

### **3. ANÁLISE COMPARATIVA: DESEMPENHO DOS *SOFTWARES***

Após um entendimento dos conceitos teóricos subjacentes aos *softwares* em estudo e uma breve descrição de cada um deles, neste capítulo analisa-se comparativamente o desempenho dos *softwares*, através de um caso de estudo, para posterior reflexão e recomendações para cada tipo de utilizador. Esta análise desenvolve-se após uma definição dos objetivos, da metodologia aplicada, do caso de estudo escolhido e dos procedimentos para as análises. Esta última definição é onde se descrevem os passos que se efetuaram para preparação dos modelos para as análises, desde a importação do modelo até a realização das simulações, passando pelas definições de coordenadas, ficheiros climáticos, alterações do modelo necessárias para as simulações, as variáveis que se apresentaram para as simulações, entre outras, descritas posteriormente. Após as definições iniciais e as simulações efetuadas, realiza-se uma análise comparativa qualitativa e quantitativa entre os vários *softwares*.

### **3.1. OBJETIVOS**

O objetivo principal desta dissertação é fazer uma análise comparativa do desempenho de vários *softwares* de simulação energética ambiental. Essa comparação é realizada para uma posterior recomendação para os variados tipo de utilizador. Assim, é necessário encontrar os parâmetros mais adequados para uma análise qualitativa e quantitativa pertinente e útil. A utilização de um caso de estudo é necessária para uma análise comparativa mais precisa. Todo este estudo visa fornecer informações úteis para a escolha dos *softwares* mais adequados à função a desempenhar por utilizadores futuros.



### 3.2. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos decidiu-se optar por uma metodologia baseada em duas análises: uma análise qualitativa e uma análise quantitativa. O método de validação dos resultados obtidos é efetuado através da utilização de um caso de estudo real.

A análise qualitativa tem como base a matriz utilizada no artigo realizado por Lam *et al* [12] (que se apresenta no Anexo B), sendo efetuadas algumas alterações nos parâmetros, pois consideram-se alguns parâmetros dos artigos de Mills [5] e Crawley *et al* [10] e das respostas do questionário realizado aos alunos (Anexo A), que se consideraram pertinentes para esta análise. Salienta-se que do questionário não se retiraram conclusões do mesmo. Este serve para um melhor entendimento das vantagens e desvantagens que um arquiteto retira deste tipo de *softwares*. A partir dessas características extraíram-se alguns parâmetros pertinentes para uma análise comparativa mais completa e virada para o arquiteto.

Os parâmetros selecionados, apesar de subjetivos, tentam ser o mais claro possível para um melhor entendimento das características e capacidades de cada *software*. Tal como na dissertação de Soromenho [24], pontua-se os critérios dentro de cada parâmetro numa escala ordinal, de modo a avaliar a satisfação desse critério no *software* em causa, seguindo os princípios instituídos por Roy [25] e Bryan [26], que utilizam uma escala de zero a três, sendo o zero a ausência de critério, um a satisfação reduzida do critério, dois a satisfação moderada e três a satisfação total do critério. Obtém-se a avaliação do parâmetro pela soma dos valores atribuídos a cada critério, tornando-se mais simples de fazer uma avaliação geral de todos os parâmetros no capítulo seguinte, de discussão de resultados.

A análise quantitativa parte da observação do edifício em estudo – o Pavilhão de Engenharia Civil do IST – através do levantamento do consumo energético (dados fornecidos presentes no Anexo C) de modo a gerar uma base de comparação para os resultados obtidos na simulação do mesmo nos vários *softwares*. Após este estudo inicial, procede-se à modelação e simulação do caso de estudo nos distintos *softwares*, com o intuito de deprender se existe alguma discrepância em termos de cálculo entre os diferentes programas e quais os fatores que a justificam. Realizam-se comparações não só a nível dos consumos energéticos, mas também de iluminância, emissões de CO<sub>2</sub> e conforto térmico, pois apesar de não se ter os valores reais como base, vários *softwares* fazem essas avaliações, sendo pertinente fazer essa comparação.

### 3.3. CASO DE ESTUDO: O PAVILHÃO DE ENGENHARIA CIVIL, IST

Nesta dissertação, escolhe-se o Pavilhão de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico como caso de estudo, pois este representa um edifício típico de Educação Superior que inclui espaços com vários níveis, soluções construtivas variadas, diferentes tipos de usos e horários e uma geometria relativamente complexa. Estas características permitem uma avaliação das ferramentas mais completa e exaustiva.

#### 3.3.1. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O Pavilhão de Engenharia Civil localiza-se em Lisboa, fazendo parte de um conjunto de edifícios do Instituto Superior Técnico, situado no polo da Alameda. Foi projetado no início dos anos 80, sendo apenas inaugurado em 1991. A sua arquitetura tem influências nórdicas, sendo um pouco inadequada ao clima temperado no nosso país, possuindo cerca de 60% de envidraçado em todas as fachadas do edifício e coberturas parciais translúcidas sem qualquer tipo de sombreamento.



**Figura 13:** Maquete de Inserção do Pavilhão  
*Fonte: <http://www.pardalmonteiro.com/ISTcivil4.htm>*



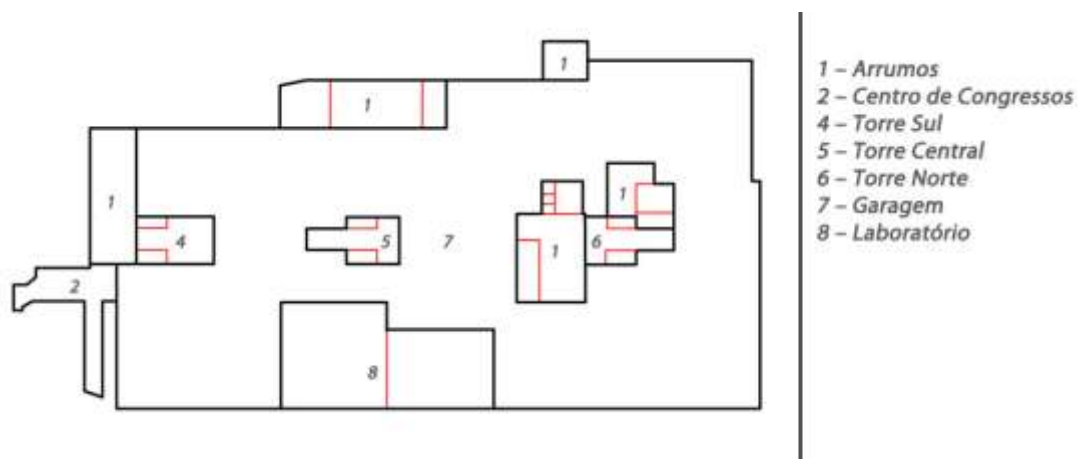
**Figura 14:** Vista Sul do Pavilhão  
*Fonte: <http://www.pardalmonteiro.com/ISTcivil1.htm>*

Este edifício é constituído por 7 pisos, sendo 3 pisos elevados, 1 r/c, e 3 sub-pisos, sendo o último a garagem do pavilhão. O pavilhão, acima do piso 0, divide-se em 2 corpos paralelos, no sentido Norte-Sul, criando um espaço intermédio ao longo dos pisos 0 ao 2, o átrio central, com características de interior e exterior, em simultâneo, devido à grande cobertura translúcida existente neste espaço. Esta cobertura desenvolve-se ao longo do topo do 2º piso, sendo interrompida pelos corredores entre os corpos/blocos ao nível do 3º piso. No átrio ainda existem 3 torres de acesso, a Norte, ao Centro e a Sul, que se desenvolvem ao longo dos 7 pisos do Pavilhão, com elevadores, escadas e, por vezes, Instalações sanitárias, que dão acesso aos vários pisos do Pavilhão. Os pisos superiores, 2 e 3, são constituídos essencialmente por gabinetes, de diferentes áreas e núcleos de investigação, alguns espaços de arrumação e alguns laboratórios de investigação leves de pé-direito pequeno. O piso 1 é constituído principalmente por salas de aula, alguns espaços de serviços administrativos e alguns gabinetes de diferentes áreas.

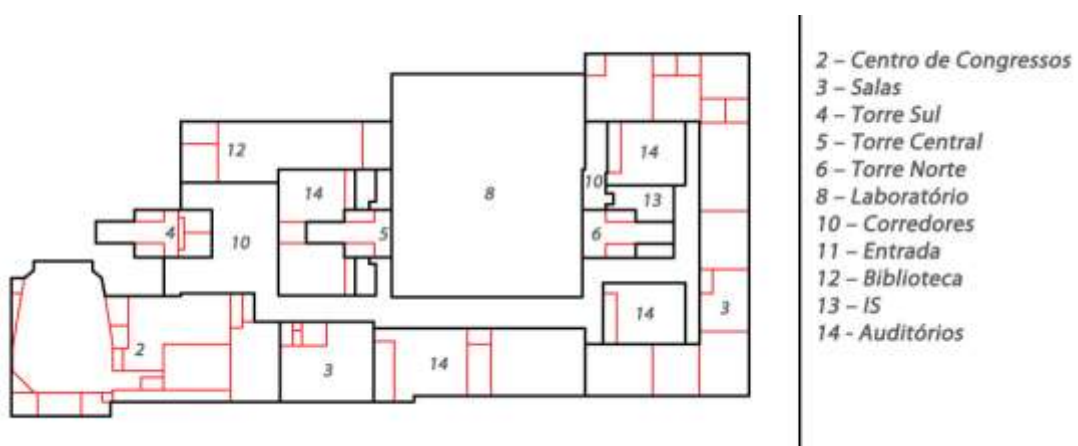
O piso 0, piso de entrada principal, é ocupado por serviços diretos e administrativos, salas de aula e de estudo (24h), um museu e serviços de restauração. Os pisos -1 e -2 são constituídos por variados tipos de ocupação, estando incluídos salas de aula, anfiteatros, um auditório (Centro de Congressos), espaços de arrumação, uma biblioteca, laboratórios pesados, incluindo o laboratório de engenharia civil que abrange os 2 pisos, e oficinas. No piso -3 situa-se o espaço reservado ao estacionamento de veículos, incluindo alguns espaços de arrumação. Ao longo dos 7 pisos existem sempre instalações sanitárias que servem os variados pisos [27].

Para o desenvolvimento desta dissertação, efetuaram-se algumas simplificações da constituição do edifício, tanto a níveis de materiais como de espaços, para uma análise simplificada, mais adequada a uma utilização de um arquiteto nos inícios de projeto. Esta simplificação resume-se a supressão de paredes entre espaços com o mesmo tipo de ocupação e uso, pois sendo todos os espaços aquecidos, essa simplificação não tem grande impacto nos cálculos das necessidades do edifício. Os desenhos do Caso de Estudo encontram-se no Anexo C.

A simplificação dos espaços é representada nas seguintes figuras, sendo a supressão das paredes representada a vermelho.



**Figura 15:** Planta Esquemática Piso -3  
Fonte: Autor

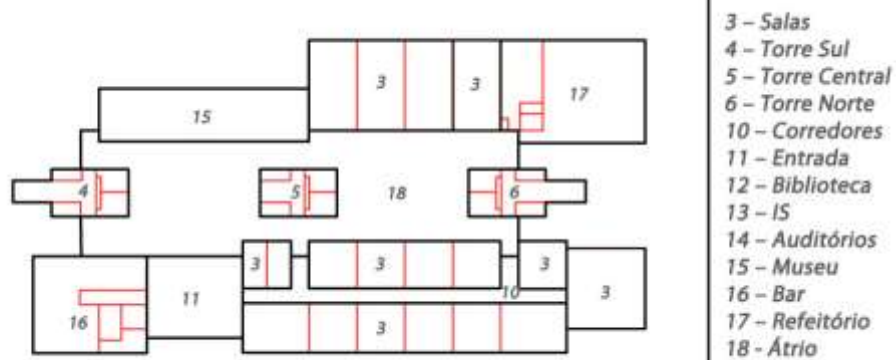


**Figura 16:** Planta Esquemática Piso -2  
Fonte: Autor



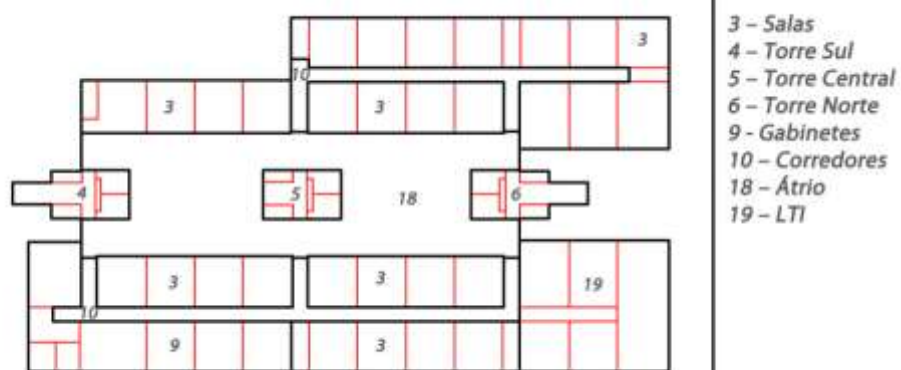
**Figura 17:** Planta Esquemática Piso -1

Fonte: Autor



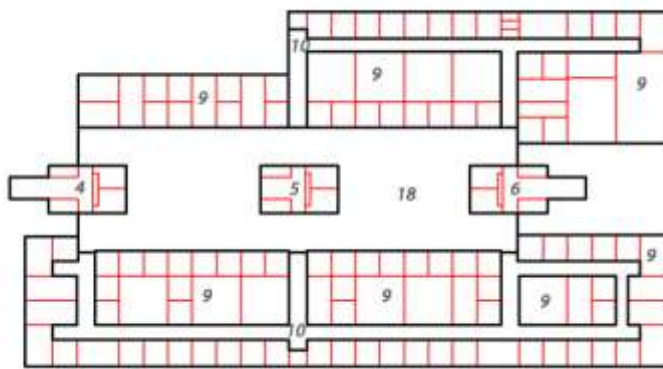
**Figura 18:** Planta Esquemática Piso 0

Fonte: Autor



**Figura 19:** Planta Esquemática Piso 1

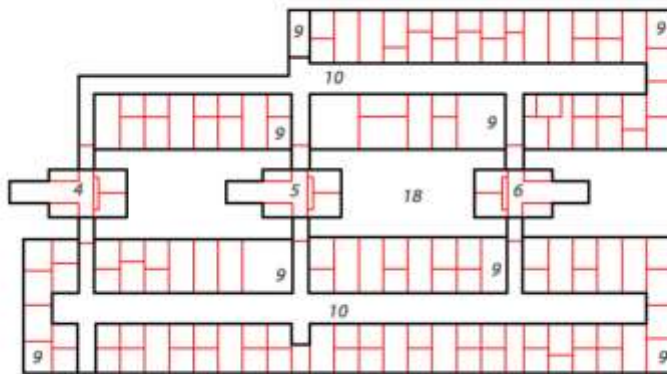
Fonte: Autor



- 4 - Torre Sul
- 5 - Torre Central
- 6 - Torre Norte
- 9 - Gabinetes
- 10 - Corredores
- 18 - Átrio

**Figura 20:** Planta Esquemática Piso 2

Fonte: Autor



- 4 - Torre Sul
- 5 - Torre Central
- 6 - Torre Norte
- 9 - Gabinetes
- 10 - Corredores

**Figura 21:** Planta Esquemática Piso 3

Fonte: Autor

### 3.3.2. MATERIAIS E OCUPAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

A nível de materialidade e ocupação, já foi feito um trabalho sobre o caso de estudo, a nível da ventilação natural, realizada por Vitorino [28]. Este trabalho possui um resumo da descrição detalhada do projeto de execução do edifício, caracterizando os elementos principais exteriores e interiores, relevantes para a análise do edifício no *software* DOE 2.1®. Além dos materiais, Vitorino classifica os espaços segundo o regime de ocupação, o uso ou não de sistemas de climatização e as renovações de ar e quantifica os espaços a nível de ocupação e de iluminação. Assim, consideram-se os valores estipulados por Vitorino para a caracterização dos espaços do edifício, no desenvolvimento desta dissertação.

Na tabela 2 estão descritas as soluções construtivas dos elementos principais interiores e exteriores do Pavilhão de Engenharia Civil, retirados do trabalho de final de curso de Vitorino [28, p.17].

**Tabela 2:** Descrição das Soluções Construtivas dos Elementos Principais Exteriores e Interiores do Caso de Estudo

Fonte: Vitorino [28, p.17]

ELEMENTO	DESCRIÇÃO
<b>Principais Elementos Exteriores</b>	
Paredes Exteriores	Alvenaria em parede dupla constituída por parede de tijolo furado de 11 cm, caixa-de-ar de 9 cm e painel pré-fabricado de betão armado de espessura de 8 cm. No exterior leva reboco e pintura.
Vãos Envidraçados	Caixilho de alumínio termolacado de correr com vidro temperado de 6 mm de espessura. Estes vãos possuem proteção solar exterior por meio de estores metálicos à exceção dos vãos envidraçados do átrio e das torres Norte e Sul, que não possuem qualquer tipo de proteção.
Pavimento (r/c)	Laje de cocos de 40 cm de espessura, enchimento com betão leve até 40 cm e forra com lajetas de 4 cm.
Cobertura	Placas curvas de policarbonato translúcido com dupla parede de 10 mm de espessura incorporadas em caixilharia de alumínio termolacado.
Terraços	Laje de cocos de 20 cm de espessura, enchimento de 15 cm de betão leve e revestimento com camada de forma de betão com aglomerado negro de cortiça de 5 cm.
<b>Principais Elementos Interiores</b>	
Paredes Interiores	Alvenaria em parede simples constituída por parede de tijolo furado de 7 cm revestida em ambas as faces por 1 cm de estuque.
Tetos	Laje de cocos de 40 cm de espessura e forra com lajetas de 4 cm.

Também retirados do trabalho de Vitorino [28, p.18], são os principais materiais utilizados nas soluções construtivas apresentadas, que representam a envolvente opaca e alguns elementos interiores. Além dos materiais, Vitorino também descreve as propriedades termofísicas dos materiais, que permitem a criação mais fidedigna dos materiais nos *softwares* em estudo. Isto permite uma análise com menor margem de erros na interpretação dos resultados. Na seguinte tabela descrevem-se essas propriedades.

**Tabela 3:** Propriedades termofísicas dos materiais da envolvente opaca

Fonte: Vitorino [28, p.18]

DESCRIÇÃO DO MATERIAL	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> K/W)	Condutibilidade Térmica (W/mK)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/kgK)
Parede de tijolo de 7 cm		0.375	1643	1100
Parede de tijolo de 11 cm		0.435	1409	1100
Parede de Betão		1.750	2300	653
Estuque Projetado		0.500	1200	1090
Laje de coco (Betão normal)		1.750	2400	1000
Lajetas (betão celular autoclavado)		0.220	600	1000
Reboco e Pintura		1.150	2000	800
Caixa de Ar	0.17			
Painel pré-fabricado de betão armado		0.310	700	1000
Enchimento de Betão Leve (argila expandida)		0.460	1000	1000
Aglomerado negro de Cortiça		0.045	150	1250

Para os vão envidraçados, as propriedades termofísicas são um pouco diferentes, sendo representadas na seguinte tabela.

**Tabela 4:** Propriedades termofísicas dos vãos envidraçados

Fonte: Vitorino [28, p.18]

MATERIAL	Espessura (mm)	Transmissão Solar (%)	Reflexão Solar Exterior (%)	Reflexão Solar Interior (%)	Transmissão Visível (%)	Condutibilidade Térmica (W/mK)
Vidro Liso	6	78	7	7	88	0.9

Vitorino [28, p.19], além de procurar as características termofísicas dos materiais utilizados no edifício, a nível das coberturas, fez um estudo da cobertura, pois o envelhecimento e a sujidade afetam essas características, para obtenção de valores reais, relativamente aos descritos nos catálogos que consultou. Na seguinte tabela descreve-se as propriedades a que chegou.

**Tabela 5:** Propriedades da cobertura em policarbonato

Fonte: Vitorino [28, p.19]

MATERIAL	Espessura (mm)	Nº de Paredes	Fator Solar (%)	Transmissão Visível (%)	Condutância (W/m <sup>2</sup> K)
Policarbonato	10	2	15	20	0.9

A nível de Ocupação, o Pavilhão de Engenharia Civil possui variados tipos de espaços, com diferentes geometrias e finalidades. No entanto é necessário criar classes de ocupação de espaços para englobar os variados tipos sem comprometer as suas características individuais. Como já foi referido, Vitorino [28] classifica os espaços conforme o regime de ocupação (horários), o uso ou não de sistemas de climatização, infiltração e posterior quantificação dos níveis de ocupação e iluminação (Ver Anexo B). No entanto, a classificação que ele gera, não inclui os espaços dos pisos inferiores, sendo os valores apresentados para espaços uma extrapolação das características apresentadas por Vitorino [28, p.20]. Na seguinte tabela apresentam-se essas características.

**Tabela 6:** Condições de ocupações dos espaços

Fonte: Vitorino [28, p.20]

DESIGNAÇÃO	Número (Ver figuras 16 a 22)	Regime de Ocupação	Climatizado	Infiltração (ren/h)	Ocupação (m <sup>2</sup> /pessoa)	Iluminação (W/m <sup>2</sup> )
Arrumos	1	10h as 18h	Não	1	50	6
Centro de Congressos	2	10h as 18h	Sim	1	50	9
Salas	3	9h as 20h	Não	1	10	9
Laboratório	8	10h as 18h	Não	2	50	9
Gabinetes	9	10h as 18h	Sim	1	50	9
Entrada	11	9h as 20h	Não	1	10	9
Biblioteca	12	10h as 18h	Sim	1	10	9
Auditórios	14	9h as 20h	Sim	1	10	9
Museu	15	10h as 18h	Sim	1	50	9
Bar	16	9h as 20h	Sim	2	5	9
Refeitório	17	10h as 18h	Sim	1	50	9
LTI	19	9h as 20h	Sim	1	10	9
Torre Sul	4	9h as 20h	Não	2		6
Torre Central	5	9h as 20h	Não	2		6
Torre Norte	6	9h as 20h	Não	2		6
Garagem	7	10h as 18h	Não	2		6
Corredores	10	9h as 20h	Não	1		6
Instalação Sanitária	13	9h as 20h	Não	1		6
Átrio	18	9h as 20h	Não	2		6

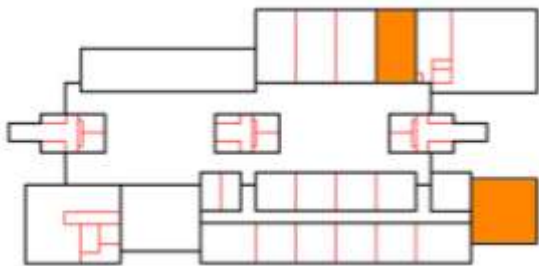
Relativamente ao que foi estipulado por Vitorino [28, p.20], no que diz respeito às condições de ocupação dos espaços do Pavilhão de Civil, fizeram-se extrapolações para os espaços dos pisos abaixo do nível 0, consoante as características de cada espaço. Os espaços originalmente encontram-se identificados na tabela a cinzento. Seguindo este modelo e considerando as características de cada local, assumiu-se o espaço Arrumos um espaço pouco ocupado, como o Museu, mas não climatizado, e com pouca iluminação. O espaço Centro de Congressos, também tem regimes de ocupação baixos, como o Museu e climatizado. O Laboratório, tendo pouca ocupação, considera-se o mesmo que o Museu, no entanto, não é climatizado e a infiltração é superior pois tem várias aberturas com o exterior, como o Átrio.



A Biblioteca é tão frequentada como as Salas, no entanto é climatizada e o seu período de ocupação é menor. Os Auditórios e o LTI consideram-se espaços similares às Salas, mas climatizados. A Garagem, tal como o Átrio, é um espaço com aberturas para o exterior, tendo maior infiltração, além de menor iluminação. Os Corredores e a Instalação Sanitária são semelhantes as Torres e ao Átrio, mas com menor infiltração, pois não têm aberturas com o exterior.

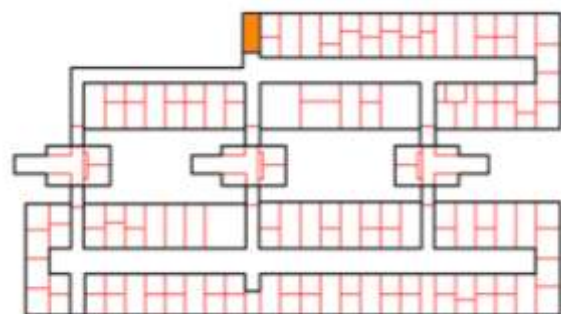
### 3.3.3. ESPAÇOS ESCOLHIDOS

Para análises mais específicas, como o conforto térmico e a iluminância optou-se por escolher dois espaços contrastantes para a obtenção de resultados mais fidedigna e um espaço tipo, de uma sala de Arquitetura, para exemplo do conforto e iluminância deste tipo de salas. A escolha desses espaços é feita pelas suas características mais atenuantes para as análises a realizar. O primeiro espaço, identificado na figura 22 é uma sala para estudo, usualmente designada por Aquário, situada a Nordeste do Pavilhão, no Piso 0, onde três das quatro paredes são exteriores e envidraçadas. Assim, este espaço é bastante pertinente para o estudo de luz e do conforto térmico, pois tendo três paredes envidraças e estando orientada norte, mesmo tendo três fachadas envidraçadas, está bastante sombreado, sendo bastante condicionante para o conforto térmico e a iluminância do espaço. O segundo espaço escolhido, também identificado na figura 22, é a sala tipo de Arquitetura, situada no piso 0, com uma fachada virada a poente com 60% de envidraçado. O terceiro espaço escolhido, identificado na figura 23, é um dos gabinetes situado a sudoeste, no Piso 3, com vãos envidraçados a sul e a oeste, ocupando cerca de 40% das fachadas. Com estas características, este espaço permite verificar se o espaço está protegido a sul e a oeste a nível de iluminância e se é confortável termicamente, no verão, com a influência das claraboias situadas no corredor, e ser o piso mais próximo do sol.



**Figura 22:** Planta Esquemática do piso 0 com a localização dos espaços a analisar

Fonte: Autor



**Figura 23:** Planta Esquemática do piso 3 com a localização do espaço a analisar

Fonte: Autor

### 3.4. PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISES

Em qualquer *software* de simulação energética e ambiental é necessário modelar o edifício que queremos analisar. Até chegar ao modelo exato, existem várias etapas, que podem variar de *software* para *software*. Para uma aprendizagem mais completa e para um princípio de utilização mais neutro, optou-se por importar um ficheiro DXF com a informação do edifício em 2D. Assim, em todos os *softwares* efetuou-se essa importação, à exceção do LT-Portugal®, onde se importou uma imagem da planta do edifício em estudo, e do eQUEST®, onde se importou diretamente o ficheiro DWG.

Como se verificará no capítulo seguinte, dependendo do *software*, existem variados formatos que se podem importar para a modelação de um edifício. Após essa etapa é necessário importar o ficheiro climático, pois sem ele, não é possível realizar as análises energéticas. À exceção do LT-Portugal®, que não se importa um ficheiro climático, mas sim seleciona-se a localização do edifício, nos restantes *softwares* importou-se o ficheiro climático de Lisboa. Salienta-se que o ficheiro utilizado, embora em formatos diferentes, é igual para todos os *softwares*, isto é, através de ferramentas que transformam um ficheiro climático base (neste caso o formato era EPW) no formato pretendido. Este fenómeno sucedeu mais especificamente com o Autodesk® Ecotect® Analysis, que só aceita ficheiros do tipo WEA, e com o eQUEST®, que só aceita ficheiros tipo BIN. Tendo o mesmo ficheiro base, proporciona uma interpretação com menor margem de erro.

Após esta etapa, procede-se à modelação propriamente dita do edifício. Existem duas maneiras de realizar a modelação: por zonas ou por blocos. A modelação por zonas implica modelar cada zona térmica pretendida individualmente, havendo uma constante adição de zonas até completar o edifício pretendido. A modelação por blocos implica modelar o bloco inteiro primeiro (normalmente um piso) e, posteriormente, dividir o bloco em espaços mais pequenos, criando zonas térmicas dentro do bloco, através da função “*partition*”. Todos os *softwares* fornecem a possibilidade de modelar das duas formas, à exceção do DesignBuilder® e do eQUEST®, que só permitem modelar por blocos.

Após a modelação das zonas, procede-se à modelação dos vãos. O DesignBuilder®, o VE-Gaia®, o eQUEST® e o LT-Portugal® permitem a modelação por percentagem, mas só o DesignBuilder® e o VE-Gaia® permitem também a modelação individual de cada elemento. O Autodesk® Ecotect® Analysis só permite a modelação individual de cada elemento.

A etapa seguinte destina-se à caracterização das condições internas ambientais, isto é, de materiais, ganhos internos, sistemas de AVAC, ocupação e horários. Neste caso, utilizaram-se os valores de referência apresentados no capítulo do caso de estudo, sendo importante a utilização das mesmas características para um interpretação com menor margem de erro. Após a passagem por estas etapas, o edifício fica pronto para a simulação. No caso do Autodesk® Ecotect® Analysis, para algumas análises é necessário definir uma grelha, onde se projetam os resultados diretamente no modelo 3D, que se torna muito mais apelativo e fácil de entender para quem está a utilizar o *software*.

### 3.5. ANÁLISE QUALITATIVA

Para efetuar uma boa análise qualitativa deve-se ter em conta vários parâmetros pertinentes para um resultado mais apurado. Neste capítulo vamos definir que parâmetros vão ser utilizados para a comparação qualitativa dos *softwares*. Dentro de cada parâmetro, definem-se critérios relativos a esse mesmo parâmetro para uma análise mais crítica. Os parâmetros escolhidos resultam da mescla dos parâmetros utilizados por Mills [5], Crawley *et al* [10] e considerando as respostas obtidas pelo questionário efetuado (que se encontra no Anexo A), sendo a base principal a matriz utilizada por Lam *et al* [12] (matriz apresentada no Anexo B) pois é o único direcionado para o arquiteto. Será utilizada a classificação ordinal de cada critério, de zero a três, para uma melhor avaliação dos critérios.

Os principais parâmetros que se escolheram para esta análise são: Sistema, Funcionalidades, Modelação, *Outputs* e Utilizador.

#### 3.5.1. SISTEMA

Neste parâmetro são considerados critérios bastante importantes que são necessários saber aquando do início de um projeto em cada um dos *softwares* a analisar. No critério *Sistema Operativo* existem dois sistemas definidos, que são os mais utilizados a nível mundial: o sistema Windows e o sistema Mac OS. Aqui é necessário indicar se é possível usar cada um dos sistemas sem qualquer ajuda de qualquer emulador/programa adicional. O segundo critério é *Sistema de Unidades*, onde se deve indicar qual o sistema de unidades utilizado pela ferramenta, sendo os mais comuns o Sistema Internacional e o Sistema *Inch-Pound*.

O terceiro critério, *Biblioteca Incorporada*, é muito importante, pois os elementos das bibliotecas possuem valores predefinidos, que de outra maneira seriam difíceis de obter, como os Ganhos Internos de Calor ou o Tipo de Sistemas de AVAC. Normalmente os elementos da biblioteca com valores predefinidos são considerados *templates*. Muitas vezes, as especificações necessárias para a realização das análises são muito difíceis de encontrar, por vezes também difíceis de entender, sendo necessário um conhecimento extra sobre o tema de simulação energética para uma boa avaliação. Frequentemente acontece que com dados mal colocados, obtêm-se resultados que não são tão precisos como desejado. A utilização de *templates* pode facilitar essa minimização de erros, pois cada espaço tem características próprias que um arquiteto que não maneja muito esses assuntos desconhece ou está pouco familiarizado.

No quarto critério, *Estabilidade do Software*, é necessário avaliar a capacidade da ferramenta de continuar as operações tendo em conta uma variada mudança de *inputs*. O quinto critério, *Ficheiro Climático*, refere-se ao método utilizado para a escolha do ficheiro climático. Neste critério é necessário referir o formato de ficheiro climático, o nº de ficheiros climáticos incorporados no *software*, a facilidade com que se pode encontrar outros ficheiros climáticos, para além dos que já existam (ou não) na biblioteca. O último critério deste parâmetro, *Controlo do Histórico*, refere-se à capacidade de controlo que o *software* tem sobre o histórico das ações e dos erros, sendo necessário indicar se tem a capacidade de efetuar a ação Undo/Redo e se há algum tipo de registo de erros.

**Tabela 7:** Caracterização dos *softwares* consoante o parâmetro Sistema e os seus critérios

Fonte: Autor

<b>I. SISTEMA</b>	<i>Autodesk® Ecotect® Analysis</i>	<i>DesignBuilder®</i>	<i>eQUEST®</i>	<i>LT-Portugal®</i>	<i>VE-Gaia®</i>
<b>Sistema Operativo</b>					
Windows	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Mac OS	Não	Não	Não	Não	Não
<b>Sistema de Unidades</b>	SI e Sistema IP	SI e Sistema IP	Sistema IP	SI	SI e Sistema IP
<b>Biblioteca Incorporada</b>					
Dados Climatéricos	Sim	Sim	Sim	Sim (só em Portugal)	Sim
Materiais	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Soluções Construtivas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Horários	Não	Sim	Sim	Sim	Não
Ganhos Internos de Calor	Não (só valores predefinidos de ganhos latentes e sensíveis)	Sim	Sim	Sim	Sim
Infiltrações	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Tipo de Sistema de AVAC	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Equipamentos de AVAC	Não	Não	Sim	Não	Não
<b>Estabilidade do Software</b>	Moderado (quebra ocasional)	Moderado (quebra ocasional)	Moderado a Pouco estável (quebra mais frequente)	Estável	Moderado (quebra ocasional)
<b>Ficheiro Climático</b>	Biblioteca ou definido pelo utilizador	Biblioteca ou definido pelo utilizador	Biblioteca ou definido pelo utilizador	Por localização e tipo de zona, de acordo com o RCCTE	Biblioteca ou definido pelo utilizador
Tipos de Ficheiros Climáticos	.wea <sup>4</sup>	.epw	.bin (ficheiro proveniente do DOE-2.2)	Por localização e tipo de zona (RCCTE)	.fwt (também aceita .epw)
Número de ficheiros incorporados	92 Ficheiros (0 Portugueses)	2400 Ficheiros (316 Portugueses)	3042 Ficheiros (Canadá e EUA; 0 Portugueses)	281 Localizações	216 Ficheiros (1 Português)

<sup>4</sup> Este *software* inclui a ferramenta *THE WEATHER TOOL®*, que permite converter qualquer tipo de ficheiro climático em .wea. No entanto o *software Autodesk® Ecotect® Analysis* não aceita outro tipo de ficheiros climáticos que o .wea.

I. SISTEMA	Autodesk® Ecotect® Analysis	DesignBuilder®	eQUEST®	LT-Portugal®	VE-Gaia®
Facilidade de Encontrar Outros ficheiros	Para todos os <i>softwares</i> , exceto p LT-Portugal® que não pode ter outros ficheiros para além dos incluídos no programa, localizações mais específicas (sem se capitais ou outras cidades importantes) são difíceis de encontrar, sendo recomendado o uso do <i>METEONORM</i> ® <sup>5</sup> (licença ou pedido de um ficheiro). Na página web do Departamento de Energia dos EUA[6] existem alguns ficheiros climáticos disponíveis em formato epw.				
<b>Controlo do Histórico</b>					
Undo/Redo	Sim	Sim (aplicado só a operações geométricas)	Não	Sim (aplicado só a operações geométricas)	Sim
Registo de Erros	Sim	Não (indica apenas se algum erro aparece)	Sim	Não	Não (indica apenas se algum erro aparece)

Após a avaliação qualitativa deste parâmetro, procede-se à classificação ordinal, consoante os critérios analisados.

**Tabela 8:** Classificação dos *softwares* consoante o parâmetro Sistema e os seus critérios

Fonte: Autor

I. SISTEMA	Autodesk® Ecotect® Analysis	DesignBuilder®	eQUEST®	LT-Portugal®	VE-Gaia®
Sistema Operativo	**	**	**	**	**
Sistema de Unidades	***	***	*	**	***
Biblioteca Incorporada	*	**	***	**	**
Estabilidade do Software	**	**	*	***	**
Ficheiro Climático	**	***	**	*	**
Controlo do Histórico	***	**	**	**	**
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>

<sup>5</sup> *Software* de criação de ficheiros climáticos para quase todo o mundo. Tanto a requisição de uma licença ou de um só ficheiro implica custos (cada ficheiro custa 80\$)

### 3.5.2. FUNCIONALIDADES

O parâmetro funcionalidade é relativo aos cálculos e abordagens técnicas de cada programa, essenciais para saber para que fim é mais adequado. O primeiro critério, *Abordagem Técnica*, refere-se ao tipo de programa de simulação ou método de cálculo em que o programa se baseia para os cálculos que efetua.

O segundo critério, *Tipos de Cálculo*, refere-se exatamente aos tipos de cálculo que o *software* efetua, passando pelo Cálculo da Carga do Edifício, isto é, o cálculo das cargas de aquecimento, arrefecimento e elétricas do edifício, a Simulação Energética do Edifício, que é o cálculo do consumo energético pelos variados equipamentos no sistema mecânico de modo a encontrar as cargas do edifício, o Cálculo do Conforto Térmico e o Cálculo da Iluminância.

O terceiro critério, *Estimativas de Custo*, refere-se a capacidade do programa de calcular os custos do ciclo de vida do edifício a ser modelado.

**Tabela 9:** Caracterização dos *softwares* consoante o parâmetro Funcionalidade e os seus critérios

Fonte: Autor

II. FUNCIONALIDADE	Autodesk® Ecotect® Analysis	DesignBuilder®	eQUEST®	LT-Portugal®	VE-Gaia®
<b>Abordagem Técnica</b>	Método de Admitância CIBSE	EnergyPlus®	DOE-2.2	RCCTE	ApacheSim
<b>Tipos de Cálculo</b>					
Cálculo da Carga do edifício	Sim	Sim	Sim (apenas no assistente detalhado)	Sim	Sim
Simulação Energética do Edifício	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Cálculo do Conforto Térmico	Sim	Sim	Não	Não	Não
Cálculo da Iluminância	Sim	Sim	Não	Não	Sim
<b>Estimativas de Custo</b>	Sim (os preços unitários têm de ser definidos pelo utilizador)	Não (Mas é um cálculo que se está a desenvolver e deverá aparecer nas próximas versões)	Sim	Não	Não <sup>6</sup>

<sup>6</sup> Como já foi referido, o *VE-Gaia*® está inserido no *software IES-VE*®, sendo apenas um módulo, direcionado para arquitetos. No entanto existe um módulo referente ao cálculo de custos do edifício, o que implica outro tipo de licença.

Após a avaliação qualitativa deste parâmetro, procede-se à classificação ordinal, consoante os critérios analisados.

**Tabela 10:** Classificação dos *softwares* consoante o parâmetro Funcionalidade e os seus critérios

Fonte: Autor

II. FUNCIONALIDADE	Autodesk® Ecotect® Analysis	DesignBuilder®	eQUEST®	LT-Portugal®	VE-Gaia®
Abordagem Técnica	**	***	***	**	**
Tipos de Cálculo	**	***	**	*	**
Estimativas de Custo	**		***		
Total	6	6	8	3	4

### 3.5.3. MODELAÇÃO

A modelação geométrica de edifícios é o primeiro passo para o início do processo de simulação. É um passo bastante importante, pois é a partir do modelo e posterior caracterização do mesmo que se pode efetuar a simulação pretendida. Dependendo do *software*, isto pode ser uma tarefa fácil ou árdua, o que implicará uma maior ou menor rapidez do processo da simulação. Este parâmetro encontra-se subdividido em três partes: Extensão, Modelação do Edifício e Modelação AVAC.

#### 3.5.3.1. EXTENSÃO

A Extensão refere-se à capacidade dos *softwares* de se estenderem a outros programas, como programas de modelação, o AutoCAD® ou o Revit® ou outros *softwares* de simulação energética. O primeiro critério, *Interoperabilidade*, indica a capacidade do *software* de efetuar importações e/ou exportações com ferramentas de simulação energética e com ferramentas de modelação. É de notar que em qualquer interoperabilidade entre *softwares* é necessário efetuar alterações no modelo para melhor adequação ao *software* de destino. O segundo critério, *Input de Dados de Desenho*, indica a capacidade de importação de outro tipo de ficheiros para facilitar a modelação geométrica.

**Tabela 11:** Caracterização dos *softwares* consoante o sub-parâmetro Extensão relativo ao parâmetro Modelação e os seus critérios

Fonte: Autor

III. MODELAÇÃO a) Extensão	Autodesk® Ecotect® Analysis	DesignBuilder®	eQUEST®	LT-Portugal®	VE-Gaia®
<b>Interoperabilidade</b>					
Troca de ficheiros com outras ferramentas de simulação energética	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Importação	Sim (Radiance, EnergyPlus, gbXML)	Sim (gbXML)	Sim (ficheiros de input do DOE-2)	Não	Sim (gbXML) <sup>7</sup>
Exportação	Sim (Radiance, EnergyPlus, DOE-2, eQUEST, POV-Ray, Winair4 (CFD), HTB2, ESP-r, gbXML)	Sim (Radiance, gbXML)	Sim (ficheiros de input do DOE-2)	Não	Não
Troca de ficheiros com ferramentas de modelação	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Importação	Sim (3DStudio, DXF, Rhinoceros, gbXML)	Sim (DXF, gbXML)	Sim (DXF, DWG-AutoCAD)	Não	Sim (DXF, gbXML)
Exportação	Sim (DXF, gbXML)	Sim (DXF, gbXML)	Não	Não	Não
<b>Input de Dados de Desenho</b>					
Importação de dados como ajuda na modelação	Sim (3DStudio, DXF, Rhinoceros, gbXML, Imagens - JPEG e BMP)	Sim (DXF, gbXML, PDF, Imagens – JPEG, BMP, PNG, GIF e TIFF)	Sim (DXF, DWG-AutoCAD)	Sim (JPEG)	Sim (BMP, DXF, gbXML)

<sup>7</sup> Este é o único *software* que possui *pluggins* para os *softwares* Google SketchUp® e Revit®, podendo-se modelar em 3D nesses *softwares* e ao mesmo tempo ter em consideração a modelação para as simulações energéticas, não necessitando de alterações na importação.



### 3.5.3.2. MODELAÇÃO DO EDIFÍCIO

A Modelação do Edifício refere-se a todo o processo de modelar o edifício e definir todos os parâmetros, a exceção de AVAC, relativos ao funcionamento do edifício antes de qualquer simulação.

O primeiro critério, *Informação do Projeto*, indica se o *software* possui *templates* relativos ao tipo de edifício a projetar e do espaço. O segundo critério, *Geometria*, bastante mais complexo, engloba todo o processo de modelação da geometria do modelo. Averigua se há a possibilidade de Modelação em 3D, como se efetua a composição espacial, adicionando espaços e/ou subdividindo elementos já modelados (normalmente os blocos), formas de *input* direto de desenho, isto é, se permite desenhar através de formas primitivas (operações booleanas: subtração, união e interseção), do desenho de perfis fechados e posterior extrusão, de modelar os espaços com superfícies e que geometrias são possíveis de desenhar. Também averigua se é possível definir elementos básicos de um edifício, se é permitido, para um mesmo nível, os espaços terem alturas diferentes, se permitem a modelação de telhados inclinados, se permitem orientar o edifício, para além do norte, se os dados das coordenadas do edifício são acessíveis e passíveis de serem alteradas, se possui a função SNAP (permite um melhor desempenho a nível de desenho, pois pode encontrar linhas paralelas, vértices, medianas, entre outros), se é possível modificar a geometria após a sua definição e se a geometria foi modelada corretamente.

O terceiro critério, *Construção do Edifício*, refere-se a todos os elementos relacionados com a materialidade e soluções construtivas com que o edifício é modelado. Permite saber como é que o utilizador pode definir os seus materiais, a quantidade de materiais incorporados, se é possível definir novos materiais, alterar as *layers* das soluções construtivas, como é que o utilizador pode definir as soluções construtivas, se permite realizar novas soluções, se permite a utilização de elementos de sombreamento e se existem valores predefinidos para todos os elementos deste critério. O quarto critério, *Sistemas de Energia Renovável*, permite saber se os *softwares* têm em consideração nas suas avaliações sistemas de energia renovável, como coletores solares, energia fotovoltaica, energia eólica ou outros tipos possíveis.

O quinto critério, *Ganhos Internos*, refere-se a todos os aspetos relativos a definição dos ganhos internos de um edifício, como a ocupação, a iluminação e os equipamentos, tendo em conta as suas densidades, horários e possibilidade de colocar equipamentos individuais (para iluminação e equipamentos) ou se as atividades dos ocupantes são consideradas, e se existem valores predefinidos para cada elemento. O sexto critério, *Infiltrações*, indica a velocidade, os horários e se existem valores predefinidos para os elementos referidos. O último critério, *Fatores de Iluminação*, refere-se aos fatores mais importantes que são necessários para o cálculo da iluminância.

**Tabela 12:** Caracterização dos *softwares* consoante o sub-parâmetro Modelação do Edifício relativo ao parâmetro Modelação e os seus critérios

Fonte: Autor

<b>III. MODELAÇÃO b) Modelação do Edifício</b>	<i>Autodesk® Ecotect® Analysis</i>	<i>DesignBuilder®</i>	<i>eQUEST®</i>	<i>LT-Portugal®</i>	<i>VE-Gaia®</i>
<b>Informação do Projeto</b>					
Definição do Tipo de Edifício	Sim, mas só se pode aplicar na análise UK-Part L	Sim (mais completo)	Sim (mais completo)	Sim (menos completo)	Sim (menos completo)
Definição do Tipo de Espaço	Não	Sim (mais completo)	Sim (mais completo)	Sim (menos completo)	Sim (menos completo)
<b>Geometria</b>					
Modelação 3D <sup>8</sup>	Sim	Sim	Não (3D só para visualização)	Não	Sim
Composição Espacial					
<i>Acumulação por adição de espaços</i>	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
<i>Subdivisão de elementos já modelados</i>	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
<i>Input direto de desenho</i>					
<i>Formas Primitivas</i>	Não	Sim	Não	Não	Não
<i>Extrusão baseada num perfil fechado</i>	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
<i>Superfícies</i>	Sim	Não	Não	Não	Não
<i>Geometrias Possíveis</i>	Polígonos Multifacetados, Círculos e arcos, que podem ser extrudidos, telhados inclinados e paredes inclinadas	Polígonos multifacetados, círculos e arcos, que podem ser extrudidos, telhados inclinados, cúpulas e paredes inclinadas	Polígonos Multifacetados, Círculos e arcos	Polígonos multifacetados e arcos	Polígonos multifacetados e arcos, que podem ser extrudidos, prismas, pirâmides, hemisférios, esferas, cilindros e paredes inclinadas
Definição de elementos do Edifício e Exteriores	Sim (buraco, telhado, chão, parede, partição, janela, painel, porta, teto, equipamento, iluminação, coletor solar, além de obstáculos exteriores)	Sim (janela, painel, buraco, porta, abertura de ventilação, partições, terreno e edifício adiabático – as paredes, chão, telhados e/ou tetos são definidos quando se define o bloco)	Não (ao desenhar as formas em planta, ele assume o que é chão, parede e teto/telhado. As janelas e portas são definidas por % e só é possível adicionar 3 portas e 3 janelas no máximo)	Sim (ao desenhar as formas em planta, ele assume o que é chão, parede e teto/telhado. As janelas são definidas por %. No entanto é permitido o desenho de obstáculos exteriores)	Sim (janela, buraco, porta, partições, terreno e edifício adiabático – as paredes, chão, telhados e/ou tetos são definidos quando se define o bloco)
Diferentes alturas de espaços ao mesmo nível	Sim (bastante flexível)	Sim	Não	Não	Sim

<sup>8</sup> É de referir que todos os *softwares* têm a modelação em 2D.

<b>III. MODELAÇÃO</b> <b>b) Modelação do Edifício</b>	<i>Autodesk® Ecotect® Analysis</i>	<i>DesignBuilder®</i>	<i>eQUEST®</i>	<i>LT-Portugal®</i>	<i>VE-Gaia®</i>
Telhados Inclinados	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Orientação do Edifício	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Dados de coordenadas acessíveis	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Função SNAP	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Modificações geométricas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Verificação de Geometria	Sim	Não	Não	Não	Sim
<b>Construção do Edifício</b>					
Materials	Biblioteca ou definido pelo utilizador	Biblioteca ou definido pelo utilizador	Biblioteca ou definido pelo utilizador	Definido apenas pelo Coeficiente de Transmissão Térmica ( <i>U</i> )	Biblioteca ou definido pelo utilizador
<i>Quantidade</i>	509	571	267	8	306
<i>Novos Materiais</i>	Sim	Sim	Sim (mas só no assistente detalhado)	Alteração do valor de <i>U</i>	Sim
Layers	Definido pelo utilizador	Definido pelo utilizador	Definido pelo utilizador (só pode ser editado no assistente detalhado)	Não	Definido pelo utilizador
Soluções Construtivas	Biblioteca ou definido pelo utilizador	Biblioteca ou definido pelo utilizador	Biblioteca ou definido pelo utilizador	Definido apenas pelo valor de <i>U</i>	Biblioteca ou definido pelo utilizador
<i>Novas Sol. Construtivas</i>	Sim	Sim	Sim (mas só no assistente detalhado)	Alteração do valor de <i>U</i>	Sim
Sombreamento	Sim (definido em desenho ou calculado)	Sim (local, interna, externa, selecionável)	Sim (só externa no assistente esquemático e externa e interna no assistente detalhado)	Sim (somente dando o valor da transmissividade)	Sim (local, externa ou interna)
Valores predefinidos	Sim (são independentes do tipo de edifício ou espaço projetado)	Sim (depende dos tipos de espaço e edifício escolhidos)	Sim (depende dos tipos de espaço e edifício escolhidos)	Sim (tendo em conta a média utilizada em Portugal)	Sim (depende dos tipos de espaço e edifício escolhidos)
<b>Sistemas de Energia Renovável</b>					
Coletor Solar	Sim	Não	Não	Não	Sim
Energia Fotovoltaica	Não	Não	Sim (não está no interface, apenas pode ser editado nos ficheiros tipo .bdl – DOE-2)	Não	Sim
Energia Eólica	Não	Não	Não	Não	Sim

<b>III. MODELAÇÃO b) Modelação do Edifício</b>	<i>Autodesk® Ecotect® Analysis</i>	<i>DesignBuilder®</i>	<i>eQUEST®</i>	<i>LT-Portugal®</i>	<i>VE-Gaia®</i>
Outros	Não	Não	Não	Não	Sim (Calor biocombustível, Arrefecimento por absorção de biocombustíveis, bomba geotérmica de calor, Arrefecimento geotérmico, hidrelétrica a pequena escala)
<b>Ganhos internos</b>					
Ocupação					
<i>Densidade/Nº de ocupantes</i>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<i>Atividades</i>	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
<i>Horários</i>	Sim (definido pelo utilizador)	Sim (biblioteca ou definido pelo utilizador)	Sim (biblioteca ou só editável no assistente detalhado)	Sim (definido pelo utilizador)	Sim (biblioteca ou definido pelo utilizador)
Iluminação					
<i>Densidade</i>	Sim (combinado com ganhos de equipamento)	Sim	Sim	Não (só eficiência e o valor de referencia de iluminação)	Sim
<i>Eq. individual</i>	Sim	Não	Não	Não	Não
<i>Horários</i>	Sim (definido pelo utilizador)	Sim (biblioteca ou definido pelo utilizador)	Sim (biblioteca ou só editável no assistente detalhado)	Não	Sim (biblioteca ou definido pelo utilizador)
Equipamentos					
<i>Densidade</i>	Sim (combinado com ganhos de iluminação)	Sim	Sim	Sim (incluídos nos ganhos internos)	Sim
<i>Eq. individual</i>	Sim	Não	Não	Não	Não
<i>Horários</i>	Sim (definido pelo utilizador)	Sim (biblioteca ou definido pelo utilizador)	Sim (biblioteca ou só editável no assistente detalhado)	Não	Sim (biblioteca ou definido pelo utilizador)
Valores predefinidos	Sim (são independentes do tipo de edifício ou espaço projetado)	Sim (depende dos tipos de espaço e edifício escolhidos)	Sim (depende dos tipos de espaço e edifício escolhidos)	Sim (tendo em conta a média utilizada em Portugal)	Sim (depende dos tipos de espaço e edifício escolhidos)
<b>Infiltrações</b>					
Velocidade	Sim (definido pelo utilizador)	Sim (definido pelo utilizador)	Sim (biblioteca ou definido pelo utilizador)	Sim (definido pelo utilizador)	Sim (biblioteca ou definido pelo utilizador)
Horário	Sim (definido pelo utilizador)	Não	Sim (biblioteca ou só editável no assistente detalhado)	Não	Sim (biblioteca ou definido pelo utilizador)
Valores predefinidos	Sim (só relativa a velocidade e sensibilidade do vento)	Sim (depende dos tipos de espaço e edifício escolhidos)	Sim (depende dos tipos de espaço e edifício escolhidos)	Sim (tendo em conta a média utilizada em Portugal)	Sim (depende dos tipos de espaço e edifício escolhidos)
<b>Fatores de Iluminação</b>					
Tipo de Céu	Sim	Sim	Não	Não	Não
Localização Geográfica	Sim	Sim	Sim	Sim (por distrito e só para Portugal)	Sim

### 3.5.3.3. MODELAÇÃO DE AVAC

A modelação de AVAC é um parâmetro que engloba todos os critérios relevantes para uma boa caracterização da modelação, a nível dos sistemas de AVAC.

O primeiro critério, *Ponto de Ajuste do Termostato*, indica se o programa permite a definição das temperaturas máximas e mínimas necessárias para a ativação dos sistemas de AVAC, no termostato.

O segundo critério, *Sistemas de AVAC*, é relativo a todos os sistemas que são passíveis de existir no edifício e que tipos de sistemas se podem definir/escolher. Assim, englobam-se os sistemas de aquecimento e arrefecimento, se é considerada a ventilação natural, se existem sistemas predefinidos, se existe a definição de equipamentos e se o programa permite a definição dos horários de funcionamento de cada sistema.

O último critério, *Dimensionamento de Sistemas*, refere-se à capacidade do programa de dimensionar os sistemas selecionados inicialmente.

**Tabela 13:** Caracterização dos *softwares* consoante o sub-parâmetro Modelação do AVAC relativo ao parâmetro Modelação e os seus critérios

Fonte: Autor

III. MODELAÇÃO c) Modelação de AVAC	Autodesk® Ecotect® Analysis	DesignBuilder®	eQUEST®	LT-Portugal®	VE-Gaia®
<b>Ponto de Ajuste do Termostato</b>	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
<b>Sistema de AVAC</b>					
Sistemas de Aquecimento e Arrefecimento	Não (só dá para definir se existe ou não sistema)	Sim (biblioteca ou definido pelo utilizador)	Sim (biblioteca (atou só editável no assistente detalhado)	Não (só define eficiência dos sistemas)	Sim (biblioteca ou definido pelo utilizador)
Ventilação Natural	Sim	Sim (calculada ou programado)	Sim (apenas considerada para um sistema)	Sim	Sim
Sistemas Predefinidos	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Definição de Equipamentos	Não	Não	Sim	Não	Não
Horários	Sim (definido pelo utilizador)	Sim (biblioteca ou definido pelo utilizador)	Sim (biblioteca ou definido pelo utilizador)	Não	Sim (biblioteca ou definido pelo utilizador)
<b>Dimensionamento de Sistemas</b>	Não	Sim (Automático ou manual em modo de AVAC detalhado, não sendo visível no output)	Sim (não é visível no output)	Não	Sim (Automático, não sendo visível no output)

Após a avaliação qualitativa deste parâmetro, procede-se à classificação ordinal, consoante os critérios analisados.

**Tabela 14:** Classificação dos *softwares* consoante o parâmetro Modelação e os seus critérios

Fonte: Autor

<b>III. MODELAÇÃO</b>	<i>Autodesk® Ecotect® Analysis</i>	<i>DesignBuilder®</i>	<i>eQUEST®</i>	<i>LT-Portugal®</i>	<i>VE-Gaia®</i>
<b>a) Extensão</b>					
<b>Interoperabilidade</b>	***	**	**		**
<b>Input de Dados de Desenho</b>	***	**	**	*	**
<b>b) Modelação do Edifício</b>					
<b>Informação do Projeto</b>	*	***	***	**	**
<b>Geometria</b>	***	***	*	*	**
<b>Construção do Edifício</b>	**	***	**	**	**
<b>Sistemas de Energia Renovável</b>	*				***
<b>Ganhos internos</b>	**	**	**	*	**
<b>Infiltrações</b>	**	*	**	*	**
<b>Fatores de Iluminação</b>	***	***	**	**	**
<b>c) Modelação de AVAC</b>					
<b>Ponto de Ajuste do Termostato</b>	***	***	***		***
<b>Sistema de AVAC</b>	*	**	***	**	**
<b>Dimensionamento de Sistemas</b>		**	**		**
<b>Total</b>	24	26	24	11	26

#### 3.5.4. *OUTPUTS/RESULTADOS*

O parâmetro *Outputs/Resultados* é um dos mais importantes no desenvolvimento desta dissertação, devem ser fáceis de entender e de obter, pois é através deles que se podem efetuar conclusões a nível quantitativo e é através deles que se fazem as análises e interpretações para melhorar o desempenho do edifício.

O primeiro critério, *Exportação de Outputs*, refere-se à capacidade do *software* de exportar os *outputs* para formatos acessíveis para utilização em outros locais, como relatórios ou dissertações. O segundo critério, *Formato de Outputs*, refere-se à capacidade do *software* de gerar vários tipos de *outputs*, como gráficos, tabelas, folhas de cálculo, animações, relatórios e a possibilidade de visualizar os resultados no modelo 3D.

O terceiro critério, *Tipos de Outputs*, indica se o *software* permite obter *outputs* de uma só avaliação ou se também consegue obter *outputs* com a comparação de várias avaliações.

O quarto critério, *Conteúdo de Outputs*, indica que parâmetros são incluídos, como perfis de temperaturas, perdas/ganhos de calor, cargas de zonas, cargas do edifício, emissões de CO<sub>2</sub>, conforto e iluminância, com que frequência os resultados são apresentados, isto é, se o valor do ciclo de vida do edifício é considerado, se os valores são anuais, mensais, diários ou horários, e, por fim, se nos resumos dos *outputs*, os valores são apresentados como totais, média ou picos.

O quinto critério, *Recomendações de Utilização*, visa definir se algum dos *outputs* gerados fazem algum tipo de recomendação ou sugestão para a otimização do desempenho do edifício.

O sexto critério, *Outras Simulações*, refere-se à capacidade do *software* de realizar outras simulações para além das analisadas.

O sétimo critério, *Duração de Análise/ Simulação*, refere-se à duração, longa ou curta, das simulações efetuadas pelos *softwares*, aspeto importante para o utilizador, pois pode necessitar de simulações rápidas ou não.

O último critério, *Facilidade de interpretação*, indica se os *outputs* gerados são fáceis ou não de interpretar, para posterior análise.

**Tabela 15:** Caracterização dos *softwares* consoante o parâmetro *Outputs/Resultados* e os seus critérios

Fonte: Autor

<b>IV. OUTPUTS/RESULTADOS</b>	<i>Autodesk® Ecotect® Analysis</i>	<i>DesignBuilder®</i>	<i>eQUEST®</i>	<i>LT-Portugal®</i>	<i>VE-Gaia®</i>
<b>Exportação de Outputs</b>	Sim (Gráficos e <i>Renders</i> : WMF, BMP, GIF e JPEG; Tabelas: Texto, HTML, Excel; Animações WMV)	Sim (Gráficos e Tabelas: Texto/Dados, EMF, WMF, BMP, JPEG e PNG; Sumários: CSV, Excel e HTML; Animações AVI)	Sim (só para relatórios específicos, em CSV; o restante só imprimindo ou copiando os gráficos)	Não (só se pode imprimir)	Sim (HTML, sendo criada uma pasta automaticamente com os gráficos em PNG ou BMP; pode-se exportar as tabelas para Excel)
<b>Formatos de Outputs</b>					
Gráfico	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Dados tabulados	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Folhas de Cálculo	Sim	Sim	Não	Não	Sim
Visualização de Dados no Modelo	Sim	Sim (só a iluminação e em planta)	Não	Não	Sim (só a iluminação e em planta)
Animações	Sim	Sim	Não	Não	Sim (mas não se pode exportar)
Relatório	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Tipos de Outputs</b>					
Outputs de uma única avaliação	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Outputs de comparação de avaliações	Não	Não	Sim	Sim	Sim (só nas tabelas de sumário, relativamente às simulações anteriores)
<b>Conteúdo dos Outputs</b>					
<b>Parâmetros</b>					
Perfil de Temperaturas	Sim	Sim	Não	Não	Não
Perdas/Ganhos de Calor	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Cargas de Zona	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Cargas do Edifício	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Emissões de CO2	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
<b>Conforto</b>					
MRT	Sim	Sim (só na análise CFD)	Não	Não	Não
PMV	Sim	Sim	Não	Não	Não
PPD	Sim	Sim (só na análise CFD)	Não	Não	Não
Iluminância	Sim	Sim	Não	Não	Sim
<b>Frequência</b>					
Valor do ciclo de vida do Edifício	Não	Não	Sim	Não	Não
Valor Anual	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Valor Mensal	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Valor Diário	Sim	Sim	Não	Não	Não



<b>IV. OUTPUTS/RESULTADOS</b>	<i>Autodesk® Ecotect® Analysis</i>	<i>DesignBuilder®</i>	<i>eQUEST®</i>	<i>LT-Portugal®</i>	<i>VE-Gaia®</i>
Valor Horário	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Resumo do Output					
Total	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Média	Não	Sim	Sim	Não	Sim (só na Iluminância)
Picos	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
<b>Recomendações de Otimização</b>	Não (o utilizador tem de interpretar os dados e analisar o que pode alterar para melhorar o desempenho do edifício)	Não (o utilizador tem de interpretar os dados e analisar o que pode alterar para melhorar o desempenho do edifício)	Não (o utilizador tem de interpretar os dados e analisar o que pode alterar para melhorar o desempenho do edifício)	Não (o utilizador tem de interpretar os dados e analisar o que pode alterar para melhorar o desempenho do edifício)	Sim (em todos os relatórios existem indicações gerais do que se deve ter em conta e algumas recomendações, especialmente no relatório da análise bioclimática)
<b>Outras Simulações<sup>9</sup></b>	Sim (Ver Anexo E)	Sim (Ver Anexo E)	Sim (Ver Anexo E)	Sim (Ver Anexo E)	Sim (Ver Anexo E)
<b>Duração de Análise/Simulação</b>	Moderado (Tendo em conta a quantidade e variedade de espaços e aberturas consideradas na modelação do caso de estudo, as análises são bem rápidas, no entanto nas análises diretamente no modelo 3D são moderadamente rápidas)	Lento (Como a quantidade e variedade de espaços e aberturas é bastante elevada, a tendência do tempo de cálculo é ser cada vez mais demorado)	Rápido (Tendo em conta a quantidade e variedade de espaços e aberturas consideradas na modelação do caso de estudo, as análises são bem rápidas)	Muito Rápido (Como a caracterização dos espaços e aberturas é bastante simplificado, não demora muito a fazer uma análise energética do edifício)	Moderado (Tendo em conta a quantidade e variedade de espaços e aberturas consideradas na modelação do caso de estudo, as análises são moderadamente rápidas)
<b>Facilidade de interpretação</b>	Com Outputs em que os valores se podem ver diretamente no modelo 3D, é o mais fácil de interpretar. A nível de gráficos e tabelas, também são de fácil interpretação, mas não tão intuitivos.	Os gráficos e tabelas são fáceis de interpretar. No entanto, a quantidade de informação existente na versão detalhada do sumário dos resultados, chega a ser um pouco confuso, sendo mais adequado a utilizadores com mais conhecimento na área.	Os gráficos e tabelas são fáceis de interpretar. No entanto, a quantidade de informação existente na versão detalhada do sumário dos resultados, chega a ser um pouco confuso, sendo mais adequado a utilizadores com mais conhecimento na área.	Os gráficos e tabelas são fáceis de interpretar, pois a pouca informação que existe é relativamente intuitiva para utilizadores arquitetos.	Os gráficos e tabelas são fáceis de interpretar e os outputs têm sempre pequenas notas de ajuda para melhor entender os resultados, para utilizadores inexperientes.

<sup>9</sup> A título de curiosidade verificaram-se todas as simulações possíveis de cada software, sendo apresentado no Anexo E uma listagem dessas simulações.

Após a avaliação qualitativa deste parâmetro descrita na tabela anterior, procede-se à classificação ordinal, consoante os critérios analisados.

**Tabela 16:** Classificação dos *softwares* consoante o parâmetro *Outputs/Resultados* e os seus critérios

Fonte: Autor

<b>IV. OUTPUTS/RESULTADOS</b>	<i>Autodesk® Ecotect® Analysis</i>	<i>DesignBuilder®</i>	<i>eQUEST®</i>	<i>LT-Portugal®</i>	<i>VE-Gaia®</i>
<b>Exportação de Outputs</b>	***	***	*		*
<b>Formatos de Outputs</b>	***	***	**	**	***
<b>Tipos de Outputs</b>	**	**	***	***	***
<b>Conteúdo dos Outputs</b>	**	***	**	*	**
<b>Recomendações de Otimização</b>					***
<b>Outras Simulações</b>	***	***	**	*	***
<b>Duração de Análise/ Simulação</b>	*		**	***	*
<b>Facilidade de interpretação</b>	***	***	**	***	***
<b>Total</b>	17	17	14	13	19

### 3.5.5. UTILIZADOR

Este parâmetro relaciona-se com todos os critérios que sejam relativos à interpretação ou interação com o utilizador. O primeiro critério, *Ajuda*, refere-se aos elementos existentes na ajuda incluída no próprio *software* ou na *internet*, englobando a ajuda geral, que se situa no menu da ajuda, as perguntas frequentes, glossário, fóruns, manuais e tutoriais. O segundo critério, *Clareza dos Menus e barras de ferramentas*, indica se os menus e barras de ferramentas são claros e intuitivos na utilização do *software*.

O terceiro critério, *Visualização do Modelo*, refere-se à possibilidade de visualizar o modelo em 2 ou 3 dimensões ou ambos. O quarto critério, *Apresentação do modelo 3D*, indica os métodos de representação/sombreamento do modelo 3D quando se está a utilizar os *softwares*. O quinto critério, *Conhecimento Necessário*, refere-se à quantidade de conhecimento que o utilizador necessita para manejar razoavelmente os *softwares*.

O sexto critério, *Flexibilidade de Inputs*, indica a capacidade do programa de conseguir fazer simulações tanto nos estágios iniciais de desenho, onde as características/informações são reduzidas, como uma avaliação mais detalhada e mais rigorosa.

O último critério, *Facilidade de Utilização*, é um dos mais importantes nesta dissertação, pois este é um dos critérios que faz com que o *software* seja mais ou menos apelativo. Este critério indica se o *software* a analisar é de fácil ou difícil utilização ao longo de todo o processo de modelação e simulação.

**Tabela 17:** Caracterização dos *softwares* consoante o parâmetro Utilizador e os seus critérios

Fonte: Autor

V. UTILIZADOR	Autodesk® Ecotect® Analysis	DesignBuilder®	eQUEST®	LT-Portugal®	VE-Gaia®
<b>Ajuda (integrada no programa ou na internet)</b>					
<i>Ajuda Geral</i>	Sim (Tópicos, Como faço, Comandos encriptados e Sugestões Contextuais)	Sim (Índice, Procura e Conteúdos, além do modo de aprendizagem, que é uma ajuda constante e detalhada de todos os passos durante a modelação)	Sim (Conteúdo e Índice, Ajuda sobre o Assistente e Ajuda sobre DOE-2 <sup>o</sup> )	Sim (Ajuda em alguns pontos ao longo da modelação do edifício)	Sim (Tópicos de Ajuda, Tópicos de Ajuda Gerais e Guias do Utilizador)
<i>FAQ</i>	Não	Não	Não	Não	Sim
<i>Glossário</i>	Não	Não	Sim (termos do ciclo de vida)	Não	Não
<i>Fóruns</i>	Sim	Sim	Não	Não	Sim
<i>Manuais</i>	Não	Sim	Sim	Não	Não
<i>Tutoriais</i>	Sim (pacotes de treino)	Sim	Sim	Não	Sim
<b>Clareza dos menus e barras de ferramentas</b>	Bastante Claro	Bastante Claro	Moderado	Bastante Claro	Claro
<b>Visualização do Modelo</b>	Sim (2D e 3D)	Sim (2D e 3D)	Sim (2D e 3D)	Sim (2D)	Sim (2D e 3D)
<b>Apresentação do Modelo (3D)</b>	<i>Wireframe, Shaded e OpenGL</i> <sup>10</sup>	<i>Shaded e Renderizado</i>	<i>Wireframe e Shaded</i>	Não (só planta ou corte)	<i>Wireframe, Shaded e Renderizado</i>
<b>Conhecimento Necessário</b>	Conhecimento geral sobre o desempenho de um edifício (térmico, energético e lumínico)	Conhecimento geral sobre o desempenho de um edifício (térmico, energético e lumínico) – Para uma modelação mais precisa convém ter um conhecimento mais aprofundado)	Conhecimento geral sobre o desempenho de um edifício (térmico e energético) – Para alterações mais detalhadas é necessário ter conhecimento específico no funcionamento do programa DOE-2)	Conhecimento geral sobre o desempenho de um edifício (térmico e energético)	Conhecimento geral sobre o desempenho de um edifício (térmico, energético e lumínico) – Para uma modelação mais precisa convém ter um conhecimento mais aprofundado)
<b>Flexibilidade de Inputs</b>					
Inícios de Projeto/Formas Básicas	Sim (desenhado especialmente para esta função)	Sim	Sim (assistente esquemático)	Sim (desenhado especialmente para esta função)	Sim

<sup>10</sup> Este *software* integrado no programa permite ao utilizador visualizar o seu modelo 3D em formato *shaded/renderizado* podendo alterar transparências, fazer cortes nas 3 direções, e o nível de “*sketchiness*” do desenho.

V. UTILIZADOR	Autodesk® Ecotect® Analysis	DesignBuilder®	eQUEST®	LT-Portugal®	VE-Gaia®
Projeto Detalhado e Valores Mais Concretos	Não (Para este efeito, é possível exportar o modelo para outros softwares mais apropriados, como o DOE-2®, eQUEST® ou EnergyPlus®)	Sim	Sim (assistente detalhado)	Não (tendo poucos parâmetros, é pouco aconselhado para este uso)	Não (só com o software completo do IES-VE®, visto este ser só uma parte integrante)
Facilidade de Utilização	Fácil (apesar de todo o programa ser bastante intuitivo e ser bastante claro, além de possuir outputs bastante apelativos e fáceis de interpretar, a modelação 3D fica um pouco a desejar neste aspeto, no sentido em que apesar de existir a função SNAP, por vezes encontrar o ponto pretendido é uma tarefa árdua)	Fácil (apesar de todo o programa ser bastante intuitivo e ser bastante claro, tem uma grande quantidade de inputs, que por vezes são difíceis de entender, tornando-se mais difícil fazer uma avaliação mais correta)	Médio a Difícil (os menus são um pouco confusos, a quantidade de inputs é enorme e algumas vezes um pouco difícil de entender, mesmo no modo esquemático, e nem é permitida a modelação em 3D)	Muito Fácil (Os menus são bastante simples, a quantidade de inputs é mínima, com variáveis fáceis de entender e a modelação é em 2D, sendo só mesmo os volumes o necessário para fazer uma avaliação esquemática)	Fácil (os menus chegam a ser um pouco confusos, mas não tanto como no eQUEST®, tem uma quantidade de inputs um pouco maior que o Autodesk Ecotect Analysis, mas a nível de modelação é bastante intuitivo)

Após a avaliação qualitativa deste parâmetro, procede-se à classificação ordinal, consoante os critérios analisados.

**Tabela 18:** Classificação dos *softwares* consoante o parâmetro Utilizador e os seus critérios

Fonte: Autor

V. UTILIZADOR	Autodesk® Ecotect® Analysis	DesignBuilder®	eQUEST®	LT-Portugal®	VE-Gaia®
Ajuda (integrada no programa ou na internet)	**	**	**	*	**
Clareza dos menus e barras de ferramentas	***	***	*	***	**
Visualização do Modelo	***	***	***	*	***
Apresentação do Modelo (3D)	***	**	*		**
Conhecimento Necessário	***	**	*	***	***
Flexibilidade de Inputs	*	***	***	*	*
Facilidade de Utilização	**	**	*	***	**
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>15</b>

### 3.6. ANÁLISE QUANTITATIVA

Após a análise qualitativa, bem detalhada, dos *softwares*, procede-se análise quantitativa dos mesmos. Nesta etapa da dissertação vão-se realizar várias simulações sobre o caso de estudo nos diferentes *softwares*. No entanto, é necessário salientar que se encontraram algumas dificuldades no percorrer desta tarefa, que vão resultar em outputs um pouco diferentes dos pretendidos. Uma dessas dificuldades foi conseguir modelar o edifício no *eQUEST*®, pois inicialmente o programa pede uma forma básica do edifício, “*building footprint*”, que depois extrapola para todos os pisos. Não se conseguiu modelar os pisos todos, optando-se por modelar de acordo com o segundo piso, pois é a forma mais comum entre os pisos. Isto vai implicar a falta do átrio e das coberturas em policarbonato, que contribuem muito para o consumo energético do edifício. Outra dificuldade encontrada foi o facto de o LT-Portugal® não modelar pisos enterrados, que neste caso, existem três. Isto vai afetar os resultados finais, pois são menos três pisos que vão consumir energia. Tirando estas dificuldades, conseguiu-se modelar o edifício em todos os *softwares*, com as informações fornecidas sobre as condições internas ambientais utilizando o mesmo ficheiro climático em todos eles, à exceção do LT-Portugal®, que como já foi referido, somente necessita da localização.

A comparação quantitativa dos *softwares* é realizada a nível da simulação energética, emissões de CO<sub>2</sub>, conforto térmico e iluminância. Esta comparação é efetuada através dos resultados obtidos nas simulações do caso de estudo, que são posteriormente, comparados a título de curiosidade com os dados reais fornecidos. Estes dados são só relativos ao consumo energético total, a nível mensal e anual. A comparação realizada a nível de emissões de CO<sub>2</sub> tem como base de comparação um estudo feito para um projeto de reabilitação para o edifício do caso de estudo, realizado por elementos do Instituto Superior Técnico e da ADENE em 2003 [29]. A comparação feita a nível de conforto térmico, e iluminância é realizada só entre os resultados obtidos pelos *softwares*, pois apesar de não haver dados reais para uma comparação mais fidedigna, são *outputs* que algumas das ferramentas têm em comum e é interessante ver e analisar as discrepâncias existentes nos resultados obtidos. Além disso são fatores bastante importantes para um arquiteto desenvolver um bom edifício, pois permite saber se o seu edifício está ou não a ter um desempenho sustentável e se é confortável para os utilizadores que vão usufruir dele tanto a nível térmico como lumínico.

### 3.6.1. CONSUMO ENERGÉTICO (ELÉTRICO)

A nível do Consumo Energético, todos os *softwares* estudados apresentam valores para comparação a nível total anual. No entanto o LT-Portugal® e o VE-Gaia® são os únicos que não apresentam valores mensais. Na tabela 19 apresentam-se um sumário dos resultados obtidos pelos *softwares*, sendo que os outputs serão colocados no Anexo D.

**Tabela 19:** Sumário dos resultados do consumo energético dos *softwares* e valores reais

Fonte: Autor

CONSUMO ENERGÉTICO (MWH)	Autodesk® Ecotect® Analysis	Design Builder®	eQUEST®	LT-Portugal®	VE-Gaia®	Valores Reais (2010) <sup>11</sup>
Janeiro	7,578	270,07	156,40			223,329
Fevereiro	4,680	234,77	178,00			208,794
Março	4,387	240,26	156,70			235,803
Abril	3,804	243,41	178,00			210,771
Maio	5,150	289,34	228,10			239,874
Junho	7,239	264,67	136,00			165,555
Julho	27,000	296,78	192,40			221,613
Agosto	31,713	294,02	318,30			154,995
Setembro	13,296	260,65	179,20			221,361
Outubro	5,082	281,67	179,10			285,771
Novembro	4,403	239,75	189,40			157,383
Dezembro	6,246	254,40	99,20			179,883
<b>Total</b>	<b>120,58</b>	<b>3169,70</b>	<b>2190,70</b>	<b>2284,93</b>	<b>3450,80</b>	<b>2505,13</b>

Como se pode verificar, os valores são um pouco discrepantes entre si e relativamente aos valores reais do edifício, principalmente o Autodesk® Ecotect® Analysis, em que os resultados se situam na ordem das centenas, enquanto os restantes resultados situam-se na ordem dos milhares. Destaca-se que a análise feita pelo Autodesk® Ecotect® Analysis calcula como cargas, apenas os consumos pelos sistemas de climatização. A discrepância elevada entre o Autodesk® Ecotect® Analysis e os restantes softwares deve-se à não contabilização de todos os fatores que afetam o consumo energético, pois, como foi verificado na análise qualitativa, este é o único software que não faz a simulação energética do edifício, e apenas se contabilizaram os cálculos que o software apresenta.

<sup>11</sup> Valores fornecidos pelo Eng. Mário de Matos, apresentados no Anexo C.

O *eQUEST*<sup>®</sup>, apesar de ter sido o que apresentou mais problemas para realizar a modelação é segundo que mais se aproxima da realidade. No entanto, se fossem consideradas todas as áreas problemáticas reais que o Pavilhão possui, os valores certamente seriam mais elevados, aproximando-se dos valores obtidos pelos restantes *softwares*. O *LT-Portugal*<sup>®</sup>, que é o mais simples dos cinco *softwares* apresentados, é o único que apenas considerou os pisos acima do solo, mas, no entanto, apresenta valores próximos aos da realidade. Este resultado deve-se ao facto de neste programa não ser possível diferenciar os espaços com ventilação natural dos espaços climatizados, considerando todos os espaços climatizados, aumentando consideravelmente o consumo energético do edifício, mesmo só contabilizando os pisos superiores. Assim, os que consideram todos os espaços simplificados e a caracterização dos mesmos e que se aproximam razoavelmente dos valores reais são o *DesignBuilder*<sup>®</sup> e o *VE-Gaia*<sup>®</sup>.

Um fator relevante para uma melhor interpretação, pelo utilizador, do desempenho do edifício é o fato de os resultados não serem somente anuais, mas também mensais, que permite perceber em que período de tempo é que o edifício tem um pior desempenho energético, podendo melhorar esses aspetos. Neste aspeto, o *Autodesk*<sup>®</sup> *Ecotect*<sup>®</sup> *Analysis*, o *DesignBuilder*<sup>®</sup> e o *eQUEST*<sup>®</sup> são os que apresentam esses resultados, sendo uma mais-valia para os seus utilizadores. Todos eles apresentam que o consumo energético é muito mais elevado nos meses quentes que nos meses frios, revelando que o edifício apresenta graves problemas de sobreaquecimento no Verão, problema que é sentido pelas pessoas que ocupam este espaço todos os anos.

Estas variações de resultados podem ser derivadas dos materiais que variam de *software* para *software*, mesmo indicando as principais propriedades termofísicas, das escolhas mais específicas dos tipos de sistemas de climatização, que no caso do *Autodesk*<sup>®</sup> *Ecotect*<sup>®</sup> *Analysis* somente associa se existe ou não sistemas de AVAC, sendo muito simplificado, ou o caso do *LT-Portugal*<sup>®</sup> que não diferencia espaços climatizados de espaços não climatizados. Outro fator predominante para esta variação de resultados é o método utilizado para o cálculo do consumo energético, pois nenhum deles utiliza o mesmo método de cálculo base para as simulações que efetuam.



### 3.6.2. EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>

A nível de Emissões de CO<sub>2</sub>, apenas o *eQUEST*<sup>®</sup> não realiza esse tipo de análise. Os valores obtidos são mensais e anuais, à exceção do *LT-Portugal*<sup>®</sup> que apenas apresenta o valor anual.

**Tabela 20:** Sumário dos resultados das emissões de CO<sub>2</sub> dos *softwares* e valores reais

Fonte: Autor

EMIÇÃO ANUAL DE CO <sub>2</sub> (TON)	<i>Autodesk</i> <sup>®</sup> <i>Ecotect</i> <sup>®</sup> <i>Analysis</i>	<i>Design Builder</i> <sup>®</sup>	<i>eQUEST</i> <sup>®</sup>	<i>LT-Portugal</i> <sup>®</sup>	<i>VE-Gaia</i> <sup>®</sup>	Valores Reais <sup>12</sup>
Janeiro	239,137	185,00			173,901	
Fevereiro	147,029	160,82			141,540	
Março	137,809	164,58			134,007	
Abril	119,314	166,73			120,300	
Mai	161,806	198,20			135,464	
Junho	227,570	181,30			149,515	
Julho	857,030	203,29			177,497	
Agosto	1007,391	201,40			177,823	
Setembro	420,368	178,55			154,446	
Outubro	159,514	192,94			131,183	
Novembro	138,511	164,23			125,479	
Dezembro	196,772	174,26			162,920	
<b>Total</b>	<b>3812,26</b>	<b>2171,30</b>		<b>8454,24</b>	<b>1784,08</b>	<b>1152,00</b>

Como se pode analisar, os valores apresentam-se na ordem dos milhares e são todos superiores ao valor real. No entanto o *LT-Portugal*<sup>®</sup> apresenta valores um pouco superiores aos valores apresentados pelos restantes *softwares*. Tal como foi referido anteriormente, o *LT-Portugal*<sup>®</sup> não diferencia espaços climatizados dos não-climatizados, o que faz com que o consumo energético por parte desses elementos seja mais elevado e, consequentemente, a quantidade de emissão de CO<sub>2</sub> seja também mais elevada que as restantes. No entanto, não se entende, nem se encontrou explicação do porquê do valor ser tão superior relativamente aos restantes valores e aos valores do consumo energético, pois, como foi referido, normalmente o cálculo de emissões de CO<sub>2</sub> envolve uma relação proporcional com o valor do consumo energético.

Os valores obtidos, à exceção do *LT-Portugal*<sup>®</sup>, não variam muito, sendo o *VE-Gaia*<sup>®</sup> o *software* que mais se aproxima do valor real. Os *softwares*, à exceção do *LT-Portugal*<sup>®</sup>, apresentam a mais-valia de obter resultados mensais, que, como foi referido anteriormente, permite uma melhor interpretação do desempenho do edifício.

<sup>12</sup> Valor retirado do estudo realizado ao caso de estudo para uma reabilitação energética do edifício em 2003 [29]

### 3.6.3. CONFORTO TÉRMICO

Neste parâmetro somente o *Autodesk® Ecotect® Analysis* e o *DesignBuilder®* realizam esta análise. No entanto, os valores obtidos são representados de diferentes maneiras, sendo que o *Autodesk® Ecotect® Analysis* representa os seus resultados num gráfico diretamente no modelo tridimensional, enquanto o *DesignBuilder®* apresenta os resultados num gráfico de linhas, ou numa tabela, com valores anuais, mensais, diários e horários. Para o efeito desta dissertação, consideraram-se os valores diários do *DesignBuilder®*, sendo considerados, para cada espaço, os dias mais problemáticos obtidos pelo *Autodesk® Ecotect® Analysis*, isto é, o dia mais frio, que neste caso é o dia 31 de Janeiro, e o dia mais quente, que neste caso é o dia 29 de Agosto. As escolhas destes dias são para verificar se os resultados têm a mesma tendência nos dias mais problemáticos do ano, onde normalmente se verifica maiores desconfortos térmicos. Relativamente aos valores do *Autodesk® Ecotect® Analysis*, como ele efetua a análise para cada hora, ao longo de toda a superfície, vão-se considerar os valores médios de cada hora, de 4 em 4 horas e efetua-se a média, para obter o valor diário.

**Tabela 21:** Sumário dos resultados do conforto térmico dos *softwares*

Fonte: Autor

CONFORTO TÉRMICO PMV	<i>Autodesk® Ecotect® Analysis</i>			<i>DesignBuilder®</i>
	Horas	Valor Médio p/ Hora	Valor Médio	
<b>Aquário</b>				
31 de Janeiro	0	-4,94	<b>-3,00</b> (apesar da média ser -4,74, como a escala só possui valores de -3 a 3, admite-se o valor mínimo)	<b>-1,21</b>
	4	-5,03		
	8	-4,86		
	12	-4,47		
	16	-4,37		
	20	-4,79		
29 de Agosto	0	-0,09	<b>0,59</b>	<b>1,37</b>
	4	-0,16		
	8	0,20		
	12	1,48		
	16	1,62		
	20	0,49		
<b>Gabinete</b>				
31 de Janeiro	0	-4,46	<b>-3,00</b> (apesar da média ser -4,17, como a escala só possui valores de -3 a 3, admite-se o valor mínimo)	<b>-1,04</b>
	4	-4,51		
	8	-4,33		
	12	-3,57		
	16	-3,82		
	20	-4,33		
29 de Agosto	0	0,44	<b>0,92</b>	<b>0,86</b>
	4	0,41		
	8	0,79		
	12	1,66		
	16	1,41		
	20	0,81		

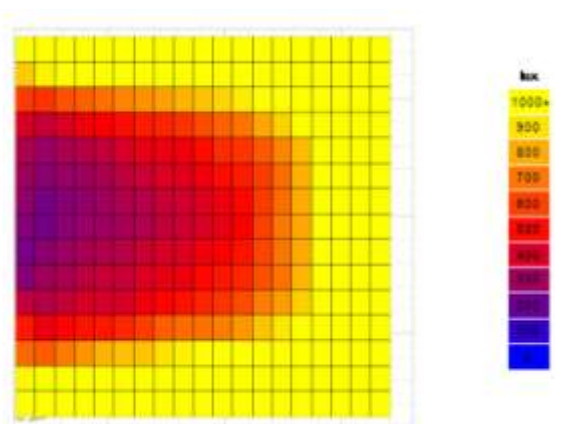
CONFORTO TÉRMICO PMV	Autodesk® Ecotect® Analysis			DesignBuilder®
	Horas	Valor Médio p/ Hora	Valor Médio	
Sala de Arquitetura Tipo				
31 de Janeiro	0	-4,00	<b>- 3,00</b> (apesar da média ser - 3,77, como a escala só possui valores de -3 a 3, admite-se o valor mínimo)	<b>- 0,77</b>
	4	-4,02		
	8	-3,96		
	12	-3,33		
	16	-3,41		
	20	-3,91		
29 de Agosto	0	1,11	<b>1,42</b>	<b>1,54</b>
	4	1,09		
	8	1,24		
	12	1,95		
	16	1,86		
	20	1,31		

Os valores obtidos pelo Autodesk® Ecotect® Analysis são abaixo dos valores mínimos da escala de PMV. Este é um erro constante quando se trata de análises em dias mais frios, considerando-se uma gralha existente no software que necessita de ser reparada pelos criadores do mesmo. Por isso admite-se o valor mínimo da escala. No entanto estes resultados não serão considerados para análise, pois são um erro do programa.

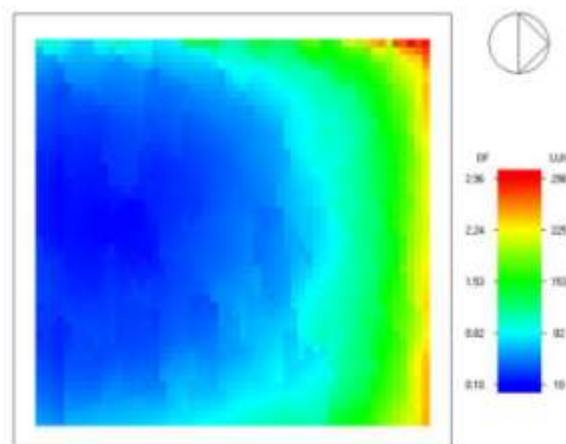
Ainda assim, apesar da diferença de valores no dia mais frio, pode-se verificar nos vários espaços analisados que no dia mais quente os valores são próximos, seguindo a mesma tendência, que neste caso é que ambos os espaços são ligeiramente quentes a quentes, atingindo algum nível de desconforto no aquário e na sala tipo de arquitetura.

### 3.6.4. ILUMINÂNCIA

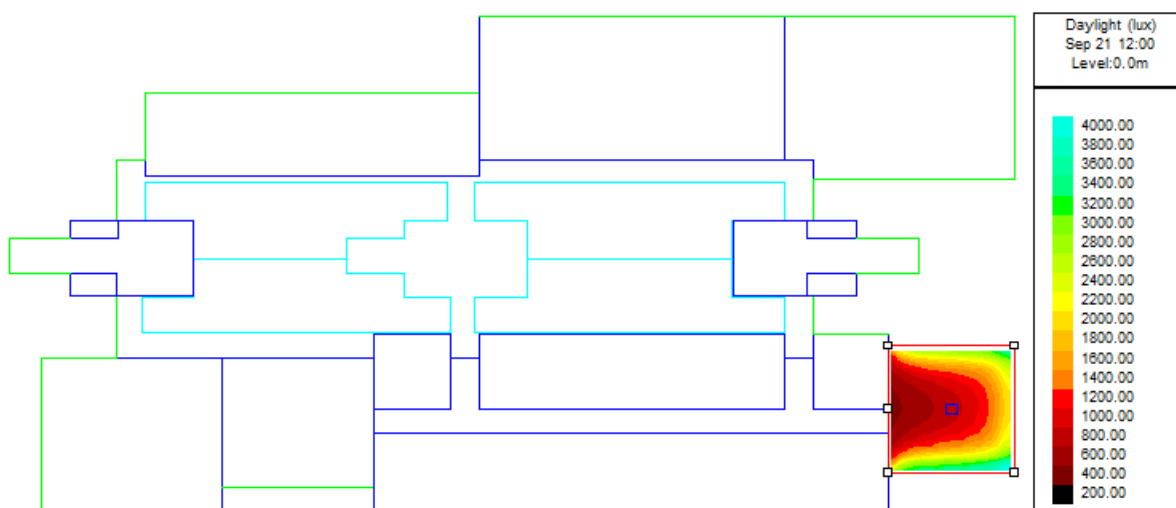
A nível de iluminância, são três os *softwares* que possuem esta análise: o *Autodesk® Ecotect® Analysis*, o *DesignBuilder®* e o *VE-Gaia®*. Para a simulação, definiu-se o tipo de Céu como *Overcast Sky* para todos e dia escolhido é o Equinócio de Outono, a 21 de Setembro. Nesta comparação, ao invés de utilizar os valores absolutos, representados em quadros e apresentar os *outputs* em anexos e como nenhum dos três gera *outputs* com valores absolutos ou em tabelas, decidiu-se representar os *outputs* obtidos diretamente, para uma leitura menos subjetiva. Assim, observam-se os resultados exatamente como os utilizadores o podem analisar. Os resultados são apresentados em Lux.



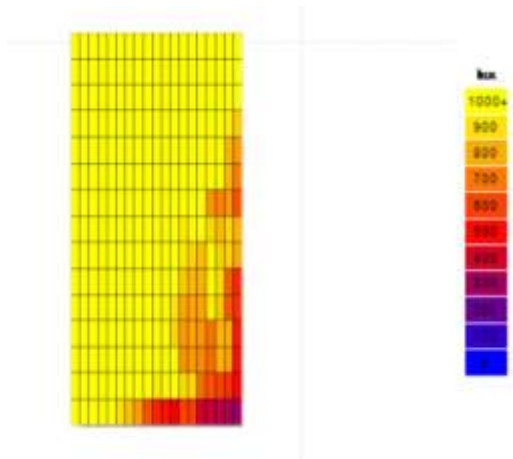
**Figura 24:** Resultado do cálculo da iluminância no Aquário pelo *Autodesk® Ecotect® Analysis*  
Fonte: Autor



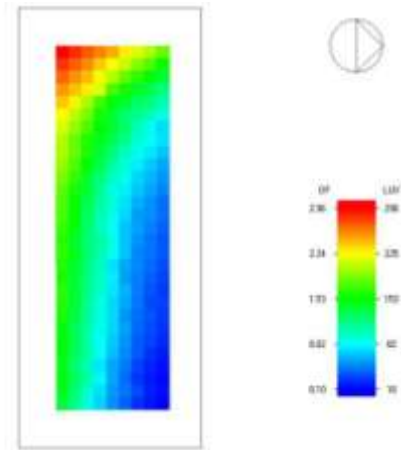
**Figura 25:** Resultado do cálculo da iluminância no Aquário pelo *DesignBuilder®*  
Fonte: Autor



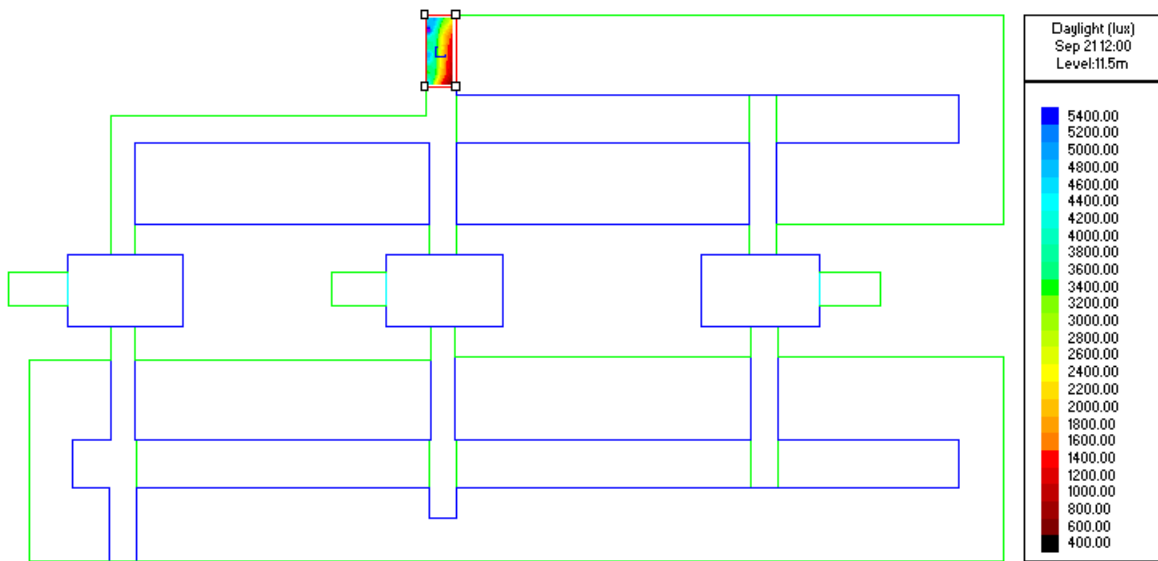
**Figura 26:** Resultado do cálculo da iluminância no Aquário pelo *VE-Gaia®*  
Fonte: Autor



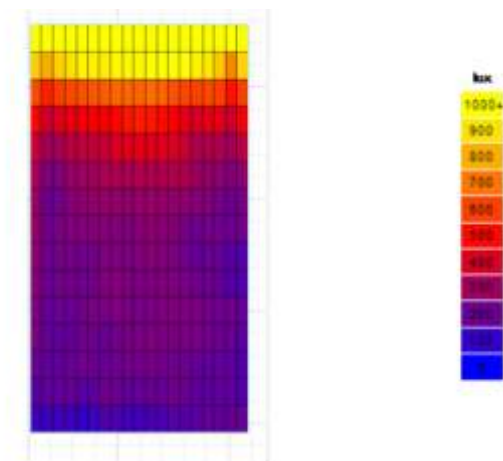
**Figura 27:** Resultado do cálculo da iluminância no Gabinete pelo Autodesk® Ecotect® Analysis  
 Fonte: Autor



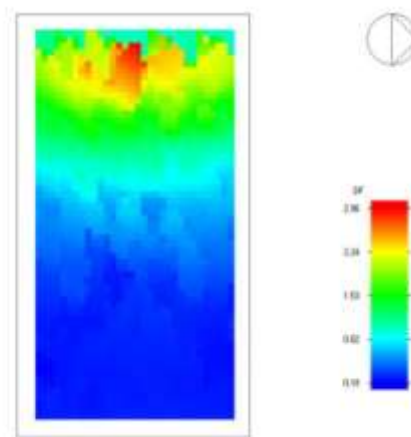
**Figura 28:** Resultado do cálculo da iluminância no Gabinete pelo DesignBuilder®  
 Fonte: Autor



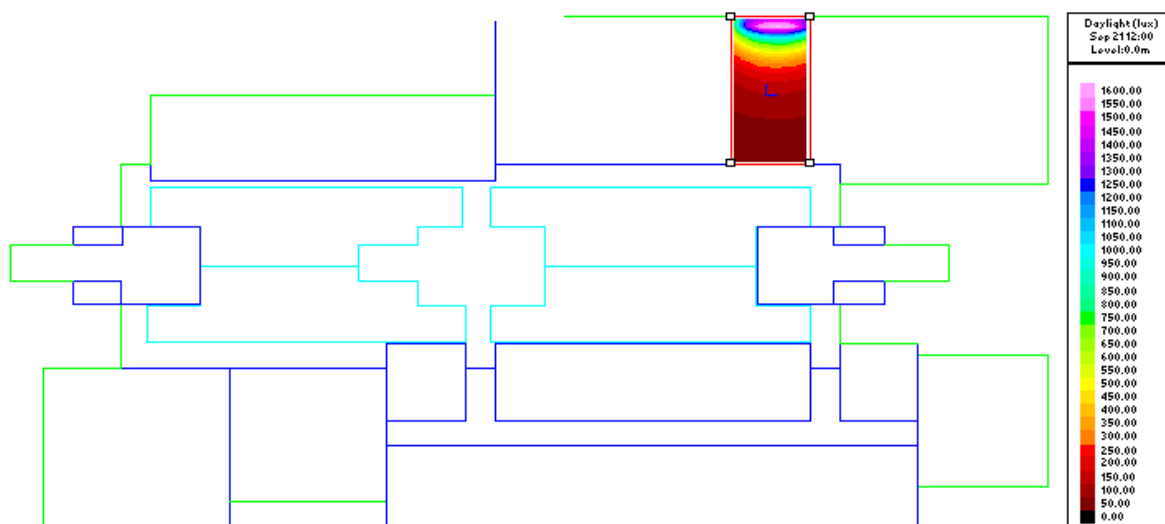
**Figura 29:** Resultado do cálculo da iluminância no Gabinete pelo VE-Gaia®  
 Fonte: Autor



**Figura 30:** Resultado do cálculo da iluminância na Sala Tipo de Arquitetura pelo Autodesk® Ecotect® Analysis  
 Fonte: Autor



**Figura 31:** Resultado do cálculo da iluminância na Sala Tipo de Arquitetura pelo DesignBuilder®  
 Fonte: Autor



**Figura 32:** Resultado do cálculo da iluminância na Sala Tipo de Arquitetura pelo VE-Gaia®  
 Fonte: Autor

Em todos os espaços, o Autodesk® Ecotect® Analysis e o VE-Gaia® apresentam valores relativamente semelhantes, enquanto o DesignBuilder® apresenta valores muito mais baixos. Salienta-se que o único software onde se pode alterar os valores da escala que se considera é o Autodesk® Ecotect® Analysis. Neste, apesar dos valores obtidos na simulação original serem tão elevados como o VE-Gaia®, optou-se por se alterar a escala para valores entre os 0 e os 1000 lux, pois seria a escala onde se encontram os valores mais usuais. Deste modo consegue-se ressaltar esta propriedade do Autodesk® Ecotect® Analysis.

No entanto, como se pode observar nas figuras todos os softwares apresentam a mesma distribuição de valores, isto é, apresentam valores mais elevados perto das janelas e vão diminuindo conforme se vai afastando das janelas, o que permite avaliar bem a distribuição de lux e não tanto os valores. Estas variações díspares de resultados podem estar relacionadas com o que cada software considera um Overcast Sky e diferença entre materiais que possa existir, como a reflexão que cada material pode gerar, por exemplo.

## **4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES DE UTILIZAÇÃO**

Neste capítulo apresenta-se uma síntese das comparações realizadas no capítulo anterior e uma posterior recomendação de *softwares* para diferentes finalidades, procurando identificar o *software* mais apropriado para cada tipo de finalidade.

#### 4.1. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Num mundo ideal, os *softwares* de simulação ambiental teriam todas as características analisadas nesta dissertação, além de possuírem características mais avançadas para uma melhor avaliação do edifício, como ter resultados em tempo real, ou seja, à medida que se vai desenvolvendo o projeto no próprio modelo, o *software* vai acompanhando essa evolução com simulações constantes, além de sugerir soluções adequadas a cada tipo de modelação que se vai efetuando. No entanto, isso não acontece. Nenhum dos *softwares* possui uma qualificação de três estrelas em todos os critérios avaliados, o que implica que ainda há muitas melhorias a fazer no desenvolvimento de cada *software*.

Na análise qualitativa, os parâmetros escolhidos para avaliação são bastante pertinentes, mas no entanto, podem ser um pouco subjetivas ou mesmo discutíveis. Com avaliação ordinal pretendeu-se dar mais objetividade à análise para se poder chegar a uma conclusão mais clara de qual é o melhor *software*.

A nível do Sistema, o *DesignBuilder*<sup>®</sup> é o que melhor se pode utilizar, pois, apesar de a nível do sistema operativo, só funciona no *Windows* (mas todos eles só funcionam no *Windows*), contém os dois sistemas de unidades mais utilizados a nível mundial, tem uma biblioteca incorporada bastante completa, é razoavelmente estável, tem uma quantidade enorme de ficheiros climáticos a nível mundial e portugueses, além de possuir algum controlo de histórico. No entanto o *Autodesk*<sup>®</sup> *Ecotect*<sup>®</sup> *Analysis* e o *VE-Gaia*<sup>®</sup> estão bastante próximos.

A nível de Funcionalidades, o que melhor se adequa é o *eQUEST*<sup>®</sup>, pois é o que utiliza uma das abordagens técnicas para cálculo mais rigorosas, faz metade dos cálculos apresentados e ainda faz uma estimativa de custos. O *Autodesk*<sup>®</sup> *Ecotect*<sup>®</sup> *Analysis* e o *DesignBuilder*<sup>®</sup> estão também bastante próximos, sendo o *DesignBuilder*<sup>®</sup> não ser melhor, por não efetuar as estimativas de custo, mas que no entanto está em processo de desenvolvimento, podendo aparecer nas próximas versões.

A nível Modelação, os *softwares* que se destacam são o *DesignBuilder*<sup>®</sup> e o *VE-Gaia*<sup>®</sup>. Apesar de a nível da Extensão não se destacarem tanto como o *Autodesk*<sup>®</sup> *Ecotect*<sup>®</sup> *Analysis*, sobressaem na modelação do edifício e da modelação de AVAC. No entanto, o *Autodesk*<sup>®</sup> *Ecotect*<sup>®</sup> *Analysis* e o *eQUEST*<sup>®</sup> são bastante próximos.



A nível de *Outputs/Resultados* o que mais possui uma pontuação mais elevada é o *VE-Gaia*<sup>®</sup>, apesar da exportação de *Outputs* não se destacar muito, nos restantes parâmetros sobressai bastante, pois tem uma grande variedade de formatos *outputs*, faz tanto uma avaliação única como comparações, a quantidade de conteúdos nos *outputs* é considerável, é o único que faz recomendações de otimização, realiza outras simulações para além das analisadas e os seus *outputs* são de fácil interpretação. No entanto o *Autodesk*<sup>®</sup> *Ecotect*<sup>®</sup> *Analysis* e o *DesignBuilder*<sup>®</sup> são bastante próximos.

A nível do Utilizador, o *Autodesk*<sup>®</sup> *Ecotect*<sup>®</sup> *Analysis* e o *DesignBuilder*<sup>®</sup> são os que se destacam. São bastante semelhantes, pois têm ambos relativamente boa ajuda, são claros nos seus menus e barras de ferramentas, tem boas visualizações do modelo, sendo o *Autodesk*<sup>®</sup> *Ecotect*<sup>®</sup> *Analysis* melhor a nível da apresentação de resultados no modelo 3D e da necessidade menor de conhecimento para manuseamento do *software*. No entanto o *DesignBuilder*<sup>®</sup> ressalta na flexibilidade de *inputs*. Destaca-se que o *LT-Portugal*<sup>®</sup>, apesar de não obter uma pontuação tão elevada pois existem vários critérios a considerar, é um programa de grande rapidez de cálculo e o mais fácil de utilizar ao nível do utilizador, pois este foi desenvolvido tendo em conta as necessidades do arquiteto, para evitar/corrigir erros grosseiros nas primeiras fases do projeto.

A nível global, consoante os critérios analisados como se pode verificar na tabela 22, o melhor *software* de simulação ambiental é o *DesignBuilder*<sup>®</sup>, sendo seguido pelo *VE-Gaia*<sup>®</sup> e o *Autodesk*<sup>®</sup> *Ecotect*<sup>®</sup> *Analysis*. No entanto a diferença entre os *softwares*, tanto a nível dos parâmetros como a nível global, é tão insignificante e sendo os critérios um pouco subjetivos, chegando a ser um pouco pessoal a avaliação efetuada a cada *software*, que se torna difícil afirmar qual é o melhor *software*. É necessário considerar que os *softwares* avaliados são todos diferentes, tendo características distintas, sendo mais difícil compará-los e identificar o melhor. Além de que a adequação de cada *software* depende de utilizador para utilizador e da finalidade pretendida.

**Tabela 22:** Sumário da Classificação dos Softwares em todos os parâmetros

Fonte: Autor

	<i>Autodesk</i> <sup>®</sup> <i>Ecotect</i> <sup>®</sup> <i>Analysis</i>	<i>DesignBuilder</i> <sup>®</sup>	<i>eQUEST</i> <sup>®</sup>	<i>LT-Portugal</i> <sup>®</sup>	<i>VE-Gaia</i> <sup>®</sup>
<b>I. Sistema</b>	13	14	11	12	13
<b>II. Funcionalidades</b>	6	6	8	3	5
<b>III. Modelação</b>	24	26	24	12	26
<b>IV. Outputs/Resultados</b>	17	17	14	13	19
<b>V. Utilizador</b>	17	17	12	12	15
<b>Total</b>	77	80	69	52	78

A análise quantitativa está intrinsecamente ligada à análise qualitativa, pois as diferentes características que cada *software* apresenta vão influenciar os resultados nesta análise. Isto é, a análise, dependendo de cada *software*, pode ser mais ou menos simplificada, havendo admissões de valores para facilitar os cálculos, valores esses que podem variar em grande escala, pois depende da investigação de cada equipa, obtendo-se resultados bastante variados entre cada *software*.

Em todas as avaliações realizadas, simulação energética, emissões de CO<sub>2</sub>, conforto térmico e iluminância, tirando algumas exceções (o *Autodesk® Ecotect® Analysis* na simulação energética, o *LT-Portugal®* nas emissões de CO<sub>2</sub> e o *DesignBuilder®* na Iluminância), os resultados obtidos seguem a mesma tendência e também a mesma ordem de grandeza, sendo esta uma avaliação positiva dos resultados, pois permite entender que independentemente do programa escolhido, sabe-se que vai ter relativamente um comportamento semelhante a nível de resultados, que é o que mais importa saber para o arquiteto, sendo mais importante que os resultados em si. Isto é, para o arquiteto é importante saber que se o seu modelo é mais ou menos sustentável, e se aplicando diferentes soluções este melhora ou não o seu desempenho.

Como já foi referido as diferenças obtidas podem ser devidas aos diferentes tipos de cálculo, a diferentes valores assumidos por cada *software*, aos *inputs* que são dependentes do conhecimento do utilizador, às propriedades de materiais que diferenciam de programa para programa, à contabilização ou não de sistemas de climatização e no caso da iluminância, o tipo de céu escolhido ter características diferentes entre *softwares*.

Os resultados obtidos são confrontados com valores reais, somente a título de curiosidade, pois nas aproximações efetuadas por cada *software*, nenhum deles caracteriza os espaços na sua totalidade, e mesmo que caracterizassem, um arquiteto não teria conhecimento suficiente para o caracterizar, pois tornar-se-ia pouco útil para o mesmo.

A análise quantitativa, devido aos diversos fatores que impedem o rigor das simulações, é uma análise mais tida em consideração para entender as diferenças que resultam das diferentes simulações e a tendência dos valores apresentados.

## 4.2. RECOMENDAÇÕES DE UTILIZAÇÃO

Num modo geral, após a análise quantitativa e qualitativa de cada *software* pode-se fazer recomendações de *softwares* para cada tipo de utilizador.

Para um utilizador que não tenha muitas noções de conceitos de consumo energético e que deseje realizar apenas uma simulação de um edifício, ainda nos inícios de projeto, sem muitos detalhes e poder fazer comparações de diferentes soluções de forma rápida, o *software* mais adequado é o LT-Portugal®, pois permite fazer uma modelação e uma simulação bastante rápida, podendo analisar diferentes soluções com relativa facilidade, sem necessidade de grandes *inputs* e com resultados simples de interpretar. Neste caso, os valores dos resultados não devem ser considerados a nível absoluto, pois para a redução de *inputs*, há uma grande variedade de valores que são pré-definidos. O *software* serve para comparar diferentes opções de projeto, (análise comparativa).

Para um utilizador que tenha umas noções básicas de conceitos de consumo energético e que pretenda resultados relativamente rápidos, sem necessidade de ser muito rigoroso, como um arquiteto que trabalha num gabinete, em que não tem tempo para uma análise complexa, ou mesmo um estudante de arquitetura, o *software* mais recomendado é o Autodesk® Ecotect® Analysis ou o VE-Gaia®. Neste caso, não é só um *software* que se recomenda, pois os dois são bastante semelhantes, sendo que o Autodesk® Ecotect® Analysis tem uma característica mais forte que é a representação de alguns *outputs*, pois situam-se diretamente no modelo 3D, sendo muito útil até para um cliente entender o que se pode passar no seu edifício. No entanto o VE-Gaia® possui uma biblioteca incorporada mais completa, o que permite usar valores predefinidos consoante o tipo de edifício que se está a projetar. São os únicos que têm em consideração o uso de sistemas de energia renovável, o que é uma propriedade bastante interessante para um arquiteto. Ambos são mais direcionados para os inícios de projeto, que é onde é mais eficaz testar modelos simples e simular sem grandes compromissos, para posteriormente não ter tantos problemas a nível energético e ambiental. São necessários conhecimentos básicos para a sua utilização, são de fácil utilização e modelação geométrica e, por último, são os que possuem maiores quantidades de simulações para além das analisadas nesta dissertação, o que permite uma avaliação mais alargada do desempenho do edifício, não sendo só a nível energético ou lumínico. As suas avaliações são relativamente rápidas, sendo uma mais-valia para este tipo de utilizadores.

É de ressaltar que o DesignBuilder® também possui muitas características que permitiriam ser um dos *softwares* recomendados, pois é fácil de manejar, os seus *outputs* são relativamente fáceis de entender, também realiza algumas simulações para além das analisadas, é fácil de manusear e de modelar, mas no entanto, por utilizar um programa base de cálculo bastante rigoroso implica a necessidade de uma quantidade maior de *inputs* para caracterizar bem o edifício a modelar, o que não é muito favorável para o tipo de utilizador em questão.

Para utilizadores mais experientes, que querem realizar um estudo mais aprofundado, como arquitetos que já tem alguma experiência e conhecimento sobre conceitos relativos ao desempenho energético do edifício, ou arquitetos que estejam a realizar algum tipo de investigação (a nível de pós-graduação ou doutoramento), o *software* recomendado é o *DesignBuilder*<sup>®</sup>, pois utiliza um programa de cálculo base bastante rigoroso e robusto, o *EnergyPlus*<sup>®</sup>, que permite uma maior aproximação aos resultados reais, pois necessita de uma grande quantidade de *inputs* para uma boa caracterização, sem no entanto ser difícil de manusear, ou de interpretar os resultados, faz outro tipo de avaliações para além das analisadas, tem uma das melhores ajudas dos *softwares* comparados, tem uma boa apresentação e visualização dos modelos, é bastante claro nos menus e barra de ferramentas, consegue-se modelar edifícios com relativa facilidade, além de ter uma biblioteca incorporada relativamente completa e é dos poucos que tem uma biblioteca de ficheiros climáticos de Portugal bastante recheada.

Salienta-se que o *software eQUEST*<sup>®</sup>, apesar de ter várias características positivas e de ter um programa de cálculo base bastante robusto e rigoroso, é o menos atrativo para um arquiteto, qualquer que seja o tipo que foi referido, pois, a sua modelação é um pouco mais difícil que as restantes, é necessário um conhecimento mais específico para uma boa modelação, a sua base de dados é referente mais especificamente para os Estados Unidos da América, tanto que apenas utilizam o sistema de unidades IP, e os seus *outputs* são um pouco confusos, principalmente os *outputs* detalhados, sendo pouco apelativo para qualquer um dos utilizadores referenciados.

No futuro, este tipo de estudos será cada vez mais importante, pois a cada dia que passa a tecnologia deste tipo de *softwares* evolui rapidamente, sendo necessário estar a par das ferramentas que vão surgindo e qual é a mais indicada para cada finalidade. Além disso, o interesse nesta área da simulação ambiental e energética vai subir cada vez mais, sendo necessário este tipo de informação.

Uma ideia de seguimento deste estudo seria uma análise mais profunda dos *softwares*, a nível de usos, através da utilização de variados casos de estudos, com diferentes usos, isto é, casos de estudo que englobem os usos habitacionais, de escritório, educacionais (como o que foi estudado nesta dissertação), entre outros. Esta análise poderia verificar que impacto as variações de uso têm nos resultados e se estes são muito diferentes dos resultados obtidos nesta dissertação.

Além da realização de estudos semelhantes, espera-se que este estudo sirva de início para investigações mais profundas nesta área. Por exemplo, a criação de um interface no AutoCAD<sup>®</sup> que permitisse o cálculo dos principais parâmetros ambientais que um arquiteto necessita saber para a criação de projetos mais sustentáveis, sem a necessidade de exportar a informação para outros *softwares*, e que ao mesmo tempo sugerisse soluções mais sustentáveis tendo em conta a análise efetuada do projeto. Esta solução permitiria uma poupança de tempo na exportação e modelação noutros *softwares*, e ao mesmo tempo poder-se-ia avaliar o projeto em qualquer fase de desenvolvimento. Como a maioria dos *softwares* existentes não sugere soluções alternativas e poucos são os que tem o arquiteto em conta, este seria um estudo muito interessante.

## **CONCLUSÃO**

A presente dissertação teve como objetivo a comparação crítica e analítica, de ferramentas simulação ambiental e energética para a prática de projeto de arquitetura, tendo em conta uma análise criteriosa e completa, tendo em conta a perspectiva do arquiteto. O tema desta dissertação engloba algumas áreas de investigação bastante atuais a nível de desempenho energético e sustentável, que vão ter uma importância crescente ao longo dos anos. Sendo este tipo de ferramentas um instrumento muito útil para uma prática de projeto de Arquitetura, é importante saber que tipos de *softwares* são mais adequados ao tipo de finalidade pretendida. Embora já hajam alguns estudos nesta área, são poucos os que tem o utilizador em consideração e raros os que têm o arquiteto como utilizador, pois só mais recentemente é que estes começaram a manifestar maior interesse na área. Além disso, nenhum dos estudos encontrados foi realizado a nível nacional, sendo este estudo de importância extrema.

Para um melhor entendimento dos *softwares*, foram apontados os principais conceitos subjacentes a cada um. Para as análises qualitativa e quantitativa recorreu-se a um caso de estudo, o Pavilhão de Engenharia Civil, que se descreveu a nível de espaços, materiais e ocupações, para uniformizar os *inputs* necessários para cada *software* e obter *outputs* com menor margem de erro.

Realizou-se a análise qualitativa, tendo em consideração como matriz principal o estudo realizado por Lam *et al* [12], parâmetros dos principais artigos consultados e algumas considerações das respostas aos questionários realizados. Posteriormente a cada grupo de parâmetros, efetuou-se uma classificação ordinal, numa escala de zero a três, consoante a satisfação ou não dos parâmetros considerados. Com esta classificação, o *software* com a pontuação mais elevada é o *DesignBuilder*<sup>®</sup>, tendo logo a seguir o *Autodesk*<sup>®</sup> *Ecotect*<sup>®</sup> *Analysis* e o *VE-Gaia*<sup>®</sup>. A análise quantitativa, realizada a nível de consumos energéticos, emissões de CO<sub>2</sub>, conforto térmico e iluminância, resulta em valores um pouco discrepantes entre os próprios *softwares* e os valores reais, que foram considerados só a título de curiosidade. No entanto, a quantidade de fatores que alteram os resultados, não permitem uma comparação exata dos resultados, sendo considerada mais no sentido de saber se seguem todos a mesma tendência e se situam na mesma ordem de grandeza, o que acontece, tirando algumas exceções.

Após as análises, entende-se que o melhor *software* a nível de simulação energética deve ser definido de acordo com o tipo de utilizador e da finalidade pretendida. Tendo esses fatores em consideração e toda a análise qualitativa e quantitativa, recomendam-se os *softwares* mais apropriados para cada situação.

É de salientar que tirando o LT-Portugal<sup>®</sup>, os *softwares* analisados realizam análises mais detalhadas ao longo do projeto para uma otimização do mesmo, enquanto o LT-Portugal<sup>®</sup> foi concebido para as primeiras fases do projeto, para que nas decisões iniciais se evitem erros grosseiros a nível do desempenho energético do edifício. Esta diferença de finalidades não permite uma análise tão rigorosa dos *softwares*, pois possuem características distintas. No entanto tenta-se chegar a uma avaliação o mais objetiva possível, através das análises detalhadas, tanto qualitativa como quantitativamente.

Assim, chega-se à conclusão que o melhor *software* para um utilizador com conhecimentos básicos ou nulos, que pretenda uma modelação fácil e rápida, com capacidade de comparação, é o LT-Portugal®. Para um utilizador que tenha umas noções mais avançadas de conceitos de consumo energético e que pretenda resultados relativamente rápidos, sem necessidade de ser muito rigoroso, como um arquiteto que trabalha num gabinete, em que não tem tempo para uma análise complexa, ou mesmo um estudante de arquitetura, o *software* mais recomendado é o *Autodesk® Ecotect® Analysis* ou o *VE-Gaia®*. Para utilizadores mais experientes, que querem realizar um estudo mais aprofundado, como arquitetos que já tem alguma experiência e conhecimento sobre conceitos relativos ao desempenho energético do edifício, ou arquitetos que estejam a realizar algum tipo de investigação (a nível de pós-graduação ou doutoramento), o *software* recomendado é o *DesignBuilder®*.

Este estudo é de extrema importância e seria interessante haver outras dissertações baseadas neste tema, pois estão sempre a surgir novos *softwares*, com características cada vez mais evoluídas e seria importante prosseguir este tipo de análises para a informação da comunidade dos arquitetos a nível nacional e também internacional sobre o tipo de *softwares* existentes e quais são os mais adequados a cada tipo de utilizador. Além disso espera-se que este estudo sirva de base para investigações futuras mais profundas nesta área, como por exemplo, criar um interface no *AutoCAD®* que permitisse o cálculo dos principais parâmetros ambientais que um arquiteto necessita saber para a criação de projetos mais sustentáveis, sem a necessidade de exportar a informação para outros *softwares*, e que ao mesmo tempo sugerisse soluções mais sustentáveis tendo em conta a análise efetuada do projeto, ou fazer uma análise mais profunda dos *softwares*, a nível de usos, através da utilização de variados casos de estudos, com diferentes usos para verificar que impacto as variações de uso têm nos resultados e se estes são muito diferentes dos resultados obtidos nesta dissertação.





## **BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Autodesk, *Autodesk Ecotect Analysis*, 2011, Disponível em:  
<http://usa.Autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=12602821&siteID=123112> [10/01/2011]
- [2] Design Builder Software Ltd, *Design Builder*, 2011, Disponível em:  
<http://www.DesignBuilder.co.uk/content/view/58/112/> [15/01/2011]
- [3] The American Institute of Architects, *Energy Modeling*, 2009, Disponível em:  
<http://wiki.aia.org/wiki%20pages/energy%20modeling.aspx> [05/04/2012]
- [4] Wikipédia, Relatório Brundtland, 2011, Disponível em:  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Relat%C3%B3rio\\_Brundtland](http://pt.wikipedia.org/wiki/Relat%C3%B3rio_Brundtland) [20/04/2012]
- [5] MILLS, Evan – “Inter-comparison of North American residential energy *Analysis* tools”, *Energy and Buildings*, Volume 36, Berkeley (USA): Elsevier, 2004, pp. 865-880
- [6] U.S. Department of Energy, *Building Energy Software Tools Directory*, Disponível em:  
[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/subjects.cfm/pagename=subjects/pagename\\_menu=whole\\_building\\_Analysis/pagename\\_submenu=energy\\_simulation](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/subjects.cfm/pagename=subjects/pagename_menu=whole_building_Analysis/pagename_submenu=energy_simulation) [10/01/2011]
- [7] CRAWLEY, D.B., LAWRIE L.K., WINKELMANN F.C., BUHL W.F., ERDEM A.E., PEDERSEN C.O., LIESEN R.J., FISHER D.E. – “The Next-Generation in Building Energy Simulation - A Glimpse of the Future”, *Proceedings of Building Simulation '97*, Vol. 3, 1997, pp. 395-402.
- [8] ELLIS, M. W., MATHEWS, E. H. – “A new simplified thermal *Design* tool for architects”, *Building and Environment*, Vol. 36, Berkeley (USA): Elsevier, 2001, pp. 1009-1021
- [9] WOOLF, J. – “Renew: a renewable energy *Design* tool for architects”, *Renewable Energy*, Vol. 28, Cambridge: Elsevier, 2003, pp. 1555-1561
- [10] CRAWLEY, Drury B.; HAND, Jon W.; KUMMERT, Michaël; GRIFFITH, Brent T. – *Contrasting The Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs*, USA: U.S. Department of Energy, 2005
- [11] PARKER, Danny S., CUMMINGS, Jamie E. – *Comparison of the ENERGYGAUGE USA and BEopt Building Energy Simulation Programs*, Florida: Florida Solar Energy Center, 2009
- [12] LAM, Khee P., HUANG, Yi C., ZHAI Chaoqin, – *Energy Modeling Tools Assessment for Early Design Phase*, Pittsburg: Carnegie Mellon University, 2004
- [13] DECRETO-LEI nº 80/2006 “RCCTE” ( 2006-04-04), pp. 2468-2513, Disponível em:  
<http://dre.pt/pdf1s/2006/04/067A00/24682513.pdf> [05/04/2012]

- [14] DECRETO-LEI nº 79/2006 “RSECE” ( 2006-04-04), pp. 2416-2468, Disponível em:  
<http://www.dre.pt/pdf1s/2006/04/067A00/24162468.pdf> [05/04/2012]
- [15] RODRIGUES, António Moret, *TÉRMICA DE EDIFÍCIOS: Transmissão do calor e necessidades energéticas*, Apresentações Teóricas da Disciplina de Física das Construções, Lisboa: IST,2008
- [16] RODRIGUES, António Moret, *ILUMINAÇÃO NATURAL DE EDIFÍCIOS: Conforto visual e introdução ao projecto*, Apresentações Teóricas da Disciplina de Física das Construções, Lisboa: IST,2008
- [17] Despacho nº 17313/2008 do SGCIE, pp. 27912-27913
- [18] CHARLES, Kate E. – *Fanger’s Thermal Comfort and Draught Models*, Ottawa, Canada: Institute for Research in Construction, 2003
- [19] The Engineering ToolBox, *Predicted Mean Vote index (PMV)*, Disponível em:  
[http://www.engineeringtoolbox.com/predicted-mean-vote-index-PMV-d\\_1631.html](http://www.engineeringtoolbox.com/predicted-mean-vote-index-PMV-d_1631.html) [05/04/2012]
- [20] Programa Educar, *HIDROSTÁTICA: Massa específica e densidade*, Disponível em:  
[http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2003/hi/HIDROSTATICA\\_DENSIDADE.htm](http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2003/hi/HIDROSTATICA_DENSIDADE.htm) [05/04/2012]
- [21] Infopédia, *Calor Específico*, 2012, Disponível em: [http://www.infopedia.pt/\\$calor-especifico](http://www.infopedia.pt/$calor-especifico) [05/04/2012]
- [22] HIRSCH, James J., *DOE-2 Building Energy Use and Cost Analysis Tool*, 2009, Disponível em:  
<http://doe2.com/doe2/index.html> [15/01/2011]
- [23] Integrated Environmental Solution, *VE-Gaia*, 2012, Disponível em: <http://www.iesve.com/software/ve-gaia> [20/01/2012]
- [24] PEREIRA, Miguel C. F. S. – *Análise Comparativa de Ferramentas Informáticas de Simulação do Desempenho de Iluminação Natural: Um Estudo num Edifício de Habitação* (dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura) Lisboa: IST, 2011
- [25] ROY, Geoffrey G. – *A Comparative Study of Lighting Simulation Packages Suitable for use in Architectural Design*, Australia: Murdoch University, 2000
- [26] BRYAN, Harvey – *Lighting/Daylighting Analysis: a comparison*, Arizona, USA: School of Architecture Arizona State University, 2002
- [27] Pardal Monteiro Arquitetos, *Instituto Superior Técnico: Novo Pavilhão para o Departamento de Engenharia Civil*, Disponível em: <http://www.pardalmonteiro.com/ISTcivildescricao.htm> [20/04/2012]
- [28] VITORINO, Rui Jorge – *Ventilação Natural no Pavilhão de Engenharia Civil*, Lisboa: IST, 2001
- [29] GUEDES, Manuel C., ANSELMO, Isabel, LOPES, Gilberto, ÁGUAS, Miguel – *An energy rehabilitation project for ist’s decivil building*, Revival Meeting, Brussels, 2003

## LIVROS, ARTIGOS E TESES

- AHMAD, Q. T., SZOKOLAY, S. V. – *Thermal Design tools in Australia: a comparative study of TEMPER, CHEETAH, ARCHIPAK and QUICK*, Queensland: The University of Queensland
- ATTIA, Shady, BELTRAN, Liliانا, HERDE, André De, HENSEN, Jan – “*Architect friendly*”: *A comparison of ten different building performance simulation tools*, Glasgow: Eleventh International IBPSA Conference, 2009
- BAKER, N.; GUEDES, M. C.; CALIXTO, L.; AGUIAR, R. – “*The LT-Portugal software: a Design tool for Architects*”, *Sustainable Building Affordable to All*, Portugal SB10, 2010, pp. 483-488
- BAKER, Nick, STEEMERS, K. – *Energy and Environment in Architecture: A Technical Design Guide*, Londres: E&FN Spon, 2000
- CANHA DA PIEDADE, A. – *Térmica de Edifícios*, 3ª Edição, Lisboa: LNEC, 2000
- COUTINHO, Mónica Sofia – *Avaliação das Condições de Iluminação Natural Através de Simulações em Modelos Virtuais: O Estudo de Caso da Reitoria da Universidade de Lisboa* (dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura) Lisboa: IST, 2009
- GOULDING, J., LEWIS, J.O., STEEMERS, T. – *Energy in Architecture - The European Passive Solar Handbook*, Londres: Publicado para a Comissão das Comunidades Europeias, 1992 7
- HOLM D. – “*Building thermal analyses: what the industry needs: the architect’s perspective*”, *Building and Environment*, Vol. 28, Berkeley (USA): Elsevier, 1993; pp.405–407
- JOHNSON, R., CLAYTON, M. – “*The impact of information technology in design and construction: the owner’s perspective*”, *Automation in Construction*, Vol. 8, 1998, pp. 3-14.
- KARASHIMA, Thiago Machado – *Avaliação de Diferentes Ferramentas para o Cálculo de Carga Térmica e sua aplicação na Análise Energética de Edifícios* (Projeto de Graduação em Engenharia Mecânica), Brasília: Universidade de Brasília, 2006
- THOMAS, Randall – *Environmental Design: An Introduction for Architects and Engineers*, ed. Randall Thomas, 1996
- TIRONE, Livia, NUNES, Ken – *Construção Sustentável: Soluções Para uma Prosperidade Renovável*, 3ª Edição, Sintra: Tirone Nunes, SA, 2010
- WATSON, D.; LABS, K. – *Climatic Building Design*, Nova Iorque: ed. Mc Graw-Hill, 1983

## REFERÊNCIAS ONLINE

- ANDRADE, Joana, Em Destaque - Autodesk Ecotect Analysis, Magazine Digital eUAU! - Julho 09, Disponível em: <http://www.tecad.pt/documents/magazine/1548583087eUAU-Edicao04.pdf> [15/01/2011]
- Harvard University, Sustainable Design Workflows, Disponível em: <http://www.gsd.harvard.edu/research/gsd-square/tutorials.html> [15/01/2011]
- Natural Frequency – Archived Ecotect Resources – Community Wiki, Disponível em <http://wiki.naturalfrequency.com/> [15/01/2011]
- Natural Works, Lançamento da primeira versão portuguesa do Design Builder, Disponível em: <http://www.natural-works.com/db/> [15/01/2011]
- SAC Software, Comparison of DOE-2.1E, DOE-2.2, eQUEST and PowerDOE, Disponível em: <http://www.doe2.com/compare.html> [15/01/2011]
- SEO Devon (2009), The Importance of Eco Building & Sustainable Software – Ecotect Analysis 2010, Disponível em: <http://www.enviro-live.com/the-importance-of-eco-building-sustainable-software-Ecotect-Analysis-2010.html> [12/01/2011]
- U.S. Department of Energy, *ApacheSim*, Disponível em: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/software.cfm/ID=59/pagename=alpha\\_list](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=59/pagename=alpha_list) [15/01/2012]
- U.S. Department of Energy, *DesignBuilder*, Disponível em: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/software.cfm/ID=486/pagename\\_submenu=energy\\_simulation/pagename\\_menu=whole\\_building\\_analysis/pagename=subjects](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=486/pagename_submenu=energy_simulation/pagename_menu=whole_building_analysis/pagename=subjects) [12/01/2011]
- U.S. Department of Energy, *Ecotect*, Disponível em: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/software.cfm/ID=391/pagename=alpha\\_list](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=391/pagename=alpha_list) [12/01/2011]
- U.S. Department of Energy, *EnergyPlus Energy Simulation Software*, Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> [12/01/2011]
- U.S. Department of Energy, *eQUEST*, Disponível em: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/software.cfm/ID=575/pagename\\_submenu=energy\\_simulation/pagename\\_menu=whole\\_building\\_analysis/pagename=subjects](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=575/pagename_submenu=energy_simulation/pagename_menu=whole_building_analysis/pagename=subjects) [15/01/2012]



**ANEXOS**





## **ANEXO A: QUESTIONÁRIOS**





6 – No exercício de projeto, acha este(s) programa(s) (assinalar só os que referiu anteriormente):

	Pouco Útil	Útil	Muito Útil
<i>Autodesk® Ecotect® Analysis</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>DesignBuilder®</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LT-Portugal®	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Outro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Qual? _____			

Muito obrigada pela sua disponibilidade e atenção!

## A.2. RESPOSTAS AOS QUESTIONÁRIOS

Nº Total de Questionários Respondidos: 27

**Tabela 23:** Respostas aos Questionários relativos aos softwares Autodesk® Ecotect® Analysis e DesignBuilder®

Fonte: Autor

		Autodesk® Ecotect® Analysis	DesignBuilder®
<b>1. Programa utilizado</b>		25	17
<b>2. Principais Desvantagens</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas de compatibilidade (3)</li> <li>• Programas não fornecidos, sendo difíceis de encontrar e ilegais (2)</li> <li>• Dificuldade de compreensão dos gráficos (2)</li> <li>• Incapacidade de importar modelos (3)</li> <li>• Geometria muito simplificada (1)</li> <li>• Dificuldades no desenho do modelo tridimensional (6)</li> <li>• Diferenças nos ícones relativamente ao AutoCAD® (1)</li> <li>• Não tem templates para os diferentes espaços da casa (1)</li> <li>• Os valores obtidos na grelha e as suas escalas são, por vezes, estranhos (4)</li> <li>• Limitações na colocação das ideias no computador (1)</li> <li>• Pouco intuitivo a nível do utilizador (6)</li> <li>• Dificuldade de parametrização (1)</li> <li>• Falta de <i>templates</i> com valores de referência (1)</li> <li>• Falta de elementos dinâmicos (como chaminés solares, paredes trombe, ...) (1)</li> <li>• Ajuda pouco útil relativamente aos erros que comete (1)</li> <li>• Análise demorada (1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas de compatibilidade (2)</li> <li>• Programas não fornecidos, sendo difíceis de encontrar e ilegais (2)</li> <li>• Dificuldades no desenho do modelo tridimensional (5)</li> <li>• Limitações na colocação das ideias no computador (1)</li> <li>• Limitada a análise térmica (1)</li> <li>• Pouco intuitivo a nível do utilizador (4)</li> <li>• Tempo de utilização limitado (1)</li> <li>• Perde-se muito tempo a utilizá-lo (1)</li> <li>• Incapacidade de importar modelos (2)</li> <li>• Limitações na definição de novos materiais (1)</li> </ul>
<b>3. Principais Vantagens</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variadas análises possíveis (3)</li> <li>• Capacidade de visualização (4)</li> <li>• Análise muito completa e rápida (9)</li> <li>• Grande base de dados de materiais e os seus valores térmicos/energéticos (1)</li> <li>• Noção das possíveis diferenças valiosas para o projeto a nível térmico e lumínico e também no <i>design</i> (6)</li> <li>• Menus acessíveis (1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variadas análises possíveis (2)</li> <li>• Análise muito completa e rápida (7)</li> <li>• Mais intuitivo que o Ecotect a nível do utilizador (1)</li> <li>• Exatidão dos resultados (2)</li> <li>• Com bastantes parâmetros que podem ser alterados (1)</li> <li>• Modelação relativamente eficaz (1)</li> <li>• Noção das possíveis diferenças valiosas para o projeto (1)</li> </ul>
<b>4. Grau de dificuldade</b>	1 - Fácil	1	1
	2	5	5
	3	14	7
	4 - Difícil	5	4
<b>5. Rigor</b>	1 - Mais rigoroso	3	6
	2	2	6
	3	3	3
	4 - Menos rigoroso	1	2
<b>6. Utilidade</b>	Pouco útil	2	5
	Útil	11	8
	Muito útil	12	4

**Tabela 24:** Respostas aos Questionários relativos aos *softwares* LT-Portugal®, AutoCAD® e ArchiCAD®/Artlantis®

Fonte: Autor

		LT-Portugal®	AutoCAD®	ArchiCAD®/ Artlantis®
<b>1. Programa utilizado</b>		23	2	1
<b>2. Principais Desvantagens</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas de compatibilidade (1)</li> <li>• Programas não fornecidos, sendo difíceis de encontrar e ilegais (2)</li> <li>• Capacidade limitada de desenho de modelos 3D e formas complexas (6)</li> <li>• Incapacidade de importar modelos (2)</li> <li>• Geometria muito simplificada (2)</li> <li>• Resultados pouco exatos (4)</li> <li>• Dificuldade de parametrização (1)</li> <li>• Falta de templates com valores de referência (1)</li> <li>• Programa reduzido/básico (2)</li> <li>• Assistente de ajuda pouco útil (1)</li> <li>• Não contabiliza a distribuição das janelas (1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitações na colocação das ideias no computador (1)</li> </ul>	
<b>3. Principais Vantagens</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variadas análises possíveis (2)</li> <li>• Análise muito rápida (5)</li> <li>• Mais útil para análise rápida (2)</li> <li>• Noção das possíveis diferenças valiosas para o projeto (4)</li> <li>• É básico (1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise muito completa e rápida (1)</li> </ul>	
<b>4. Grau de dificuldade</b>	1 - Fácil	17	2	
	2	2		
	3	3		
	4 - Difícil	1		1
<b>5. Rigor</b>	1 - Mais rigoroso		1	1
	2	2		
	3	6		
	4 - Menos rigoroso	15	1	
<b>6. Utilidade</b>	Pouco útil	3		
	Útil	11	1	
	Muito útil	3	1	1

## **ANEXO B: TABELAS DE REFERÊNCIA**

## B.1. CONDIÇÕES DE OCUPAÇÃO DO ESPAÇO DE VITORINO [28]

**Tabela 25:** Condições de ocupações dos espaços

Fonte: Vitorino [28, p.20]

Designação	Número	Localização	Regime de Ocupação	Climatizado	Infiltração	Ocupação	Iluminação	Fontes
					ren/h	m <sup>2</sup> /pessoa	W/m <sup>2</sup>	
Bar	6	Piso 0	9 h às 20 h	Sim	2	5	9	[9]
Entrada	7	Piso 0	9 h às 20 h	Não	1	10	9	[9],[10]
Salas	8	Piso 0	9 h às 20 h	Não	1	10	9	[9],[10]
Sala Alunos	9	Piso 0	9 h às 20 h	Não	1	10	9	[9],[10]
Museu	10	Piso 0	10 h às 18 h	Sim	1	50	9	[9]
Salas	11	Piso 0	9 h às 20 h	Não	1	10	9	[9],[10]
Refeitório	12	Piso 0	10 h às 18 h	Sim	1	50	9	[9]
Salas	13	Piso 1	9 h às 20 h	Não	1	10	9	[9],[10]
Salas	14	Piso 1	9 h às 20 h	Não	1	10	9	[9],[10]
Gabinetes	15	Piso 2	10 h às 18 h	Sim	1	50	9	[9]
Gabinetes	16	Piso 2	10 h às 18 h	Sim	1	50	9	[9]
Gabinetes	17	Piso 3	10 h às 18 h	Sim	1	50	9	[9]
Gabinetes	18	Piso 3	10 h às 18 h	Sim	1	50	9	[9]
Torre sul	2		9 h às 20 h	Não	2		6	[9]
Torre norte	3		9 h às 20 h	Não	2		6	[9]
Atrium			9 h às 20 h	Não	2		6	[9]



## B.2. DEFINIÇÃO DA MATRIZ BASE DE LAM ET AL [12]

**Tabela 26:** Condições de ocupações dos espaços

Fonte: Lam et al [12 pp. A4-18 – A4-24]

Item	Description
<b>I. SYSTEM</b>	
Operating platform <b>Windows</b> <b>Mac OS</b>	Tool operates within Windows environment without additional software or emulators Tool operates within Macintosh environment without additional software or emulators
Unit system	Measurement units used by the tool
Energy design guidance	Assistance in conducting energy simulations, such as guidance on simulation workflow and appropriate modeling methods
Built-in library <b>Weather data</b> <b>Material</b> <b>Construction</b> <b>Schedule</b> <b>Internal heat gain</b> <b>Infiltration</b> <b>HVAC system type</b> <b>HVAC equipment</b>	Availability of selection of specific cases with complete and realistic description of relevant input parameter
Simulation application <b>Stand-alone</b> <b>Web-powered</b>	Simulation conducted on local workstation Simulation conducted on off site server via network
Program stability	The ability of the tool to continue operations and maintain correctness under an amplitude of input changes
Weather file <b>Types of weather files</b>	Method used to select climatic data Format of climatic data used
History Tracking <b>Undo/redo</b> <b>Error logging</b>	The tool keeps track of states allowing the feature of redo and undo The tool maintains an error log upon failures
<b>II. EXTENSION</b>	
Interoperability <b>IFC compliance</b> <b>File exchange with other energy simulation tools</b> <b>File exchange with CAD tools</b>	The tool allows import / export of data in IFC format without additional software The tool allows import / export of complete energy model data with other simulation tools without additional software or intervention The tool allows import / export of complete geometric data with CAD systems without additional software or intervention
Drawing data input <b>Import as underlay</b> <b>Building element import</b>	The tool allows import of 2D drawings from CAD systems to facilitate geometric modeling The tool allows import of 3D elements from CAD systems to facilitate geometric modeling

III. FUNCTIONALITY	
Technical approach	Simulation engine used by the tool
Types of energy calculation	
<b>Building load calculation</b>	Calculation of building heating, cooling and electricity load
<b>Building energy simulation</b>	Calculation of energy consumption by the various equipment in the mechanical system, in order to meet the building heating, cooling and electricity load
Parametric operation	
<b>Single run/single input and output</b>	Tool allows simulation of a model and presents the results
<b>Batch Processing</b>	Tool allows queuing of multiple models for simulation
Code compliance	Tool includes features to consider if the results of the energy models comply with regulations
Cost estimation	Tool includes features to estimate the costs related to the building that is being modeled
IV. USER	
Documentation	
<b>Tutorial / manuals / wizard</b>	Types of documentation available to assist in learning how to use the tool and understanding the workflow
<b>Engineering documentation</b>	Technical documentation explaining the computational processes, methods and assumptions used by the tool
<b>Help function</b>	Integrated help feature by button, keystroke or menu to assist in using the tool interface and explaining the workflow
<b>User support</b>	Types of resources available to users in learning the tool
File save interval	Restrictions on when the user can invoke the save command
Navigation between windows	Restrictions on the user to toggle between different windows: Flexible – Tool allows user to toggle between windows in no particular sequence Random – Tool allows user to toggle between any two windows
Clarity of menu and tool bars	The organization and naming of the menu and tool bars are with clarity
Model view	Allows user to view the energy model geometrically
Model display	Shading methods available when viewing the energy model
Expertise required	General expertise required of user to use the tool effectively
V. MODELING	
Zone management	Method used to manage the thermal zones in the energy model
a. PROJECT INFORMATION	
Building type definition	Tool allows user specification of building type to check, modify or recommend various parameter settings
Space type definition	Tool allows user specification of space type to check, modify or recommend various parameter settings

<b>b. BUILDING MODELING</b>	
<p>Geometry</p> <p><b>Space composition</b></p> <p>Build-up by spaces</p> <p>Subdivision of floor plate</p> <p><b>Direct drawing input</b></p> <p>Primitive shapes</p> <p>Extrusion based on closed curve</p> <p>Surfaces</p> <p><b>Building element definition</b></p> <p><b>Different heights within floor</b></p> <p><b>Sloped roof</b></p> <p><b>Sloped floor</b></p> <p><b>Building orientation</b></p> <p><b>Accessible coordinate data</b></p> <p><b>Snap function</b></p> <p><b>Modification</b></p> <p><b>Geometry checking</b></p>	<p>Tool allows geometric model to be constructed additively</p> <p>Tool allows modeled elements to be subdivided</p> <p>Tool allows modeling by selecting basic forms Boolean operations</p> <p>Tool allows modeling by drawing profiles and extruding</p> <p>Tool allows modeling by constructing surfaces</p> <p>Tool allows specification and modification of individual elements as various building element types</p> <p>Tool allows different spaces on the same level of the model to have different floor to ceiling heights</p> <p>Tool allows the modeling of sloped roofs</p> <p>Tool allows the modeling of sloped floors</p> <p>Tool allows the north direction to be modified via a single orientation parameter</p> <p>Tool shows the dimensions of each element and allows them to be changed by direct numerical input</p> <p>Tool provides modeling snap-to-point features</p> <p>Tool allows modeled elements to be transformed geometrically</p> <p>Tool provides features to check that the geometric model has been constructed properly</p>
<p>Building construction</p> <p><b>Material</b></p> <p><b>Layer</b></p> <p><b>Construction</b></p> <p><b>Shades</b></p> <p><b>Default values</b></p> <p><b>Recommendations</b></p>	<p>Notes on how the tool allows the user to define materials</p> <p>Notes on how the tool allows the user to define layers</p> <p>Notes on how the tool allows the user to define constructions</p> <p>Notes on how the tool allows the user to model sun shading devices</p> <p>Tool specifies some realistic default construction properties for building elements based on some project information such as type of building or space being modeled</p> <p>Tool makes recommendations for construction types and material values based on some project information such as type of building or space being modeled</p>

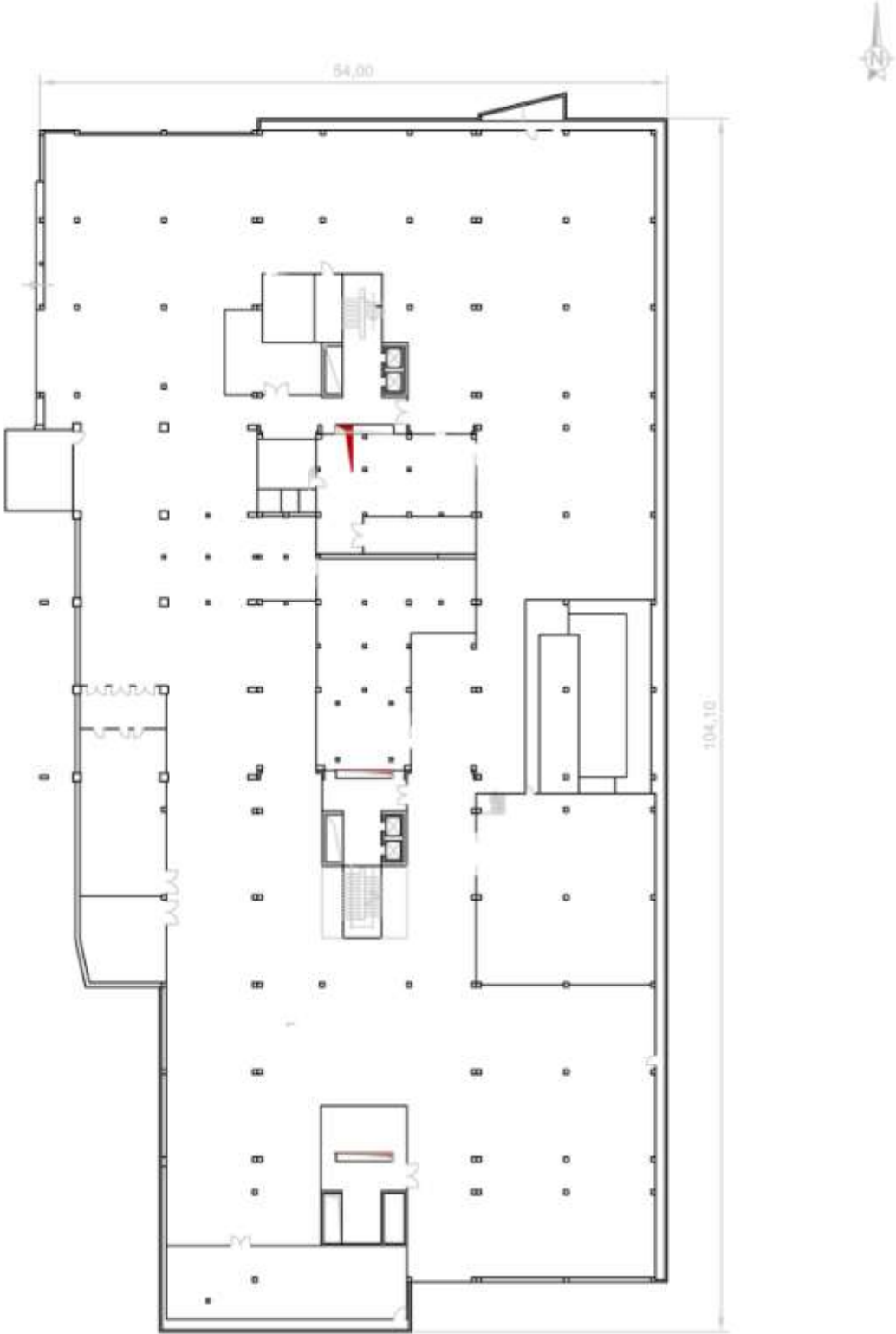
<p>Internal loads</p> <p><b>Occupant</b></p> <p>Load</p> <p><i>Density</i></p> <p><i>Total Number of occupants</i></p> <p>Schedule</p> <p><b>Lighting</b></p> <p>Load</p> <p><i>Density</i></p> <p><i>Individual appliance</i></p> <p>Schedule</p> <p><b>Equipment</b></p> <p>Load</p> <p><i>Density</i></p> <p><i>Individual appliance</i></p> <p>Schedule</p> <p><b>Default values</b></p> <p><b>Recommendations</b></p>	<p>Tool allows variation of occupancy density across different spaces</p> <p>Tool allows specification and modification of number of occupants</p> <p>Tool allows specification of a schedule for occupancy</p> <p>Tool allows variation of lighting loads across different spaces</p> <p>Tool allows specification of individual light appliances within each space</p> <p>Tool allows specification of a schedule for lighting loads</p> <p>Tool allows variation of equipment loads across different spaces</p> <p>Tool allows specification of individual electrical appliances within each space</p> <p>Tool allows specification of a schedule for electrical loads</p> <p>Tool specifies some realistic default internal loads conditions based on the type of building or space being modeled</p> <p>Tool makes recommendations for internal load conditions based on some project information such as type of building or space being modeled</p>
<p>Infiltration</p> <p><b>Rate</b></p> <p><b>Schedule</b></p> <p><b>Default values</b></p> <p><b>Recommendations</b></p>	<p>Tool allows specification of infiltration rates</p> <p>Tool allows specification of a schedule for infiltration</p> <p>Tool specifies some realistic default infiltration conditions based on the type of building or space being modeled</p> <p>Tool makes recommendations for infiltration conditions based on some project information such as type of building or space being modeled</p>
<p>Utility</p> <p><b>Rate</b></p> <p><b>Schedule</b></p> <p><b>Default values</b></p> <p><b>Recommendations</b></p>	<p>Tool allows specification of utility rates</p> <p>Tool allows specification of a schedule utility rates</p> <p>Tool specifies some realistic default utility rates based on some project information such as type of building being modeled or location of building</p> <p>Tool makes recommendations for infiltration conditions based on some project information such as type of building being modeled or location of building</p>

<b>c. HVAC MODELING</b>	
Thermostat set point	Tool allows specification of heating and cooling set points for each zone in the HVAC system
HVAC zoning	Tool allows specification of HVAC zones from the spaces defined by the geometric building model
Relationship between HVAC zone and building space	Relationship between HVAC zones and spaces defined by the geometric building model
Zone Grouping	Tool allows several zones to be grouped in a hierarchical manner
HVAC schedule	Tool allows specification of a schedule for HVAC operations
<b>Default values</b>	Tool specifies some realistic default HVAC schedules based on some project information such as type of building or space being modeled
<b>Recommendations</b>	Tool makes recommendations for HVAC scheduling based on some project information such as type of building or space being modeled
Outside air requirement	Tool allows specification of outside air requirements as part of HVAC system
<b>Default values</b>	Tool specifies some realistic default outside air requirements based on some project information such as type of building or occupancy being modeled
<b>Recommendations</b>	Tool makes recommendations for outside air requirements based on some project information such as type of building or occupancy being modeled
HVAC system	Tool allows specification of the type of HVAC system
<b>Default system</b>	Tool specifies some realistic default HVAC system based on some project information such as type of building being modeled
<b>Recommendations</b>	Tool makes recommendations for HVAC system based on some project information such as type of building being modeled
System sizing	Tool includes feature to size the HVAC system accordingly

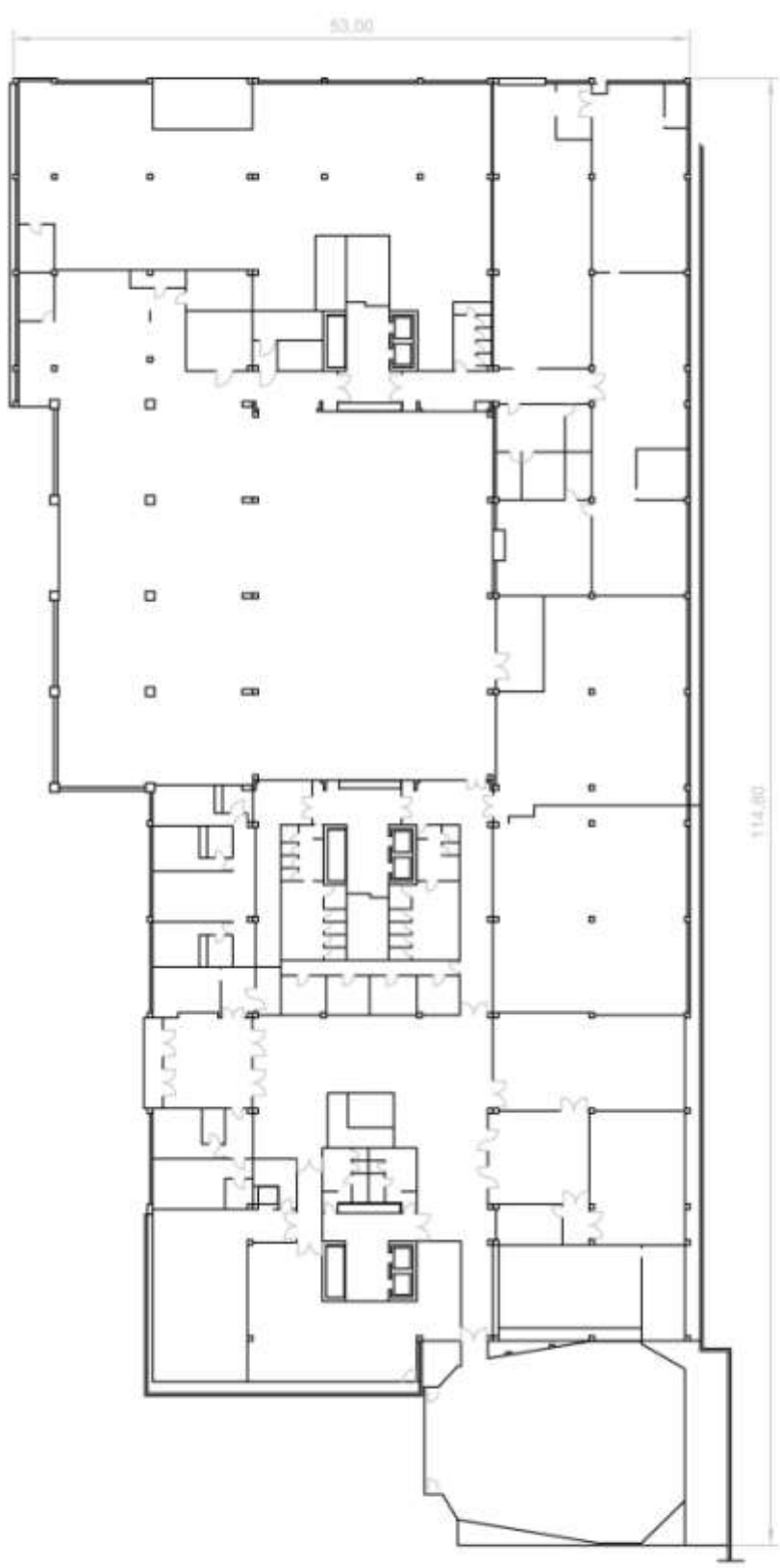
<b>VI. RESULT OUTPUT</b>	
Output export	Tool allows simulation results to be exported for processing in other spreadsheet or analysis applications
Format of Report <b>Numeric</b> <b>Graphic</b> <b>Tabulated data</b> <b>Spreadsheet</b> <b>Data visualization</b>	Tool produces numerical reports of simulation results Tool produces graphical reports of simulation results Tool produces tabular reports of simulation results Tool produces spreadsheets from simulation results Tool includes some features of presenting the data in visuals that assist in understanding the thermal performance predicted by simulation
Types of Report <b>Single runs report</b> <b>Comparative runs report</b>	Tool produces reports for a single simulation Tool presents results from multiple simulations on a single report for comparison
Content of Report <b>Parameter</b> Temperature profile Heat gain/loss Zone load Building load Building energy use Breakdown of building energy use Utility bills <b>Frequency</b> Building lifecycle value Annual value Monthly values Daily values Hourly values <b>Summary</b> Total Average Peak	Report on outdoor mean air temperature and mean space temperature for all spaces Report on heat gain / loss for all spaces Report on all zone loads Report on building load Report on active building energy use Report on active building energy use breakdown Report on building utility bills Reports presented over lifecycle of building with appropriate time values Reports presented as cumulative annual values Reports presented as 12 monthly values Reports presented as 365 daily values Reports presented as 8760 hourly values Reports includes a total value Reports includes an averaged values Reports indicates maximum and minimum value occurrences

## **ANEXO C: CASO DE ESTUDO**

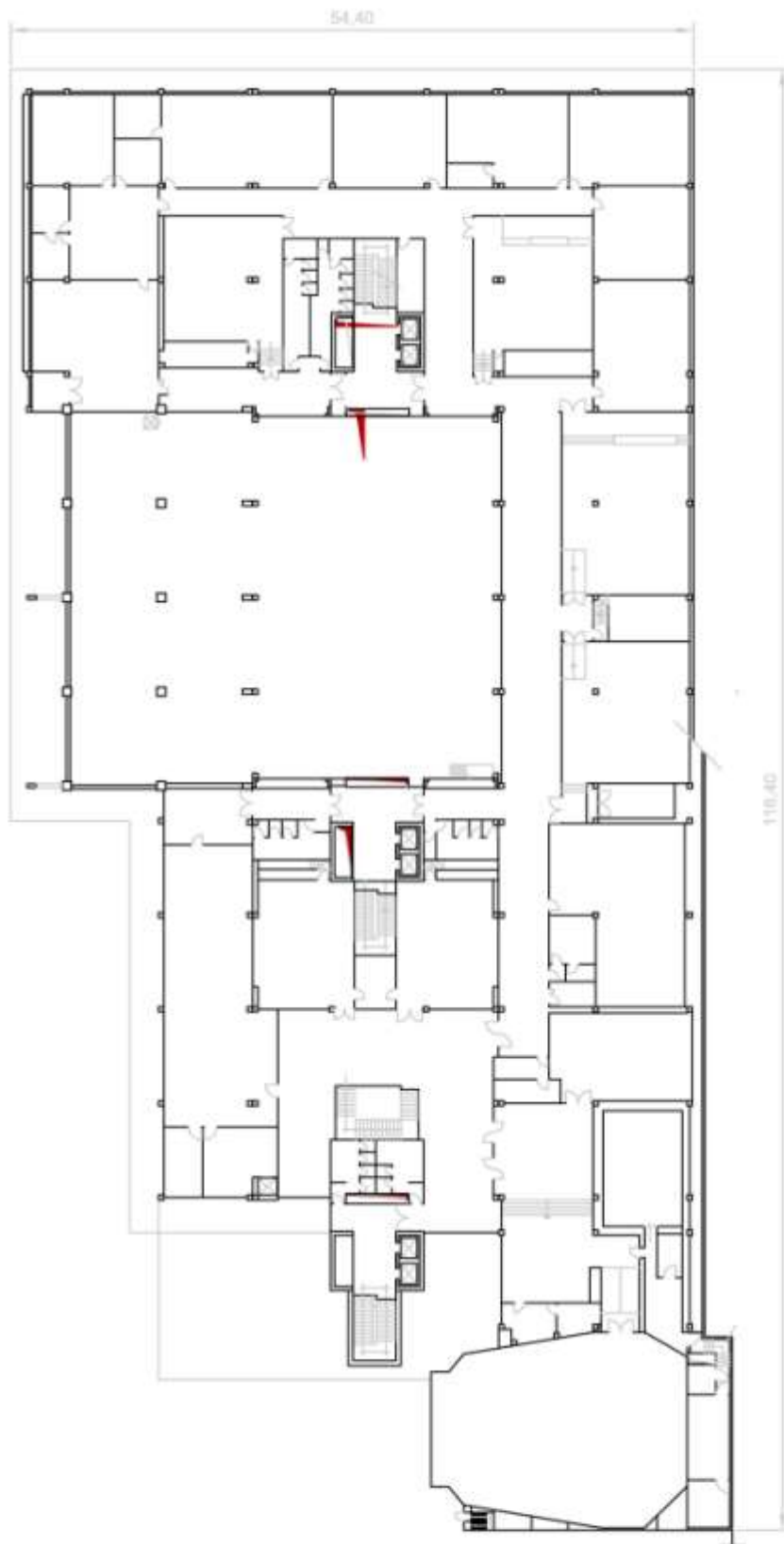
C.1. DESENHOS ARQUITETÓNICOS



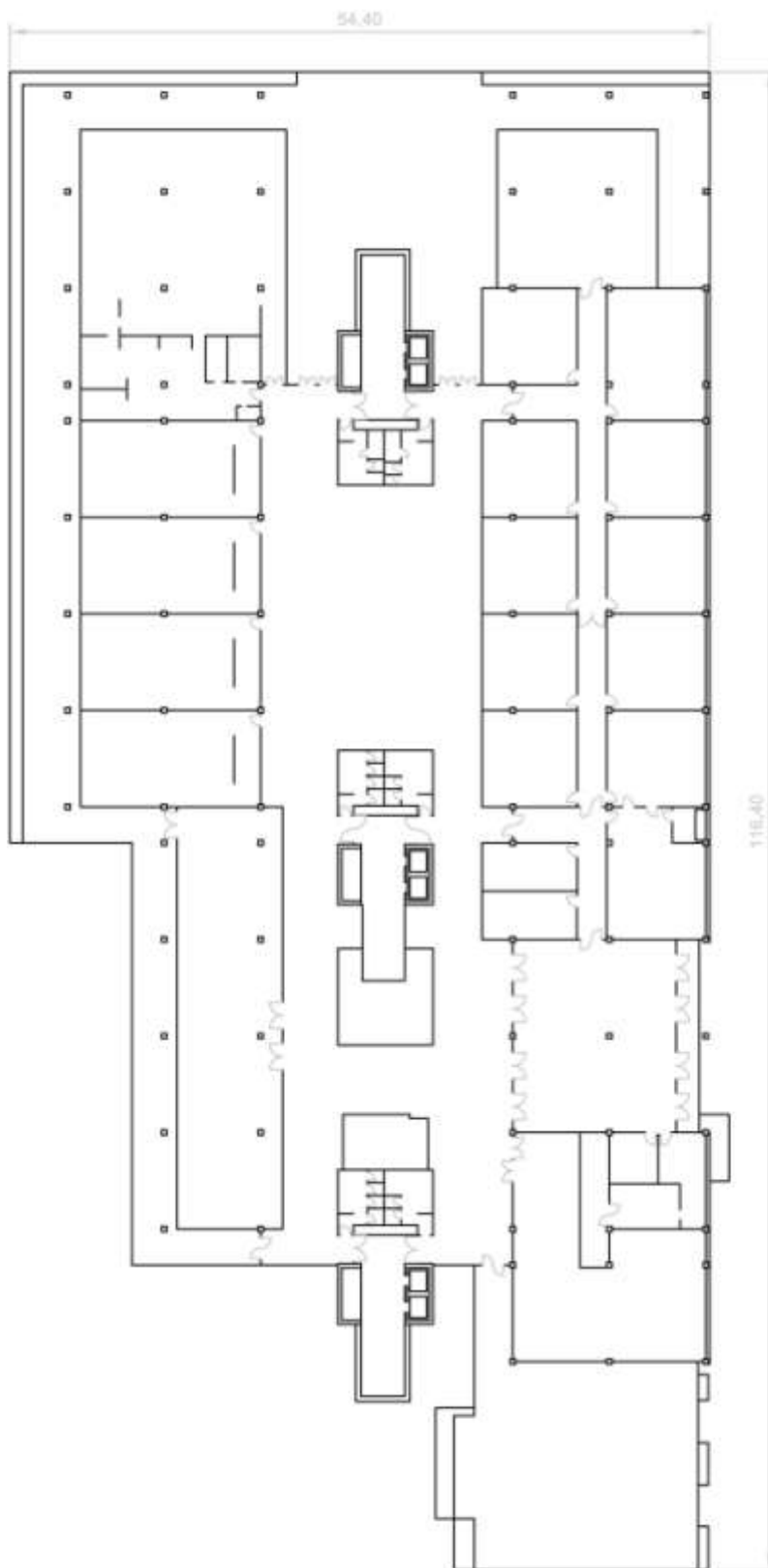




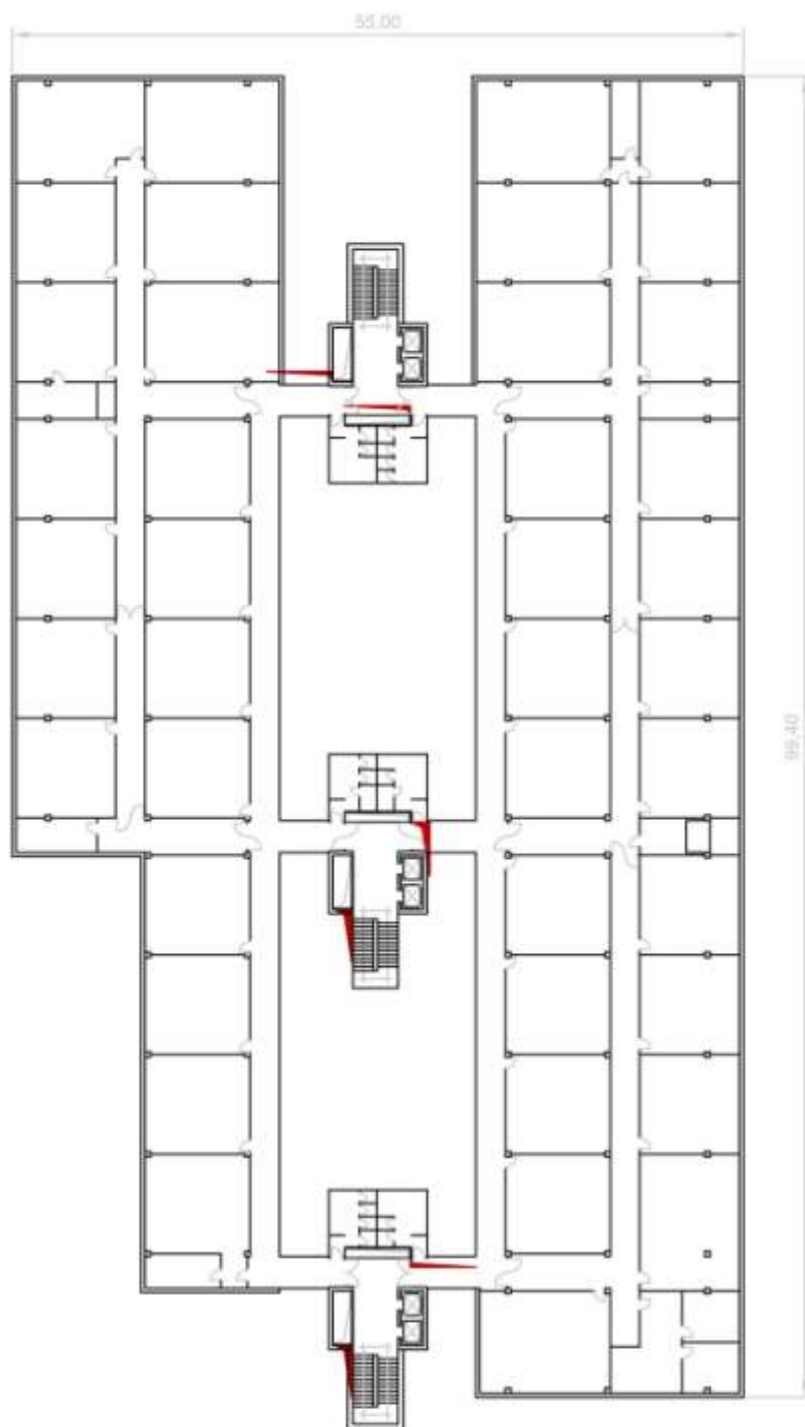
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO | PAVILHÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
Planta Piso -2 | Esc. 1:500



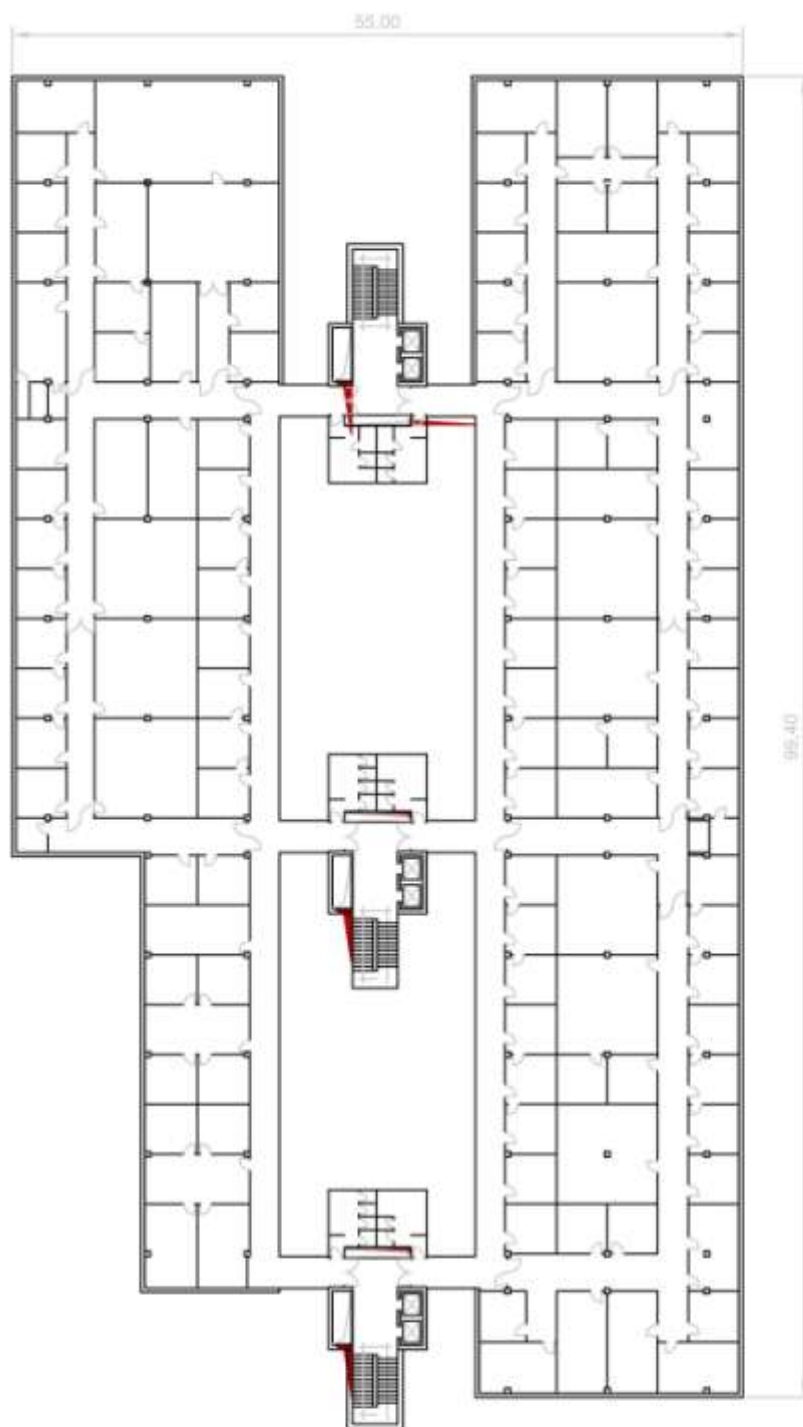
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO | PAVILHÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
Planta Piso -1 | Esc. 1:500



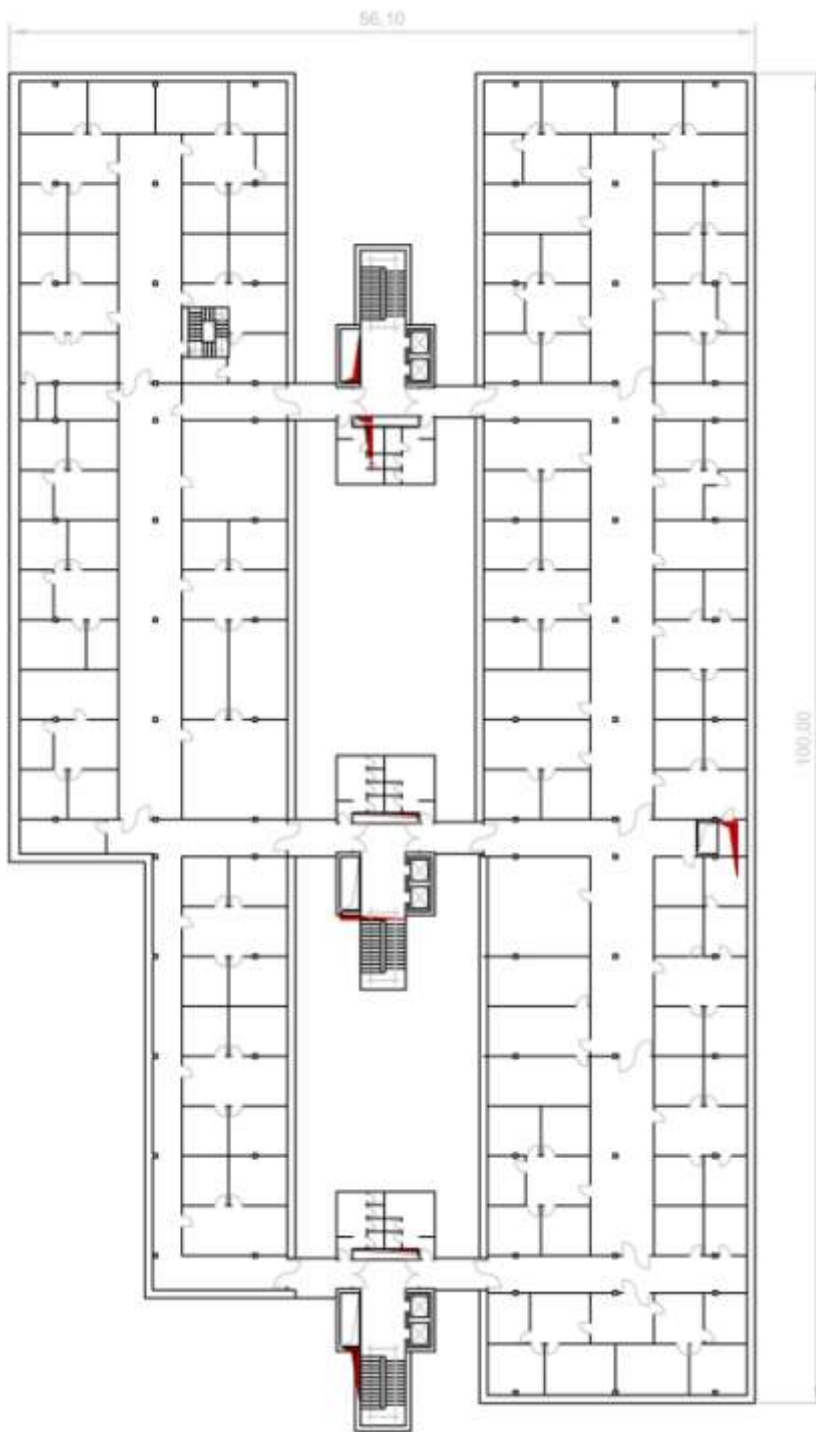
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO | PAVILHÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
Planta Piso 0 | Esc. 1:500



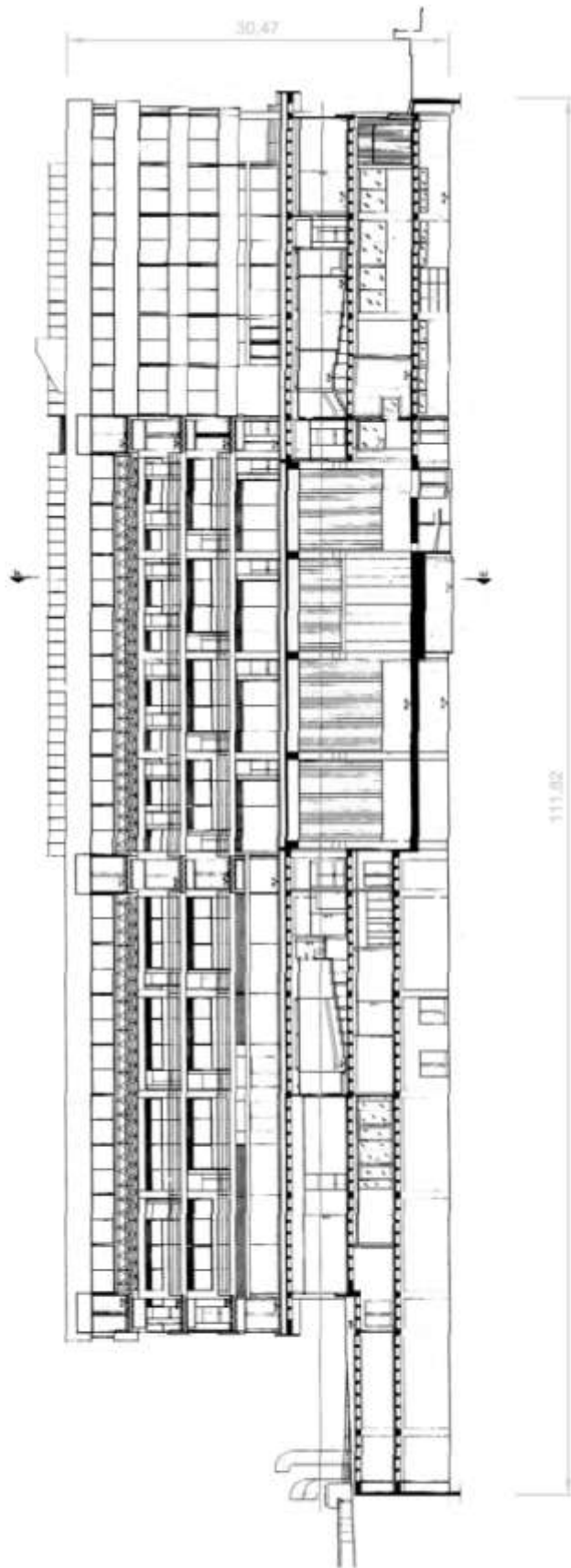
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO | PAVILHÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
Planta Piso 1 | Esc. 1:500



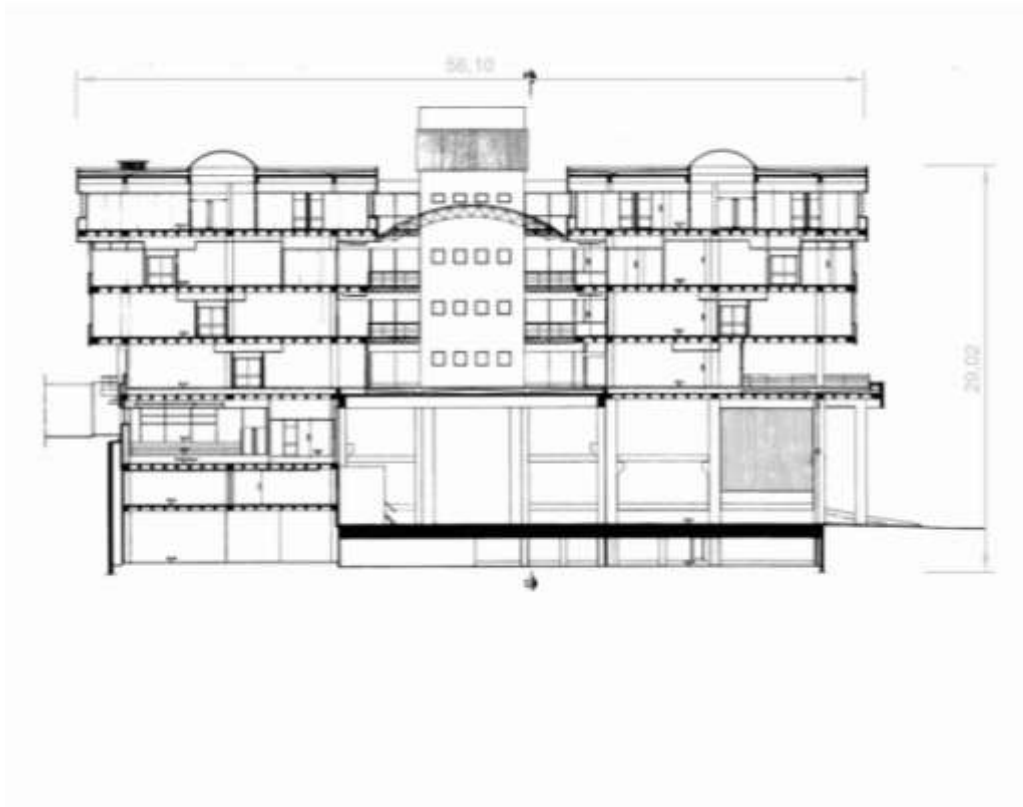
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO | PAVILHÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
Planta Piso 2 | Esc. 1:500



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO | PAVILHÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
Planta Piso 3 | Esc. 1:500

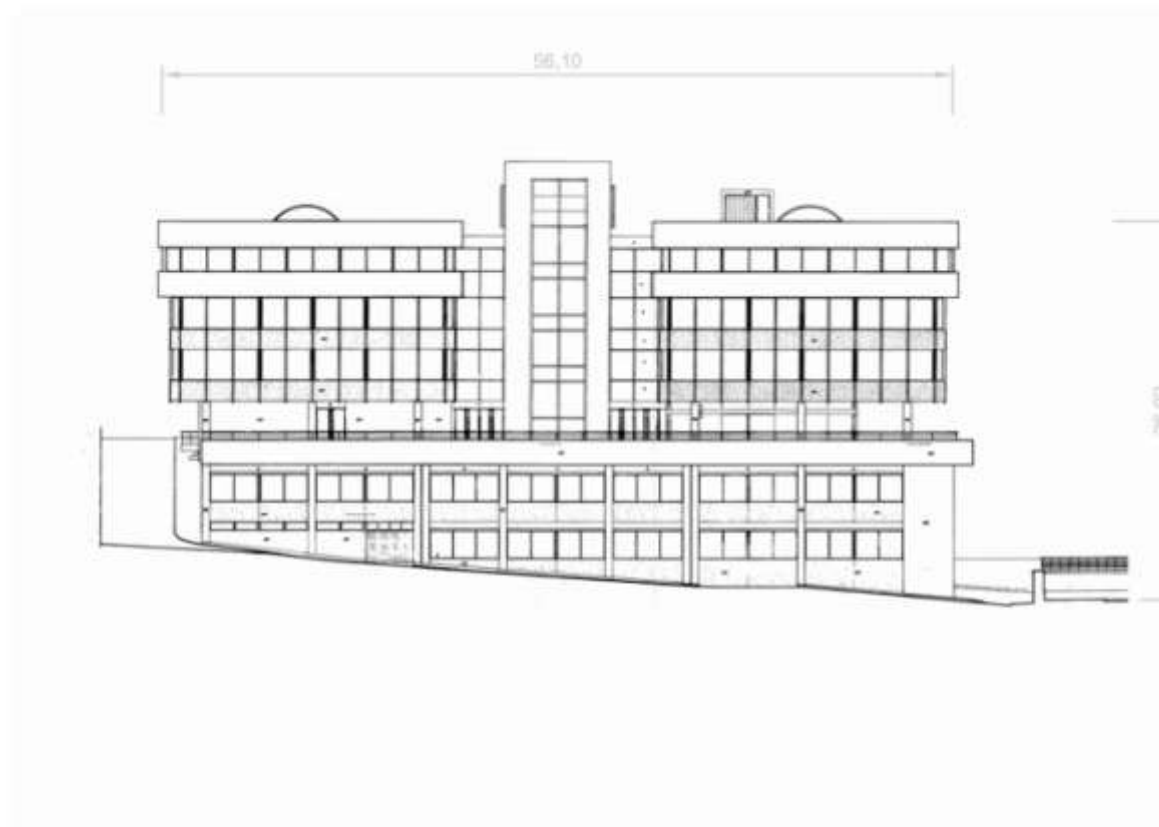


INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO | PAVILHÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
Corte PQ | Esc. 1:500



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO | PAVILHÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
Corte EJ | Esc. 1:500





---

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO | PAVILHÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
Alçado Norte | Esc. 1:500



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO | PAVILHÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
Alçado Nascente | Esc. 1:500

## C.2. FOTOGRAFIAS



Fachada Poente



Fachada Norte

---

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO | PAVILHÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
Fotografias | Fonte: Imagem do Autor



Fachada Sul



Atrio Principal



Sala de Estudo - Ala Norte

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO | PAVILHÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
Fotografias | Fonte: Imagem do Autor

### C.3. CONSUMOS REAIS FORNECIDOS

**Tabela 27:** Consumos Reais Fornecidos do Caso de Estudo

Fonte: Eng.º Mário de Matos, IST

CONSUMO ENERGÉTICO (MWH)	Valores Reais (2007)	Valores Reais (2008)	Valores Reais (2009)	Valores Reais (2010) – Valores Escolhidos para Análise
Janeiro	372,642	189,189	216,078	223,329
Fevereiro	316,065	190,869	196,392	208,794
Março	326,871	193,887	211,503	235,803
Abril	385,485	176,583	175,611	210,771
Maio	281,625	183,972	183,726	239,874
Junho	321,879	204,450	236,286	165,555
Julho	216,351	217,488	193,014	221,613
Agosto	279,273	132,294	149,493	154,995
Setembro	288,159	198,588	192,960	221,361
Outubro	334,497	219,228	219,444	285,771
Novembro	219,966	216,117	198,990	157,383
Dezembro	267,423	210,549	228,771	179,883
<b>Total</b>	<b>3,610,24</b>	<b>2333,21</b>	<b>2402,27</b>	<b>2505,13</b>

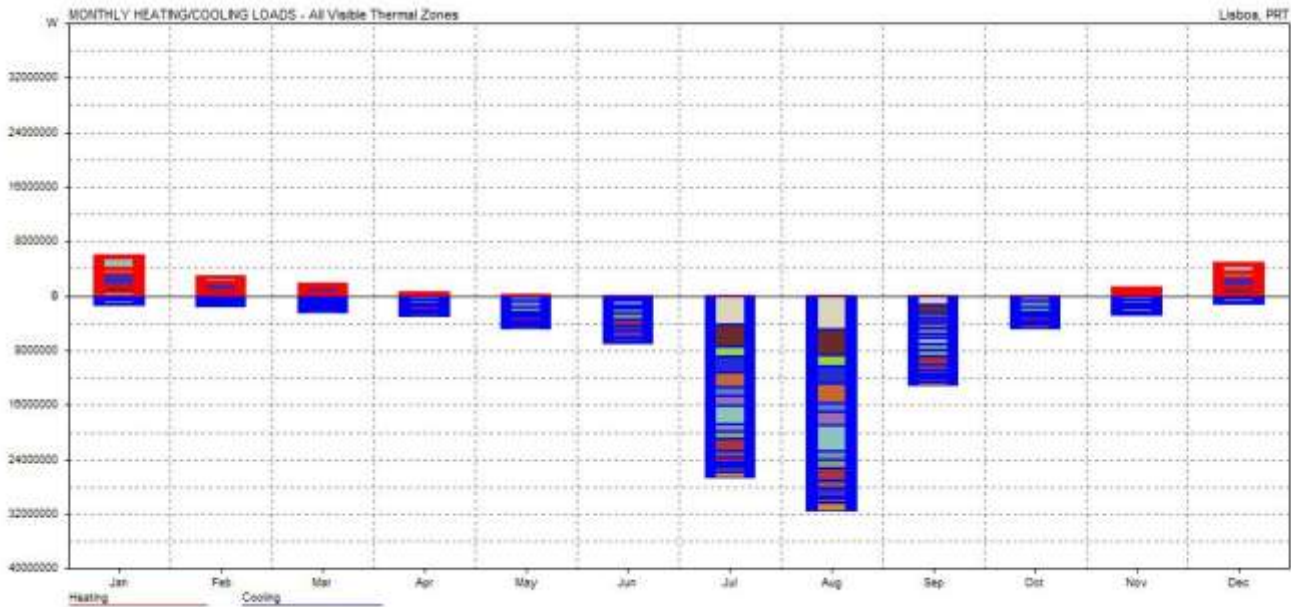
Os valores foram fornecidos pelo Engenheiro Mário de Matos, do Instituto Superior Técnico. Os valores escolhidos foram os do ano de 2010, por serem os mais recentes.



## **ANEXO D: SIMULAÇÕES OBTIDAS**

## D.1. CONSUMOS ENERGÉTICOS

- **AUTODESK® ECOTECT® ANALYSIS**



**Figura 33:** Consumo Energético Mensal dos Sistemas de Climatização do Pavilhão de Civil (Gráfico) obtido pelo Autodesk® Ecotect® Analysis

Fonte: Autodesk® Ecotect® Analysis

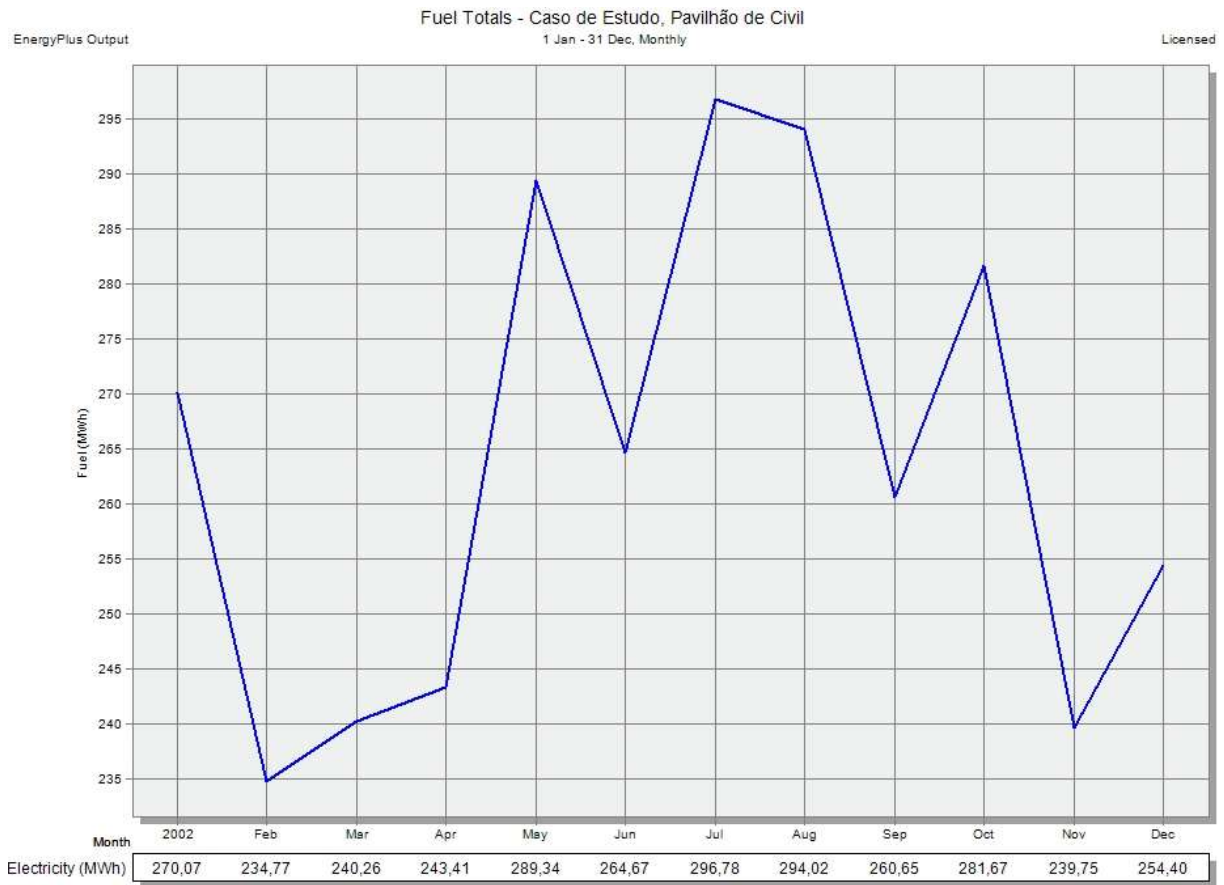
**Tabela 28:** Consumo Energético Mensal dos Sistemas de Climatização do Pavilhão de Civil (Tabela) obtido pelo Autodesk® Ecotect® Analysis

Fonte: Autodesk® Ecotect® Analysis

	HEATING	COOLING	TOTAL
MONTH	(Wh)	(Wh)	(Wh)
Jan	6103208	1475006	7578214
Feb	2950029	1730293	4680322
Mar	1841986	2545166	4387152
Apr	743980	3060452	3804432
May	207479	4942674	5150154
Jun	115276	7124058	7239335
Jul	171827	26829124	27000952
Aug	177335	31536184	31713518
Sep	137434	13159542	13296976
Oct	146687	4936040	5082727
Nov	1390282	3013406	4403688
Dec	4965332	1281131	6246463
<b>TOTAL</b>	<b>18950856</b>	<b>101633080</b>	<b>120583936</b>
<b>PER M<sup>2</sup></b>	<b>9856</b>	<b>52859</b>	<b>62716</b>
<b>Floor Area:</b>	<b>1922.711 m2</b>		



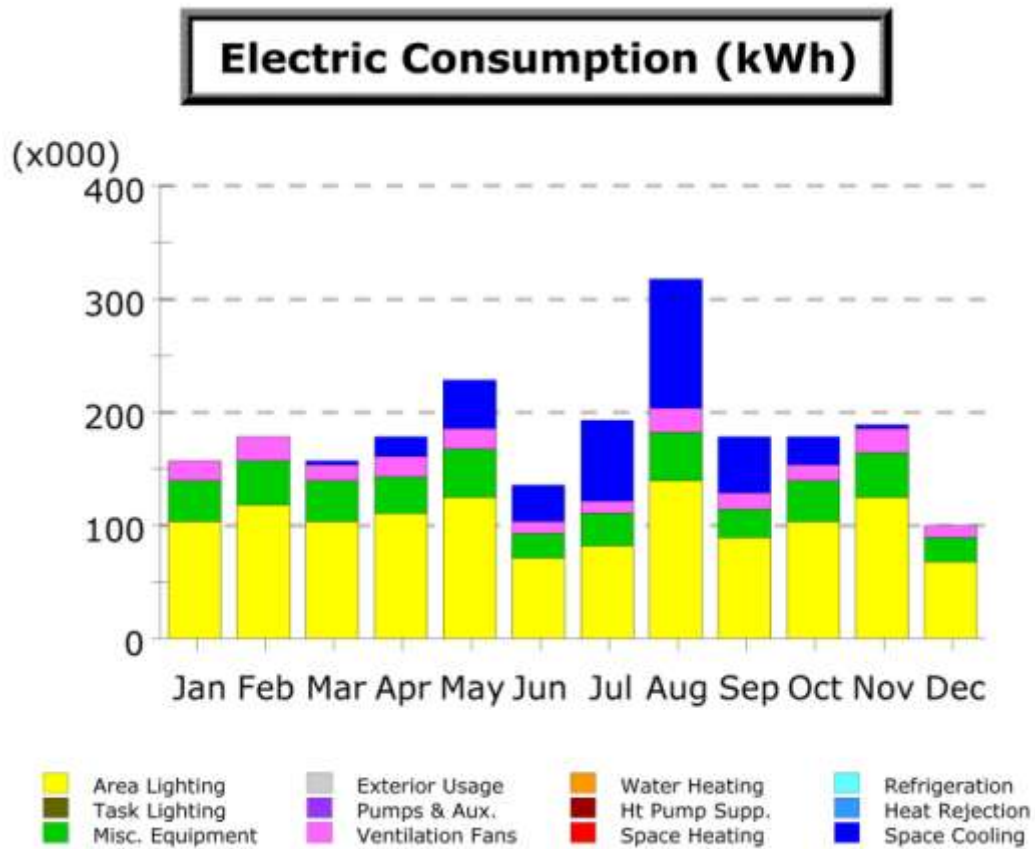
- **DESIGNBUILDER®**



**Figura 34:** Consumo Energético Mensal do Pavilhão de Civil (Gráfico e Tabela) obtido pelo *DesignBuilder®*

Fonte: *DesignBuilder®*

- *eQUEST*<sup>®</sup>



**Figura 35:** Consumo Energético Mensal do Pavilhão de Civil (Gráfico) obtido pelo *eQUEST*<sup>®</sup>

Fonte: *eQUEST*<sup>®</sup>

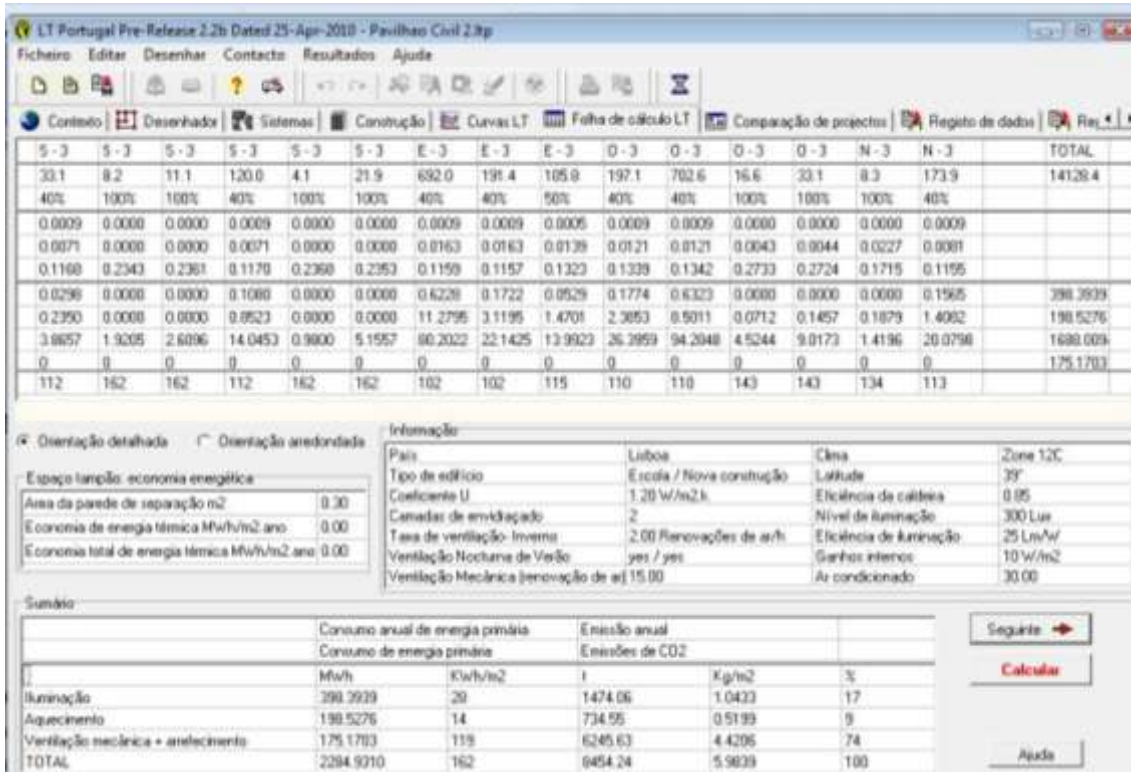
**Tabela 29:** Consumo Energético Mensal do Pavilhão de Civil (Gráfico) obtido pelo *eQUEST*<sup>®</sup>

Fonte: *eQUEST*<sup>®</sup>

**Electric Consumption (kWh x000)**

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	-	-	1,4	15,9	41,2	31,7	71,0	115,1	50,4	25,0	2,8	0,1	354,5
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	16,5	19,6	16,5	17,5	20,6	10,3	12,4	22,7	13,4	16,5	20,6	9,3	195,7
Pumps & Aux.	2,3	1,7	1,2	0,6	0,1	-	-	-	-	-	0,5	2,2	8,5
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	32,7	37,2	32,7	34,2	39,5	22,3	25,9	42,9	27,4	32,7	39,3	20,8	387,6
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	104,9	119,6	104,9	109,8	126,8	71,7	83,2	137,6	88,0	105,0	126,1	66,8	1.244,5
<b>Total</b>	<b>156,4</b>	<b>178,0</b>	<b>156,7</b>	<b>178,0</b>	<b>228,1</b>	<b>136,0</b>	<b>192,4</b>	<b>318,3</b>	<b>179,2</b>	<b>179,1</b>	<b>189,4</b>	<b>99,2</b>	<b>2.190,7</b>

- **LT-PORTUGAL®**



- **VE-GAIA®**

**Tabela 30: Consumo Energético Anual do Pavilhão de Civil (Tabela) obtido pelo VE-Gaia®**

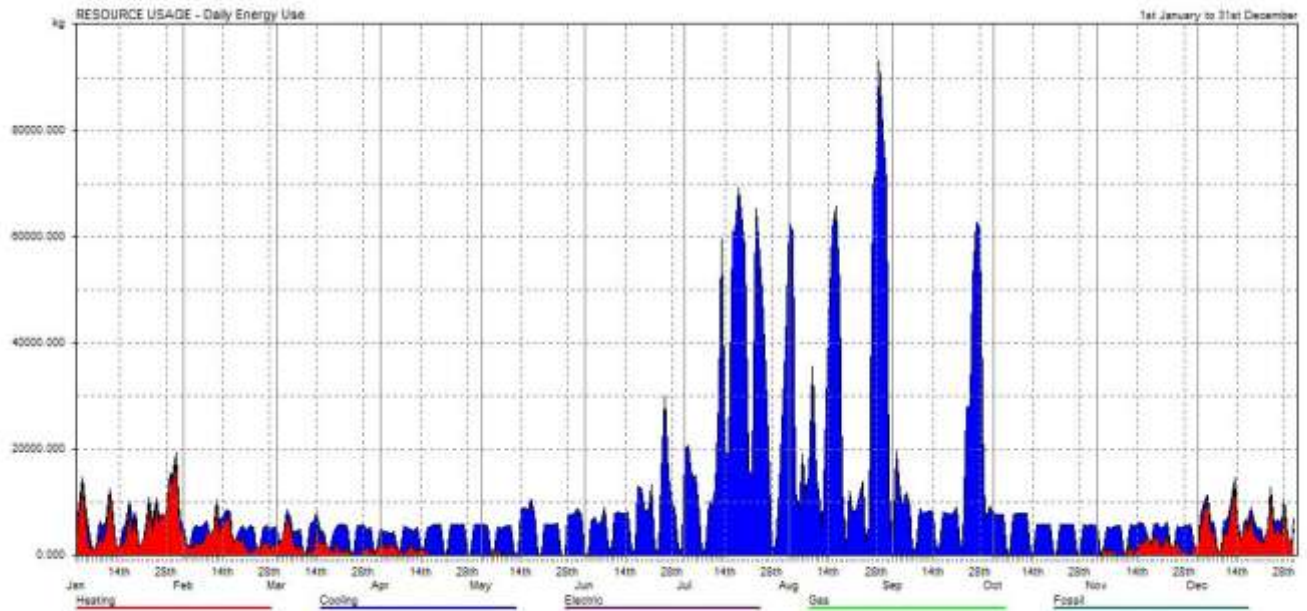
Fonte: VE-Gaia®

Simulation history	Sim	Energy split(MWh)					Total Energy	Total Carbon Emissions
		Heat	Cool	Fans Pumps	Lights	Equip	MWh	tonnes CO2
	run1	306.3	296.5	817.4	1,964.1	0.0	3,384.3	1,749.7
	run2	323.2	333.2	830.3	1,964.1	0.0	3,450.8	1,784.1

Copyright © 2010 IES Limited All rights reserved

## D.2. EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>

- **AUTODESK® ECOTECT® ANALYSIS**



**Figura 37:** Emissões de CO<sub>2</sub> Mensal do Pavilhão de Civil (Gráfico) obtido pelo Autodesk® Ecotect® Analysis

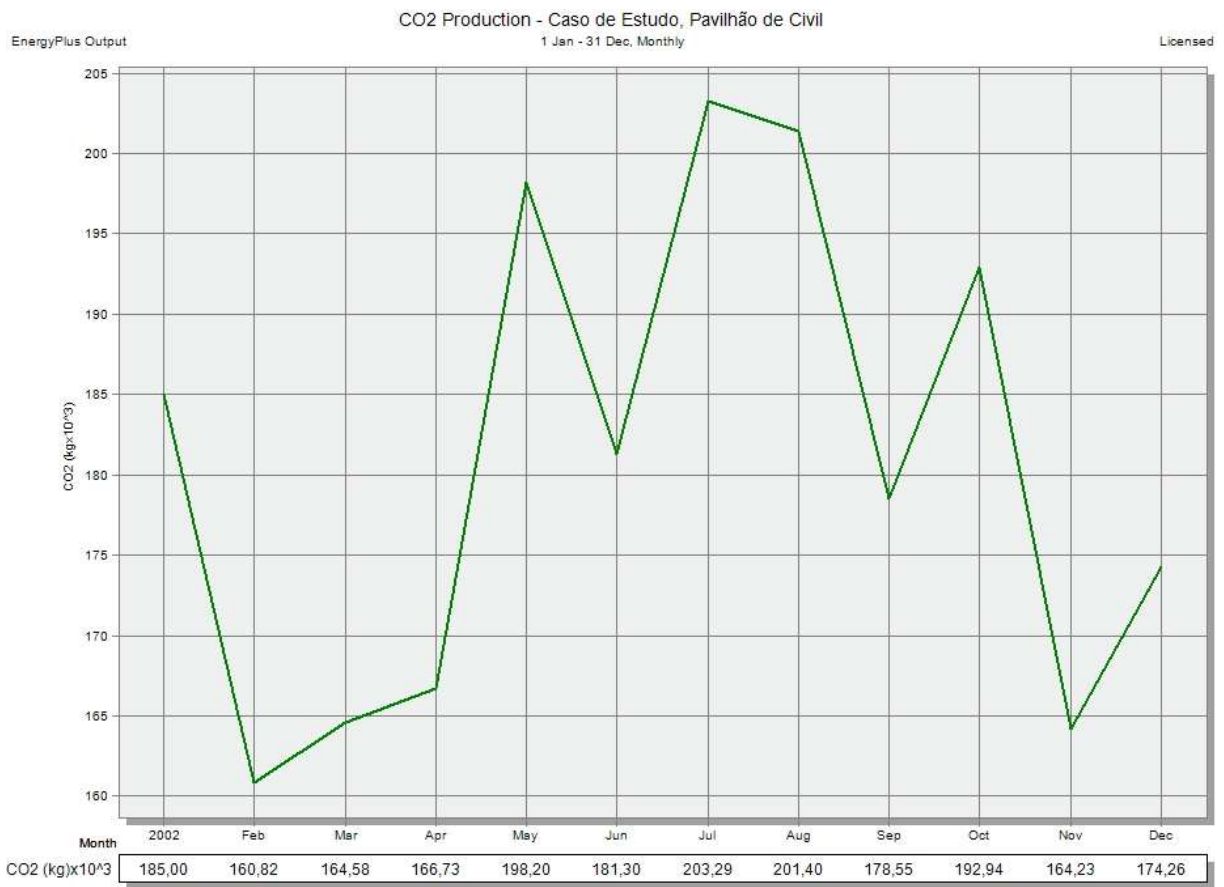
Fonte: Autodesk® Ecotect® Analysis

**Tabela 31:** Emissões de CO<sub>2</sub> Mensal do Pavilhão de Civil (Tabela) obtido pelo Autodesk® Ecotect® Analysis

Fonte: Autodesk® Ecotect® Analysis

	HEATING	COOLING	ELECTRIC	GAS	FOSSIL FUEL	Total
MONTH	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
Jan	193296,17	45841,18	0.000	0.000	0.000	239137,35
Feb	92697,42	54332,01	0.000	0.000	0.000	147029,43
Mar	57026,36	80783,24	0.000	0.000	0.000	137809,61
Apr	21792,88	97521,88	0.000	0.000	0.000	119314,76
May	3948,83	157858,00	0.000	0.000	0.000	161806,83
Jun	0.000	227570,98	0.000	0.000	0.000	227570,98
Jul	0.000	857030,50	0.000	0.000	0.000	857030,50
Aug	0.000	1007391,13	0.000	0.000	0.000	1007391,13
Sep	0.000	420368,41	0.000	0.000	0.000	420368,41
Oct	1845,69	157669,28	0.000	0.000	0.000	159514,97
Nov	42590,67	95920,83	0.000	0.000	0.000	138511,50
Dec	156926,89	39845,78	0.000	0.000	0.000	196772,67

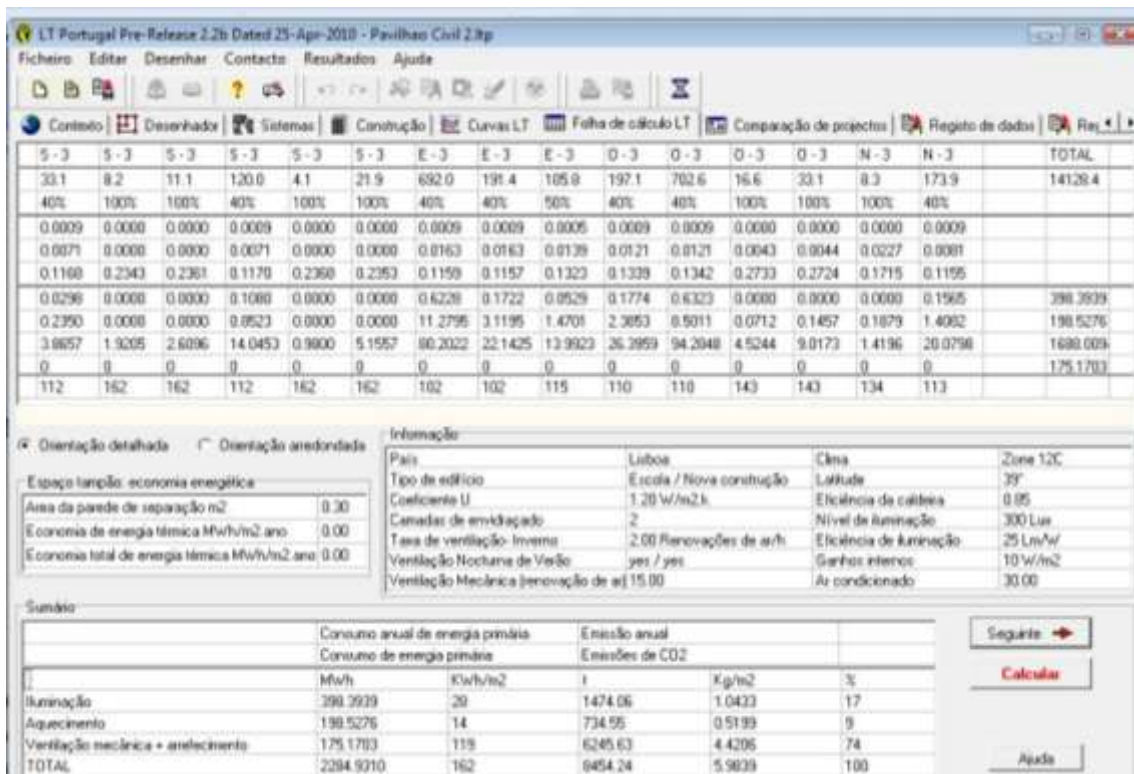
- **DESIGNBUILDER®**



**Figura 38:** Emissões de CO<sub>2</sub> Mensal do Pavilhão de Civil (Gráfico e Tabela) obtido pelo *DesignBuilder®*

Fonte: *DesignBuilder®*

- **LT-PORTUGAL®**



**Figura 39:** Emissões de CO<sub>2</sub> Anual do Pavilhão de Civil obtido pelo LT-Portugal®

Fonte: LT-Portugal®

- **VE-GAIA®**

**Tabela 32:** Emissões de CO<sub>2</sub> Mensal do Pavilhão de Civil (Tabela) obtido pelo VE-Gaia®

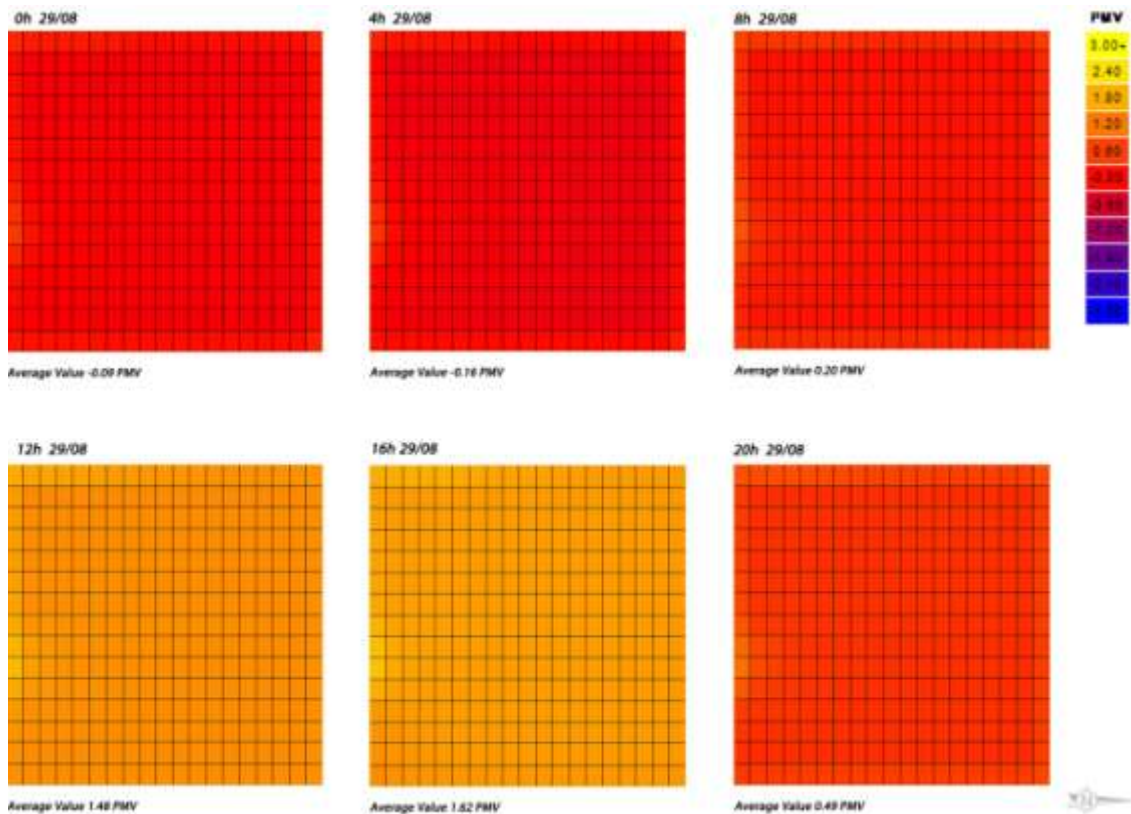
Fonte: VE-Gaia®

	System	Lights	Equipment	Monthly total
	kgCO2	kgCO2	kgCO2	kgCO2
Jan	87,660	86,242	0	173,901
Feb	63,644	77,896	0	141,540
Mar	47,765	86,242	0	134,007
Apr	36,841	83,460	0	120,300
May	49,223	86,242	0	135,464
Jun	66,056	83,460	0	149,515
Jul	91,256	86,242	0	177,497
Aug	91,582	86,242	0	177,823
Sep	70,987	83,460	0	154,446
Oct	44,942	86,242	0	131,183
Nov	42,019	83,460	0	125,479
Dec	76,678	86,242	0	162,920
<b>Total</b>	<b>768,651</b>	<b>1,015,424</b>	<b>0</b>	<b>1,784,075</b>

Copyright © 2010 IES Limited All rights reserved

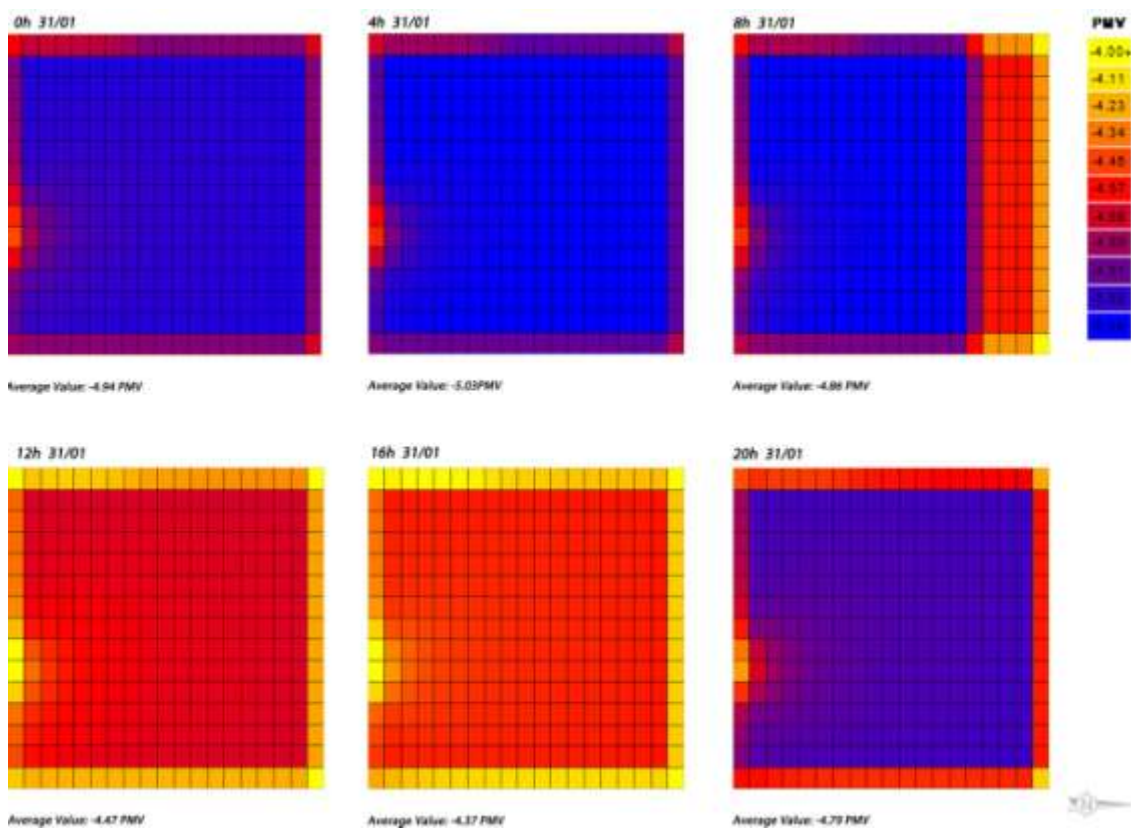
### D.3. CONFORTO TÉRMICO

- AUTODESK® ECOTECT® ANALYSIS**



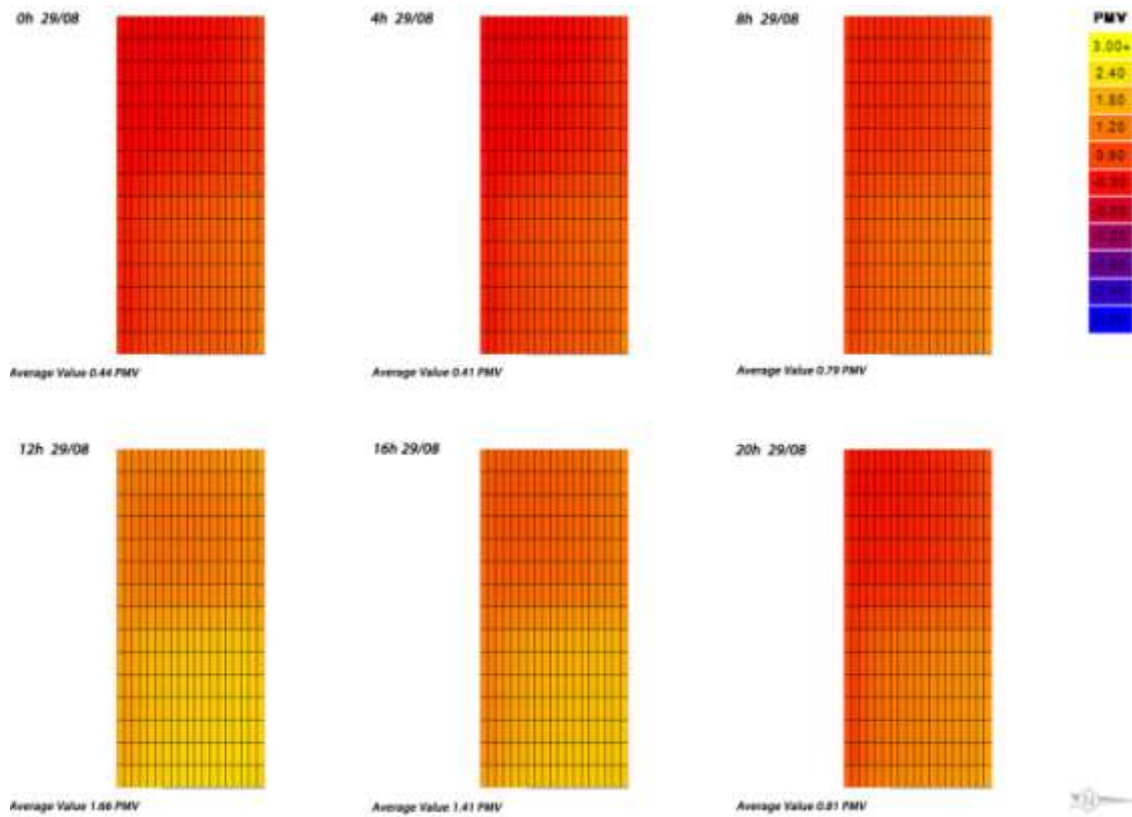
**Figura 40:** Conforto PMV no dia 29/08 do Aquário (Gráfico) obtido pelo Autodesk® Ecotect® Analysis

Fonte: Autodesk® Ecotect® Analysis

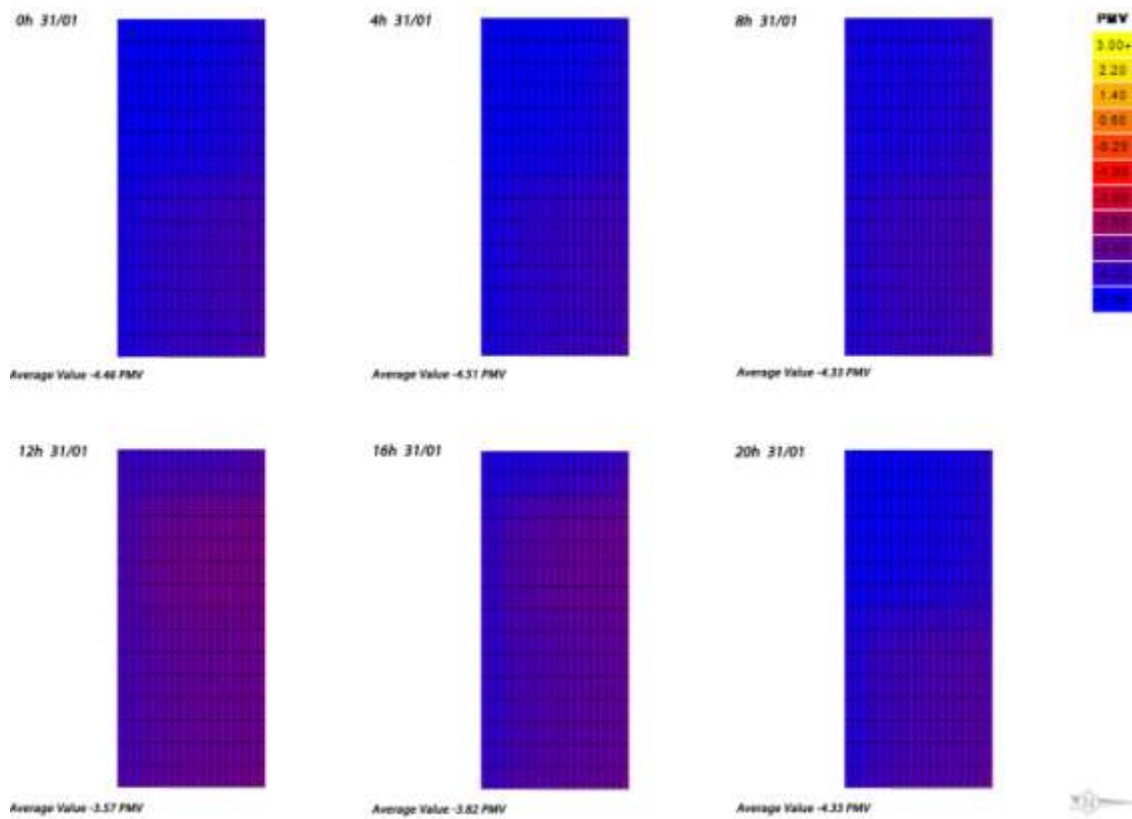


**Figura 41:** Conforto PMV no dia 31/01 do Aquário (Gráfico) obtido pelo Autodesk® Ecotect® Analysis

Fonte: Autodesk® Ecotect® Analysis

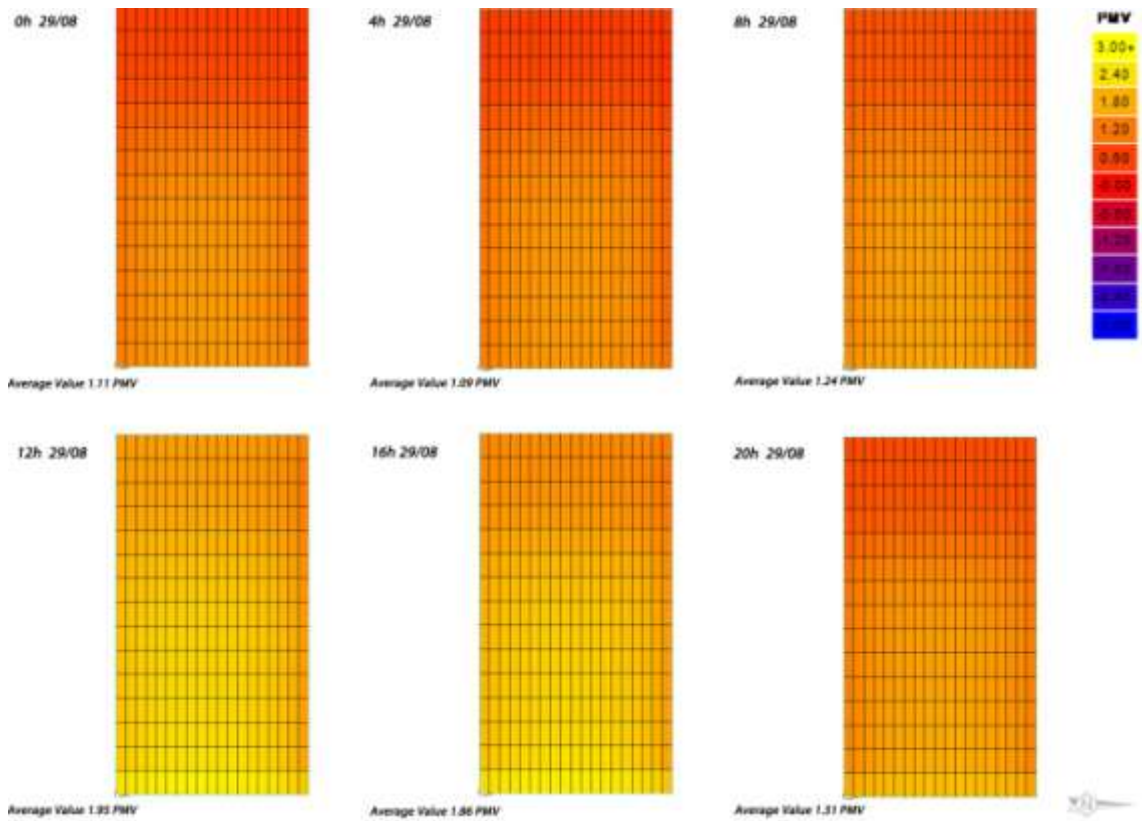


**Figura 42:** Conforto PMV no dia 29/08 do Gabinete (Gráfico) obtido pelo Autodesk® Ecotect® Analysis  
 Fonte: Autodesk® Ecotect® Analysis

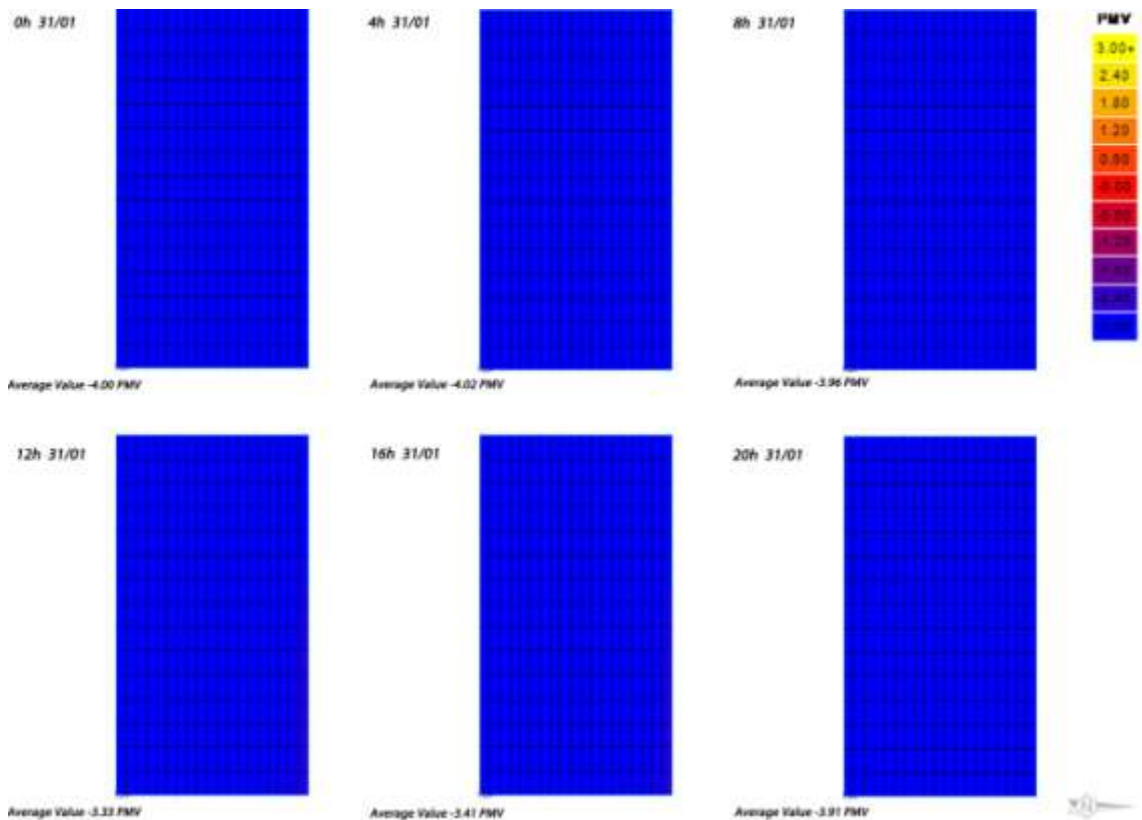


**Figura 43:** Conforto PMV no dia 31/01 do Gabinete (Gráfico) obtido pelo Autodesk® Ecotect® Analysis  
 Fonte: Autodesk® Ecotect® Analysis



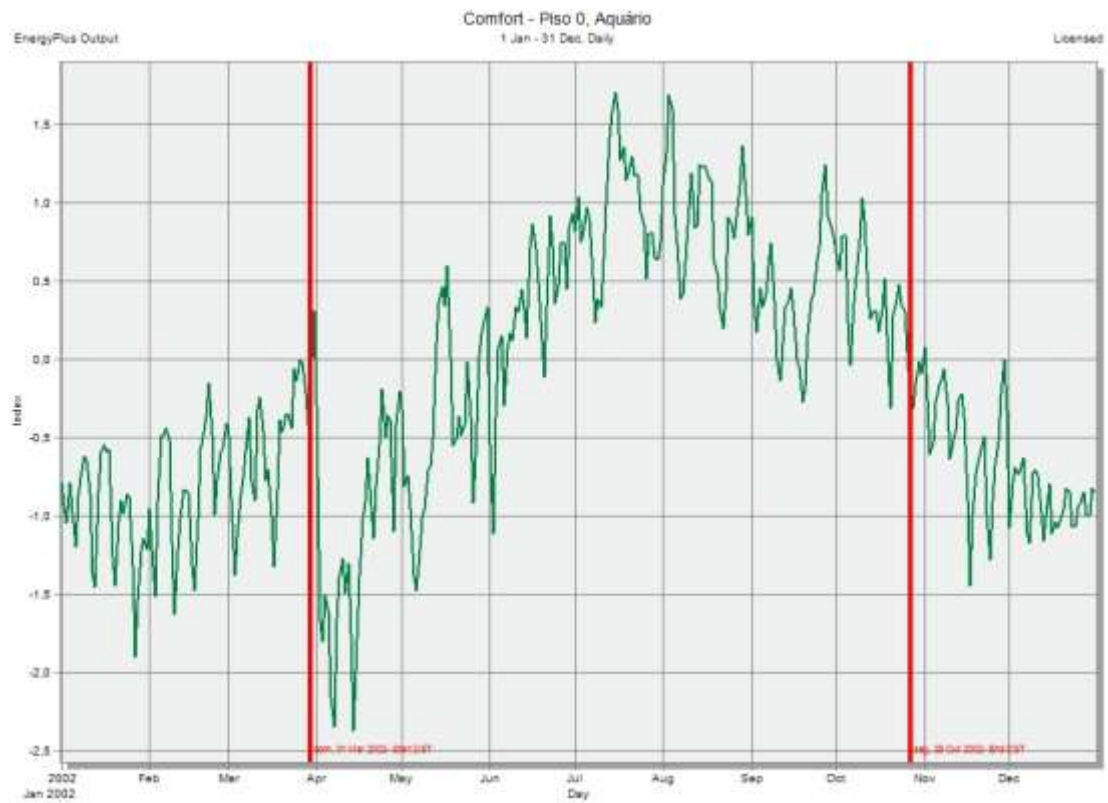


**Figura 44:** Conforto PMV no dia 29/08 da Sala Tipo de Arquitetura (Gráfico) obtido pelo Autodesk® Ecotect® Analysis  
 Fonte: Autodesk® Ecotect® Analysis



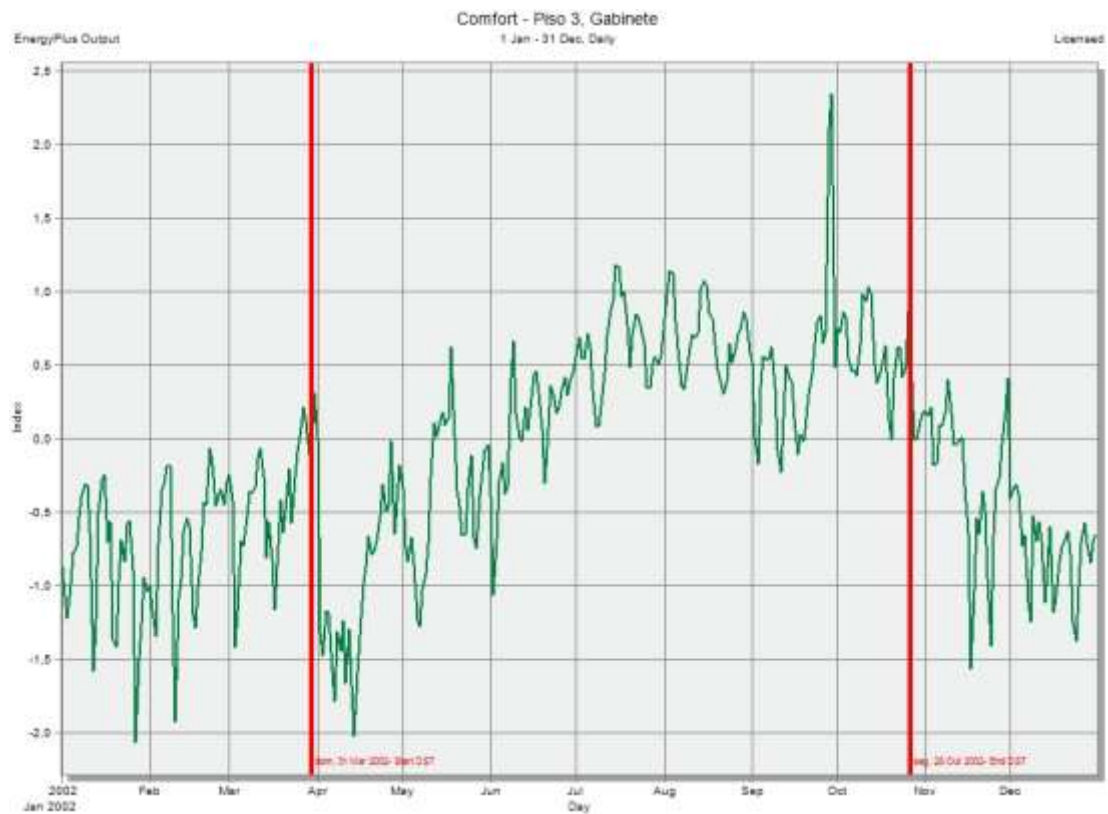
**Figura 45:** Conforto PMV no dia 31/01 da Sala Tipo de Arquitetura (Gráfico) obtido pelo Autodesk® Ecotect® Analysis  
 Fonte: Autodesk® Ecotect® Analysis

- **DESIGNBUILDER®**



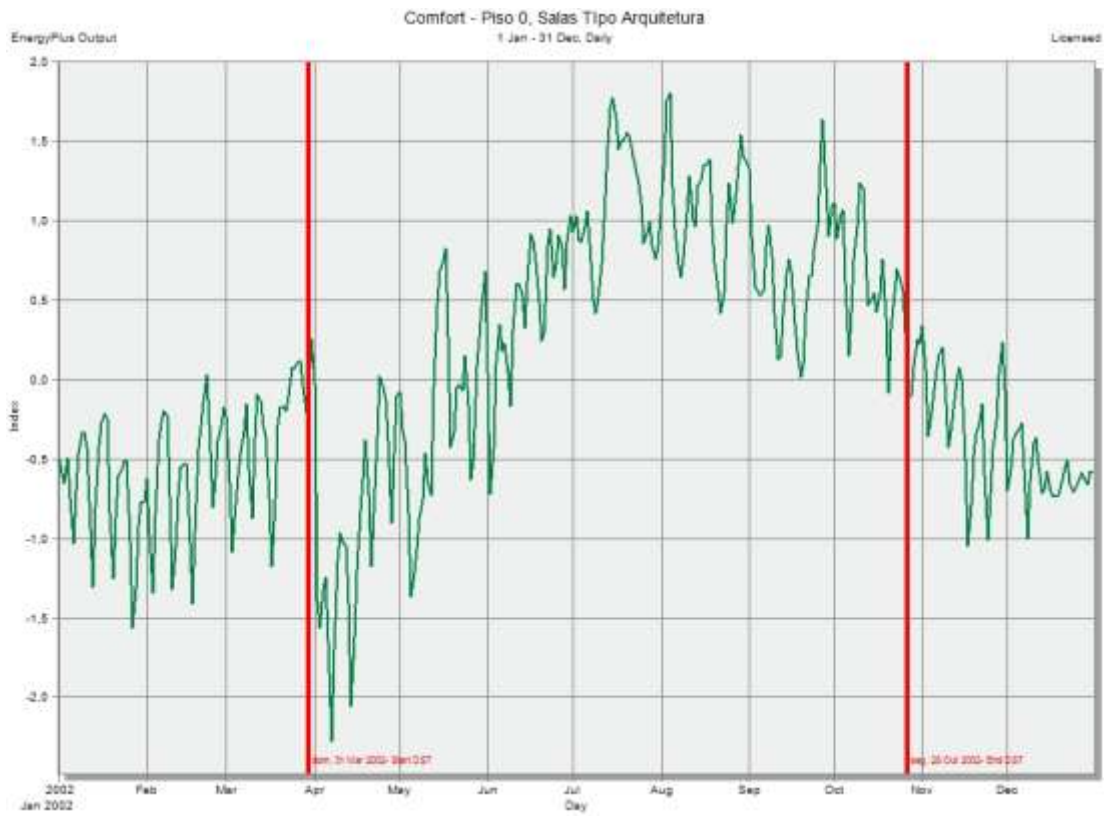
**Figura 46:** Conforto PMV Diário do Aquário ao longo do ano (Gráfico) obtido pelo *DesignBuilder®*

Fonte: *DesignBuilder®*



**Figura 47:** Conforto PMV Diário do Gabinete ao longo do ano (Gráfico) obtido pelo *DesignBuilder®*

Fonte: *DesignBuilder®*



**Figura 48:** Conforto PMV Diário da Sala Tipo de Arquitetura ao longo do ano (Gráfico) obtido pelo DesignBuilder®

Fonte: DesignBuilder®

**Tabela 33:** Conforto PMV Diário do Aquário, do Gabinete e da Sala Tipo de Arquitetura nos meses de Janeiro e Agosto (Tabela) obtido pelo *DesignBuilder*®

Fonte: *DesignBuilder*®

Aquário		Gabinete		Sala Tipo Arquitetura	
Date/Time	Fanger PMV	Date/Time	Fanger PMV	Date/Time	Fanger PMV
01-01-2002	-0,7906571	01-01-2002	-0,8659134	01-01-2002	-0,5061116
02-01-2002	-0,9295023	02-01-2002	-1,063193	02-01-2002	-0,5847009
03-01-2002	-1,042486	03-01-2002	-1,223421	03-01-2002	-0,655562
04-01-2002	-0,7851903	04-01-2002	-0,987898	04-01-2002	-0,4975928
05-01-2002	-0,979732	05-01-2002	-0,7817434	05-01-2002	-0,7466989
06-01-2002	-1,194695	06-01-2002	-0,7366299	06-01-2002	-1,034606
07-01-2002	-0,8725383	07-01-2002	-0,5306723	07-01-2002	-0,7025163
08-01-2002	-0,7599447	08-01-2002	-0,3914595	08-01-2002	-0,4618334
09-01-2002	-0,619818	09-01-2002	-0,3079903	09-01-2002	-0,3323971
10-01-2002	-0,6469232	10-01-2002	-0,3187283	10-01-2002	-0,3332537
11-01-2002	-0,8578867	11-01-2002	-0,6386816	11-01-2002	-0,4266039
12-01-2002	-1,36625	12-01-2002	-1,580745	12-01-2002	-0,9414169
13-01-2002	-1,456822	13-01-2002	-1,229455	13-01-2002	-1,308553
14-01-2002	-0,8496099	14-01-2002	-0,5100098	14-01-2002	-0,8059647
15-01-2002	-0,5949419	15-01-2002	-0,2894627	15-01-2002	-0,4225397
16-01-2002	-0,5420291	16-01-2002	-0,2473346	16-01-2002	-0,2770631
17-01-2002	-0,5879896	17-01-2002	-0,700704	17-01-2002	-0,2148812
18-01-2002	-0,5723361	18-01-2002	-0,5627784	18-01-2002	-0,2455578
19-01-2002	-1,255875	19-01-2002	-1,355435	19-01-2002	-0,8372127
20-01-2002	-1,450035	20-01-2002	-1,416364	20-01-2002	-1,253544
21-01-2002	-1,046219	21-01-2002	-0,970643	21-01-2002	-0,8742945
22-01-2002	-0,9044072	22-01-2002	-0,6872082	22-01-2002	-0,6069838
23-01-2002	-0,9848804	23-01-2002	-0,8362143	23-01-2002	-0,5736233
24-01-2002	-0,8599346	24-01-2002	-0,590364	24-01-2002	-0,5178592
25-01-2002	-0,8747936	25-01-2002	-0,5583181	25-01-2002	-0,5064549
26-01-2002	-1,32207	26-01-2002	-0,894443	26-01-2002	-1,019962
27-01-2002	-1,905986	27-01-2002	-2,058615	27-01-2002	-1,56214
28-01-2002	-1,537339	28-01-2002	-1,485842	28-01-2002	-1,314362
29-01-2002	-1,229966	29-01-2002	-1,251708	29-01-2002	-0,9205767
30-01-2002	-1,147676	30-01-2002	-0,9427314	30-01-2002	-0,7775829
31-01-2002	-1,21349	31-01-2002	-1,040692	31-01-2002	-0,7666025
01-08-2002	1,113666	01-08-2002	0,8230515	01-08-2002	1,145735
02-08-2002	1,31826	02-08-2002	0,9834667	02-08-2002	1,342679
03-08-2002	1,693852	03-08-2002	1,142299	03-08-2002	1,747051
04-08-2002	1,603216	04-08-2002	1,125427	04-08-2002	1,800343
05-08-2002	0,9267604	05-08-2002	0,7993092	05-08-2002	1,219599
06-08-2002	0,7350118	06-08-2002	0,6140404	06-08-2002	0,9506328
07-08-2002	0,387969	07-08-2002	0,3641098	07-08-2002	0,7238621
08-08-2002	0,4151966	08-08-2002	0,3392167	08-08-2002	0,6407464
09-08-2002	0,6300662	09-08-2002	0,4464514	09-08-2002	0,7636076
10-08-2002	0,976597	10-08-2002	0,6162117	10-08-2002	1,044243
11-08-2002	1,19332	11-08-2002	0,7065833	11-08-2002	1,277884
12-08-2002	0,839691	12-08-2002	0,6853954	12-08-2002	1,017023
13-08-2002	0,8599275	13-08-2002	0,7231523	13-08-2002	0,9595147
14-08-2002	1,245135	14-08-2002	1,014779	14-08-2002	1,219889
15-08-2002	1,226423	15-08-2002	1,075338	15-08-2002	1,254244
16-08-2002	1,232944	16-08-2002	1,043031	16-08-2002	1,34827
17-08-2002	1,153679	17-08-2002	0,8523728	17-08-2002	1,351179
18-08-2002	1,135481	18-08-2002	0,8099441	18-08-2002	1,389284
19-08-2002	0,6397993	19-08-2002	0,637981	19-08-2002	0,9633787
20-08-2002	0,5482633	20-08-2002	0,4742967	20-08-2002	0,7361239
21-08-2002	0,3262314	21-08-2002	0,3809353	21-08-2002	0,5672045
22-08-2002	0,19684	22-08-2002	0,2998669	22-08-2002	0,4143223
23-08-2002	0,425886	23-08-2002	0,3895186	23-08-2002	0,5427206
24-08-2002	0,9137836	24-08-2002	0,6472424	24-08-2002	0,9764233
25-08-2002	0,8687667	25-08-2002	0,5172768	25-08-2002	1,231539
26-08-2002	0,7728863	26-08-2002	0,6099463	26-08-2002	0,9830498
27-08-2002	0,9738163	27-08-2002	0,7016472	27-08-2002	1,096798
28-08-2002	1,114975	28-08-2002	0,7390836	28-08-2002	1,25501
29-08-2002	1,369127	29-08-2002	0,8621658	29-08-2002	1,537701
30-08-2002	1,050817	30-08-2002	0,8135055	30-08-2002	1,398079
31-08-2002	0,7958906	31-08-2002	0,5918456	31-08-2002	1,364829

## **ANEXO E: OUTRAS SIMULAÇÕES**

• **AUTODESK® ECOTECT® ANALYSIS**

**Tabela 34: Outras simulações possíveis no Autodesk® Ecotect® Analysis**

Fonte: Autodesk® Ecotect® Analysis

<b>Autodesk Ecotect Analysis</b>		
<b>Cálculo</b>	<b>Resultado Obtido/Unidades</b>	<b>Tipo de Output Obtido</b>
<p><b>Shading Design</b></p> <p>There are many ways to design shading devices - from projecting profiles or solar rays from objects, to generating automatically optimised shading shapes for a window.</p>	<b>Project a Cutting Profile</b>	Projects cutting lines from the current transformation Origin
	<b>Extrude Objects for Solar Envelope</b>	Creates reference lines and planes to test or limit building heights
	<b>Generate Optimised Shading Device</b>	<p>Uses cutting profiles and set of dates and times to generate the exact shape required to shade the currently selected window object</p> <p>Forma Geométrica (conforme o tipo escolhido) da sombra, no modo 3D</p>
	Rectangular Shade	
	Optimised on Specific day	
	Optimised for selected dates	
	Surrounding Shade with vertical	
Solar pergola with Angled fins		
Multiple Profile, one for each window vertex		
<p><b>Project Solar Shading Potencial</b></p> <p>Daily Sun Path</p> <p>Annual Sun Path</p> <p>Animated Shadows (Hourly or Annual)</p> <p>Normal Shadows (de acordo com a data especificada no menu de cima)</p> <p>Pode-se fazer um estudo dos raios solares que entram num determinado espaço, desde que se identifique um objecto como sombreado ou reflector, que os raios vão de encontro a esses objectos (aplicar a janelas e depois desenhar um sombreado, tipo persianas ou mesmo uma pala e vê-se o efeito que têm na</p> <p>Pode-se alterar a transparência (no OpenGL), o sketchiness e section plane do modelo 3D</p>	<b>Project Solar Shading Potencial</b>	Uses reverse ray-tracing to project solar intensity onto obstructing surfaces or the
	Daily Sun Path	Gráfico no modelo 3D com a posição do sol e uma trajetória ao longo do dia.
	Annual Sun Path	Gráfico no modelo 3D com a posição do sol e uma trajetória ao longo do ano.
	Animated Shadows (Hourly or Annual)	Animação com as projecções da sombra no modelo 3D ao longo do dia ou do ano)
	Normal Shadows (de acordo com a data especificada no menu de cima)	Projecção da sombra no modelo 3D ao longo do dia ou do ano)
	Pode-se fazer um estudo dos raios solares que entram num determinado espaço, desde que se identifique um objecto como sombreado ou reflector, que os raios vão de encontro a esses objectos (aplicar a janelas e depois desenhar um sombreado, tipo persianas ou mesmo uma pala e vê-se o efeito que têm na	
	Pode-se alterar a transparência (no OpenGL), o sketchiness e section plane do modelo 3D	
<p><b>Solar Access Analysis</b></p> <p>Solar access refers to the availability of incident solar radiation (insolation), on surfaces and points within your model.</p> <p>Solar radiation Calculations use hourly recorded direct and diffuse radiation data from the weather file.</p> <p>Overshadowing and shading calculations require only the geometry of the building and its surroundings.</p>	<b>Incident Solar Radiation</b>	Calculates total, direct and diffuse solar radiation falling on objects.
	Time Range	
	Objects in Model	Resultados obtidos nas faces do edifício, com uma escala gráfica de cores (modelo 3D)
	Analysis Grid (insolation only)	Resultados obtidos na grelha de análise, com uma escala gráfica de cores (modelo 3D)
	<b>Absorbed/Transmitted Solar Radiation</b>	Applies surface and material properties, calculating the total incident, total absorbed and total transmitted radiation (only for planar surfaces - points, vectors and the grid
	Time Range	
	Objects in Model	Resultados obtidos nas faces do edifício, com uma escala gráfica de cores (modelo 3D)
	<b>Sky factor &amp; Photosynthetically Active Radiation (PAR)</b>	Shows total radiation, percentage of visible sky and plant radiation
	Time Range	
	Objects in Model	Resultados obtidos nas faces do edifício, com uma escala gráfica de cores (modelo 3D)
	Analysis Grid (insolation only)	Resultados obtidos na grelha de análise, com uma escala gráfica de cores (modelo 3D)
	<b>Shading, Overshadowing and sunlight Hours</b>	Show percentage shading, visible sky and total sunlight hours
Time Range		
Objects in Model	Resultados obtidos nas faces do edifício, com uma escala gráfica de cores (modelo 3D)	
Analysis Grid (insolation only)	Resultados obtidos na grelha de análise, com uma escala gráfica de cores (modelo 3D)	
<p><b>Solar Exposure</b></p>	<b>Single Day</b>	Gráfico - Resultados ao longo do dia
	<b>Average Daily</b>	Gráfico e Tabela - Resultados ao longo do ano, por mês e por hora do dia
	<b>Total Monthly</b>	Gráfico e Tabela - Resultados ao longo do ano, por mês e por hora do dia
	<b>Full hourly</b>	Gráfico e Tabela - Resultados ao longo do ano, por mês, todos os dias e por hora do dia
<p><b>Lighting Analysis</b></p> <p>A lighting analysis can show both natural and artificial light levels at specific points in your model. To consider artificial lighting, you must include LIGHT objects within your model</p>	<b>Natural light Levels</b>	Calculates daylight factors using the sky, external and internally components along with the sky luminance
	Daylight Factor (%)	<p>Resultados obtidos na grelha de análise, com uma escala gráfica de cores (modelo 3D)</p>
	Daylighting Levels (lux)	
	Internally Reflected (%)	
	Externally Reflected (%)	
	Sky Component (%)	
	<b>Overall Daylight and Electric Light Levels</b>	Calculates overall light levels, considering both natural light levels and the contribution of electric lights in the model
	Daylight Factor (%)	<p>Resultados obtidos na grelha de análise, com uma escala gráfica de cores (modelo 3D)</p>
	Daylighting Levels (lux)	
	Electric Light Levels (lux)	
	Overall Light Levels (lux)	
	Illumination Vector (lux) e direcções em cada célula	
<b>Zone-Specific Daylight Factor Values</b>	Displays the "Photoelectrics and Daylight" dialog box	
<b>Export to Radiance for More Detailed Analysis</b>	For complex indirect lighting systems, you should consider exporting to RADIANCE - which you can download and install for free.	
Exportação para o Radiance		
<p><b>Right-to-Light Analysis</b></p> <p>In this context, right-to-light refers to the impact of a proposed development on the light available to adjacent buildings. This wizard guides you through some of the analysis methods in the BRE's "Site Layout Planning for Daylight and Sunlight: A guide to good practice"</p>	<b>STEP 1 - Check Solar envelope</b>	This is a simple test to see if the development projects above a particular vertical angle taken from selected objects in the model. This can be done using extruded planes or a full surface analysis
	Along Building Facade	
	Along Site Boundary	
	Neither, Do not change Angle	
	<b>STEP 2 - Calculate Vertical sky Components</b>	Even if the development projects quite high, the vertical sky component can be used to determine if selected parts of the model still receive adequate levels of natural light
	Using Existing Shading Masks	
	Perform Detailed Shading Calculations	
<b>STEP 3 - Compare no sky lines in Rooms</b>	The last check is to see if the development significantly reduces the area of any room with direct access to the sky. This is calculated using the concept of the no-sky-line	
Perform Detailed Shading Calculations		
<p><b>Daylight Autonomy</b></p>	Time Range	<p>Resultados obtidos na grelha de análise, com uma escala gráfica de cores (modelo 3D)</p>
	Required Lighting Level	
	Existing Component Sky (%)	
	Daylight Autonomy (300 lux) (%)	
	Difference (Absolute SC) (%)	
	Difference (Percent) (%)	

<p>Thermal Analysis</p> <p>Whilst the calculations are often the same you can derive many different kinds of information from the thermal analysis of your building</p> <p>For buildings without heating or cooling, you must rely on passive measures such as temperatures, losses/gains and comfort. Obviously for air conditioned spaces, the measure will be the amount of energy to maintain temperatures</p>	<p><b>Temperatures</b></p> <p>Hourly temperatures Profile</p> <p>Temperature Distribution (annual)</p>	<p>Display outside and inside temperatures for thermal zones</p> <p>Gráfico e Tabela</p>	
	<p><b>Losses and Gains</b></p> <p>Hourly Heat Gain Losses</p> <p>Individual Gains Distribution</p> <p>Passive Gains Breakdown</p>	<p>Show relative contribution of different heat flow paths</p> <p>Gráfico e Tabela</p> <p>Resultados ao longo do dia seleccionado, average monthly ou ao longo do ano</p>	
	<p><b>Space Loads</b> (n funciona se estiver em modo passivo)</p> <p>Monthly Loads/Discomfort</p> <p>Heating (W &amp; Wh)</p> <p>Cooling (W &amp; Wh)</p>	<p>Shows HVAC supply loads to maintain thermostat temperatures</p> <p>Gráfico e Tabela</p> <p>Resultados ao longo do ano, por mês</p>	
	<p><b>Thermal Comfort</b> (funciona melhor com zonas passivas)</p> <p>Monthly Comfort Times (Monthly Loads/Discomfort)</p> <p>Spatial Comfort Analysis (o mesmo que Comfort Analysis)</p> <p>Mean Radiant Temperature (°C)</p> <p>PMV</p> <p>PPD</p> <p>Required Air Velocity (m/s)</p> <p>Solar gains (W)</p>	<p>Shows either times outside comfort or radiant temperature effects</p> <p>Gráfico e Tabela</p> <p>Resultados obtidos na grelha de análise, com uma escala gráfica de cores (modelo 3D)</p>	
	<p><b>Comparative Data</b></p> <p>Indoor Vs Outdoor Temperatures</p> <p>Gain/Losses vs outdoor Temperatures</p> <p>Space Loads vs Degree Days</p>	<p>Range of comparative graphs for loads and temperatures</p> <p>Gráfico</p>	
	<p>UK Building Regulations</p>	<p>Part L of the UK Building Regulations, (Section 6 in Scotland, Part F in Northern Ireland) sets out means of demonstrating compliance with a range of government energy and fuel conservation measures.</p> <p>The evaluation methods and Approved Documents (AD) to be used depend on the type and size of each building.</p> <p>In the 2006 Regulations, domestic dwellings are dealt with by ADL1 (A &amp; B) whilst non-domestic buildings use ADL2 (A &amp; B). Buildings containing rooms for residential purposes such as nursing homes or student accommodation are not considered domestic and are therefore subject to ADL2.</p>	<p>SBEM Compliance</p> <p>Whilst England and Wales share the same Part-L legislation, Scotland and Northern Ireland have slightly different requirements and building performance thresholds in some areas.</p> <p>In addition, the Energy Performance of Buildings (Certificates And Inspections) (England And Wales) Regulations 2007 provide for the generation of an Energy Performance Certificate (EPC) for a building. The EPC includes a building's calculated Asset Rating as well as a set of design recommendations for improved energy-efficiency.</p>
	<p>Acoustic</p>	<p>Linked Acoustic Rays</p> <p>Statistical Reverberation Time</p> <p>Acoustic Response</p>	
	<p>Spacial Visibility Analysis</p> <p>Visibility calculations show how much of an object can be seen from different points within the model. This is done by dividing each object up using pseudo-random samples and determining unobstructed sightlines to test points.</p> <p>Visibility calculations require that the analysis grid is visible in the model and covers the area of interest on site or within an enclosed space.</p>	<p><b>Visibility of Selected Objects</b></p> <p>Actual Visible Area (m2)</p> <p>Percent Exposed Obj's (%)</p> <p>Percent Exposed Pts (%)</p> <p><b>Access to Views through Selected Windows</b></p> <p>Actual Visible Area (m2)</p> <p>Percent Exposed Obj's (%)</p> <p>Percent Exposed Pts (%)</p>	<p>Calculates the area of each object exposed to / visible from each analysis grid node.</p> <p>Surface properties of the selected objects are not considered, though the transparency of obstructing objects is.</p> <p>Resultados obtidos na grelha de análise, com uma escala gráfica de cores (modelo 3D)</p> <p>Same as above, but considers only Window objects, accounting for their transmission and refractive effects in order to determine access to reasonable views to outside</p> <p>Resultados obtidos na grelha de análise, com uma escala gráfica de cores (modelo 3D)</p>
	<p>Prevailing Winds</p>	<p><b>Data to Display</b></p>	<p>Gráfico de Ventos</p>
	<p>Resource Consumption</p>	<p><b>Daily Energy Use</b></p> <p>Daily Load Matching</p> <p>Hourly Solar Collection (Wh &amp; \$)</p> <p>Hourly Electricity Use (Wh &amp; \$)</p> <p>Hourly Nat. Gas Use (Wh &amp; \$)</p> <p>Hourly LP Gas Use (Wh &amp; \$)</p> <p>Hourly Coal Use (Kg &amp; \$)</p> <p>Hourly Fuel Oil Use (lt/hr &amp; \$)</p> <p>Hourly kerosene Use (lt/hr &amp; \$)</p> <p>Hourly Water Use (lt/hr &amp; \$)</p> <p>Hourly Water Waste (lt/hr &amp; \$)</p>	<p>Gráfico e Tabela</p> <p>Resultados ao longo do ano, por mês ou por hora</p>
	<p>Material Costs</p>	<p><b>Element and Totals</b></p> <p>Cost (\$)</p> <p>Greenhouse Gas (kg)</p> <p>Embodied Energy (Wh)</p> <p>Maintenance Energy (Wh)</p> <p>Maintenance Cost (\$)</p>	<p>Tabela</p> <p>Resultados por elemento e total</p>

- **DESIGNBUILDER®**

**Tabela 35:** Outras simulações possíveis no *DesignBuilder®*

Fonte: *DesignBuilder®*

<b>Design Builder</b>		
<b>Cálculo</b>	<b>Resultado Obtido/Unidades</b>	<b>Tipo de Output Obtido</b>
<b>Heating Design</b>		
Faz o cálculo das perdas de calor máximas (e depois aumentando com uma margem de 25%) para posterior desenho dos sistemas de aquecimento		
<b>Cooling Design</b>		
Faz o cálculo das perdas de calor máximas (e depois aumentando com uma margem de 15%) para posterior desenho dos sistemas de aquecimento		
<b>Simulation</b>		
Faz o cálculo a nível energético e de conforto de todo o edifício, podendo obter resultados de anuais, mensais, diários, horário e sub-horários (os resultados podem aparecer por edifício, Bloco ou zona, conforme está seleccionado na navegação)		
Analysis	<b>Site Data</b>	Graficos, Tabelas, os dois ao mesmo tempo, grelha  Resultados das necessidades de arrefecimento a longo do dia escolhido
	Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	
	Outside Dew-Point Temperature (°C)	
	Wind Speed (m/s)	
	Wind Direction (°)	
	Solar Altitude (°)	
	Solar Azimuth (°)	
	Atmospheric Pressure (Pa)	
	Direct Normal Solar (kWh)	
	Diffuse Horizontal Solar (kWh)	
	<b>Comfort</b>	
	Air Temperature (°C)	
	Radiant Temperature (°C)	
	Operative Temperature (°C)	
	Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	
	Relative Humidity (%)	
	Discomfort hrs (all clothing) (hrs)	
	Fanger PMV ( )	
	Pierce PMV ET ( )	
	Pierce PMV SET ( )	
	Kansas Uni TSV ( )	
	<b>Internal Gains</b>	
	General Lighting (kWh)	
	Computer + Equip (kWh)	
	Occupancy (kWh)	
	Solar Gains Exterior Windows (kWh)	
	Zone Sensible Heating (kWh)	
	Zone Sensible Cooling (kWh)	
	Total Latent Load (kWh)	
	<b>Fabric and Ventilation</b>	
	Glazing (kWh)	
	Walls (kWh)	
	Ceilings (int) (kWh)	
	Floors (int) (kWh)	
	Ground Floors (kWh)	
	Roofs (kWh)	
	External Infiltration (kWh)	
	Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ac/h)	
	<b>Fuel Breakdown</b>	
	Room Electricity (kWh)	
	Lighting (kWh)	
	System Fans (kWh)	
	System Pumps (kWh)	
	Heat Generation (Gas) (kWh)	
	Chiller (Electricity) (kWh)	
DHW (Electricity) (kWh)		
Heat Rejection (kWh)		
<b>Fuel Totals</b>		
Electricity (kWh)		
Gas (kWh)		
Oil (kWh)		
Solid (kWh)		
Bot Gas (kWh)		
Other (kWh)		
<b>CO2 Production</b>		
CO2 (kg)		
<b>System loads</b>		
Sensible Cooling (kWh)		
Total Cooling (kWh)		
Zone Heating (kWh)		



Summary	Annual Building Utility Performance Summary (For: Entire Facility)☒	Tabelas Resultados Detalhado da Simulação Energética do Edifício
	Input Verification and Results Summary (For: Entire Facility)	
	Demand End Use Components Summary (For: Entire Facility)	
	Source Energy End Use Components Summary (For: Entire Facility)	
	Climatic Data Summary (For: Entire Facility)	
	Envelope Summary (For: Entire Facility)	
	Shading Summary (For: Entire Facility)	
	Lighting Summary (For: Entire Facility)	
	Equipment Summary (For: Entire Facility)	
	HVAC Sizing Summary (For: Entire Facility)	
	System Summary (For: Entire Facility)	
	Outdoor Air Summary (For: Entire Facility)	
	Object Count Summary (For: Entire Facility)	
	Sensible Heat Gain Summary (For: Entire Facility)	
	Component Sizing Summary (For: Entire Facility)	
	Surface Shadowing Summary (For: Entire Facility)	
	Adaptive Comfort Summary (For: Entire Facility)	
	Zone Cooling Summary Monthly (For: Each Zone)	
	Zone Heating Summary Monthly (For: Each Zone)	
	Zone Electric Summary Monthly (For: Each Zone)	
	Space Gains Monthly (For: Each Zone)	
	Peak Space Gains Monthly (For: Each Zone)	
	Space Gain Components At Cooling Peak Monthly (For: Each Zone)	
	Energy Consumption Electricity Natural Gas Monthly (For: Meter)	
	Energy Consumption - District Heating & Cooling Monthly (For: Meter)	
	End Use Energy Consumption Electricity Monthly (For: Meter)	
	End Use Energy Consumption Natural Gas Monthly (For: Meter)	
	Peak Energy End Use Electricity Monthly (For: Meter)	
	Electric Components Of Peak Demand Monthly (For: Meter)	
	Peak Energy End Use Natural Gas Monthly (For: Meter)	
	Setpoints Not Met With Temperatures Monthly (For: Each Zone)	
	Comfort Report Simple55 Monthly (For: Each Zone)	
	Occupant Comfort Data Summary Monthly (For: Each Zone)	
	Chiller Report Monthly (For: DOE-2 CENTRIFUGAL/5.50COP)☒	
	Tower Report Monthly (For: TOWER 1)	
	Boiler Report Monthly (For: GAS-FIRED CONDENSING BOILER)☒	
	Window Report Monthly (Por Parede)	
	Window Energy Report Monthly (Por Parede)	
	Window Zone Summary Monthly (For each zone)	
	Window Energy Zone Summary Monthly (For each zone)	
	Average Outdoor Conditions Monthly (For: Environment)	
	Outdoor Conditions Maximum Dry Bulb Monthly☒(For: Environment)	
	Outdoor Conditions Minimum Dry Bulb Monthly☒(For: Environment)	
	Outdoor Conditions Maximum Wet Bulb Monthly☒(For: Environment)	
	Outdoor Conditions Maximum Dew Point Monthly (For: Environment)	
	Outdoor Ground Conditions Monthly (For: Environment)	
	Daylighting Report Monthly (For: Environment)	
	Coil Report Monthly (For Each Zone: Heating)	
	Coil Report Monthly (For Each Zone: Cooling)	
	Plant Loop Demand Report Monthly (For HOT WATER LOOP)	
Plant Loop Demand Report Monthly (For: CHILLED WATER LOOP)		
Fan Report Monthly (For Each Zone)		
Pump Report Monthly (For: CHILLED WATER LOOP CNDW SUPPLY PUMP)☒		
Pump Report Monthly (For: HOT WATER LOOP HW SUPPLY PUMP)☒		
Pump Report Monthly (For: CHILLED WATER LOOP CHW SUPPLY PUMP)☒		
Cond Loop Demand Report Monthly (For CHILLED WATER LOOP CONDENSER WATER LOOP)		
Zone Temperature Oscillation Report Monthly (For Each Zone)		
Mechanical Ventilation Loads Monthly (For Each Zone)		
ZONE MEAN AIR TEMPERATURE [C] [ON] (For Each Zone)		
ZONE MEAN RADIANT TEMPERATURE [C] [ON] (For Each Zone)		
ZONE OPERATIVE TEMPERATURE [C] [ON] (For Each Zone)		
Parametric	Principal Criteria	Gráficos Dando uma ou duas variáveis, pode-se verificar a evolução de um critério ao longo da(s) variável(eis) escolhida(s), podendo entender qual o valor ótimo de cada variável tendo em conta o critério escolhido
	1 - Air Temperature	
	2 - Radiant Temperature	
	3 - Operative Temperature	
	4 - Fanger PMV	
	5 - Pierce PMV ET	
	6 - Pierce PMV SET	
	7 - Pierce DISC	
	8 - Pierce TSENS	
	9 - KsuTSV	
	10 - Absorbed Solar Gains	
	11 - Discomfort (all clo)	
	12 - Heating Load	
	13 - Cooling Load	
	14 - Total Energy Consumption	
15 - Total CO2		
Main Design Variable	Todos os elementos constituintes do modelo	

<b>Daylighting</b> Faz o cálculo do nível de iluminância a uma determinada altura (0,75 m), a altura da mesa de trabalho.		
Map	Resultado da Iluminância em Lux e Factor Luz Dia	Planta com distribuição, por cores, dos valores de iluminância/Factor Luz dia
Grid	Iluminancia por zona	<b>Grelha</b>  Resultados Por Zona
	Block	
	Floor Area (m2)	
	Floor Area above Threshold (m2) (Threshold - limiar)	
	Floor Area above Threshold (%) (Threshold - limiar) limiar - Min DF % 2,0	
	Average Daylight Factor (%)	
	Minimum Daylight Factor (%)	
	Maximum Daylight Factor (%)	
	Uniformity Ratio (Min/Avg)	
	Uniformity Ratio (Min/Max)	
	Min Illuminance (lux)	
Max Illuminance (lux)		
LEED v2 Credit EQ8.1 Report	Daylighting data	<b>Relatório com tabelas</b> The aim of the daylighting credit is to encourage and recognize designs that provide appropriate levels of daylight for building users. A pass requires at least 75% of net lettable area in occupied spaces to be adequately daylight, having illuminance over the minimum threshold value.
	Summary Results	
	Eligible zones for daylighting	
LEED v3 Credit EQ8.1 Report	Daylighting data	<b>Relatório com tabelas</b> The aim of the daylighting credit is to encourage and recognize designs that provide appropriate levels of daylight for building users. A daylighting credit is available if at least 75% of net lettable area in occupied spaces is adequately daylight, having illuminance within the range 25-500 fc.
	Summary Results, average values for 9:00 and 15:00	
	Eligible zones for daylighting, average values for 9:00 and 15:00	
BREEAM Credit HEA1 Repor	Daylighting data	<b>Relatório com tabelas</b> The aim of the daylighting credit is to encourage and recognize designs that provide appropriate levels of daylight for building users.
	Summary Results	
	Eligible zones for daylighting	
Green Star Credit IEQ4 Report	Daylighting data	<b>Relatório com tabelas</b> The aim of the daylighting credit is to encourage and recognize designs that provide appropriate levels of daylight for building users. C
	Summary Results	
	Eligible zones for daylighting	
<b>CFD</b> Computational Fluid Dynamics (CFD) is the term used to describe a family of numerical methods used to calculate the temperature, velocity and various other fluid properties throughout a region of space. CFD when applied to buildings can provide the designer with information on probable air velocities, pressures and temperatures that will occur at any point through a predefined air volume in and around building spaces. Boundary conditions are specified which may include the effects of climate, internal heat gains and HVAC systems. DesignBuilder CFD can be used for both external and internal analyses.		
	<b>External CFD analysis</b>	
	External CFD analysis provides the distribution of air velocity and pressure around building structures due to the wind effect and this information can be used to assess pedestrian comfort, determine local pressures for positioning HVAC intakes/exhausts and to calculate more accurate pressure coefficients for EnergyPlus calculated natural ventilation simulations.	
	<b>Internal CFD analysis</b>	
	Internal CFD analysis provides information on the distribution of air velocity, pressure and temperature (and several other calculated parameters) throughout the inside of building spaces. Also calculated is 'age of air' to indicate the relative 'freshness' of the air through the domain and also a comfort index. This information can be used to assess the effectiveness of various HVAC and natural ventilation system designs and to evaluate consequent interior comfort conditions.	
	<b>Parametros Possíveis de Analisar</b>	
	Velocidade	
	Temperatura	
	Pressão	
	Conforto	
	PMV	
	PPD	
	Mean Radiant Temperature	
	Operative Temperature	
	Age of Air	

- **eQUEST®**

**Tabela 36:** Outras simulações possíveis no eQUEST®

Fonte: eQUEST®

<b>eQUEST</b>			
<b>Cálculo</b>	<b>Resultado Obtido/Unidades</b>	<b>Tipo de Output Obtido</b>	
Simulation	<b>Comparison Reports</b>	Gráfico ou Tabelas ou ambos  Resultados por mês ao longo do ano, ou anuais, com comparações entre as simulações efectuadas	
	Monthly Total Energy Consumption		
	Annual Utility Bills by Rate (\$)		
	Monthly Utility Bills (\$)		
	Annual Energy Consumption by Enduse		
	Life Cycle costs Summary		
	Life-Cycle Savings Graph		
	Life-Cycle Saving Comparison		
	<b>Single-Run Reports</b>		Gráfico ou Tabelas ou ambos  Resultados por mês ao longo do ano, ou anuais, com comparações entre as simulações efectuadas
	Monthly energy Consumption by Enduse		
	Annual energy Consumption by Enduse		
	Monthly Utility Bills (\$)		
	Monthly Peak Demand by Enduse		
	Annual Peak Demand by Enduse		
	Monthly Electric Peak Day Load Profiles		
	<b>Parametric Run Reports</b>	Tabelas  Resultados por mês ao longo do ano, ou anuais ou horários	
	Annual Building Summary		
	Annual Enduse Summary		
	Annual Electric Energy by Enduse		
	Annual Electric Non-Coincident Peak Demand by Enduse		
	Annual Fuel Energy by Enduse		
	<b>Baseline Design</b>		
	BEPS Building Energy Performance		
	BEPU Building Utility Performance		
	ES-A Annual Costs and Savings		
	ES-B Life-Cycle Non-Energy Costs		
	ES-C Life-Cycle Investment Savings		
	ES-D Energy Cost Summary		
	ES-E Summary of Utility-Rate (é feito para cada "utility")		
	ES-F Block-Charges and Ratchets for (para cada "utility")		
	EV-A Life-Cycle Costing Parameters		
	LS-A Space Peak Loads Summary		
	LS-B Space Peak Load Components (Para cada Espaço No Design Day oy Standart)		
	LS-C Building Peak Load Components		
	LS-D Building Monthly Loads Summary		
	LS-E Space Monthly Load Components (Para cada Espaço No Design Day oy Standart)		
	LS-F Building Monthly Load Component		
	LS-K Building Input Fuels Summary		
	LS-K Space Input Fuels Summary (Para cada Espaço No Design Day oy Standart)		
	LS-L Management and Solar Summary (Para cada Espaço No Design Day oy Standart)		
	LV-A General Project Parameters		
	LV-B Summary of Spaces		
	LV-C Details of Space(Para cada Espaço)		
	LV-D Details of Exterior Surfaces		
	LV-E Details of Underground Surfaces		
	LV-F Details of Interior Surfaces		
	LV-G Details of Schedules		
	LV-H Details of Windows		
	LV-I Details of Constructions		
	LV-J Details of Building Shades		
	LV-M DOE-2.2 Units Conversion Table		
	LV-N Building Coordinate Geometry		
	PS-A Plant Energy Utilization		
	PS-B Utility and Fuel Use Summary		
	PS-C Equipment Loads and Energy Use		
	PS-D Circulation Loop Loads		
	PS-E Energy End-Use Summary for all Electric Meters		
	PS-F Energy End-Use Summary for		
	PS-H Loads and Energy Usage for		
	PV-A Plant Design Parameters		
	SS-A System Loads Summary for (Cada Sistema)		
	SS-B System Loads Summary for		
	SS-C System Load Hours for		
	SS-D Building HVAC Load Summary		
	SS-E Building HVAC Load Hours		
	SS-F Zone Demand Summary for (cada zona)		
	SS-G Zone Loads Summary for (cada zona)		
	SS-H System Utility Energy Use for (Cada Sistema)		
	SS-I Sensible/Latent Summary for (Cada Sistema)		
	SS-J Peak Heating and Cooling for (Cada Sistema)		
	SS-K Space Temperature Summary for (Cada Sistema)		
	SS-L Fan Electric Energy Use for (Cada Sistema)		
	SS-M Building HVAC Fan Elec Energy (Mensal)		
	SS-N Relative Humidity Summary for (Cada Sistema)		
	SS-O Space Temperature Summary for (Cada Zona)		
	SS-P Cooling Performance Summary of (Cada Sistema)		
	SS-P Heating Performance Summary of (Cada Sistema)		
	SS-Q Heat Pump Cooling Summary for (Cada Sistema)		
	SS-Q Heat Pump Heating Summary for (Cada Sistema)		
	SS-R Zone Performance Summary for (Cada Sistema)		
	SV-A System Design Parameters for (Cada Sistema)		
	TDV1 TDV Energy Performance Summary		
	TDV2 TDV Energy End-Use Summary for		
	TDV3 TDV Energy End-Use Summary for		

Energy Efficiency Measure Wizard EEM Wizard	<b>Measures</b>	Gráfico ou Tabelas ou ambos  Resultados por mês ao longo do ano, ou anuais, com comparações entre as simulações efectuadas		
	Building Envelope			
	Internal Loads			
	HVAC System			
	Domestic Hot Water			
	Whole Site/Building			
Parametric Runs (versão mais detalhada do EEM Wizard)	<b>Component Types</b>	Tabelas  Resultados por mês ao longo do ano, ou anuais, com comparações entre as simulações efectuadas		
	Annual Schedule			
	Baseline			
	Block Charge			
	Building Parameters			
	Circulation Loop			
	Compliance Data			
	Construction			
	Curve Fit			
	Day Schedule			
	Design Day			
	DW Heater			
	Economics Report			
	Electric Meter			
	Exterior Wall			
	Floor			
	Fuel Meter			
	Glass Type			
	Holidays			
	HVAC System			
	Interior Wall			
	Layers			
	Loads Report			
	Master Meters			
	Material			
	Plant Report			
	Polygon			
	Ratchet			
	Run Period			
	Site Parameters			
	Space			
	Systems Report			
	Thermal Zone			
	Title			
	Underground Wall			
	Utility Rate			
	Week Schedule			
	Weighting Factor			
	Window			
	Life-Cycle Costing		É necessário saber o custo inicial e o custo de manutenção anual	Tabelas
	Savings by design analysis		O mesmo que a Simulação, Baseline Design, mas os resultados têm em conta a poupança de energia	
	skylight parametric analysis		O mesmo que a Simulação, Baseline Design, mas os resultados têm em conta o factor da % de skylight escolhida	

- LT-PORTUGAL®

**Tabela 37:** Outras simulações possíveis no LT-Portugal®

Fonte: LT-Portugal®

<b>LT-Portugal</b>		
<b>Cálculo</b>	<b>Resultado Obtido/Unidades</b>	<b>Tipo de Output Obtido</b>
<b>Curvas LT</b>	Variação do Consumo Total de Energia (MWh/m2) pela Percentagem de Envidraçado (%)	Gráfico  Valor Anual total do Consumo de Energia e Percentagem de Envidraçado Pode-se calcular para qualquer fachada
	Variáveis do Consumo de Energia:	
	Aquecimento	
	Arrefecimento+Ventilação	
	Ventilação Mecânica	
	Iluminação	
	Aquecimento+Iluminação	
	TOTAL	
	Variação dos Dias com sobreaquecimento (2hrs > 27°C) pela Percentagem de Envidraçado (%)	
<b>Folha de Cálculo</b>	Consumo Anual de Energia Primária (MWh)	Valores Para Iluminação, Aquecimento, Vent. Mecânica + arrefecimento e Totais
	Consumo de Energia Primária (KWh/m2)	
	Emissão Anual (t)	
	Emissões de CO2 (Kg/m2)	
	%	
<b>Comparação de Projectos</b>	Consumo Anual de Energia Primária (MWh), tendo em conta a <u>ventilação natural</u>	Gráfico
	Aquecimento	
	Vent. Mecânica	
	Iluminação	
	Consumo Anual de Energia Primária (MWh), tendo em conta o ar <u>condicionado</u>	
	Aquecimento	
	Vent. AVAC	
	Arrefecimento	
Iluminação		
	Dias Com sobreaquecimento	
<b>Registo de dados</b>	Dados Gerais de Configuração sobre cada um dos projectos a comparar	Texto

• VE-GAIA®

Tabela 38: Outras simulações possíveis no pelo VE-Gaia®

Fonte: VE-Gaia®

VE-Gaia		
Cálculo	Resultado Obtido/Unidades	Tipo de Output Obtido
Climate	Climate Metrics	The climate report provide the headlines you need to know about the weather file you have selected
	Climate Index	The Climate Energy index is a simple measure of the energy required to maintain air within a comfort zone bounded by PMV +/- 0.5, MC 0.004 kg/kg ans RH 70%
Bioclimate Analysis	Characteristics	Bioclimatic analysis is using an understanding of climate to inform building design strategy. The analysis is sensitive to the climate file used and especially sensitive to the rainfall data used - check!
	Guidance - Design Properties	Bioclimatic analysis is also a reasoned understanding of traditional or vernacular architecture and why it is so. Architects find bioclimatic analysis useful as it can provide early directional substance to what form and grammar a building should take in order to respond to fundamental climatic demands. The analysis provides a summary of climatic characteristics followed by a suggested list of built form responses starting at the macro scale and working down in scale through building form and details.
	Guidance - micro-climate	
	Guidance - urban street pattern	
	Guidance - urban pattern	
	Guidance - building macro form	
	Guidance - building micro form	
	Building - internal form	
	Construction	
	Windows/openings	
	Shading/protection	
	Ventilation	
	Passive Technology	
Active Technology	Relatório escrito com uma análise bioclimática, tendo em conta o ficheiro de clima escolhido. Dá sugestões de boas práticas para o	
HVAC Details		
Natural Resources	Rainwater collection area (m2)	The Natural resources report provides an initial indication of the potential for the energy and rainwater resource available using the selected weather file
	LEED®-USA	
	BREEAM	
	Greenstar	
	LEED®-India	Relatório escrito com os parâmetros especificados e com explicações laterais. São feitos 3 gráficos com os recursos a nível solar, de vento e de chuva. Cada gráfico refere o consumo que se efectua e o recurso existente.
	Natural Resource Summary	
	Baselines used for this comparison	
Building Summary		
Analysis Details		
Building Metrics	Building review	Relatório escrito com os parâmetros especificados e com explicações laterais. São apresentadas umas imagens bastante ilustrativas da forma, do tipo e dimensão do edifício a projectar.
Materials	Materials Review	This review provides a simple summary of the summary of the materials utilised in the project model.
	Summary	
	Material Selection	Relatório escrito com os parâmetros especificados e com explicações laterais. 1 gráfico tipo donut com a % dos materiais pelo peso e 1 tabela
	Construction waste	
Materials By Weight and Volume (tabela)		
Solar Shading	Dias	The solar shading animation provides a dynamic view of your model using the selected weather file on the selected date. Animação com as sombras projectadas do edifício ao longo do dia escolhido.
Building Energy/carbon	Method	the results in this report are generated by the IES ApacheSim module. ApacheSim is a rigorous building thermal approach that conforms to ANSI/ASHRAE Standard 140.
	No shading	
	Energy/Carbon Summary	
	Analysis details	
	Simulation History (comparison)	
	Carbon Emissions	Relatório escrito com os parâmetros especificados e com explicações laterais.
	Comfort (occupied)	
	Peak room loads	
External Shading (simple)	Tabelas e um gráfico tipo donut com uso energético anual (MWh) por cada tipo de sistemas (Energy Breakdown)	
Solar Penetration (advanced)		
Buildin Heating and cool loads	Method	
	ASHRAE heat balance method	ASHRAE Loads provides the heating and cooling loads for the building and rooms using the ASHRAE 2005 heat balance method. For each Room, the method calculates the conductive, convective and radiative heat balance for each surface and for the air.
	Model Data	
	Heating Calculation Data	
	Cooling calculation Data	
	Design weather	
	Heating peak loads	
	Cooling peak loads	
	Air flow rates	Relatório escrito com os parâmetros especificados e com explicações laterais.
	System peak loads (main system)	
	System load split (main system)	
	System Airflow	Tabelas e gráficos
	System heating sens. Loads	
	System cooling sens. Loads	
	Room Heating Loads	
	Room cooling Loads	
	CIBSE A guide method	CIBSE Loads provides the heating and cooling loads for the building and rooms using the CIBSE Heat Loss and Heat Gain (admittance) method (CIBSE Guide A 1995–2006 simple model). The heat loss method calculates heat loss by conduction, infiltration and mechanical ventilation. Steady-state conditions are assumed. No allowance is made for casual or solar gains; hot water loads are ignored.
	Model Data	
	Heating Calculation Data	
	Cooling calculation Data	
	Design weather	
	Heating peak loads	
	Cooling peak loads	
Air flow rates	The heat gain method calculates heat gains and losses by conduction, infiltration and mechanical ventilation. Conduction calculations are based on the CIBSE Admittance method. Allowance is made for casual and solar gains, external shading may also be taken in to account.	
System peak loads (main system)		
System load split (main system)		
System Airflow		
System heating sens. Loads		
System cooling sens. Loads		
Room Heating Loads	Relatório escrito com os parâmetros especificados e com explicações laterais.	
Room cooling Loads		

Simple LZCT (Low or Zero Carbon Technologies)	Building Summary	The LZCT review provides an initial indication of the Potential for carbon reduction using low or zero carbon technologies
	Carbon Reductive Review	
	Annual Carbon emission analysis	
	Other analysis comments	
Daylighting	Day lighting	The Daylight analysis provides an indication of daylighting performance against a fixed threshold.
	Simple 25 fc (300 lux) threshold	Relatório escrito com os parâmetros especificados e com explicações laterais.
	Adv. 25 fc inc light penetration	
Water	Water Review	The water review provides an initial indication of the potential for water reduction.
	Summary	
	Baseline Design	Relatório escrito com os parâmetros especificados e com explicações laterais.
	Proposed Design	
	Notes	
	Analysis Details	