

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA**

ALÍCIA VIEIRA RODRIGUEZ ROMERO

**REFLEXÕES SOBRE FERRAMENTAS DE APOIO PARA
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**

Rio de Janeiro

2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



UFRJ

Alícia Vieira Rodriguez Romero

**REFLEXÕES SOBRE FERRAMENTAS DE APOIO PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências da Arquitetura, área de concentração em Conforto Ambiental e Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Daniel Corbella

Rio de Janeiro
2007

FOLHA DE APROVAÇÃO

Alicia Vieira Rodriguez Romero

REFLEXÕES SOBRE FERRAMENTAS DE APOIO PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Rio de Janeiro, 04 de maio de 2007.

Oscar Daniel Corbella, Dr., PROARQ/UFRJ

Claudia Barroso Krause, Dra., PROARQ/UFRJ

Louise Bittencourt Land Lomardo, Dra.,UFF

RESUMO

REFLEXÕES SOBRE FERRAMENTAS DE APOIO PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Alícia Vieira Rodriguez Romero

Orientador: Oscar Daniel Corbella

Resumo da dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura.

O objetivo desta dissertação de Mestrado é fazer uma avaliação de alguns dos softwares computacionais usados em simulações do comportamento térmico, lumínico e consumo de energia elétrica de ambientes construídos. O enfoque principal se deu às ferramentas que atendiam os requisitos da regulamentação de nível de eficiência energética de edifícios comerciais e públicos. Este estudo aponta as ferramentas que demonstram melhor qualidade em seus resultados, ou seja, expõem com melhor clareza o comportamento físico nas simulações, e tiveram uma melhor comunicação com outros softwares, já incorporados à prática de projeto de arquitetura. Os softwares considerados buscam auxiliar, ainda em fase de projeto, um uso mais eficiente da energia elétrica necessária para adequar o espaço às condições mínimas de conforto térmico para o ocupante. Como metodologia foram feitas simulações para um modelo de sala comercial inserida na zona climática da cidade do Rio de Janeiro. A qualidade das respostas dos softwares é analisada segundo a bibliografia de conforto térmico na qual este trabalho se fundamentou, e validada por uma matriz estatística que aponta qual destas ferramentas atende melhor à proposta do estudo. O resultado é o conhecimento das dificuldades de operação destas ferramentas pelos arquitetos. A incorporação de softwares otimizados e ajustados à linguagem dos arquitetos possibilitará o projeto de uma arquitetura bioclimática energeticamente eficiente e com consciência e integração ao meio ambiente na qual está inserida.

Palavras-chave: Simulação de Edificações, Softwares, Eficiência Energética em Arquitetura.

Rio de Janeiro
Abril, 2007

ABSTRACT

REFLECTIONS ABOUT SUPPORT TOOLS FOR ENERGY EFFICIENCY IN THE BUILT ENVIRONMENT

Alicia Vieira Rodriguez Romero

Advisor: Ph.D. Oscar Daniel Corbella

Summary of the Master's dissertation submitted to the Architecture Post-Graduation Programme, Architecture and Urbanism College from the Federal University of Rio de Janeiro – UFRJ, as part of the necessary requirements to the attainment of the title of Master in Architecture Sciences.

The objective of this Master's dissertation is to evaluate some of the computer software used in simulation of the behavior in thermal, lights and electric energy consumption, in built environments. The main subject of the research was on the tools that attended to the requirements of energy efficiency of commercial and public buildings voluntary labeling. This study points out the tools that show better quality in its results, that is, which shows better results in physical behavior of the building, and had a better communication with other software, already incorporated to the practice of architectural projects. The studied software aim to help a more efficient use of electric energy necessary intended to adjust the space to the minimum conditions of the occupant's thermal comfort. The methodology used was: simulations for a commercial apartment in the climatic zone of Rio de Janeiro. The quality of the software's answers is analyzed according to the thermal comfort bibliography in which this dissertation was based on, and validated by a statistics matrix which points out which of these tools attends better to the study proposal. The result lies in the knowledge of the difficulties the architects encounter in the operation of these tools. The incorporation of softwares optimized and adjusted to the architects' language will make possible a project of an efficient energetic and bioclimate architecture as well as with conscience and integration to the environment in which it is inserted.

Key words: Building Simulation, Software, Energy Efficiency in Architecture

Rio de Janeiro
April, 2007

SUMÁRIO

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE SIGLAS	xiii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	14
<i>1.1 O Problema.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2 Objetivo</i>	<i>18</i>
<i>1.3 Diretrizes para uma Arquitetura Bioclimática, Eficiência Energética e Conforto Ambiental.....</i>	<i>19</i>
1.3.1 Arquitetura Bioclimática.....	19
1.3.2 Eficiência Energética.....	20
1.3.3 Conforto Ambiental.....	21
<i>1.4 Descrição da Estrutura da Tese</i>	<i>25</i>
<i>1.5 Revisão Bibliográfica.....</i>	<i>28</i>
CAPITULO 2 - ESTUDO DOS SOFTWARES	30
<i>2.1 Apresentação do Estudo dos Softwares.....</i>	<i>30</i>
<i>2.2 Descrição Geral dos Softwares Estudados</i>	<i>32</i>
<i>2.3 Os softwares americanos: EnergyPlus, TRNSYS, DOE, BLAST.....</i>	<i>35</i>
2.3.1 Dados de entrada no software EnergyPlus.....	36
<i>2.4 Outros softwares/ softwares auxiliares: Heatlux, Luz do Sol, CityZoom, etc;.....</i>	<i>47</i>
2.4.1 Heatlux.....	47
2.4.2 Software Luz do Sol	47
CAPITULO 3 – ESTUDO DE CASOS	50
<i>3.1 Eficiência energética em edificações</i>	<i>50</i>
<i>3.2 Política da eficiência energética em edificações.....</i>	<i>51</i>

3.3 <i>Dados para as simulações</i>	52
3.3.1 Clima do Rio de Janeiro.....	52
3.3.2 Inserção do Modelo Arquitetônico.....	55
3.3.3 Características das Superfícies e Materiais de Construção Civil.....	56
3.4 <i>Simulações Escolha do Protótipo</i>	58
3.4.1 Teste monozona com o software Energy Plus	59
3.4.2 Teste monozona no software Casamo-Clim	60
3.4.3 Comparação entre as simulações do EnergyPlus e do CASAMO	61
3.5 <i>Edifício Comercial – estudo da transferência de temperatura entre diferentes zonas com o software EnergyPlus</i>	62
CAPITULO 4 – CONCLUSÃO	95
4.1 <i>Panorama Atual</i>	95
4.2 <i>Os softwares estudados e avaliados</i>	97
4.2.1 EnergyPlus	97
4.2.2 CASAMO	99
4.2.3 LesoCool.....	100
4.2.4 CLA	100
4.2.5 E2AC	101
4.2.6 CityZoom	101
4.3 <i>Diretrizes para elaboração de um software amigável</i>	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 GRÁFICO DO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL DE 2005 ILUSTRANDO QUE A PRODUÇÃO DE ENERGIA HIDRÁULICA CORRESPONDE A MAIS DE 70% DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA INSTALADA NO BRASIL (MME, 2006).....	15
FIGURA 2 CONTRASTE ENTRE ARQUITETURA NÃO ADAPTADA E OUTRA ADAPTADA – EDIFÍCIO RB1 E SEDE DA PETROBRÁS, RESPECTIVAMENTE.....	17
FIGURA 3 VALORES DE PMV, TRADUZINDO A SENSIBILIDADE AO FRIO E AO CALOR (TSE ET AL, 2005).....	22
FIGURA 4 CARTA BIOCLIMÁTICA PARA O RIO DE JANEIRO (CORBELLA E YANNAS, 2003, P. 260).....	23
FIGURA 5 PROCESSO DE SIMULAÇÃO NA FASE PROJETUAL DO ARQUITETO.....	32
FIGURA 6 ENTRADA DE DADOS E2 AR-CONDICIONADO (LABEEE/ UFSC).....	39
FIGURA 7 MODELO 3D COM AS SOMBRAS (ESQUERDA) E PERSPECTIVA COM A MANCHA DOS GANHOS TÉRMICOS (DIREITA), PRODUZIDO PELO HEVACOMP, COMO INTERFACE DO ENERGYPLUS.	39
FIGURA 8 PÁGINA DA ENTRADA DE DADOS DO VOLUME E DAS SUPERFÍCIES DESIGNBUILDER (ESQUERDA) E DA INTERFACE EM CONSTRUÇÃO EPLUSINTERFACE (DIREITA)	40
FIGURA 9 DADOS CLIMATOLÓGICOS DO RIO DE JANEIRO, OBTIDOS PELA INTERFACE E2AC	41
FIGURA 10 TELA DE ENTRADA DOS DADOS DO PROJETO NO LESOCOOL	44
FIGURA 11 EXEMPLO DE COMO O LESOCOOL SIMULA VÁRIAS ZONAS	44
FIGURA 12 EXEMPLO DA VENTILAÇÃO NATURAL FEITA PELO LESOCOOL	45
FIGURA 13 ENTRADA DE DADOS DO ENTORNO URBANO E FORMA GEOMÉTRICA DO PROJETO NO CLA.....	46
FIGURA 15 EXEMPLO DE MODELAGEM 3D FEITA PELO SOFTWARE (GRAZZIOTIN, 2003).....	49
FIGURA 16 CONSUMO DE ENERGIA PELAS RESIDÊNCIAS QUE REPRESENTA CERCA DE 30% (ELETROBRÁS, 2003).....	54
FIGURA 17 CONSUMO DE ENERGIA (EIXO Y ESQUERDA) NOS DIVERSOS SETORES JUNTO À QUESTÃO DO INVESTIMENTO MONETÁRIO (EIXO Y DIREITA), COM RELAÇÃO AOS ANOS (LAMBERTS, 2001).....	54
FIGURA 18 DESENHO GERADO NO AUTOCAD PARA A SIMULAÇÃO NO SOFTWARE DA SALA COMERCIAL DE 3,50M DE FACHADA POR 7M DE PROFUNDIDADE COM A JANELA DE 3M DE LARGURA POR 1,50M DE ALTURA	58

FIGURA 19 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DO CASAMO E DO ENERGYPLUS EFETUADA NO EXCEL.	61
FIGURA 20 DESENHO GERADO PELA SIMULAÇÃO NO SOFTWARE DE SEIS SALAS COMERCIAIS DE 3,50M DE FACHADA POR 7,00M DE PROFUNDIDADE, 2,60M DE PÉ-DIREITO E COM UMA JANELA DE 3,00M DE LARGURA POR 1,50M DE ALTURA, E UM CORREDOR COM 1,20M DE LARGURA.	63
FIGURA 21 GRÁFICOS DAS TEMPERATURAS RESULTANTES INTERNAS DAS 7 ZONAS E A TEMPERATURA EXTERNA PARA OS DIAS SIMULADOS: 1, 2 E 3 DE FEVEREIRO PERÍODO DE VERÃO.	65
FIGURA 22 GRÁFICOS DAS TEMPERATURAS INTERNAS DE TODAS AS ZONAS E A TEMPERATURA EXTERNA PARA OS DIAS SIMULADOS 23, 24 E 25 DE JULHO PERÍODO DE INVERNO.	66
FIGURA 23 DESENHO DAS ZONAS SIMULADAS COM A ZONA 5 DESTACADA DAS DEMAIS.....	67
FIGURA 24 RESULTADO DA SIMULAÇÃO 1, CASO DE VERÃO, DESTACANDO APENAS A ZONA 5.	67
FIGURA 25 RESULTADO DA SIMULAÇÃO 1, CASO DE INVERNO, DESTACANDO APENAS A ZONA 5.	68
FIGURA 26 DESENHO GERADO PELO ENERGYPLUS, DAS ZONAS COM AS NOVAS JANELAS NAS ZONAS 07 E 03 E INSERÇÃO DOS NOMES DAS ZONAS EM SOFTWARE OUTRO DE EDIÇÃO DE IMAGENS, WSPAINTE DO WINDOWS	68
FIGURA 27 RESULTADO DA SIMULAÇÃO 2, CASO DE VERÃO, COM NOVAS JANELAS NAS ZONAS 03 E 07.	69
FIGURA 28 RESULTADO DA SIMULAÇÃO 2, CASO DE VERÃO, COM NOVAS JANELAS NAS ZONAS 03 E 07.	69
FIGURA 29 DESENHO COM A ZONA 03 EM DESTAQUE.....	70
FIGURA 30 RESULTADO DA SIMULAÇÃO APENAS DA ZONA 03, CASO DE VERÃO.	71
FIGURA 31 RESULTADO DA SIMULAÇÃO APENAS DA ZONA 03, CASO DE INVERNO.....	71
FIGURA 32 DESENHO GERADO PELO ENERGYPLUS COM A ZONA 07 EM DESTAQUE	72
FIGURA 33 RESULTADO DA SIMULAÇÃO APENAS DA ZONA 07, CASO DE VERÃO.	72
FIGURA 34 RESULTADO DA SIMULAÇÃO APENAS DA ZONA 07, CASO DE INVERNO.....	73
FIGURA 35 DESENHO GERADO PELO ENERGYPLUS, COM A NOVA ORIENTAÇÃO DAS ZONAS	74
FIGURA 36 RESULTADO DA SIMULAÇÃO 3, COM A TEMPERATURA DAS ZONAS, PARA O CASO DE VERÃO.	75
FIGURA 37 RESULTADO DA SIMULAÇÃO 3, COM A TEMPERATURA DAS ZONAS, PARA O CASO DE INVERNO	76

FIGURA 38 DESENHO GERADO PELO ENERGYPLUS COM AS ZONAS 02 E 07 COM 2 OCUPANTES CADA	77
FIGURA 39 GRÁFICOS DAS TEMPERATURAS INTERNAS DE TODAS AS ZONAS E A TEMPERATURA EXTERNA PARA OS DIAS SIMULADOS: 1, 2 E 3 DE FEVEREIRO, CASO TÍPICO DE VERÃO.	78
FIGURA 40 GRÁFICOS DAS TEMPERATURAS INTERNAS DE TODAS AS ZONAS E A TEMPERATURA EXTERNA PARA OS DIAS SIMULADOS: 23, 24 E 25 DE JULHO, CASO DE INVERNO.....	79
FIGURA 41 GRÁFICOS DAS TEMPERATURAS INTERNAS DA ZONA 02 COM A INSERÇÃO DE 2 PESSOAS NA SIMULAÇÃO, E A TEMPERATURA EXTERNA, PARA OS DIAS SIMULADOS: 1, 2 E 3 DE FEVEREIRO.	80
FIGURA 42 GRÁFICOS DAS TEMPERATURAS INTERNAS DA ZONA 02 COM A INSERÇÃO DE 2 PESSOAS NA SIMULAÇÃO, E A TEMPERATURA EXTERNA PARA OS DIAS SIMULADOS: 23, 24 E 26 DE JULHO.	81
FIGURA 43 DESENHO GERADO PELO ENERGYPLUS COM A ZONA 07 COM 2 OCUPANTES EM DESTAQUE	81
FIGURA 44 GRÁFICOS DAS TEMPERATURAS INTERNAS DA ZONA 07 COM A INSERÇÃO DE 2 PESSOAS NA SIMULAÇÃO, E A TEMPERATURA EXTERNA PARA OS DIAS SIMULADOS: 1, 2 E 3 DE FEVEREIRO, CASO DE VERÃO.	82
FIGURA 45 GRÁFICOS DAS TEMPERATURAS INTERNAS DA ZONA 07 COM A INSERÇÃO DE 2 PESSOAS NA SIMULAÇÃO, E A TEMPERATURA EXTERNA PARA OS DIAS SIMULADOS: 23, 24 E 26 DE JULHO, CASO DE INVERNO	82
FIGURA 46 DESENHO GERADO PELO ENERGYPLUS COM 2 OCUPANTES NO CORREDOR, ZONA 04, E AR-CONDICIONADO NAS ZONAS 01, E 06, DESCONSIDERAR AS PESSOAS NO CORREDOR. .	83
FIGURA 47 GRÁFICOS DAS TEMPERATURAS INTERNAS DE TODAS AS ZONAS E A TEMPERATURA EXTERNA PARA OS DIAS SIMULADOS: 1, 2 E 3 DE FEVEREIRO CASO DE VERÃO.....	84
FIGURA 48 GRÁFICOS DAS TEMPERATURAS INTERNAS DE TODAS AS ZONAS E A TEMPERATURA EXTERNA PARA OS DIAS SIMULADOS: 23, 24 E 25 DE JULHO, CASO DE INVERNO.....	85
FIGURA 49 DESENHO GERADO PELO ENERGYPLUS COM A ZONA 01 COM AR-CONDICIONADO, EM DESTAQUE.	85
FIGURA 50 GRÁFICOS DA TEMPERATURA INTERNA DA ZONA 01 E A TEMPERATURA EXTERNA PARA OS DIAS SIMULADOS: 1, 2 E 3 DE FEVEREIRO, CASO DE VERÃO.	86
FIGURA 51 GRÁFICOS DA TEMPERATURA INTERNA DA ZONA 01 E A TEMPERATURA EXTERNA PARA OS DIAS SIMULADOS: 23, 24 E 25, CASO DE INVERNO.	86
FIGURA 52 DESENHO GERADO PELO ENERGYPLUS COM A ZONA 06 COM AR-CONDICIONADO, EM DESTAQUE	87

FIGURA 53 GRÁFICOS DA TEMPERATURA INTERNA DA ZONA 06 E A TEMPERATURA EXTERNA PARA OS DIAS SIMULADOS: 1, 2 E 3 DE FEVEREIRO, CASO DE VERÃO.....	87
FIGURA 54 GRÁFICOS DA TEMPERATURA INTERNA DA ZONA 06 E A TEMPERATURA EXTERNA PARA OS DIAS SIMULADOS 23, 24 E 25 DE JULHO, CASO DE INVERNO.	88
FIGURA 55 DESENHO GERADO PELO ENERGYPLUS COM 2 OCUPANTES NO CORREDOR, ZONA 04, E AR-CONDICIONADO NAS ZONAS 01,E 06 E COM AS ZONAS 01, 02 E 03 AGORA VOLTADAS PARA NORTE.	89
FIGURA 56 TEMPERATURAS INTERNAS SIMULADAS NAS ZONAS, COM A NOVA ORIENTAÇÃO, CASO DE VERÃO.	89
FIGURA 57 TEMPERATURAS INTERNAS SIMULADAS NAS ZONAS, COM A NOVA ORIENTAÇÃO, CASO DE INVERNO	90
FIGURA 58 TEMPERATURAS INTERNAS SIMULADAS NAS ZONAS, COM A OCUPAÇÃO DE PASSAGEM PELO CORREDOR, AGORA PODE-SE NOTAR UM PEQUENO AUMENTO DA TEMPERATURA DESTE.	91
FIGURA 59 TEMPERATURAS INTERNAS SIMULADAS NAS ZONAS, COM A OCUPAÇÃO DE PASSAGEM PELO CORREDOR.....	92
FIGURA 60 DESENHO GERADO PELO ENERGYPLUS COM A ZONA 04 COM PESSOAS, EM DESTAQUE	92
FIGURA 61 TEMPERATURAS INTERNAS SIMULADAS NA ZONA 04 COM A OCUPAÇÃO DE PASSAGEM PELO CORREDOR, CASO DE VERÃO.....	93
FIGURA 62 TEMPERATURAS INTERNAS SIMULADAS NA ZONA 04 COM A OCUPAÇÃO DE PASSAGEM PELO CORREDOR, CASO DE INVERNO.	93
FIGURA 63 RECORTE DA TELA DE ENTRADA DAS COORDENADAS QUE COMPÕEM O VOLUME DA EDIFICAÇÃO PROJETADA.	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Parâmetros técnicos adotados pelo CASAMO e Lesocool.....	57
Tabela 2 Propriedades físicas dos materiais utilizados para as simulações no EnergyPlus.....	64
Tabela 3 Avaliação dos softwares estudados, tabela preenchida.....	94

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE Engineers	American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning
BEN	Balanço Energético Nacional
BEST	Building Energy Simulation Tools
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
COPPE	Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia
ELETRORÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
ETSAB	Escola Técnica Superior d'Arquitectura de Barcelona
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBPSA	International Building Performance Simulation
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MME	Ministério de Minas e Energia
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
TRNSYS	Transient Systems Simulation Program
TMY	Typical Meteorological Year
TRY	Test Reference Year
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 O Problema

Nos últimos anos presenciamos uma crise mundial no sistema energético. O `apagão`, como ocorrido no Brasil em 2002, é um fantasma que permanece rondando nosso dia-a-dia. Vivemos com a ameaça de que a qualquer momento poderemos passar, novamente, por um racionamento, tendo que abrir mão de um conforto mínimo necessário para desempenhar nossas atividades de trabalho e para nosso descanso.

[...] Aproxima-se a hora da manchete:

O PETRÓLEO ACABOU.

Acabaram as alucinações,

Os crimes, os romances,

As guerras do petróleo.

O mundo fica livre

Do pesadelo institucionalizado.

Atirados ao lixo

Motores de combustão interna

E lataria colorida,

O Museu de Sucata exhibe

O derradeiro carro carrasco.

Tem etiqueta de remorso:

“Cansei a humanidade.”

(ANDRADE, 1994, p.104)

Atualmente, vivemos assustados por outro fantasma: a escassez do petróleo. A energia elétrica exerce um domínio sob a humanidade. O ser humano é dependente desta fonte. Mas, no mundo todo, o ambiente apresenta-se saturado, exausto pela exploração predatória dos recursos naturais disponíveis.

As fontes atuais de produção de energia elétrica não são, em sua grande maioria, renováveis¹, e, ainda, adicionam à poluição na atmosfera já bastante saturada. Por outro lado, temos a obtenção de energia via hidroelétrica que, ainda que renovável, traz grandes prejuízos ao meio ambiente. Esse é o caso do Brasil, cujo sistema elétrico baseia-se 77,1% nesta origem (ver figura 1).

As usinas hidrelétricas apresentam-se como grandes agressoras do meio ambiente, por causa das inundações de zonas que poderiam servir para plantio, assim como das mudanças de cursos de rios, que conseqüentemente impactam o entorno — fauna e flora. O impacto social também é grande, pois, diversas vezes, obriga a transferência de vilas ou cidades inteiras².

As fontes energéticas do Brasil estão apresentadas no gráfico a seguir:

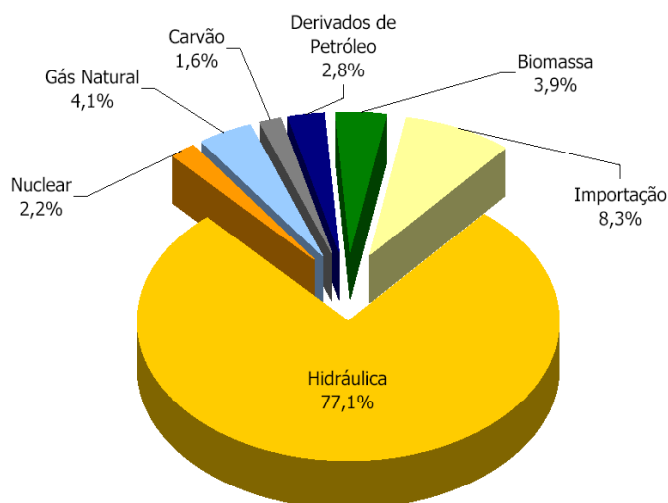


Figura 1 Balanço Energético Nacional de 2005 ilustra que a produção de energia hidráulica corresponde a mais de 70% da capacidade de produção de energia elétrica instalada no Brasil (MME, 2006).

¹ As fontes de energia no Mundo têm como origem a queima de combustíveis fósseis num total de 91%. (ONU, 1999)

² Usina de Corumbá IV é inaugurada Brasília, 4/02/06 – “Depois de mais de cinco anos de construção, foi inaugurada hoje a Usina Hidrelétrica de Corumbá IV, em Luziânia, Goiás. Ela custou R\$ 600 milhões e o desmatamento de 17 mil hectares, além da retirada de 623 famílias que viviam próximas da bacia do lago. Vai gerar 127 megawatts a partir de março quando começam as operações comerciais” (Energy News Ano 7 N. 440 - Edição 060203 - Fevereiro de 2006).

O modelo de vida atual é baseado em exagerada dependência do abastecimento de energia elétrica. Fato este que se contrapõe à dificuldade de geração e distribuição de energia em grande escala, sem esquecer do impacto e da alteração ao meio ambiente para esta geração. Este assunto será discutido de modo mais completo no decorrer deste capítulo.

“É tempo de empregar um dos maiores talentos humanos, a capacidade de trabalhar o ambiente, para transformar um ambiente que se tornou hostil à própria vida num hábitat humano que sustente a vida e favoreça o crescimento, tanto pessoal como coletivo.³”

A filosofia que conduziu essa dissertação está na tentativa de conter a demanda por meio de técnicas de conservação, buscando a eficiência energética em edificações, propondo substituir tecnologia — como sistemas de refrigeração e iluminação — incluindo o uso da água, por outras, com maior eficiência energética, menor custo financeiro e impacto ambiental. No ano de 1985, o governo federal criou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) — um programa destinado a promover o consumo eficiente de energia. O PROCEL defende que conservar energia elétrica, ou combater seu desperdício, é a fonte de produção mais barata e mais limpa que existe, pois não agride o meio ambiente. Fundamentado nesta mentalidade, este trabalho busca oferecer condições ao programador para a construção de uma ferramenta do projetar consciente que seja direcionada ao arquiteto, que insira este profissional no atual quadro de dependência da energia elétrica. Assim, este trabalho se insere na luta pelo desenvolvimento sustentável, que acompanhou a humanidade por mais de dois mil anos de sua existência.

À crise energética alia-se o desafio da mudança climática que vem ocorrendo no planeta. O degelo das calotas polares, devido ao efeito estufa causado pela emissão de CO₂, tem aumentado. Se o clima muda, há a necessidade de uma adaptação para garantir a sobrevivência da humanidade, pois ainda há tempo para reverter este quadro. Os seres humanos, e em particular os arquitetos, precisam redescobrir uma convivência pacífica com a natureza. Estes devem adaptar seus projetos às necessidades atuais, evitando agredir ao meio ambiente, e evitando as conseqüências dessas agressões⁴.

³ Anne Whiston Spirn, *O Jardim de Granito, 1947*, Edusp – 1995, p. 301.

⁴ O clima pode ser um agressor bastante severo se não observado.

No Brasil os profissionais acabam importando técnicas e equipamentos construtivos inadequados, propostos para modelos de habitações do hemisfério Norte, de zonas não-tropicais, com condições climáticas bem diferentes das aqui encontradas. As trajetórias solares são distintas e, portanto, o impacto solar na edificação produz efeitos diferentes.



Figura 2 Contraste entre arquitetura não adaptada e outra adaptada ao clima do Rio de Janeiro – edifício RB1 e sede da Petrobrás, respectivamente.

Como pode-se observar nas imagens da figura 2, o prédio construído com base na arquitetura importada do hemisfério norte utiliza-se de equipamentos elétricos para adaptar essa construção ao clima local, sem ao menos tentar perceber as vantagens que este clima pode oferecer, como no exemplo da esquerda. Segundo Olgyay, o princípio de adaptação da arquitetura ao clima, desenvolvendo uma arquitetura bioclimática, participa das discussões de arquitetura, desde Vitruvius e seu tratado (*apud* OLGAYAY, 1963, p.4).

Uma primeira revisão dos produtos da arquitetura atual mostra que não existe integração entre a arquitetura tradicional e o meio ambiente local. A intenção da pesquisa proposta é contribuir para a recuperação do relacionamento da edificação com o ambiente, minimizando as agressões mútuas, aproveitando as vantagens e evitando as desvantagens do clima. A idéia é simples, analisar o clima para a melhor adaptação do projeto de arquitetura, e finalmente, pesquisar meios que auxiliem no projeto de arquitetura, para sua melhor adaptação ao meio ambiente no qual estará inserida a construção.

A proposta que norteia este trabalho em nenhum momento abre mão do uso dos recursos ambientais para produção do conforto, quer direta ou indiretamente, mas sugere promover uma utilização eficiente, resultando, no que pode ser chamado de um menor consumo ambiental.

Em termos práticos, busca-se usar parâmetros já estudados, assim como técnicas, para uma análise e possível adaptação de ferramentas de computação, softwares, para o desenvolvimento de projetos de arquitetura melhor adequados ao meio ambiente e ao homem. Orientando este desenvolvimento para o processo de criação do arquiteto, possibilitando assim a construção de uma arquitetura sustentável. Corbella e Yannas exprimem bem esta idéia em seu livro quando escrevem:

A Arquitetura Sustentável é a continuidade mais natural da Bioclimática, considerando também a integração do edifício com a totalidade do meio ambiente, de forma a torná-lo parte de um conjunto maior. É a arquitetura que quer criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrado com as características da vida e do clima locais, consumindo uma menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, para legar um mundo menos poluído para as futuras gerações. (CORBELLA e YANNAS, 2003, p.17)

1.2 Objetivo

O objetivo geral da pesquisa é contribuir para o desenvolvimento de uma arquitetura sustentável, além de bioclimática. Em especial, trata-se de estudar qual o problema com os softwares que deveriam ser ferramentas para o arquiteto no projeto de uma Arquitetura Bioclimática, mas acabam sendo abandonados por estes profissionais.

Sustentável, pois busca a maior independência possível, assim como uso mais eficiente, das fontes não renováveis de energia. A citação anterior menciona esta liberdade quando fala da necessidade do desenvolvimento de uma arquitetura voltada para o meio na qual está inserida buscando, assim, minimizar a dependência dos sistemas convencionais de energia (CORBELLA e YANNAS, 2003, p.17).

O estudo destas ferramentas computacionais pleiteia fornecer ao profissional arquiteto condições de projetar uma edificação que promova um consumo eficiente de energia elétrica, assegurando a liberdade de artista e projetista na concepção do modelo volumétrico. E, desta forma, garantir sua inserção no mercado atual e futuro, onde a consciência do meio ambiente faz-se obrigatória.

O objetivo final deste trabalho é contribuir para uma possível adequação de ferramentas de simulação já existentes, os softwares de simulação do comportamento térmico e lumínico, com direcionamento aos arquitetos. Com esse estudo, e a possível adaptação destas ferramentas, busca-se dar ao arquiteto recursos para as definições na fase de Anteprojeto, resultando em uma implantação adequada da edificação ao meio ambiente na qual está inserida. O resultado será uma habitação que funciona com maior eficiência energética, portanto, mais independente: a já mencionada Arquitetura Bioclimática.

Parte deste objetivo pode ser atingido a partir da incorporação de informações sobre o clima das regiões tropicais - em particular da cidade do Rio de Janeiro, objeto desta dissertação - como os arquivos climáticos, obtidos de aeroportos. Também devem ser incorporados dados de materiais e superfícies usados no meio local. Foram realizados estudos de caso com o propósito de experimentar as ferramentas e tornar possível a proposição de modificações. Os resultados desta fase de experimentação dos softwares foram traduzidos em uma matriz estatística de forma a orientar as conclusões, e permitir que sejam aproveitados os conceitos, já estudados na bibliografia que fundamenta este trabalho.

1.3 Diretrizes para uma Arquitetura Bioclimática, Eficiência Energética e Conforto Ambiental

1.3.1 Arquitetura Bioclimática

A maioria dos projetistas de arquitetura tem dificuldades em estabelecer que o consumo de energia elétrica de uma edificação provém, em grande parte, do consumo necessário para o funcionamento de equipamentos de controle da temperatura, como condicionadores de ar; e que estes são altamente influenciados pelas características físicas dos materiais e as formas do seu envelope, especificadas na fase de anteprojeto de arquitetura. A

carga de radiação solar global recebida – que aqui no Rio de Janeiro possui uma média de 16602,55 KJ/m²/dia, correspondente à quantidade de energia solar em plano horizontal – é muito alta, assim como é alta também em outros planos, e pode tornar-se agressiva quando produz energia térmica em níveis não confortáveis para o ser humano (CORBELLA, 1995). Esta energia pode ser diminuída por elementos de sombreamento, o que constitui uma decisão de projeto.

Os arquitetos que percebem esta relação têm dificuldade em fazer uma análise detalhada da situação, pois para tal seria importante o auxílio de uma ferramenta, como um software computacional, que seja capaz de simular o desempenho térmico e, conseqüentemente, possibilitar decisões que promovam uma economia orçamentária e de energia de acordo com a estratégia tomada.

A importância de que essas ferramentas sejam construídas e direcionadas ao arquiteto, reside no fato de que o arquiteto é o responsável pela especificação dos materiais da construção e revestimento, que irão caracterizar a construção e as superfícies das edificações. Da mesma forma, ele também é o responsável pela previsão e especificação dos equipamentos de climatização necessários para a promoção do conforto ambiental. O projeto de arquitetura direciona tanto o orçamento da construção, quanto o gasto na gestão. O orçamento, porque especifica quais equipamentos deverão ser instalados, e na gestão, porque a potência destes equipamentos é que determina o consumo de energia elétrica, ou seja, qual será o valor da conta de luz ao fim de cada mês.

1.3.2 Eficiência Energética

Podemos citar vários fatores que vêm estimulando, em todo o mundo, o estudo e a produção de ferramentas que auxiliam na simulação do ambiente projetado, seu desempenho térmico, lumínico e o consumo de energia para gerar conforto. Dentre os quais se destacam:

- o aumento da demanda energética, por conta de nosso estilo de vida cada vez mais dependente de energia elétrica, para colocar em funcionamento instrumentos mecânicos para alcançar conforto;

- a escassez no fornecimento, devido à dificuldade e um baixo investimento em capacidade instalada de energia;
- problemas gerados pelo desconhecimento do comportamento térmico dos materiais de construção que acabam gerando desconforto térmico nos ambientes;
- o desprezo do impacto causado pela desconsideração da influencia das trajetórias solares no ambiente construído;

Podemos notar, na esfera acadêmica, o aumento de grupos de pesquisa com enfoque no desenvolvimento e pesquisa de ferramentas para o projeto de edificações com consumo eficiente de energia.

Essa dissertação busca pesquisar e desenvolver ferramentas que simulem o consumo energético originado pela potência instalada de climatização, como menciona Lamberts (LAMBERTS, 2001). Estas ferramentas são apresentadas no capítulo que apresenta os softwares de simulação pesquisados.

1.3.3 Conforto Ambiental

O estado de conforto pode ser explicado como sendo aquele no qual o homem consome bem pouca energia pessoal, de seu metabolismo, para se adaptar a um ambiente, ou seja, ele só consome energia para exercer as atividades que tem vontade. Estabelece-se assim, no organismo, um funcionamento saudável, eficiente, conservando a energia para as atividades necessárias e intencionais. Neste caso, é mencionada a energia pessoal, estabelecendo esta como sendo a consumida para o processo de adaptação que o organismo deverá fazer, caso as condições encontradas estejam diferentes dos parâmetros pessoais de conforto. Isto gera um gasto da energia armazenada pelo organismo e que deve ser distribuída para a execução das atividades durante todo o dia.

Por exemplo: quando sentimos calor, a pele transpira e a temperatura corporal diminui. Essa transpiração representa um consumo da energia térmica da pele, com a conseqüente diminuição de sua temperatura. Para este trabalho será dada ênfase às trocas térmicas, relacionando esta etapa como sendo a de maior consumo de adaptação.

O conforto ambiental pode ser classificado como um conjunto de variáveis que promovem o estado em que o homem se sente sem nenhuma necessidade de adaptação. Este é um estado bastante subjetivo e depende de cada ser humano, sua cultura, sua experiência, sua constituição física, atividade, ou seja, as particularidades de cada indivíduo em cada região climática diferente. Diversas análises e estudos foram efetuados buscando traçar valores médios de conforto térmico e lumínico do ser humano.

Estes estudos são resumidos na Carta Bioclimática com zonas de conforto, que pode ser usada como uma ferramenta auxiliar para as estratégias a seguir no projeto de uma Arquitetura Bioclimática. Fanger fez um estudo estabelecendo o PMV (Predicted Mean Vote - Voto Médio Predito, em português) de conforto térmico, que traduz a sensibilidade humana ao frio, correspondente ao valor negativo, e ao calor, correspondente ao valor positivo do PMV como pode ser observado na figura 3 (FANGER, 1972).

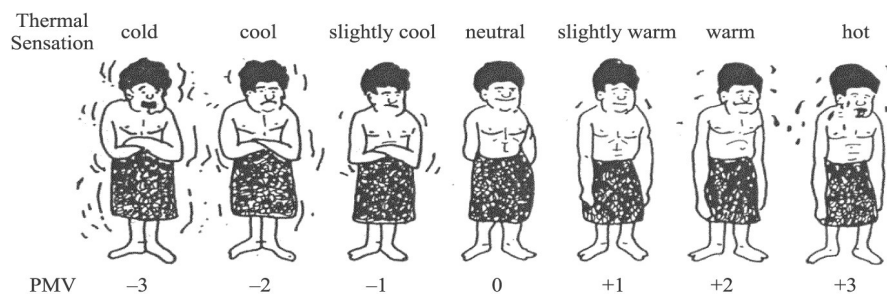


Figura 3 Valores de PMV, traduzindo a sensibilidade ao frio e ao calor (Tse et al, 2005)

A observação e análise do clima auxiliam na previsão do consumo da energia elétrica necessária para o controle térmico e a obtenção de conforto. Em resumo, quanto uma edificação consome para se adaptar ao clima local e propiciar conforto para seus ocupantes.

Nesta seção apresenta-se a carta Bioclimática como uma ferramenta bastante limitada, porém importante caso o profissional arquiteto possua pouco conhecimento a respeito das estratégias bioclimáticas possíveis na elaboração do projeto.

Apresentaremos, a seguir, a carta Bioclimática para o Rio de Janeiro (CORBELLA e YANNAS, 2003), com os dados médios de verão e inverno.

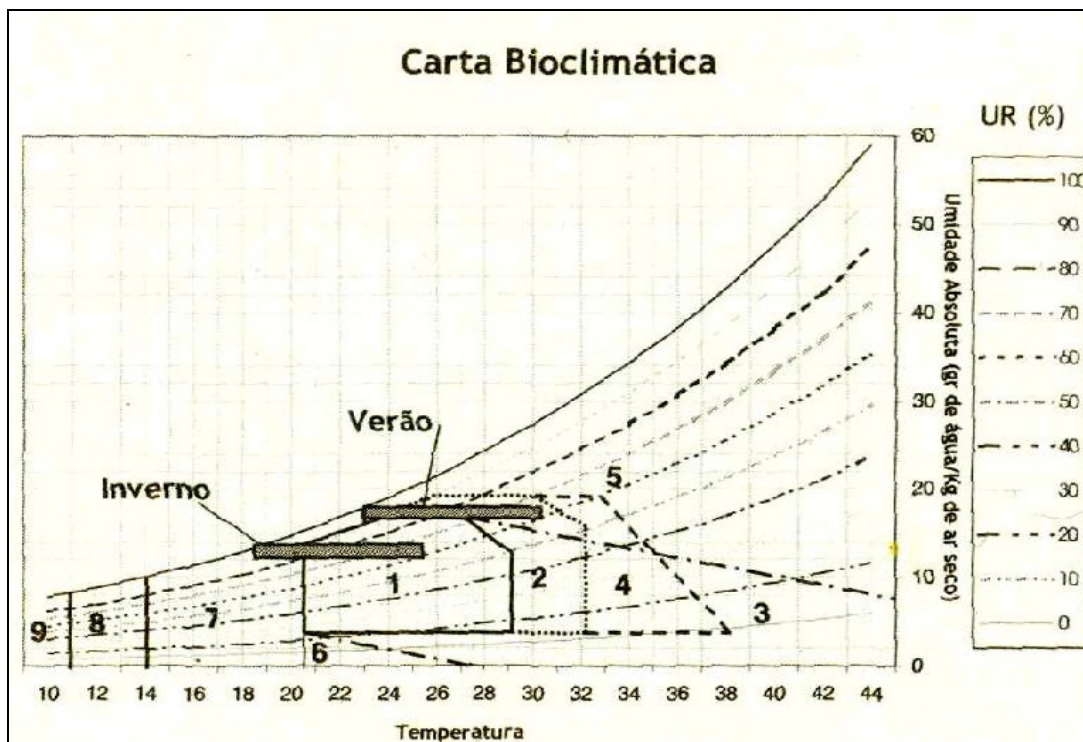


Figura 4 Carta Bioclimática para o Rio de Janeiro (CORBELLA e YANNAS, 2003, p. 260).

Baseadas nos valores de PMV, algumas estratégias de conforto foram sugeridas de forma a ampliar a zona de conforto (1) da Carta Bioclimática. Nesta Carta Bioclimática foram incorporadas os valores máximos e mínimos de temperatura, assim como a umidade relativa média. As zonas resultantes da incorporação destes dados, como se pode observar na Figura 4 em alguns intervalos, estão fora da zona de conforto. Porém, incorporando os parâmetros sugeridos, pode-se resolver a maioria dos problemas, decorrentes do excesso de calor, apenas com ventilação mecânica. O que acarreta uma economia na gestão orçamentária da edificação.

Observadas ainda em fase de projeto, pode-se elaborar alguma estratégia que resolva, também, os dias de pico de calor. Estas observações são melhor estimadas por via de simulações, que facilitam a visualização e incorporação das estratégias de conforto na fase de projeto de arquitetura. Desta forma pode-se garantir o conforto ambiental do ocupante em 100% do ano.

Como Brown e Dekay esclarecem em seu livro, uma análise do clima auxilia na formação do “contexto que influencia profundamente o quanto uma edificação usa energia e quando a usa para aquecimento, esfriamento e iluminação”, ou seja, auxilia na previsão do consumo de energia elétrica que será necessária para o controle térmico e lumínico (BROWN e DEKAY, 2004, p.27). Em termos arquitetônicos seria quanto o volume de uma edificação, e internamente seus espaços, consomem para se adaptar ao clima local e propiciar conforto para seus ocupantes.

Esta previsão do consumo de energia elétrica, para adaptação da construção ao clima local, já foi incorporada a diversos softwares para análise do conforto nas edificações, por meio de simulações matemáticas do comportamento físico dos materiais adotados no projeto de uma construção. Reiterando que este estudo das ferramentas computacionais enfoca especialmente o conforto térmico, portanto o comportamento físico simulado é o térmico.

O projeto deve considerar o clima e as relações físicas dos materiais empregados, caso contrário o consumo de energia elétrica pode aumentar muito, pois grande parte deste consumo provém da necessidade da instalação de equipamentos elétricos para climatizar o ambiente construído, de forma a adaptá-lo ao clima local gerando conforto para o usuário ou habitante deste espaço. A necessidade de aparelhos de climatização e o consumo de energia elétrica acabam sendo detalhes reservados aos engenheiros elétricos, eliminando da mente dos arquitetos qualquer preocupação, assim como a responsabilidade por estes. Os arquitetos acabam desconhecendo, assim, os problemas ocasionados pelo crescente consumo de energia elétrica, cada vez mais necessária para o cotidiano.

Um outro aspecto a ser levado em conta é o ecológico. Ambientalistas perceberam que o processo de geração de energia elétrica de modo hidroelétrico, pode se tornar agressivo ao meio ambiente quando inunda imensas áreas, alterando e desequilibrando todo seu entorno – o que aponta para um futuro bastante comprometedor. A Arquitetura Bioclimática busca uma diminuição da necessidade deste consumo energético para tentar contornar esse problema e minimizar o impacto nas reservas naturais existentes no planeta.

Deve-se salientar que o uso de hidrelétricas menores é recomendável, nesse caso, pelo seu menor impacto ao meio ambiente. De qualquer maneira, as construções deveriam consumir menos energia para não desperdiçá-la.

Para agravar ainda mais este problema, pode se perceber a atual falta de adequação, por parte dos arquitetos, dos projetos de edificações ao clima do local, o que ocasiona em um aumento da dependência e do consumo de energia para alcançar os níveis de conforto necessários ao homem em cada uma de suas atividades. As edificações equivocadamente projetadas, sem o devido estudo e adaptação ao clima, requerem uma maior potência instalada dos aparelhos de condicionamento de ar, podendo aumentar muito o consumo de energia elétrica, por este ambiente ou edificação.

A proposta que norteia este trabalho parte da tentativa de resgatar a capacidade natural do homem para se adaptar ao meio ambiente climático. Neste caso, a adaptação é representada pela Arquitetura Bioclimática, que aproveita as vantagens do clima local e minimiza as desvantagens, sem deixar para o nosso corpo toda a adaptação necessária⁵.

1.4 Descrição da Estrutura da Tese

Esta dissertação está dividida em quatro Capítulos, com as seguintes abordagens:

Capítulo 1 – Introdução

Delimita e situa o assunto de enfoque desta dissertação, assim como aponta os objetivos e também a metodologia utilizada para alcançá-los. São resumidas as diretrizes da arquitetura bioclimática que mencionam as influências do clima local no projeto e conseqüente consumo energético para obtenção de conforto.

⁵ Como foi sublinhado por Olgay, “o interessante é trabalhar em conjunto com o entorno natural e não contra, fazendo uso das potencialidades naturais do clima local. Olgay chama esse equilíbrio entre o clima local e o conforto ambiental do ocupante de um espaço como sendo um “climate balanced”, ou seja, estar em equilíbrio, balanceado, em comunhão com o clima” (OLGYAY, 1963, p.10).

Neste capítulo, foi apresentada a necessidade de quantificar a previsão do consumo de energia elétrica, o qual envolve uma série de fórmulas que descrevem o modelo matemático de redes térmicas complexas, cujos cálculos precisam do auxílio de softwares. Estes fazem uma análise do conforto ambiental humano nas edificações por meio de simulações que consideram o comportamento físico dos materiais adotados no projeto de uma construção. Porém, devido ao fato de que estas ferramentas são construídas por engenheiros de computação, programadores, utilizando uma linguagem restrita a esses profissionais, desde sua concepção é descartada a possibilidade de uma utilização plena pelos profissionais arquitetos. Por isso, neste capítulo são discutidas as bases para uma solução do problema.

Capítulo 2 – Estudo dos Softwares

Neste capítulo são descritos os resultados da avaliação dos softwares selecionados, com distribuição gratuita para uso em pesquisa, que já vêm sendo utilizados e estudados para a simulação do desempenho térmico de edificações. Não se pretende oferecer uma relação exaustiva de todas as ferramentas elaboradas para a simulação da eficiência energética em edificações, como também não é possível citar algum software que tenha seu uso, atualmente, inserido na rotina de um arquiteto comum. Vale lembrar que alguns deles estão referidos na regulamentação lançada na esfera do poder legislativo federal brasileiro, e podem ser utilizados para realizar simulações dentro dessas normas.

Vários pesquisadores têm estudado a necessidade de uso e a aplicação de softwares como ferramentas de projeto. A possibilidade de uma simulação, ainda em fase de anteprojeto, prévia à construção, traz economias tanto financeiras, pois adaptações e mudanças em projeto são menos dispendiosas, quanto biológicas, ou seja, ao ser humano e ao meio ambiente.

Nesse Capítulo foram escolhidas quais as ferramentas que serão utilizadas para os estudos de casos junto à justificativa desta preferência, e são citados os estudos de casos realizados para o Rio de Janeiro, apresentando a fundamentação de sua escolha de cada caso. Lembra-se que as simulações se concentram na pesquisa do comportamento térmico das edificações.

É preciso observar a importância da flexibilidade dos simuladores. Estes devem ser “amigáveis”, para que possam ser utilizados desde a fase de projeto, permitindo a incorporação de sistemas de energia limpa, assim como procurar a eficiência energética.

Capítulo 3 – Estudo de Casos

Este Capítulo contextualiza quais as informações necessárias para a entrada de dados de um projeto de arquitetura nos softwares escolhidos. Como também, faz uma avaliação das informações, de eficiência energética e conforto, geradas pela simulação em softwares computacionais. A área climática estudada foi delimitada à da cidade do Rio de Janeiro avaliando seus principais impactos no balanço e conforto térmico dentro do espaço que será utilizado pelo ser humano, seja para trabalho, lazer ou descanso.

Também no Capítulo 3 são abordados a geometria e os materiais da construção da forma e superfície projetadas pelo profissional arquiteto e o impacto sobre o conforto ambiental do usuário deste espaço. Apresentam-se alguns dos resultados das simulações feitas com diferentes materiais de construção e acabamentos, possibilitando uma visualização melhor das respostas das simulações com os softwares.

Capítulo 4 – Conclusões

Neste capítulo é estabelecido um panorama geral dos softwares estudados. Após o estudo e a experimentação dos softwares, pode-se estabelecer um panorama atual dos softwares indicados pelas normas - que estão sendo desenvolvidas no Mundo todo - de consumo energético em edificações, principalmente no Brasil.

É sugerida, também, uma revisão do comportamento do usuário (por exemplo, o critério para as fixações dos termostatos para o ar condicionado ou calefação), para ajustá-los às características reais do clima local, pois parece haver uma tendência ao exagero que acaba se refletindo no consumo de energia elétrica.

Desta forma torna-se possível apontar qual dos softwares apresenta chances de tornar-se uma boa ferramenta, de uso amigável pelo arquiteto, e que o auxilie no projeto de uma

arquitetura bioclimática, com uso eficiente de energia, sem deixar de garantir o conforto dos usuários. Neste capítulo é estabelecido um panorama geral dos softwares estudados.

Com este panorama são traçadas as diretrizes para a elaboração de interfaces do software que apresenta as melhores condições, adaptadas ao cotidiano do projetista de arquitetura. Diretrizes que são traçadas a partir das dificuldades e carências levantadas. Desta forma, vislumbra-se um material completo para apoio ao profissional programador que trabalhará nestas interfaces.

1.5 Revisão Bibliográfica

Conforme Bachelard afirma, a casa é o útero do ser humano após seu nascimento, o que se pode entender como sendo o espaço no qual o ser humano se abriga e “carrega suas baterias” a partir da economia de energia (BACHELARD, 1957). Portanto, essa economia de energia refere-se tanto à energia elétrica, que se compra, quanto à energia do homem, que é produzida a partir do armazenamento e transformação das calorias que ele retira dos alimentos, o metabolismo.

O desenvolvimento de uma arquitetura adaptada ao clima pode ser registrada como um dos maiores avanços na evolução da arte de habitar que vem acompanhando o ser humano desde a era das cavernas, como pode-se perceber no texto de Olgyay, um dos autores utilizados para a pesquisa do tema (OLGYAY, 1963, p.4). Segundo Brown e Dekay (p. 25, 2004) há uma relação da forma da arquitetura com consumo de energia elétrica, ou seja, quanto melhor adaptada, menor consumo, “As técnicas de análise são usadas para entender o problema e seu contexto.[...] As estratégias de projeto geram formas; elas prioritariamente revelam as relações entre a forma arquitetônica, o espaço e o consumo de energia.”.

Igualmente, aqui no Brasil, pode-se obter material de qualidade para pesquisar o desenvolvimento de uma arquitetura sustentável, como relatado pelo professor e físico Oscar Corbella com o arquiteto inglês, Simos Yannas (CORBELLA e YANNAS, 2003). Neste livro

são apresentados estudos de casos da adaptação da arquitetura atual do Rio de Janeiro, ao clima local, tropical úmido.

Para elaboração desta dissertação foram estudadas outras dissertações, como a da arquiteta Claudia Barroso KRAUSE no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da UFRJ, que em 1990 analisou o comportamento térmico das coberturas em edificações para a cidade do Rio de Janeiro. O trabalho foi realizado por meio de simulações do projeto de uma casa protótipo com o software CASAMO obtendo dados de carga térmica e estratégias de conforto a partir da inserção de dados climáticos e da geometria.

Após o estudo feito por KRAUSE, em 1993 na colaboração PROARQ, COPPE, ambas da UFRJ, Eduardo KRÜGER, sob a orientação do Prof. Corbella, realizou uma dissertação baseada em análises da comparação das respostas de programas, mais especificamente softwares de simulação térmica de ambientes, dentre os quais também se encontrava o CASAMO.

CAPITULO 2 - ESTUDO DOS SOFTWARES

2.1 Apresentação do Estudo dos Softwares

Há sempre um vazio na mente do profissional não habituado com simulações. Quais são os softwares disponíveis no mercado? A lista desses softwares é imensa, porém os softwares desenvolvidos para arquitetos são poucos, na verdade quase inexistentes. Buscamos utilizar como fator excludente os softwares que são vendidos e não oferecem versões destinadas ao estudo e pesquisa. Desta forma, as ferramentas aqui estudadas têm sua distribuição gratuita, pelo menos para os centros universitários.

Uma das intenções desta pesquisa foi analisar, dentre os softwares estudados, os que têm, inseridos em sua programação, as diretrizes corretas, de acordo com a bibliografia estudada, para uma análise do conforto térmico. Foram analisados, também, os resultados dos projetos, junto ao consumo de energia elétrica pelos equipamentos necessários para garantir os níveis de conforto ambiental.

O estudo aqui realizado objetiva a promoção de eficiência energética, pelo projeto de arquitetura, feito para as condições climáticas da cidade do Rio de Janeiro. É importante lembrar, em todos os momentos, a localização do projeto, pois, como discutido desde o início desta dissertação, a localização deve ter prioridade como característica que influenciará no partido arquitetônico adotado, na forma e constituição no projeto de arquitetura.

O reflexo do meio ambiente na decisão adotada deverá ditar barreiras maiores do que as geográficas. Na arquitetura deve-se buscar uma linguagem territorial topográfica, independente do município e das barreiras políticas que este estabelece. Os princípios que direcionam a adoção de determinado partido de Arquitetura Bioclimática, para o Rio de Janeiro, podem ser repetidos em locais com condições climáticas semelhantes, ainda que em diferentes municípios.

Como já comentado anteriormente, sabe-se que os profissionais de arquitetura dispõem de diversas ferramentas computacionais para desenho e simulação dos acabamentos interiores, e as utilizam em seu cotidiano.

Assim, torna-se necessário pesquisar a interação dos softwares de simulação estudados, com as ferramentas já consolidadas para o arquiteto, como, por exemplo, o AutoCad e o ArchiCad, dentre outras. Desta forma, torna-se possível que o projeto do arquiteto responsável esteja adequadamente inserido no meio ambiente local e de modo sustentável; podendo prever as influências para o conforto ambiental e consumo de energia elétrica, das especificações de cores, materiais, geometria e orientação.

A ferramenta de simulação computacional do comportamento térmico de edificações, por meio de cálculos matemáticos, auxilia satisfatoriamente na análise e melhor compreensão dos impactos negativos do clima na construção, e ajuda a calcular qual poderá ser o ganho de carga térmica em consequência do projeto proposto.

Os softwares para simulação de anteprojetos de Arquitetura desenvolvidos hoje em dia permitem a visualização dos dados de forma gráfica, em vez de uma visualização por meio de tabelas. Esta é a vantagem, pois o arquiteto pensa de forma gráfica, e terá uma melhor compreensão do comportamento físico da construção por este recurso visual. Possibilita-se, assim, a adequação do projeto de arquitetura ao clima do meio ambiente no qual está inserido, sem a necessidade de uma especialização em conforto ambiental por parte do arquiteto. Difunde-se assim a Arquitetura Bioclimática, oferecendo-se recursos para que esta possa ser promovida.

Observando o esquema apresentado na Figura 5, que mostra o processo realizado pelos softwares para realizar a simulação, é possível estudar onde, e de que maneira, esses softwares auxiliariam os Arquitetos.

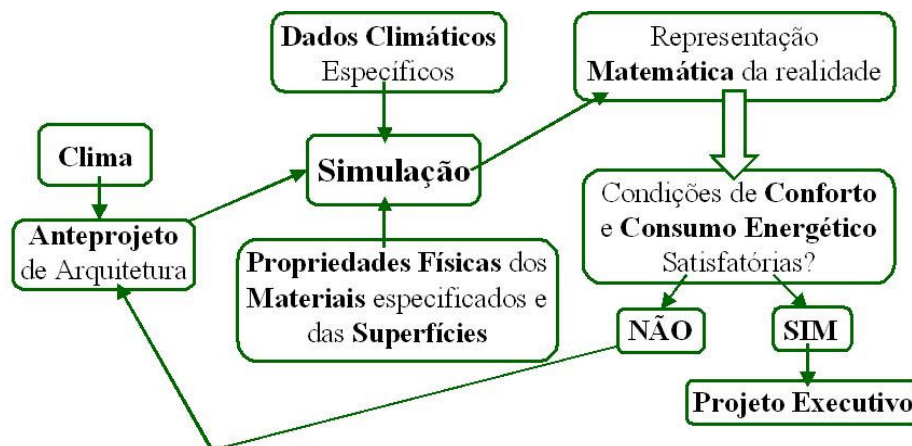


Figura 5 Processo de simulação e sua inserção na fase projetual do arquiteto

A adequação da arquitetura ao clima, preservando, desta forma, os recursos naturais finitos e utilizando-se dos recursos disponíveis, ocorre simultaneamente ao melhor conforto exigido pelas normas de certificação e verificação de uma maior eficiência energética.

Os softwares devem possibilitar, também, a inserção do profissional arquiteto na fase de simulação do projeto, de modo que este possa participar de forma mais consciente e ativa, das decisões que irão alterar o comportamento térmico e o consumo da edificação projetada. Deve ser lembrado que o arquiteto é o responsável pelo custo não só de implantação do projeto, como de sua manutenção.

2.2 Descrição Geral dos Softwares Estudados

As ferramentas estudadas foram, fundamentalmente, o EnergyPlus, utilizado como ferramenta pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, e o CASAMO, utilizado pelo governo da França. Também foram revisados outros softwares de simulação e softwares auxiliares, que serão apresentados oportunamente.

O objetivo da pesquisa com os softwares, além da obtenção dos resultados que serão apresentados, é esta avaliação de sua interação de forma amigável com o arquiteto. A partir desta interação pretende-se facilitar a incorporação e observação das diretrizes de conforto ou das futuras normativas de consumo de energia elétrica em edificações de uso comercial e público, pelo profissional arquiteto.

Este trabalho utilizou como base para análise os softwares que já se mostraram adaptados e apresentaram bons resultados com relação à posição geográfica da cidade do Rio de Janeiro, como já foi informado no Capítulo 1. Em cada simulação pode-se adotar alturas diferenciadas, pois os softwares mais modernos já trabalham com a pressão do vento para simular a ventilação noturna.

Os softwares aqui apresentados podem simular o comportamento térmico de um projeto arquitetônico na sua fase de Anteprojeto, momento no qual ainda podem ser incorporadas as diretrizes que têm a finalidade de promoção do conforto ambiental aliado à eficiência energética.

Para a utilização de todos os softwares revisados é mister uma familiaridade, não sempre comum ao profissional padrão, com as propriedades dos materiais e superfícies, de todos os elementos que estão descritos no anteprojeto, e que deverão ser empregados na edificação, seja na construção ou no acabamento, assim como os impactos da geometria do partido adotado pelo arquiteto.

Essas informações, nesta fase, são importantes para simular o comportamento térmico e lumínico da edificação ainda em tempo de fazer algumas modificações, antes de avançar para a fase seguinte: a do Projeto Executivo. Para tanto, é importante o conhecimento, ainda que geral, das características físicas dos materiais e das superfícies, isto é, quais são os seus parâmetros térmicos e óticos. Desta forma, torna-se possível a compreensão das variações produzidas nos resultados pela introdução destes valores, e qual material ou superfície, de acordo com suas propriedades, pode ser modificado na entrada de dados do software, para se obter o resultado esperado.

Os dados numéricos dos materiais podem ser encontrados em publicações como o caderno 6 do Proarq, onde se pode conseguir os valores das propriedades térmicas dos materiais de construção e superfícies de acabamento (CORBELLA e STANGENHAUS, 1999). Salienta-se que, com a compreensão dos conceitos, não é necessária nenhuma especialização para o estudo do comportamento de uma edificação.

Assim, a Arquitetura Bioclimática torna-se viável, e se concretiza, podendo ser construída e efetivamente ser chamada de uma arquitetura que está de acordo com o meio ambiente, pois foi executada para consumir o mínimo possível de energia elétrica para se adaptar às condições naturais do entorno imediato.

A simulação computacional busca analisar uma possível situação real, porém é apenas uma representação matemática da realidade. Alguns softwares mais antigos trabalhavam com simulações de dados climáticos a partir de variáveis determinísticas, como afirma Krüger em sua dissertação (KRÜGER, 1993, p.81). Ele também afirma que quanto mais reais são os dados climáticos de entrada utilizados para a simulação, melhores os resultados, com uma menor margem de erros. Daí a importância da origem dos arquivos climáticos, e se os mesmos são baseados em dias típicos ou específicos. Os arquivos climáticos utilizados devem ser baseados em pelo menos dez anos de coleta de dados de estações meteorológicas.

Diversos estudos já foram realizados com a intenção de experimentar, comparar e até comprovar os resultados obtidos pelos softwares. Dentre eles, e com interesse maior para este estudo, podemos destacar o estudo do desempenho térmico da janela estabelecido por Cörner em sua dissertação de mestrado, que analisou o desempenho térmico da janela por meio de simulações computacionais e conseguiu obter resultados importantes para a avaliação do tamanho e tipo da janela ideal na promoção de conforto térmico da edificação (CÖRNER, 2001).

O software utilizado como ferramenta na pesquisa de Cörner foi o CASAMO, versão de 1988, dando continuidade a um trabalho que foi iniciado por Krause e Stangenhuis (BARROSO-KRAUSE, 1990 e STANGENHAUS, 1990), que analisaram o comportamento de diferentes opções de tetos e paredes no conforto térmico do meio construído.

Nos dias atuais muitas ferramentas são apresentadas e descritas nas conferências da IBPSA, uma sociedade internacional que busca reunir pesquisadores, produtores de softwares e demais interessados na simulação do comportamento das edificações em relação aos agentes climáticos. Além dos Anais das Conferências da IBPSA, também foram encontradas, nas pesquisas acadêmicas, outras ferramentas mais antigas que já vinham sendo desenvolvidas e utilizadas há várias décadas como o TRNSYS – sua primeira versão pública data de 1975 - e cuja última versão simplificada é adaptada para uso no PC.

Nas seções seguintes serão apresentadas as ferramentas estudadas, com suas principais características, resultados apresentados e relação de “amigabilidade” para o arquiteto.

2.3 Os softwares americanos: EnergyPlus, TRNSYS, DOE, BLAST

Todos estes softwares, o Energy Plus, TRNSYS, DOE utilizam o método americano para o cálculo de carga térmica, que adota as fórmulas da ASHRAE⁶ para os cálculos de ganho térmico, oriundo dos materiais construtivos.

⁶ Estas fórmulas levam em conta os seguintes parâmetros:

- Massa Específica – que a norma americana chama de densidade e é a massa dividida pelo volume, dada em Kg/m^3 ;
- Calor Específico – quanto de energia térmica 1Kg do material necessita para elevar sua temperatura em 1 K;
- Condutividade Térmica – é a quantidade de energia térmica transmitida perpendicularmente, por metro quadrado, através de um corpo homogêneo de 1m de comprimento, com uma diferença de temperatura de 1 K, por unidade de tempo; dada em $\text{j/s/m}^2/(\text{K/m})$, (ou em $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$);

Após o lançamento do TRNSYS, para computadores de grande porte, a Secretaria de Energia do governo americano continuou pesquisando e desenvolvendo softwares como o DOE, ao passo que o BLAST foi desenvolvido pelo departamento militar americano, para utilização em computadores pessoais.

O TRNSYS é baseado na simulação dinâmica, pois consegue fazer simulações detalhadas de qualquer modelo que dependa da passagem do tempo. Desenvolvido pela universidade de Wisconsin, em Madison nos Estados Unidos, este software utiliza arquivos meteorológicos TMY (Typical Meteorological Year) - ano típico meteorológico, e conta com uma interface que auxilia na produção de um modelo multi-zonas, semelhante ao do projeto original, o TRNBuild - que antes se chamava Prebid ou Type 56.

A última versão do TRNSYS (TRNSYS 16) traz recentes atualizações, a última feita em novembro de 2006, com atualizações em sua livreria de materiais (versão 3.0). Porém, este software tem um alto custo de aquisição o que dificulta sua utilização, pelos arquitetos brasileiros e impede que se possa estudá-lo nas universidades.

2.3.1 Dados de entrada no software EnergyPlus

O software EnergyPlus foi desenvolvido por uma parceria entre a Universidade de Illinois e a Universidade da Califórnia, nos Estados Unidos. Ele foi desenvolvido com base e associação de outros softwares mais antigos. O EnergyPlus tem diversas fórmulas já validadas, inseridas em sua programação. Na verdade, ele é uma coletânea dos programas de cálculo computacional que já vinham sendo utilizados para cálculos de eficiência energética e climatização de ambientes construídos, como o BLAST e o DOE, ambos desenvolvidos com base no simulador precursor, o TRNSYS.

O EnergyPlus, assim como o TRNSYS, simula o comportamento térmico da construção proveniente da especificação dos materiais do envelope e, portanto, cargas térmicas existentes. Este software pode ser utilizado em Micro-computadores, sendo que ele busca ser um resumo destes softwares. Em suma, o EnergyPlus foi criado à partir de softwares já desenvolvidos como DOE-2, BLAST, TRNSYS, numa busca de atualizá-los, e oferecer um simulador que possa ser estudado pelas universidades. A disponibilidade deste software para

as universidades procura a interação com pesquisadores universitários, de maneira a obter sugestões que possam fazer dele uma ferramenta que conte com um amplo leque de usuários.

Vários foram os trabalhos feitos com a intenção de validar o software EnergyPlus. Em 2003, Henninger e Witte apresentaram resultados do teste do EnergyPlus em comparação com outros softwares já validados, como os já citados DOE2, TRNSYS, BLAST, entre oito programas selecionados para este teste. Em 90% das comparações, O EnergyPlus se apresentou dentro da faixa dos outros softwares (HENNINGER e WITTE, 2003 *apud* PEREIRA, p.20, 2005). Aqui no Brasil pode-se destacar o trabalho publicado por Silva para validação do software, também em 2003, no qual as simulações do software EnergyPlus foram comparadas com os reais dados de consumo de energia elétrica de uma agência bancária em Porto Alegre. Neste trabalho o autor conclui que as respostas da simulação se aproximaram ao consumo elétrico medido (SILVA, 2003 *apud* PEREIRA, p.24, 2005). Também no Brasil, no mesmo ano de 2003, Westphal e Lamberts apresentaram uma metodologia para a análise do ganho térmico para construções não-residenciais usando o *Transfer Function Method* de acordo com a *ASHRAE Standard 140* (WESTPHAL e LAMBERTS *apud* PEREIRA, p. 28, 2005).

O EnergyPlus simula a temperatura de sensação nos períodos de ocupação e fornece o consumo de energia elétrica dos equipamentos, tal como os sistemas de climatização, instalados para auxiliar na obtenção do conforto térmico no interior deste espaço.

Ele analisa o ambiente tal como definido pelo projeto, quantificando o impacto das variáveis climáticas na construção e o uso dado para este ambiente. Uma ocupação no período noturno, por exemplo, requer um cálculo do sistema de climatização de forma totalmente diferente de uma ocupação no período diurno, para o mesmo ambiente construído.

O EnergyPlus, assim como os outros softwares de simulação, pretende auxiliar na fase de projeto de edificações com a intenção de simular todos os agentes físicos que influenciam no comportamento térmico da edificação projetada. Agentes esses como a troca de temperatura entre as zonas conforme a ocupação, equipamentos usados, aberturas,

características térmicas dos materiais, a ventilação e a infiltração, assim como as interferências provenientes do uso de equipamentos como o ar-condicionado. A infiltração, por exemplo, é calculada pelo método matemático COMIS⁷ (Conjunction of Multi-zone Infiltration Specialists).

O EnergyPlus, requer uma entrada de dados sobre a edificação projetada, como as dimensões, características dos materiais, das aberturas, entre outros. O problema é a representação da forma, que possui certo tipo de comunicação com os softwares de modelagem como o AutoCad e ArchiCad que, como já mencionado, está inserido no cotidiano dos profissionais, porém ainda distante do desejável. Os cálculos do programa são efetuados com dados climáticos horários, cuja entrada é feita por uma interface que funciona como facilitador dessa entrada de dados. O EnergyPlus utiliza os arquivos climáticos dos aeroportos das principais cidades brasileiras transformados para a terminação EPW – EnergyPlus Weather, própria do software.

O processo de simulação no EnergyPlus também pode ser feito com base nos modelos de simulações que estão incluídos no pacote do software, porém estes modelos são construídos de acordo com as características construtivas, assim como materiais, típicos do hemisfério Norte, especificamente Estados Unidos.

Atualmente existem três interfaces para o EnergyPlus em funcionamento:

- uma interface brasileira, **E2 Ar-condicionado** - com esta interface qualquer arquiteto pode, em poucos minutos, simular a construção de um modelo com forma de paralelepípedo (tipo “caixa de sapatos”) com uma única zona. Nesta simulação ele pode avaliar o efeito das alternativas para o envelope, as cargas térmicas, conseqüente avaliação da capacidade e eficiência dos sistemas de condicionamento de ar. Esta interface possui distribuição gratuita para universidades;

⁷ O COMIS é um método matemático de cálculo da infiltração devido à pressão do vento estabelecido por especialistas na área e adotado pela ASHRAE;

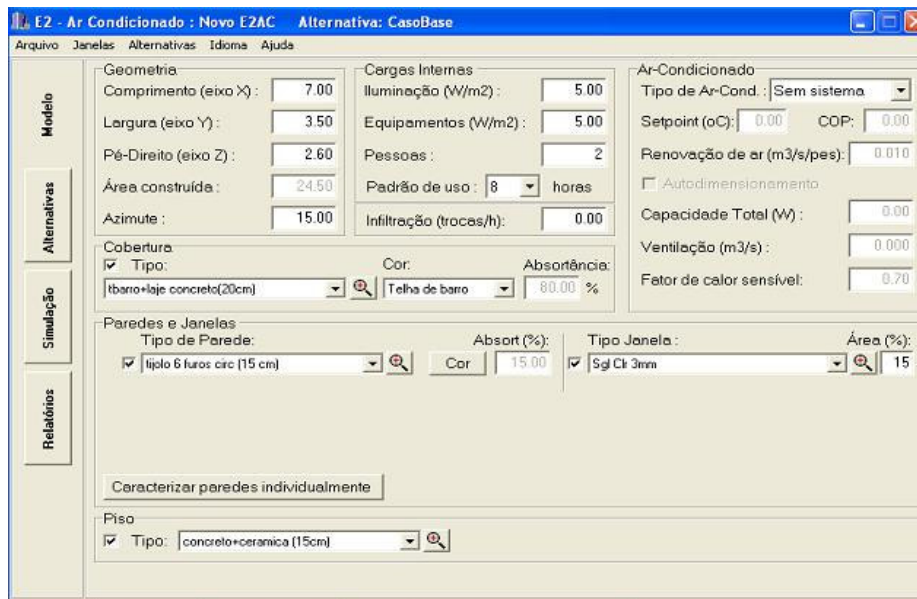


Figura 6 Entrada de dados E2 Ar-Condicionado (LabEEEE/ UFSC)

- uma interface desenvolvida na Inglaterra, **Hevacomp** -- que oferece um sistema de modelagem próprio, que faz o desenho em 3D com as sombras e perspectivas dos ambientes internos com as manchas do ganho térmico devido à radiação incidente do exterior. Porém esta interface para o EnergyPlus possui um alto custo de aquisição e não oferece distribuição gratuita para grupos acadêmicos;

Na figura 7 se mostra a apresentação dos resultados simulados pela interface Hevacomp:

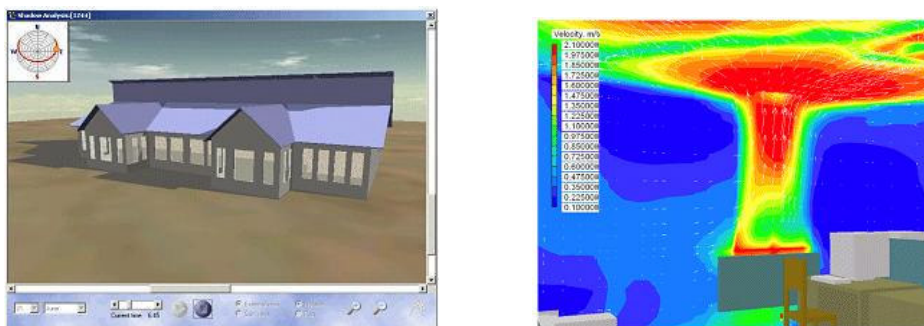


Figura 7 Modelo 3D com as sombras (esquerda) e perspectiva com a mancha dos ganhos térmicos (direita), produzido pelo Hevacomp, como interface do EnergyPlus.

- a interface americana, **DesignBuilder** – que propõe utilizar o EnergyPlus para efetuar a previsão das emissões de CO₂ pelo projeto, além dos cálculos para previsão do consumo de energia elétrica. Faz uso do COMIS para a simulação de ventilação natural como estratégia de conforto. Porém, não possui distribuição gratuita para universidades, impossibilitando seu estudo. Deste mesmo grupo, ainda está em fase de estudo e desenvolvimento a interface **EplusInterface**, e vem sendo distribuída gratuitamente sua versão BETA. Nesta interface propõe-se o desenvolvimento de uma conexão direta, interoperabilidade, com os dados de um volume 3D gerado no AutoCad.

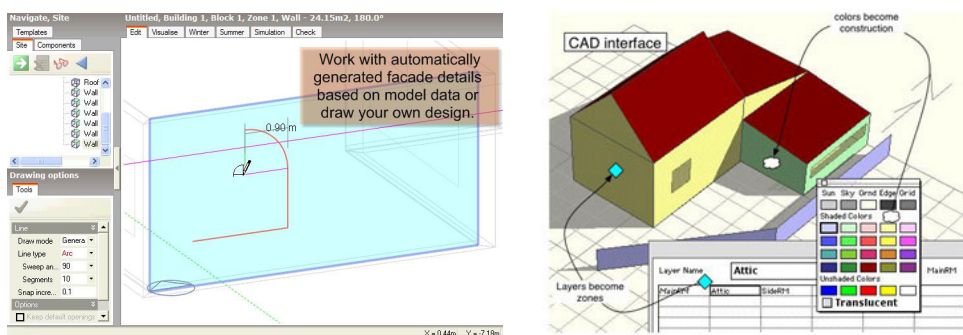


Figura 8 Página da entrada de dados do volume e das superfícies DesignBuilder (esquerda) e da interface em construção EPlusInterface (direita)

Para os estudos de casos que serão descritos no próximo capítulo foi utilizada a interface brasileira chamada E2 Ar-Condicionado, como interface do software EnergyPlus. A partir daí, o protótipo foi alterado na sua geometria, e mudaram-se as informações sobre as características térmicas dos materiais de construção, adequando aos objetivos da simulação, de forma a buscar uma geometria mais livre de acordo com as necessidades do arquiteto. Os resultados são apresentados em planilha do Excel que pode ser facilmente editada e comparada, apresentando, assim, uma fácil visualização e manipulação para análise.

Sem a ajuda de uma interface amigável que otimize a comunicação com o AutoCad e o ArchiCad, a operação e entendimento desta ferramenta apresenta-se complicada, pois requer muito tempo de aprendizado para a obtenção de resultados simples.

Pela interface E2AC pode-se ter acesso aos dados climáticos coletados dos aeroportos, como pode ser observado na seguinte figura:

E2 - Ar Condicionado

Rio de Janeiro [Novo] [Gravar] [Atualizar] [Excluir]

Nome da Cidade: Rio de Janeiro

Latitude: -22.83 (°) positivo para leste

Longitude: -43.25 (°) positivo para norte

Altitude: 5.00 (m)

Fuso horário: -3 positivo para leste

Dados dos dias de Projeto

	Verão	Inverno	
TBS Máxima:	33.60	15.70	(°C)
TBU Coincidente:	25.70	15.70	(°C)
Amplitude:	6.90	6.90	(°C)
Pressão:	101500.00	101500.00	(Pa)
Velocidade do vento:	3.80	1.40	(m/s)
Direção do vento:	135.00	0.00	(°)

Temperaturas do solo: (°C)

Janeiro: 26.20

Fevereiro: 26.50

Março: 26.00

Abril: 24.50

Maio: 23.00

Junho: 21.50

Julho: 21.30

Agosto: 21.80

Setembro: 21.80

Outubro: 22.80

Novembro: 24.20

Dezembro: 25.20

Definir temperaturas do solo igual a média mensal do arquivo climático

Arquivo Climático: riodejaneiro.epw

Figura 9 Dados climatológicos do Rio de Janeiro, obtidos pela interface E2AC

2.4 CASAMO-CLIM, COMFIE

O software CASAMO foi desenvolvido por uma equipe do *Centre d'Energétique da École des Mines*, de Paris, buscando avaliar as condições de conforto em uma edificação e, a partir deste cálculo, obter as cargas de climatização quando estas se tornam necessárias. O sistema de equações empregado pelo software, com o intuito de simplificar este cálculo, admite que existe uma uniformidade da temperatura instantânea do ar dentro de uma ambiente construído. Também assume que existe uma unidirecionalidade das trocas por convecção, assim como de que há uma linearidade das trocas por condução, convecção e radiação.

Diferentemente da norma americana, o CASAMO, leva em conta propriedades térmicas como:

- Difusividade – quanto um material consegue propagar uma onda de calor em determinado meio pela unidade de tempo.
- Efusividade – que é a capacidade dos materiais de construção de absorver, e devolver, a energia térmica do ar que circunda sua superfície.

Este software necessita, em síntese, de três tipos de dados para inserção do modelo que será simulado:

- características do local – latitude, altitude, temperaturas, ventos, etc;
- características da edificação – geometria, características físicas dos materiais de construção especificado no projeto, etc;
- características da ocupação – quantidade, período, etc;

A partir destes dados de entrada, o software simula as temperaturas e umidade resultantes internas, com a potência necessária do aparelho climatizador, para atingir os níveis de conforto. Porém, como uma das suas limitações o software não leva em conta a desumidificação do ar, oriunda do processo de climatização.

Existe um manual, em português, de utilização do software à disposição na internet, no site do PROARQ da UFRJ: www.fau.ufrj.br/proarq . Com o auxílio do manual fica simples a operação do software, porém trabalhamos com a limitação de ser monozona⁸, sem a possibilidade de cálculo de trocas térmicas para diferentes zonas. As dificuldades e problemas encontrados na utilização deste software serão melhor apresentados no capítulo final desta dissertação.

Em resumo, o objetivo da simulação do CASAMO é avaliar as condições de conforto nos espaços internos e a carga de climatização. Essa avaliação é feita a partir do cálculo dos ganhos térmicos pelo envelope da construção, de acordo com os parâmetros físicos dos materiais deste fechamento e superfícies, decorrente da influência da radiação direta e da temperatura do ambiente externo.

⁸ Um software que produz resultados para cálculos de monozonas não admite variação das temperaturas nas zonas subsequentes. Estas trocas podem influenciar bastante no comportamento térmico deste ambiente, pois a arquitetura produz modificações das variáveis que definem o conforto, entre diferentes espaços internos.

O software COMFIE foi um dos primeiros simuladores multizona para PC, e também foi desenvolvido por uma equipe do Centre d'Energétique da École des Mines de Paris. Este apresentava uma análise térmica simplificada de projetos de edificações, assumindo várias constantes, e podendo fazer uma comparação rápida de diferentes acabamentos e materiais. Esta ferramenta tem capacidade de simular até 6 zonas (com um total de 50 paredes para cada zona), superando o CASAMO, no entanto, assim como este, o sistema de resolução matemática apresenta limitações (KRÜGER, p.100, 1993). Os dados climáticos devem ser fornecidos para 8 semanas típicas (os SRY –Short Reference Year) ou para todos dias do ano (os TRY – Total Reference Year). Entretanto, o sistema de entrada de dados é numérico, assim como a apresentação dos resultados, não superando, desta forma, as vantagens apresentadas pelo CASAMO. Por essa causa, o software não foi usado nesta pesquisa.

2.5 LesoCool

O software Lesocool foi desenvolvido na Suíça pela equipe de Florentzou Florentzous, Jacobus Van der Maas e Claude-Alain Roulet, e tem o objetivo de simular as trocas térmicas do meio externo com o interno de acordo com o tipo de material empregado na construção.

O software propõe ser uma ferramenta para o projetista ainda em fase de anteprojeto, no auxílio do resfriamento noturno promovido pela ventilação natural, como estratégia de resfriamento, como pode ser observado na Figura 10. O Lesocool apresenta a capacidade de utilizar o recurso de ventilação mecânica, quando a natural não se mostrar suficiente para atingir os padrões de conforto térmico necessários. Para a simulação, o software necessita da inserção dos dados de radiação, de temperatura, ou da utilização de um arquivo climático que informe estes dados.

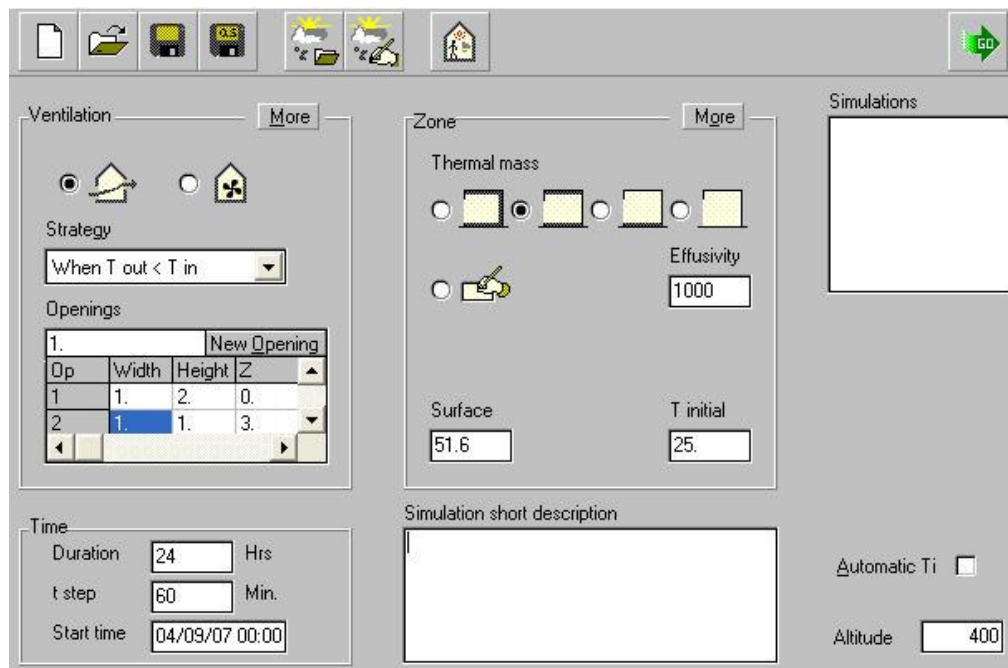


Figura 10 Tela de entrada dos dados do projeto no Lesocool

Assim como o Energy Plus, ele simula várias zonas dentro de um mesmo edifício, considerando as trocas devido à diferenças térmicas entre essas zonas. Quando se modifica o material especificado do acabamento de uma determinada superfície, todo o cálculo de carga térmica é refeito, porém este software leva em conta a efusividade térmica das superfícies. Assim, várias experiências de materiais de acabamentos podem ser simuladas de forma a propiciar a escolha do material que resulte em uma maior eficiência energética e melhores condições de conforto ambiental.

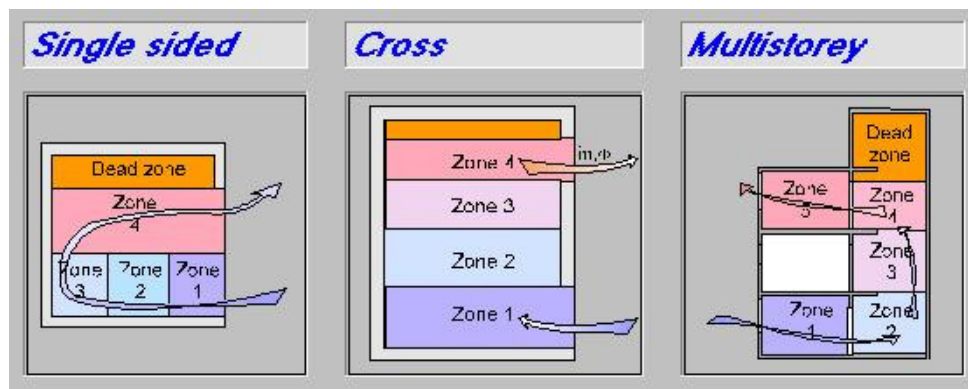


Figura 11 Exemplo de como o Lesocool simula várias zonas

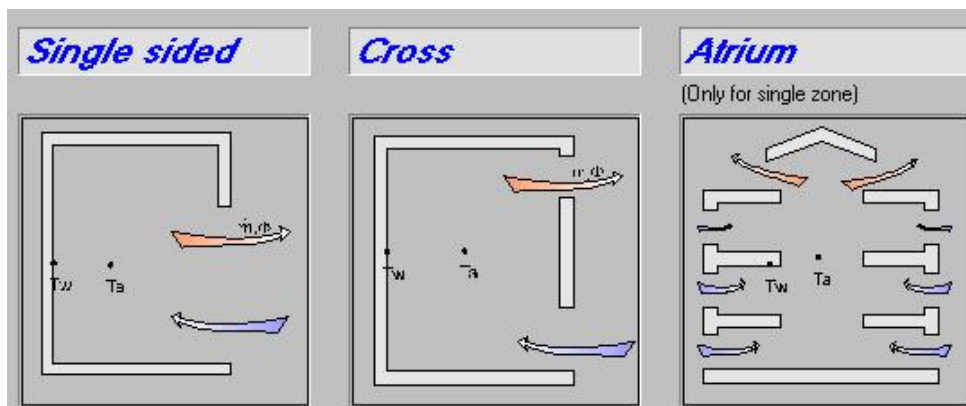


Figura 12 Exemplo da ventilação natural feita pelo Lesocool

Os resultados apresentam-se de forma gráfica com a possibilidade de superpor vários resultados numa mesma tela. A interface de inserção dos dados do local da simulação e da geometria apresenta-se amigável e de simples utilização, funcionando em microcomputadores, bem próximo à realidade dos arquitetos, como pode ser ilustrado pela Figura 10.

Como limitação ao uso deste software aqui para a cidade do Rio de Janeiro, e regiões que apresentem um quadro climático semelhante, está o fato de não ser possível à utilização de estratégias de equipamentos de condicionamento de ar nas simulações do Lesocool, assim como não é possível obter o consumo elétrico.

2.6 CLA / CLACA

O software CLA é da equipe espanhola de pesquisa da Escola Técnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB) da Universidad Politécnica de Catalunya e foi desenvolvido, como o CASAMO, para apoiar um programa de eficiência energética do governo, neste caso o Programa de Diseño Bioclimatico para España.

Este programa é de simples operação – necessita da inserção dos dados da implantação e do projeto. Esta entrada de dados é visual, como pode-se observar na Figura 13 e propõe ser uma ferramenta para o dimensionamento de ar-condicionado ou aquecimento de acordo com

cálculos de carga térmica, assim como prever o desempenho da iluminação. Os cálculos de simulação de carga térmica consideram o material de construção do envelope e o entorno dele, inserindo os dados climáticos de sua localização no mapa de uma região da Espanha, dividida de acordo com suas variações climáticas. Por isto, não é possível sua utilização fora da Espanha. Também existem outras limitações, tais como a inserção de dados de um modelo pois o software considera apenas uma zona térmica.

O CLACA foi desenvolvido a partir do CLA, pela mesma equipe, porém podem ser incorporados dados de qualquer zona climática do mundo. Ele também faz simulações da utilização do resfriamento noturno como estratégia de conforto aliada à eficiência energética.

Estes softwares foram desenvolvidos para ambiente DOS e necessitam de uma atualização para que se possa continuar sua utilização em simulações. Como foi construído por uma equipe de arquitetos, o software possui uma interface de entrada de dados da construção amigável, visual, como podemos observar na seguinte figura:

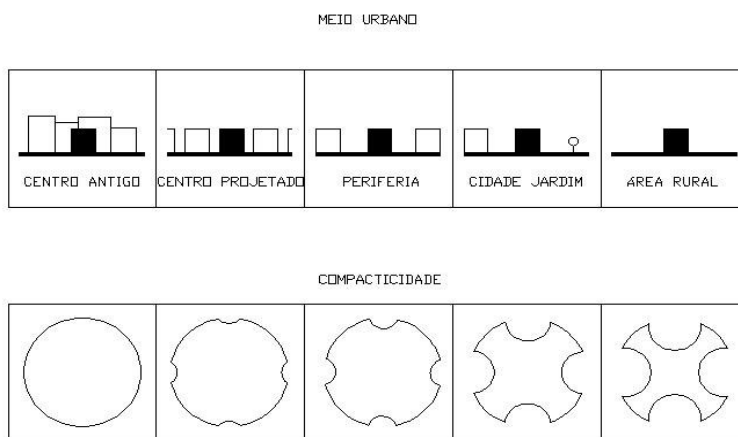


Figura 13 Entrada de dados do entorno urbano e forma geométrica do projeto no CLA

2.4 Outros softwares/ softwares auxiliares: Heatlux, Luz do Sol, CityZoom, etc;

Para uma melhor avaliação da utilização e adequação de ferramentas computacionais, buscou-se um estudo de diversos tipos de softwares de várias linguagens de programação. Alguns softwares, ainda que não sejam ferramentas para a simulação do desempenho térmico lumínico de uma edificação diretamente, apresentam-se como ferramentas intermediárias para o projeto de uma arquitetura melhor adaptada ao clima, e, sendo assim, auxiliam no funcionamento energeticamente eficiente desta edificação. Portanto, aqui são incluídos alguns destes softwares, que podem ser chamados de auxiliares.

2.4.1 Heatlux

O Heatlux, assim como o CASAMO e o COMFIE, é baseado nas normas européias e propõe ser uma ferramenta para a análise do consumo elétrico levando em conta a iluminação e trocas térmicas entre o meio interno e o externo. Foi desenvolvido no ano de 1990 na Universidade de Roma, na Itália, e pode ser usado em computadores pequenos. Assim como o software COMFIE, necessita de arquivos SRY ou TRY. Entretanto, seus resultados são unicamente numéricos, sem nenhuma apresentação gráfica.

2.4.2 Software Luz do Sol

Luz do Sol é um software feito para estimar a radiação e a luz provenientes do sol, e foi desenvolvido pelo Professor Maurício Roriz da Universidade Federal de São Carlos. A versão utilizada para este estudo é a 1.1⁹, lançada em 1995.

O programa Luz do Sol traça o gráfico das trajetórias solares para qualquer local do Brasil, assim como mostra tabelas que apresentam dados da radiação solar nestes locais. O objetivo desse programa é auxiliar no fornecimento de dados para a observação da influência térmica e lumínica da radiação solar na edificação. Ele também busca auxiliar fazendo os cálculos das manchas solares no interior dos cômodos, o que ajuda na escolha dos acabamentos que comporão as superfícies.

⁹ Apresentado no III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) que aconteceu em Gramado, RS, em 1995.

2.4.3 CityZoom

O software CityZoom foi desenvolvido para fazer a simulação das cidades em 3D. A intenção deste software é de ser utilizado como ferramenta no planejamento da evolução urbana, uso e valorização do solo, aplicando as diretrizes estabelecidas no planejamento urbano de determinado local para qualquer núcleo urbano.

É importante lembrar que o software ainda está em construção com muitos ajustes por serem feitos. A versão utilizada para este estudo foi a BETHA 2.0. Algumas das respostas que o software vislumbra oferecer para o usuário ainda não funcionam, como é o caso da aplicação do conceito de *Envelope Solar* estudado por Knowles (et al. GRAZZIOTIN, 2003, p. 27).

O conceito de Envelope Solar pode ser resumido no direito à luz solar, o que para a cidade do Rio de Janeiro não tem muito sentido. Talvez, o que tenha sentido seja o direito à proteção solar que é um fator preponderante nesta região, com exceção da utilização da energia solar para o aquecimento de água e produção de energia elétrica. Condição esta que se repete na maioria das localidades inseridas na zona climática do globo classificada como tropical, e que possuem abundante radiação.

A linguagem de programação utilizada é a Delphi, que gerencia todas as funções, associada à C++ que auxilia na fase de produção gráfica do software. A fase de entrada de dados do software é de razoável simplicidade, sendo quase instintiva, fazendo com que os profissionais do ramo possam fazer desta uma ferramenta importante na visualização dos resultados de um crescimento urbano, direcionado pelas regras estabelecidas no Plano Diretor e de fácil manipulação.

O CityZoom tem como plano de entrada de dados gráficos um ambiente próprio com fins de modelagem e, também, com a possibilidade de importar arquivos com a terminação .dxf, que são os arquivos do AutoCad e podem ser editados neste ambiente de modelagem. O que chamou a atenção desta pesquisa é a **interoperabilidade do CityZoom com o AutoCad**, reconhecendo e gerando desenhos neste programa. Fator este ainda não atingido pelo

EnergyPlus, que requer uma entrada do volume numérica, sem a opção de exportar diretamente do AutoCad.

Esta ferramenta é software nacional que aceita as normativas urbanísticas de uma cidade, possibilitando uma visualização em 3D da simulação do crescimento da mesma, segundo estas diretrizes. Sendo assim, ele apresenta-se como um ambiente de simulação que também faz modelagem¹⁰.

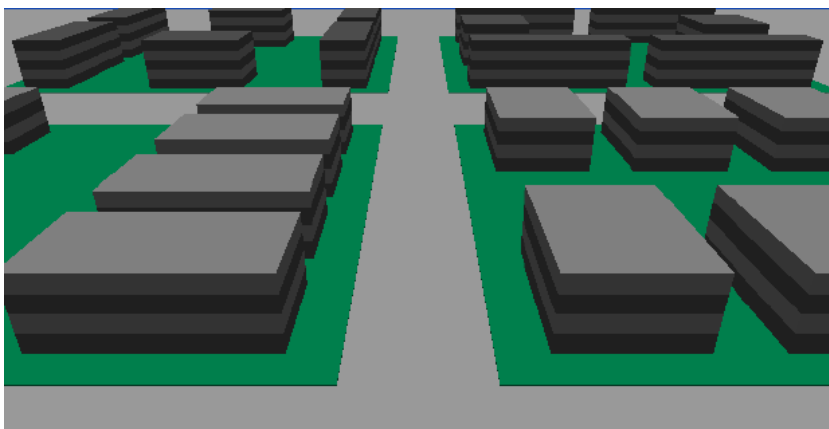


Figura 15 Exemplo de modelagem 3D feita pelo software (GRAZZIOTIN, 2003)

Uma das vantagens desse software é o fato de ser feito aqui no Brasil, e dentro do meio acadêmico, portanto, ainda sem custos para sua utilização em pesquisas acadêmicas. Por ser nacional, tem a vantagem da possibilidade de entrada de dados mais adequados às normativas nacionais.

¹⁰ Modelagem significa a projeção do volume de determinado projeto em planta baixa, assim como a perspectiva à mão-livre pode-se chamar de uma simulação do volume real do projeto dentro dos parâmetros (medidas) pré-estabelecidos;

CAPITULO 3 – ESTUDO DE CASOS

3.1 Eficiência energética em edificações

A maioria dos arquitetos conscientes, que gostariam de projetar uma arquitetura de acordo com meio ambiente na qual esta está inserida e contar com a conseqüente eficiência no consumo de energia elétrica, não sabe como dispor ou utilizar softwares de simulação desenvolvidos para serem ferramentas para o profissional projetista. A importância de se adaptar as ferramentas para este profissional reside exatamente aí, pois é o arquiteto o responsável pela especificação dos materiais do revestimento, assim como pela previsão e especificação do equipamento de climatização instalado.

Podemos citar vários fatores que vêm estimulando em todo o mundo o estudo e a produção de ferramentas que auxiliem na simulação do ambiente projetado, seu desempenho térmico, lumínico e o consumo de energia para gerar conforto. Dentre os quais se destacam:

- o aumento da demanda energética, por conta de nosso estilo de vida cada vez mais dependente de energia, para colocar em funcionamento instrumentos mecânicos para alcançar conforto;
- a escassez no fornecimento de energia elétrica, devido a um baixo investimento em capacidade instalada de energia;
- problemas no desconhecimento do comportamento térmico dos materiais de construção que acabam gerando desconforto térmico nos ambientes;

Inclusive na esfera acadêmica, pode-se notar o aumento de grupos de pesquisa com enfoque no desenvolvimento e pesquisa de ferramentas para projeto de edificações que simulem o consumo energético originado pela potência instalada de climatização, como menciona Lamberts (LAMBERTS, 2001). Estas ferramentas foram apresentadas no capítulo 2 onde foram expostos os softwares de simulação que se teve algum tipo de acesso ou informação.

3.2 Política da eficiência energética em edificações

Na esfera do poder legislativo federal do Brasil, foi aprovada pelo Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE - a versão experimental da Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais e Públicos. Esta regulamentação tem caráter voluntário e entrará em vigor no ano de 2007, data da publicação desta dissertação, e será obrigatório para edifícios públicos e de uso comercial a partir do ano de 2012.

A citada regulamentação federal estabelece os requisitos técnicos necessários para a classificação do nível de eficiência energética dos edifícios classificados como comerciais e públicos buscando uma eficiência energética para este tipo de edificações. Esta regulamentação está norteada por três requisitos básicos:

- eficiência e potência instalada do sistema de iluminação;
- eficiência do sistema de condicionamento do ar;
- desempenho térmico da envoltória do edifício;

Estes requisitos estão regulados pelas características físicas dos materiais de construção e acabamentos definidos no projeto de arquitetura.

A norma brasileira, NBR 15220, em vigor desde maio do ano 2005, apresenta um método simplificado para a avaliação do desempenho térmico de componentes construtivos. Simplificado porque depende apenas do cálculo das propriedades térmicas de cada componente construtivo isoladamente. Além dessa, apresenta-se em fase final de aprovação o projeto de norma de desempenho de edificações de até cinco pavimentos (ABNT,2002a; ABNT, 2002b), que trata especificamente da avaliação térmica dos componentes e das edificações. O projeto de norma de desempenho estabelece valores mínimos de capacidade térmica por dois métodos para a avaliação do desempenho térmico, um a partir de procedimento simplificado, e outro por desempenho a partir de procedimento detalhado.

O método simplificado apresenta parâmetros de capacidade térmica e transmitância térmica. Já o método por desempenho detalhado considera a resposta térmica global de uma edificação composta por vários ambientes e com uma exposição dinâmica a um clima específico.

A avaliação consiste na verificação da temperatura máxima obtida para o dia típico de verão, e da mínima para o dia típico de inverno, e classifica os desempenhos da edificação como mínimo, intermediário ou superior.

3.3 Dados para as simulações

A maioria dos projetistas de arquitetura não tem nenhum conhecimento a respeito da relação entre o consumo da energia elétrica e o clima, ignorando que grande parte deste consumo provém da necessidade de se climatizar o ambiente construído para adaptá-lo ao clima local, de forma a obter conforto para o usuário ou habitante deste espaço. A necessidade e o consumo de energia elétrica acabam sendo detalhes reservados aos engenheiros elétricos, eliminando da mente dos arquitetos qualquer preocupação, assim como responsabilidade por estes. Os arquitetos acabam desconhecendo, assim, os problemas relacionados ao crescente consumo de energia elétrica.

3.3.1 Clima do Rio de Janeiro

Para localizar a cidade de projeto, na maioria dos softwares, é necessário que sejam informadas as coordenadas geográficas do local, pois assim o software estabelece uma conexão com o arquivo climático e pode estabelecer exatamente a localização do projeto. A cidade do Rio de Janeiro está localizada a latitude 22º54'Sul e 43º10' de longitude Oeste. O clima desta região pode ser caracterizado como tropical quente e úmido, como ilustram os dados da figura 15:

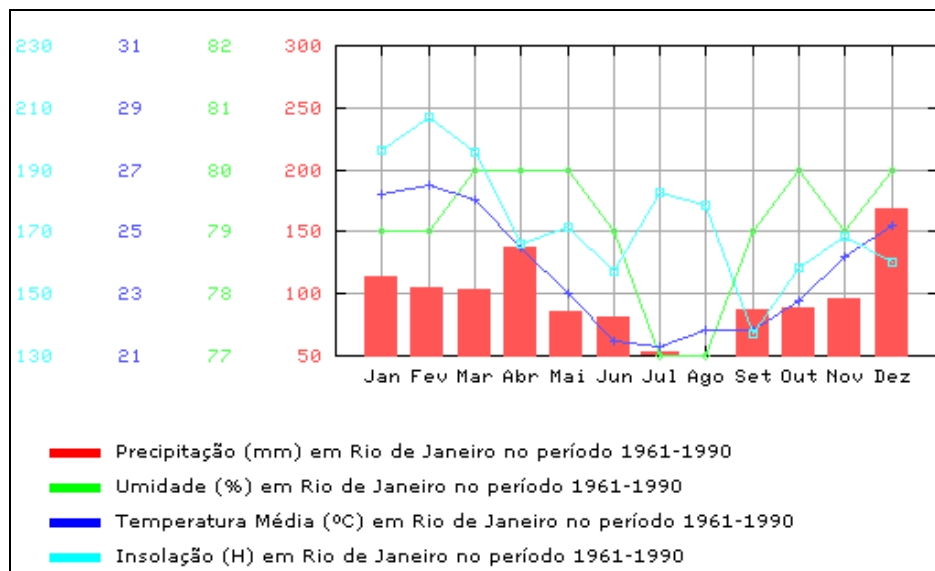


Figura 15 Dados climatológicos do estado do Rio de Janeiro (INMET, 2005)

Para se caracterizar um clima, observa-se o conjunto de todas as variáveis meteorológicas de um local específico. O clima pode ser medido em várias escalas, pois existe o macro e o micro-clima. Existem, também, ilhas de calor, que podem ser formadas pelo grande gabarito de alguns edifícios em grandes núcleos de concentração urbana, localizados na mesma posição geográfica de lugares de temperatura mais fresca. Para este trabalho são consideradas as variáveis climáticas gerais, que influenciam nas estratégias de projeto para o clima tropical úmido. De forma que se propõe que para o projeto adequado de uma arquitetura bioclimática deve-se fazer um estudo mais próximo do lugar para conhecer as particularidades do sítio.

A seguinte Figura 16 ilustra o consumo de energia elétrica, separando de acordo com o uso da edificação. É importante lembrar que as ferramentas de simulação tentam prever o comportamento da edificação¹¹. Vale ressaltar que este consumo se dá, em parte, por equipamentos para produção de conforto e adaptação da construção ao meio ambiente local, e parte corresponde à automatização do cotidiano, ou seja, à adoção de equipamentos eletrônicos para tarefas que antes eram desenvolvidas pelo homem, como portões automáticos por exemplo.

¹¹ Para esta pesquisa observou-se a simulação do comportamento térmico e lumínico dos materiais que compõem a construção.

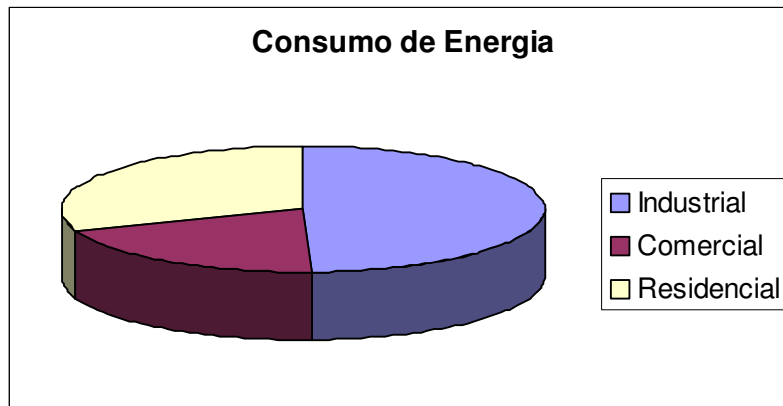


Figura 16 Consumo de energia pelas residências que representa cerca de 30% (ELETROBRÁS, 2003).

Ao final deste capítulo são apresentadas algumas simulações com os softwares, que vêm sendo utilizados e estudados no Brasil e no mundo.

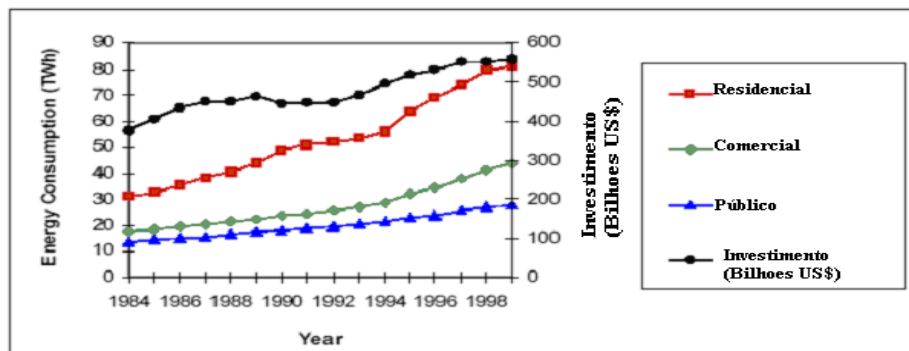


Figura 17 Consumo de energia (eixo y esquerda) nos diversos setores junto à questão do investimento monetário (eixo y direita), com relação aos anos (LAMBERTS, 2001)

A crescente necessidade do aumento da capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil gera grandes prejuízos sociais e ambientais. Diversas são as vantagens de se promover um consumo eficiente de energia pelo edifício, dentre elas podemos destacar a possibilidade da reorientação de verbas federais para o enfoque social de modo a promover um investimento social em saúde e educação para a população.

Como questão importante relacionada ao conforto térmico, aliado à economia de energia, está o estudo da quantificação da radiação solar nos planos do envelope da

construção, podendo-se fazer uso de proteção desta radiação como estratégia de eficiência energética para proteção do mesmo. Em seu livro, Corbella mostra como valores médios de radiação incidente diária de 3,4 KWh/m² de superfície vertical orientada para Leste/Oeste durante o verão (CORBELLA e YANNAS, p.21, 2003).

Para o uso de ferramentas para simulação do comportamento, é fundamental possuir dados climáticos, principalmente os de energia solar global, ou seja, quanto de radiação solar a edificação recebe, para que possam ser feitos os cálculos térmicos. Como Corbella esclarece, é a importância dos dados climáticos para as previsões/ simulações (CORBELLA, 1995).

Contar com dados detalhados e organizados de horas de sol e quantidade de energia recebida do Sol é de fundamental importância para realizar cálculos de carga térmica em projetos de ar-condicionado para sua utilização em projetos de energia solar – para produção de energia útil, térmica ou fotovoltaica –, tanto quanto em projetos de edificações com arquitetura bioclimática para obtenção de conforto térmico. E constituem, ainda, uma base para a geração de dados de radiação solar direta, via modelos matemáticos – utilizáveis em projetos de sistemas geradores de energia elétrica ou mecânica – e de dados para iluminação natural, necessários para projetar edifícios com consciência do meio ambiente (CORBELLA, 1995, n 16, p.131).

Para a utilização dos softwares DOE e EnergyPlus, que podem simular o comportamento de um ambiente construído para um local, aqui no Rio de Janeiro, Brasil, existia uma ausência de arquivos climáticos, utilizados por estes softwares, para executar a simulação. Somente em 1997, foi disponibilizado o primeiro arquivo climático TRY – Test Reference Year (diferente do citado anteriormente), para 14 cidades brasileiras, dentre elas o Rio de Janeiro (UFSC, 1997). Este tipo de arquivo é necessário para fornecer aos softwares, que necessitam desta linguagem, os dados do clima da região.

3.3.2 Inserção do Modelo Arquitetônico

Buscamos avaliar, das ferramentas pesquisadas, as que conseguem obter uma melhor interação com as ferramentas utilizadas pelos arquitetos para o processo de modelagem, ou

visualização da forma ou decisões adotadas pelo projeto de arquitetura. Pois os planos, sua orientação e inclinação, também são muito importantes no aspecto térmico e lumínico de uma edificação. A geometria afeta diretamente o impacto do meio no espaço projetado, influenciando nas exigências de esfriamento ou aquecimento como coloca Brown em seu livro (BROWN, 2004, p.68).

Com as ferramentas aqui apresentadas, no final deste capítulo, são feitas algumas simulações para experimentar os softwares que vêm sendo utilizados e estudados, no Brasil e no mundo, de forma a investigar os que têm, inserido na sua programação, as fórmulas para o cálculo do desempenho térmico dos projetos compatíveis com a localização, no caso do Rio de Janeiro. Foram estudados softwares que apenas simulam uma geometria simplificada do modelo real do projeto, e outros que aceitam uma geometria mais detalhada, porém de forma excessivamente trabalhosa para sua inserção. Vale comentar que alguns dos softwares desenvolvidos em países do hemisfério Norte não aceitam os arquivos climáticos do Brasil, mas estes pontos serão melhor abordados no último capítulo desta dissertação, onde são concluídas as análises dos softwares.

O impacto da radiação na construção dependerá tanto de sua plástica, a forma do modelo arquitetônico projetado, quanto de sua composição. Cada material específico tem um comportamento — veremos mais detalhadamente no próximo tópico deste capítulo.

3.3.3 Características das Superfícies e Materiais de Construção Civil

Como apresenta Corbella, o conhecimento das propriedades físicas dos materiais, e das leis físicas de trocas térmicas, nos dá a possibilidade de simular a resposta do ambiente interno, projetado, com relação às variações do clima externo (CORBELLA e YANNAS, 2003, p.44), podendo propor isolamentos ou não, para que o espaço interno esteja adequado às necessidades de conforto do seu usuário. Para uma análise detalhada das características do envelope da edificação, utilizam-se programas de computador que já têm, inserido, as fórmulas para o cálculo das trocas entre o meio externo e o interno de acordo com as propriedades térmicas dos materiais construtivos especificados, das propriedades óticas das superfícies e aberturas, as áreas destes, entre outras. A intenção é de facilitar para o arquiteto a inserção das questões técnicas relativas aos conceitos físicos dos materiais.

A avaliação consiste na verificação da temperatura máxima obtida para um dia típico de verão e da mínima para um dia típico de inverno, e classifica os desempenhos da edificação como mínimo, intermediário ou superior. Para a obtenção destes dados são indicados os programas de simulação aceitos pela ASHRAE¹².

No Rio de Janeiro os materiais mais especificados, cerca de 80% segundo o caderno 6, para a construção de paredes e fechamentos em geral, são os tijolos cerâmicos ou blocos de concreto (CORBELLA e STANGENHAUS, Caderno 6, 1999, p.9). Neste caderno encontramos as definições dos parâmetros térmicos adotados pelas fórmulas de simulação do comportamento térmico das diferentes zonas. Os softwares europeus como o CASAMO e o LesoCool adotam diferentes parâmetros térmicos dos materiais para o cálculo de carga térmica, são eles:

PARÂMETRO	DEFINIÇÃO	TIJOLO CERÂMICO	BLOCO DE CONCRETO
Difusividade	dado em m^2/s , é a propriedade vinculada à propagação de uma onda de temperatura em um meio	6,09	8,83
Efusividade	dada em $j/m^2 \text{ } ^\circ C s^{1/2}$, é a capacidade de um material de absorver e restituir energia térmica do ar que rodeia sua superfície	860	1360

Tabela 1 Parâmetros técnicos adotados pelo CASAMO e Lesocool

¹² American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers

3.4 Simulações Escolha do Protótipo

A escolha de uma sala comercial para este estudo se deve ao fato de que a legislação, que entrará em vigor daqui a sete anos, exige o cálculo da previsão do custo de manutenção para obtenção de conforto térmico para os usuários de ambientes comerciais como salas de escritórios. Este custo pode ser apontado pelo valor investido nos equipamentos de climatização e também pelo custo da energia elétrica necessária para o funcionamento destes equipamentos.

Sala Comercial – estudo dos materiais construtivos, que já foram apresentados como os mais usuais, dos fechamentos e das superfícies. O modelo é de uma sala comercial pequena, que tem uma ocupação média de duas pessoas, porém, para esta simulação, o calor gerado pelas pessoas foi desconsiderado. Para este estudo, foram simulados os comportamentos térmicos dos materiais que são comumente adotados para o fechamento de salas comerciais, como apresentado no ponto 3.2 deste capítulo.

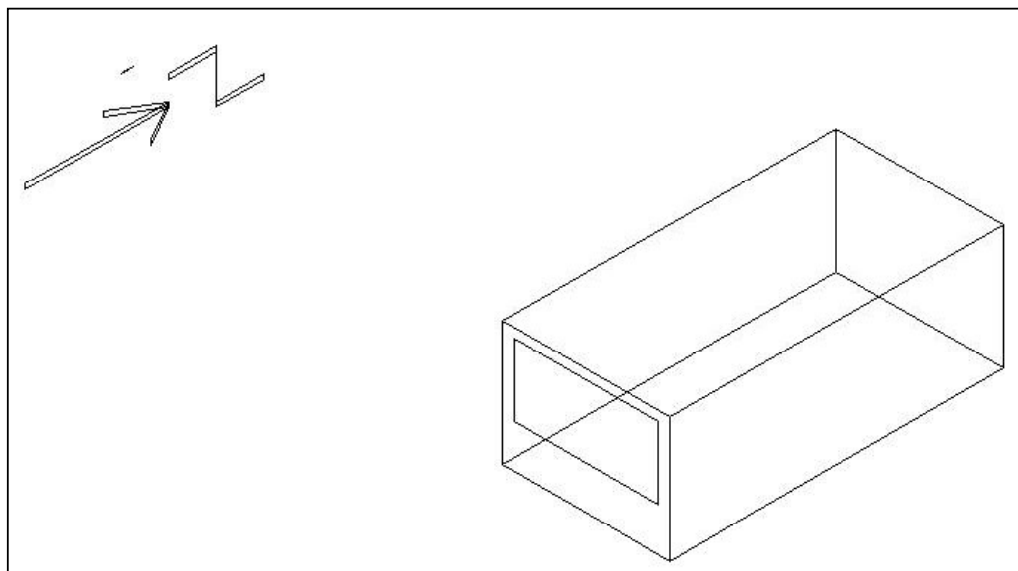


Figura 18 Desenho gerado no software AutoCad para simulação da sala comercial de 3,50m de fachada por 7m de profundidade com janela de 3m de largura por 1,50m de altura.

Para esta simulação a parede que contém a janela é considerada como ambiente externo e as demais paredes assim como piso e teto, foram consideradas com valor de temperatura constante.

3.4.1 Teste monozona com o software Energy Plus

Nome da Simulação: Sala Comercial 908

Materiais de Construção Simulados:

PAREDES

Bloco de Concreto Furado

10 cm de espessura

Poroso

Condutividade: 1,28 W/m-K

Densidade: 1450 Kg/m³

Calor Específico: 1000 J/Kg-K

Absortância Térmica: 0,9

Absortância Solar: 0,2

Absortância Visível: 0,2

PISO E TETO

Concreto Maciço

10cm de espessura

Condutividade: 1,75 W/m-K

Densidade: 2400Kg/m³

Calor Específico: 1000 J/Kg-K

Absortância Térmica: 0,9

Absortância Solar: 0,8

Absortância Visível: 0,8

3.4.2 Teste monozona no software Casamo-Clim

Nome da Simulação: Sala 01

Foi simulado o mesmo protótipo da figura 18

Materiais de Construção Simulados¹³:

PAREDES

Bloco de Concreto

10 cm de espessura

Condutividade: 1,28 W/m-°C

Densidade: 1764 Kg/m³

Calor Específico: 1000 J/Kg-°C

Absortância Solar: 0,97

PISO E TETO

Concreto Maciço

10cm de espessura

Condutividade:1,75 W/m-°C

Densidade: 2400Kg/m³

Calor Específico: 1 J/Kg-°C

Absortância Solar: 0,8

Os resultados numéricos obtidos na simulação do software CASAMO foram inseridos no Excel para obtenção da planilha apresentada e, então, a visualização dos resultados se dá de forma gráfica e podem ser observados no próximo tópico deste capítulo.

¹³ Segundo as características exigidas pela norma brasileira NBR 15220 (ABNT, 2005b), em vigor desde maio de 2005, apresenta-se um método simplificado de avaliação do desempenho térmico de componentes construtivos. O método consiste de recomendações de limites para as propriedades térmicas de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar.

3.4.3 Comparação entre as simulações do EnergyPlus e do CASAMO

A partir das simulações feitas nos dois programas podem-se comparar os resultados apresentados. Esta comparação pode ser importante, pois o software CASAMO já foi estudado por vários arquitetos e, sendo assim, recomendado por estes. O objetivo deste trabalho é aproximar da rotina do arquiteto uma ferramenta que possibilite a visualização do comportamento térmico dos projetos. Para tanto, é necessário que esta estabeleça, de alguma forma, uma relação com as ferramentas já incorporadas a essa rotina. O software de simulação mais atualizado, dentre os pesquisados, é o EnergyPlus. O estudo dos resultados do EnergyPlus e do CASAMO pretende estabelecer um método de comparação entre estes, pois se deve substituir uma tecnologia mais antiga por uma mais atual, que estabeleça uma interoperabilidade com as outras ferramentas já cotidianas.

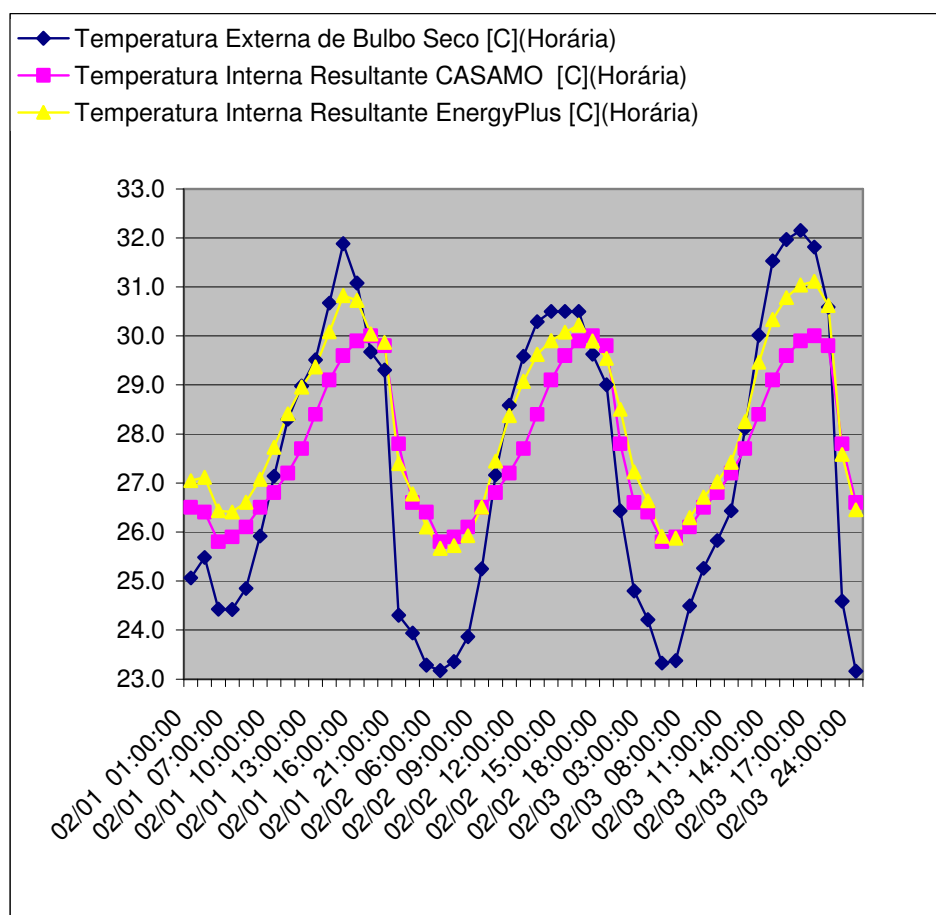


Figura 19 Comparação dos resultados do CASAMO e do EnergyPlus efetuada no Excel.

3.5 Edifício Comercial – estudo da transferência de temperatura entre diferentes zonas com o software EnergyPlus

Simulações de 7 zonas com o software EnergyPlus versão 1.2.3

Como variáveis para o estudo foram simuladas:

- Simulação 1 – temperatura resultante interna das 7 zonas de acordo com os dados de materiais apresentados na tabela X.
- Simulação 2 - abertura de novas janelas nas Zonas 03 e 07. Essas janelas têm 3,00m de largura por 1,50m de altura 1m de peitoril.
- Simulação 3 - modificou-se a orientação das zonas, para que as fachadas das Zonas 01, 02 e 03 ficassem voltadas para o Norte, e verificar este resultado.
- Simulação 4 - propôs-se a inclusão de 2 pessoas, iluminação e equipamentos dentro das Zonas 02 e 07. Nesta simulação as pessoas permanecem no local utilizando energia elétrica durante 8hs com um intervalo de 2hs para almoço.
- Simulação 5 – acrescentou-se um aparelho de ar-condicionado de 9.000Btu/h em duas zonas - a Zona 01 e a Zona 06 - o aparelho fica ligado durante o mesmo período de 8hs de trabalho, com um intervalo de 2hs para almoço.
- Simulação 6 – modificou-se a orientação das zonas, para que as fachadas das Zonas 01, 02 e 03 ficassem votadas para o Norte e os resultados pudessem ser comparados.

Vale esclarecer que esta série de simulações foi cumulativa para a análise da influência do comportamento de uma zona em outra adjacente. Ou seja, partindo do protótipo inicial apenas com a especificação da geometria, superfícies, materiais da construção e das aberturas. A partir daí, são experimentadas as proposições de ocupação e uso de equipamentos elétricos para o conforto do usuário.

Não se propõe em ser uma série de simulações próprias para a avaliação do consumo de energia elétrica, mas apenas um estudo de utilização do software EnergyPlus. Com estas variações, buscou-se explorar a inserção dos dados nos softwares e a obtenção de respostas. Conclui-se que sem uma interface amigável, como busca o E2AC, apesar das limitações apresentadas, a fase de inserção de dados torna-se confusa e cansativa para a obtenção de respostas simples. Este trabalho espera auxiliar na construção de uma ferramenta adaptada aos cálculos necessários e aos profissionais arquitetos.

Teste Multizona no Software Energy Plus

Simulação 1

Nome da Simulação: Salas Comerciais

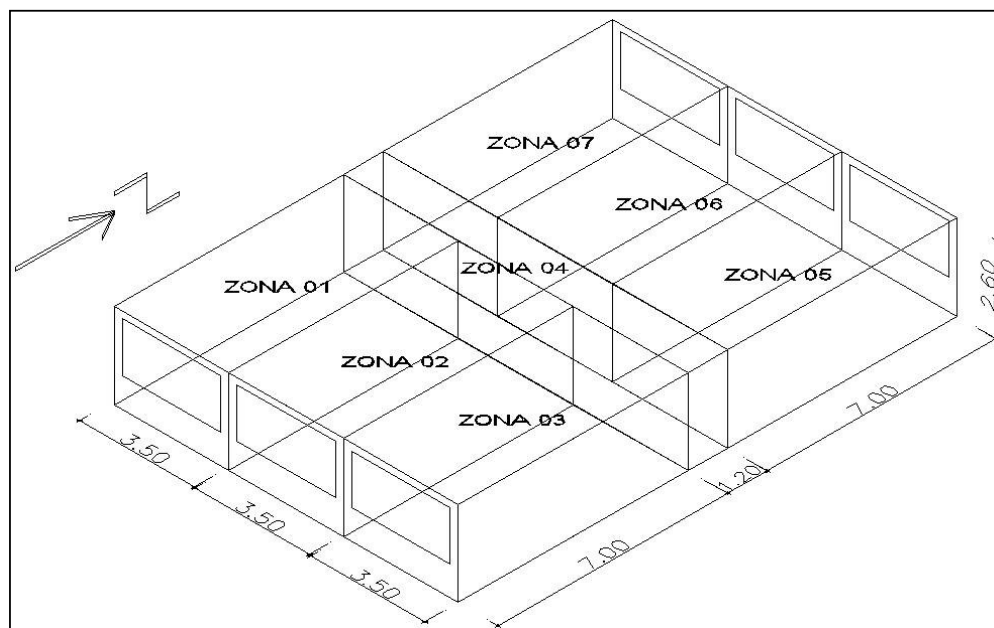


Figura 20 Desenho gerado pela simulação no software de seis salas comerciais de 3,50m de fachada por 7,00m de profundidade, 2,60m de pé-direito e com uma janela de 3,00m de largura por 1,50m de altura, e um corredor com 1,20m de largura.

A simulação 1 buscou simular resultados da temperatura interna das diferentes zonas apresentadas na , de acordo com os seguintes materiais especificados.

Materiais de Construção Simulados:

PAREDES BRANCAS DE TIJOLO DE CERÂMICA FURADO	PISO E TETO DE CERÂMICA
10cm de espessura	10cm de espessura
Condutividade: 1,28 W/m-K	Condutividade: 1,75 W/m-K
Densidade: 1450 Kg/m ³	Densidade: 2400 Kg/m ³
Calor Específico: 1,00 J/Kg-K	Calor Específico: 1,00 J/Kg-K
Absortância Térmica: 0,9	Absortância Térmica: 0,9
Absortância Solar: 0,2	Absortância Solar: 0,8
Absortância Visível: 0,2	Absortância Visível: 0,8

Tabela 2 Propriedades físicas dos materiais utilizados para as simulações no EnergyPlus

Resultados Encontrados:

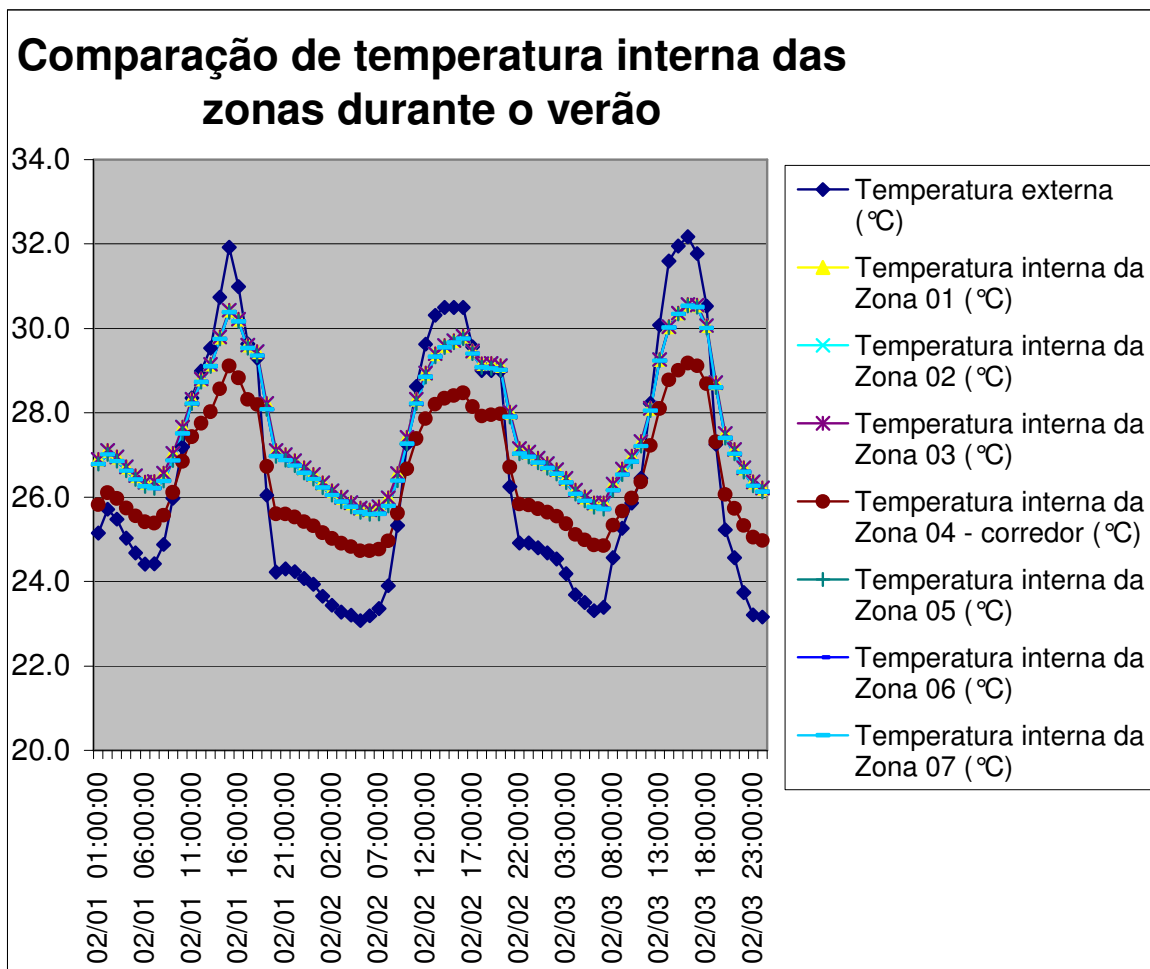


Figura 21 Gráficos das temperaturas resultantes internas das 7 zonas e a temperatura externa para os dias simulados: 1, 2 e 3 de fevereiro, período de verão.

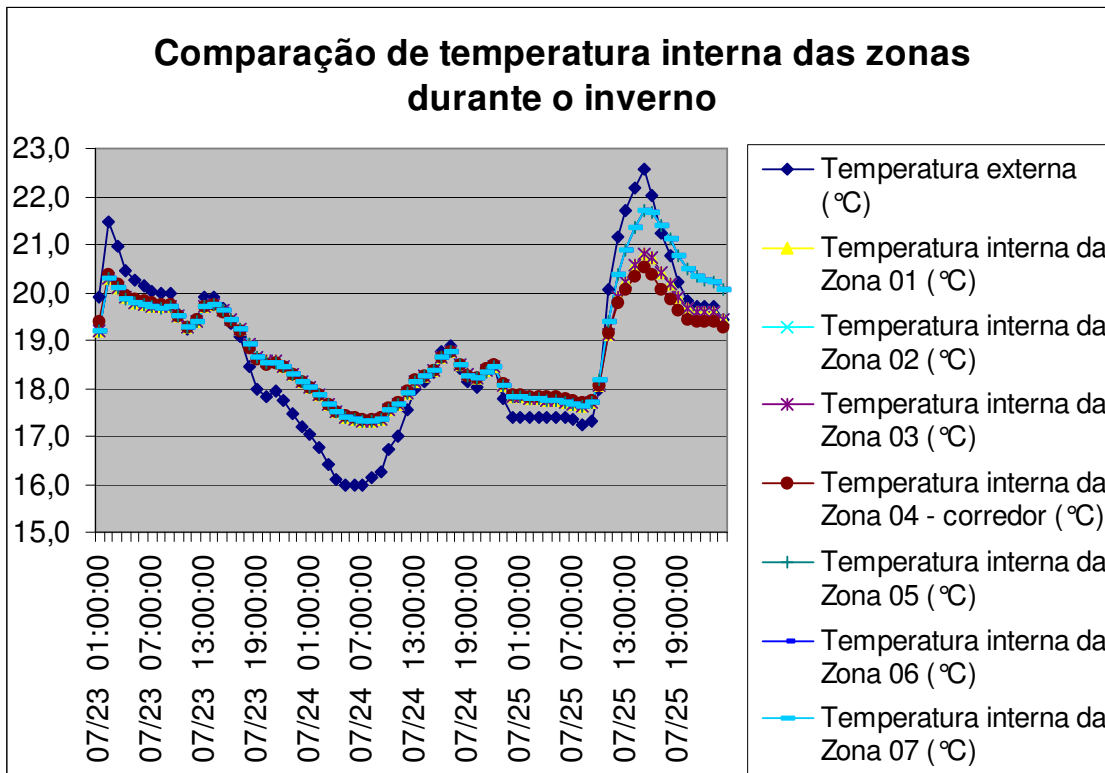


Figura 22 Gráficos das temperaturas internas de todas as zonas e a temperatura externa para os dias simulados 23, 24 e 25 de julho, período de inverno.

Nestes resultados pode-se observar uma maior inércia que o software apresenta na zona 04, que seria o corredor do edifício comercial, o ambiente mais isolado e sem contato direto com o ambiente externo.

Para as próximas simulações serão inseridos dados de novos elementos dentro das zonas, exceto na Zona 05 que continuará sem pessoas, luz, eletrodomésticos, etc, com isso pode-se observar os diferentes comportamentos dessa zona.

Para uma melhor análise do resultado a Zona 05 foi destacada na próxima figura:

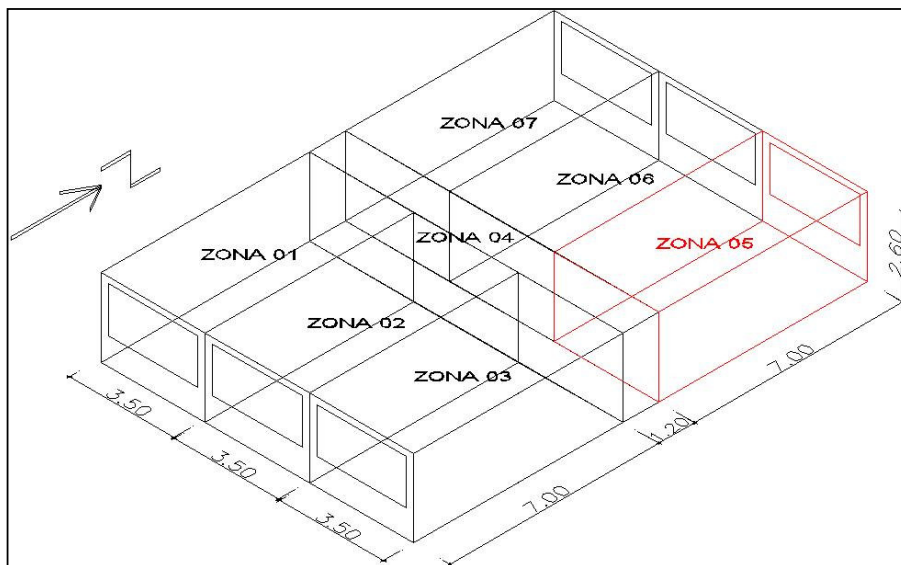


Figura 23 Desenho das Zonas simuladas com a Zona 5 destacada das demais

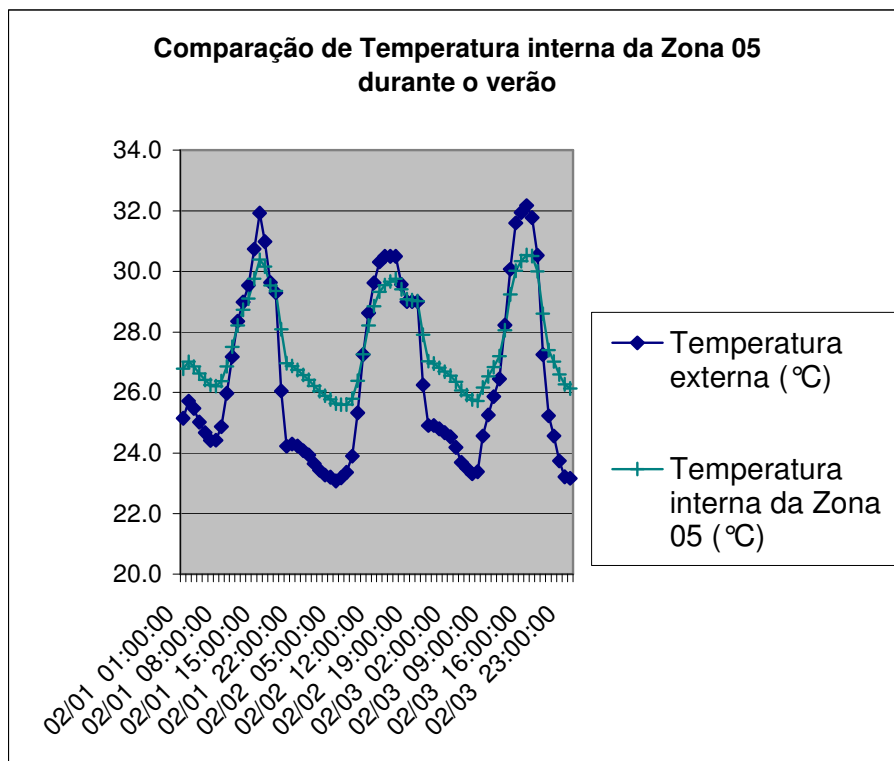


Figura 24 Resultado da simulação 1, caso de verão, destacando apenas a Zona 5.

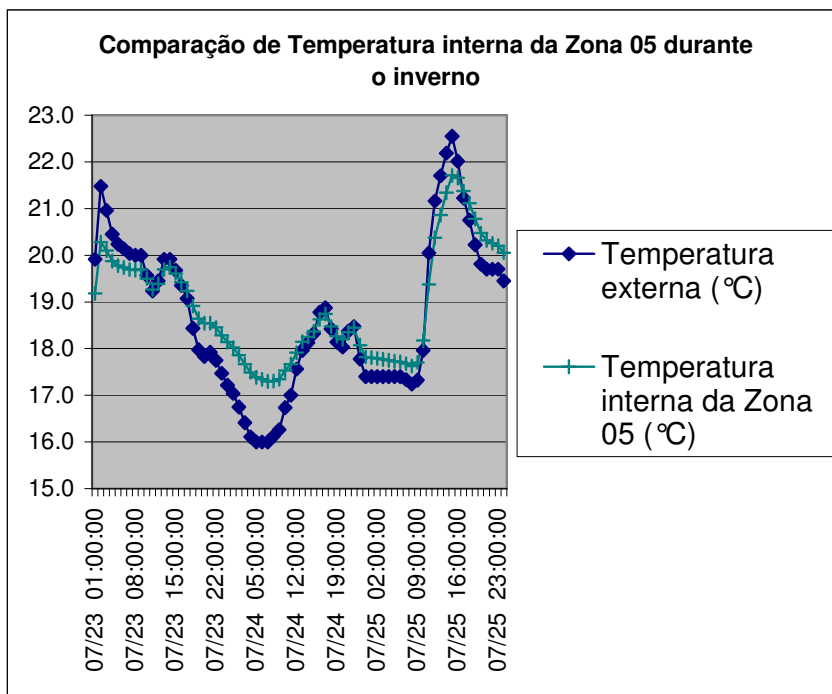


Figura 25 Resultado da simulação 1, caso de inverno, destacando apenas a Zona 5.

Simulação 2:

Para essa simulação acrescentaram-se novas janelas nas Zonas 03 e 07, essas janelas possuem a dimensão de 3,00m de largura por 1,50m de altura, com 1m de altura de peitoril.

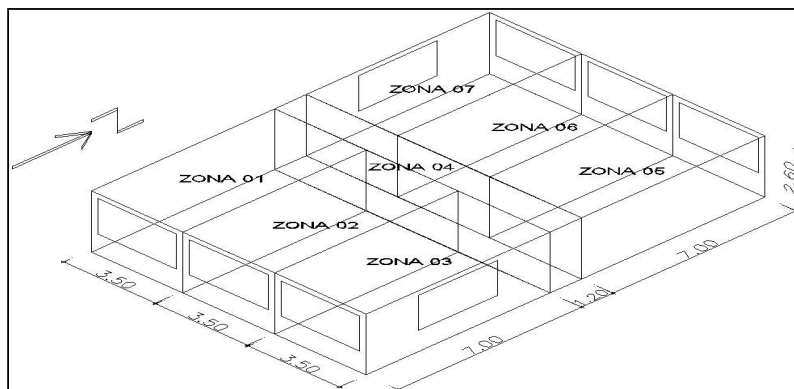


Figura 26 Desenho gerado pelo EnergyPlus, das zonas com as novas janelas nas zonas 07 e 03 e inserção dos nomes das zonas em software outro de edição de imagens, wspaint do windows

Resultados Encontrados:

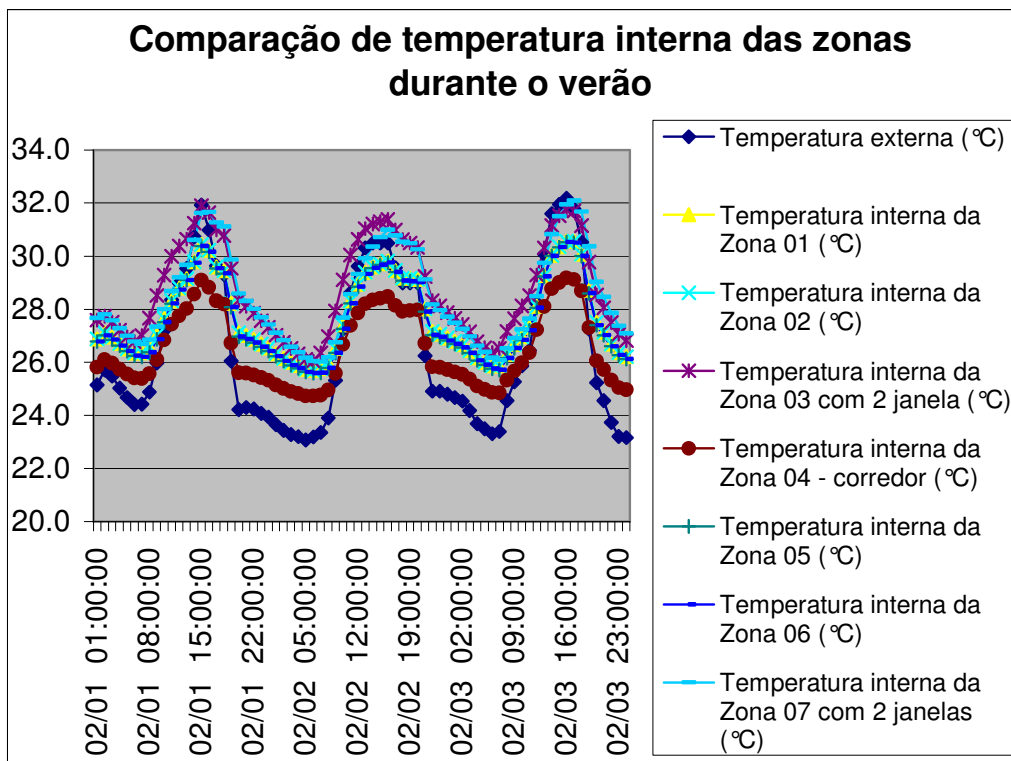


Figura 27 Resultado da simulação 2, caso de verão, com novas janelas nas zonas 03 e 07.

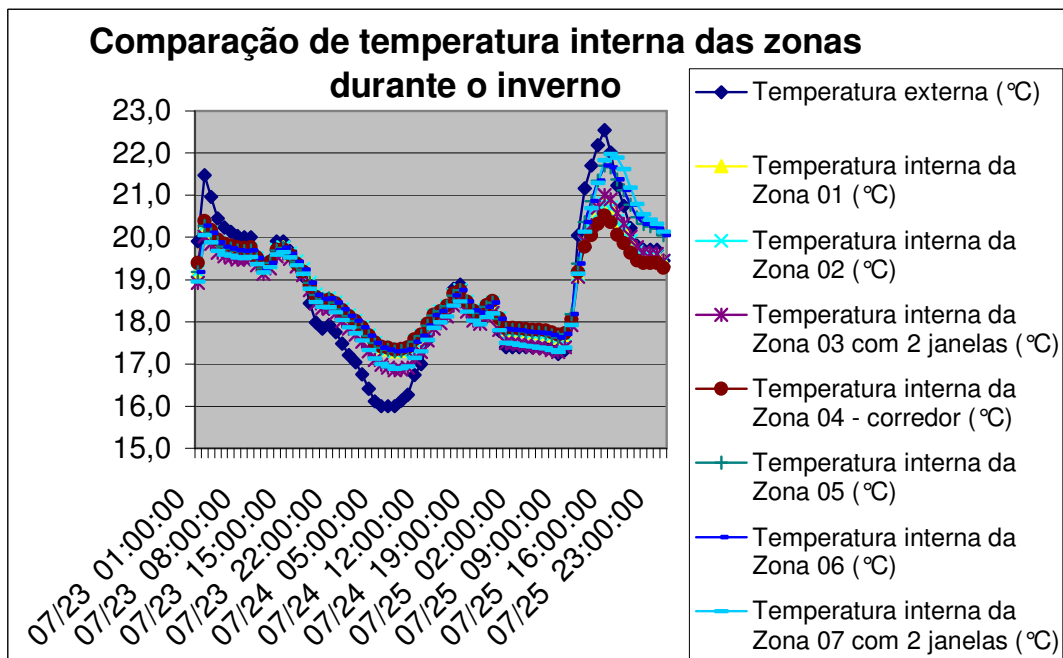


Figura 28 Resultado da simulação 2, caso de verão, com novas janelas nas zonas 03 e 07.

Destacando as duas zonas modificadas:
ZONA 03

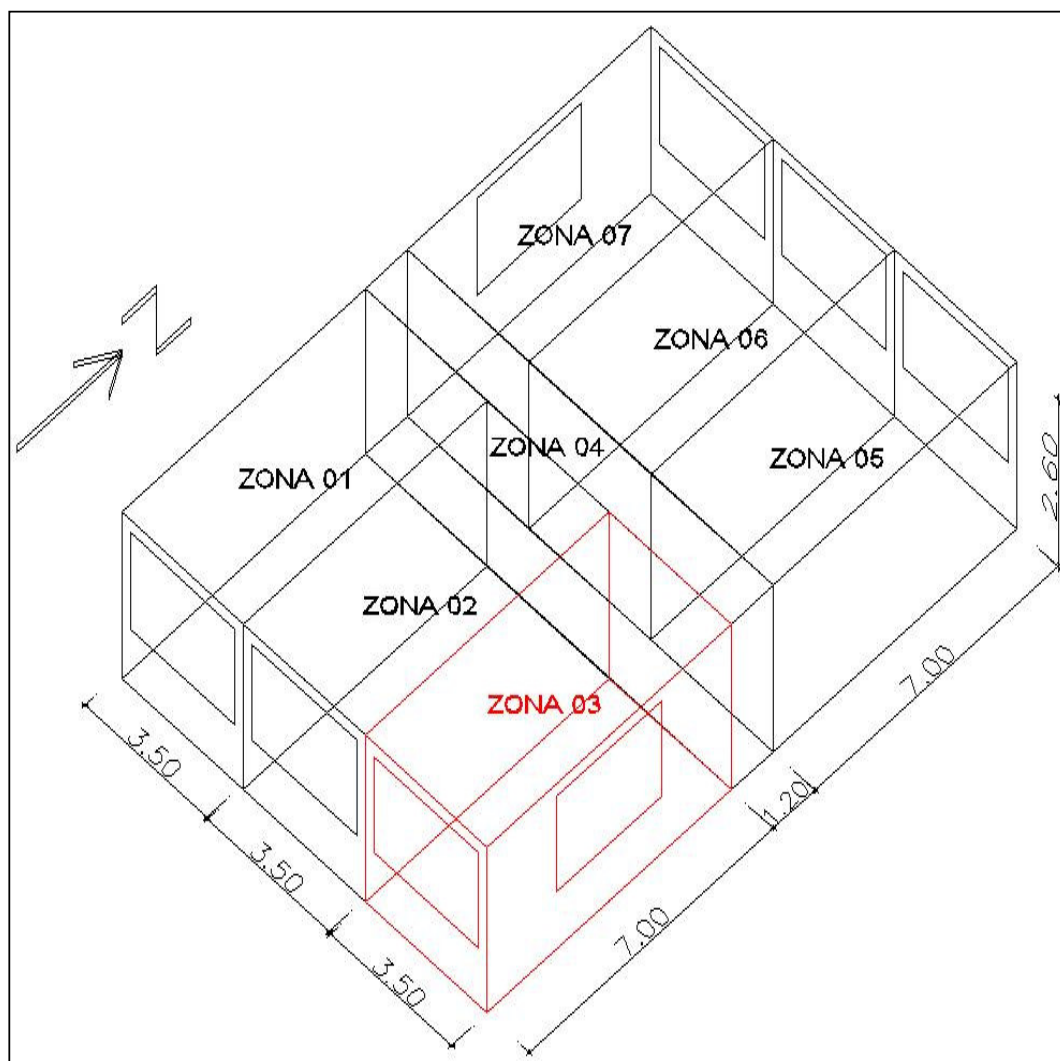


Figura 29 Desenho destacando a Zona 03.

Destacamos a zona 3 para uma comparação mais aproximada da influencia da abertura de mais uma área envidraçada no comportamento térmico desta zona com relação aos dados, de temperaturas externos.

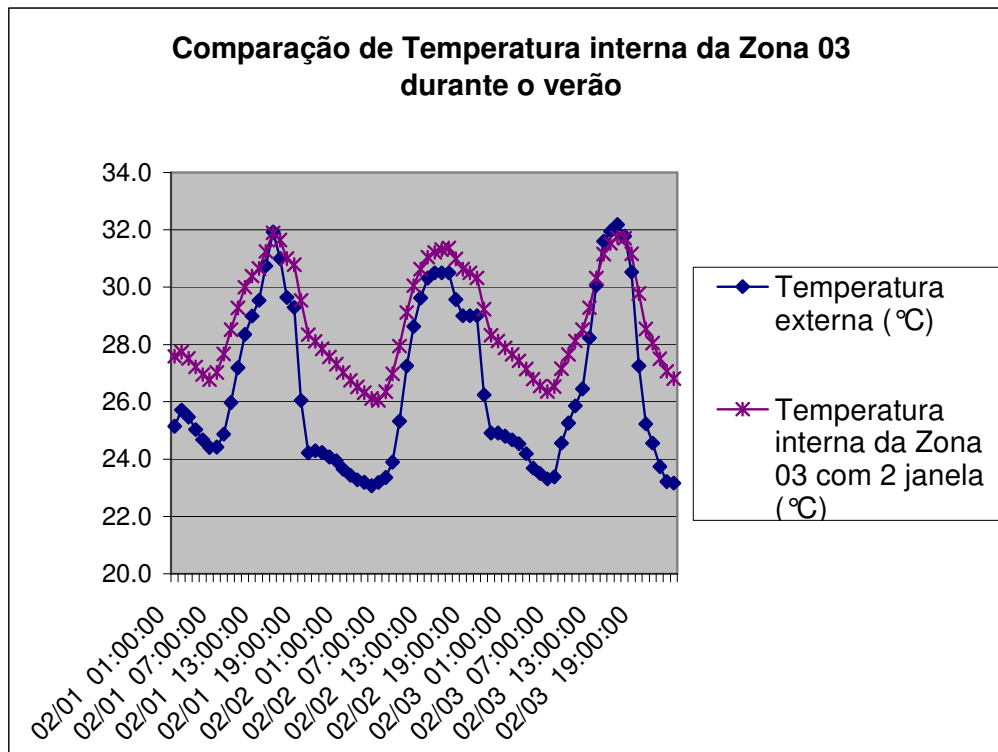


Figura 30 Resultado da simulação apenas da Zona 03, caso de verão.

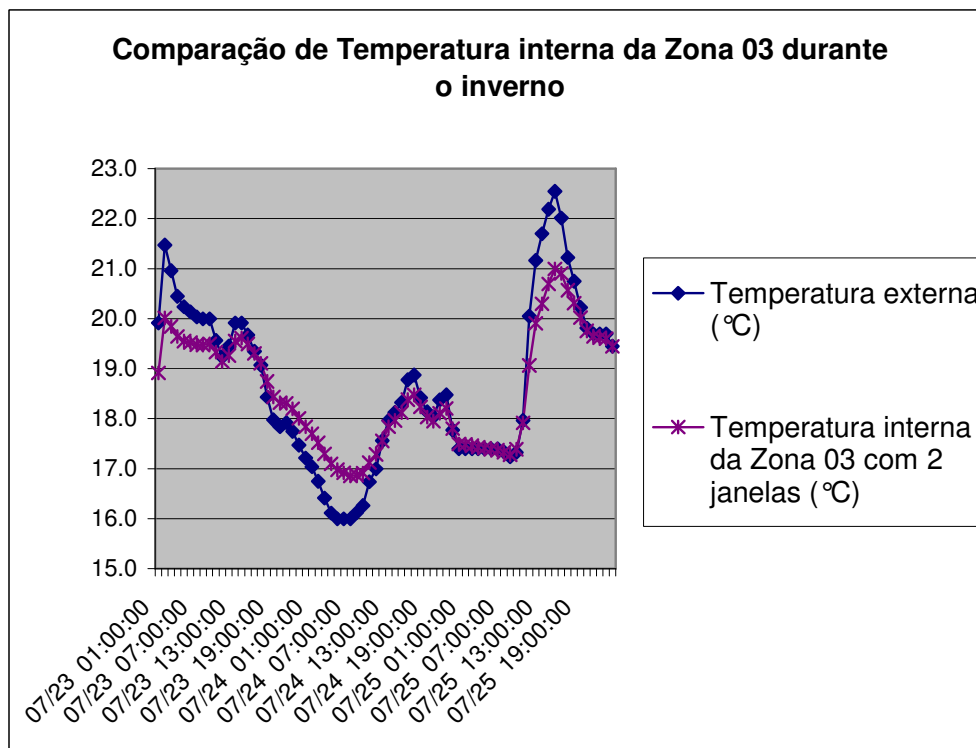


Figura 31 Resultado da simulação apenas da Zona 03, caso de inverno

Simulação 2

ZONA 07:

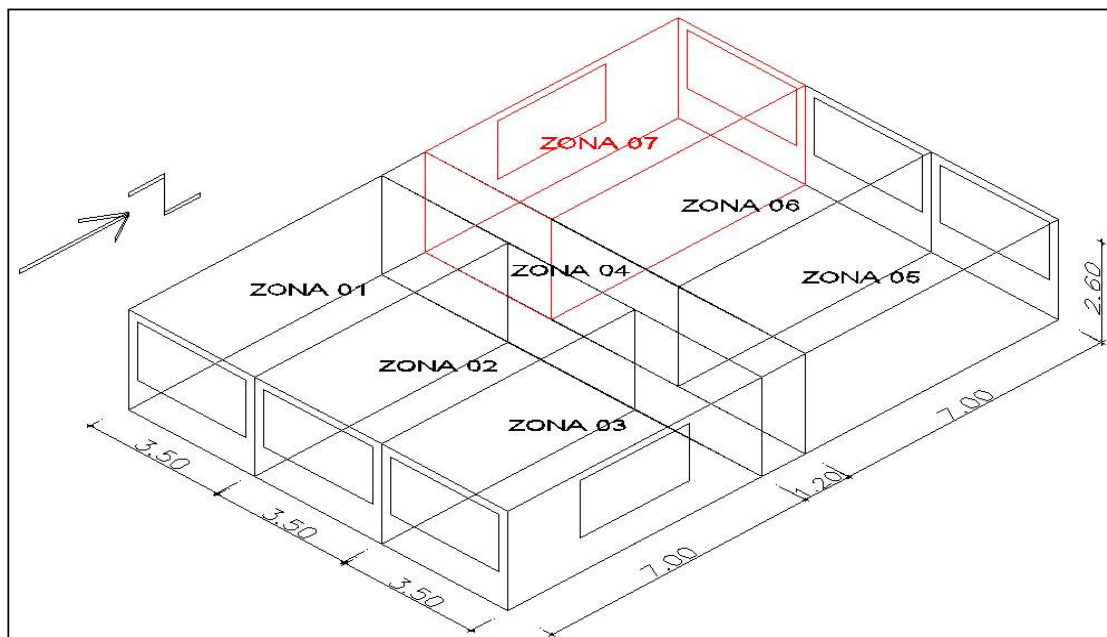


Figura 32 Desenho gerado pelo EnergyPlus com a Zona 07 em destaque

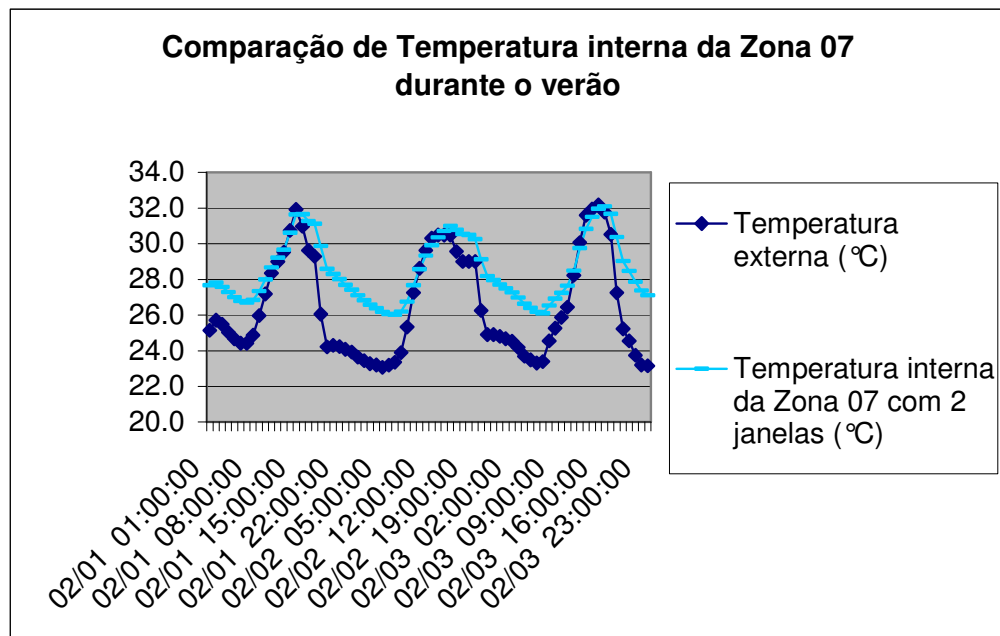


Figura 33 Resultado da simulação apenas da Zona 07, caso de verão.

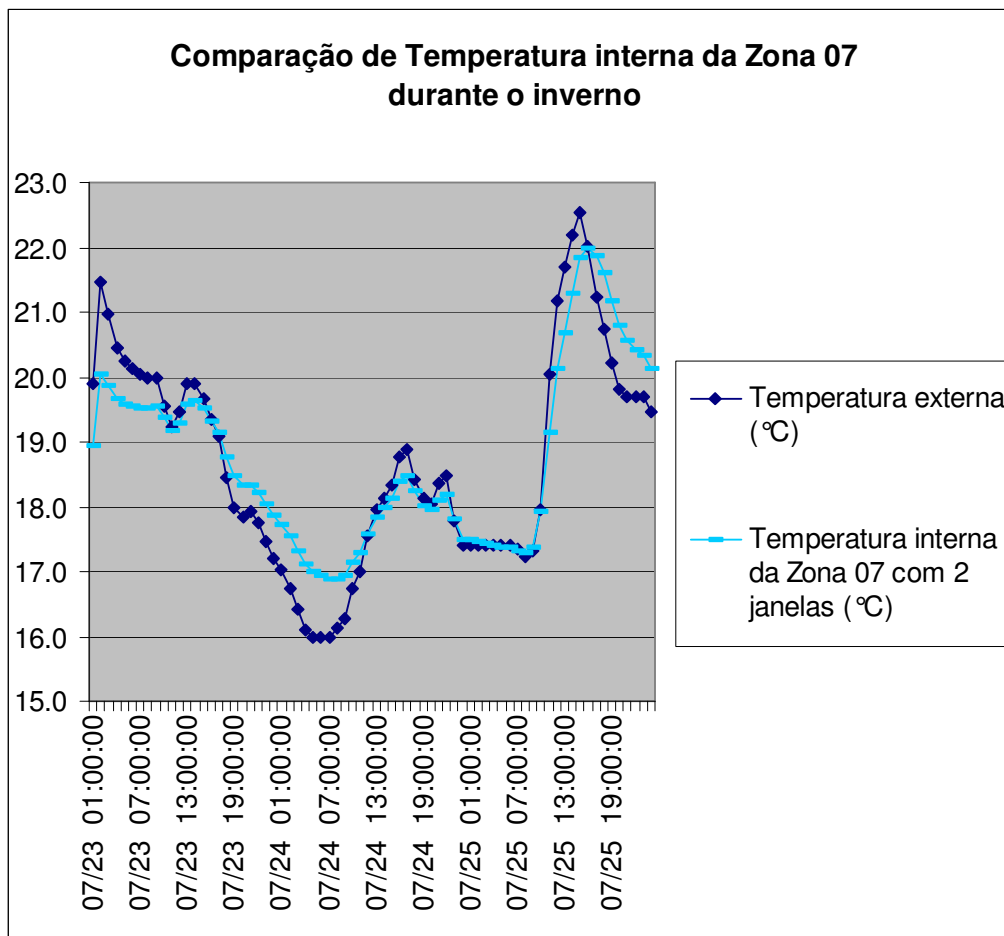


Figura 34 Resultado da simulação apenas da Zona 07, caso de inverno.

Assim como na Zona 03 estes resultados, da Zona 07, foram destacados para uma melhor compreensão do comportamento térmico desta zona. Pode-se então avaliar as perdas ou ganhos, de uma modificação feita no projeto. Pretende-se facilitar a tomada de decisões e estratégias de conforto no projeto arquitetônico que refletirão no consumo de energia elétrica.

Simulação 3:

Nessa simulação modificou-se a orientação das zonas, girando os ambientes para que as fachadas das Zonas 01, 02 e 03 ficassem orientadas para o Norte.

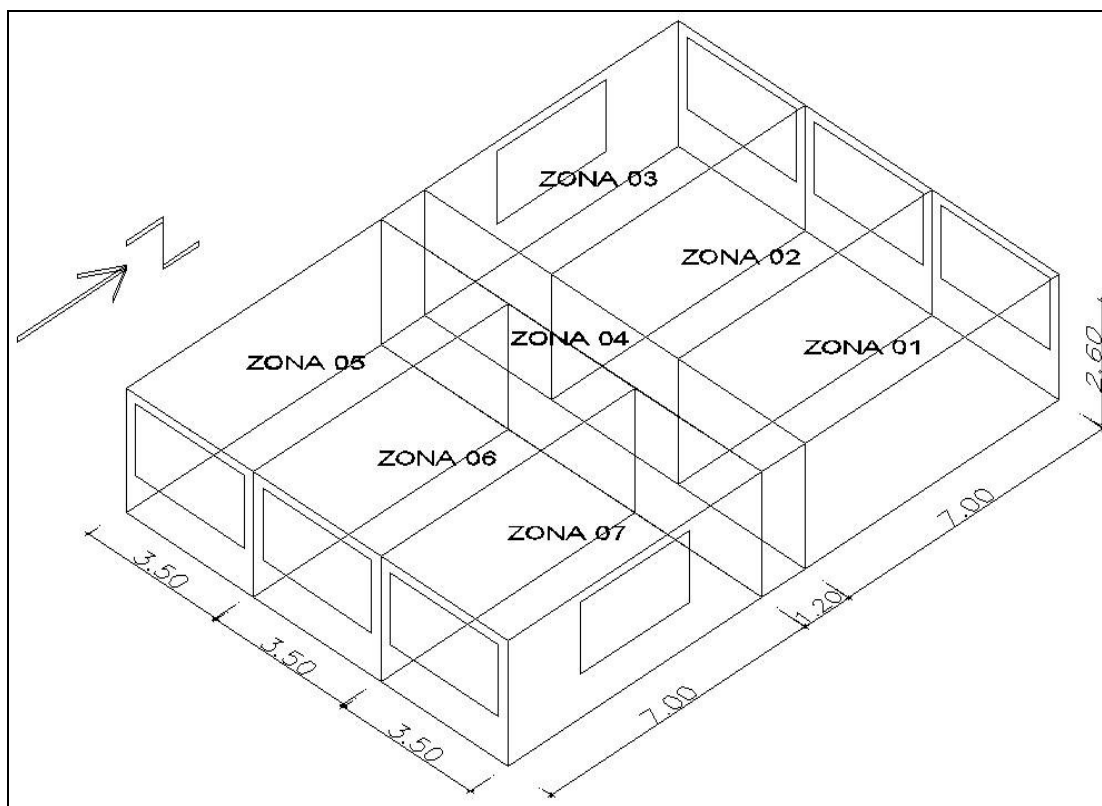


Figura 35 Desenho gerado pelo EnergyPlus, com a nova orientação das zonas

Com esta modificação pretende-se estudar a influência da orientação, no comportamento de uma mesma zona porém com orientação oposta.

Resultados Encontrados:

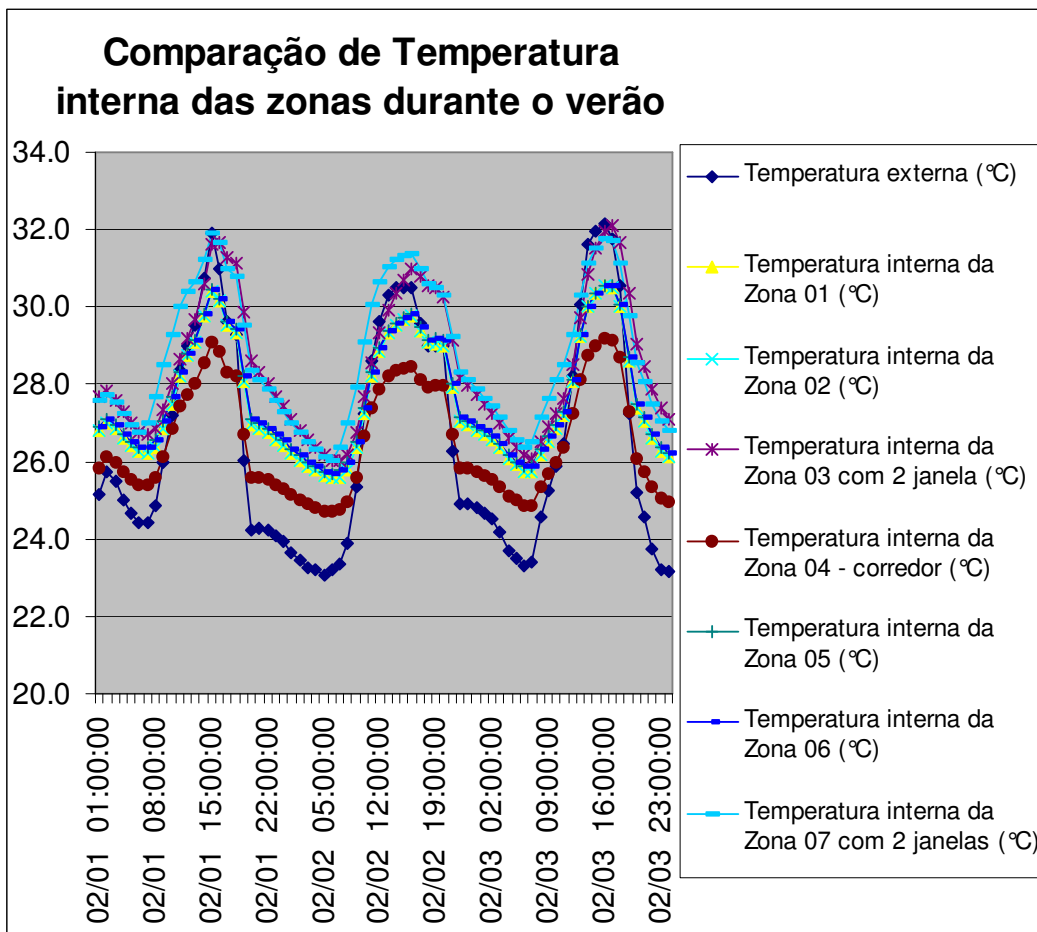


Figura 36 Resultado da simulação 3, com a temperatura das zonas, para o caso de verão.

Nesta simulação deve-se comparar estes resultados com os obtido na simulação 1 página 65 desta dissertação pois foram especificados os mesmos materiais para a construção, com os dados físicos contidos na Tabela 2, da página 64. Pode-se perceber que a temperatura da Zona 04, correspondente ao corredor deste edifício comercial, manteve-se idêntica pois foi informado ao software, que esta zona encontra-se isolada do exterior por outras zonas .

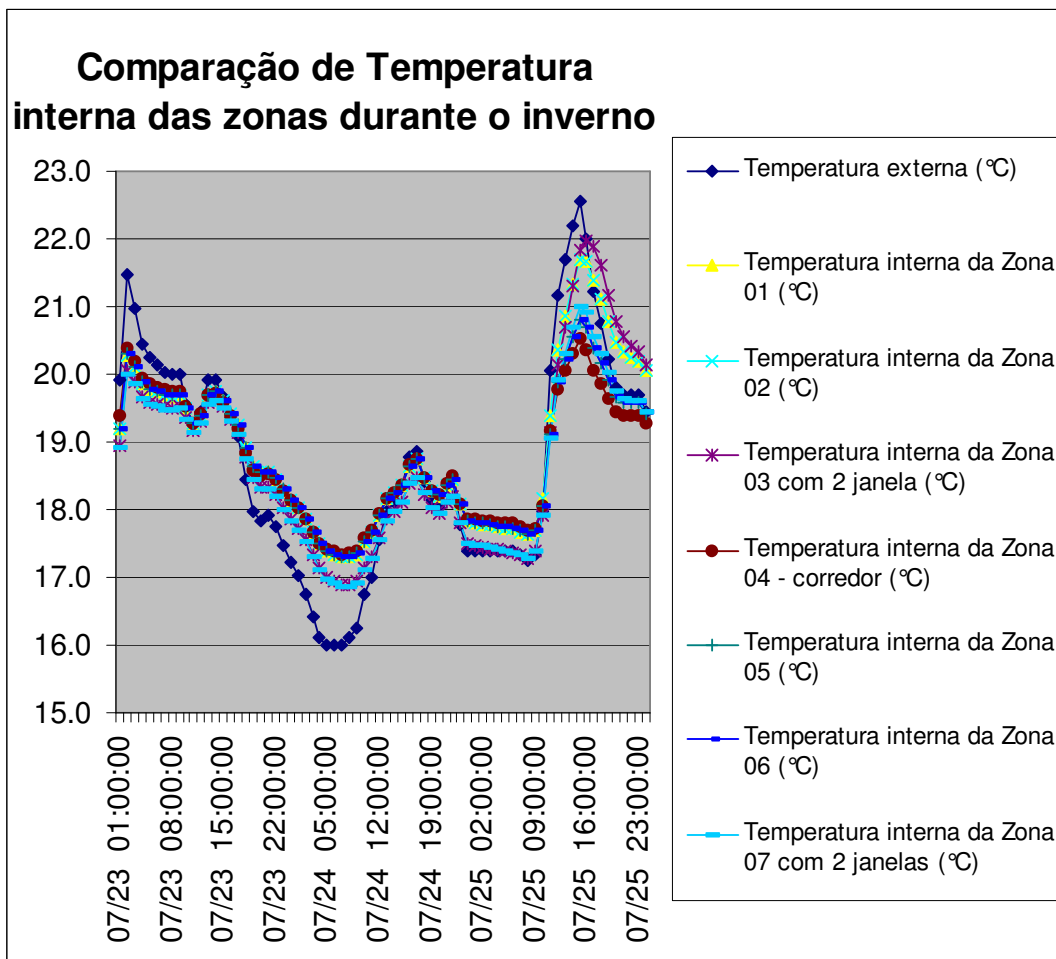


Figura 37 Resultado da simulação 3, com a temperatura das zonas, para o caso de inverno .

Simulação 4:

Para essa simulação acrescentaram-se 2 pessoas, iluminação e equipamentos dentro das Zonas 02 e 07; nessa simulação as pessoas permanecem no local utilizando energia elétrica durante 8hs com um intervalo de 2hs para almoço.

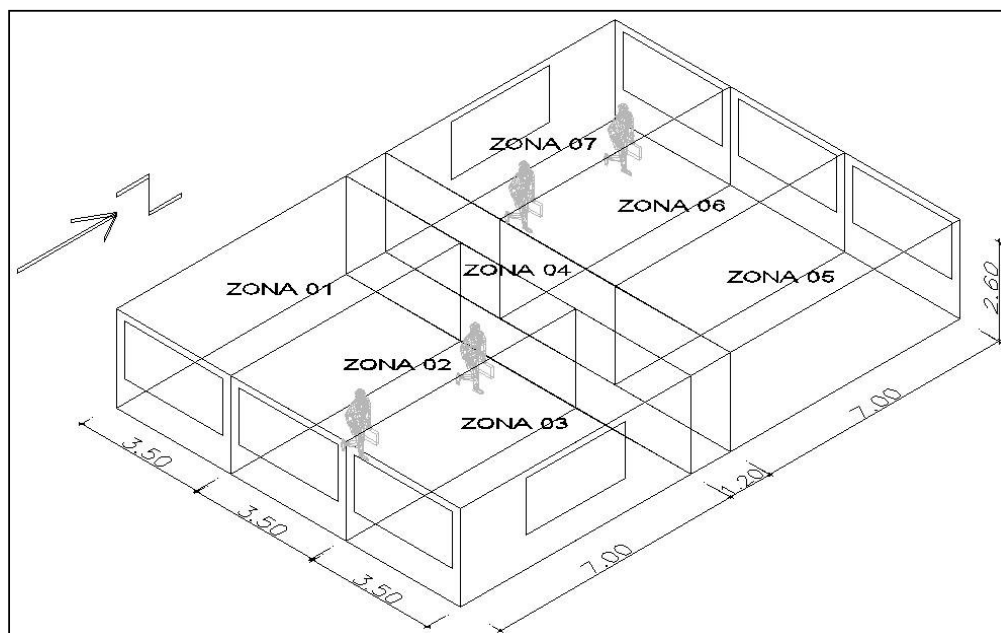


Figura 38 Desenho gerado pelo EnergyPlus com as Zonas 02 e 07 com 2 ocupantes cada

A figura 38 pretende ilustrar que para esta simulação foram inseridos os dados correspondentes ao comportamento térmico de duas pessoas em período de trabalho, o que corresponderia a ocupação de uma sala comercial. Vale informar que o software não produz esta figura diretamente e que o desenho representativo de pessoas foi criado em outro software.

Resultados Encontrados:

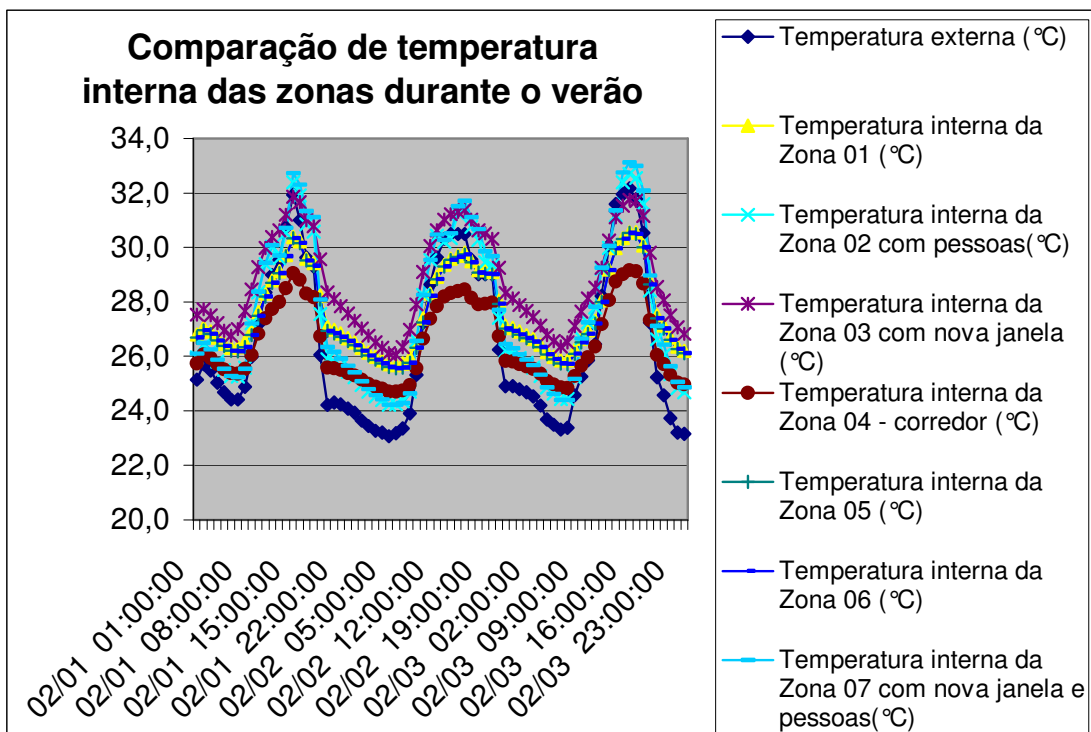


Figura 39 Gráficos das temperaturas internas de todas as zonas e a temperatura externa para os dias simulados: 1, 2 e 3 de fevereiro, caso típico de verão.

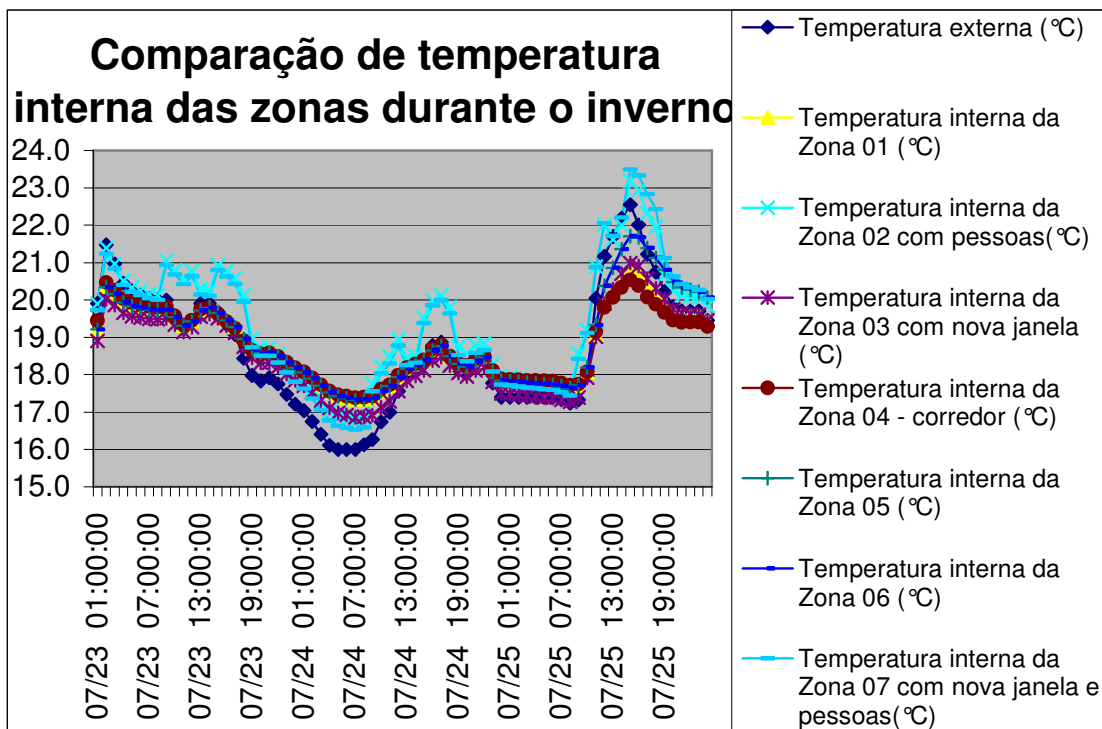


Figura 40 Gráficos das temperaturas internas de todas as zonas e a temperatura externa para os dias simulados: 23, 24 e 25 de julho, caso de inverno.

Destacando as duas zonas modificadas:

Simulação 4

ZONA 02:

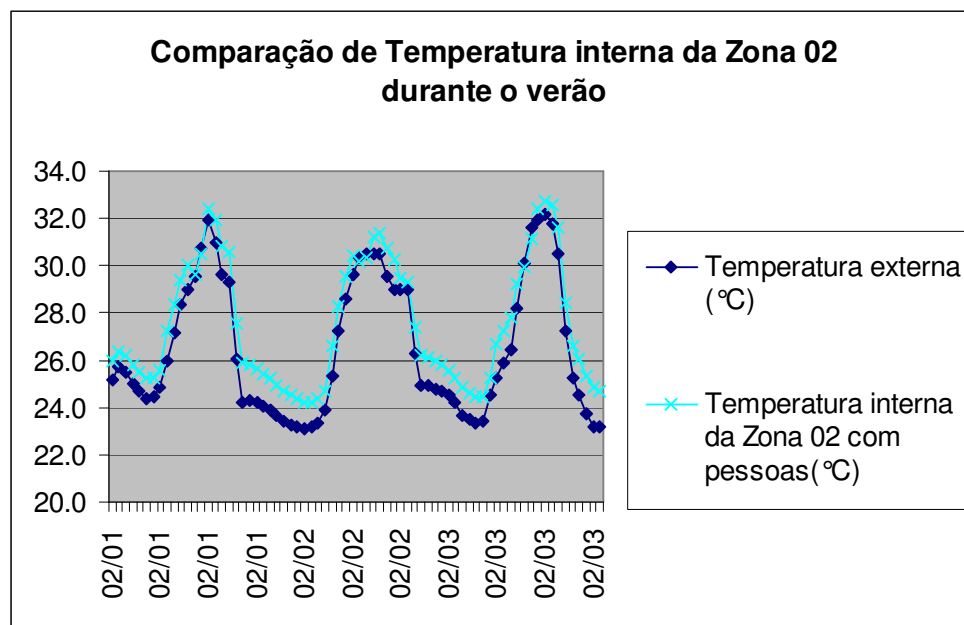
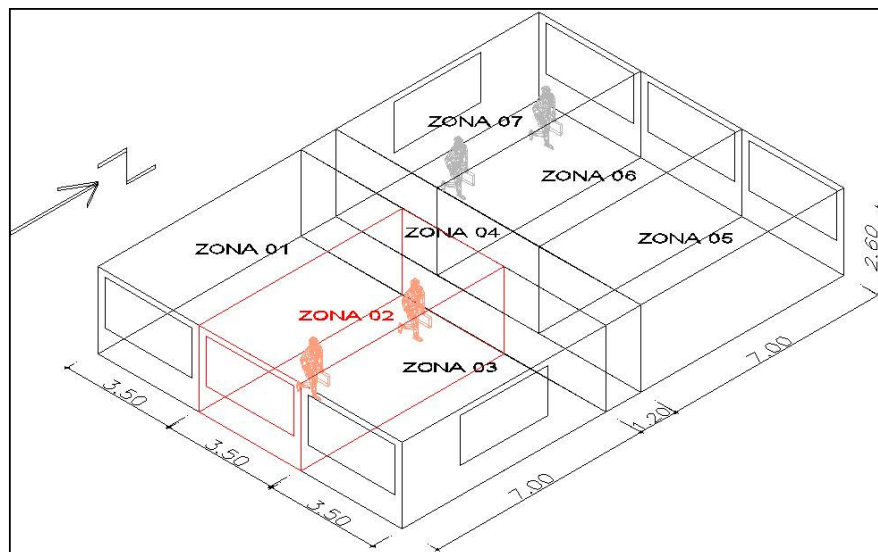


Figura 41 Gráficos das temperaturas internas da zona 02 com a inserção de 2 pessoas na simulação, e a temperatura externa, para os dias simulados: 1, 2 e 3 de fevereiro.

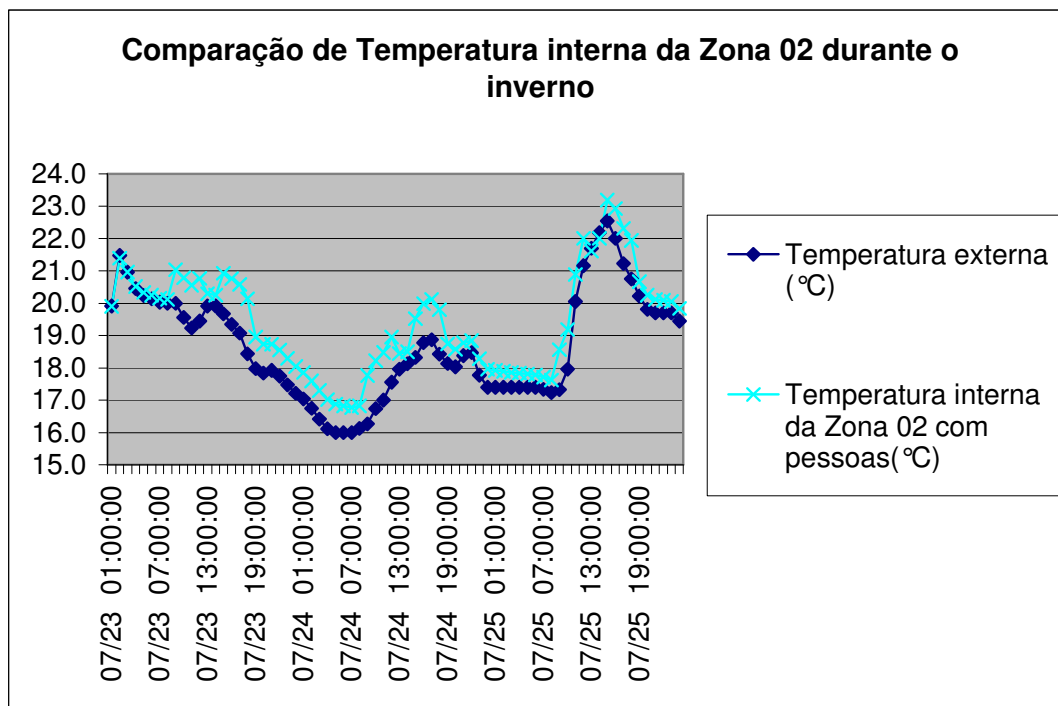


Figura 42 Gráficos das temperaturas internas da zona 02 com a inserção de 2 pessoas na simulação, e a temperatura externa para os dias simulados: 23, 24 e 26 de julho.

Simulação 4

ZONA 07:

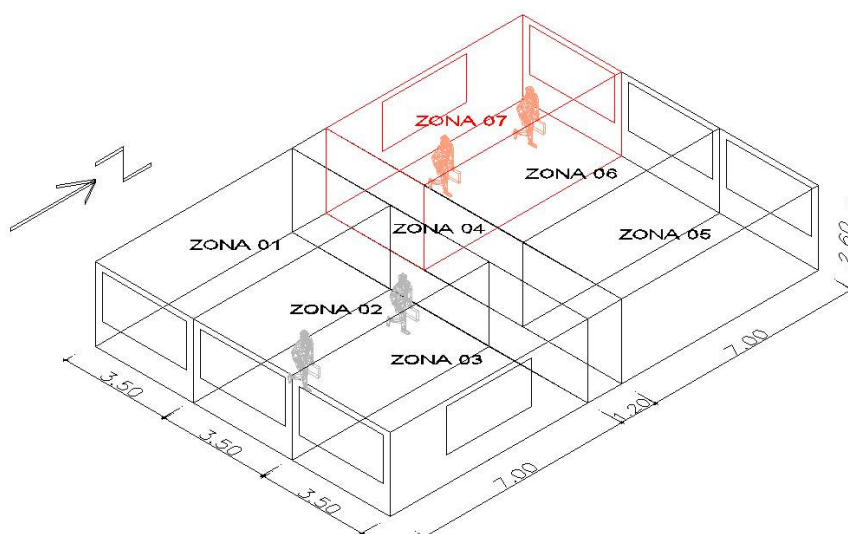


Figura 43 Desenho gerado pelo EnergyPlus com a Zona 07 com 2 ocupantes em destaque

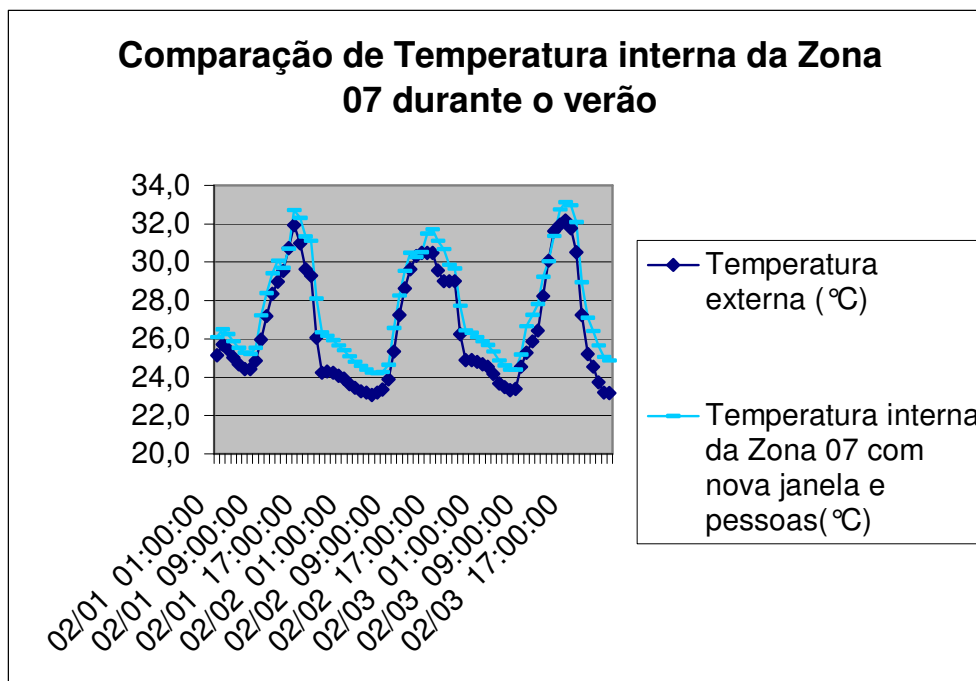


Figura 44 Gráficos das temperaturas internas da zona 07 com a inserção de 2 pessoas na simulação, e a temperatura externa para os dias simulados: 1, 2 e 3 de fevereiro, caso de verão.

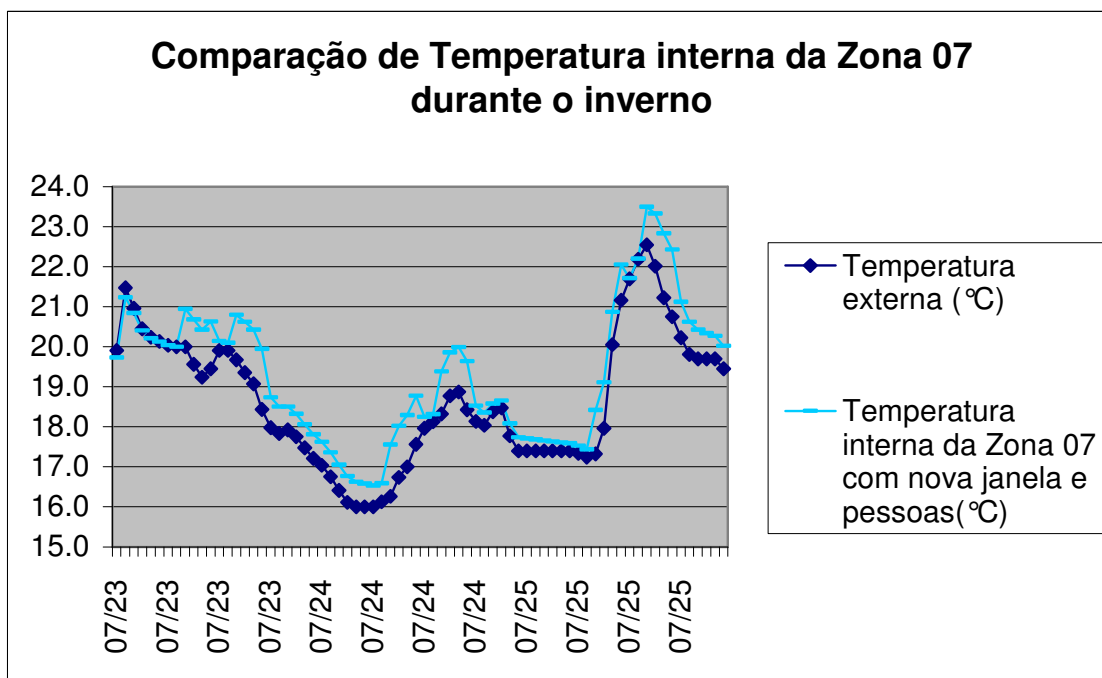


Figura 45 Gráficos das temperaturas internas da zona 07 com a inserção de 2 pessoas na simulação, e a temperatura externa para os dias simulados: 23, 24 e 26 de julho, caso de inverno

Simulação 5

Para essa simulação acrescentou-se um aparelho de ar-condicionado de 9.000Btu/h em duas zonas, a Zona 01 e a Zona 06, o aparelho fica ligado durante o mesmo período de trabalho das pessoas que estão nas outras zonas, ou seja, período de 8hs de trabalho com um intervalo de 2hs para almoço.

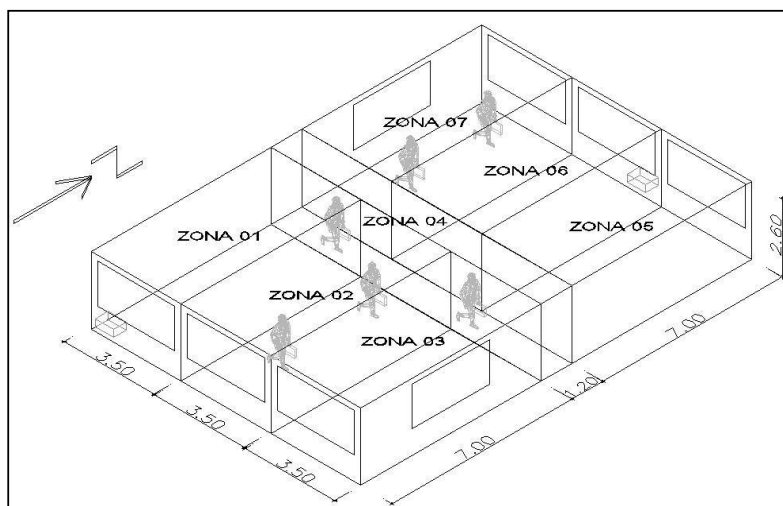


Figura 46 Desenho gerado pelo EnergyPlus com 2 ocupantes no corredor, Zona 04, e ar-condicionado nas Zonas 01,e 06, desconsiderar as pessoas no corredor.

Resultados Encontrados:

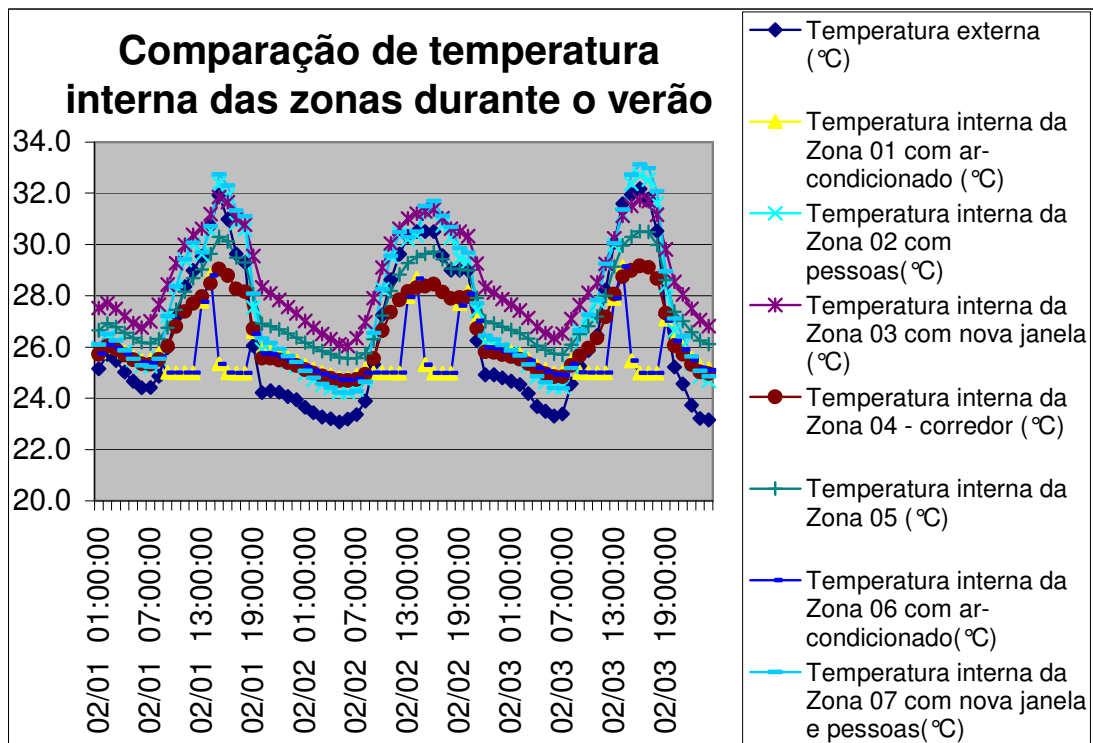


Figura 47 Gráficos das temperaturas internas de todas as zonas e a temperatura externa para os dias simulados: 1, 2 e 3 de fevereiro caso de verão.

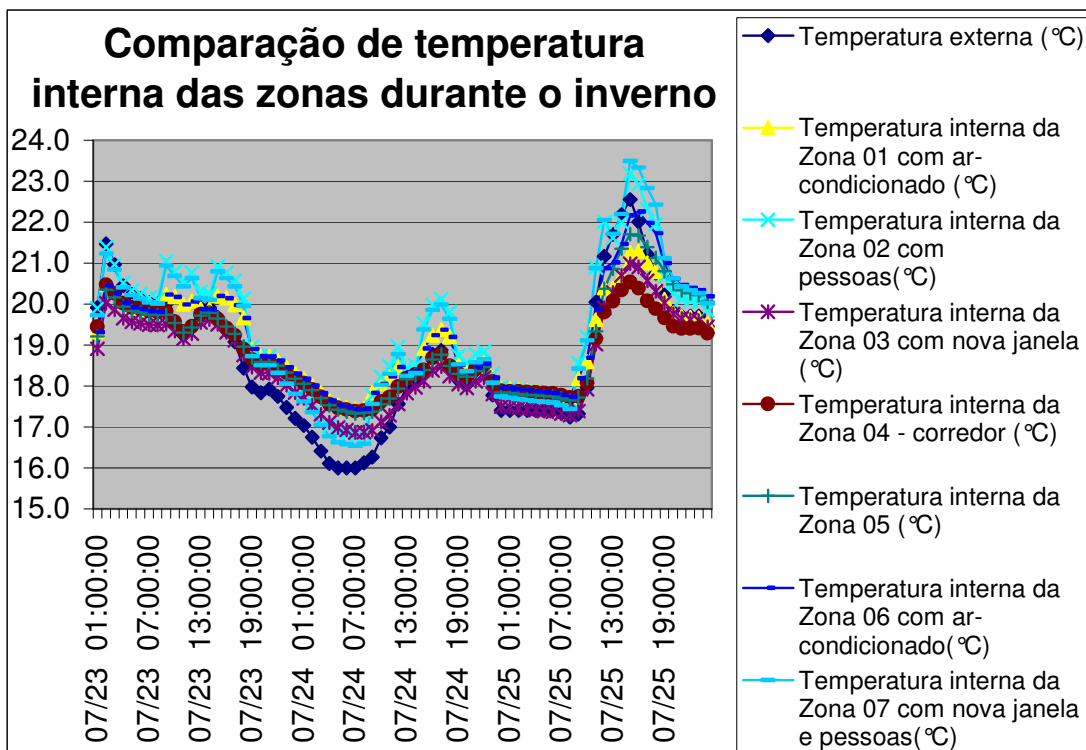


Figura 48 Gráficos das temperaturas internas de todas as zonas e a temperatura externa para os dias simulados: 23, 24 e 25 de julho, caso de inverno

Simulação 5

Destacando as duas zonas modificadas:

ZONA 01:

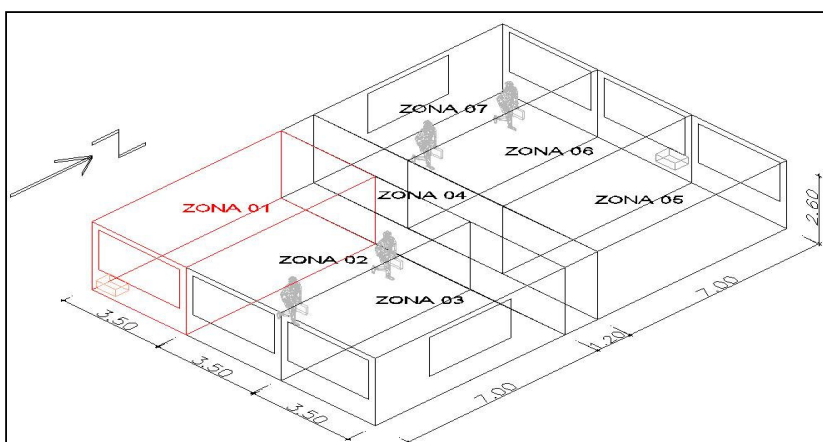


Figura 49 Desenho gerado pelo EnergyPlus com a Zona 01 com ar-condicionado, em destaque.

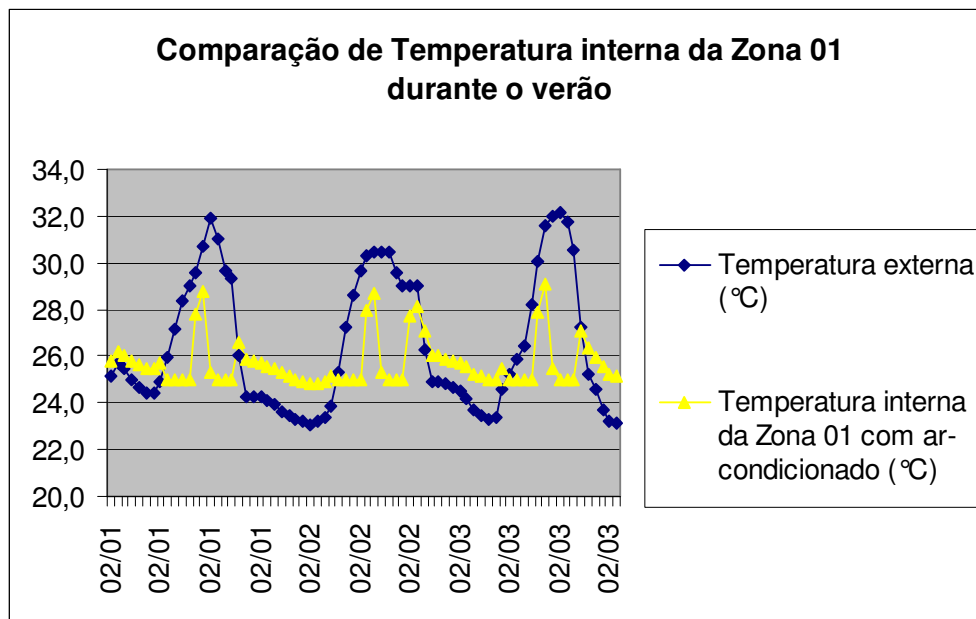


Figura 50 Gráficos da temperatura interna da Zona 01 e a temperatura externa para os dias simulados: 1, 2 e 3 de fevereiro, caso de verão.

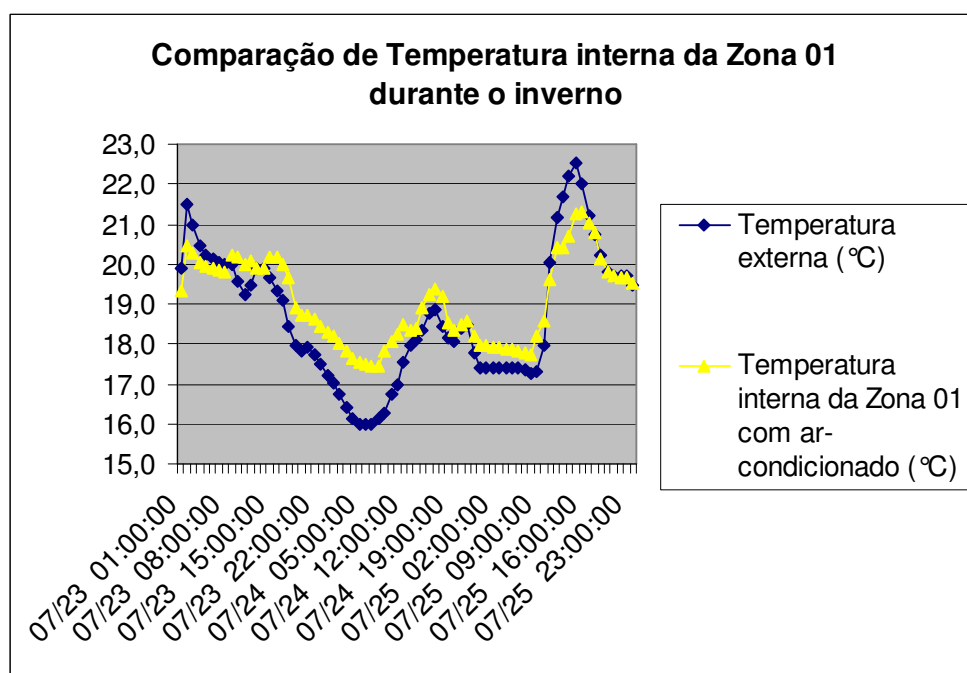


Figura 51 Gráficos da temperatura interna da Zona 01 e a temperatura externa para os dias simulados: 23, 24 e 25, caso de inverno.

Simulação 5

ZONA 06:

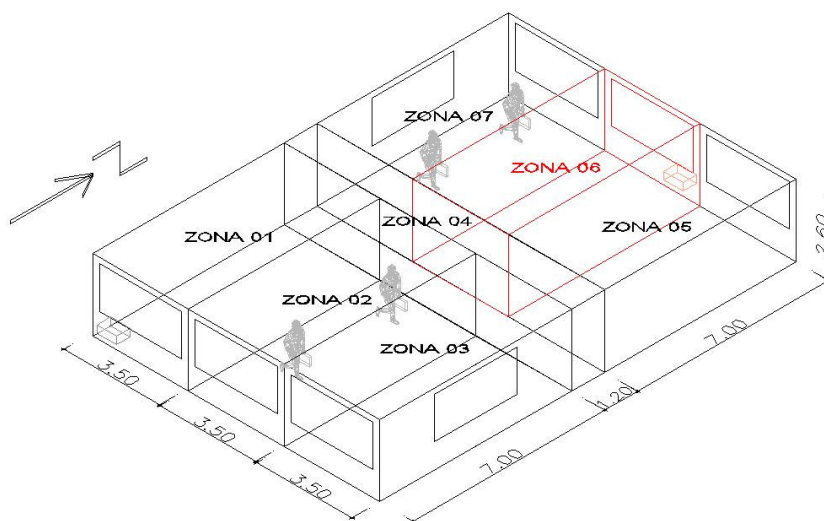


Figura 52 Desenho gerado pelo EnergyPlus com a Zona 06 com ar-condicionado, em destaque

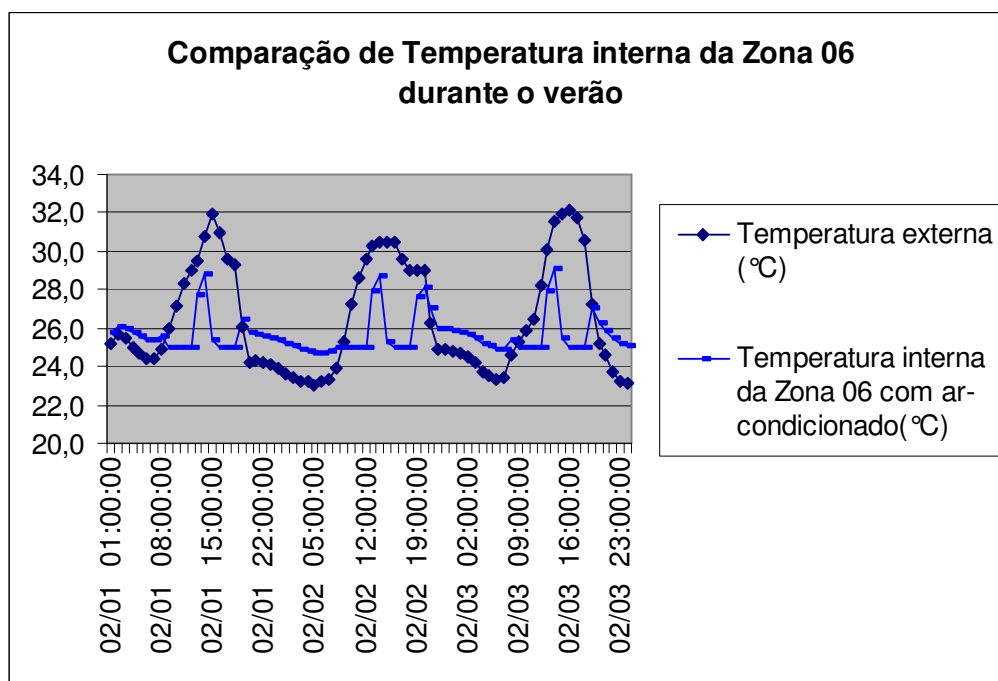


Figura 53 Gráficos da temperatura interna da Zona 06 e a temperatura externa para os dias simulados: 1, 2 e 3 de fevereiro, caso de verão

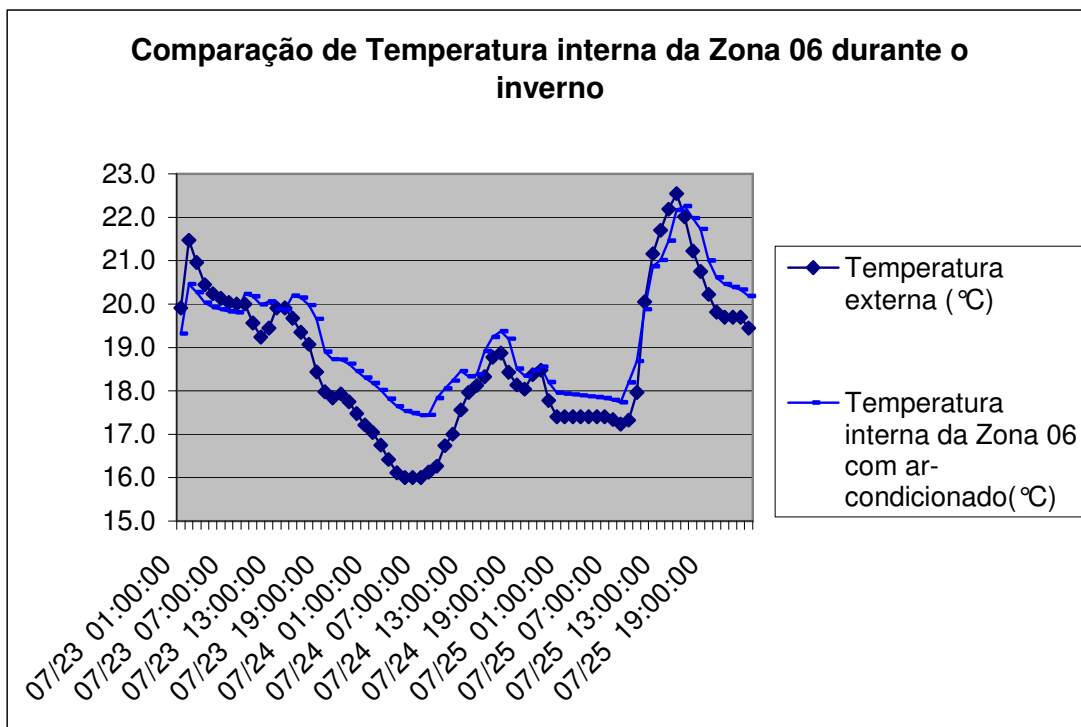


Figura 54 Gráficos da temperatura interna da Zona 06 e a temperatura externa para os dias simulados 23, 24 e 25 de julho, caso de inverno.

Simulação 6:

Nesta simulação modificou-se a orientação das zonas, girando os ambientes para que as fachadas das Zonas 01, 02 e 03 ficassem voltadas para o Norte.

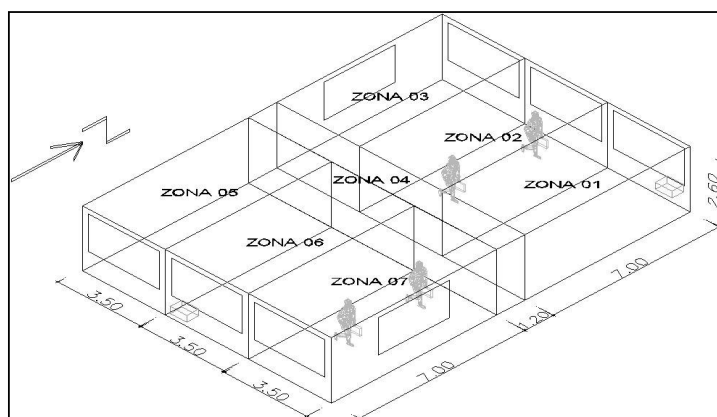


Figura 55 Desenho gerado pelo EnergyPlus com 2 ocupantes no corredor, Zona 04, e ar-condicionado nas Zonas 01,e 06 e com as zonas 01, 02 e 03 agora voltadas para Norte.

Resultados encontrados:

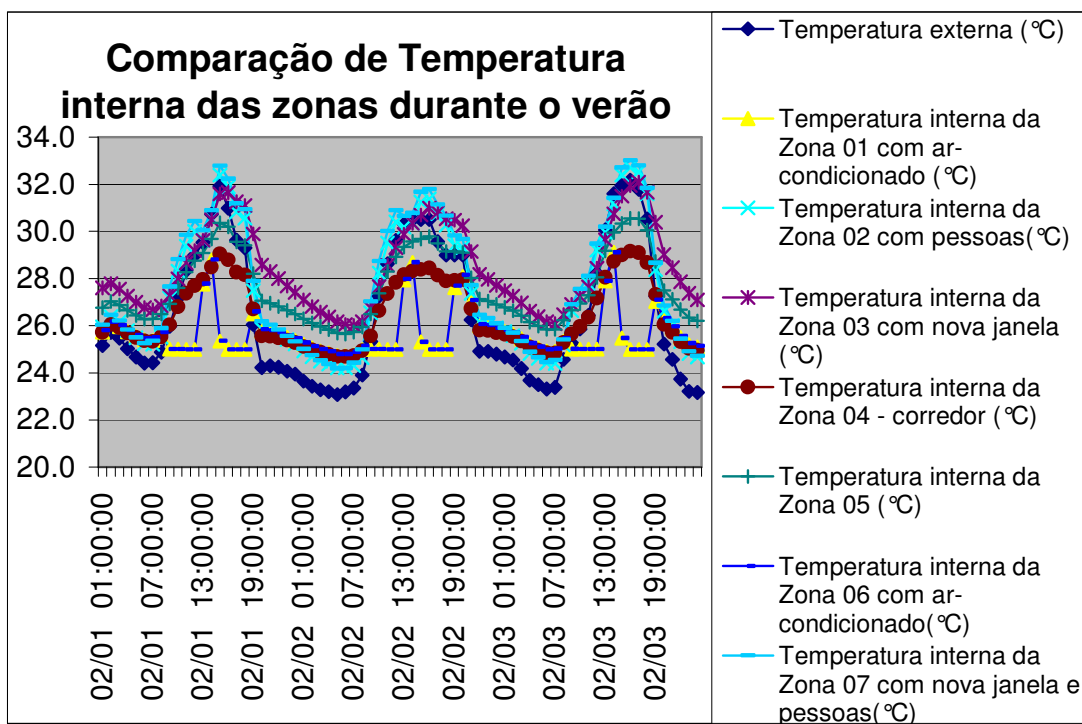


Figura 56 Temperaturas internas simuladas nas zonas, com a nova orientação, caso de verão.

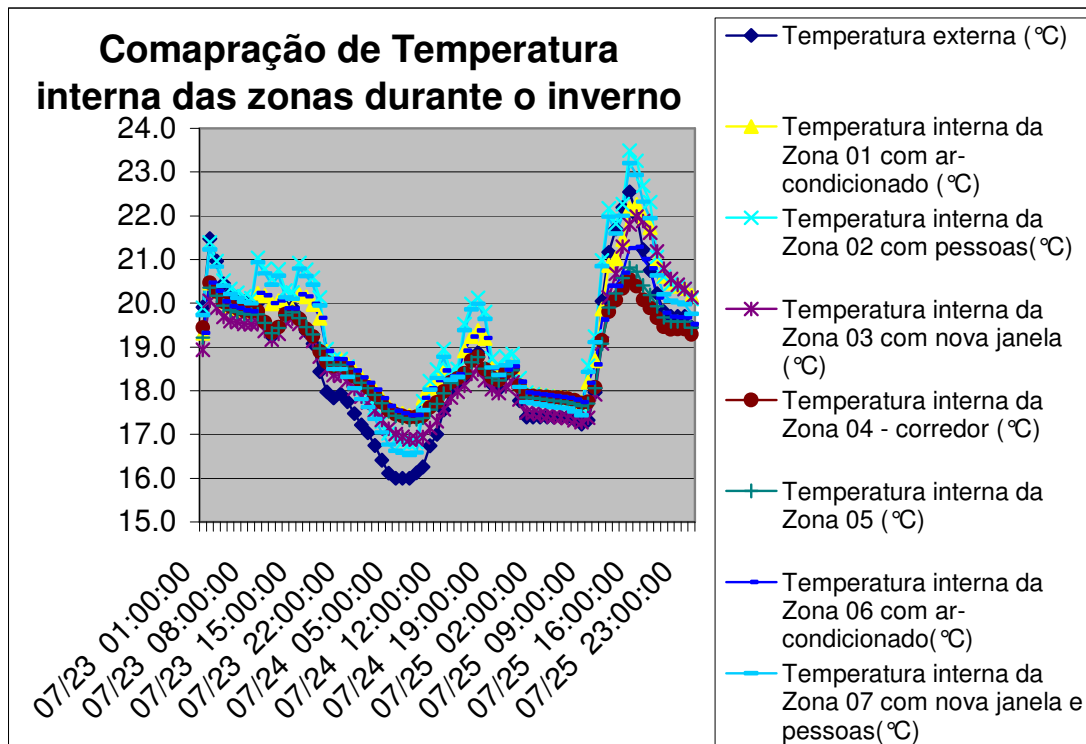
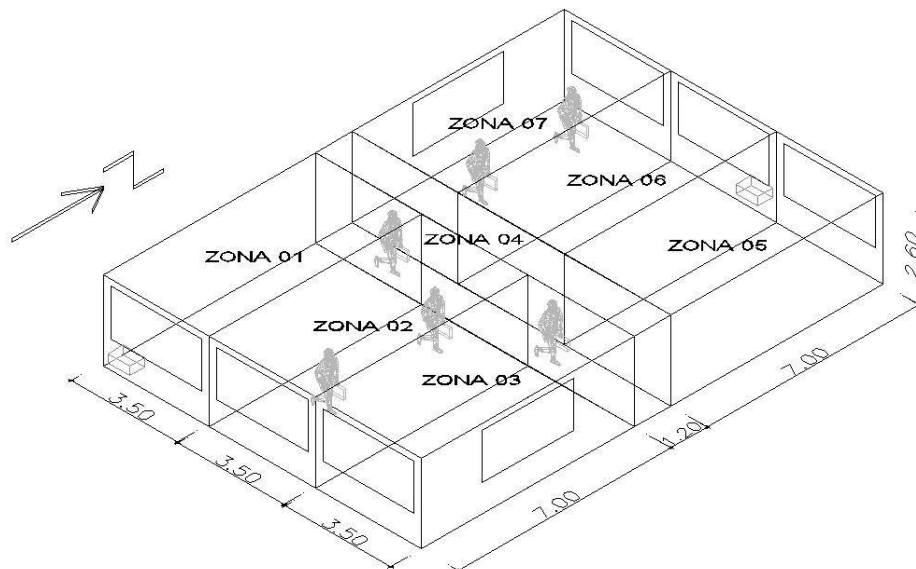


Figura 57 Temperaturas internas simuladas nas zonas, com a nova orientação, caso de inverno

Simulação 7:

Nessa simulação acrescentaram-se pessoas no corredor que permanecem na Zona 04 em horários variados, simulando uma circulação de edifício comercial.



Resultados Encontrados:

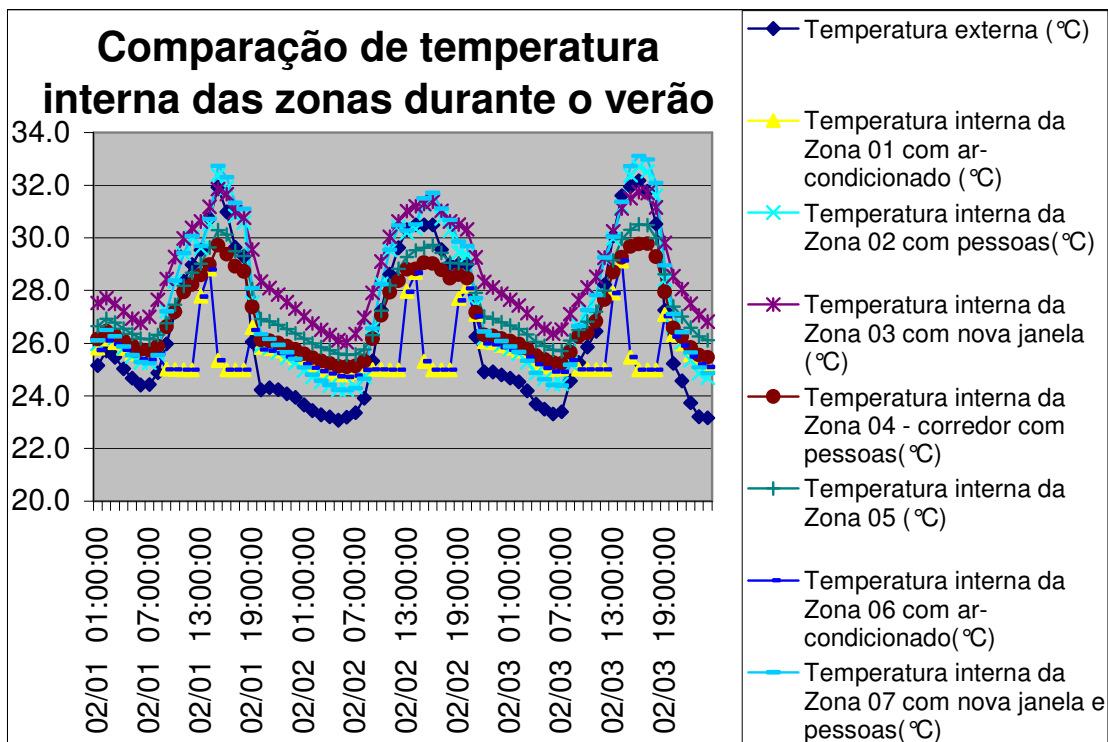


Figura 58 Temperaturas internas simuladas nas zonas, com a ocupação de passagem pelo corredor, agora pode-se notar um pequeno aumento da temperatura deste.

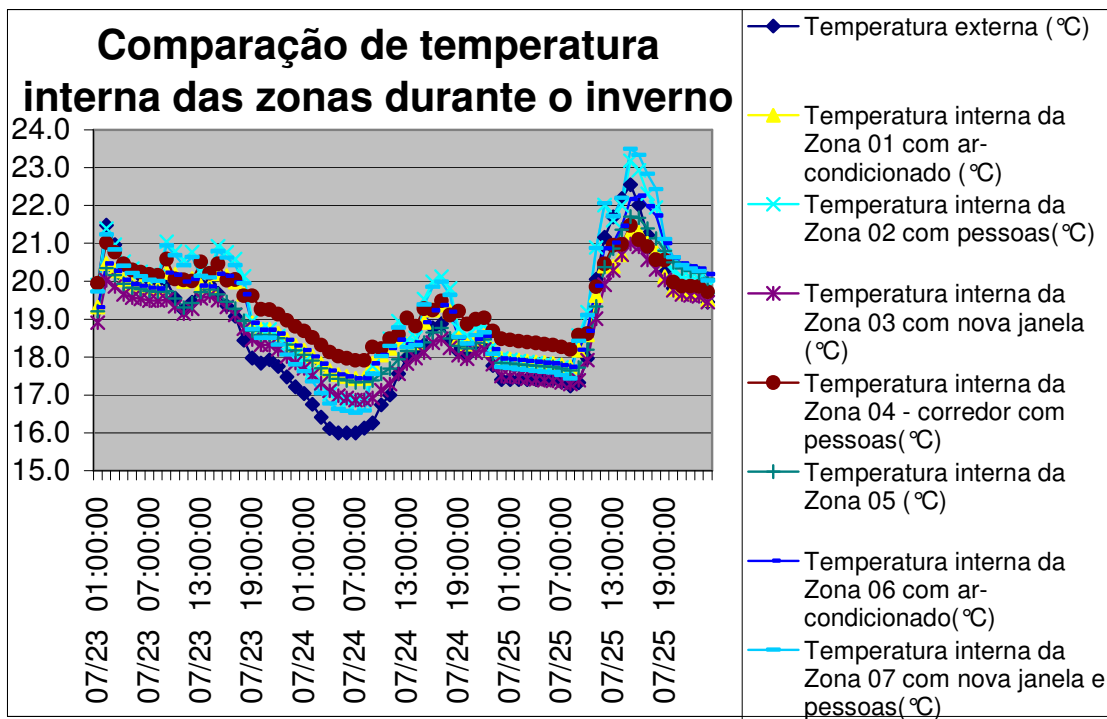


Figura 59 Temperaturas internas simuladas nas zonas, com a ocupação de passagem pelo corredor.

Destacando a zona modificada:

ZONA 04:

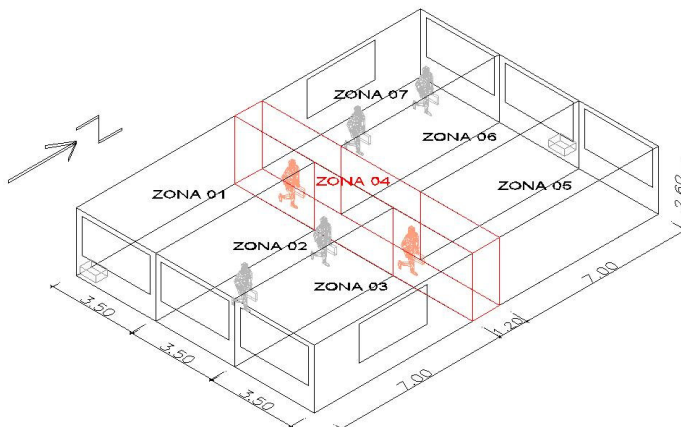


Figura 60 Desenho gerado pelo EnergyPlus com a Zona 04 com pessoas, em destaque

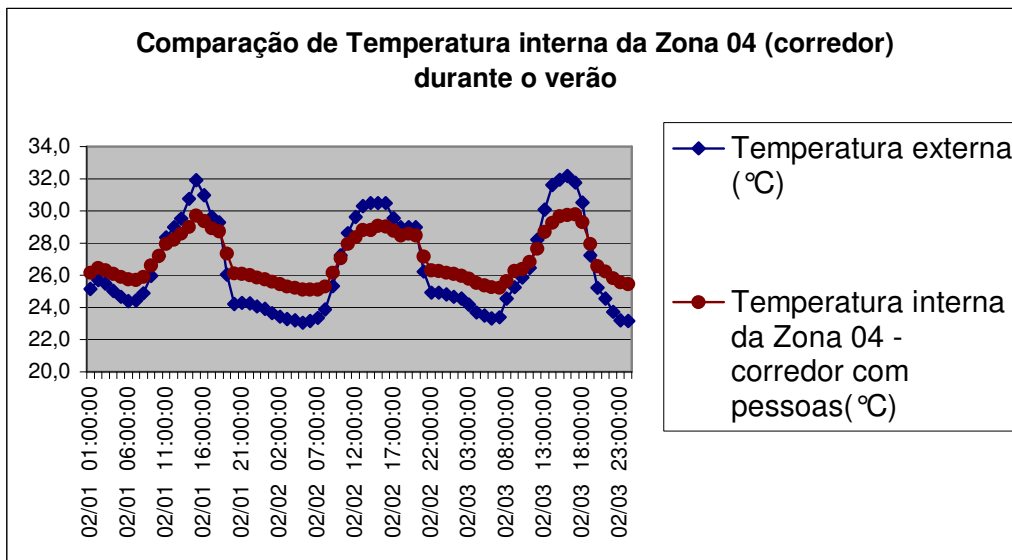


Figura 61 Temperaturas internas simuladas na zona 04 com a ocupação de passagem pelo corredor, caso de verão.

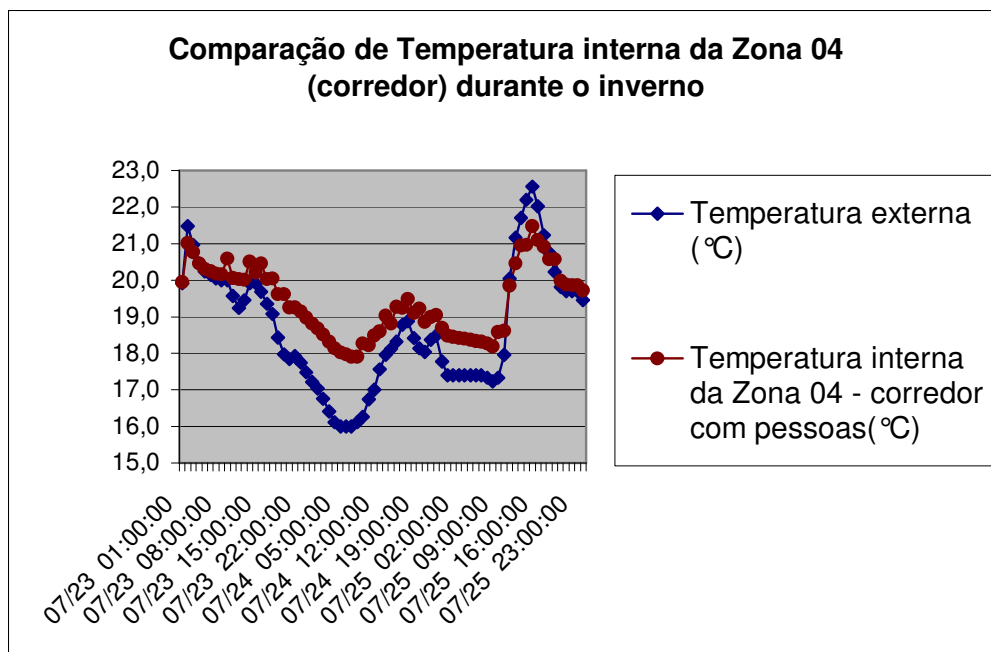


Figura 62 Temperaturas internas simuladas na zona 04 com a ocupação de passagem pelo corredor, caso de inverno.

Para uma avaliação final dos softwares que se apresentam como ferramentas, veja a matriz apresentada a seguir, de modo a orientar as conclusões do próximo capítulo:

SOFTWARE	CASAMO	CLA	Lesocool	Energy Plus
Arquivos CAD	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Arquivos Climáticos Atuais	SIM	NÃO	SIM	SIM
Materiais de Construção Nacionais	SIM	NÃO	SIM	SIM
Multizonas	NÃO	NÃO	SIM	SIM
Variação da Temperatura nas superfícies	SIM	NÃO	SIM	SIM
Visualização dos Resultados / Entrada de Dados Gráfica	NÃO	SIM	SIM	SIM

Tabela 3 Avaliação dos softwares estudados, tabela preenchida.

Observando os resultados da avaliação resumidos na matriz da tabela 3, pode-se erroneamente concluir que nenhum software de simulação possui interoperabilidade com o Autocad, porém esta matriz apresenta apenas os softwares onde foram efetuadas as simulações, que este trabalho conseguiu, para sua avaliação. Existem notícias de softwares de simulação que aceitam arquivos do AutoCad, como o EcoTest14, mas não foi consultada nenhuma bibliografia para arquitetos que o mencionava. Por estes resultados imagina-se que ainda há muito que fazer, pois, dos softwares disponíveis para estudo, ainda é muito pequena a representatividade dos que possuem uma interoperabilidade com os softwares para modelagem utilizados por arquitetos.

CAPITULO 4 – CONCLUSÃO

4.1 Panorama Atual

Dentro do panorama atual energético do Brasil, no que se refere ao desenvolvimento normativo para avaliação do desempenho térmico que necessita a utilização de softwares, o ano de 2005 foi marcado pela consolidação da primeira norma brasileira de desempenho térmico para avaliação de componentes construtivos (ABNT, 2005a; ABNT, 2005b). Além dessa norma, está em fase final de aprovação o projeto de norma de desempenho de edificações de até cinco pavimentos (ABNT, 2002a; ABNT, 2002b), com tópico específico para avaliação térmica de componentes e edificações. Com base neste panorama, pode-se concluir que urge a ampliação do estudo e desenvolvimento de ferramentas adaptadas aos profissionais responsáveis por grande parte dos projetos em edificações no Brasil, para que se possa atender às normativas estabelecidas.

Com ênfase no panorama atual do uso e desenvolvimento de softwares, diversos softwares para a simulação matemática do comportamento térmico e lumínico de ambientes construídos são lançados a cada ano, para profissionais engenheiros, porém, ainda não se considera a operação por um arquiteto comum. Pelo estudo efetuado, pode-se perceber uma tentativa de simular o comportamento físico dos edifícios, o que influencia diretamente no consumo de energia elétrica, mas apresentando as respostas por meio de expressões numéricas complexas, normalmente dificultosas para os arquitetos. Observou-se, também, que a etapa de projeto das edificações é de coordenação do profissional arquiteto, que será o responsável pela especificação dos materiais da construção destes ambientes e das superfícies externas e internas.

Existe uma grande lacuna separando o profissional arquiteto das ferramentas que deveriam lhe auxiliar no desenvolvimento de uma arquitetura energeticamente eficiente. Ou seja, existe a demanda¹⁵ porém, pouquíssima oferta de softwares para simulação do comportamento térmico e consumo energético para arquitetos. Um panorama que parece haver excluído o profissional arquiteto de uma das fases que lhe compete, a de projeto de arquitetura de edificações, impossibilitando que este possa atender às normas nacionais.

Com relação aos softwares de simulação, existem softwares adequados do ponto de vista matemático, porém com limitações na inserção do modelo geométrico - que confere a plástica do objeto projetado. A plástica refere-se à composição, forma geométrica e artística do projeto de arquitetura, que constitui a assinatura do arquiteto. Como já mencionado, diferentes formas resultam em diferente comportamento térmico e lumínico. A plástica influencia diretamente na física da construção, pois se sabe que as dimensões, orientação, material e cor das superfícies são as características inseridas nos cálculos do comportamento térmico da simulação efetuada por qualquer software. Atualmente, um dos softwares para modelagem do projeto de arquitetura é o AutoCad, utilizado pela grande maioria dos profissionais. Em nenhum dos softwares estudados, existia uma boa comunicação com o AutoCad. Ao se perceber esta limitação para aceitação do modelo “CAD”, pode-se concluir que os softwares ainda não estão direcionados à rotina do arquiteto. Assim, ainda é requerido um trabalho muito exaustivo na inserção dos projetos de arquitetura das edificações.

O que se propõe é que o sistema de computação reconheça os dados dos vértices da figura que representa a forma projetada, para a formação de planos de captação de luz e produção de calor. É uma proposta de desenvolvimento de um software com interoperabilidade com o Autocad.

Vale aproveitar este exemplo da ferramenta AutoCad para ilustrar um software de complexa utilização, mas que os arquitetos dominam. O profissional de arquitetura pode desenvolver o aprendizado de uma linguagem complexa de computador, porém é inegável que o apelo ao conceito visual a partir da volumetria tem melhor aceitação por estes.

¹⁵ O arquiteto Ricardo conclui: “Nota-se uma falta de ferramentas amigáveis para simulação de ambientes.” Ricardo Bonnet e Corbella, ICBENS, Fortaleza, 2007.

4.2 Os softwares estudados e avaliados

Para o desenvolvimento deste trabalho alguns softwares foram experimentados com simulações experimentais e foram avaliados, como apresentados no capítulo 3. São eles:

- EnergyPlus;
- CASAMO;
- Lesocool;
- CLA;
- E2AC;

Estes softwares foram observados na sua utilização como ferramentas para a análise do comportamento térmico e conseqüente consumo energético dos equipamentos propostos, pois se apresentaram necessários para a obtenção dos níveis ótimos de conforto térmico ambiental dos ambientes. Além destes softwares, foram utilizados softwares auxiliares ou de simulação que poderiam auxiliar no estudo, porém o único que apresentou interesse para as conclusões deste trabalho foi o CityZoom.

4.2.1 EnergyPlus

Após dois anos de estudo, foi possível o domínio deste software. Este vem se apresentando como sendo o mais indicado para a análise do consumo de energia elétrica em edificações. Percebe-se que necessita ainda de uma interface que se demonstre amigável para o arquiteto e que permita a liberdade de inserção de uma geometria mais detalhada, de maneira que possibilite e garanta a liberdade do artista para a criação da plástica de seu volume arquitetônico.

As simulações foram feitas com o modelo de sala comercial aproveitando a interface E2AC, que se apresenta com uma operação mais simplificada e resumida. A partir do modelo inicial no E2AC, foram feitas simulações multizonas, aproveitando as vantagens desta ferramenta e editando-se as limitações diretamente no EnergyPlus. Diversas foram as dificuldades enfrentadas para o estudo deste software, dentre elas podemos destacar:

- A dificuldade para o entendimento das variáveis que estão influenciando no comportamento térmico de uma zona em determinado projeto. O manual que explica as variáveis que estão sendo consideradas para a simulação é direcionado para engenheiros exclusivamente, com uma matemática e física de complexo entendimento.
- A impossibilidade de entrada de dados a partir de um modelo criado no software AutoCad, adotado pela maioria dos profissionais de arquitetura. A entrada de dados do modelo 3D se dá pelos vértices obtidos no AutoCad que, então, são reconhecidos pelo EnergyPlus Da seguinte forma: o EnergyPlus reconhece um volume pela entrada dos dados das coordenadas que compõem cada vértice do modelo a ser simulado, isso pode ser feito em Word ou na interface EnergyPlusLaunch, do EnergyPlus. Como pode ser verificado na utilização deste software, este possui uma inserção da geometria, de forma exaustiva, pelas coordenadas de cada vértice. Quanto mais complexa a geometria a ser inserida, maior a probabilidade de que ocorram erros que tornam o restante do processo interminável.
- É necessária a entrada das coordenadas de cada vértice, de acordo com o plano que estas compõem e, também, de acordo com cada material empregado no envelope.
- Não foi possível, durante todo o estudo, fazer simulações com ventilação natural, que consta na divulgação do software como sendo um dos grandes diferenciais. O método matemático COMIS é apresentado no caderno para engenheiros do manual do software. A utilização da ventilação natural para produção de correntes cruzadas é uma técnica popular e bastante adequada para algumas regiões do Brasil como estratégia para promoção de conforto térmico. Por isso, uma ferramenta que esteja dentro das normativas nacionais deve possibilitar esta simulação.

A entrada de dados dos vértices que compõem o modelo no software de modelagem o Autocad, por exemplo, atende algumas convenções que não constam nas normas mundiais, e são exclusivas do EnergyPlus.

A tela de acesso a este software se apresenta da seguinte forma:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
User Supplied Surface Name		Cozinha/Sala Parec	Cozinha/Quarto02:F	Cozinha:Parede3	Cozinha:Parede4	Cozinha:Piso	Cozinha:Cobertura	Quarto02/Sala:Pare	Quarto02:Parede2A	Quarto02:Parede3A
Surface Type		Wall	Wall	Wall	Wall	FLOOR	ROOF	Wall	Wall	Wall
Construction Name of the Surface		parede em tijolo cer.	parede em tijolo cer.	parede em tijolo cer.	parede em tijolo cer.	piso em ceramica (1	cobertura em fib cir	parede em tijolo cer.	parede em tijolo cer.	parede em tijolo cer.
InsideFaceEnvironment		Cozinha	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Quarto02	Quarto02	Quarto02
OutsideFaceEnvironment		OtherZoneSurface	OtherZoneSurface	ExteriorEnvironment	ExteriorEnvironment	Ground	ExteriorEnvironment	OtherZoneSurface	ExteriorEnvironment	ExteriorEnvironment
OutsideFaceEnvironment Object						Cozinha:Cobertura	Cozinha:Piso			
Sun Exposure		NoSun	NoSun	SunExposed	SunExposed	NoSun	SunExposed	NoSun	SunExposed	SunExposed
Wind Exposure		NoWind	NoWind	WindExposed	WindExposed	NoWind	WindExposed	NoWind	WindExposed	WindExposed
View Factor to Ground		0.5	0.5	0.5	0.5	1	0	0.5	0.5	0.5
Number of Surface Vertex Groups - Num		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	0	3	3	0	0	0	3	7	7
Vertex 1 Y-coordinate	m	6	6	9	9	9	6	6	6	9
Vertex 1 Z-coordinate	m	2.8	2.8	2.8	2.8	0	2.8	2.8	2.8	2.8
Vertex 2 X-coordinate	m	0	3	3	0	3	3	3	7	7
Vertex 2 Y-coordinate	m	6	6	9	9	9	6	6	6	9
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	0	0	0	0	2.8	0	0	0
Vertex 3 X-coordinate	m	3	3	0	0	3	3	4.5	7	3
Vertex 3 Y-coordinate	m	6	9	9	6	6	9	6	9	9
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	0	0	0	0	2.8	0	0	0
Vertex 4 X-coordinate	m	3	3	0	0	0	0	4.5	7	3

Figura 63 Recorte da tela de entrada das coordenadas que compõem o volume da edificação projetada.

A entrada de dados se realiza por meio do software Word do Windows, porém de forma numérica e de difícil entendimento. O manual é em inglês e possui uma explicação também direcionada aos engenheiros, exclusivamente.

4.2.2 CASAMO

O software CASAMO apresenta bons resultados. Assim como relatam diversos trabalhos que foram referidos na bibliografia, este software já foi experimentado e validado, tanto que ainda hoje é aceito para os cálculos de previsão de consumo de energia gerado para uma edificação na França.

Um dos maiores problemas percebido foi o de que o ambiente no qual roda este software não foi atualizado¹⁶. Esta falta de atualização causa discrepâncias, como a

¹⁶ Roda em ambiente DOS e não possui aplicativo para o ambiente Windows, Linux, ou qualquer outro sistema operacional.

necessidade de um drive para disquetes 3^{1/4}, sendo que muitos computadores já saem de fábrica sem saída para este tipo de mídia.

Outro problema para sua utilização é sua entrada de dados exclusivamente numérica, apesar de que apresente os resultados de forma gráfica. A maioria dos arquitetos tende a abandonar esta ferramenta por não compreender a relação destes números com a geometria. Além disso, existe o trabalho exaustivo, ao que o arquiteto é obrigado a enfrentar, na fase de entrada de dados da geometria para fazer simulações simples de orientação de janelas, ou materiais.

4.2.3 LesoCool

Do grupo selecionado por este trabalho, este software apresentou-se como sendo “amigável”, com uma interface de simples operação e rápido entendimento e com capacidade para simular o resfriamento noturno como estratégia de conforto térmico. Como grande problema encontrado está a impossibilidade de se fazer simulações com Ar-Condicionado, equipamento este que, por muitas vezes, torna-se indispensável na promoção de conforto ambiental.

4.2.4 CLA

O CLA possui uma entrada de dados exclusivamente visual, portanto de fácil apreensão por qualquer profissional arquiteto; percebe-se que houve acompanhamento deste profissional na elaboração do software. O CLA faz todos os cálculos de ganhos térmicos e consumo de energia elétrica, porém as fórmulas estão ocultas, empregadas para os cálculos por detrás dos desenhos que representam o comportamento ou implantação que se quer simular.

Um problema crucial é o fato de ser restrito à zonas climáticas da Espanha, possuindo somente arquivos climáticos referentes a este país. A única zona do Brasil com possibilidade de uso deste software, é a zona de Florianópolis e vizinhanças, com latitude parecida, e clima parecido ao encontrado nas Ilhas Canárias, porém com o inconveniente das estações serem defasadas em seis meses, o qual leva a confusões quanto à interpretação dos resultados.

Assim como o CASAMO, este software foi construído para funcionar em ambiente DOS, entrando com uma certa dificuldade no ambiente Windows. Uma versão posterior, o CLACA (CLimatic Analysis for Comfortable Architecture) trata de solucionar um dos inconvenientes, a falta de dados climáticos para outras regiões do Mundo, mas, devido ao aumento de memória necessária para isso, sacrifica a entrada de dados arquitetônicos, devendo-se entrar com dados numéricos pelo qual perde seu principal benefício.

4.2.5 E2AC

Este software apresenta uma interface mais amigável para o EnergyPlus, contendo, além disso, dados climáticos e de materiais no Brasil; porém, a geometria é super-simplificada e simula apenas uma zona. A proposta de um sistema de simulação computacional é de proporcionar uma ferramenta de trabalho para que o arquiteto possa otimizar o funcionamento energético dos seus projetos, sem que para isso tenha que adotar modelos arquitetônicos pré-definidos, o que acontece neste caso.

Foi enormemente útil para este trabalho, pois, a partir dos arquivos gerados pela geometria simples, pode-se fazer uma edição destes no EnergyPlus. Para o profissional que desconhece essa necessidade de um arquivo inicial não existe a possibilidade da utilização do EnergyPlus. Porém, a interface E2AC, é muito “dura”, feita para engenheiros, sem preparo para a operação pelos profissionais de arquitetura. Ela destina-se somente aos engenheiros térmicos especialistas em sistemas de condicionamento de ar.

4.2.6 CityZoom

Percebida a necessidade de uma comunicação com o AutoCad, e estabelecendo esta como premissa para a adaptação de um software de simulação “amigável” para arquitetos, a interoperabilidade do CityZoom com o AutoCad despertou especial interesse. O software CityZoom estabelece uma comunicação com o AutoCad, reconhecendo os vértices estabelecidos no projeto do modelo em Cad. O EnergyPlus reconhece o modelo pela inserção dos vértices. Pode-se perceber, aqui, que é possível a criação de uma programação com interface “amigável”, como é o CityZoom, que tenha interoperabilidade com o software AutoCad, extraindo deste os dados de vértices do volume.

4.3 Diretrizes para elaboração de um software amigável

A partir dos resultados obtidos é possível sugerir, aos programadores e projetistas de softwares, a produção de ferramentas mais adaptadas à nossa realidade climática, contribuindo para que o profissional arquiteto tenha ainda mais recursos, e possa desenvolver um projeto de Arquitetura Bioclimática de maior qualidade, adaptando-se à perspectiva de uma regulamentação pelo governo da eficiência energética em edificações.

O que se propõe, a partir das pesquisas efetuadas, e de todas as informações acumuladas sobre a relação no contato e operação destas ferramentas, é o desenvolvimento de um software que possa ser operado por qualquer arquiteto, em linguagem arquitetônica e de acordo com o processo de concepção do projeto. O programa deve ser simples no manuseio, exigindo noções gerais na área de conforto e eficiência energética, necessariamente claro nos conceitos de física e matemática, mas sem exigir demasiado, ou um conhecimento específico na área da engenharia. Estes programas deveriam, também, contemplar a perspectiva de uso pelos arquitetos que devem verificar o cumprimento de normativas de consumo energético para as edificações, que serão colocadas em prática em um futuro não muito distante. Aproveitando a vantagem, por exemplo, do software CLA, que possui entrada de dados visual com as fórmulas a que correspondem estes dados, inseridos na programação que fará os cálculos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. D. de – *Discurso de primavera e algumas sombras*, Editora Círculo do Livro, p. 104, 1994

ALLARD, F. S. - *Natural Ventilation in Buildings: A design Handbook* , 1998

BACHELARD, G. - *La poétique de l'espace* . - PUF - Paris , 1957

BEST, Disponível em:www.arch.hku.hk/research/BEER/best.htm, acesso em jan. 2006

BROWN, G. Z. e DEKAY, M. – *Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura*, trad. Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra – 2.ed. – Bookman, Porto Alegre, 2004

CASAMO CLIM, software francês, de uso no PROARQ/UFRJ, versão 1994

CITYZOOM, software desenvolvido pelo laboratório de Simulação e Modelagem em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, versão Beta2.0, Porto Alegre, 2003. Disponível em:www.cityzoom.net, acesso em jul. 2005

CLA e CLACA, softwares desenvolvidos pela Escuela Superior Técnica de Arquitectura da Universidade de Barcelona, Espanha, 1990 e 1994 respectivamente, de uso no PROURB/UFRJ

CÖRNER, V. N. – *A Janela como Elemento Térmico na Construção: considerações em clima tropical úmido, situação de verão*. PROARQ/UFRJ, Dissertação de Mestrado em Conforto Ambiental, Rio de Janeiro, 2001

COELHO NETTO, J. T. - *A construção do sentido na arquitetura*. Editora Perspectiva, coleção debates, 1979

CORBELLA, O. D. – *Dados Consolidado de Energia Solar Global Diária em Plano Horizontal, para a cidade do Rio de Janeiro, Brasil* – Cadernos de GeoCiências n 16/IBGE, Rio de Janeiro, 1995

CORBELLA, O. D. e STANGENHAUS, C. R. - *Características Térmicas de Materiais de Construção Usados no Rio de Janeiro caderno 6*, Cadernos do PROARQ/UFRJ, Rio de Janeiro, 1999

CORBELLA, O. D. e YANNAS, S. - *Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – Conforto ambiental*, Editora Revan, Rio de Janeiro, 2003

DESIGNBUILDER, Disponível em:www.designbuildersoftware.com/designbuilder.php, acesso em jan. 2007

E2ARCONDICIONADO, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em:www.labee.ufsc.br/edois, acesso em mar. 2005

ELETROBRÁS, Disponível em: www.eletrabras.com.br, acesso em jun. 2005

ENERGYPLUS, University of Illinois and the Regents of the University of California, Califórnia, U.S.A., Disponível: www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/getting.html, acesso em jan. 2005.

EPLUSINTERFACE Disponível em: www.coolshadow.com/EplusInterface, acesso em jun. 2006

FANGER, P. O. Thermal confort: analisys and applications in environmental engineering, McGraw-Hill, New York, 1972

GIVONI, B. – *Man, Climate and Architecture* – Aplied Science, Londres, 1976

GRAZZIOTIN, P.C. - Técnicas de Incorporação de Controle de Acesso à Luz Solar em *Modelos Computacionais de Edificações*. Porto Alegre, 2003. 88 f. : il. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Computação, 2003

HAMADA, L. – Identificação das Oportunidades de Aplicação das Questões de Conforto Ambiental e Eficiência Energética para Edificações de Climatização Mista: uma contribuição ao caderno de encargos municipal, Proarq/UFRJ – Dissertação de Mestrado em Ciência em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004

IBPSA, Disponível em: www.ibpsa.org, acesso em mai. 2005

IZARD, J.L e Guyot A.– *Arquitectura Bioclimática*, Ed. G. Gilli, Barcelona, 1980

KRAUSE, C. B.– Coberturas, Conforto Higrotérmico, Edificações: ponderações e propostas para clima tropical úmido em situação de verão, FAU/UFRJ - Dissertação de Mestrado em Conforto Ambiental, 1990

KRÜGER, E. L. – Ventilação de Áticos como instrumento de Conservação de Energia em Edificações: Análise Comparativa de Respostas de Programas de Simulação Térmica de Ambientes , Coppe/UFRJ – Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético, Rio de Janeiro, 1993

LAMBERTS, R., Mendes, N. e Netto R., J. A. B. – *Buildindg Simulation in Brazil*. Seventh International IBPSA Conference. Rio de Janeiro. Anais... IBPSA:Internacional Building Performance Simulation Associantion, 2001, p.3-14

Lesocool, software suíço, Leso Lab, 1996, de uso no PROARQ/UFRJ

LIDDAMENT, M. W. - *Air infiltration calculation techniques and applications guide*. IEA Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC). Bracknell, UK –1986

MME, Ministério das Minas e Energia. Disponível em: www.mme.gov.br, acesso em mar. 2005.

OLGYAY, Victor; *Design with Climate- bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press, 1963

PROARQ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em : www.fau.ufrj.br/proarq, acesso em mai. 2005

RIVERO, Roberto; *Arquitetura e Clima*, Editora Luzzatto, Porto Alegre, 1980

RUANO, M., *Eco urbanismo – Ecourbanism* (edição bilíngüe espanhol – inglês), Ed. G. Gilli, Barcelona, 1999

SPIRN, A. W., *O Jardim de Granito, 1947*, Edusp, São Paulo, 1995

STANGENHAUS, Carmem R., - *Paredes, Conforto Higrotérmico, Edificações: ponderações e propostas para o clima tropical úmido em situação de verão*, Proarq/UFRJ – Dissertação de Mestrado em Arquitetura - Conforto Ambiental, Rio de Janeiro, 1990

TURKIENICTZ, Benamy et al., -*CityZoom*– software desenvolvido pela UFRGS, Porto Alegre, 2003

TRNSYS Disponível em: www.trnsys.com, acesso em out. 2006.

TSE, W.L., SO, A.T.P., Chan, W.L., Mak, I. K.Y. - *The validity of predicted mean vote for air-conditioned offices*, Emerald FullText. Vol. 23, n. 13/14 pp. 558-569, China, 2005

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)