



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO
Departamento de Arquitetura e Construção

SIMONE DELBIN

**INSERÇÃO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE
CONFORTO AMBIENTAL DE EDIFÍCIOS EM ENSINO DE
PROJETO ARQUITETÔNICO: PROPOSTA DE METODOLOGIA**

Campinas – SP

2006

**INSERÇÃO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE
CONFORTO AMBIENTAL DE EDIFÍCIOS EM ENSINO DE
PROJETO ARQUITETÔNICO: PROPOSTA DE METODOLOGIA**

SIMONE DELBIN

ORIENTADORA: PROF^a DR^a VANESSA GOMES DA SILVA

Texto apresentado à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Edificações

Campinas

2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

D376i Delbin, Simone
Inserção de simulação computacional de conforto ambiental de edifícios em ensino de projeto arquitetônico: proposta de metodologia / Simone Delbin.--Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Vanessa Gomes da Silva.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Projeto arquitetônico – Estudo e ensino. 2. Simulação (Computadores). 3. Conservação de energia. 4. Construção - Desempenho. 5. Conforto térmico. I. Silva, Vanessa Gomes da. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Insertion of building simulation into architectural design teaching: methodology proposal.

Palavras-chave em Inglês: Comfort, Building performance simulation, Architectural design teaching, Building simulation teaching, Energy efficiency.

Área de concentração: Edificações.

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Neide Matiko N. Sato e Doris C.C.K. Kowaltowski.

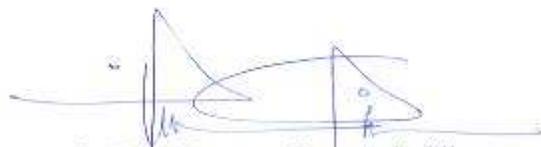
Data da defesa: 14/12/2006

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

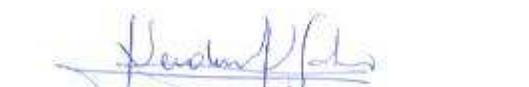
**INSERÇÃO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE CONFORTO
AMBIENTAL DE EDIFÍCIOS EM ENSINO DE PROJETO ARQUITETÔNICO:
PROPOSTA DE METODOLOGIA**

Simone Delbin

Tese de Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por



**Prof. Dra. Vanessa Gomes da Silva
Presidente e Orientador(a)/ Universidade Estadual de Campinas**



**Prof. Dra. Neide Matiko N. Sato
Universidade de São Paulo/UNINOVE**



**Prof. Dra. Doris C.C.K. Kowaltowski
Universidade Estadual de Campinas**

Campinas, 14 de dezembro de 2006

À minha irmã Cibele, companheira de todas as horas.

Agradeço aos meus pais pelo apoio incondicional, aos meus irmãos pelo ombro amigo nas horas difíceis. À Prof^a Vanessa pela paciência, e orientação. Aos alunos da graduação que me acompanharam nesta jornada, em especial a Mariana F. Ramos que sempre esteve disposta a participar de meus experimentos e ao Artur, pela colaboração na reta final. As amigas, Carla, Flávia Cristina, Kelen e Silvana pela paciência e compreensão nos momentos de dificuldade, a Patrícia pela ajuda na revisão do texto e a Betina pelas dicas preciosas. Agradeço às Professoras Lucila e Doris pela colaboração ao desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

Nos cursos de graduação de Arquitetura e Urbanismo no Brasil, conforto ambiental, eficiência energética e projeto arquitetônico são normalmente tratados como áreas distintas de conhecimento, o que se reflete na qualidade ambiental e no consumo energético dos ambientes construídos. Fica clara então a necessidade de inserção de alguma ferramenta ou método que possa ser aplicado em ensino e acabe com a lacuna entre tópicos teóricos de conforto ambiental e a prática de projeto. Como uma tentativa de mudar este quadro, propõe-se um método de ensino de simulação de conforto ambiental de edifícios que possa ser utilizado em cursos graduação em Arquitetura e Urbanismo. O primeiro passo do trabalho foi selecionar uma ferramenta adequada à simulação de conforto térmico e eficiência energética para as primeiras fases de projeto e de fácil utilização em ensino. Adaptou-se a metodologia de projeto típica para utilização em ensino. Um arquivo climático para Campinas foi então selecionado. Como pré-teste, foi realizado um experimento com alunos do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. Os projetos elaborados pelos alunos durante uma disciplina de projeto foram simulados como em uma consultoria. Os alunos envolvidos no experimento foram acompanhados durante a disciplina de projeto seguinte. Uma disciplina dedicada à utilização de uma ferramenta de simulação foi elaborada, com base em estudos de outras metodologias de ensino de simulação. A disciplina foi oferecida como eletiva aos alunos da graduação do curso de Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, a fim de testar a resposta dos alunos à ferramenta e de definir o melhor momento para inserção no currículo. A disciplina foi dividida em dois blocos: o primeiro, revisou conceitos de conforto e os introduziu no contexto do programa de simulação previamente selecionado (*ECOTECT*). Além disso, foram apresentados os fundamentos da metodologia de simulação (simplificação do modelo, zoneamento do edifício e etapas do processo de simulação). Neste período, os alunos desenvolveram pequenas simulações a cada aula. No segundo bloco de aulas, os alunos realizaram duas simulações mais complexas. Os resultados desta disciplina demonstram que os alunos aprenderam os comandos do programa com facilidade, porém prevalece alguma dificuldade com a simplificação do modelo e escolha dos materiais construtivos. A disciplina de simulação próxima ou no mesmo semestre que a primeira disciplina de conforto térmico, pode auxiliar na fixação do conteúdo aprendido e na utilização de simuladores nas disciplinas seguintes de conforto, maximizando o benefício de utilização destas ferramentas de projeto.

Palavras-chave: conforto ambiental, simulação de desempenho, ensino de projeto arquitetônico, simulação computacional, eficiência energética.

ABSTRACT

In architectural design teaching at undergraduate level in Brazil, environmental comfort and energy efficiency have been traditionally kept as separate knowledge domains, which reflect on the poor quality and high consumption of the built environment. It is proved then the necessity of insertion of a methodology or tools to be applied in education. As a way to overcome these problems, this research aims to establish a building simulation teaching methodology. Building simulation provides better design solutions and outcomes in energy efficiency design. Besides, it consolidates the acquired knowledge and test concepts on student's designs. As a first step for the development of this research a tool was selected, then the typical simulation methodology was adapted for teaching purposes. A climatic data file for Campinas was also selected. As a preparation, an experimental research was carried out in the specific design discipline dedicated to thermal comfort and bio-climatic architecture. Students had their design simulated in a consultancy format. The students involved in the experiment were followed in the next design studio. The first outcome showed that a computerized design studio is necessary for this issue. A discipline dedicated to teaching building simulation was elaborated based on traditional building simulation teaching methodology. It was offered as an elective discipline to undergraduate students of the Architectural course at Unicamp, as a way to test students with the simulation tool and to define when to introduce simulation into the curriculum. Students enrolled in the simulation course were interested in learning practical methods to analyze their projects. The course was based on two major blocks. The first one revised comfort subjects and also introduced students to the previous selected simulation tool (*ECOTECT*) and the simulation methodology (modeling, zoning, steps of the simulation process). In this period, students carried out simple simulations in each class. During the second block they developed two more complex simulations. The results of this course indicated that students learned easily how to operate the simulation tool, but did not internalize comfort concept and therefore had some difficulty on handling model simplification and choosing material data. A major reason appears to be lack of request implementation of comfort concepts in subsequent design studios. The simulation course should be at the same semester students are exposed to comfort concepts, or very close to it. These way students would be capable of using the tool to help on learning comfort issues, and also use it in the following comfort disciplines.

Key-words: comfort, building performance simulation, architectural design teaching, building simulation teaching, energy efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Ilustração 1 - Fases do projeto arquitetônico e abordagens recomendadas..... | 25 |
| Ilustração 2 - Seqüência de ações para desenvolvimento e avaliação de projeto arquitetônico.... | 26 |
| Ilustração 3 - Identificação dos Procedimentos propostos por Alucci para desenvolvimento e avaliação do projeto arquitetônico | 27 |
| Ilustração 4 - Fluxo de análise padrão em ferramentas de simulação de conforto energético | 40 |
| Ilustração 5 - Metodologia de simulação inserida no processo de projeto..... | 41 |
| Ilustração 6 - Metodologia de simulação típica..... | 42 |
| Ilustração 7 - Modelo simplificado para avaliação de desempenho térmico com o programa ECOTECT | 44 |
| Ilustração 8 - Modelo simplificado para avaliação de iluminação natural com o programa ECOTECT..... | 44 |
| Ilustração 9 - Modelo simplificado para avaliação de desempenho térmico com o programa ECOTECT..... | 44 |
| Ilustração 10 - Modelo simplificado para avaliação de iluminação natural com o programa ECOTECT..... | 44 |
| Ilustração 11 - Exemplo de divisão do edifício em zonas, para análise de desempenho térmico com o programa <i>ECOTECT</i> | 45 |
| Ilustração 12 - Zoneamento de um edifício para cálculo manual..... | 46 |
| Ilustração 13 - Possível método de validação de ferramenta de simulação..... | 60 |
| Ilustração 14 - Exemplo da Interface do programa BLAST..... | 61 |
| Ilustração 15 - Exemplo da Interface do programa DOE..... | 62 |
| Ilustração 16 - Interface do programa <i>EnergyPlus</i> | 63 |
| Ilustração 17 - Exemplo da Interface do programa <i>Energy -10</i> | 64 |
| Ilustração 18 a e b - Resultados gerados pelo programa <i>Energy -10</i> | 65 |
| Ilustração 19 a e b - Exemplos da interface do programa BDA..... | 65 |
| Ilustração 20 - Interface do programa ESP-r..... | 66 |
| Ilustração 21 a, b e c - Interface do programa HEED..... | 67 |
| Ilustração 22 a, b e c - Interface e resultados do programa IES<VE>..... | 68 |
| Ilustração 23 a,b. e c - Interface do programa <i>ECOTECT</i> | 70 |
| Ilustração 24 a e b - Interface do programa Analysis1.5..... | 72 |
| Ilustração 25 - Interface do programa Analysis Bio2.1.2, disponibilizado em 26/09/2005..... | 72 |
| Ilustração 26 - Interface do programa Analysis CST..... | 72 |
| Ilustração 27 - Tela de abertura do programa ARQUITROP 3.0 - versão livre compactada - setembro 1995 | 73 |
| Ilustração 28 - Interface do programa Avalcon Rio..... | 73 |
| Ilustração 29 - Interface do programa CTCA..... | 74 |
| Ilustração 30 - Interface do programa Declinação Magnética..... | 74 |
| Ilustração 31 - Interface do programa Luz do Sol..... | 76 |
| Ilustração 32 - Interface do programa E2..... | 76 |
| Ilustração 33 - Interface do programa Psycros..... | 76 |
| Ilustração 34 - Interface do programa <i>PowerDOMUS</i> | 77 |

| | |
|--|-----|
| Ilustração 35 - Interface do programa SUNPATH | 78 |
| Ilustração 36. Interface do programa SOL-AR Versão 6.1.1, disponibilizado em 03/07/2006 ... | 78 |
| Ilustração 37 - Interface do programa Umidus | 79 |
| Ilustração 38 - Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa | 107 |
| Ilustração 39 - Análise de radiação solar em um edifício..... | 117 |
| Ilustração 40 - Análise de radiação solar em um edifício, demonstrando a influência do entorno. | 117 |
| Ilustração 41 - Exemplo de estudo de radiação solar incidente em diferentes estações do ano.. | 118 |
| Ilustração 42 <i>a, b, c e d</i> - Exemplo de análise de ganho solar para verificação da efetividade de diversos dispositivos de sombreamento | 118 |
| Ilustração 43 <i>a e b</i> - Disponibilidade solar em urbanos | 119 |
| Ilustração 44 - Ganhos solares horários para um dia..... | 119 |
| Ilustração 45 - Ganhos solares médios horários de um ano completo..... | 119 |
| Ilustração 46 - Exemplo de ganhos solares em uma cobertura, demonstrado em uma carta solar (a) e em 3D com o modelo (b) | 119 |
| Ilustração 47 - Exemplo de estudo de dimensionamento de coletor solar..... | 120 |
| Ilustração 48 - Exemplo de análise níveis de conforto em um ambiente | 121 |
| Ilustração 49 - Exemplo de análise de temperaturas. | 121 |
| Ilustração 50 - Exemplo de gráfico demonstrando cargas térmicas de aquecimento (vermelho) e refrigeração (azul) para cada mês do ano..... | 121 |
| Ilustração 51 - Exemplo de gráfico demonstrando a porcentagem de período de desconforto para cada mês do ano | 121 |
| Ilustração 52 - Exemplo de gráfico de distribuição mensal de carga térmica em materiais, demonstrando os efeitos da massa térmica | 122 |
| Ilustração 53 - Exemplo de cálculos térmicos considerando os efeitos de materiais heterogêneos | 122 |
| Ilustração 54 <i>a e b</i> - Exemplo de diagramas de lux contornados ou em cores falsas e imagens DF gerado pelo. Radiance Image Viewer..... | 123 |
| Ilustração 55 <i>a e b</i> - Exemplo de análise de fator de luz diurna níveis de iluminação em um grid | 123 |
| Ilustração 56 - Exemplo de contornos de iluminancia como volumes | 124 |
| Ilustração 57 - Modos de visualização das análises de iluminação: (a) grid numérico; (b) por contornos; (c) 2D em qualquer escala de cores, ou em escala de cinza;(d) em 3D | 124 |
| Ilustração 58 <i>a e b</i> - Exemplo de representação da posição solar e sombras (a)com o percurso do sol em um dia, (b) com o percurso do sol em um ano..... | 125 |
| Ilustração 59 <i>a e b</i> - Exemplo de representação das sombras para um horário (a) ou sobreposição das sombras para um período (b) | 125 |
| Ilustração 60 - Exemplo de como destacar as sombras de um edifício (a), ou isolá-las (b)..... | 125 |
| Ilustração 61 - Exemplo de vista internas dos modelos para análise de sombras | 126 |
| Ilustração 62 - Exemplo de modelo com corte para análise de sombras | 126 |
| Ilustração 63 - Exemplo de carta solar com reflexões de objeto em destaque | 127 |
| Ilustração 64 - Ponto escolhido para gerar carta solar..... | 127 |
| Ilustração 65 - Exemplos de formatos de <i>brises</i> que o programa ECOTECH pode calcular | 127 |
| Ilustração 66 - Exemplo de planos de corte para estudo de insolação | 128 |
| Ilustração 67 - Exemplo de visualização do modelo através do Open Gl | 128 |
| Ilustração 68 - Exemplo de inserção do grid de análise na posição vertical para estudo detalhado da radiação solar incidente | 128 |

| | |
|---|-----|
| Ilustração 69 - Exemplo de utilização de análise de radiação solar incidente em um objeto para dimensionamento de dispositivo de sombreamento | 129 |
| Ilustração 70 - Exemplo de utilização de análise de radiação solar solar incidente para projeto de cobertura envidraçada | 129 |
| Ilustração 71 - Exemplo de ajuste na fonte sonora | 130 |
| Ilustração 72 - Exemplo de propagação sonora por raios acústicos | 131 |
| Ilustração 73 - Exemplo de propagação sonora por partículas | 131 |
| Ilustração 74 - Planta em CAD do projeto da escola simulada | 134 |
| Ilustração 75 - Análise de sombras na quadra da escola | 134 |
| Ilustração 76 - Modelo que representa o primeiro projeto das salas de aula..... | 134 |
| Ilustração 77 - Análise de sombras entre as salas de aula | 134 |
| Ilustração 78 - Geometria final das salas de aula, após análises de sombras, e análises térmicas. | 135 |
| Ilustração 79 - Análise de distribuição de iluminação natural dentro da sala aula projetada por um aluno. Níveis de iluminação medidos em lux, escala de 150 a 1000 lux. | 135 |
| Ilustração 80 - Estudo de sombreamento na sala de aula no período de inverno às 7h..... | 136 |
| Ilustração 81 - Estudo de sombreamento na sala de aula no período de verão às 8h..... | 136 |
| Ilustração 82 - <i>Brises</i> estudados: 1) pergolado; 2) retangular | 136 |
| Ilustração 83 - Análise de sombras nas salas de aula com dois tipos de <i>brise</i> no inverno às 11h..... | 137 |
| Ilustração 84 - Análise de sombras nas salas de aula com e sem <i>brise</i> no inverno às 14h..... | 137 |
| Ilustração 85 - Análise de sombras dentro do templo (verão às 12h)..... | 138 |
| Ilustração 86 - Análise de sombras dentro do templo (inverno às 9h) | 138 |
| Ilustração 87 - Análise de sombras projetadas pelo edifício (no verão às 15h) | 138 |
| Ilustração 88 - Análise de sombras projetadas pelo edifício (Inverno às 17h)..... | 138 |
| Ilustração 89 - Imagem gerada pelo Open GL, no <i>ECOTECT</i> | 143 |
| Ilustração 90 - Imagem gerada pelo programa 3d Studio..... | 143 |
| Ilustração 91 - Exercício solucionado equivocadamente por um aluno. Excesso de zonas que acarreta em elevação do tempo de simulação sem necessariamente contribuir para a melhoria na qualidade dos resultados..... | 146 |
| Ilustração 92 a e b - Resultado apresentado por aluno que representa o resultado esperado na divisão de zonas para o edifício de salas de aula da FEC | 147 |
| Ilustração 93 - Análise de sombras dentro de uma sala de aula no período de Solstício Inverno 8:30..... | 148 |
| Ilustração 94 - Proposta de intervenção elaborada pelo aluno | 148 |
| Ilustração 95 - Análise de iluminação natural dentro de uma sala de aula (projeto original) | 148 |
| Ilustração 96 - Análise de iluminação natural dentro de uma sala de aula (intervenção do aluno) | 148 |
| Ilustração 97 - Divisão de um edifício escolar em zonas térmicas (pavimento térreo)..... | 149 |
| Ilustração 98 - Divisão de um edifício escolar em zonas térmicas (primeiro pavimento) | 149 |
| Ilustração 99 - Visualização do modelo elaborado para análise de comportamento ambiental do edifício escolar | 149 |
| Ilustração 100 - Simulação da residência, projetada pelo arquiteto Marcos Acayaba, considerando as janelas abertas | 150 |
| Ilustração 101 - Simulação da residência, projetada pelo arquiteto Marcos Acayaba, considerando as janelas protegidas por <i>brises</i> | 151 |
| Ilustração 102 - Simulação da residência, projetada pelo arquiteto Marcos Acayaba, com prolongamento do beiral (proposta de intervenção do aluno)..... | 151 |

| | |
|--|-----|
| Ilustração 103 - Resultado da simulação natural no interior da residência (resultado representado em 3d)..... | 151 |
| Ilustração 104 - Resultado da simulação natural no interior da residência | 151 |
| Ilustração 105 - Foto da residência, utilizada para fazer comparações com os resultados obtidos com a simulação | 152 |
| Ilustração 106 - Tabela de dados elaborados pelo <i>ECOTECT</i> , durante os cálculos de desempenho acústico..... | 152 |
| Ilustração 107 - Resultado da simulação de desempenho natural na casa de vidro, sem influência da vegetação do entorno | 153 |
| Ilustração 108 - Resultado da simulação de desempenho natural na casa de vidro, com influência da vegetação do entorno..... | 154 |
| Ilustração 109 - Erro de zoneamento, ambientes com aberturas em diferentes orientações colocados na mesma zona | 155 |
| Ilustração 110 - Residência projetada pelo arquiteto Marcos Acayaba e simulada por um dos alunos | 156 |
| Ilustração 111 - O modelo da residência precisou que a superfície do terreno fosse modelada em outro programa (Rhinoceros3D) | 156 |
| Ilustração 112 - O terreno original da casa de vidro é em declive, porém o programa ECOTECT 5.2, não simula terrenos em declive, o plano do (eixo $z=0$) é o terreno..... | 156 |
| Ilustração 113 - Modelo com uma zona onde seria a rampa, desta forma, utilizou-se uma zona intermediária para que não ocorressem trocas térmicas do solo com as paredes que, no projeto real, estão acima da cota zero | 156 |
| Ilustração 114 - Primeiro estudo apresentado para o projeto de uma biblioteca, modelo criado no AutoCAD | 158 |
| Ilustração 115 - Simulação do primeiro estudo do projeto da biblioteca | 158 |
| Ilustração 116 - Corte do primeiro estudo elaborado para o projeto de uma biblioteca..... | 158 |
| Ilustração 117 - Segundo estudo realizado em AutoCAD para o projeto da biblioteca..... | 159 |
| Ilustração 118 - Simulação do segundo estudo realizado em AutoCAD para o projeto da biblioteca | 159 |
| Ilustração 119 - Iluminação na área do acervo, média de 200lux | 160 |
| Ilustração 120 - Iluminação na área de leitura, até 2000lux próximo a fachada | 160 |
| Ilustração 121 - Iluminação na área de leitura com as rampas como protetores solares. O resultado não difere muito da solução anterior | 161 |
| Ilustração 122 - Solução final encontrada com o auxílio do programa <i>ECOTECT</i> | 161 |
| Ilustração 123 - Simulação de iluminação natural no terceiro piso da biblioteca | 161 |
| Ilustração 124 <i>a e b</i> - Croquis do projeto de um centro empresarial desenvolvido na disciplina de projeto iluminação natural..... | 162 |
| Ilustração 125 - Elaboração de um <i>brise</i> otimizado pelo programa ECOTECT | 163 |
| Ilustração 126 - Estudo de distribuição de iluminação natural dos ambientes protegidos pelo <i>brise</i> otimizado pelo programa ECOTECT..... | 163 |
| Ilustração 127 - <i>Brise</i> elaborado a partir da solução do <i>brise</i> otimizado | 163 |
| Ilustração 128 - Estudo de distribuição de iluminação natural dos ambientes protegidos pelo <i>brise</i> | 163 |
| Ilustração 129 - Solução desenvolvida durante a disciplina de projeto. Modelo criado no programa AutoCAD | 164 |
| Ilustração 130 - Solução encontrada com a utilização do programa <i>ECOTECT</i> | 164 |
| Ilustração 131 - Análise de comportamento dos raios acústicos no interior da sala de cinema.. | 165 |

| | |
|---|-----|
| Ilustração 132 - Resultado da simulação dos níveis de iluminação artificial dentro da sala de projeção, obtido com o programa <i>ECOTECT</i> (resultado em 3d)..... | 165 |
| Ilustração 133 - Resultado da simulação dos níveis de iluminação artificial dentro da sala de projeção, obtido com o programa <i>ECOTECT</i> (resultado em 2d)..... | 165 |
| Ilustração 134 - Resultado da simulação dos níveis de iluminação artificial dentro da sala de projeção, obtido com o programa <i>Rhinoceros3D</i> | 166 |
| Ilustração 135 <i>a e b</i> - Estudo dos raios refletidos na sala original (a) e com modificação na geometria (b) (projeto de uma sala de cinema)..... | 167 |
| Ilustração 136 - Representação do modelo elaborado no <i>ECOTECT</i> para análise de comportamento acústico da sala de cinema | 167 |
| Ilustração 137 - Tabelas de dados gerados pelo programa <i>ECOTECT</i> para realização dos cálculos de comportamento acústico do ambiente. | 168 |
| Ilustração 138 - Gráfico com resultados do tempo de reverberação da sala de cinema | 169 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 - Evolução e distribuição do consumo energético em edificações no Brasil, 1999-2004 | 13 |
| Gráfico 2 - Modelo genérico de consumo de energia de edificações | 14 |
| Gráfico 3 - Adoção de medidas de economia segundo as fases de projeto | 22 |
| Gráfico 4 - Fases em que ferramentas são usadas para avaliar o consumo de energia | 23 |
| Gráfico 5 - Esquema de evolução do interesse em utilização em ferramentas de simulação desde aproximadamente 1970 até o início do terceiro milênio | 39 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Usos finais de energia elétrica no setor residencial..... | 15 |
| Tabela 2 - Usos finais de energia elétrica para edifícios de escritório com e sem ar condicionado no Brasil | 15 |
| Tabela 3- Usos finais de energia para edifícios comerciais e públicos de São Paulo | 15 |
| Tabela 4 - Resultados das ações do PROCEL..... | 16 |
| Tabela 5 - Potencial de economia por estágio do projeto..... | 21 |
| Tabela 6 - Plano geral de trabalho para desenvolvimento de projetos | 24 |
| Tabela 7- Dados climáticos mais comuns e sua aplicação | 53 |
| Tabela 8 - Comparação entre o arquivo climático de ano típico e <i>Multi-Year</i> | 55 |
| Tabela 9 - Cidades brasileiras com dados climáticos disponibilizados para utilização no programa <i>Energy Plus</i> | 57 |
| Tabela 10 - Comparação entre métodos de validação de <i>software</i> | 59 |
| Tabela 11 - Ferramentas brasileiras de simulação de conforto ambiental e eficiência energética | 71 |
| Tabela 12 - Tópicos abordados no módulo iniciante do curso VisualDOE | 90 |
| Tabela 13 - Tópicos abordados no módulo treinamento do curso VisualDOE | 91 |
| Tabela 14 - Exercício utilizados no curso preparatório do ESP-r | 93 |
| Tabela 15 - Plano de aulas para ensino do programa <i>Energy Plus</i> | 96 |
| Tabela 16 - Esquema de ensino do programa <i>ECOTEECT</i> em workshops..... | 99 |
| Tabela 17 - Comparação entre metodologias de ensino de ferramentas de simulação | 101 |
| Tabela 18 - Principais características analisadas nos programas | 108 |
| Tabela 19 - Ferramentas de simulação destacadas a partir da página do DOE na <i>internet</i> | 114 |
| Tabela 20 - Comparação das características de quatro ferramentas de simulação | 115 |
| Tabela 21.- Cronograma da disciplina AU-115 (2005)..... | 133 |
| Tabela 22 - Cronograma da disciplina eletiva de simulação AU207 | 141 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----------------|--|
| ABEA | Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura |
| ABESCO | Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia |
| AIA | <i>American Institute of Architects</i> |
| ASBEA | Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura |
| ASHRAE | <i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> |
| BDA | <i>Building Design Advisor</i> |
| BLAST | <i>Building Loads Analysis and System Thermodynamics</i> |
| BRE | <i>Building Research and Consultancy</i> |
| CAD | <i>Computer Aided Design</i> |
| CATE | Centro de Aplicações de Tecnologias Eficientes |
| CEERE- | <i>Center for Energy Efficiency and Renewable Energy</i> |
| CEC | <i>California Energy Commission</i> |
| CIBSE | <i>Chartered Institution of Building Services Engineers</i> |
| CIE | <i>Commission Internacional de L'Eclairage</i> |
| CTCA | Conforto Térmico, Cálculo e Análise |
| CSTB | <i>Centre Scientifique et Thechnique du Batment</i> |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| CH ₄ | Metano |
| CFCs | Clorofluorcarbonos |
| CWEEDS | <i>Canadian Weather for Energy and Engineering</i> |
| DOE | <i>Department of Energy</i> |
| ERDA | <i>U. S. Energy Research and Development Administration</i> |
| EWY | <i>Example Weather Year</i> |
| FAU-USP | Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo |

| | |
|------------------|---|
| GRI | <i>Global Reporting Initiative</i> |
| HEED | <i>Home Energy Efficient Design</i> |
| IAC | Instituto Agrônômico de Campinas |
| IES | <i>Illuminating Engineering Society</i> |
| IBPSA | <i>International Building Performance Simulation Association</i> |
| INSWO | <i>International Surface Weather Observations</i> |
| Ipea | Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada |
| IPT | Instituto de Pesquisas Tecnológicas |
| IWEC | <i>International Weather for Energy Calculations</i> |
| LabEEE | Laboratório de Eficiência Energética em Edificações |
| LABAUT | Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética |
| LabCon | Laboratório de Conforto Ambiental |
| LBL | <i>Lawrence Berkeley Laboratory</i> |
| MEC | Ministério da Educação |
| MY | <i>Multi Year</i> |
| N ₂ O | Óxido nitroso |
| NOAA | <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> |
| OECD | <i>Organization for Economic Cooperation and Development.</i> |
| PROCEL | Programa de Nacional de Conservação de Energia |
| PUCPR | Pontifícia Universidade Católica do Paraná |
| RIBA | <i>Royal Institute of British Architects</i> |
| SAMSON | <i>Solar and Meteorological Surface Observation Network</i> |
| SITERPA | Laboratório de Sistemas Térmicos Passivos |
| SINMEC | Laboratório de Simulação de Troca de Calor e Mecânica dos Flúidos |
| SIG | Sistema de Informação Geográfica |
| SWERA | <i>Solar and Wind Energy Resources Assessment</i> |
| TI | Tecnologia da Informação |
| TMY | <i>Typical Meteorological Year</i> |
| TRY | <i>Test Reference Year</i> |
| UEA | <i>University of East Anglia</i> |
| UNESP | Universidade Estadual Paulista |

| | |
|----------|--|
| Unb | Universidade de Brasília |
| UFRGS | Universidade Federal do Rio Grande do Sul |
| UFRN | Universidade Federal do Rio Grande do Norte |
| UNISINOS | Universidade do Vale dos Sinos |
| Unicamp | Universidade Estadual de Campinas |
| WYEC | <i>Weather Years for Energy Calculations</i> |

SUMÁRIO

| | |
|---|------------|
| RESUMO | v |
| ABSTRACT..... | vi |
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES..... | vii |
| LISTA DE GRÁFICOS..... | x |
| LISTA DE TABELAS..... | xi |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS..... | xii |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Contextualização e Justificativa da Pesquisa | 1 |
| 1.2 Ensino de conforto ambiental no Brasil..... | 2 |
| 1.3 O curso de Arquitetura e Urbanismo da Unicamp..... | 7 |
| 1.4 Objetivos..... | 8 |
| 1.5 Estrutura do Trabalho | 9 |
| 2 CONSUMO DE ENERGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO..... | 11 |
| 2.1 Fontes Energéticas | 11 |
| 2.2 Matriz energética brasileira | 12 |
| 2.3 Consumo de Energia em Edificações | 13 |
| 2.4 Regulamentação e Certificação de Desempenho Energético de Edifícios | 16 |
| 3 PROJETO DE ARQUITETURA E POTENCIAL DE ECONOMIA DE | |
| ENERGIA EM EDIFÍCIOS | 19 |
| 3.1 O processo de projeto | 19 |
| 3.2 Potencial de economia de energia em edificações..... | 20 |
| 3.3 Manipulação de variáveis no processo de projeto | 23 |
| 3.4 Prática de Projeto | 29 |
| 4 A PRÁTICA DE SIMULAÇÃO | 35 |
| 4.1 Antecedentes Históricos | 35 |
| 4.2 Metodologia de Simulação | 39 |
| 4.3 Simplificação do modelo para simulação de desempenho térmico | 43 |
| 4.4 Barreiras à simulação | 47 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.4.1 | Arquivos climáticos..... | 51 |
| 4.5 | Métodos para validação de <i>softwares</i> de simulação | 58 |
| 4.6 | Ferramentas de simulação..... | 61 |
| 4.6.1 | Programa BLAST..... | 61 |
| 4.6.2 | Programa DOE-2..... | 62 |
| 4.6.3 | Programa <i>Energy Plus</i> | 63 |
| 4.6.4 | Programa <i>Energy-10</i> | 64 |
| 4.6.5 | Programa BDA – <i>Building Design Advisor</i> | 65 |
| 4.6.6 | Programa ESP-r..... | 66 |
| 4.6.7 | Programa HEED..... | 66 |
| 4.6.8 | Programa IES<VE>..... | 67 |
| 4.6.9 | Programa <i>ECOTECT</i> | 69 |
| 4.6.10 | Programas Brasileiros..... | 70 |
| 5 | ENSINO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EFICIÊNCIA | |
| | ENERGÉTICA E CONFORTO AMBIENTAL..... | 81 |
| 5.1 | Utilização de ferramenta de simulação em ensino de projeto arquitetônico e conforto ambiental | 81 |
| 5.2 | Ensino de simulação | 85 |
| 5.2.1 | Programa de ensino proposto por Hand e Crawley..... | 87 |
| 5.2.2 | Ensino do <i>software</i> de simulação VisualDOE-2 | 89 |
| 5.2.3 | Ensino do <i>software</i> de simulação ESP-r..... | 91 |
| 5.2.4 | Ensino do <i>software Energy Plus</i> | 94 |
| 5.2.5 | Ensino do <i>software ECOTECT</i> | 97 |
| 5.2.6 | Experiências de ensino com outros <i>softwares</i> de simulação | 99 |
| 5.2.7 | Comparação de métodos de ensino e recomendações de professores | 100 |
| 6 | MATERIAIS E MÉTODOS | 107 |
| 6.1 | Determinação dos critérios para seleção do software..... | 108 |
| 6.2 | Preparação dos dados climáticos | 109 |
| 6.3 | Pré-teste | 110 |
| 6.3.1 | Simulação dos projetos dos alunos (AU 115) | 110 |
| 6.3.2 | Acompanhamento dos alunos (AU 116) | 110 |
| 6.3.3 | Análise dos resultados | 111 |
| 6.4 | Refinamento..... | 111 |
| 6.4.1 | Elaboração de uma disciplina de simulação..... | 111 |
| 6.4.2 | Aplicação do questionário 01 | 111 |
| 6.4.3 | Oferecimento de uma disciplina eletiva de simulação (AU 207)..... | 111 |
| 6.4.4 | Aplicação do questionário 02 | 112 |
| 6.4.5 | Análise dos resultados | 112 |
| 7 | ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 113 |
| 7.1 | Seleção do <i>software</i> | 113 |
| 7.1.1 | <i>ECOTECT</i> : Análises solares..... | 117 |
| 7.1.2 | <i>ECOTECT</i> : Análises térmicas | 120 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 7.1.3 | <i>ECOTECT</i> : Iluminação | 122 |
| 7.1.4 | <i>ECOTECT</i> : Sombras e reflexões | 124 |
| 7.1.5 | <i>ECOTECT</i> : Elaboração de protetor solar | 127 |
| 7.1.6 | <i>ECOTECT</i> : Normas para Edifícios (Building Regulations)..... | 129 |
| 7.1.7 | <i>ECOTECT</i> : Análises Acústicas | 130 |
| 7.1.8 | <i>ECOTECT</i> : Resource Management..... | 131 |
| 7.2 | Preparação dos dados climáticos | 131 |
| 7.3 | Pré-teste | 132 |
| 7.3.1 | Simulação dos projetos dos alunos (AU-115) | 132 |
| 7.3.2 | Acompanhamento dos alunos (AU 116) | 137 |
| 7.3.3 | Análise dos resultados | 139 |
| 7.4 | Refinamento..... | 139 |
| 7.4.1 | Disciplina de Ensino de Simulação | 140 |
| 7.4.2 | Análise dos questionários | 169 |
| 8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 171 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 175 |
| | BIBLIOGRAFIA..... | 187 |
| | APÊNDICE A - Questionários Aplicados | 193 |
| | ANEXO A - Projeto de Norma para Desempenho Térmico de Edificações | 197 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e Justificativa da Pesquisa

No Brasil, o consumo energético para operação e manutenção de edifícios residenciais e comerciais é da ordem de 48% do total da energia elétrica produzida no país. O consumo nos edifícios varia de acordo com a tipologia e as tecnologias instaladas, por exemplo, residências consomem 25% da eletricidade gerada do país, enquanto o comércio é responsável pelo consumo de 16% (ELETROBRÁS, 2005). Aquecimento ou refrigeração de ambientes pode representar até 48% do consumo energético de um edifício, deixando clara a relação entre ambiente desconfortável e consumo de energia. Um projeto tecnicamente adequado, no qual todas as variáveis relacionadas aos processos de sensações térmicas do usuário são estudadas, pode reduzir substancialmente o consumo de energia elétrica para climatização.

No Brasil, acredita-se que melhorias em edifícios existentes podem resultar em economia de energia da ordem de 15%, e que a intervenção na fase de projeto pode representar uma economia de até 50% em relação a projetos convencionais (ROMERO, GONÇALVES, GUGLIELMETTI, 2001).

A ineficiência energética dos edifícios se deve, entre outros fatores, a problemas no ensino de projeto em cursos de Arquitetura e Urbanismo. A desvinculação das disciplinas de conforto ambiental e projeto arquitetônico é um dos principais responsáveis pelo baixo desempenho dos projetos. A resolução de exercícios de cálculo, desvinculados de problemas de projeto, método comumente adotado em disciplinas de conforto ambiental, também contribui para a baixa qualidade dos projetos.

O uso de simulação de desempenho ambiental em ensino pode transpor a lacuna existente entre disciplinas de conforto e projeto. A utilização de ferramentas de simulação de conforto térmico e desempenho energético de edifícios em disciplinas de

graduação em Arquitetura e Urbanismo ainda é prática recente, tendo sido iniciada em meados da década de 90, sendo mais comum no exterior que no Brasil.

Mesmo com incentivos, a prática de simulação ainda é pequena, devido a barreiras econômicas, técnicas e culturais. A utilização de simulações simplificadas durante o aprendizado do processo de projeto pode transpor estas barreiras e formar uma nova geração de projetistas preparados a utilizar todo o potencial destas ferramentas no processo de projeto.

Ferramentas de simulação podem auxiliar os projetistas a desenvolver seus projetos de forma mais consciente. Em cursos de graduação, permitem que os alunos comparem resultados de soluções projetuais e assim formem um repertório de alternativas de projeto mais amplo.

1.2 Ensino de conforto ambiental no Brasil

A disciplina de conforto ambiental tornou-se obrigatória no currículo mínimo do curso de Arquitetura e Urbanismo, a partir de 1994, pelo decreto 1770, estabelecido pelo MEC. Até então, as instituições de ensino tinham as disciplinas de Higiene das Construções (ou Higiene Ambiental) e Física (Física Ambiental ou Física Aplicada). Com a alteração do currículo exigida pelo MEC, as antigas disciplinas de Física e Higiene das Habitações foram adaptadas às novas cargas horárias e alguns ajustes foram feitos quanto ao conteúdo das mesmas (BITTENCOURT, TOLEDO, 1997).

O II Encontro de Professores de Conforto Ambiental, realizado em João Pessoa em agosto de 1994, apontou alguns problemas graves relacionados ao ensino de conforto. Professores renomados relataram que apesar de seus esforços no ensino da disciplina, muitos dos seus ex-alunos, agora arquitetos, produziam em sua atividade profissional projetos sem compromisso com as questões ligadas a conforto ambiental e eficiência energética. O que levou os presentes a pensar que a maneira como conforto ambiental e eficiência energética vinham sendo ministrados não atingiam seu objetivo (BITTENCOURT, TOLEDO, 1997).

O método comumente adotado em aulas de conforto ambiental, baseado na apresentação de conhecimentos teóricos seguidos de resolução de exercícios de cálculo, totalmente desvinculados de um problema real de projeto arquitetônico, faz com

que o aluno não desenvolva o senso crítico voltado ao conforto (BITTENCOURT, TOLEDO, 1997, VIANA, 2001). As constatações realizadas pelos autores estão defasadas em quatro anos, ou seja, em quatro anos pouco avanço se verificou nos métodos de ensino voltados às disciplinas de conforto ambiental.

Uma pesquisa realizada em São Paulo com arquitetos e engenheiros, reforça as constatações dos professores de conforto. Verificou-se que estes profissionais resistem ao enquadramento do processo de projeto em métodos científicos. Orgulham-se de seu espírito inovativo e individualista. Os profissionais declararam que a síntese da forma e sua estética são os objetos principais do projeto, e que o conforto dos usuários, e a durabilidade da construção, são objetivos posteriores (KOWALTOWSKI, 1993).

A desvinculação das questões de conforto e de projeto teve início com a separação das disciplinas dita técnicas, teóricas e de projeto. As disciplinas ligadas a projeção eram ensinadas na Escola Politécnica. “Naquele instante, aconteceu do ponto de vista da ciência da concepção uma separação suicida entre o ensino (e a prática) do projeto e o ensino (e a prática) dos meios de execução deste projeto, a técnica construtiva” (BARROSO-KRAUSE, 1998). Os problemas causados pela separação das disciplinas se refletem até hoje nas escolas de arquitetura.

Modificações nas estruturas dos cursos de arquitetura, e especialmente no ensino de conforto ambiental, vêm sendo realizadas de forma gradual. O decreto 1770 do MEC fez com que a discussão em torno do ensino de conforto ambiental tomasse novo fôlego, especialmente pela exigência de laboratórios de conforto ambiental (MEC, 1994).

A ABEA - Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura, elaborou um documento com a configuração essencial, necessária para o funcionamento de laboratórios de conforto ambiental. O documento enumera instrumentos e traz também a proposta curricular para realização de experimentos (ABEA, 199?) e sugere cinco atividades mínimas;

- avaliação das condições de conforto térmico em edificações;
- avaliação do desempenho térmico em componentes construtivos da edificação;
- avaliação da insolação e sua geometria no ambiente construído;

- avaliação das condições de iluminação no ambiente construído; e
- avaliação das condições acústicas e controle de ruído no ambiente construído.

São sugeridos módulos envolvendo experimentos e simulações computacionais, que podem ser incorporados ao curso de acordo com a formação do docente:

- desenvolvimento de avaliação bioclimática;
- medições do ganho de calor por aberturas (utilização de radiômetro de abertura);
- medições de fluxo de calor através de fechamentos (emprego de transdutores de fluxo de calor);
- impacto da decisão de projeto no consumo de energia (simulação); e
- medições das propriedades radiantes de materiais de construção (simulações e bancada fotométrica).

Apesar de o documento ter sido elaborado na década de 90, quando já existia uma infinidade de boas ferramentas de simulação, somente duas atividades extracurriculares contemplam o uso de ferramentas de simulação, o que leva a percepção de atraso em relação ao ensino de arquitetura no Brasil. Fica, portanto, nas mãos dos professores de conforto ambiental e projeto arquitetônico a incumbência de inserir a simulação no currículo de suas escolas.

Existem poucas diferenças na forma de abordagem dos conteúdos das disciplinas de conforto ambiental nas Universidades brasileiras. Alguns exemplos de exercícios e abordagens serão apresentados para ilustrar as iniciativas de algumas instituições. Vale também, mostrar a importância dos laboratórios de conforto ambiental para o aprendizado.

As abordagens didáticas utilizadas nas instituições não se diferem muito. Como primeiro exemplo, utilizamos a experiência da UNISINOS¹. Vemos que, na década de 70, a área de conforto térmico era contemplada na grade curricular, enquanto as outras disciplinas de conforto ambiental deveriam ser abordadas nos estúdios de projeto. Nos anos 80 foram criadas duas novas disciplinas com o objetivo de ampliar o conteúdo de conforto ambiental e eficiência energética, porém a experiência foi frustrante. “O grande

¹ UNISINOS – Universidade do Vale dos Sinos, São Leopoldo – RS.

contraste entre a avalanche de dados, gráficos, ábacos, tabelas, fórmulas e grandezas (tal como nos foram assinalados), com o direto, sintético, amplamente gráfico e sensitivo, sistema interativo do nosso publico alvo” (BONI, 1997). A disciplina chegou a ser comparada pelos alunos com mais uma disciplina de “cálculo” a ser “vencida”.

Modificações didáticas foram feitas, o curso passou a abordar inicialmente a necessidade conceitual do tema, e depois, passou a utilizar elementos mais técnicos. “Procedimentos sintéticos ou simplificados, que processem toda a informação científica em instrumentos preferencialmente gráficos, de ampla compreensão, e principalmente, que interagissem diretamente nas rotinas habituais de projeto” (BONI, 1997). Para tal, o uso de ferramentas de simulação seria perfeitamente aplicável.

A UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, tem um planejamento de ensino que procura a integração das disciplinas do currículo. A integração é feita com a exploração de um mesmo tema em todas as disciplinas ministradas em um mesmo semestre, facilitando, principalmente, o diálogo entre disciplinas de conforto e projeto. Conforto ambiental é introduzido no curso no quarto semestre, a partir de quando espera-se que o aluno possa realizar análises de insolação, máscaras de sombras e até cálculo de *brises*. Como ferramenta de auxílio de ensino são utilizados o programa *ECOTECH* e a ferramenta *SunTool*. A experiência didática vem apresentando bons resultados (OLIVEIRA e MACEDO, 2005).

Marsh (2006 a), acredita que, apesar da educação em arquitetura proporcionar uma boa base em física da construção, na prática profissional muito deste conhecimento é esquecido rapidamente. Bittencourt e Toledo (1997) acreditam que o esquecimento, ou não absorção, de todos os conceitos vistos em aula se deva a: 1) objetivos de disciplinas muito ambiciosos para a carga horária disponível; 2) falta de interação entre os conteúdos, 3) o aluno ao final do curso não se sente habilitado a fazer análises coerentes de iluminação natural e ventilação ao mesmo tempo, privilegiando um dos aspectos nos seus projetos; e por fim 4) falta a aplicação do conhecimento adquirido na prática projetual.

A falta de incentivo dos professores de projeto para que o aluno aplique os princípios de arquitetura bioclimática nos trabalhos, acontece em diversas Universidades. “O aluno passava a empregar os seus recentes conhecimentos,

praticamente por iniciativa própria acompanhado à distância pelo assessor, sem maiores interferências ou exigências” (BONI, 1997).

O domínio dos princípios de conforto ambiental pelo corpo docente da área de projeto é condição fundamental para o êxito do aprendizado (BITTENCOURT, TOLEDO, 1997). Em muitos casos, os professores de projeto não têm conhecimentos suficientes de arquitetura bioclimática e não se sentem confortáveis em exigir a inserção destas estratégias pelos alunos.

A prática do *atelier* não pode ser vista como simples síntese de conhecimentos obtidos nas diferentes disciplinas, mas deve ser base para a constituição de um processo dedutivo, de compreensão da realidade e dos sistemas componentes da arquitetura (RIO, 1998).

A busca por originalidade nos projetos pode levar a escolha de soluções espaciais inadequadas e leva o aluno à expectativa da produção de algo novo. Desta forma, não são buscadas soluções arquitetônicas pregressas e contemporâneas que possam enriquecer a formação do aluno e melhorar o desenvolvimento de seus projetos (HERKENHOFF, 1997).

Nas universidades brasileiras falta orientação conceitual e metodológica para o desenvolvimento do projeto. Ainda persiste a idéia de que a criatividade possui papel preponderante no ensino. Por conta da inexistência de uma disciplina de projeto cientificamente estruturada, a criatividade é entendida como um fenômeno psicológico derivado de inspiração, talento ou intuição (SILVA, 1994).

As dificuldades mais severas mencionadas são relacionadas à visão de arquitetura como arte pura e descobertos que, na prática, existe uma falta de conhecimentos por parte dos arquitetos e falha na antecipação das necessidades dos usuários (SALAMA, 1997, apud KOWALTOWSKI et al, 2005).

Em aprendizado de projeto, outras questões se revelam, como a utilização de modelos durante o desenvolvimento do projeto e para sua representação. As ferramentas para simulação dos objetos funcionam durante o processo auxiliando na obtenção do resultado final, trazendo a possibilidade de novos processos. “Os modelos auxiliam na manipulação e na visualização, mas também na construção da idéias e repertórios” (DUARTE, 2001).

1.3 O curso de Arquitetura e Urbanismo da Unicamp

No curso de Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, implantado em 1999, o projeto pedagógico vai ao encontro das diretrizes curriculares e das tendências do mercado profissional. Esse conjunto de conhecimentos é adquirido em disciplinas que versam sobre projeto, urbanismo, conforto ambiental, tecnologia do ambiente construído, sistemas estruturais e prediais, técnicas retrospectivas, história da arquitetura e urbanismo, comunicação visual e os estudos sócio-econômicos. Na Unicamp, o quadro de disciplinas de projeto forma o conjunto didático mais importante do curso de Arquitetura e Urbanismo e caracteriza-se pela plena integração da teoria da arquitetura com a atividade prática de projeto. A formação generalista visa a suprir as inúmeras e diversificadas solicitações que a atuação profissional exige (UNICAMP, 2001).

Para superar os problemas relacionados à aplicação de conceitos de conforto em projeto de arquitetura, as disciplinas de projeto do curso procuram discutir e desenvolver temas específicos; e conectar o conteúdo teórico com a exploração criativa de soluções de problemas (KOWALTOWSKI et al., 2005).

Uma importante inovação do projeto pedagógico da Unicamp é a combinação de tópicos específicos de conforto ambiental como um dos objetivos principais de três disciplinas de projeto (KOWALTOWSKI, et al, 2005). A integração da simulação no processo de projeto tem sido pensada há alguns anos na Universidade.

Uma disciplina de Física Aplicada e aulas introdutórias de projeto preparam os alunos para discutir os problemas de conforto. O projeto bioclimático é introduzido no quinto semestre do curso de seis anos. Os estúdios remanescentes esperam que os alunos combinem seus conhecimentos de conforto como uma síntese na resolução de questões projetuais mais complexas.

O trabalho final da primeira turma de formandos (2004) indicou que o esforço extra para introduzir conceitos de conforto cedo no processo de projeto foi revelado na maior parte das soluções projetuais adotadas, mas ressaltou uma lacuna a ser transposta (KOWALTOWSKI et al., 2005). Uma reflexão entre os professores quanto às possíveis causas da aparente perda de compromisso com a arquitetura bioclimática depois da disciplina específica apontou que:

- existe uma dificuldade em visualizar os sentidos de conforto durante o processo de projeto. Experimentos no laboratório funcionam bem para fundamentos de física, mas os estudantes têm dificuldade em internalizar conceitos se eles não podem experimentar e perceber as implicações de suas decisões de projeto de uma forma clara e tangível, e adotar uma solução que eles estejam suficientemente confiantes para prosseguir no desenvolvimento do projeto.

- há dificuldade em comunicar percepção de conforto ao longo do processo de projeto arquitetônico (KOWALTOWSKI, 1998). Por causa das peculiaridades da comunicação gráfica, existem dificuldades em incorporar parâmetros de conforto ambiental e resultado de simulações na expressão do projeto. O processo de projeto necessariamente inclui avaliações, que deveriam realçar ao extremo imagens gráficas de conceitos de conforto.

A comunicação gráfica é importante na tarefa de simplificação de modelos, porém pode implicar em certos riscos. A confusão das imagens gráficas com a realidade, embelezamento de uma idéia, falta de técnica para representação de conceitos ou ocultação de idéias, podem prejudicar a comunicação de resultados (DUARTE, 2002).

Tentativas de trazer sentimentos de conforto através do processo tradicional de desenho arquitetônico geralmente são ilusórias. Ventilação efetiva, por exemplo, pode ser mal interpretada pelas representações típicas da movimentação do ar com flechas passando pelos cortes ou plantas dos edifícios. Por outro lado, os resultados oferecidos por *softwares* de simulação não são usualmente fáceis de serem lidos por usuários que não sejam especialistas.

1.4 Objetivos

Esta pesquisa tem por objetivo geral propor uma metodologia para incorporar o processo de simulação de conforto térmico e eficiência energética ao ensino de arquitetura, com a finalidade de inserir a prática de simulação no processo de projeto cotidiano de futuros arquitetos e assim contribuir para melhoria dos projetos de edificações.

Para tanto, os seguintes objetivos específicos foram traçados:

- identificar as barreiras ao uso de *softwares* de simulação de conforto térmico e eficiência energética;
- identificar uma ferramenta adequada para utilização em ensino de conforto ambiental e eficiência energética e de fácil integração com o processo de projeto, com preferência por *softwares* de domínio público ou de baixo custo.

1.5 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 2 inicia-se mostrando as diferentes matrizes energéticas e seu impacto na economia e no meio ambiente. Aborda assuntos relacionados ao consumo de energia elétrica em edifícios em escala mundial. Faz uma comparação entre a oferta de energia no Brasil e a demanda por energia em edificações. O capítulo é encerrado com exemplos de normas e certificação de desempenho energético de edificações que tem como objetivo a redução do consumo energético em países da Europa e nos Estados Unidos.

O Capítulo 3 resume como ocorre o processo de projeto, exemplifica o potencial de economia de energia de edifícios e as variáveis projetuais manipuláveis para melhoria de desempenho destes projetos. Neste capítulo também é apresentada uma discussão sobre o papel do arquiteto no consumo de energia em edifícios e relaciona pesquisas que esclarecem como os arquitetos elaboram seus projetos e tratam da questão energética.

O Capítulo 4 aborda a prática de simulação e apresenta um breve histórico sobre a evolução dos centros de pesquisa. Também trata das maiores dificuldades encontradas por usuários de ferramentas de simulação. Ainda no Capítulo 4 as principais ferramentas de simulação atualmente disponíveis são relacionadas. A seção 4.4.10 apresenta as ferramentas brasileiras de simulação mais utilizadas.

O Capítulo 5 apresenta uma revisão sobre ensino de simulação de conforto ambiental e eficiência energética. São apresentados casos de utilização de ferramentas de simulação no ensino de conforto ambiental e a interação entre ensino de conforto e projeto arquitetônico. A sessão 5.2 apresenta algumas das principais experiências de ensino de simulação no mundo.

O desenvolvimento da pesquisa e a seleção do *software* e de um arquivo climático fazem parte do Capítulo 6. O pré-teste do trabalho (simulação dos projetos de alunos em disciplina de projeto e posterior acompanhamento) é apresentado no item 6.4. O refinamento da pesquisa (aplicação de questionário, elaboração e oferecimento de uma disciplina para ensino de simulação computacional de edifícios e aplicação de novo questionário) é apresentado no item 6.5.

No Capítulo 7 são apresentados e discutidos os resultados do pré-teste e do refinamento da pesquisa. No Capítulo 8 são apresentadas as considerações finais do trabalho.

2 CONSUMO DE ENERGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Neste capítulo, demonstra-se a relação entre consumo energético em edificações e seu impacto na economia e no meio ambiente. Destacam-se alguns aspectos: padrão de consumo entre diferentes classes sociais; diferenças entre matrizes energéticas e emissão de poluentes e a crise energética brasileira. Aborda ainda o consumo de energia elétrica em edificações brasileiras, e programas de certificação de desempenho energético em edifícios.

2.1 Fontes Energéticas

O consumo de energia per capita sofre variação de acordo com o poder aquisitivo das pessoas e do desenvolvimento social da região onde vivem. Pessoas com renda mensal entre zero e dois salários mínimos consomem 20 mil Kcal/dia, enquanto pessoas com renda mensal superior a 20 salários mínimos consomem cerca de 280 mil Kcal/dia (GOLDENBERG, VILANOVA, 2003). A fonte de energia também pode variar: pessoas com renda mais baixa consomem menos gás e mais madeira para aquecimento de ambientes e cocção de alimentos.

Nas últimas décadas, o consumo de energia tem se tornado um assunto recorrente para todos, seja pela sua possível escassez, ou pela poluição liberada na sua produção e consumo. As nações desenvolvidas são as mais implicadas na questão, especialmente aquelas fortemente baseadas em fontes de energia fóssil, não renováveis e poluidoras.

Em 1997, nações industrializadas, sobressaltadas com o aquecimento global causado pelo efeito estufa, assinaram o Protocolo de Quioto, e se comprometeram a reduzir 5% a emissão de gases de efeito estufa², em relação aos níveis de 1990, até 2012.

Energia solar e energia eólica são exemplos de fontes renováveis pouco poluidoras. As hidrelétricas, ao contrário do que afirmavam estudos ambientais da década de 70 e 80, não são uma fonte de energia isenta de emissões atmosféricas. “O reservatório de uma hidrelétrica emite gases de origens biogênicas, tais como o CO₂, CH₄, N₂O e H₂S” (ELETROBRÁS, 2000 a).

2.2 Matriz energética brasileira

O Brasil utiliza uma matriz energética muito menos poluidora do que países participantes do protocolo de Quioto. No entanto, a principal contribuição em nossa matriz energética (hidrelétrica) não é totalmente limpa e sua geração é inferior a demanda atual.

Evidenciando a crise no setor desde o início dos anos 90, Paulino Cícero, ao tomar posse do ministério de Minas e Energia, no governo do presidente Fernando Collor, fez a seguinte afirmação: “Se a recessão não houvesse salvo o sistema elétrico brasileiro, o sistema elétrico do país teria gerado a recessão” (SOLNIK, 2001).

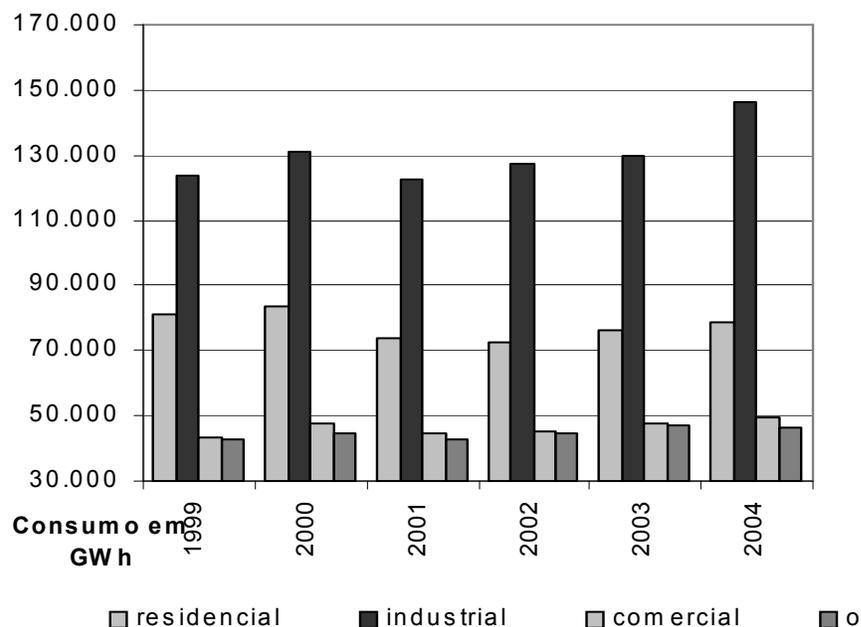
O Ipea - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada previa que em 2001 o país crescerá cerca de 4,0%. No entanto, o crescimento naquele ano foi de apenas 3,0% (SOLNIK, 2001). A economia nacional foi prejudicada com o racionamento energético, pois a indústria teve que diminuir seu ritmo de produção. Na época, o empresário Antonio Hermínio de Moraes fez as seguintes afirmações: “A primeira consequência do racionamento é a queda de arrecadação de ICMS, segunda, aumento do desemprego, terceiro, piora no saldo da balança comercial. Só a indústria de aço poderá ter perdido cerca de US\$ 24 milhões de faturamento, em 2001” (SOLNIK, 2001).

Em 2001, houve queda no consumo de energia elétrica no país devido às campanhas realizadas no período (Gráfico 1), com cobrança de sobretaxa nas tarifas,

² Os gases responsáveis pelo efeito estufa que devem ter a emissão reduzida são: CO₂ – dióxido de carbono, CH₄ – metano, CFCs – clorofluorcarbonos e N₂O – óxido nitroso

aplicadas aos consumidores que não diminuíssem o consumo de energia (ELETROBRÁS, 2005).

Gráfico 1- Evolução e distribuição do consumo energético em edificações no Brasil, 1999-2004



Fonte: ELETROBRÁS 2005 **Balço Energético Nacional** Disponível em http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do;jsessionid=8E476067E6111877935472980B8BD92D?channelId=1432&pageld=4124, acesso em 10 de fevereiro de 2005

O grande problema energético brasileiro deve-se ao fato de o crescimento da demanda ser superior ao crescimento da oferta. Enquanto o consumo de energia elétrica aumentou 44,6% entre 1990 e 2000, a capacidade instalada aumentou apenas 28,5% (ROSA et al., 2001). O aumento do número de edifícios e da intensidade do uso de energia elétrica devido ao crescimento da utilização de equipamentos acarreta o aumento do consumo de energia elétrica, mesmo em períodos de recessão (GHISHI, 1997). Assim, a eficiência energética tornou-se um assunto discutido entre toda a sociedade brasileira.

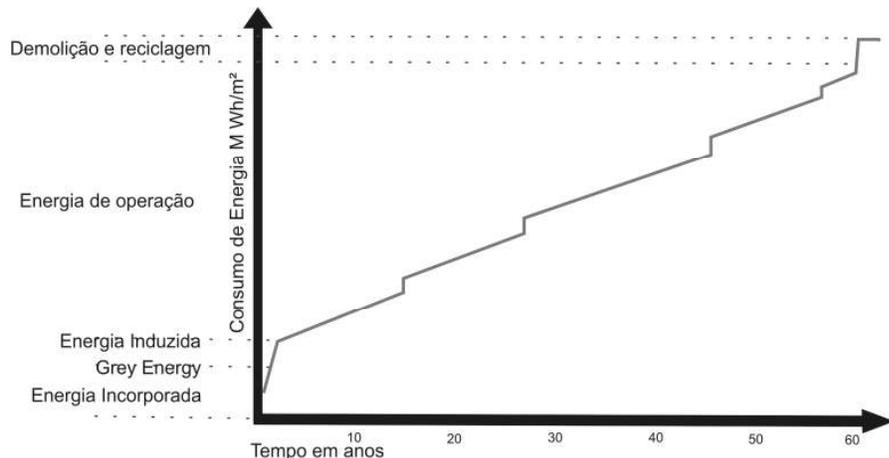
2.3 Consumo de Energia em Edificações

O consumo de energia em edifícios pode ser dividido em: energia incorporada presente nos materiais e componentes da construção; energia induzida, que é a energia utilizada na obra; *grey energy*, que é a energia consumida no transporte dos materiais e

componentes do local de fabricação até a obra; energia de operação; e, por fim, a energia para alteração e disposição final (JONES, 1998).

A energia de operação irá continuar por toda a vida útil do edifício (Gráfico 2), e, por esta razão, é a forma consumo de energia que tem sido mais estudada por pesquisadores, projetistas e legisladores.

Gráfico 2 - Modelo genérico de consumo de energia de edificações



Fonte: JONES, D. H. Architecture and the environment - bioclimatic building design. London: Laurence King, 1998

Em 2002, o consumo de operação de edifícios foi da ordem de 25-40% do consumo final de energia nos países da OECD³, sendo comparável ao consumo em transportes (ROSA et al., 2001). Dados apresentados pelo *Buildings Energy Data book 2004* indicam que o consumo com condicionamento de ar é de cerca de 30% do total de eletricidade utilizado nos Estados Unidos em 2002 (US Department of Energy, 2004). No Brasil, esta parcela correspondeu a mais de 48% da eletricidade consumida em edifícios em 1999 (LAMBERTS, GHISI, PAPST, 2000) e demonstra propensão ao crescimento. Em escala mundial, o aumento no consumo energético é estimado em 10% (MATHEWS, BOTHA, 2003).

A energia consumida para operação e manutenção de edifícios residenciais e comerciais é da ordem de 48% do total da energia elétrica produzida no país. O consumo nos edifícios varia de acordo com a tipologia e as tecnologias instaladas. Por exemplo, residências consomem 25% do total da energia consumida do país; enquanto o comércio é responsável pelo consumo de 16% (ELETROBRÁS, 2005). O uso final

³ OECD é o acrônimo da expressão em inglês *Organization for Economic Cooperation and Development*.

pode variar conforme os sistemas instalados, como pode ser observado nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 - Usos finais de energia elétrica no setor residencial

| SISTEMA | USO FINAL (%) |
|-------------------------|---------------|
| Geladeira | 33 |
| Chuveiro | 23 |
| Ar condicionado | 7 |
| Televisão | 3 |
| Lâmpadas incandescentes | 12 |

Fonte: ELETROBRÁS: **Resenha de Mercado** 2000 b. Disponível em <<http://www.eletronbras.gov.br/mercado>> Acesso em 13 mar. 2003

Tabela 2 - Usos finais de energia elétrica para edifícios de escritório com e sem ar condicionado no Brasil

| SISTEMA | USO FINAL (%) | |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Edifício com ar condicionado | Edifício sem ar condicionado |
| Ar condicionado | 48 | - |
| Iluminação | 24 | 70 |
| Equipamentos de escritório | 15 | 16 |
| Elevadores e bombas | 13 | 14 |

Fonte: **Manual de conservação de energia elétrica em prédios públicos e comerciais**. PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. 3ed, 1993

Tabela 3- Usos finais de energia para edifícios comerciais e públicos de São Paulo

| SISTEMA | USO FINAL (%) |
|-----------------|---------------|
| Iluminação | 44 |
| Ar condicionado | 20 |
| Refrigeração | 17 |
| Cocção | 8 |
| Outros | 11 |

Fonte: GELLER, H. S. **Efficient electricity use: a development strategy for Brazil**. American Council for an Energy Efficient Economy, Washington DC, 1990, 124p

O consumo dos aparelhos pode chegar a 36%, sem considerar os equipamentos para iluminação e refrigeração (Tabelas 1, 2 e 3). Em 1993, através de um decreto

presidencial, foi criado o Selo Procel de Economia de Energia, com o objetivo de estimular a fabricação de equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes e competitivos. Esta iniciativa permitiu ainda que o consumidor pudesse identificar qual o consumo previsto para o equipamento antes da compra.

A Tabela 4 mostra a economia gerada pelo programa entre os anos de 1994 e 1998. Estes resultados auxiliaram o reconhecimento de que as eficiências do uso e da conservação de energia elétrica devem continuar mesmo após atingir sua meta, pois o custo da expansão é sempre maior que a manutenção das economias (CARDOSO, 2002).

Tabela 4 - Resultados das ações do PROCEL

| Resultado do período 1994/98 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Investimentos aprovados (R\$ bilhões)* | 9,5 | 30 | 50 | 122 | 159 |
| Energia economizada / geração adicional (GWh/ano)** | 344 | 572 | 1.970 | 1.758 | 1.909 |
| Redução de demanda na ponta (MW) | 70 | 103 | 293 | 976 | 532 |
| Usina Equivalente | 80 | 135 | 430 | 415 | 440 |
| Investimento evitado (R\$ milhões) | 160 | 270 | 860 | 830 | 880 |

* Não incluídos os custos com o pessoal da Eletrobrás/PROCEL e incluindo os recursos da RGR.

**Obtidas a partir da energia economizada e geração adicional, considerando um fator de capacidade típico de 56% para usinas hidrelétricas e considerando 15% de perdas médias na transmissão e distribuição para a parcela de conservação de energia.

Fonte: ELETROBRÁS: **Resenha de Mercado** 2000 b. Disponível em <<http://www.eletronbras.gov.br/mercado>> Acesso em 13 mar. 2003

2.4 Regulamentação e Certificação de Desempenho Energético de Edifícios

Partindo do mesmo princípio (melhoria na eficiência e desempenho), alguns países passaram a criar programas de certificação para edifícios. Como exemplo, a iniciativa do governo português estabelece a certificação obrigatória para novos edifícios e para edificações existentes com área superior a 1000 m². Os novos edifícios deverão ser projetados de acordo com os novos regulamentos (RCCTE⁴ e RSECE⁵),

⁴ RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (1990)

⁵RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (1998), são regulamentos portugueses para eficiência energética em edifícios.

serão fiscalizados por um organismo independente, e só então receberão uma licença de utilização. A certificação classifica os edifícios em categorias e determina diversos indicadores de desempenho energético que devem ser seguidos.

Este programa de certificação deverá ser prática comum entre países europeus em consequência da diretiva 2202/91/CE, publicada no Jornal Oficial da Comunidade Européia. A diretiva estabelece um enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios, que prevê a aplicação de requisitos mínimos para o desenvolvimento energético dos novos edifícios e dos grandes edifícios existentes (mais de 1000 m²) que estejam sujeitos a obras de renovação importantes, certificação energética de edifícios obrigatória, e inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado.

Desde 1974, existem na França códigos de construção relacionados à especificação de equipamentos e características térmicas de edificações habitacionais, que se aplicam a novas construções e a ampliações de edifícios existentes (CARDOSO, 2002). Estes códigos foram elaborados por agências governamentais com a intenção de auxiliar os projetistas a elaborar projetos mais adequados ao clima.

Entre 1974 e 1982, o coeficiente G, que regulamenta os coeficientes globais dos edifícios, promoveu a redução de 25% no consumo de energia nos novos edifícios. Com a assimilação desta regra, o governo estabeleceu novas regras que abordassem a questão dos ganhos térmicos para o período de verão (coeficiente B). O coeficiente B foi implantado em 1982, e acarretou em nova economia energética de 25% na operação nos novos edifícios. Em 1989 foi realizada a regulamentação de desempenho de equipamentos, e o coeficiente C (consumo) gerou uma nova queda de consumo energético na ordem de 25% (DE HAUSSER, 1988).

Na Alemanha, após um Decreto de normas para isolamento térmico das edificações, o consumo energético anual de edifícios residenciais passou de 250 Kwh/m² para 160 Kwh/m² (DILONARDO, 2001).

Em 1992 foi implantada na Califórnia a Norma de Eficiência Energética para Edifícios Residenciais e Não Residenciais. O estado foi dividido em 16 zonas climáticas (como em Portugal, Reino Unido e França, entre outros países europeus), e, para cada

uma delas, foi elaborado um conjunto de recomendações de tipologias mais adequadas (BARBOSA, LAMBERTS, 1997).

Até recentemente, o Brasil se equiparava a países como Bangladesh, Botswana, Costa Rica, Djibouti e Venezuela, configurando o conjunto de países sem nenhuma normalização no assunto (BARBOSA, LAMBERTS, 1997). Este quadro foi modificado em janeiro de 2003 com a elaboração de um Projeto de Norma para Desempenho Térmico de Edificações (Anexo A), que cria um zoneamento bioclimático dividindo o território nacional em cinco partes. Em 2005, o projeto de norma foi aprovado e passou a funcionar como sugestão de diretrizes de projeto a serem seguidas, e que podem ser facilmente incorporadas ao processo projetual cotidiano contribuindo para qualidade das novas edificações (ABNT, 2003).

3 PROJETO DE ARQUITETURA E POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS

Este capítulo apresenta as etapas do processo de projeto. Relaciona o potencial de economia energética de edifícios com as fases do projeto. Demonstra como as variáveis de projetos, contidas em cada etapa do processo de projeção, podem ser manipuladas para que se tenha um projeto arquitetônico energeticamente adequado. Por fim, mostra como profissionais envolvidos com projetos de edificação desenvolvem seus trabalhos.

3.1 O processo de projeto

O projeto arquitetônico é a construção da solução de um problema, onde o projetista utiliza informações para prever uma situação futura (JONES, 1976). O projeto utiliza a imagem de um objeto que não existe para representá-lo. O processo de projeto é um processo criativo complexo, apoiado em um repertório, em tomadas de decisões, e em atividades rotineiras de manipulação (DUARTE, 2001).

O projetista baseia suas decisões em avaliações que dependem de sua habilidade pessoal, seu conhecimento prévio e treinamento (KOWALTOWSKI, 1992). O processo de projeto não é linear, onde uma tarefa conduz a uma única solução (LAUPEN, et al, 1998).

Normalmente o método utilizado por projetistas constitui-se de ações de raciocínio e operações manuais. Le Corbusier acreditava que estas ações eram simultâneas e indispensáveis (MERLIN, 2004). A cada reflexão existe um desenho que gera um novo desenho até a solução final do problema (BRUAND, 1981). O desenho esclarece, ordena e estrutura as idéias, não é apenas o momento técnico do processo.

O processo de solução de problemas em um projeto é visto, por alguns autores, como um sistema cíclico e se resolve na medida que o problema começa a estar definido com maior clareza (FAWCETT, 1999).

O processo de projeto é dividido em etapas, começam com o programa e avança até a documentação necessária à construção do edifício. Existem diversas divisões deste processo que são utilizadas entre arquitetos e projetistas. A AsBEA⁶ divide este processo nas seguintes etapas: levantamento de dados; estudo preliminar; anteprojeto; projeto legal; projeto executivo; caderno de especificações e compatibilização/coordenação/gerenciamento dos projetos.

Já Laseau, (1982), desdobra o processo de projeto nas seguintes etapas: programa de construção, projeto esquemático, projeto preliminar (estudo), desenvolvimento do projeto (anteprojeto), documentos contratuais, desenhos de escritório e construção.

O esquema elaborado por Lauseau, (1982), é bem mais detalhado quanto às fases iniciais de estudo do projeto e valoriza mais a solução dos problemas de projeto, diferente da AsBEA que valoriza o detalhamento.

Cada projetista em sua prática cotidiana acaba estabelecendo seu próprio método para solução de problemas de projetos, que quase sempre, pode ser dividido em três grandes fases: programação, projeção e atuação, como sugerido por Quaroni (1980). É a decomposição do problema em partes.

Alguns problemas, como a componente energética de edifícios, acompanham todo o processo de concepção do projeto, desde a relação com o terreno, à instalação de equipamentos, passando pela escolha de forma e componentes (FERNANDEZ, 1998).

3.2 Potencial de economia de energia em edificações

A escolha do partido arquitetônico e do sistema construtivo a serem adotados no projeto influencia diretamente no montante de energia elétrica necessária à climatização de um edifício (RORIZ, 1989).

⁶ Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura

Como aquecimento ou refrigeração de ambientes pode representar até 48% do consumo energético de um edifício, fica clara a relação entre ambiente desconfortável e consumo de energia. Um projeto tecnicamente adequado, no qual todas as variáveis relacionadas aos processos de sensações térmicas do usuário são estudadas, pode reduzir substancialmente o consumo de energia elétrica para climatização.

As primeiras etapas de projeto são as maiores responsáveis pela possível economia de energia e melhoria na qualidade de conforto nos ambientes construídos (HIRST et al., 1986; GOULDING, LEWIS, 1992; ANDRÉ, LEBORUN, TERNOVEANU, 1999; AUGENBROE, 2002; PEDRINI, SZOLKOLAY, 2003). Nesta fase, é possível garantir a incorporação de elementos de uma arquitetura de baixo impacto ambiental.

A Tabela 5 demonstra o potencial de economia de energia em cada fase do projeto do edifício, evidencia que as duas primeiras etapas de projeto (programação arquitetônica e anteprojeto) são responsáveis por 40 a 60% da possibilidade de redução no consumo energético do futuro edifício (HIRST, et al, 1986). O nível de consumo energético de um edifício é essencialmente influenciado na fase estratégica de projeto e durante o uso do edifício.

Tabela 5 - Potencial de economia por estágio do projeto

| ESTÁGIO DO PROJETO | POTENCIAL DE ECONOMIA (%) |
|-----------------------------|---------------------------|
| Programação arquitetônica | 0-10 |
| Anteprojeto | 40-50 |
| Desenvolvimento do projeto | 30-40 |
| Sistema construtivo | 0-10 |
| Gerenciamento da construção | 0-10 |
| Pós-construção / manutenção | 10-12 |

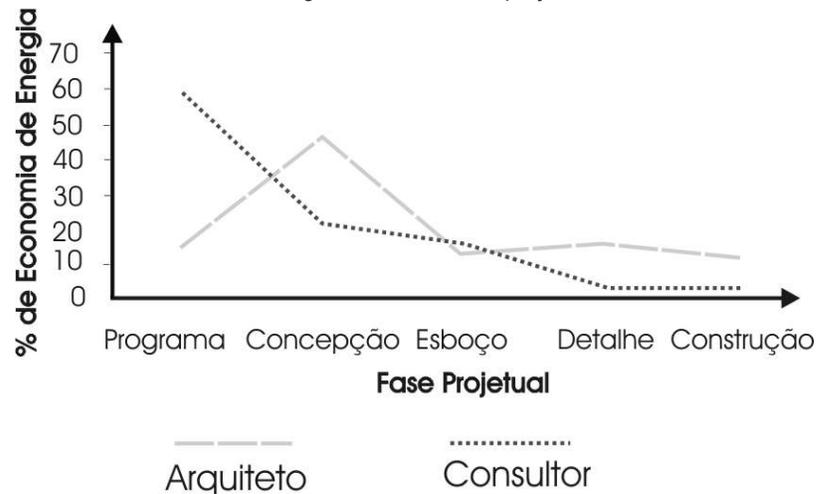
Fonte: HIRST, E. et al. **Energy efficiency in buildings: progress & promise**. ACEEE, Washington, D.C., 1986

No Reino Unido, o Departamento de Energia estima que o projeto apropriado de novas construções podem aumentar a economia de energia em 25%, enquanto esforços para melhoria dos projetos de novas construções podem até dobrar este número (CLARK, MAVER, 1991).

No Brasil, acredita-se que melhorias em edifícios existentes podem resultar em economia de energia da ordem de 15%, e que a intervenção na fase de projeto pode representar uma economia de até 50% em relação a projetos convencionais (ROMERO, GONÇALVES, GUGLIELMETTI, 2001).

O potencial de economia de energia em um projeto poderá variar de acordo com o emprego das simulações por arquitetos e consultores. De Wilde et al (2001), afirmam que a maioria das medidas de redução do consumo de energia são selecionadas durante a concepção do projeto, já os consultores (engenheiros e físicos) afirmam que a maioria das medidas são selecionadas na etapa de programação (Gráfico 3).

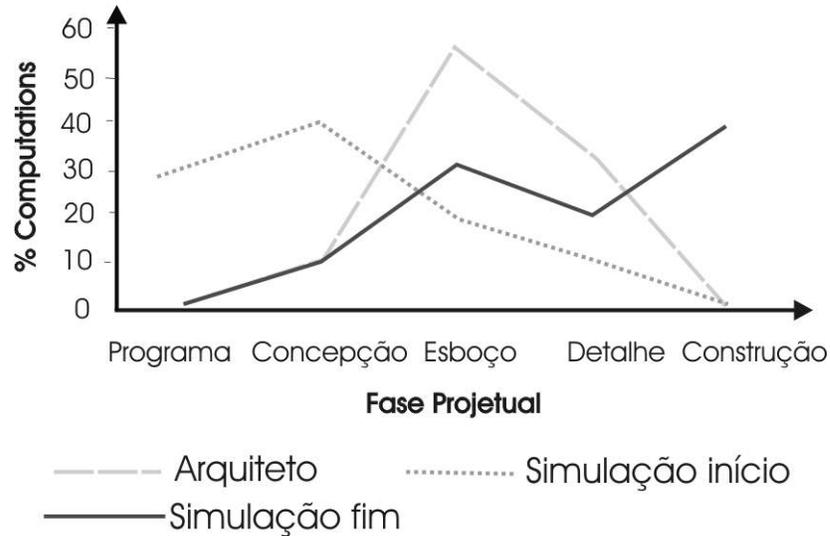
Gráfico 3 - Adoção de medidas de economia segundo as fases de projeto



Fonte: Adaptado de PEDRINI, A.; SZOLKOLAY, S. Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritório em clima quente. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.5, n.1, jan./mar. 2005

O Gráfico 4 ilustra em que fases estas medidas são efetivamente utilizadas: arquitetos preferem poder usá-las na fase de esboço, os consultores demonstram usá-las já nas primeiras fases de projeto.

Gráfico 4 - Fases em que ferramentas são usadas para avaliar o consumo de energia



Fonte: Adaptado de PEDRINI, A.; SZOLKOLAY, S. Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritório em clima quente. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.5, n.1, jan./mar. 2005

São compreensíveis as dificuldades encontradas pelos projetistas de edifícios para equacionar problemas técnicos relacionados a conforto ambiental, e conseqüentemente consumo energético, dada a quantidade de variáveis relacionadas ao problema como: análise do clima local, estudos de insolação e ventilação, conhecimento sobre os mecanismos de transmissão de calor e, finalmente, capacidade de avaliar corretamente o desempenho térmico dos materiais e dos sistemas construtivos.

Os modelos matemáticos do conjunto de fenômenos que influenciam no desempenho térmico (e, conseqüentemente, energético) são extremamente complexos e exigem, para sua aplicação, especialistas na área. Pela própria natureza de seu trabalho, os projetistas são obrigados a dominar, de modo abrangente, inúmeros aspectos dos sistemas construtivos, tão importantes e tão complexos quanto a climatização, não podendo se especializar em apenas um deles (RORIZ, 1989).

3.3 Manipulação de variáveis no processo de projeto

Pedrini e Szocolay (2005) referenciam as fases do projeto para efeito de apreciação do desempenho energético de acordo com o plano de trabalho proposto

pelo RIBA – *Royal Institute of British Architects*. Este plano de trabalho (Tabela 6), tem uma estrutura linear que se assemelha com um mapa de tomada de decisões análogo ao adotado pelo AIA – *The American Institute of Architects*.

Tabela 6 - Plano geral de trabalho para desenvolvimento de projetos

| Estágio | Objetivo e decisões | Tarefas | Terminologia |
|------------------------------|--|---|---------------------|
| Origem | Preparar um perfil geral dos requerimentos. Programar as futuras decisões. | Organizar as necessidades do cliente para definir o programa. | Programa |
| Possibilidade | Suprir o cliente com uma apreciação e recomendações para determinar como o projeto deve evoluir. | Estudar as necessidades dos usuários, condições do sítio, planos, projeto, custos, etc., Para atender às decisões. | |
| Propostas gerais ou programa | Determinar as abordagens gerais que levem à definição do layout, do projeto e da construção para obter a aprovação do cliente e seguir com o relatório. | Definir o programa, continuar os estudos anteriores para chegar às decisões de custo, problemas técnicos, planos e projeto. | Esboços |
| Esboço | Complementar o programa e decidir por propostas, incluindo a definição do projeto, o método de construção, especificações e custos para a obtenção de todas as aprovações. | Concluir o projeto geral pelo arquiteto fazer o projeto preliminar pelos engenheiros preparar plano de custos e relatório explicativo completo. | |
| Detalhamento | Tomar as últimas decisões relacionadas com o projeto, especificações e custos. | Fazer o desenho completo de cada parte e componente do edifício. | Desenho |

Fonte: RIBA – ROYAL INSTITUTE OF BRITISH ARCHITECTS. **Plan of Work for Design Team Operation**. London: RIBA Publications, 1973

Com o reconhecimento das fases do projeto, é possível sugerir abordagens e ferramentas indicadas a cada etapa do processo de projeto. A Ilustração 1 sintetiza as etapas de projeto identificadas pelo RIBA e relaciona cada etapa de projeto com ferramentas, métodos e recomendações de análise indicadas por Pedrini e Szolkolay (2005).

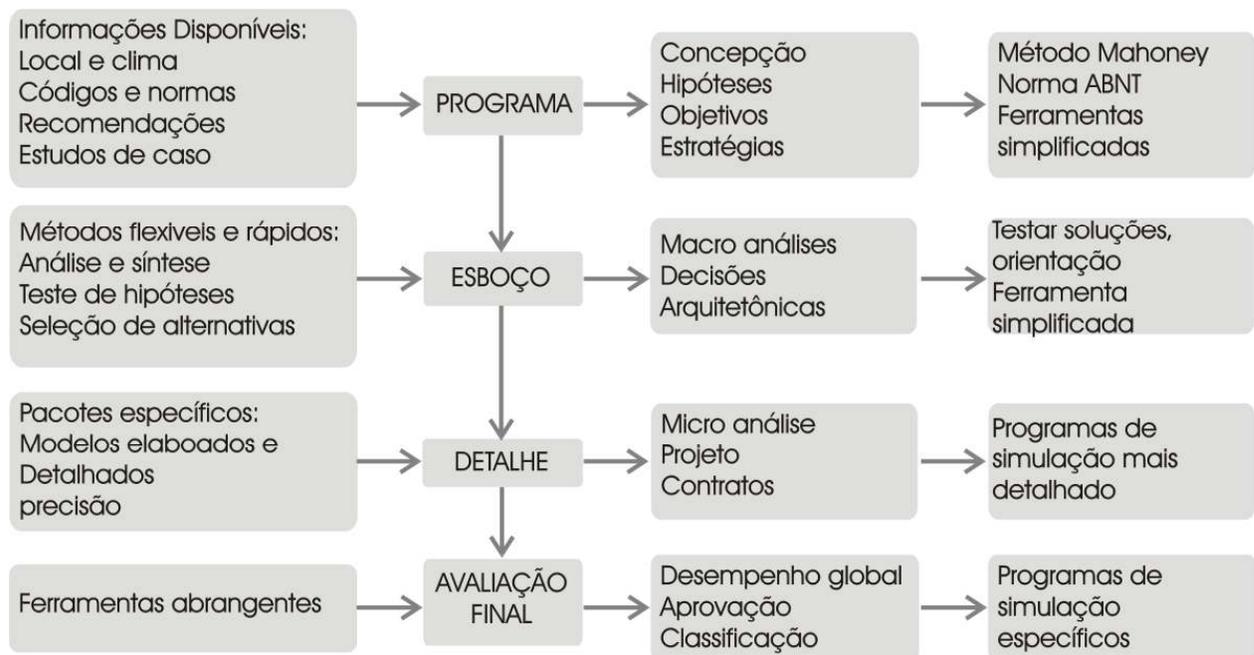


Ilustração 1 - Fases do projeto arquitetônico e abordagens recomendadas

Fonte: Adaptado de PEDRINI, A.; SZOLKOLAY, S. Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritório em clima quente. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.5, n.1, jan./mar. 2005

As principais ferramentas de suporte aos projetistas, sugeridas aqui, consistem em recomendações. Estas recomendações são abrangentes o suficiente para influenciar importantes decisões de projeto (PEDRINI, SZOLKOLAY, 2003), mas por outro lado, podem ser extremamente genéricas e simplificadas.

Outra proposta de avaliação de desempenho de projetos foi elaborada por Alucci, 1993, que sugere um procedimento de desenvolvimento e avaliação de projetos, que podem ser aplicados tanto na fase de concepção do projeto arquitetônico até o desenvolvimento do projeto executivo (Ilustração 2 e Ilustração 3). A seqüência de procedimentos propostos prevê a utilização de *softwares*, mas não há uma indicação precisa de qual ferramenta deveria ser utilizada.

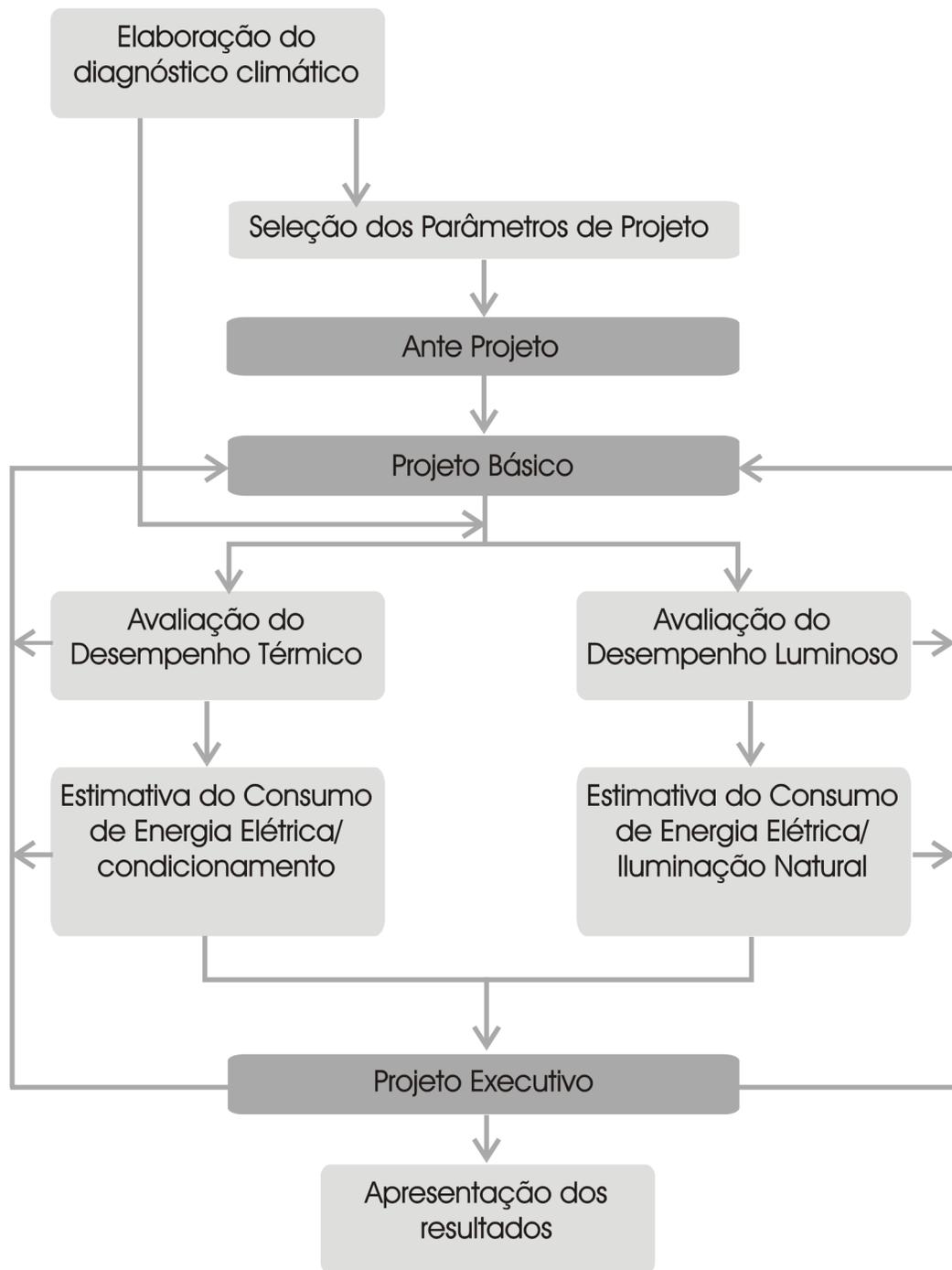


Ilustração 2 - Seqüência de ações para desenvolvimento e avaliação de projeto arquitetônico

Fonte: ALUCCI, M. P. Conforto térmico, conforto lumínico e conservação de energia. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993



Ilustração 3 - Identificação dos Procedimentos propostos por Alucci para desenvolvimento e avaliação do projeto arquitetônico

Fonte: ALUCCI, M. P. Conforto térmico, conforto lumínico e conservação de energia. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993

A proposta apresentada por Pedrini e Szocolay (Ilustração 1), sugere a utilização de múltiplas ferramentas. O ideal é o uso de uma única ferramenta para as etapas de

programa e esboço e só utilizar outras ferramentas mais acuradas, na fase de detalhamento, se o projeto assim exigir. Ferramentas de auxílio ao projeto só são utilizadas quando de fácil incorporação à rotina de projeto. Portanto, se for possível substituir as diversas ferramentas, ábacos, tabelas e métodos de cálculo por uma única ferramenta ou por um conjunto menor de ferramentas, maior será sua utilização.

Kolokotroni (1990) e Garg (1991), concluem que a maioria das pesquisas que analisam projetos de edificações como um todo resultam em listagens simples de relação conforto-elemento construtivo. Já pesquisas de projetos bioclimáticos mostram que quase 70% do desempenho térmico é relacionado à: orientação das aberturas; possibilidade do seu sombreamento; ventilação propiciada pelas aberturas, em relação a sua localização e dimensionamento; cores e espessura das paredes do envelope de um edifício. Portanto, as ferramentas de maior interesse, na hora do pré-estudo devem concentrar-se na relação das aberturas com a forma, volume e implantação do projeto (KOWALTOWSKI, LABAKI, 1993).

Métodos simples para a avaliação da radiação solar incidente poderiam ser embutidos facilmente em sistemas de CAD, o que auxiliaria o projetista a aplicar a geometria solar para tomar decisões corretas relativas ao controle da radiação solar (KOWALTOWSKI, LABAKI, 1993).

Os arquitetos na prática projetual devem utilizar o programa de necessidades não apenas como um quadro de áreas e atividades, mas também como um checklist onde indicadores de desempenho devem estar claramente determinados, outros fatores como satisfação de usuários também deve fazer parte do programa de necessidades.

Outro dado importante é que o arquiteto deve receber a nova informação o mais cedo possível, aumentando a possibilidade de integração ao projeto e de melhoria na qualidade global do projeto (BARROSO-KRAUSE, 1998). É importante oferecer aos profissionais de arquitetura uma ferramenta de apoio às decisões de projeto, aplicável as primeiras etapas de trabalho.

Na fase de detalhamento a ferramenta de simulação surge para auxiliar consultores (como por exemplo, em dimensionamento de sistemas de ar condicionado),

em empreendimentos de grande porte, o que não acontece com grande frequência na prática projetual cotidiana⁷.

Se definirmos o projeto como o ato de tomar decisões sobre algo que ainda não existe, e que um modelo do objeto que está sendo desenvolvido pode apoiar este processo. Devemos, então, simular o objeto, quantas vezes forem necessárias, até que se possa confiar no resultado final, antes de construí-lo (BOOKER, 1964). Para isso podemos utilizar ferramentas computacionais como auxiliares no processo.

Um exemplo é o Revit da Autodesk, disponível no mercado desde 2002, trata-se de uma nova ferramenta para gerenciamento de projetos e administração de obras. O sistema integra informações do projeto agilizando o fluxo de informação e aumentando a qualidade do projeto e produtividade da equipe envolvida. de projeto arquitetônico.

3.4 Prática de Projeto

Pesquisas realizadas em cidades brasileiras distintas demonstram que profissionais envolvidos em projetos, especialmente de residências, não estão totalmente preparados para desenvolver projetos considerando os conceitos de arquitetura bioclimática ou em alguns casos, embora preparados, devido à baixa remuneração acabam não tendo tempo suficiente para se dedicarem aos projetos (CARDOSO, 2002; CHVATAL, 1998; FERNANDEZ, 1998).

Dez arquitetos com campo de atuação distinto responderam a entrevista semi-estruturada realizada por uma equipe de pesquisadores da UFRJ⁸. A pesquisa buscava informações sobre a estrutura dos escritórios, equipamentos de informática, métodos de projeto, organização de trabalho, parcerias e, por último, como a eficiência energética era inserida na concepção do projeto.

Os resultados das entrevistas demonstraram que os projetistas que apresentaram interesse pela questão energética possuem, por características comuns, a determinação de todas as escolhas de implantação, materiais construtivos e escolhas

⁷ A demanda mais representativa dos escritórios de arquitetura provém de pequenos projetos. Nos Estados Unidos, a demanda por edifícios não residenciais de área menor que 1000 m² representa 76% dos projetos de arquitetura (SBIC, 2000).

⁸ Universidade Federal do Rio de Janeiro

dos equipamentos na fase inicial de croquis. Apenas em quatro entrevistas se encontra uma referência à arquitetura como elemento essencial de resposta à componente energética como: proteções integradas; compacidade; tipologia das aberturas; inércia etc (FERNANDEZ, 1998).

Em Maringá – PR, uma pesquisa realizada com clientes e profissionais que executam projetos residenciais, apontou que são poucos os casos onde os clientes fazem exigências claras sobre conforto ambiental de suas futuras residências e mais raras ainda exigências quanto à eficiência energética das mesmas. Acredita-se que isso ocorra, porque o cliente não tem conhecimento técnico suficiente para fazer este tipo de exigência, demonstrando maior preocupação com escolha de materiais por questões estéticas e de durabilidade da construção (CARDOSO, 2002).

Os profissionais, arquitetos e engenheiros, quando questionados sobre os fatores que poderiam influenciar no consumo energético de edificações responderam em ordem decrescente: especificação de materiais; correta orientação da edificação em relação ao sol e vento; dimensionamento e posição de abertura adequada; especificação adequada de equipamentos e aparelhos de condicionamento térmico e iluminação.

Em outras questões os profissionais afirmaram achar fundamental o projeto arquitetônico para conseguir edificações energeticamente eficientes e com melhores níveis de conforto térmico, porém o processo de trabalho dos mesmos revela que na prática isto não ocorre (CARDOSO, 2002). Nenhum dos profissionais indicou como metodologia de trabalho a opção que incluía: seleção de condicionantes – definição dos recursos de projeto – anteprojeto – avaliação térmica, lumínica e afins – simulações através de programas – projeto executivo – detalhamento.

Outro dado surpreendente revelado foi à preocupação dos profissionais na fase de projeto, sendo apontados como os três itens mais importantes: 1) integração com os projetos complementares ou até sua compatibilização; 2) sistema construtivo da obra; 3) detalhamento do projeto arquitetônico para facilitar o entendimento na obra. Como características menos importantes no projeto aparecem os seguintes itens: 1) de fácil execução e funcionamento, 2) especificação de materiais empregados interna e

externamente e cores, 3) equipamentos a serem especificados, tais como sistemas de aquecimento ou refrigeração, iluminação, ventilação e afins.

Em Campinas – SP, 50 profissionais participaram de uma pesquisa sobre a prática de projeto no município e as diretrizes para o projeto de edificações adequadas ao clima. Apesar da quase totalidade dos entrevistados afirmarem realizar a análise de insolação para implantação da edificação, apenas uma pequena parcela demonstrou utilizar algum método de análise como visita ao terreno, para determinação do norte verdadeiro (CHVATAL, 1998).

O uso de carta solar e tabelas não foi mencionado. Outra incoerência das respostas foi o fato de nenhum profissional fazer análise de insolação para horários e datas determinadas. Quanto ao projeto de protetores solares apenas 8% dos entrevistados afirmaram utilizar um método para dimensioná-los, 32% disseram não ter o costume de utilizar protetores e 60% utilizam protetores, mas não utilizam nenhum método para dimensionamento.

Quanto à previsão de efeito chaminé como estratégia de ventilação, 20% dos profissionais utilizam algum método, 30% já previram o efeito chaminé, mas não utilizam um método científico, e 50% nunca previram o efeito.

Em todas estas pesquisas, os profissionais declararam que se preocupam com o conforto do usuário e dão valor ao condicionamento térmico natural, porém, na prática fazem análises superficiais, na maioria se restringindo ao estudo de insolação e análise dos ventos dominantes. Durante a fase de projeto é utilizado pouco material de referência e há resistência ao enquadramento em métodos científicos. O desenvolvimento de instrumentos de fácil uso, adaptados ao ambiente de projeto, possibilitam uma análise adequada e podem ser um excelente auxílio.

A análise sobre a formação dos profissionais demonstrou que: em Campinas 96,3% dos arquitetos e 0% dos engenheiros estudaram conforto ambiental na faculdade (CHVATAL, 1998). Em Maringá 60%, dos arquitetos e 0% dos engenheiros entrevistados tiveram a disciplina de conforto ambiental na faculdade e nenhum deles havia tido a disciplina de eficiência energética (CARDOSO, 2002).

Em 1992, realizou-se uma pesquisa em escritório de Arquitetura na área metropolitana de São Paulo, com a finalidade de avaliar os métodos de projeto

utilizados nestes escritórios, bem como a utilização de ferramentas CAD no auxílio de desenvolvimento dos projetos (KOWALTOWSKI, 1993).

Observou-se também que os projetistas, enquanto criam a forma do edifício, usam pouco material de referência, limitando-se a códigos e algumas listas de checagem. Avaliações com simulações e otimização são raramente aplicadas ao projeto, pois, os projetistas consideram que interferem no processo de síntese da forma e necessitam de coleta de dados que interrompe o pensamento criativo. Avaliação térmica (que exigem cálculos) é uma atividade evitada pelos projetistas (KOWALTOWSKI, LABAKI, 1993).

A pesquisa revelou que as firmas de projeto raramente se especializam em uma área. Quanto à utilização de programas CAD, 60% dos participantes da pesquisa utilizavam a ferramenta em 1992. Nos Estados Unidos três anos antes (1989) 50% dos escritórios de arquitetura já utilizavam a ferramenta (KOWALTOWSKI, 1993).

Os objetivos de projeto mais importantes, para os arquitetos envolvidos nesta pesquisa, eram: estética e inovação (20%), programa adequado (20%), projeto funcional (17%), inovação tecnológica (16%), aspectos econômicos (13%), conforto e psicologia ambiental (12%), durabilidade e manutenção (2%). Durante as primeiras etapas do processo de projeto, os entrevistados declararam que raramente utilizam alguma ferramenta de análise e apenas 20% faz algum tipo de análise de insolação (KOWALTOWSKI, 1993).

Em uma pesquisa que buscava compreender a utilização de técnicas bioclimáticas na arquitetura do Quênia, foram entrevistados 51 profissionais envolvidos com projeto e construção de edifícios no país. Todos os entrevistados tinham no mínimo cinco anos de prática profissional. O resultado da pesquisa detectou algumas barreiras à aplicação de conceitos de arquitetura bioclimática, a saber: 1) os profissionais estão despreparados tecnicamente; 2) custo de instalação e de manutenção; 3) falta de informações confiáveis e de fácil entendimento sobre sistemas; 4) dependência em práticas projetuais estrangeiras; 5) utilização de materiais importados e resistência a mudanças por parte dos profissionais locais; 6) legislação que regulamenta as edificações que tem um caráter que vai contra as iniciativas de conservação de energia entre outras (NJUGUNA, 1997).

A pesquisa revelou ainda que 95% dos entrevistados acreditam que o ensino de Arquitetura no Quênia não prepara os estudantes de forma adequada para realização de uma arquitetura adequada ao clima local (NJUGUNA, 1997).

Este conjunto de dados evidencia que apesar de se preocuparem com questões energéticas, os profissionais ainda estão despreparados quanto a conhecimentos técnicos necessários à boa prática projetual.

Os resultados das pesquisas levam à conclusão de que a não aplicação de conceitos de Conforto Ambiental é responsável direta por consumo energético desnecessário em edificações, e que o ensino de conforto ambiental deve ser revisto. Indica também que a utilização de ferramentas de simulação durante o processo de projeto pode melhorar a eficiência energética em edifícios.

4 A PRÁTICA DE SIMULAÇÃO

Este capítulo mostra a evolução na utilização das ferramentas de simulação, destacando as iniciativas brasileiras. Comenta as principais barreiras que impede sua ampla aplicação na prática de projeto de arquitetos como dificuldade na simplificação do modelo, obtenção de dados climáticos e confiança na ferramenta. A metodologia de simulação típica é explicada, bem como exemplos de simplificação de modelos. São apresentadas as ferramentas de simulação mais utilizadas mundialmente. As ferramentas nacionais também são apresentadas.

4.1 Antecedentes Históricos

A preocupação com a aplicação de *softwares* para prever e analisar o consumo energético e conforto em ambientes construídos não é novidade entre pesquisadores no Brasil e no mundo. Prova disso foi à criação em 1986 da IBPSA⁹, uma sociedade sem fins lucrativos que reúne empreendedores, construtores e pesquisadores de simulação de desempenho de edifícios, e dedica-se a melhorar o ambiente construído. Neste mesmo sentido foram criadas outras instituições ao redor do mundo, como:

- ABESCO - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia;
- PROCEL - Programa de Nacional de Conservação de Energia;
- CATE - Centro de Aplicações de Tecnologias Eficientes;
- CEERE- Center for Energy Efficiency and Renewable Energy;
- LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações;
- ERDA – U.S. Energy Research and Development Administration;
- CEC – California Energy Commission;
- Sustainable Buildings Industry Council; e

⁹ IBPSA é o acrônimo da expressão em inglês *International Building Performance Simulation Association*.

- Lawrence Berkeley National Laboratory;

Estas instituições são responsáveis pelo crescente aumento no número de *softwares* destinados à simulação de conforto ambiental e eficiência energética de edifícios. Em abril de 2005 o site do Departamento de Energia dos Estados Unidos – DOE, tinha uma relação de 295 programas de simulação de conforto ambiental e eficiência energética para edifícios cadastrados em seu diretório de ferramentas¹⁰.

Estes programas estão sendo desenvolvidos em várias partes do mundo, o que demonstra que a preocupação com a qualidade do ambiente construído e seu impacto no meio ambiente não é exclusividade de países desenvolvidos ou industrializados. Nos Estados Unidos, a simulação de eficiência energética de edifícios é uma prática antiga. Em 1965, a ASHRAE¹¹ reconheceu a necessidade de cálculos precisos de consumo energético em edificações, e estabeleceu um Comitê para Consumo Energético. No final dos anos 60, esta sociedade viu uma oportunidade de diminuir os custos de manutenção de edifícios se houvesse uma maneira confiável de prever o consumo energético que pudesse ser especificado e instalado, que impulsionou o desenvolvimento da primeira geração de programas de computador baseados em algoritmos para cálculo de transferência de calor em edifícios e desempenho de componentes de sistemas de ar condicionado (AYRES, STAMPER, 1992).

A simulação de conforto ambiental e eficiência energética no Brasil ainda se concentra no meio acadêmico, com pouca aplicação na prática projetual entre arquitetos e engenheiros. A previsão do consumo energético de edifícios teve início nos anos 80 nos departamentos de engenharia mecânica e pouco mudou nestas últimas décadas. Os pesquisadores e consultores que utilizam simulação ainda estão concentrados nas universidades (MENDES, LAMBERTS, NETO, 2001).

Vale ressaltar ainda que o uso das ferramentas reconhecidamente mais robustas é restrito a programas de pós-graduação e são acessíveis aos alunos de graduação apenas em desenvolvimento de pesquisas.

Atualmente, destacam-se os seguintes núcleos de pesquisa neste tema no Brasil:

¹⁰ Endereço eletrônico http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory

¹¹ ASHRAE é o acrônimo da expressão em inglês *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*.

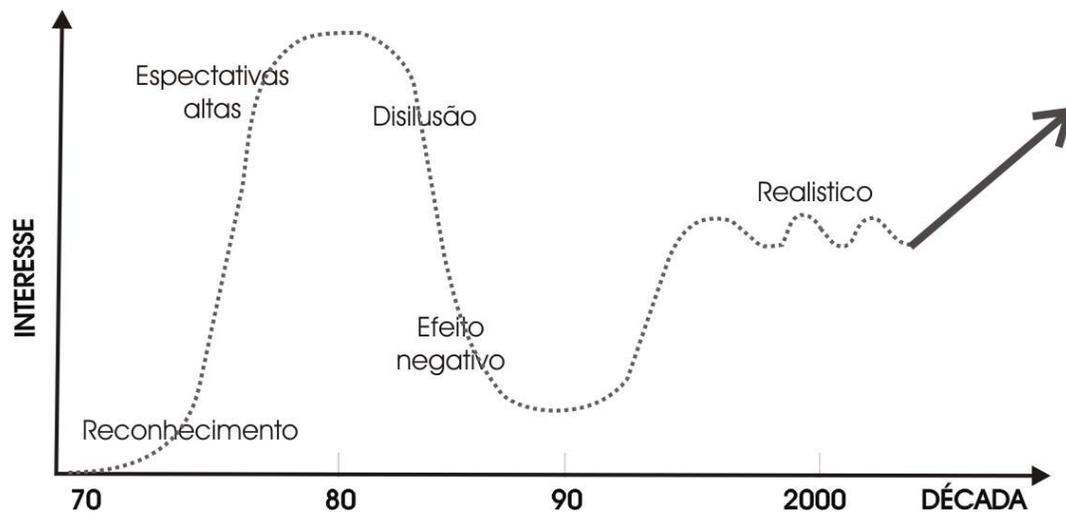
- Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC:
 - SITERPA – Laboratório de Sistemas Térmicos Passivos, ligado à Faculdade de Engenharia Mecânica;
 - LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edifícios, fundado em 1992 pelo Departamento de Engenharia Civil, trabalha principalmente com os programas DOE-2, ESP-r e mais recentemente, com o *EnergyPlus*;
 - LabCon - Laboratório de Conforto Ambiental, pertencente ao departamento de Arquitetura, criado também em 1992, trabalha com ferramentas como *Radiance*, *Lightscape* e *Lumenmicro*;
 - NRVA – Centro de Pesquisa em Refrigeração, Ventilação e Condicionamento de Ar, fundado em 1986 pelo Departamento de Engenharia Mecânica. Utilizavam o NBSLD nos anos 80, passando a utilizar os programas HVACSIM e ESP-r nas pesquisas a partir dos anos 90; e
 - SINMEC – Laboratório de Simulação de Troca de Calor e Mecânica dos Flúidos, trabalha desde 1980 com simulação CFD, vinculado à faculdade de Engenharia Mecânica.
- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com dois grupos de estudos em simulação de edifícios, um dedicado ao estudo de dados climáticos para análise de energia solar e arquitetura solar passiva com o programa TRANSYS, e o segundo grupo exclusivamente dedicado à física de edifícios e desenvolvimento de softwares.
- IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Universidade de São Paulo, desde 1976 tem um grupo dedicado à avaliação de desempenho térmico em edifícios.
- PUCPR – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, vem desenvolvendo softwares de simulação de comportamento ambiental e energético em edifícios, como contribuição mais importante ao desenvolvimento do software PowerDomus.

- A FAU-USP 12– desenvolveu no LABAUT – Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, os programas: Acústico 2.0, Fachada 1.5, Lux1.0, Chaminé 2.5; Tensil 1.2; Humano 1.1; Climaticus 1.5; Obstrução 1.0; Windoor, CTCA, e DNL. O LABAUT também desenvolve pesquisas com os softwares ECOTECT, TAS 8.5, ANSYS ICEM CFD 5.0 e CFX 5.7, e Fluent 6.1.2.
- UNESP – Universidade Estadual de São Paulo, campus Bauru, possui o NUCAM – Núcleo de Conforto Ambiental, que, desde 1999, vem desenvolvendo softwares de análise de Conforto Ambiental. Entre 1999 e 2000 foi desenvolvido o programa REVERB para cálculo de tempo de reverberação de salas através das fórmulas de Sabine e de Norris-Eyring. Entre 2002 e 2003, o NUCAM e a Universidade do Minho (Braga, Portugal) desenvolveram 3DSkyView - plug-in do SIG ArcView, para cálculo do Fator de Visão do Céu, através do Projeto FAPES e Convênio CAPES/ICCTI.

A prática de simulação oferece a possibilidade de melhoria no desempenho de edificações. Informações baseadas em simulações têm o potencial de melhorar a competitividade, qualidade e eficiência na indústria da construção, bem como facilitar o progresso tecnológico e futuras inovações. Neste respeito, a implementação bem sucedida de ferramentas de simulação e aplicação na prática será crucial para arquitetos, engenheiros e construtores para ganhar e manter um nível competitivo no mercado (BARTAK et al, 2003).

¹² FAU –USP, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

Gráfico 5 - Esquema de evolução do interesse em utilização em ferramentas de simulação desde aproximadamente 1970 até o início do terceiro milênio



Fonte: Adaptado de BARTAK, M. et al. An approach to teaching and research of simulation for environmental engineering design. In: ADVANCED ENGINEERING DESIGN, 3., 2003, **Proceedings...**, 2003

A evolução no interesse em utilização das ferramentas de simulação de conforto e eficiência energética pode ser observada no Gráfico 5. É importante destacar dois aspectos principais apresentados no gráfico: 1) a queda de interesse devido à frustração causada pelas ferramentas que não atendem às altas expectativas dos usuários iniciantes, afastam novos usuários; 2) após longo período de desinteresse, as ferramentas estão novamente sendo procuradas pelos projetistas. A atual geração de ferramentas é mais acessível a novos usuários e a transposição das barreiras mais comuns faz com que as pessoas que procuram as ferramentas passem a ser novos simuladores.

4.2 Metodologia de Simulação

Para entender o funcionamento da metodologia de simulação é necessário que se estabeleça a finalidade da simulação. A análise de demanda de consumo de energia em edifícios, por exemplo, geralmente envolve três grandes etapas: cálculos de carga térmica, simulação de sistemas e análise econômica. A maioria dos programas de simulação é organizada de forma que cada um destes processos seja analisado separadamente (AYRES, STAMPER, 1998).

Em geral o esquema de cálculo dos programas de simulação de consumo energético pode ser representado pela Ilustração 4.

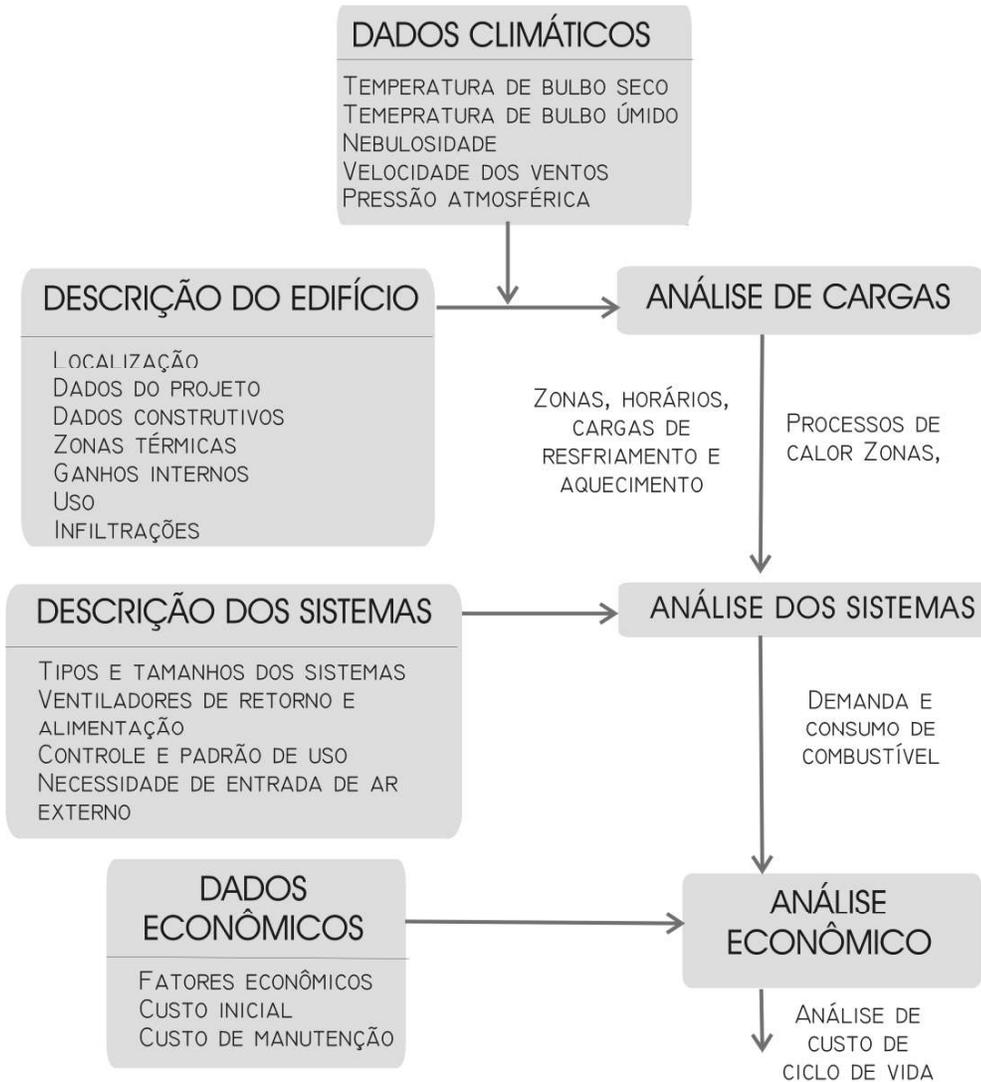


Ilustração 4 - Fluxo de análise padrão em ferramentas de simulação de conforto energético

FONTE: Adaptado de AYRES, J. M. P. E., STAMPER, P.E. E. Historical development of building energy calculations. **ASHARE Transaction**, Atlanta, v. 98, n. 1, p. 841-849, 1992

Já uma simulação dedicada a análises térmicas englobaria apenas a primeira etapa descrita na Ilustração 4, não avançando nas descrições dos sistemas.

Destaca-se também que a simulação pode acontecer como auxiliador no processo de *retrofit* ou durante o processo de projeto, o que também acarreta em diferenças na metodologia de simulação a ser empregada.

Durante o processo de projeção, a ferramenta pode atuar nos primeiros passos do desenvolvimento do projeto, fazendo análises rápidas de no máximo 15 minutos para estabelecer comparações entre alternativas de projeto. A Ilustração 5 mostra as três principais aplicações da metodologia de simulação dentro do processo de projeto: desenvolvimento do caso de referência, avaliação de soluções e confirmação dos resultados (BALCOMB, 1998).

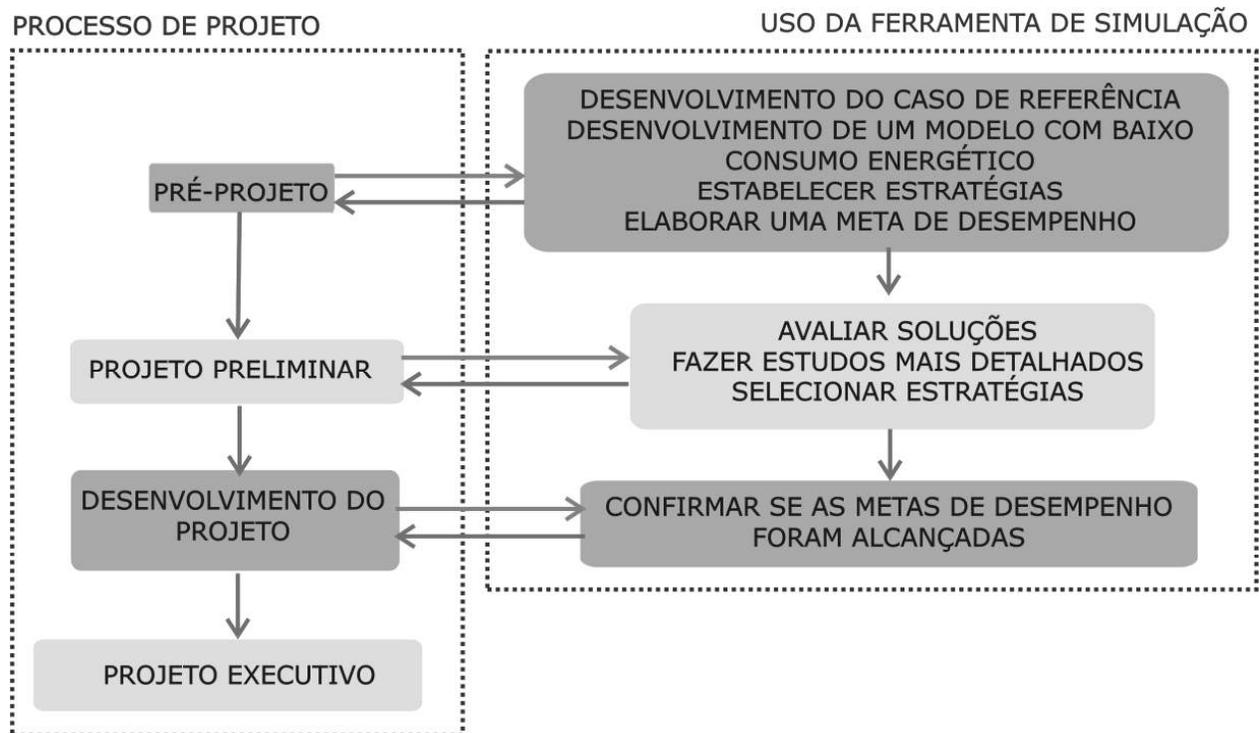


Ilustração 5 - Metodologia de simulação inserida no processo de projeto

Fonte: BALCOMB, J. D. The coming revolution in building design. In: PLEA, 1998, Lisboa. **Anais...** Lisboa, 1998

Pode-se dizer que existem metodologias específicas para cada etapa do processo de projeto. Estas pequenas fragmentações da metodologia geral têm uma base comum (simplificação do modelo, modelagem, estabelecimento de modelo de referência, simulação, análise de resultados, refinamento, resultado final), mas diferem umas das outras conforme a disponibilidade de dados de entrada.

Outra diferença entre as metodologias de simulação empregadas nas etapas de projeto é a ferramenta de simulação utilizada. Dificilmente uma mesma ferramenta poderá ser utilizada ao longo de todo o processo.

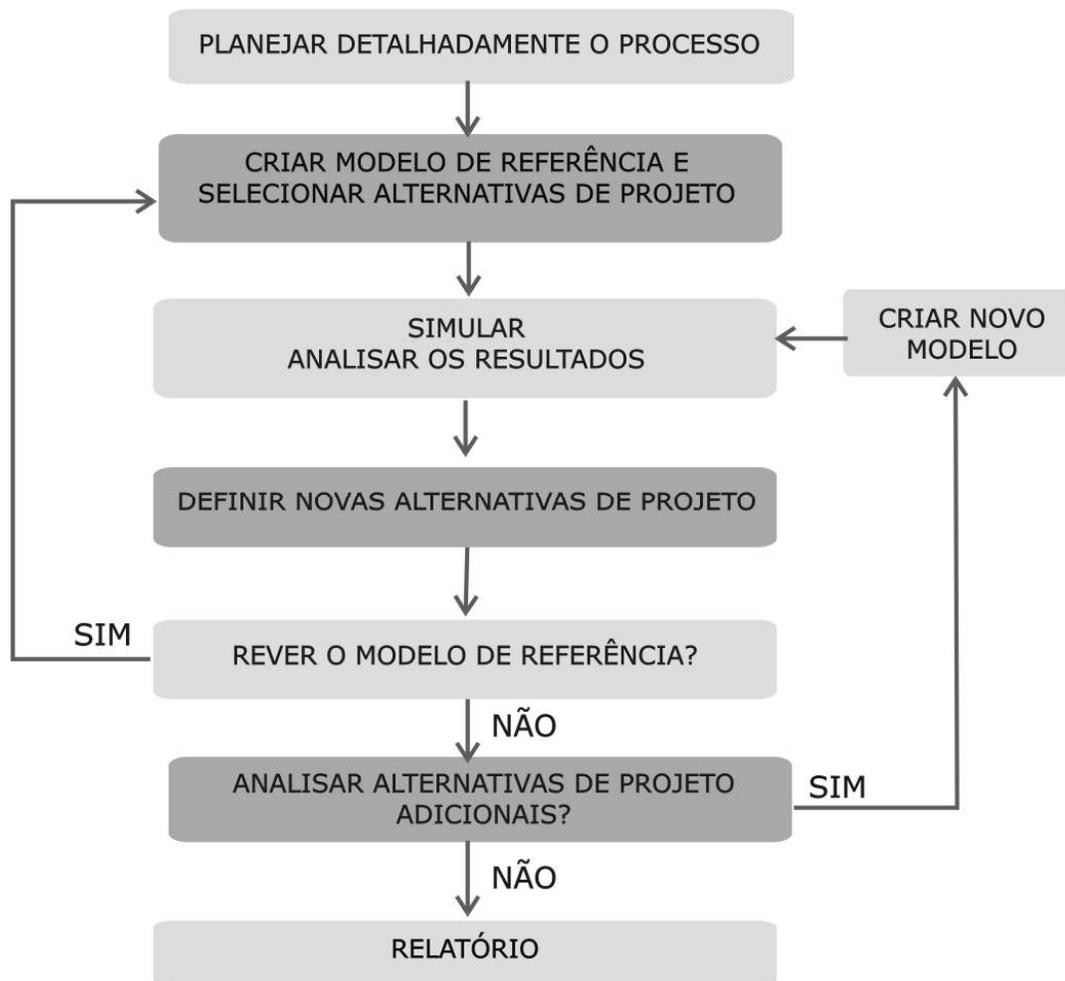


Ilustração 6 - Metodologia de simulação típica

Fonte: Adaptado de HENSEN, J. L. M. Simulation for environmental engineering – Methodology. Technical University of Eindhoven, The Netherlands 1996 a. Disponível em http://www.bwk.tue.nl/fago/hensen/courseware/class-mod+sim/sim_theory/method.thm Acesso em 22 de julho de 2005

Um exemplo de metodologia de simulação de desempenho de edifícios é a estabelecida por Hensen (1996 a) para o emprego do *software* ESP-r durante o processo de projeto. Esta metodologia pode ser vista como uma metodologia geral de simulação de desempenho de edifícios adaptável a ferramentas e problemas específicos (Ilustração 6). A metodologia é dividida nas seguintes etapas:

- definição da questão de projeto apropriada à fase do projeto fundamental para que se atinja o maior benefício da simulação de desempenho do edifício. Por exemplo: nos primeiros estágios do projeto pergunta-se, “a orientação e o fechamento estão corretos?”; em outra etapa, “haverá

necessidade de ar-condicionado?”; mais adiante no processo de projeto: “qual estratégia de controle proverá maior eficiência energética?”;

- tradução da pergunta de projeto em objetivos de simulação. As perguntas de projeto descritas acima devem agora ser transformada em objetivos de simulação. Se a pergunta era, “haverá necessidade de ar-condicionado?”, então o objetivo da simulação será definir os picos de carga térmica;
- planejamento e preparação do modelo. Uma vez traçados os objetivos da simulação, deve-se desenvolver um procedimento de modelagem para assegurar a qualidade da simulação e uma seleção adequada da ferramenta de acordo com o grau de abstração necessário para aquela simulação;
- simulação; e
- interpretação dos resultados.

A simulação de um edifício passa a ter valor quando o seu resultado de desempenho pode ser comparado a outro. Por esta razão, estabelece-se um caso de referência. Normalmente, quando a metodologia de simulação é aplicada ao processo de projeto, o modelo de referência é o projeto inicial; em caso de análise de desempenho de edifício existente, utiliza-se o projeto do edifício real. Este modelo de referência deve ser confrontado com outros modelos que apresentem alternativas de projeto passíveis de desempenho superior ao do modelo de referência.

A questão mais importante da simulação, e também fonte da maioria dos erros, está relacionada ao planejamento e abstração do modelo, que tem a divisão do modelo em zonas térmicas como item principal na simulação de conforto térmico.

4.3 Simplificação do modelo para simulação de desempenho térmico

Em um mesmo programa, um edifício é modelado de maneiras distintas, de acordo com as necessidades de simulação. Os exemplos das Ilustração 7 e Ilustração 9 demonstram que a análise térmica, no *ECOTECT*, não necessita de espessura em paredes: pois estes são atributos inerentes aos materiais escolhidos. A divisão do modelo em zonas térmicas e a edição dos padrões de ocupação são os pontos principais da modelagem e análise de desempenho térmico.

Já o estudo de iluminação natural (Ilustração 8 e Ilustração 10) exige uma modelagem mais detalhada. A espessura da parede e o desenho da janela influenciam diretamente nos resultados da simulação.

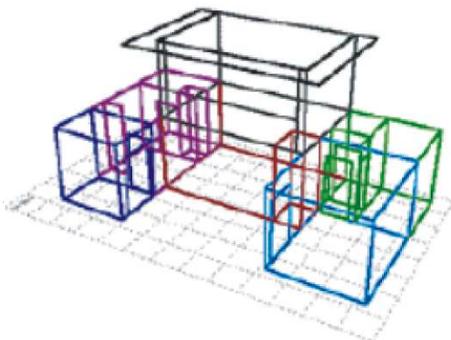


Ilustração 7 - Modelo simplificado para avaliação de desempenho térmico com o programa ECOTECH

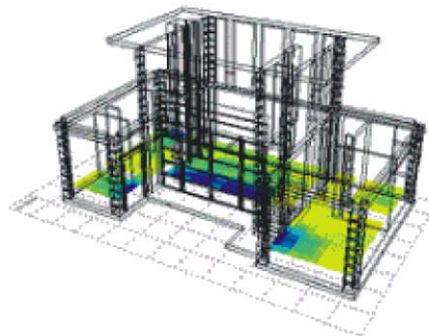


Ilustração 8 - Modelo simplificado para avaliação de iluminação natural com o programa ECOTECH

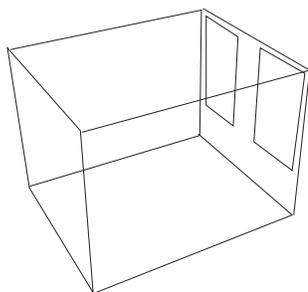


Ilustração 9 - Modelo simplificado para avaliação de desempenho térmico com o programa ECOTECH

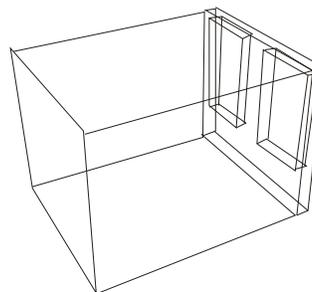


Ilustração 10 - Modelo simplificado para avaliação de iluminação natural com o programa ECOTECH

Fonte: ECOTECH Tutorials Disponível em <<http://squ1.com>> acesso em 19 de jan. de 2004

O edifício pode ser dividido em zonas por diversos critérios: padrão de ocupação, sistema de ar condicionado operante, ganho térmico pelo envelope, materiais de fechamento e orientação das fachadas (NATURAL RESOURCES CANADA, 2002).

Os limites de divisão das zonas térmicas de um modelo não precisam ser necessariamente físicos. Um escritório tipo *open office* pode ter uma área de aquecimento no perímetro da edificação, mas nenhum aquecimento nos espaços mais profundos, assim pode-se dividir o ambiente em mais de uma zona (Ilustração 11 a).

Ambientes que têm o período de ocupação ou funções muito diferentes também devem ser considerados zonas distintas. Uma zona pode contemplar mais de um ambiente, desde que estes tenham funções e ganhos térmicos, tanto de ocupação quanto de fachada, equivalentes (NATURAL RESOURCES CANADA, 2002). Banheiros e corredores de um escritório ou escola, mesmo com usos distintos, podem ser considerados equivalentes quanto ao padrão de ocupação e assim podem ser agrupados em uma mesma zona térmica (Ilustração 11 b).

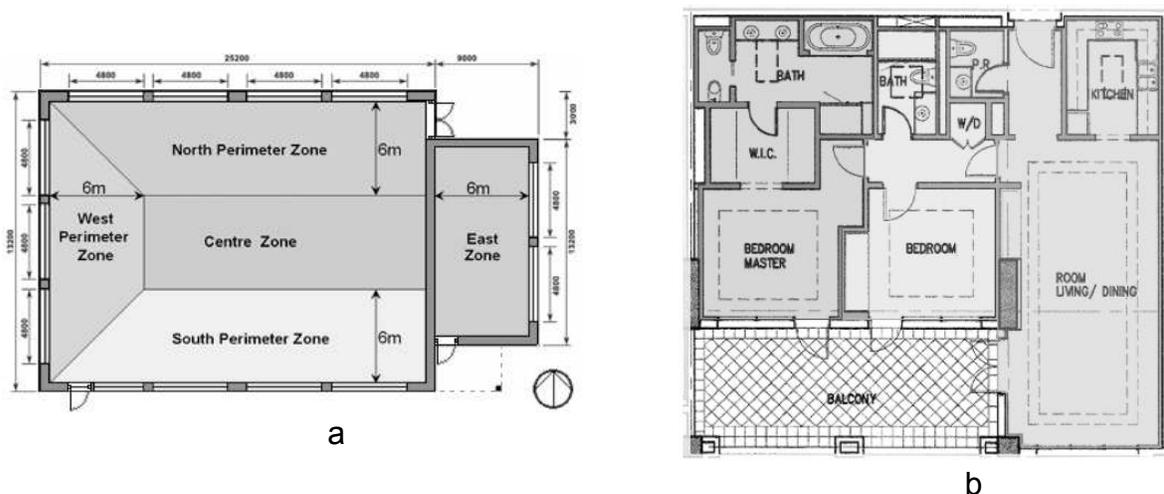


Ilustração 11 - Exemplo de divisão do edifício em zonas, para análise de desempenho térmico com o programa ECOTECH

Fonte: MARSH, A. J. Thermal modeling: the ECOTECH way. *Natural Frequency*, n. 002, July 2006. Disponível em <http://naturalfrequency.com> Acesso em 03 jul 2006

Uma zona térmica é definida no programa ECOTECH, como um volume de ar homogêneo. Na maioria dos casos este volume será de um único ambiente, considerando-se que o ar poderá se misturar livremente dentro deste ambiente. Em alguns casos, como um quarto e banheiro acoplados (suíte) ou uma cozinha e sala de jantar acoplado, pode ser apropriado agrupar dois ou mais ambientes em uma mesma zona, simplesmente porque estes ambientes estão sujeitos aos efeitos de um mesmo volume de ar (Ilustração 11 b). Já no caso de uma ambiente grande com janelas em várias orientações, pode ser mais adequado subdividir o ambiente em múltiplas zonas, de acordo com a orientação das aberturas, como na Ilustração 11 a (MARSH, 2006 a).

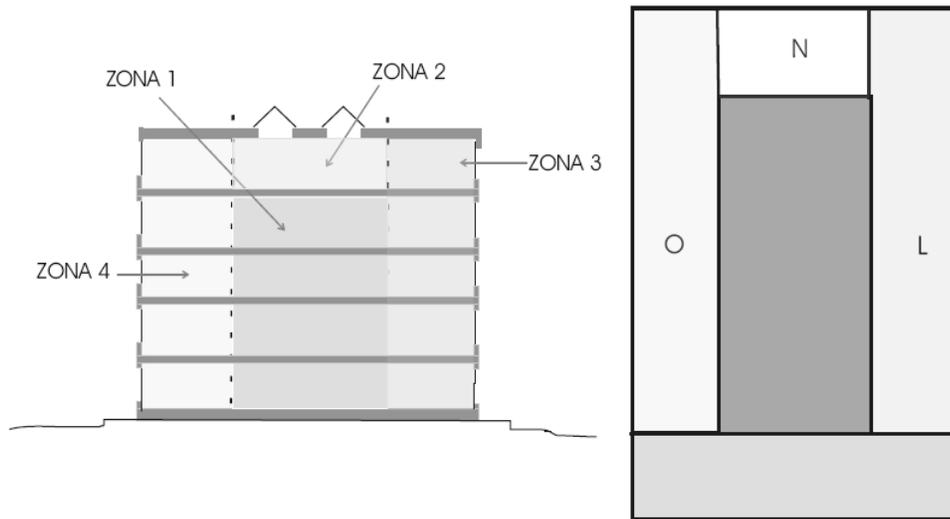


Ilustração 12 - Zoneamento de um edifício para cálculo manual

Fonte: BAKER, N. & STEEMERS, K. **Energy and Environment in Architecture: a technical design guide**. London: Taylor & Francis Group, 2000. 224 p

A Ilustração 12 mostra uma possibilidade de divisão de um edifício em zonas, neste exemplo o critério principal de zoneamento foi a orientação das fachadas. O piso térreo realiza trocas térmicas com o solo, portanto, tem uma carga térmica diferente dos pisos intermediários. Neste caso, optou-se por colocar o nível do piso com os andares intermediários para diminuir a quantidade de zonas no modelo (BAKER, STEEMERS, 2000).

O peso dado a cada um destes fatores depende das necessidades da avaliação. Por exemplo, se há necessidade de analisar o impacto da orientação da fachada na carga térmica, o fator 'padrão de ocupação' será de importância secundária.

Não existe resposta certa ou errada na divisão de zonas de um modelo, para cada ferramenta de simulação irá existir um critério de seleção. Isto se deve ao fato de cada ferramenta utilizar um algoritmo próprio. Mais uma vez, o primeiro fundamento de uma simulação acurada é o entendimento da ferramenta. O método de cálculo, o potencial da ferramenta e a forma como o dado de entrada é entendido e utilizado irão determinar os pesos dados a cada critério no zoneamento do modelo (WALTZ, 1998).

Erros de modelagem podem ser evitados com a abertura das 'caixas pretas' dos métodos de simulação. "Acumulo de erros e impressões, comuns no uso de programas

de avaliação térmica deve ser evitado. A manipulação direta e a visualização contínua são essenciais” (KOWALTOWSKI, LABAKI, 1993).

4.4 Barreiras à simulação

Barreiras à simulação a serem transpostas nos países em desenvolvimento podem ser classificadas em três categorias principais: cultural, econômica e tecnológica. Obviamente, as três interagem. Barreiras culturais resultam principalmente no fato de que as várias partes envolvidas no processo de projeto não estão ainda conscientes ou convencidas das vantagens oferecidas pela simulação. Os profissionais de projeto, arquitetos e engenheiros, quase exclusivamente utilizam ferramentas tradicionais de desenho, muito comumente, devido à falta de experiência destes profissionais com modelagem e simulação.

As barreiras econômicas e culturais estão relacionadas aos honorários dos serviços dos profissionais e necessidade de manutenção e atualização dos softwares. Existe um mercado competitivo, e os empreendedores e investidores do mercado imobiliário esperam resultados rápidos com baixo custo de projeto. Os projetistas não têm tempo disponível para se tornarem familiarizados com modelagem e simulação, mesmo argumentando que o uso da simulação pode resultar em soluções de projeto mais adequadas, mais econômicas e mais rápidas (CHVATAL, 1998; DUNOVSKA, DRKAL, HENSEN, 1999).

Uma parcela dos projetistas nem sempre estão suficientemente interessados para dedicar o seu tempo para se tornarem familiarizados com o procedimento de modelagem e simulação; até mesmo quando provado que o seu emprego possibilita facilitar a resposta por soluções de projeto mais rápidas, melhores e mais baratas. A falta de experiência dos profissionais do mercado com modelagem e simulação perpetua a percepção de ferramentas de simulação como ‘caixas pretas’.

Há uma forte percepção de que a simulação é um processo de alto custo e que demanda muito tempo, que requer equipamentos caros e especiais, bem como um conhecimento especializado, tempo para preparação dos dados de entrada e interpretação dos resultados que inflaciona os custos do projeto (HAND, 1998; DUNOVSKA, DRKAL, HENSEN, 1999).

No Brasil, assim como em outros países em desenvolvimento, as barreiras tecnológicas são as maiores responsáveis pela não disseminação de simulação entre os profissionais da área de projeto arquitetônico. Principalmente a falta de dados climáticos para um país tão extenso (falta ainda um modelo a ser seguido pelas estações meteorológicas), falta de base de dados de propriedades termofísicas de materiais construtivos nacionais; falta de dados relativos a influência da vegetação, insuficiência ou incapacidade das ferramentas de simulação nacionais de irem além da simulação de problemas específicos, dificuldade de utilização de ferramentas estrangeiras pela barreira do idioma e de contexto (MENDES, LAMBERTS, NETO, 2001).

Ferramentas de simulação diferentes utilizam diferentes modelos, os quais são incompatíveis entre si. O uso de múltiplas ferramentas requer a preparação de múltiplos arquivos de entrada de dados, um para cada ferramenta de simulação.

O grande desafio é desenvolver uma tecnologia capaz de automatizar a entrada de dados para múltiplas ferramentas de simulação e então apresentar resultados em um formato mais plausível para facilitar as tomadas de decisão. Ligar a informação geométrica contida em desenhos CAD¹³ com informações não geométricas sobre objetos que eles representam é a grande mudança conceitual e técnica capaz de representar a economia de tempo tão procurada por projetistas e considerada como fundamental para a difusão da prática de simulação.

E, finalmente, ferramentas de simulação precisas requerem uma descrição detalhada do edifício, com dados que não estão disponíveis durante as primeiras etapas de projeto.

Apesar das dificuldades já comentadas, a prática de simulação pode ser usada como um foco comum entre a equipe de projeto e funcionar como um repositório para informação de projeto (HAND, 1998). Alguns profissionais envolvidos no processo de projeto de edifícios sentem a necessidade de avaliar a qualidade ambiental de seus projetos, no entanto, a maior parte deles não é capaz de fazê-lo com as ferramentas disponíveis no mercado.

¹³ CAD é acrônimo da expressão em inglês *Computer Aided Design*.

Arquitetos procuram um *software* com tecnologia capaz de realizar uma análise rápida, integrada a múltiplas ferramentas de desenho e simulação, projetada para integrar análise energética com outros critérios, como conforto ambiental. Outras características devem ser atendidas pela ferramenta de simulação: interface amigável, biblioteca de materiais construtivos e sistemas, como ar condicionado.

Decisões como a massa e orientação do edifício são feitas nas primeiras fases do projeto, quando os desenhos ainda são esquemáticos, têm um grande impacto no desempenho energético do edifício e conseqüentemente tem a maior capacidade de redução no consumo durante o uso do mesmo. Uma avaliação de desempenho é necessária o quanto antes no processo de projeto (PEDRINI, SZOLKOLAY, 2003; AMOR, HORSKING, DONN, 1993). Por outro lado, a geração de ferramentas de simulação disponível atualmente não atua de forma efetiva nas primeiras fases de projeto, e avaliações, são na maior parte, baseadas na experiência e conhecimento experimental de consultores (BRAHME et al, 2001).

Para realização de avaliações de desempenho do edifício nas primeiras fases do projeto, os modelos normalmente são limitados. Em termos de descrição do edifício, são normalmente adotados um conjunto de valores padrão (*default*) para mitigar a falta de informações.

Ferramentas para análise acuradas requerem dados de entrada detalhados do edifício, que não estão disponíveis nas primeiras etapas de projeto. Como as diferentes fases de projeto criam novos desafios para as ferramentas, a ferramenta ideal de simulação deveria ser capaz de lidar com as diferentes fases do projeto ou permitir a preparação de um modelo simplificado que possa ser exportado para uma ferramenta mais adequada sem perda de informação.

O tipo de resposta necessária (desempenho térmico, luminoso, dimensionamento de sistemas de ar condicionado) implica na definição da ferramenta de simulação adequada. A ferramenta não precisa necessariamente fazer todas estas análises, mas deve, pelo menos, permitir que os dados contidos no modelo sejam exportados para uma ferramenta adequada sem perda de informação ou re-trabalho.

Por muitas razões, os programas de simulação de edifícios não são reconhecidos como ferramentas de suporte ao projeto tão úteis quanto às ferramentas de suporte ao

desenho como ferramentas CAD ou *software* de análises de custos (MORBITZER et al, 2001). Problemas econômicos, culturais e técnicos interagem.

É muito difícil encontrar um *software* totalmente desenvolvido, pois: 1) poucas ferramentas são capazes de fazer a ligação entre a informação geométrica contida nos desenhos de *softwares* CAD e informações não geométricas sobre os objetos que eles representam; e 2) ferramentas diferentes usam conceitos construtivos e contextos de representação diferentes (i.e. características de implantação e operação como condições climáticas, edifícios vizinhos, padrão de ocupação, regulagem de termostato, etc).

Uma ferramenta de análise térmica, por exemplo, representa o edifício em termos de barreiras térmicas com propriedades físicas de transferência de calor, enquanto ferramentas de análise de iluminação representam o edifício em termos de polígonos com propriedades ópticas. Os modelos resultantes são normalmente incompatíveis, e por fim o uso de ferramentas múltiplas e complementares necessariamente implica em preparação de múltiplos arquivos de entrada em adição a descrição geométrica do CAD tradicionalmente necessária na especificação construtiva.

A simulação de desempenho de edifícios é baseada no processo interativo de entendimento e representação de questões do mundo real. Como questões reais são complicadas, incertas e não lineares por natureza, algumas conclusões, simplificações e aproximações devem ser introduzidas no processo de modelagem. Mesmo sabendo que respostas absolutamente corretas são, na maioria dos casos, impossíveis de serem conseguidas. O que pode ser esperado são resultados que vão de encontro com o grau de acuidade das necessidades do usuário. Se for necessário que a acuidade aumente, é necessário que o grau de esforço envolvido na simulação seja aumentado (RODE, 2001).

A falta de dados de entrada, como dados climáticos (MATHEWS, RICHARDS, 1993; DUNOVSKA, DRKAL, HENSEN, 1999; CRAWLEY, HAND, LAWRIE, 1999; MENDES, LAMBERTS, NETO, 2001) e de uma base de dados referencial de materiais construtivos (BARROS et al, 2001; GOMEZ et al , 2001), ou, em alguns casos, a falta de hardware adequado (DUNOVSKA, DRKAL, HENSEN, 1999) tem de forma recorrente se apresentado como barreiras técnicas, e podem persistir

independentemente da possibilidade de ligação entre os *softwares* e melhora dos algoritmos.

Por último, a apresentação dos dados da avaliação é um elemento vital para entendimento dos resultados obtidos com a simulação. É importante tornar os dados obtidos com a simulação em informação de qualidade (MORBITZER et al, 2001). Processar e interpretar grandes quantidades de informação leva a confundir a questão principal (MATHEWS, RICHARDS, 1993).

A natureza do trabalho do arquiteto na fase de projeto é trabalhar com informações gráficas. Isto é verdade especialmente nas primeiras fases de projeto onde a forma do edifício em si ainda está sendo estabelecida (ROBERTS, MARSH, 1996).

É fundamental que o projetista possa visualizar os processos físicos atuando em uma construção através de imagens, não somente com gráficos. Os desenhos estimulam a intuição presente no processo de projeto (KOWALTOWSKI et al, 1998).

O desenho auxilia na compreensão das milhares de combinações das soluções de projeto, ajudando o projetista a trabalhar com um número reduzido de variáveis. (DUARTE, 2002). O desenho em um processo, reorganiza idéias, centra-se em partes e as recombina. Em um circuito formado por quatro partes: olho, mão, cérebro e desenho; com capacidade de somar, subtrair ou modificar as informações que passam por ele (LAUSEAU, 1982).

4.4.1 Arquivos climáticos

Os dados climáticos necessários para o estudo de desempenho térmico de edificações têm recebido tratamentos diversos dependendo dos *softwares* de simulação térmica de ambientes para os quais são utilizados.

Até meados da década de 90, a maior necessidade de dados climáticos consistia na representação de dados horários de temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, velocidade e direção dos ventos. Dependendo do objetivo da simulação, o conjunto de dados poderia representar apenas a estação mais quente (para determinação da carga de resfriamento) ou mais fria (para determinação da carga de aquecimento), ou até mesmo os dias de pico de calor ou frio para dimensionamento dos sistemas de aquecimento ou resfriamento de ar (HENSEN, 1999). No entanto, os

programas evoluíram de tal maneira que são capazes de realizar simulações com intervalos de simulação muito pequenos, o que leva a necessidade de dados climáticos mais complexos e precisos.

A Tabela 7 descreve resumidamente os modelos de dados climáticos disponíveis no mundo e para qual tipo de simulação devem ser utilizados.

Fica claro, então, que existe um grande leque de opção relacionada à escolha dos arquivos climáticos de acordo com o tipo de avaliação de desempenho do edifício que se pretende realizar. Outro problema passa a ser a aquisição e tratamento destes dados para que se ajustem a uma ferramenta escolhida para tal análise.

Para o caso de simulação de conforto ambiental e consumo energético em longo prazo, é recomendado que se utilize um dos seguintes arquivos: TMY-2, WYEC-2, CWEC, EWY, TRY ou DRY. Os arquivos mais utilizados no Brasil são TMY-2, TRY e DRY.

Arquivos climáticos TRY – *Test Reference Year*, eram preparados pelo *National Climatic Data Center* para utilização em pesquisas e não são mais recomendados para utilização. Eram formados através de uma metodologia baseada na eliminação de anos cujos dados contêm temperaturas médias mensais extremas (muito altas ou muito baixas) até que se obtenha apenas um ano de dados médios (GOULARD, LAMBERTS, 1997). O TRY é então uma série de dados climáticos tratados segundo uma metodologia e representa uma situação referencial do clima local em questão (CARLO, 2005).

Um arquivo TMY (*Typical Meteorological Year*) é composto por um conjunto de dados horários de radiação solar e elementos meteorológicos para período de um ano. É formado por meses selecionados individualmente dos anos de medição para formar um ano completo. O critério de seleção utilizado na escolha dos meses consiste na eliminação de meses sem extremos nos dados meteorológicos.

Tabela 7- Dados climáticos mais comuns e sua aplicação

| USO | ITEM | TIPO DE DADO | ABRANGÊNCIA | ÓRGÃO QUE DIVULGA |
|---|---|---|---|-------------------|
| Dimensionamento de equipamento | 1997 ASHRAE Handbook of fundamentals | Extremos de longo-termo | 1495 localidades dos Estados Unidos e outros países | ASHRAE, GRI |
| | Sequências de temperaturas e umidade extremas | | 320 localidades nos Estados Unidos e Canadá | ASHRAE |
| Monitoramento e resolução de problemas com equipamentos instalados | Dados climáticos horários | Dado horário | 240 localidades nos Estados Unidos e Canadá | GRI |
| Estimativa de comportamento e consumo energético a longo prazo | TMY-2 Typical meteorological year | Tipicamente observações horárias com tratamento estatístico | 239 localidades em Porto Rico | GRI |
| | WYEC-2 Weather Years for Energy Calculations | | 76 localidades nos Estados Unidos | ASHRAE |
| | CWEC Canadian Years for Energy Calculation | | 145 localidades no Canadá | AES |
| | EWY Example Weather Year | | 15 localidades na Gran Bretanha | CIBSE |
| | TRY Test Reference Year e DRY Design Reference Year | | 156 localidades na Europa, Rússia e Turquia | CEC |
| Simulação do comportamento de um equipamento para um ano específico | SAMSON Solar and Meteorological surface observation | Observações reais para anos específicos | 273 localidades nos Estados Unidos | NOAA |
| | CWEEDS Canadian Weather for Energy and Engineering | | 154 localidades no Canadá | AES |
| | INSOWO International Surface Weather Observations | | 1500 localidades no mundo | NOAA |

Fonte: HENSEN, I.J. Simulation of building energy and indoor environmental quality - some weather data issues. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 6., 1999, Prague. **Proceedings...** Prague: Building Simulation, 1999

Um arquivo TMY não é necessariamente um bom indicador das condições meteorológicas dos próximos anos. Ela representa condições julgadas típica em um

longo período de tempo, como 30 anos. O TMY representa dados típicos e não de condições extremas, portanto, não são adequadas para o projeto de sistemas e seus componentes que devem atender as exigências de condições de pico (NREL, 1995).

Os arquivos TMY disponíveis foram formulados a partir de dados coletados em estações meteorológicas entre 1952-1975. Arquivos TMY2 foram gerados a partir de dados coletados entre 1961-1990. Outra diferença é a forma de escolha dos meses: assim o TMY2 também utiliza o método Sandia, mas com outra ponderação que otimizar o peso dos índices responsáveis pela importância relativa da radiação solar e elementos meteorológicos (NREL, 1995).

O tipo de arquivo climático usado em uma simulação determina a precisão e características dos resultados (CRAWLEY, HUANG, 1997). Para representar totalmente as condições climáticas em longo prazo, é desejável ter longos períodos de arquivos climáticos. Enquanto anos típicos podem simplificar o trabalho nos dados climáticos, não há nenhuma garantia de que eles irão exibir características climáticas em longo prazo (BOLAND, 1995).

A utilização de anos típicos é muito polêmica, muitos estudos foram realizados no desenvolvimento e análise de anos típicos (HITCHIN, et al, 1983; CHOW, FONG, 1997; LUND, 1985; PISSIMANIS et al, 1988; SAID, KARDRY, 1994; LAM, HUI, CHAN, 1996).

Crawley e Huang (1997) compararam os resultados obtidos com a simulação de um escritório, utilizando arquivos climáticos distintos (TRY, TMY, TMY2, WYEC, WYEC2) para uma mesma localidade e compararam os resultados obtidos nas simulações com dados reais coletados no escritório. Como resultado, concluiu-se que as maiores diferenças de resultados não foram no consumo anual de energia, mas nos picos de consumo. As principais recomendações deste estudo são que os usuários de programas de simulação devem evitar a utilização de anos típicos. Nenhum ano isolado pode representar as condições climáticas típicas em longo prazo.

Muito cuidado deve ser tomado quando manuseamos dados que faltam, pontos e formatação de arquivos. Conhecimentos de climatologia e técnicas computacionais são necessários. Dados de radiação solar são normalmente os mais problemáticos e tem constantemente limitado o escopo de dados climáticos de longos períodos para simulação de análise energética (STOFFEL, 1995).

O formato *Multi Year* (MY) é outra possibilidade de arquivos climáticos a ser utilizado em simulação. Dados climáticos anuais são coletados e utilizados na integra na simulação e os resultados destes múltiplos anos simulados são comparados. Esta metodologia, por um lado, evita que o tratamento dos dados climáticos favoreça um aspecto climático em detrimento de outro, retirando a ambigüidade dos anos típicos e um espectro mais amplo de comportamento energético e climático pode ser estudado (SAM, CHEUNG, 1999). Por outro lado, o tempo despendido com as simulações e análises de resultados, aumenta muito e pode gerar erros de interpretação de resultados, sendo necessária uma nova metodologia de análise específica para leitura dos resultados. Uma maneira sistemática de interpretação é essencial para examinar a grande quantidade de informações geradas nas simulações. A relação custo benefício de simulações com arquivos climáticos múltiplos deve ser analisado em cada caso (SAM, CHEUNG, 1999).

Para facilitar as análises de simulações com arquivos climáticos MY, Hui e Lam, 1995, desenvolveram um programa que automatiza o processo de simulação com arquivos climáticos múltiplos, extrai os resultados chave e trabalha com os dados de entrada e saída da simulação.

O arquivo MY permite que seja simulado um edifício existente com dados climáticos de um ano específico (útil na comparação de dados coletados *in loco* com dados simulados), o que não é possível com os anos típicos (Tabela 8).

Tabela 8 - Comparação entre o arquivo climático de ano típico e *Multi-Year*

| | ANO TÍPICO | MULTI-YEAR |
|---|---------------------------------------|-------------------|
| Quantidade de dados climáticos | Um ano | Vários anos |
| Habilidade de representar a longo termo | Depende do método de seleção esistema | Muito bom |
| Habilidade de representar um ano específico | Não | Sim |
| Quantidade de simulações | Uma vez | Múltiplas vezes |

Fonte: SAM, C. M.; CHEUNG, K. P. Multi-Year (MY) building simulation: is it useful and practical? In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE , 1999, Prague. **Proceedings...** Prague: Building Simulation, 1999

Um arquivo climático MY é a ferramenta ideal para analisar todos os possíveis cenários climáticos que podem influir no desempenho de um projeto (CIBSE, 1996). O

projeto otimizado pode ser alcançado com o exame dos resultados das simulações nos múltiplos anos.

Em 1997, a primeira base de dados de arquivo climático brasileiro para 14 cidades foi publicada por Goulard e Lamberts no formato TRY. As cidades contempladas foram: Porto Alegre, Florianópolis, Curitiba, Belo Horizonte, São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Vitória, Salvador, Natal, Recife, Fortaleza, Belém e Maceió (GOULARD, LAMBERTS 1997). Porém, estes arquivos não incluem dados de radiação solar. Existem outras iniciativas, como a criação de um arquivo TMY2 para a cidade de São Paulo que utilizou dados climáticos de 10 anos (SATO, LABAKI, SILVA, 2001).

A página do programa *Energy Plus* disponibiliza arquivos climáticos no formato EPW para cidades brasileiras (Tabela 9) indica também o formato original dos dados utilizados. Algumas cidades como Belém tem disponibilizado dois arquivos climáticos um baseado em dados SWERA e outro baseado em dados IWECC.

O IWECC¹⁴ é o resultado do Projeto de Pesquisa ASHRAE 1015. Trata-se de um arquivo climático típico adequado à utilização por programas de simulação de eficiência energética. Está disponibilizado na página do *Energy Plus* para 277 localidades fora dos Estados Unidos. Estes dados foram elaborados a partir de 18 anos de dados climáticos DATSAV3 originalmente arquivado pelo *US National Climatic Data Center*. O arquivo climático é suplementado pela radiação solar estimada baseada em geometria solar e dados climáticos horários, particularmente informações sobre nebulosidade (ENERGY PLUS, 2005).

O projeto SWERA¹⁵, fundado pelo Programa Ambiental das Nações Unidas, está desenvolvendo informações de alta qualidade em recursos de energia solar e eólica em 14 países em desenvolvimento, entre eles o Brasil. Até o momento estão disponíveis anos típicos para 156 localidades em Belize, Brasil, China, Cuba, El Salvador, Etiópia, Gana, Guatemala, Honduras, Quênia, Maldivas, Nicarágua, e Sri Lanka (ENERGY PLUS, 2005).

¹⁴ IWECC é o acrônimo da expressão em inglês *International Weather for Energy Calculations*

¹⁵ SWERA é o acrônimo da expressão em inglês *Solar and Wind Energy Resource Assessment*.

Tabela 9 - Cidades brasileiras com dados climáticos disponibilizados para utilização no programa *Energy Plus*

| CIDADE | ARQUIVO CLIMÁTICO DISPONÍVEL |
|--------------------------------|------------------------------|
| Belém - Val de Cans | SWERA |
| Belém | EPW IWEC |
| Belo Horizonte - Pampulha | SWERA |
| Boa Vista | SWERA |
| Bom Jesus da Lapa | SWERA |
| Brasília | EPW IWEC SWERA |
| Campo Grande | SWERA |
| Cuiabá - Marechal Rondon | SWERA |
| Curitiba - Afonso Pena | EPW SWERA |
| Florianópolis | EPW SWERA |
| Fortaleza - Pinto Martins | EPW SWERA |
| Jacareacanga | SWERA |
| Maceió | EPW |
| Manaus | SWERA |
| Natal | EPW |
| Petrolina | SWERA |
| Porto Alegre | EPW |
| Porto Velho | SWERA |
| Recife - Guararapes | SWERA |
| Recife | EPW IWEC |
| Rio de Janeiro - Santos Dumont | EPW SWERA |
| Salvador | EPW SWERA |
| Santa Maria | SWERA |
| São Paulo | SWERA (congonghas) IWEC TMY2 |
| São Luis | EPW |
| Vitória | EPW |

Fonte: LabEEE - LABORATÓRIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES **Dados climáticos**. Disponível para em < <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/downloadacim.html> > acesso em 10 fevereiro de 2006; DOE, disponível em <http://www.eere.energy.gov/buildings/> Acesso em 10 de fevereiro de 2006; SATO, A. S.; LABAKI, L. C.; SILVA, V. G. da. **Avaliação de software simplificado para simulação energética em edificações Campinas**: 2001. Relatório de Iniciação Científica – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas

Algumas alternativas para contornar o problema da falta de disponibilidade de dados climáticos para cidades brasileiras vêm sendo estudadas, como a determinação

de dias típicos de projeto e a possibilidade de uso das normais climatológicas (disponível para 260 cidades brasileiras) como dado climatológico simplificado.

Em Campinas foram determinados os dias típicos de projeto pela metodologia de Satller (1990), com base em cinco anos de dados coletados no Posto Meteorológico da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP (LABAKI, 1995). A partir das normais climatológicas são determinados dois dias de projeto para cada mês: dia de pico, de maior carga térmica, e o dia de base, dia de menor carga térmica.

A análise de consumo a partir de dados climáticos simplificados foi possível pela criação de uma rotina para gerar os dois dias de projeto de cada mês. Os dias foram montados utilizando os dados mensais de: temperatura máxima absoluta, temperatura mínima absoluta, temperatura média das máximas, temperatura média das mínimas, nebulosidade média e pressão atmosférica média. O programa *Energy Plus* gera o perfil horário da temperatura de bulbo seco naquele dia com base nestes dados. Assume-se que a temperatura máxima ocorre às 15h (WESTPHAL, LAMBERTS, 2005).

Este tipo de simulação atualmente só é possível com o *software Energy Plus*, mas poderá ser adaptado para outros programas e, até o momento, se apresenta como melhor solução para transpor a barreira da falta de dados climáticos brasileiro.

4.5 Métodos para validação de *softwares* de simulação

Quando um novo *software* é criado, o processo de testes e validação é parte necessária de seu desenvolvimento e assegura sua credibilidade. Durante a fase de testes e validação, são identificados e eliminados problemas com o algoritmo, erros físicos e de documentação (NEYMARK et al, 2002).

A validação de um programa consiste na combinação de validação empírica, analítica e técnicas comparativas de análise. A validação empírica consiste em confronto entre os resultados de cálculos gerados pelo programa com dados reais coletados em uma célula teste, edifício real, ou experimento laboratorial.

Quando comparamos os resultados obtidos com a simulação de um mecanismo de transferência de calor isolado, em uma ferramenta, e um resultado obtido por um método de cálculo analítico conhecido, estabelecemos a verificação analítica deste *software*.

Já os testes comparativos são elaborados a partir de comparações entre resultados de simulação de diferentes programas de simulação. Cada um destes métodos apresenta vantagens e desvantagens, como pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10 - Comparação entre métodos de validação de *software*

| MÉTODO DE VALIDAÇÃO | VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|---------------------|--|---|
| Empírica | Aproxima padrões verdadeiros com acuidade experimental | Incertezas comuns a experimentação |
| | Algum nível de complexidade | Calibração de instrumentos |
| | | Especificações imperfeitas do modelo sendo simulado |
| | | Não controle sobre fatores climáticos |
| Analítica | Nenhuma incerteza quanto aos dados de entrada | Nenhum teste de validade de modelo |
| | Modelo matemático funciona para um dado modelo | Número limitado de variantes ao qual o método pode ser aplicado |
| | Barato | |
| Comparativa | Nenhuma incerteza quanto aos dados de entrada | Nenhuma verdade estabelecida |
| | Muitas possibilidades de comparação | |
| | Barato e rápido | |

Fonte: Adaptado de NREL NATIONAL RENEABLE ENERGY LABORATORY . **International energy agency building simulation test (BESTEST) and diagnostic method**. Golden: NREL National Renewable Energy Laboratory, Feb. 1995

O processo de validação de uma ferramenta pode usar a combinação destes métodos, como demonstra a Ilustração 13. Esta possibilidade de combinação dos métodos de validação podem ser combinados de diversas maneiras. Por exemplo, uma comparação entre modelos pode ser realizada antes de um exercício de validação empírico para definir o experimento e ajudar a estimar incertezas experimentais (NEYMARK et al, 2002).

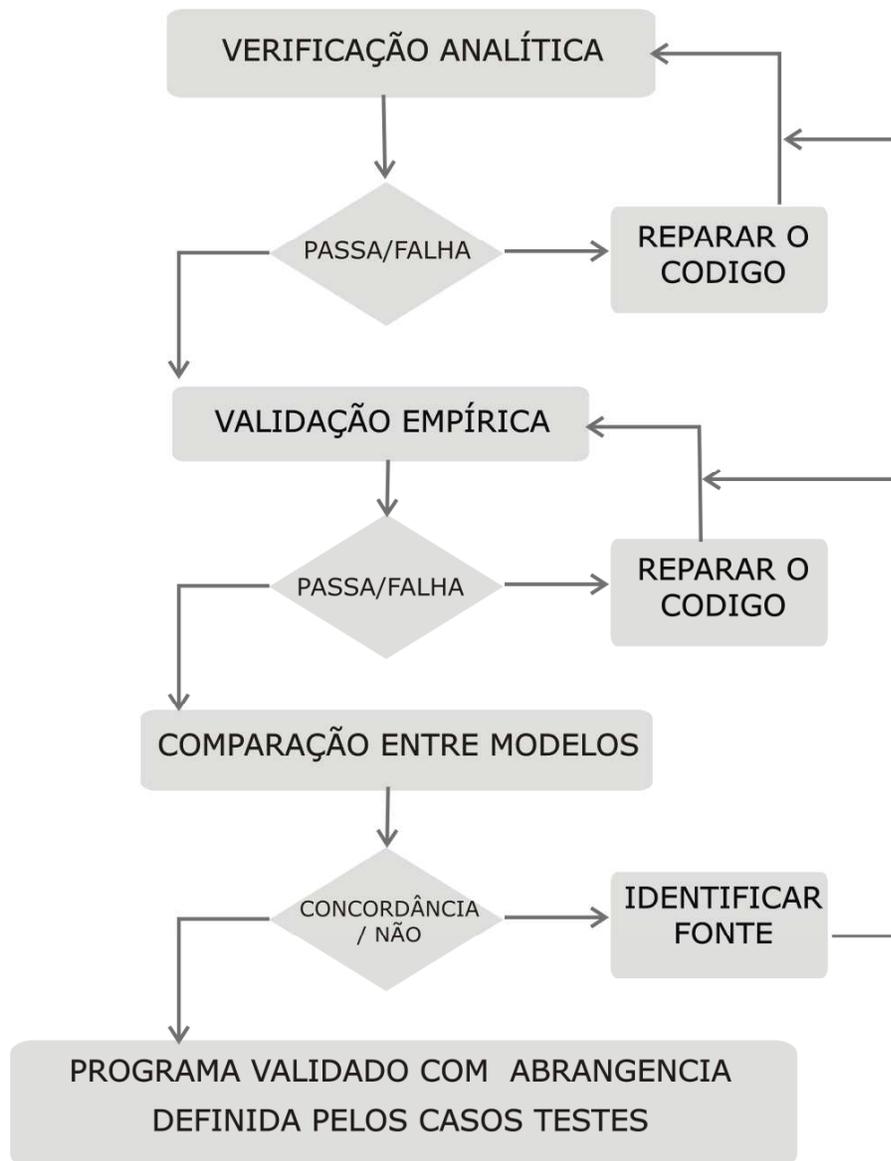


Ilustração 13 - Possível método de validação de ferramenta de simulação

Fonte: Adaptado de NEYMARK, J. et al. Applying the building energy simulation test (BESTEST) diagnostic method to verification of space conditioning equipment models used in whole-building energy simulation programs. **Energy and Buildings**, [S.L.], v. 34, p. 917-931, 2002

Existem atualmente diversas metodologias de validação de *softwares*. Estas metodologias de validação se baseiam no princípio de que uma vez que vários programas passaram satisfatoriamente pelo procedimento de validação, outros programas, podem ser testados e ter seus resultados comparados.

4.6 Ferramentas de simulação

Dentro do grande número de programas de simulação disponíveis atualmente, alguns são utilizados com grande frequência em instituições de pesquisa no Brasil e no exterior. São apresentadas aqui as ferramentas de maior relevância.

4.6.1 Programa BLAST

O programa BLAST – *Building Loads Analysis and System Thermodynamics*, é um conjunto de programas para análise de consumo de energia, desempenho de sistemas e custo em edifícios. Foi desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia do Exército Norte Americano e a Universidade de Illinois.

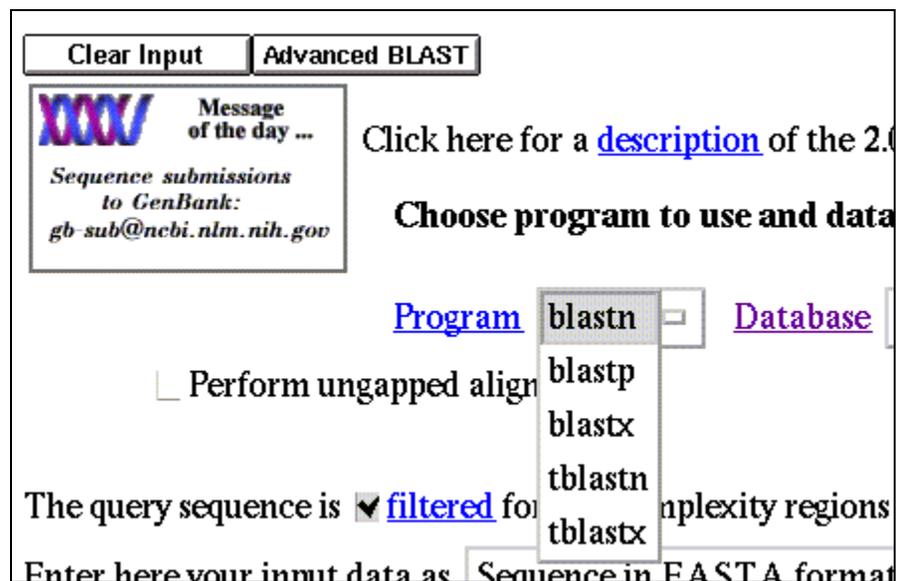


Ilustração 14 - Exemplo da Interface do programa BLAST

O BLAST contém três programas principais: *Space Loads Prediction*, *Air Systems Simulation*, e *Central Plant*. O programa foi validado pelo *Envelop BESTEST*, *HERS BESTEST* e *ASHARE 1052-RP*. Apesar de sua interface ser baseado na interface gráfica do Windows (Ilustração 14) o programa não é amigável. (CRAWLEY et al, 2005).

4.6.2 Programa DOE-2

Em 1978, o *Lawrence Berkeley Laboratory (LBL)*, *Argonne National Laboratory*, *Los Alamos National Laboratory*; e a empresa *Consultants Computation Bureau* desenvolveram a primeira versão do programa DOE, elaborado com patrocínio do *U.S. Department of Energy (DOE)*. Desde então, as versões do DOE têm sido continuamente revisadas e aprimoradas através dos esforços do *Simulation Research Group* do LBL e de vários outros pesquisadores associados.

O programa passou a ser largamente usado como ferramenta de projeto de edificações, em projetos de conservação de energia e desenvolvimento de padrões de eficiência energética. O DOE-2.1E é composto de cinco módulos: um decodificador do arquivo de entrada e quatro subprogramas (LOADA, SYSTEMS, PLANT e ECON). Estes são executados seqüencialmente, com relatórios subdivididos por módulo, sendo que a saída de um se torna à entrada do próximo (LABEE, 2006).

```
* 95 * "Lay Roof" = LAYERS
* 96 *   MATERIAL      =("RG02", "BR01", "Mat R19W", "IN23"
* 97 *   , "PW05", "AL33", "AC03")
* 98 *   THICKNESS     =(0.083, 0.0313, 0.25, 0.167, 0.0623, 0.35, 0.0623
* 99 *   )
* 100 *   ..
*   1 * $Roof Gravel or Slag, 1 Inch
*   2 * TH=0.0833 COND=0.8340 DENS=55.0 S-H=0.4 ..
*   1 * $Built-Up Roofing, 3/8 Inch
*   2 * TH=0.0313 COND=0.0939 DENS=70.0 S-H=0.35 ..
*   1 * $Preformed Mineral Board, 2 Inch,
*   2 * $R-6.9
*   3 * TH=0.1667 COND=0.0240 DENS=15.0 S-H=0.17 ..
*   1 * $Plywood, 3/4 Inch
*   2 * TH=0.0625 COND=0.0667 DENS=34.0 S-H=0.29 ..
*   1 * $Air Layer, 4 Inch or more
*   2 * $Horizontal Roofs
*   3 * RES=0.92 ..
*   1 * $Acoustic Tile, 3/4 Inch
*   2 * TH=0.0625 COND=0.0330 DENS=18.0 S-H=0.32 ..
```

Ilustração 15 - Exemplo da Interface do programa DOE

O DOE-2 é antes de tudo um *software* atualizado e bem documentado que simula o comportamento da edificação se fornecermos: as informações climáticas horárias; a descrição do prédio; o sistema de ar condicionado e a estrutura tarifária. É um programa reconhecido mundialmente, já vem sendo utilizado há mais de 25 anos pelos

maiores centro de pesquisa, no entanto, sua interface (Ilustração 15) não é amigável o que o restringe á consultores e centros de pesquisa.

4.6.3 Programa *Energy Plus*

O *Energy Plus* é um programa de simulação complexo sem uma interface amigável (Ilustração 16), dedicado a simulações térmicas e energéticas de edifícios. Baseia-se na descrição das características termofísicas do prédio e sistemas mecânicos isolados. A primeira versão alfa foi disponibilizada ao público em 1998. Foi desenvolvido a partir dos programas BLAST e DOE-2. É um programa validado pelo *BEPAC Conduction Test*, *HVAC BESTEST vol 2*, *Furnace BESTEST* e está sendo avaliado pelo *HVAC BESTEST vol 1* (CRAWLEY et al, 2005).

É um programa gratuito e também disponibiliza, aos usuários, tutoriais para treinamento. Existem listas de discussões onde usuários trocam informações sobre o programa, assim o usuário ou candidato a usuário está bem assessorado quanto à troca de informações¹⁶.

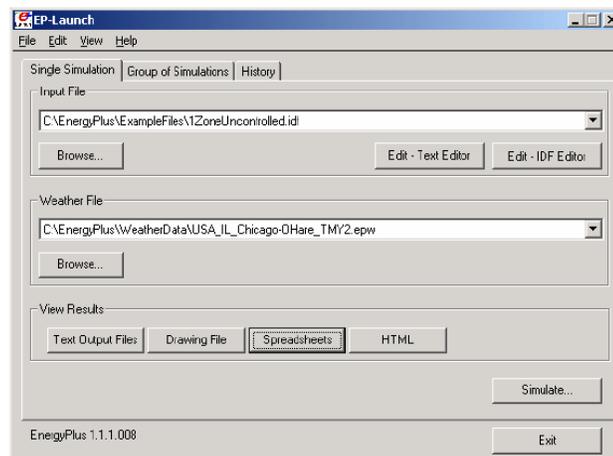


Ilustração 16 - Interface do programa *EnergyPlus*

O programa trabalha com arquivos de entrada e saída em formato texto. Atualmente estão sendo desenvolvidas 5 interfaces, uma delas desenvolvida pelo LabEEE. O programa *Energy Plus* foi reconhecido como um dos 100 melhores produtos tecnológicos em 2003 no 41° R&D 100 Awards; recebeu também o prêmio por

¹⁶ Informações complementares em: <http://www.energyplus.gov/> ou em: SimulationResearch.lbl.gov>EnergyPlus

Excelência em Transferência de Tecnologia em 2002 e 2004; e também o prêmio IT de Qualidade para Excelência Técnica (ENERGY PLUS, 2006).

4.6.4 Programa *Energy-10*

É um programa amigável (Ilustração 17 e Ilustração 18 *a* e *b*), destinado a estudos de consumo energético nas primeiras fases do projeto que integra luz natural, aquecimento solar passivo e estratégias de resfriamento passivas com equipamentos mecânicos de aquecimento ou resfriamento. O programa dedica-se a estudos de edificações comerciais e residenciais de pequeno e médio porte. Vem sendo desenvolvido desde 1992 pelo DOE. Também é uma ferramenta validada pelo *Envelop BESTEST*. Sua principal limitação é a não intercambialidade de dados com programas CAD (CRAWLEY et al, 2005).



Ilustração 17 - Exemplo da Interface do programa *Energy -10*

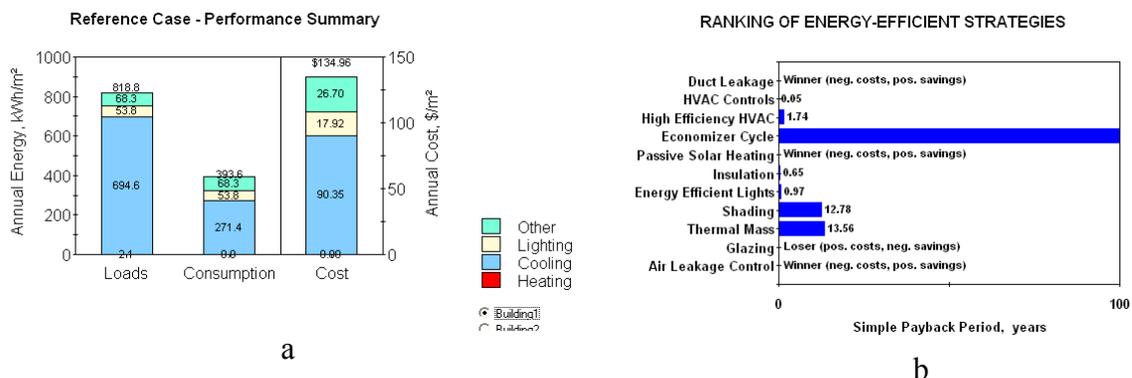


Ilustração 18 a e b - Resultados gerados pelo programa Energy -10

4.6.5 Programa BDA – Building Design Advisor

O *Building Design Advisor* – BDA é um programa que suporta o uso integrado de múltiplos programas de simulação de edifício e ferramentas de análise em um único modelo. Destina-se a análises de edifícios a serem construídos na Califórnia, EUA. Dedicar-se às primeiras etapas de projeto onde só existem os croquis. Deve ser complementado por programas como o DOE, através do desenvolvimento do projeto.

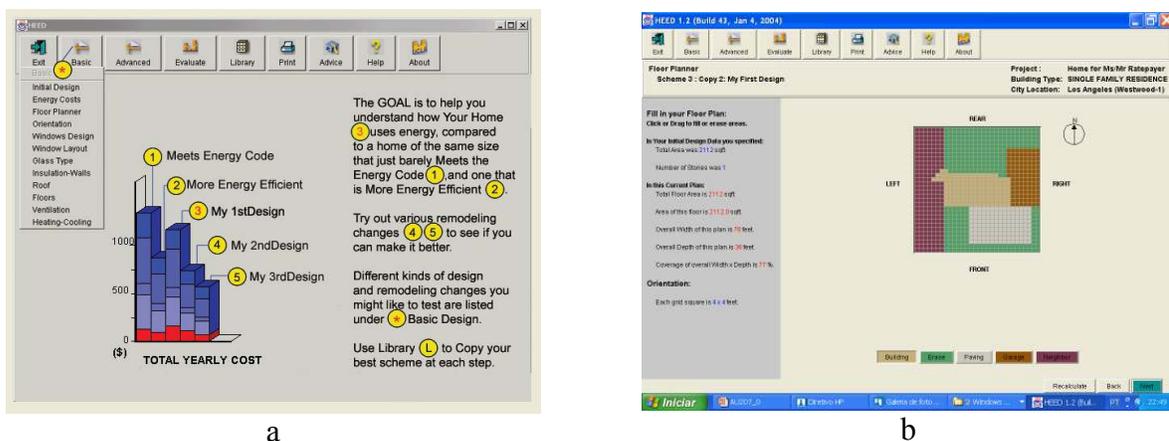


Ilustração 19 a e b - Exemplos da interface do programa BDA

O BDA está sendo desenvolvido pelo Departamento de Tecnologias Construtivas da Divisão de Tecnologias de Energias Ambientais no *Lawrence Berkeley National Laboratory*. O método utilizado pelo programa baseia-se em uma teoria de projeto desenvolvida em colaboração com o Departamento de Arquitetura da *UC Berkeley*.

Utiliza uma representação simples do edifício e seu contexto, como piso, paredes, janelas e coberturas (Ilustração 19 a e b). Esta representação é internamente mapeada em representações na forma exigida pelas ferramentas de simulação. Desta

forma, o programa previne os projetistas das complexidades da modelagem. Sua primeira versão foi apresentada em Janeiro de 1999. O programa é de domínio público¹⁷, assim como o *Energy Plus* (BDA, 2005).

4.6.6 Programa ESP-r

ESP-r é um programa de análises gerais, capaz de realizar análise térmica do edifício, fluxo de ar entre zonas, movimentação de ar dentro das zonas, sistemas de ar condicionado e sistemas elétricos (Ilustração 20). Está sendo desenvolvido há mais de 25 anos. O programa permite que o usuário aumente a complexidade da simulação com o aumento de informações do projeto, o que faz da ferramenta um bom aliado nas diversas fases do projeto. É um pacote de ferramentas capaz de importar arquivos CAD e exportar arquivos para o *Radiance*. O programa dispõe de tutoriais para auxiliar os novos usuários. Foi desenvolvido para ser utilizado por projetistas. É um programa com maior número de validações, 15 (CRAWLEY et al, 2005).

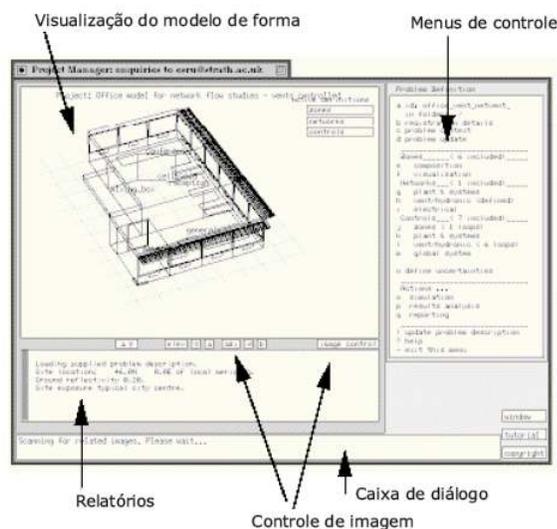


Ilustração 20 - Interface do programa ESP-r

4.6.7 Programa HEED

Outro programa que demonstra a preocupação com a simplificação dos programas de Simulação é o HEED – *Home Energy Efficient Design*, desenvolvido pela

¹⁷ Disponível em: gaia.lbl.gov/BDA

UCLA, School of the Arts and Architecture. O objetivo do HEED é combinar uma ferramenta de simulação de zona única com uma interface amigável (Ilustração 21 a, b e c). É proposta do programa, ser utilizado nas etapas iniciais do processo de projeto. O programa utiliza um sistema *expert* que transforma dados de entrada limitados em dois casos base; o primeiro vai de encontro ao código de energia 24 da Califórnia e o segundo caso base é cerca de 30% energeticamente mais eficiente. Incorpora estratégias passivas ao projeto (CRAWLEY et al, 2005). Os valores referentes aos custos das tarifas energéticas não podem ser modificados pelos usuários. Sendo assim o programa é extremamente restrito a fase de esboço do projeto para a realidade da Califórnia.

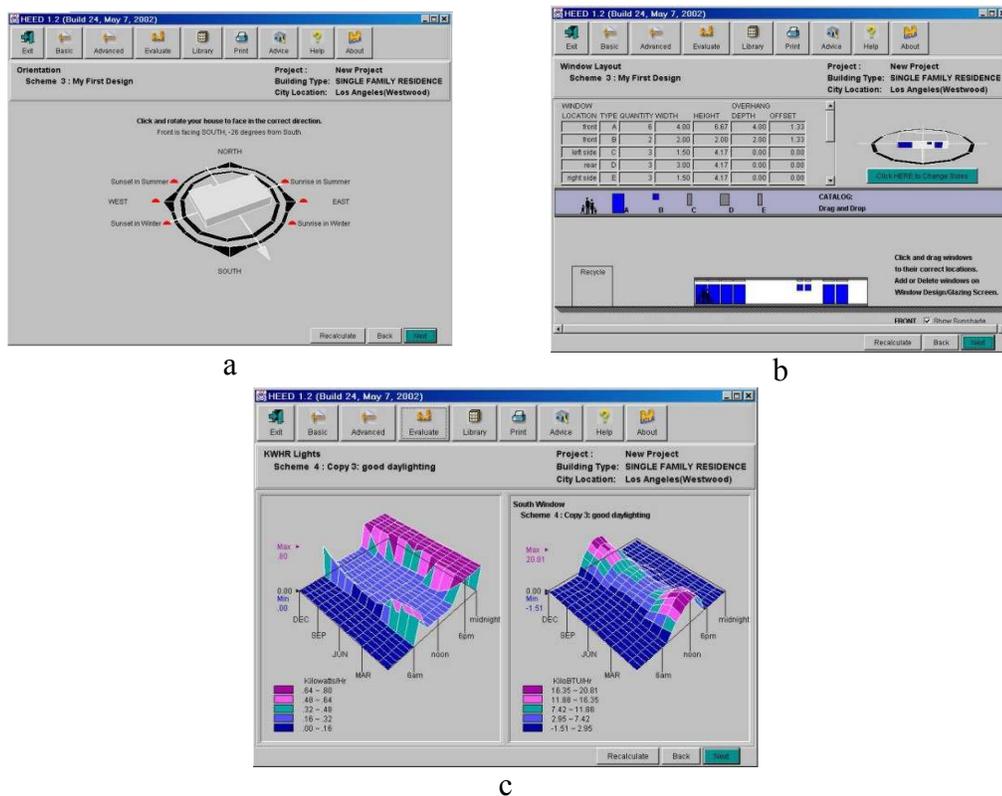


Ilustração 21 a, b e c - Interface do programa HEED

4.6.8 Programa IES<VE>

IES<Virtual Environment> (IES<IE>) proporciona ao profissional de projeto a possibilidade de realizar análises do edifício com um *software* formado por diversos aplicativos. O projeto é representado geometricamente em desenho 3D que é analisado

pelos diversos aplicativos sem redundância de informações (Ilustração 22 a, b e c). Os dados de saída são gráficos e estatísticos. O programa incorpora o *ApacheSim*, uma ferramenta de simulação termodinâmica baseada nos primeiros princípios matemáticos de modelagem do processo de transferência de calor em edifícios. O *ApacheSim* é conectado dinamicamente ao *MacroFlo* para análises de ventilação natural, ao *ApacheHVAC* para componentes baseados em sistemas de simulação e ao *SunCast* para análise detalhada de sombreamento e penetração solar.

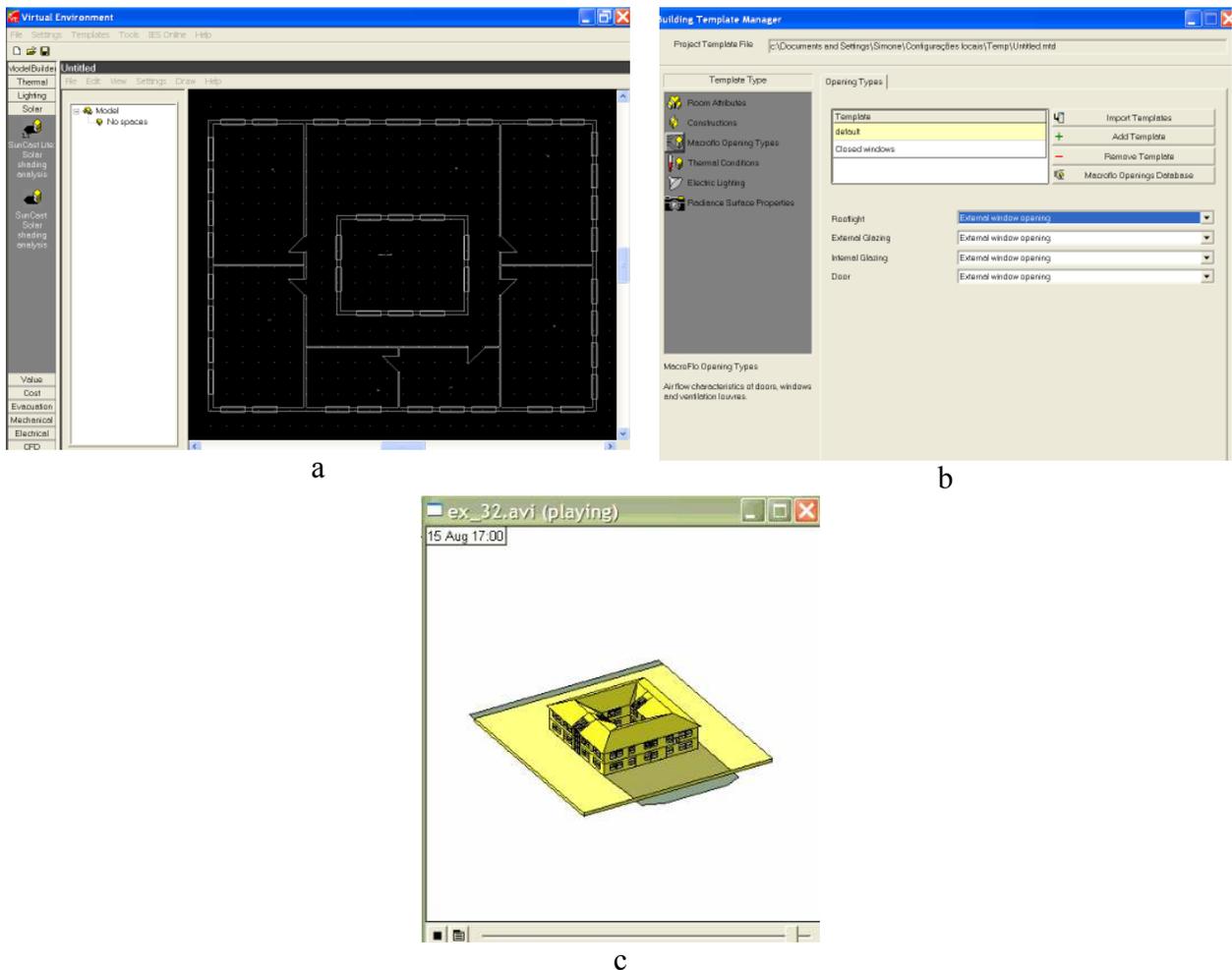


Ilustração 22 a, b e c - Interface e resultados do programa IES<VE>

Os dados de saída gráficos e estatísticos abrangendo mais de 40 tipos de informações sobre o ambiente construído como temperatura do ar ou radiante, umidade, CO₂, cargas latente e sensível, ganhos e taxas de ventilação, além de:

- estatísticas de conforto;

- taxas de ventilação natural através de janelas individuais, portas e *brises*;
- temperatura superficial e de CFD no entorno para análise de conforto;
- cargas e consumo de energia;
- emissões de Carbono.

O programa é bastante flexível quanto à inserção de dados climáticos e foi validado, pelo *Envelope BESTEST* e CIBSE TM33 (CRAWLEY et al, 2005).

4.6.9 Programa *ECOTECH*

O *ECOTECH* é um programa de análise de desempenho de edifícios dedicado às primeiras fases de projeto. Sua interface de modelagem 3D é bastante amigável e integrada com uma grande quantidade de funções de simulação e análise, o que reforça seu caráter de ferramenta dedicada às primeiras fases do projeto (Ilustração 23 a, b e c).

Análises de desempenho mais acuradas não podem ser realizadas pelo programa, no entanto, podem ser exportadas diretamente do *ECOTECH*. O programa gera arquivos nos formatos adequados para análises a serem realizadas nos seguintes programas: *Radiance*, Pov-Ray, CAD, *Energy Plus*, Esp-r, VRML, e WINAIR 4.

A primeira versão comercial do *software* foi apresentada em 1997, desde então o programa vem sendo testado e melhorado sucessivamente. Uma das vantagens da utilização do *ECOTECH* é a possibilidade de visualização do objeto sendo simulado, o que diminui a chance de simulação com erros na modelagem.

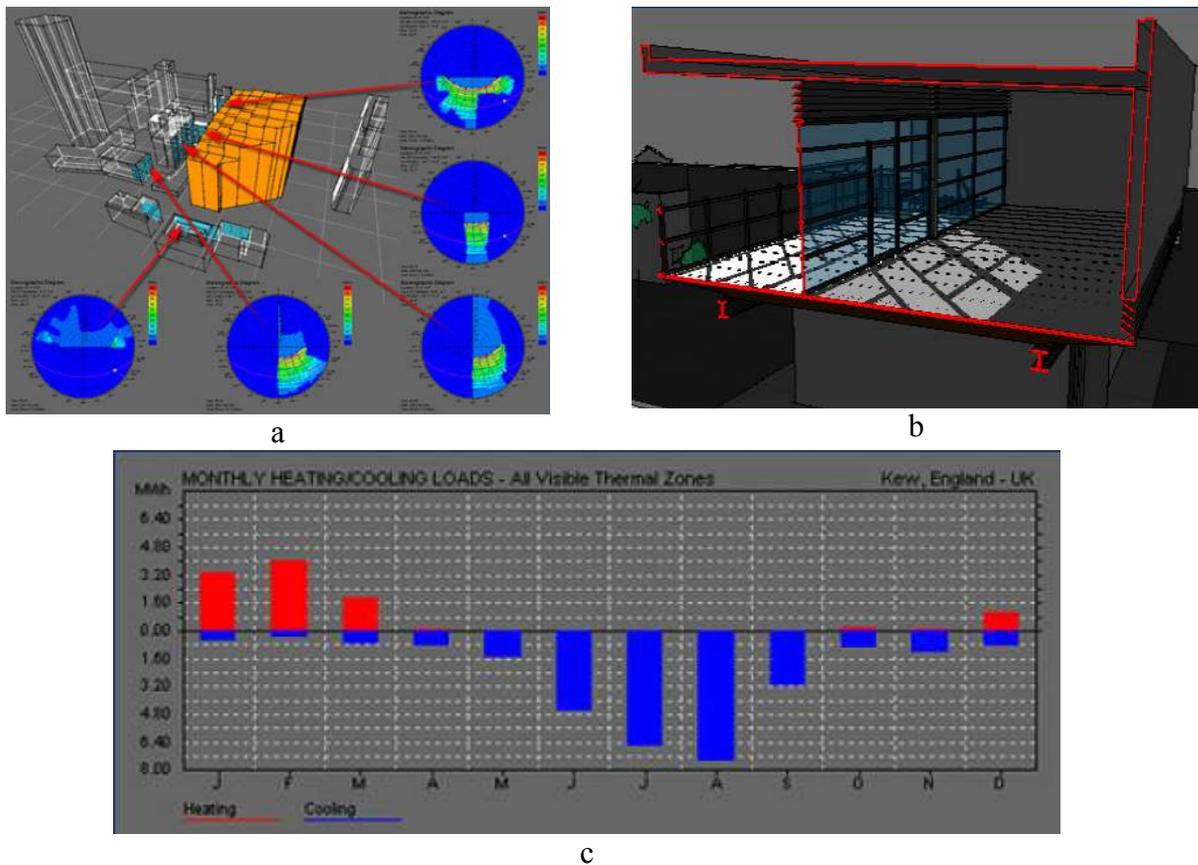


Ilustração 23 a,b. e c - Interface do programa ECOTECH

4.6.10 Programas Brasileiros

No Brasil já existe uma grande quantidade de programas dedicados a avaliação de desempenho ambiental em edifícios (Tabela 11), no entanto, a grande maioria destas ferramentas só é capaz de realizar análises superficiais sobre apenas um aspecto de desempenho do edifício.

Da lista de ferramentas nacionais destacam-se as ferramentas Arquitrop e PowerDomus. As demais são ferramentas simples, para análises de aspectos isolados de desempenho de edifícios.

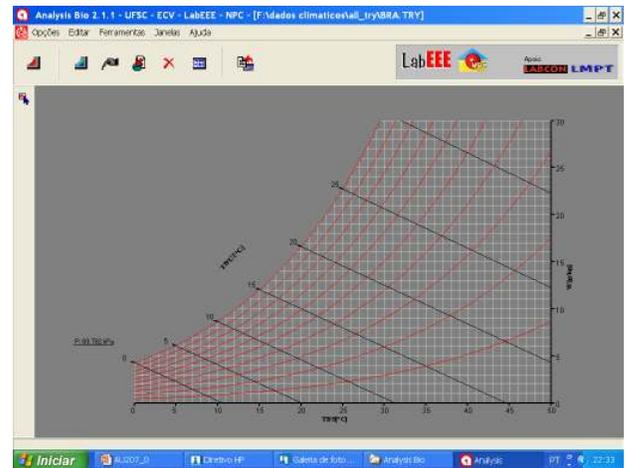
Tabela 11 - Ferramentas brasileiras de simulação de conforto ambiental e eficiência energética

| Software | Status comercial | Foco de análise |
|----------------------|------------------|-------------------------------------|
| ACTERM | Freeware | Conforto térmico |
| Analysys 1.5 | Freeware | Análise bioclimática |
| Analysys BIO | Freeware | Adequação bioclimática |
| Analysys CST | Freeware | Stress térmico |
| Arquitrop | Freeware | Eficiência energética |
| AvalCon Rio | Freeware | Eficiência energética |
| AMBIENTE | Freeware | Simulação térmica |
| CTCA | Freeware | Análise térmica |
| Conforto 2.2 | Freeware | Voto Médio Estimado |
| Declinação magnética | Freeware | Norte verdadeiro |
| EnerClac (E2) | Freeware | Avaliação energética |
| Luz do Sol | Freeware | Cartas Solares |
| Mark IV plus | Freeware | Eficiência energética |
| Power Domus | Comercial | Desempenho térmico |
| PSYCHROS | Freeware | Arquivos TRY |
| SOL AR | Freeware | Carta Solar |
| Sunpath | Freeware | Carta Solar |
| THEDES | Freeware | Eficiência térmica |
| Transmitância (beta) | Freeware | Propriedades térmicas dos materiais |
| UMIDUS | Freeware | Umidade dos materiais |

Analysis 1.5 é um *software* dedicado à análise bioclimática, onde os arquivos climáticos são inseridos em uma carta bioclimática que avalia o conforto térmico como sugerido na ISO 7730 (Ilustração 24 a e b). Depois do Analysis 1.5, dois outros *softwares* foram desenvolvidos. O Analysis BIO e o Analysis CST.



a



b

Ilustração 24 a e b - Interface do programa Analysis1.5

O **Analysis BIO** dedicado a adequação do edifício ao clima (Ilustração 25). Usa tanto dados climáticos anuais quanto horários. Já o **Analysis CST**, (Ilustração 26) é dedicado a obter as condições de stress térmico baseado em pesquisas nacionais e internacionais (LabEEE, 2003).

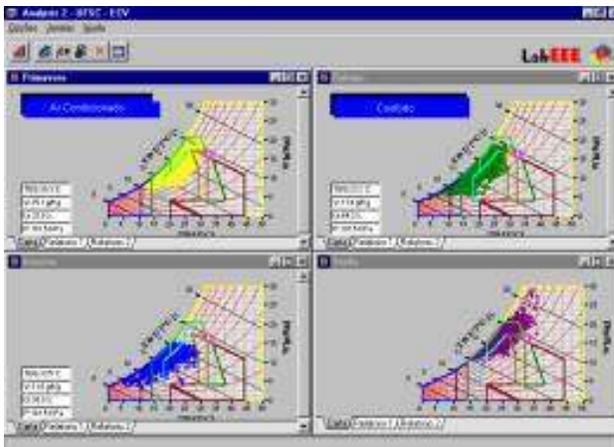


Ilustração 25 - Interface do programa Analysis Bio2.1.2, disponibilizado em 26/09/2005

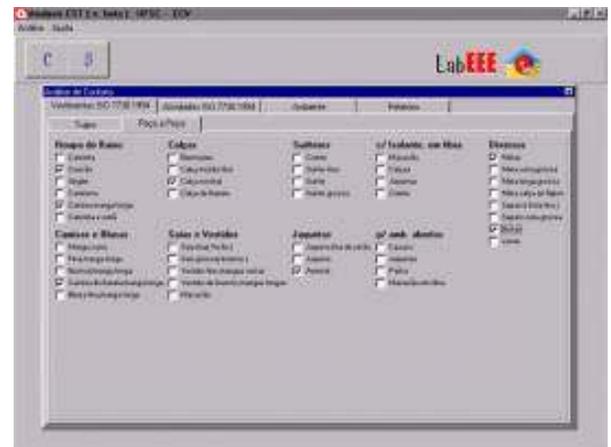


Ilustração 26 - Interface do programa Analysis CST

O **Arquitrop** simula o desempenho térmico dos edifícios (Ilustração 27). A versão atual tem algumas limitações na modelagem do edifício, nem todas as situações podem ser simuladas (MORAES, LABAKI, 2001; BARROS et al, 2001; MAXIMO, BERFE, 2001).



Ilustração 27 - Tela de abertura do programa ARQUITROP 3.0 - versão livre compactada - setembro 1995

O **AvalCon-RIO** (Ilustração 28) auxilia arquitetos ou engenheiros a demonstrar, de uma maneira muito simples, como decisões de projeto podem afetar o consumo energético em edifícios de escritórios situados no Rio de Janeiro (LABEEE, 2003).

Os parâmetros de projeto abrangidos pelo programa são: 1) dimensões do edifício: comprimento, largura, pé-direito de cada pavimento e número de pavimentos. 2) carga interna: densidade de iluminação, ocupação e equipamentos. 3) tipo de vidro (fator solar). 4) percentual de área envidraçada nas fachadas (WWR - Window-to-Wall Ratio). 5) fator de projeção de *brises* horizontais. 6) transmitância térmica e cor externa da cobertura, e 6) horas de ocupação por dia.

Esta versão do AvalCon, denominada "RIO", é direcionada apenas à análise de edificações localizadas na cidade do Rio de Janeiro. Em breve, o LabEEE publicará uma versão do programa aplicável a outras cidades do país.



Ilustração 28 - Interface do programa Avalcon Rio

AMBIENTE é uma ferramenta em desenvolvimento. Pretende simular a desempenho térmico de edifícios sem sistema de ar condicionado (LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR, 2004).

O programa **CTCA** - conforto térmico, cálculo e análise, foi desenvolvido para auxiliar no processo de aprendizado de conforto térmico. É uma ferramenta de simulação bastante simplificada, desenvolvido como uma ferramenta didática para facilitar o processo de cálculo de cargas térmicas em edifícios (Ilustração 29). Sua metodologia de cálculo é baseada no método CSTB¹⁸ e gera como dados de saída, relatórios detalhados, gráficos comparativos, plotagem da temperatura interna máxima na Carta Bioclimática de Givoni (CTCA, 2004).



Ilustração 29 - Interface do programa CTCA



Ilustração 30 - Interface do programa Declinação Magnética

Conforto 2.2 (RUAS, 2002) tem como objetivo avaliar o conforto térmico de edifícios considerando fatores principais que influenciam na sensação térmica. É possível calcular o voto médio estimado, VME¹⁹, em um edifício.

O **software Declinação Magnética 2.0** foi desenvolvido pelo LabEEE para cálculo da declinação magnética e outros parâmetros correlatos, aplicável ao território brasileiro. É Baseado no algoritmo ELEMAG, fornecido pelo CNPq - Observatório Nacional (Ilustração 30).

O programa **LUZ do SOL** é largamente utilizado em escolas. Esta ferramenta de simulação demonstra graficamente a penetração solar em ambientes de geometria simples, mas algumas simplificações, como uma abertura em cada parede por vez, afastam a assimilação da ferramenta para propósitos profissionais (Ilustração 31). É um

¹⁸ CSTB é o acrônimo da expressão em francês *Centre Scientifique et Technique du Batiment*.

¹⁹ O VME, Voto Médio Estimado, consiste em um valor numérico que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor. O VME para conforto térmico é zero, para o frio é negativo e para o calor é positivo (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997).

programa para estimar o calor e a luz provenientes do Sol, nossa principal fonte natural de energia. Foi desenvolvido através de linguagem Microsoft Visual Basic, versão 2.0 pela Ufscar (LABEEE, 2003).

O **software EnerCalc (E2-Tarifas)** foi desenvolvido para realizar auditoria energética de qualquer tipo. Permite uma análise simples e rápida para melhoria em iluminação, sistemas de ar condicionado, equipamentos e motores. Demonstra sistemas alternativos para melhoria do desempenho energético (LABEEE, 2003).

A primeira versão do EnerCalc foi desenvolvida no LabEEE em 1998 possibilitando a análise do faturamento de energia elétrica de consumidores atendidos em alta tensão (Grupo A). A última versão do EnerCalc (versão 3.0) permitia a análise tarifária de consumidores atendidos tanto em baixa quanto em alta tensão. Uma base de dados com condições de contrato foi implementada, permitindo a análise tarifária de acordo com a resolução n° 456 (ANEEL, 29 de novembro de 2000), ou de acordo com a legislação anterior a ela, e ainda, podendo-se personalizar certas condições, tais como os limites de demanda contratada.

O **software EnerCalc** foi integrado ao pacote E2 e passou a se chamar E2-Tarifas, mantendo-se as mesmas capacidades do programa anterior, e adicionando-se novos recursos. O E2 é um pacote de programas desenvolvidos pelo LabEEE, sob financiamento e coordenação do SEBRAE/SC (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas), com o objetivo de auxiliar na auditoria energética de edificações públicas, comerciais e industriais (Ilustração 32).

Os programas foram desenvolvidos para permitir análises rápidas visando à melhoria na eficiência energética de edificações, incluindo: sistemas de iluminação, equipamentos, condicionamento de ar e motores; além da análise das tarifas de energia elétrica, de acordo com a legislação da ANEEL.



Ilustração 31 - Interface do programa Luz do Sol



Ilustração 32 - Interface do programa E2

O **Psychros** permite o cálculo de Umidade Relativa (UR) ou Temperatura de Bulbo Úmido (TBU), gerando um arquivo horário no formato TRY com esses dados, para um ano inteiro (8760 registros, um para cada hora do ano), tomando como base um arquivo com campos separados por espaços (Ilustração 33). A partir de um arquivo no formato TRY, há ainda a opção para a geração de um arquivo com propriedades psicrométricas do ar. Foi elaborado na Universidade Federal de São Carlos - Ufscar (LABEEE, 2003)

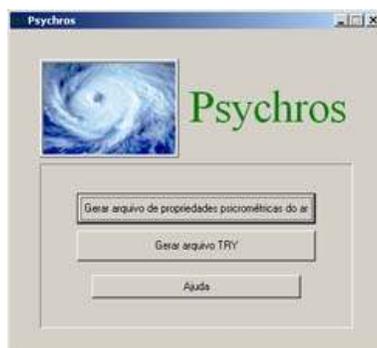


Ilustração 33 - Interface do programa Psychros

O **PowerDOMUS²⁰** é uma ferramenta de simulação dedicada à análise de desempenho térmico e energético de edifícios (Ilustração 34). Trabalha tanto com ou

²⁰ O *PowerDomus* foi o único *software* brasileiro desta extensa lista que se enquadrou nos critérios inicialmente estabelecidos, no entanto, o *software* não foi disponibilizado pelos desenvolvedores para análises mais detalhadas.

sem sistema de ar condicionado. Promete acabar com a falta de ferramentas de simulação brasileiras (MENDES, OLIVEIRA, SANTOS, 2001).

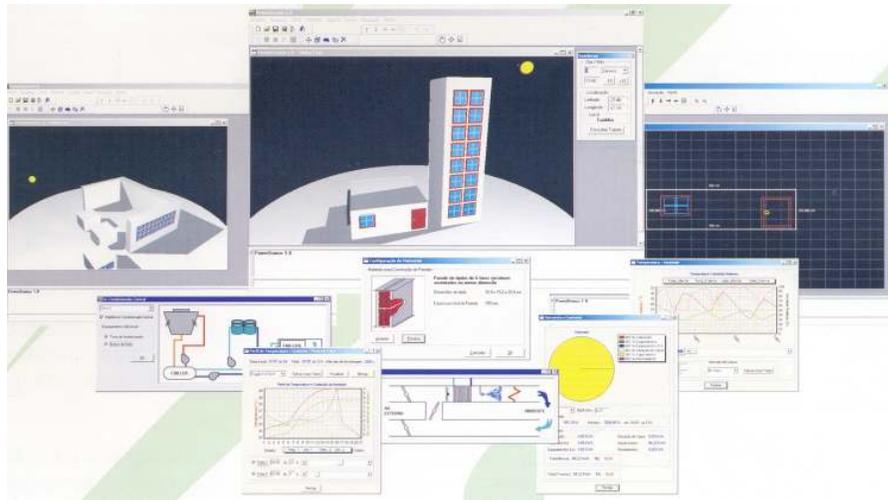


Ilustração 34 - Interface do programa *PowerDOMUS*

O *PowerDOMUS* permite ao usuário visualizar a trajetória solar e efeito de sombreamento de edifícios vizinhos. Como dados de saída gera relatórios contendo dados gráficos de temperatura e umidade das zonas, VME, e PPD²¹, estatísticas de cargas térmicas, temperatura e umidade contida nos materiais construtivos como paredes e coberturas e vapor nas superfícies (MENDE, OLIVEIRA, SANTOS, 2001). Como inconveniente, o programa não importa arquivos de programas CAD, possui uma ferramenta de desenho próprio, o que leva ao retrabalho. O programa foi validado pelo *Envelope BESTEST* e *IEA ECBCSAnnex 41 Moisture* (CRAWLEY et al, 2005).

O **SOL-AR** é um programa gráfico que permite a obtenção da carta solar da latitude especificada, auxiliando no projeto de proteções solares através da visualização gráfica dos ângulos de projeção desejados sobre transferidor de ângulos, que pode ser plotado para qualquer ângulo de orientação (Ilustração 36). O programa também permite, para as cidades com dados horários disponíveis na base de dados, a visualização de intervalos de temperatura anuais correspondentes às trajetórias solares ao longo do ano e do dia. Neste caso, o programa também oferece a possibilidade de

²¹ PPD (*predicted percentage of dissatisfied*), conhecido como porcentagem de pessoas insatisfeitas, adotado pela ISO 7730, baseada nas pesquisas de Fanger, sobre VME – Voto Médio Estimado.

obtenção da rosa dos ventos para frequência de ocorrência e velocidade média dos ventos para cada estação do ano em oito orientações (N, NE, L, SE, S, SO, O, NO).

O **SUNPATH**, assim como o Luz do Sol, é uma ferramenta utilizada em faculdades de arquitetura, para demonstrar o movimento do sol (Ilustração 35). Foi desenvolvido pela Universidade Federal de São Carlos, está disponível para *download* no site do LabEEE (LABEEE, 2003).

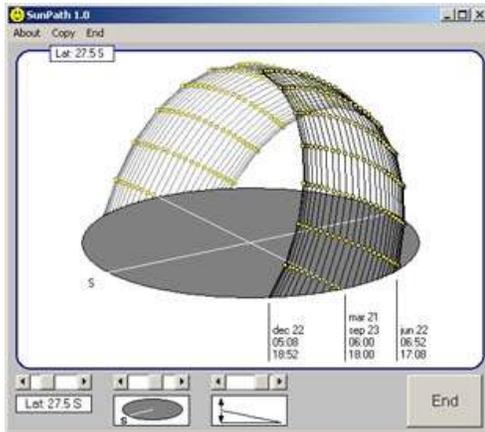


Ilustração 35 - Interface do programa SUNPATH

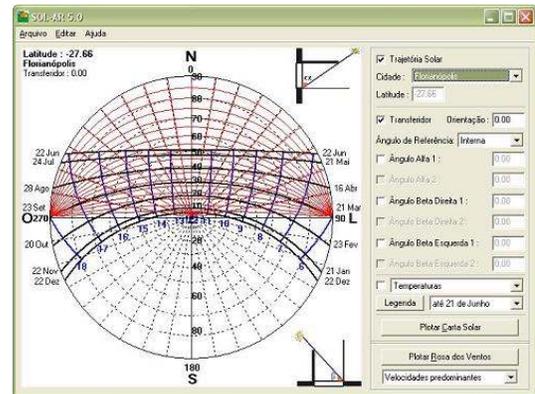


Ilustração 36. Interface do programa SOL-AR Versão 6.1.1, disponibilizado em 03/07/2006

O *software* **Transmitância** (versão beta) é uma ferramenta computacional que auxilia no cálculo de propriedades térmicas de materiais construtivos propostos pelo projeto de normalização em conforto ambiental. Os textos de norma utilizados como embasamento teórico no desenvolvimento do programa estão disponíveis para visualização e *download*, na página do LabEEE (LABEEE, 2003).

O **Umidus** (Ilustração 37) é um *software* baseado em um modelo acoplado de transferência de calor e umidade em materiais porosos de edificações que prevê perfis de temperatura e umidade no interior de elementos construtivos (LABEEE, 2003).



Ilustração 37 - Interface do programa Umidus

5 ENSINO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO AMBIENTAL

Este capítulo discute as maiores dificuldades encontradas pelas Faculdades de Arquitetura e Urbanismo na implementação de ferramentas computacionais, especialmente de simulação, ao ensino. Aponta as principais causas das deficiências na inserção de conceitos de conforto ambiental nos projetos desenvolvidos pelos alunos. Sugere o uso de ferramentas de simulação como a ligação entre as disciplinas de conforto ambiental e projeto arquitetônico. Por fim, apresenta as principais iniciativas de ensino de *softwares* de simulação em cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo.

5.1 Utilização de ferramenta de simulação em ensino de projeto arquitetônico e conforto ambiental

Alguns professores envolvidos no *atelier* de projeto acreditam que o exercício de simulação durante o processo de desenvolvimento dos projetos é a resposta para superar algumas das dificuldades já discutidas.

O uso da simulação, nas atividades de projeto em *atelier* apresenta algumas limitações práticas, de recursos (montagem e manutenção de ateliê informatizado) e especialmente com relação ao tempo disponível no sistema de um semestre de aulas para estudos complementares importantes. Os estudantes devem aprender a utilizar a ferramenta, desenvolver seus projetos a um nível de detalhe que possam obter dados

de entrada para o programa de simulação com toda a limitação de um semestre de 15 semanas. Em 1989, teve início à discussão entre os professores da Unicamp, quanto à adoção ou não do uso de programas CAD no desenvolvimento de projetos (KOWALTOWSK, 1992). Na época os professores optaram por evitar o uso do computador no início da concepção como instrumento gráfico, valorizar o croqui e enfatizar o uso do computador na integração das informações durante o estudo preliminar, aproveitando o potencial da ferramenta para integrar dados gráficos e alfanuméricos.

Recentemente na Unisinos optou-se por utilizar a pesquisa digital durante a etapa programática inicial, na disciplina de Projeto Arquitetônico IV, onde informações gráficas e descritivas são manipuladas pelos alunos, através do uso de diferentes *softwares*, banco de dados e *Internet* (ROCHA, 2000). A inserção de ferramentas computacionais no *atelier* dá abertura a inserção da simulação dos projetos cada vez mais cedo no processo de projeto.

Faz parte das novas metodologias de ensino de conforto ambiental sugeridas por Bittencourt e Toledo o uso de *softwares* de simulação: “As novas metodologias propostas requerem o uso de laboratórios de conforto para o desenvolvimento de trabalhos que estimulem a percepção sensorial (no que diz respeito ao impacto produzido na sensação de conforto) em situações diversas (...) Acredita-se que o emprego de *softwares* seja de grande valia no aprendizado da matéria pela possibilidade de: através de simulações, realizar estudos paramétricos de alternativas arquitetônicas” (BITTENCOURT, TOLEDO, 1997).

Scarazzato (1999) acredita que explorar os benefícios do uso do computador em sala de aula pode não apenas diminuir o tempo gasto com os cálculos em avaliação do desempenho térmico de edifícios, mas principalmente, auxiliar os alunos a compreenderem melhor de que modo os diversos aspectos de um projeto contribuem para a sua caracterização sob o ponto de vista ambiental.

Aos poucos programas de avaliação/simulação vêm sendo empregados na prática de alguns exercícios em disciplinas de conforto. Programas como o Arqitrop, CTCA, Luz do sol, *Daylight*, DLN auxiliam na assimilação do conteúdo da teoria, no entanto, estes programas são bastante simplificados e utilizados em exercícios na

maioria das vezes distanciados dos projetos, sendo utilizados somente na resolução de exercícios e não sendo utilizados novamente na prática projetual destes novos arquitetos.

A Universidade Federal do Rio de Janeiro utilizou o programa CASAMO-Clim em disciplina de conforto ambiental com o objetivo de avaliar o Índice de Conforto Térmico em edificações, durante o período de ocupação. O uso do programa possibilitou a simulação de diversos materiais construtivos em um mesmo modelo, oferecendo subsídio para comparação dos resultados (DANTAS, CORBELLA, 2001).

Vale destacar a iniciativa de utilização de *software* de simulação no ensino de conforto ambiental, realizada na *Federal Institute of Technology* – EPEL na Suécia, onde o *Radiance* foi utilizado como suporte as aulas teóricas. Nesta disciplina os alunos deveriam projetar as aberturas e iluminação artificial de uma determinada sala de escritório; após esta tomada de decisão os mesmos modelavam seus projetos e passavam para uma pessoa encarregada das simulações, como em um processo de consultoria, o principal problema encontrado foi à falta de tempo para a segunda simulação (COMPAGNON, 1997).

Outra contribuição importante é o projeto Vital Signs criado na Universidade da Califórnia, Berkley, em 1992, com o objetivo de levar questões de desempenho físico de edifícios à escolas de Arquitetura nos Estados Unidos. A abordagem do Vital Signs difere da maneira como os edifícios são tipicamente avaliados em ensino e também na prática profissional. O foco do Vital Signs é medir o desempenho real de um edifício no seu ciclo de vida, e não avaliar como se espera que um edifício funcione (BENTON, 1999 a).

Em 1994, com a participação de educadores de onze escolas de arquitetura o Vital Signs, lançou sua primeira série de '*Resource Packages*', um conjunto de materiais flexível e modular, que trata de desempenho físico do edifício e questões relacionadas ao uso de energia; experiências qualitativas do edifício; e bem e estar dos ocupantes. Cada 'pacote' disponibiliza uma variedade de materiais de referência, bem como exercícios guiados para cada área de avaliação (conforto térmico, acústico, análise de iluminação). Na primavera de 1996, depois várias revisões, o Vital Signs foi distribuído a 250 instrutores de 19 escolas de arquitetura da América do Norte. Estes

'Resource Packages' não formam um curso modelo, eles foram elaborados para serem adaptados às preferências e necessidades das tradições e particularidades dos programas de arquitetura. Os alunos são levados a aprender por observação, pesquisa, entrevistas e medições diretas. Os exercícios são elaborados com diversos níveis de complexidade que podem levar a sumários de investigação envolvendo medições de nível de iluminação, temperatura, umidade, com auxílio de equipamentos e até simulações com auxílio de computadores (BENTON, 1999 b).

No Brasil ainda são poucas as iniciativas do uso de *software* de simulação de conforto ambiental em disciplinas de projeto. A Universidade Federal de Pelotas inseriu os programas *sketch-up* e o *ECOTECT* em disciplinas de projeto, onde já os primeiros esboços são realizados no computador. O uso do *ECOTECT* possibilita a realização automática das avaliações de conforto ambiental, integrando o projeto ao conteúdo de conforto como deveria ser a prática usual (FRESTEIRO, MÉNDEZ, 2004).

Mais comum em disciplinas de projeto é o uso de ferramentas de auxílio ao desenho tipo CAD. É reivindicado que o uso de aplicativos computacionais em ensino de arquitetura tenha um modelo igual ao uso pela indústria. Usado tanto como um modo de auxiliar o processo de projeto, quanto integrar parte deste. O ensino de arquitetura sempre falhou em colocar no mercado profissionais capazes de lidar com problemas práticos de um escritório de problemas construtivos de maneira convencional (STEELE, 2001).

Os professores se dividem quanto à utilização de ferramentas computacionais durante o processo de projeto. Acredita-se que a resistência venha do fato dos professores terem conhecimentos limitados das ferramentas. Outros, com métodos consolidados, relutam na quebra de um processo tradicional de projeto.

Outro ponto importante que deve ser analisado é que aprender a operar programas é diferente de computador é diferente de aprender a projetar com a ajuda deles. No primeiro caso, o conteúdo é fácil de ser transmitido, ao contrário do segundo (DUARTE, 2002). Não se aprende a projetar apenas nas aulas de projeto, os conteúdos de todas as disciplinas, misturam-se de várias formas.

Existem dois caminhos no aprendizado de projeto usando o computador em cursos de graduação em Arquitetura: 1) o estudante deveria aprender o processo

durante e talvez, em conflito com o atelier de projeto; 2) o estudante seria exposto a um curso onde se dedicaria a aprender a projetar com o auxílio do computador (MARX, 1998).

É importante que os alunos se sintam confiantes, com a utilização de ferramentas que possam auxiliar no desenvolvimento de seus projetos. “Uma vez os alunos introduzidos e alfabetizados no novo instrumento, passam a buscar sua aplicação nas outras disciplinas” (DUARTE, 2002).

Durante a vida profissional, este arquiteto que aprendeu a utilizar as ferramentas de simulação, quando sentir a necessidade de contratar um consultor para resolução de problemas mais específicos irá fazer aos consultores as perguntas pertinentes.

5.2 Ensino de simulação

Nardelli, 2005, fez uma pesquisa sobre o uso de Tecnologia de Informação (TI) no estado de São Paulo e concluiu que o ensino de Informática Aplicada nas Escolas de Arquitetura de São Paulo mantém seu foco principal na capacitação dos alunos para a utilização da tecnologia CAD. Ainda que a utilização da informática ocorra atualmente de forma transversal em todas as atividades do processo de trabalho dos arquitetos, ela continua sendo percebida apenas como uma técnica auxiliar em seu processo de formação, o que explica a existência de apenas duas disciplinas específicas na grade curricular da maioria dos cursos pesquisados. O projeto pedagógico da UNICAMP previa cinco disciplinas de informática aplicada, direcionadas, desde o início, a aplicações no campo da arquitetura, particularmente para comunicação visual e expressão individual dos alunos. Na primeira disciplina o aluno aprenderia a preparar apresentações, criar páginas na internet e manipular programas de colorização, desenho vetorial e edição digital de imagens capturadas por diferentes meios. Para viabilizar a integração entre projeto e computação gráfica, as três disciplinas seguintes seriam dedicadas ao aprendizado de programas de CAD, modelagem 3D e multimídia. Na quinta disciplina seriam mostrados, entre outros, programas de otimizações de layout e avaliação de projeto com base em simulações de fenômenos relacionados ao conforto ambiental. Na medida do possível as disciplinas de informática aplicada apresentariam programas de amplo uso profissional ou específicos para determinada

área, sempre sintonizados com a vanguarda da prática de projeto e com as experiências de sucesso em escolas do exterior (KOWALTOWSKI et al, 2000). Porém, com as reestruturações do currículo a disciplina dedicada às simulações computacionais foi retirada do currículo.

Existem iniciativas no Brasil e no exterior de utilização das ferramentas de forma mais arrojada (ANDRADE, 2004; BARTAK, 2003; COMPAGNON, 1997; DUARTE, 2000; RESTEIRO, MENDEZ, 2004; FUCHS, SIMON, 1995; GÓMEZ, 2001; HABERL, 2002; HAND, CRAWLWEY, 1998; MARSH, 2000 a, 2006 a e b), mas frente ao enorme número de Universidades estas iniciativas são incipientes.

Programas de simulação com interface gráfica podem servir como ferramenta de aprendizado para estudantes de graduação em arquitetura. Os alunos poderão tornar-se especialistas em simulação ou utilizar a ferramenta como prática comum no processo de projeto. Em cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo, o objetivo é ensinar a importância da utilização da ferramenta de simulação no processo de projeto, o que significa conectar em suas mentes leis simples de física e o comportamento real dos edifícios, e a aplicabilidade dos resultados das simulações (FUCHS, SIMON, 1995).

O uso de programas de simulação com estudantes de arquitetura é fortemente encorajado na *UEA University of East Anglia*, Norwich, Reino Unido. AL-SALLAL (2006) utiliza-se programas de simulação pelos seguintes motivos:

- leva os alunos a aumentar seu conhecimento em áreas técnicas importantes, que de outra forma seria difícil aprender;
- ajuda os alunos à realmente entender etapas importantes do processo de projeto como a análise;
- ajuda os alunos a aprender mais sobre tecnologias de edifícios e materiais;
- em alguns *softwares*, auxilia os alunos a visualizar os problemas em espaços tridimensionais;
- ajuda os alunos a entender os problemas de projeto melhor quando podem comparar várias alternativas de projeto em um espaço curto de tempo.

O uso correto e eficiente de ferramentas de simulação é algo que tem que ser aprendido durante a educação e treinamento de profissionais como projetistas (HENSEN, RADOSEVIC, 2004). Mark, Martens e Oxman (2001) propõem um currículo para um curso de Arquitetura e Urbanismo baseado no uso de ferramentas computacionais. A partir do 3º ano da graduação são inseridas as disciplinas de simulação de desempenho do edifício, distribuído em 4 disciplinas semestrais: *Spatial Simulation Techniques*; *Performance Simulation: Energy*; *Perform Simulation: Digital Acoustics and Synthesis*; *Performance Simulation: Artificial and Daylight Representation*.

5.2.1 Programa de ensino proposto por Hand e Crawley

O treinamento de novos usuários com ferramentas de simulação normalmente focam o estudo em uma única ferramenta, o que tende a produzir usuários limitados a uma ferramenta em particular. Com um treinamento independente da ferramenta, o programa em particular se torna secundário ao aprendizado da modelagem (HAND, CRAWLEY, 1998).

Hand e Crawley (1998), acreditam que um curso de treinamento para usuários de simulação deveria ser dividido em três partes principais: introdução à simulação, aplicação da simulação em projeto e *retrofit* e um treinamento baseado em ferramentas.

A introdução à simulação deve confirmar a importância da natureza do planejamento do modelo, tarefas de simulação e métrica. As aulas do curso introdutório sobre ferramentas de avaliação e aspectos da realidade com a qual elas estão aptas a lidar devem abordar:

- relação geral entre aspectos físicos de edifícios e sistemas e sua incorporação como “modelo para simulação” de acordo com as ferramentas que serão utilizadas;
- como as interfaces das ferramentas de simulação diferem de ferramentas CAD;
- como reconhecer o produto essencial do modelo nos elementos da interface.

Aplicação de simulação em projeto e *retrofit*, provavelmente a questão mais significativa para um novato em simulação é quando e como é melhor utilizar a simulação em projeto. Que nível de detalhe é apropriado? Novatos em simulação tendem a aceitar as avaliações iniciais e tem pouco ou nenhum conceito de calibração de modelo ou da necessidade de confirmar previsões baseadas em resultados de simulações mais detalhadas.

Usuários mais experientes gastam um tempo considerável planejando suas simulações, começam com um croqui da geometria de seus modelos, para identificar onde os detalhes são necessários, onde variações paramétricas devem ser aplicadas. Novatos invariavelmente correm para o teclado, criam modelos muito rapidamente, e se colocam em questões complexas. Neste curso alguns assuntos devem ser abordados:

- como questões de desenho são traduzidas em objetivos de simulação. Incluindo aspectos de nível de detalhes necessários para mostrar questões particulares – picos de carga devem ser resolvidos com a descrição grosseira, enquanto para previsões de conforto local ou padrões de fluxos de vento requerem outro nível de detalhamento;
- o uso de ferramentas de avaliação em cada estágio de processo de projeto – ferramentas simplificadas para explorações rápidas e ferramentas mais robustas para exploração de avaliações detalhadas;
- limitações das ferramentas e como reconhecer e lidar com tais limitações;
- tipo de informações possíveis de se conseguir com as ferramentas.

Treinamento baseado em ferramenta, nesta fase mais de uma ferramenta deveria ser utilizada. O curso deve abordar as seguintes questões:

- nível de detalhamento do modelo necessário para responder avaliações particulares;
- quando uma avaliação é uma questão isolada ou deve ser abordada com o uso de ferramentas integradas;
- o que significa traduzir perguntas de projeto em metas de avaliação.

5.2.2 Ensino do *software* de simulação VisualDOE-2

Existem diversos cursos para treinamento do *software* de simulação Visual DOE-2, um deles analisado aqui foi desenvolvido no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Consiste de um módulo de introdução (PEDRINI, LAMBERTS, 1998), que apresenta as informações indispensáveis de modelagem ao usuário iniciante; e um módulo de treinamento, com os procedimentos básicos de simulação (PEDRINI, LAMBERTS, WESTPHAL, 1998).

Na *Texas A&M University*, em Texas, EUA, o *software* de simulação DOE-2 é aplicado na disciplina ARCH 621, lecionada pelo professor Jeff Haberl. O curso é dividido em 11 aulas que abordam os comandos básicos e seis aulas para o desenvolvimento de um projeto individual para simulação (HARBEI, 2002). Os comandos básicos são explorados através de modificações realizadas em um modelo de exemplo que acompanha o programa. O projeto individual é desenvolvido pelo aluno a partir da visita a um edifício existente. O aluno deve fazer o registro fotográfico do edifício escolhido, desenhar sua planta e dividi-lo em zonas. Após a simulação os resultados devem ser apresentados junto com a análise realizada in loco.

O módulo iniciante apresenta os comandos do programa e seus conceitos fundamentais, modelagem da geometria e dos sistemas de ar condicionado (Tabela 12). O módulo de treinamento coloca o aluno em contato com a ferramenta seguindo a metodologia de simulação típica, onde se cria um modelo, analisam-se os resultados e são propostas alternativas. Ainda possibilita que o aluno confronte os dados simulados com resultados reais a partir de um modelo simples (com o maior número de valores-padrão possível) (HARBEL, 2002). Depois são realizadas outras simulações para análise de alternativas e aprendizado de outros comandos mais avançados (Tabela 13).

Tabela 12 - Tópicos abordados no módulo iniciante do curso VisualDOE

| Módulo Iniciante: | |
|--|---|
| Objetivo : | Atividade |
| Editor Climático | Selecionar arquivo climático |
| Editor de Tarifas | Editar formas de tarifas em vigor |
| Editor de Materiais Construtivos | Editar materiais construtivos da biblioteca do programa |
| Editor de Schedules (Padrão de Ocupação) | Definição do esquema de ocupação |
| Editor de Aberturas | Definição e análise das características de cada abertura |
| Editor de Relatórios Horários | Geração de um relatório com o desempenho de determinados elementos |
| Editor de Equipamento de Ar condicionado | Adição, exclusão e modificação dos elementos inerentes ao sistema de condicionamento de ar |
| Histórico de consumo (<i>Billig Rate</i>) | Especificar o histórico de consumo e demanda de energia mensal em edificação a ser modelada |
| Modelagem de geometria | Utilizar o CAD do VisualDOE ou importar arquivo dxf |
| Instalação | Instalar o programa e seus arquivos complementares |
| Sistema de Condicionamento de Ar | Definir sistema primário e secundário |
| Eficiência do Sistema de Condicionamento de Ar | Estudo de índices de eficiência |
| Modelagem de Condicionadores de Ar | Ver os principais sistemas, suas eficiências e forma de modelagem |

Tabela 13 - Tópicos abordados no módulo treinamento do curso VisualDOE

| Módulo de Treinamento | |
|--|--|
| Objetivo : | Atividade |
| Criação de Modelo | Criação de um modelo básico com valores -padrões (<i>defaults</i>) |
| Simulação | Simulação do modelo com ênfase na análise relatório de saída |
| Resultados da Simulação | Visualização de relatórios em gráficos e editores de texto |
| Avaliação dos Resultados | Visualização dos índices de desempenho energético |
| Definição de alternativas | Inserção de alternativas de projeto |
| Emissão de Relatórios Horários | Emitir relatórios horários e avaliar os resultados para o dia de pico de carga térmica |
| Histórico de consumo | Confronto de resultados do modelo simulado com dados reais |
| Caracterização geométrica do edifício | Utilização do editor de CAD do VisualDOE ou importação de arquivo dxf do AutoCAD |
| Sombreamento Externo | Avaliação do impacto do sombreamento externo no cálculo da carga térmica |
| Edição de Materiais Construtivos | Análise de duas alternativas para o mesmo projeto |
| Controle de Iluminação (<i>Daylight Control</i>) | Criar sistema de iluminação com controle automático |
| Controle de Iluminação com variação de WWR* | Avaliar a redução do consumo de energia em função da variação do formato das aberturas |
| Variação do Sistema de Ar Condicionado | Estudar três alternativas para comparação de desempenho de HVAC* |

*WWR é acrônimo da exceção em inglês Window Wall Ratio

*HVAC é acrônimo da exceção em inglês Heating, Ventilation and Air Conditioning System

5.2.3 Ensino do *software* de simulação ESP-r

O curso para auto-treinamento de ESP-r analisado foi criado e implementado em várias Instituições de Educação Superior na Europa pelo EU *TEMPUS Structural Joint*

European Projects, formado por pesquisadores de diversas Universidades da Escócia, República Eslovaca, Bulgária, Países Baixos e República Tcheca (HENSEN, 1996b).

Desenvolvido para várias finalidades, o curso inclui: auto-treinamento, ensino à distância, material de curso on-line, material de suporte para conferências, material de referência em projetos e para encorajar estudo e pesquisa por alunos. O curso está dividido em três blocos: Introdução, Prática e Teoria ministrados nesta ordem.

No módulo introdução são discutidos os motivos de se usar um simulador energético, descrevendo os passos da simulação (análise do edifício e criação do modelo, simulação em si, análise dos resultados) é mostrado uma análise dos resultados normalmente encontrados, exemplificados com estudos de caso relacionados com: eficiência energética; conforto térmico; distribuição de luz natural; conforto e impacto visual.

No módulo de prática recebe treinamento no simulador ESP-r, com o objetivo de tornar a ferramenta familiar e transformar um novato em especialista, dependendo de sua aptidão.

O nível básico tem como objetivo introduzir o aluno aos arquivos e módulos do *software* de simulação ESP-r. O método utiliza execução de uma simulação completa com aumento da complexidade do modelo aos poucos. Os exercícios propostos são divididos entre preparatório e básico conforme a Tabela 14.

Tabela 14 - Exercícios utilizados no curso preparatório do ESP-r

| Exercícios preparatórios | |
|--|---|
| Atividade | Objetivo |
| Iniciar a estação de trabalho | Tornar o usuário familiar aos elementos da plataforma Unix e a alguns softwares essenciais |
| Configurar o ESP-r suas pastas | Tornar o usuário familiar com a configuração e a estrutura de pastas de sistema ESP-r e conhecer o gerenciador de pastas |
| Visão geral da interface e da base de dados do ESP-r | Explorar a interface do ESP-r e rever a base de dados do sistema |
| Explorar os exemplos para treinamento do programa | Explorar os exemplos para treinamento do programa |
| Realizar simulações e recuperar resultados de desempenho | Compreender os estágios básicos do ESP-r: selecionando modelos, realizando simulações, analisando resultados e gerando relatórios |
| Exercícios básicos | |
| Atividade | Objetivo |
| Definir um problema para o ESP-r | Compreender a descrição essencial de dados necessário à simulação e o conceito de zonas térmicas |
| Simulação | Compreender as principais características do simulador ESP-r |
| Analisar resultados | Examinar a série de opções da análise de resultados |

Os exercícios do nível intermediário têm como objetivo o estudo das ferramentas de simulação do *software* ESP-r. O objetivo é alcançado através da análise dos conceitos das ferramentas de simulação no modelo.

O módulo teórico tem como objetivo explicar os princípios teóricos e operacionais contidos na tecnologia de sistemas ambientais e de energia. Uma série de elementos que introduzem as suposições e limitações que são a base dos métodos usados em simulação atualmente. Atenção particular é dada aos métodos de representação e integração do consumo energético e dos processos de transferência de massa térmica.

A Universidade de Stratchclyde utiliza o *software* ESP-r no curso de pós-graduação desde 1970, foi também uma das primeiras universidades a oferecer o

ensino do *software* para os cursos de graduação em Engenharia Ambiental e Engenharia de Projeto de Edificações (HAND, HENSEN, 1995).

O tempo de treinamento com a ferramenta pode variar entre cinco dias inteiros ou dez semanas com aulas semanais, para um profissional já familiarizado com ferramentas de simulação dois dias de curso são suficientes.

Atualmente o Departamento de Arquitetura, Edificações e Planejamento da *Technische Universiteit* de Eindhoven, em parceria com o Departamento de Engenharia Civil e Engenharia Mecânica da *Czech Technical University* de Praga possuem três cursos sobre utilização de ferramentas de simulação: Introdução; Estado da Arte e Simulação de desempenho de edificações (HENSEN, RADVOSEVIC, 2004).

Todos os cursos mantêm o princípio de divisão sessão teórica e prática, sempre enfatizando o uso do método de simulação correto, incluindo o nível de detalhamento do modelo. Incentivam sempre os alunos a tecerem comparações entre soluções de projeto.

5.2.4 Ensino do *software Energy Plus*

O Departamento de Energia dos Estados Unidos disponibiliza em sua página na *internet*²² o material didático para utilização em cursos universitários, este material pode também ser utilizado para auto-treinamento.

O curso para universitários é dedicado a alunos de graduação dos últimos anos de Engenharia Mecânica, Civil e Arquitetura, com nível de ensino Norte Americano, os alunos devem ter conhecimentos de transferência de calor e termodinâmica.

Os alunos devem ter um período para realização de exercícios supervisionados em laboratório. As aulas dão base para que o aluno saiba como o edifício está sendo simulado e não apenas o que está sendo simulado.

Para utilização do material recomenda-se que o curso seja ministrado em um semestre de 15 semanas com três aulas semanais de 50 minutos de duração. O material pode ser modificado de acordo com as necessidades e conhecimento prévio dos alunos. Recomenda-se que os professores incentivem os alunos a comparar os resultados obtidos com as simulações e os resultados reais medidos ou faça análises

²² <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/training.cfm>

de opções de projetos para melhora de performance geral de edifícios. O plano do curso é dividido como demonstrado na Tabela 15.

Este programa de ensino vem sendo adotado em diversas Faculdades nos Estados Unidos. A Universidade de Illinois utiliza o programa com alunos de Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, em cursos de dois níveis:

- iniciantes, com pouca ou nenhuma experiência em simulação; para usuários com experiência, usuários familiarizados com outros programas de simulação;
- avançado, para usuários que querem investigar alguns aspectos mais sofisticados do programa (STRAND; LIENSEN; WITTE, 2004).

Tabela 15 - Plano de aulas para ensino do programa *Energy Plus*

| Semana | Tipo de aula | Descrição |
|--------|--|--|
| 1 | Geral Aula 1 Lab de computação1 | Visão geral e discussão do curso Visão geral do programa Introdução ao editor IDF/EP-Lauch/Instalação |
| 2 | Aula 2 Aula 3 Lab de computação2 | Rodar o EnergyPlus e arquivos de saída Variáveis de saída, métricas e relatórios Introdução a dados de saída |
| 3 | Aula 4 Aula 5 Lab de computação3 | Controles de simulação Materiais construtivos, superfícies, zonas Ex. de informações climáticas e controles |
| 4 | Aula 6 Aula 7 Lab de computação4 | Mat. Construtivos, superfícies, zonas, edifícios Perguntas de modelagem Exercícios de modelagem |
| 5 | Aula 8 Aula 9 | Padrão de ocupação, ganhos inter., Infiltração Aberturas, luz natural Exame 01 |
| 6 | Lab de computação5 Aula 10 Aula 11 | Padrão de ocupação, ganho de calor, zonas Controles de zonas e comandos de ventilação Ventilação, COMIS |
| 7 | Aula 12 Aula 13 Lab de computação6 | Green Input: Parede trombe, massa térmica Loops, nodes branches, conectores Janelas e exercícios de iluminação natural |
| 8 | Aula 14 Aula 15 Lab de computação7 | Air loops e zone equipment Air loops e zone equipment Movimento de ar e exercícios de green input |
| 9 | Aula 16 Aula 17 Lab de computação8 | Air loops e zone equipment Air loops e zone equipment Movimento de ar e ex. de zone equipment |
| 10 | Lab de computação9 Aula 18 | Exame 02 Movimento de ar e ex. De zone equipment emplates e Autosizing |
| 11 | Aula 19 Lab de computação10 Aula 20 | Ar externo Air loops, templates e ex. com autosizing Sistemas radiantes |
| 12 | Aula 21 Lab de computação11 Aula 22 | Plant/condensador, loops e equipamentos Exercícios de sistemas radiantes Plant/condenser, loops e equipamentos |
| 13 | Aula 23 Lab de computação12 Aula 24 | Plant/condenser, loops e equipamentos Exercício de sistemas radiantes Transferência de calor pelo solo |
| 14 | Aula 25 - Aula 26 | TBD Exame 03 TBD |
| 15 | Lab de computação13 Lab de computação14 | Tarefa de pesquisa independente Tarefa de pesquisa independente Revisão final |

Fonte: ENERGY PLUS . **Introduction to building simulation and EnergyPlus**. Undergraduate course curriculum information, July, 2003. Disponível em:
<<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/training.cfm>> acesso em 10 agosto de 2004

No curso de arquitetura, alunos de graduação e de pós treinam o uso do programa durante um semestre. Strand, 2006, responsável pelo ensino do programa inicia o semestre ensinando aos alunos a utilizar o programa em si e a aplicá-lo em

seus projetos, simulando diversas soluções para comparação de desempenho (STRAND, 2006). A maioria dos alunos não tem quase nenhum conhecimento em transferência de calor ou termodinâmica, mas são aptos a desenvolver pelo menos o conhecimento básico para o uso do programa.

Na Universidade Estadual de Oklahoma, os alunos de pós-graduação aprendem a utilizar o *Energy Plus* da seguinte maneira: a princípio, desenvolvem um modelo simples, com algum grau de dificuldade o que leva os estudantes a pensar como fazer o programa funcionar. Quando todos já têm um conhecimento básico sobre o programa, o professor passa a cada aluno um pequeno projeto do *IEA Annex 46*, do qual fazem parte. Desta forma os alunos percebem como um modelo pode ser modificado (BARRY, 2006).

5.2.5 Ensino do software *ECOTECH*

O programa *ECOTECH* vem sendo utilizado como apoio as aulas de conforto e projeto em diversas Universidades. Até mesmo no Brasil em aulas de projeto (FRESTEIRO, MÉNDEZ, 2004), e em desenvolvimento de pesquisas científicas, como na USP.

O método de sensibilização dos alunos quanto ao potencial da ferramenta vem sendo aplicado por Marsh (2006 a) de diversas maneiras: No curso de Arquitetura na *Welsh School of Architecture*²³ desde 2001, os alunos do segundo ano do curso são expostos a uma semana de simulação de projetos. Durante esta semana de simulações, os alunos desenham seus projetos em programas CAD e montam maquetes de papelão. As simulações são realizadas com os dois modelos e os resultados são comparados. Durante a semana de estudos com simulações, alguns alunos expressam sua preocupação com as diferenças dos resultados gerados pelo programa e o resultado esperado por eles (ROBERTS, MARSH, 2001).

Um estudo detalhado do problema mostrou que os alunos não tinham conhecimento teórico suficiente e acabavam se enganando com as previsões de desempenho. Em alguns casos os dados de entrada foram feitos de forma errada, o que levou a resultados igualmente errados de simulação (ROBERTS, MARSH, 1996).

²³ A *Welsh School of Architecture* pertence a *Cardiff Univesity, Wales, Reino Unido*

Como resposta, o curso foi reprogramado, e os alunos passaram a ter contato com o programa *ECOTECT* em três anos consecutivos. No primeiro ano do curso, a ferramenta é utilizada em análises simples, com base em modelos previamente preparados, com a finalidade única executar a análise de resultados das simulações (MARSH, 2006a). No segundo ano, os alunos começam a fazer análises térmicas, como análise de ganho de calor pelas superfícies, e o conceito de zonas térmicas também é introduzido. Este com um pouco mais de dificuldade leva mais tempo para ser totalmente compreendido. No terceiro ano do curso, os alunos são introduzidos às simulações de análises acústicas e de iluminação (MARSH, 2006 a).

Khaled A. Al-Sallal, professor associado no departamento de Arquitetura *UEA - University of East Anglia*, Norwich, Reino Unido, utiliza o *ECOTECT* na disciplina “*Architecture of Hot Arid Zones*” e em estúdios de projeto (AL-SALLAL, 2006).

Na disciplina ARCH-676 *Building Simulation*, na *McGrill School of Architecture*, Montreal, Canadá, o professor Christoph Reinhart utiliza os softwares *Sketch Up*, *ECOTECT* e *Radiance*. A escola possui apenas cinco licenças do programa *ECOTECT*, mas a compra é incentivada, os alunos recebem auxílio de 50% no custo de aquisição (REINHART, 2005). O curso é abordado em cinco aulas de 150 minutos e mais três sessões opcionais de 60 minutos em laboratório de informática. Os temas abordados nas aulas são: 1) Simulação de edifícios e considerações climáticas; 2) Simulação de Iluminação I (*ECOTECT*); 3) Simulação de Iluminação II (*Radiance*); 4) Simulação térmica I (*ECOTECT*); 5) Apresentação dos projetos elaborados pelos alunos.

A *University of Hong Kong*, também utiliza o programa *ECOTECT* dentro de uma disciplina de graduação do curso de arquitetura. A ARCH 1006 – *Principles of Buildings II*, onde o programa é apresentado na fase de estudo de insolação em conjunto com os programas *SUNTECT*²⁴ e *HELIO*²⁵(CHENG, 2006).

Outra maneira de ensino do *ECOTECT* é através de *workshops*, como o realizado em Abril de 2004 na *University of Huddersfield*, West Yorkshire, onde os alunos aprenderam as principais funções do programa e ganharam um melhor

²⁴ *SUNTECT*, assim como o *HELIO*, é utilizado para projeto de protetor solar, esta disponível para download em <http://fridge.arch.uwa.edu.au/software/>

²⁵ *HELIO*, faz parte do software *ARCHSCI*, desenvolvido por A. Marsh, em 1996. é a antiga versão do *ECOTECT*, e está disponível para download em <http://arch.hku.hk/teaching/learn.htm#ArchiSci Software>

entendimento da utilização do programa em ensino aplicado a aulas formais de informática ou em *ateliers* (CEBE, 2006). A estrutura do workshop é demonstrada na Tabela 16.

Tabela 16 - Esquema de ensino do programa *ECOTECH* em workshops

| Sessão | Descrição |
|--------|--|
| 1 | Montagem de um modelo no programa <i>ArchiCAD</i> Traduções de zonas e materiais Opções de importação - simples e detalhada Visualização e edição de modelos |
| 2 | Maneiras de apresentação de sombras Desenhos de sombras em objetos específicos Diagramas de insolação e cálculos de sombreamento Desenhos de dispositivos de sombreamento simples Desenho de <i>brises</i> |
| 3 | Uso do <i>Radiance</i> para simulação de iluminação Estudo teórico sobre iluminância, luz natural e imagens de componente solar direta Importação de resultados do <i>Radiance</i> para o <i>ECOTECH</i> |
| 4 | Sessão aberta a questões |

Na *internet* página do programa²⁶ *ECOTECH* disponibiliza, tutoriais do programa que poderiam ser utilizados no treinamento de novos usuários. São 20 tutoriais que utilizam modelos de exemplo que acompanham o programa. Existe ainda a possibilidade de utilização da ajuda do programa para esclarecimento de dúvidas.

5.2.6 Experiências de ensino com outros *softwares* de simulação

Fuchs e Simon (1995), ensinam simulação para alunos de engenharia mecânica desde 1990 no Departamento de Física da *Technikum Winterthur*, Suíça. O ensino dos programas é dividido em quatro cursos. O objetivo no primeiro curso é ensinar aos alunos como aplicar as leis de balanço térmico, aprendido combinado a um programa como o *Stella*.²⁷ No segundo curso, é introduzida a física em laboratório, onde são ensinadas a modelagem e simulação de sistema dinâmico simples. No terceiro curso,

²⁶ <http://sq1.com>.

²⁷ *STELLA* é um poderoso simulador dinâmico que a simulação de diferentes sistemas, no site <http://www.iseesystems.com/softwares/Education/StellaSoftware.aspx> é possível encontrar a versão trial para download.

seguido por cerca de metade dos estudantes, formam-se especialistas em engenharia energética ou química, com o ensino de matemática aplicada à simulação, e são introduzidos ao uso do *Simulink*²⁸ em exemplos de sistemas mais complexos. O último curso, já com poucos estudantes, visa à especialização em simulação (FUCHS, SIMON, 1995).

5.2.7 Comparação de métodos de ensino e recomendações de professores

O emprego de simulação computacional dividia-se até recentemente em duas linhas de atuação. A primeira, aqui denominada escola americana, utiliza o *software* DOE-2, desenvolvido pelo *Simulation Research Group* do *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL) e por James J. Hirsch & Associates (JJH). A segunda, aqui chamada escola europeia, utilizava o *software* ESP-r, desenvolvido pela *University of Strathclyde*, na Escócia. Recentemente os *softwares* *Energy Plus* e *Energy-10* vêm sendo introduzidos em cursos de Arquitetura e Engenharia Civil em nível de graduação e pós-graduação nos Estados Unidos, enquanto o *ECOTECT* vem sendo inserido em cursos na Europa, Canadá e Hong Kong.

Em trabalho sobre uso de simulação nos EUA, Barnaby (2001), traça o panorama de utilização de *softwares* de simulação nos EUA e afirma que, para ensino de graduação em escolas de arquitetura, o *software* mais recomendado é o *Energy-10*, enquanto o DOE-2 restringia-se ao ensino de graduação em engenharia mecânica e a treinamento profissional específico. O *Energy Plus* é apontado como o sucessor do DOE-2 (BARNABY, 2001).

Strank et al (2004) assinalam que apesar do *Energy Plus* ser um potente programa de simulação sua interface dificulta o aprendizado. Ferramentas complexas com interfaces não gráficas podem causar desânimo aos novos usuários que procuram uma ferramenta de simulação com muitas expectativas.

Reinhart (2005) reforça esta idéia afirmando que, entre as ferramentas *Energy 10*, *Energy Plus* e *ECOTECT*, o *ECOTECT* apresenta-se como o mais adequado ao ensino de simulação por ter uma interface bastante gráfica. Da perspectiva do aluno de graduação em arquitetura e urbanismo a análise gráfica das simulações no projeto é

²⁸ Simulink é um software utilizado para modelagem de sistemas dinâmicos.

necessária. Alunos de engenharia, acostumados com cálculos e análises de dados não sentem falta de dados gráficos.

As diferenças de metodologia de ensino entre as ferramentas são demonstradas na Tabela 17. Pode-se notar que as diferenças principais na abordagem do método de ensino estão relacionados à ferramenta em si.

Tabela 17 - Comparação entre metodologias de ensino de ferramentas de simulação

| Software | Pré-informações | Módulo Básico | Módulo Intermediário | Pontos Fortes | Pontos Fracos |
|---------------------------------|--|--|--|--|--|
| <i>ECOTECH</i> | Comandos de modelagem; Utilização de arquivo CAD; Descrição de zonas; Visualização do modelo | Análise de sombras; diagrama de insolação; projeto de brises | Modos de exportação para outros programas; análise de resultados | Bastante interativo A evolução dos exercícios estimula a interpretação dos resultados. | Muito superficial, não aborda padrão de ocupação, edição de materiais... |
| <i>EnergyPlus</i> | Editores IDF/EPP; arquivos de saída; relatórios de saída | Dados climáticos; materiais construtivos, zoneamento; perguntas de modelagem | Influência de fechamentos; aberturas; ventilação, Ar loops, zone equipment | A evolução dos exercícios estimula a interpretação dos resultados. | Método muito superficial, não estimula o aluno fica limitado aos exemplos. |
| <i>ESP-r</i> | Comandos básicos de Unix e do ESP-r | Definição de um problema. Simulação simples. Análise de resultados. Geração de relatório | Ferramentas específicas de simulação | A evolução dos exercícios estimula a interpretação dos resultados. | Método muito superficial, não estimula o aluno fica limitado aos exemplos. |
| ViasualDOE | Editores do <i>VisualDOE</i> ; modelamento de sistemas de condicionamento de ar | Criação de um modelo; simulação simples; análise de resultados; geração de relatórios | Edição de materiais construtivos; emprego do <i>Daylight Control</i> | A evolução dos exercícios estimula a interpretação dos resultados. | Muito focado em Ar Condicionado |
| Método de ensino sem ferramenta | Fenômenos físicos dos edifícios e relação com o modo de simulação; interface de diversos programas | Conceitos de modelagem; capacidade das ferramentas | Transformar perguntas de projeto em objetivos de simulação; uso interligado de ferramentas | Amplia a visão do aluno sobre programas de simulação, Prepara para o aprendizado de qualquer ferramenta, Ensina Metodologia de simulação | Não ensina a utilizar nenhuma ferramenta |

A metodologia de ensino proposta por Hand e Crawley (1998), sintetiza todas as metodologias, em especial a adotada para o programa *ECOTECH*, onde o ensino dos programas segue uma seqüência de introduções a noções de simulação e não somente de comandos na ferramenta.

Cada ferramenta de simulação tem sua própria interface, que pode ser difícil para novos usuários a primeira vista. A melhor solução é preparar um caso simples (com apenas uma zona, ou janela) com condições bem impostas para que os alunos

aprendam como usar a ferramenta de simulação, e então simular seus próprios projetos (ABADIE, 2006).

Hand e Hensen (1995), reforçam a opinião dos outros autores quando afirmam que a proficiência em aspectos operacionais da ferramenta não levam a *experts* em simulação, ainda são necessários o treinamento na metodologia de simulação e abstração do problema de simulação. Em geral, os alunos têm mais dificuldade com a definição do modelo, com a metodologia de simulação e análise de resultados do que com a utilização do *software*.

Se a finalidade da utilização da ferramenta é a interpretação de resultados, ou sensibilização do aluno quanto à capacidade da mesma, é interessante começar as simulações por modelos prontos. O que dispensa o aprendizado da modelagem no primeiro momento. Com análises simples e compreensíveis os alunos irão voluntariamente realizar investigações próprias (MARSH, 2006 a).

O curso de treinamento em ferramentas deve ser elaborado de maneira a acomodar os diferentes níveis de alunos, pois usuários que estão sendo iniciados em um programa de simulação, mas já tem experiência em avaliação de edifícios aprendem de maneira diferente que novatos.

Pessoas com experiência em avaliações de edifícios, entendem como a simulação funciona e constroem seu próprio sistema interno (modelo mental) o qual é sujeito de revisões quando novas informações são disponibilizadas ou novas explorações confirmam ou negam idéias testadas. Utilizam questões diretas aos instrutores e exploram melhor a ferramenta para confirmar relações e representações. Além disso, tendem a seguir o padrão de autodidata. Praticantes bem sucedidos continuam este processo de questionamento e exploração em conjunto com a aplicação da simulação com o processo de projeto (HAND, 1998).

Alunos de graduação, por causa de sua falta de habilidade de base, não estão bem situados para observar e reconhecer o que está sendo apresentado no monitor do computador e deste modo têm dificuldade em formar conceitos abstratos que possam ser testados e utilizados com base para observações mais aprofundadas (HAND, 1998).

Em alguns, casos estes alunos têm pouco ou nenhum conceito de transferência de massa térmica e não têm as habilidades de observação de um profissional. Alguns

são particularmente ágeis e capazes de ganhar habilidade em navegação rapidamente. É então um choque para eles a dificuldade encontrada quando tentam proceder além dos pequenos exercícios. Observações demonstram claramente a tendência dos novatos a utilizar a ferramenta sem compreender que as unidades apresentadas têm ligação com a física básica (HAND, CRAWLEY, 1997).

Apesar de avanços consideráveis em interfaces, observações feitas por Hand (1998) com estudantes utilizando simulação como uma ferramenta de aprendizagem, demonstraram que há um conjunto mínimo de conceitos (i.e. nível de fundamentos) que são pré-requisitos para ser arte em um curso baseado em simulação. Primeiro, os processos termofísicos mesmo com projetos simples são invariavelmente complexos. Muitos novatos não acreditam nisto. Nem eles compreendem que o que muda de projeto para projeto, é a importância relativa das variáveis e suas interconexões. Portanto, eles tendem a aceitar previsões iniciais e tem pouco ou nenhum conceito de calibração do modelo ou da necessidade de confirmar previsões baseadas em resultados em um nível de detalhe mais acurado. Em segundo lugar, novatos não sabem as diferenças essenciais entre o domínio visual do CAD e os atributos físicos da simulação e então eles interpretam (regularmente) a geometria básica e rudimentar associada com modelos térmicos como eles fariam a geometria do CAD e invariavelmente ficam desapontados. Por último, a apresentação da tela que os desenvolvedores de ferramentas e *experts* interpretam, são comumente uma desarmonia visual para os novatos (HAND, 1998).

Hand e Crawley (1998) acreditam que o instrutor deva assumir que os que estão sendo treinados já têm um *background* adequado (conhecimento de física aplicada) e propõe um *check list* antes de iniciar a simulação:

- comece com o contexto do problema. Onde estão localizado, quais são os atributos relacionados ao sítio que você poderia encontrar na ferramenta? Tais atributos são apresentados juntos ou separados?
- olhe a geometria do problema. Qual é a relação entre o que você vê e os "blocos do edifício" dos modelos introduzidos no curso? Como o edifício foi subdividido em zonas?

- faça algumas simulações para alguns dias de inverno e verão e veja as previsões. Os padrões de comportamento das temperaturas estão de acordo com o esperado? Se não, você deve procurar por mais informações? Há maneiras alternativas para olhar o desempenho; diferentes níveis de detalhe ou até mesmo critérios de desempenho?

O treinamento inicial focado em habilidades de teclado sofre por serem recebidos como guias com pouco conteúdo significativo, e muita margem para erro de entendimento. Para evitar este problema, é essencial que conceitos fundamentais de simulação sejam o fundamento do curso de utilização de uma ferramenta específica seja construído. De fato, há argumentos, como os de Hand e Crawley (1997, 1998) sobre fundamentos de simulação e conceitos genéricos a serem apresentados em um workshop separado, anterior ao desenvolvimento do curso de simulação, que deve contemplar os seguintes tópicos:

- apresentação de ferramentas de avaliação e aspectos de desempenho de projeto com os quais eles são capazes de lidar;
- níveis de detalhamento utilizado no modelo para cada tipo de simulação a ser realizada;
- diferenças das interfaces CAD e de programas de simulação.

A motivação do aluno aumenta quando ele se sente motivado a resolver problemas detectados por eles em seus próprios projetos. O rendimento dos alunos aumenta quando eles têm o dever de apresentar à terceiros os resultados de suas simulações (HAND, HENSEN, 1995).

Com os alunos se tornando cada vez mais familiarizados com o uso de computadores, e a profissão sendo levada cada vez mais à sua utilização em análises de edifícios como uma parte fundamental do processo de projeto, a integração do *software* de simulação no currículo mínimo da arquitetura é inevitável. Obviamente cada curso é diferente, e cada grupo de estudantes irá demonstrar suas capacidades (MARSH, 2006 a).

A decisão por utilizar um *software* de análise em qualquer curso é sempre difícil. O maior problema é invariavelmente o tempo necessário para que os alunos ganhem proficiência suficiente para realmente fazer uso dos resultados das análises.

Recomenda-se, então, que o *software* não seja introduzido ao mesmo tempo em que se deseja que os alunos utilizem a ferramenta na análise dos próprios projetos. Deve-se despertar o interesse dos estudantes, demonstrando, por exemplo, como eles podem mover o Sol no modelo e ver os efeitos de sombra; modificar a latitude para entender melhor a geometria solar. Estes exemplos podem ser realizados em sala de aula a necessidade de ter um projeto específico associado a ele (MARSH, 2006a).

É necessário paciência para integrar o ensino de simulação de edifícios em cursos de Arquitetura. Este processo ainda está incipiente. É necessário criar uma cultura de simulação nas escolas de arquitetura de forma gradual. (AL-SALLAL, 2006).

6 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de ensino proposta neste trabalho tem por objetivo inserir o uso de ferramentas de simulação na prática de projeto de alunos de graduação. Delimitou-se como uma pesquisa exploratória realizada seqüencialmente, como apresentado no fluxograma a seguir (Ilustração 38).

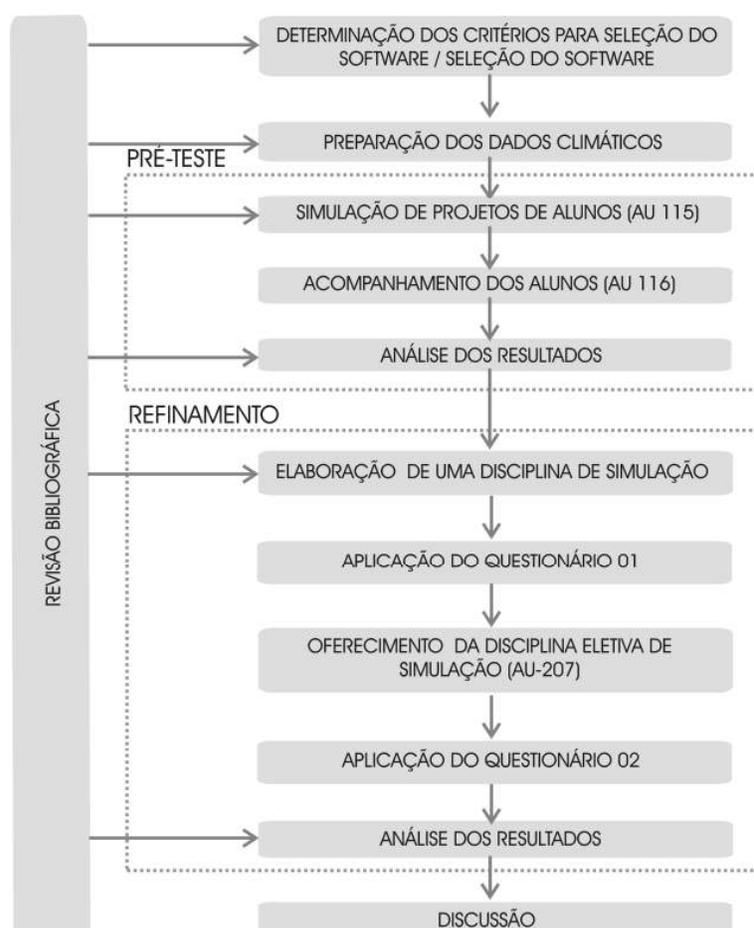


Ilustração 38 - Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa

6.1 Determinação dos critérios para seleção do software

O primeiro passo da metodologia proposta foi a escolha da ferramenta apropriada para ensino de simulação em cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo. A escolha da ferramenta adequada ao tipo de simulação que se pretende realizar é fundamental. As questões abordadas na Tabela 18 servem como guias para a escolha correta da ferramenta.

Tabela 18 - Principais características analisadas nos programas

| CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE SOFTWARES | |
|--|--|
| Método de modelagem | O programa pode analisar o seu problema? |
| Especificação do computador | Você tem o computador adequado? |
| Interface de entrada de dados | Quão fácil é a utilização do programa? |
| Interface de saída de dados | Os resultados podem ser entendidos? |
| Módulos de link | Uma ferramenta tipo CAD ou outros programas podem ajudar? |
| Link com outros programas de simulação | Você pode exportar o modelo para outros programas de simulação? |
| Base de dados associada | O programa tem disponíveis um banco de dados de materiais construtivos e dados climáticos? |
| Suporte ao usuário | Você consegue ajuda facilmente? |
| Usuários | Existem outros usuários que você possa entrar em contato? |
| Validação | Quão preciso é o programa? |
| Custo | Quais os custos de compra, treinamento e manutenção da licença? |

FONTE: Adaptado de BARTHOLOMEW D., et al. An application manual for building energy and environmental modeling. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 5., 1997, Prague. **Proceedings...** Prague: Building Simulation, 1997

Respondendo às questões acima, um *software* adequado à simulação de desempenho térmico de edifícios, com finalidade educacional para alunos de graduação em Arquitetura e Urbanismo, deverá atender, o máximo possível, às seguintes características:

- Analisar desempenho térmico;
- Ter interface simplificada;

- Oferecer resultado preferencialmente gráfico;
- Fazer intercâmbio de arquivos com programas CAD;
- Exportar o modelo para programas mais refinados sem necessidade de retrabalho;
- Ter um banco de dados de materiais construtivos e o mesmo também deverá ser editável para inserção de dados relativos aos materiais disponíveis no mercado brasileiro;
- Ter um banco de dados de arquivos climáticos, converter dados climáticos de outros formatos para utilização no programa;
- Oferecer tutoriais e listas de discussão sobre o programa;
- Fazer um programa validado, por metodologia reconhecida, ou permitir fácil exportação dos dados para um programa mais confiável; e,
- Oferecer boa relação custo benefício, tanto para aquisição, como para treinamento de usuários.

Inicialmente, foram analisados os *softwares* brasileiros disponíveis (item 4.6.10). Em seguida, foram analisados os programas disponíveis na página do DOE²⁹ com aproximadamente 290 ferramentas.

6.2 Preparação dos dados climáticos

Para a realização das simulações dos projetos dos alunos foi necessário escolher um arquivo climático para a cidade de Campinas. Foram analisados os dados climáticos de Campinas coletados a cada 20 minutos pelo IAC – Instituto Agrônomo de Campinas no período de 2001 a 2004.

O IAC coleta dados de: umidade relativa; velocidade dos ventos; direção dos ventos; radiação solar incidente e precipitação. Estes dados são suficientes para as análises simplificadas no *ECOTECT*. Para análises mais detalhadas, o arquivo climático poderia ser mais completo contemplando: radiação solar horizontal difusa e nebulosidade, conforme visto no Capítulo 4, item 4.3.1.

²⁹ http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/

6.3 Pré-teste

Uma vez selecionada a ferramenta, iniciou-se a segunda etapa do trabalho, a aplicação de simulação no processo de projeto. Nesta etapa, foram realizadas duas atividades principais: 1) apresentação do *software* e simulação dos projetos dos alunos na disciplina de conforto térmico (AU 115); 2) acompanhamento dos alunos na disciplina seguinte (conforto luminoso – AU 116).

6.3.1 Simulação dos projetos dos alunos (AU 115)

A experiência foi apoiada pelas experiências realizadas por Compagnon³⁰, 1997, no *Federal Institute of Technology – EPEL*, na Suécia, onde um aluno de pós-graduação realizava os estudos de desempenho luminoso dos trabalhos dos alunos com o programa *Radiance*, como se faz em uma consultoria.

A disciplina escolhida do curso de Arquitetura e Urbanismo da Unicamp foi a AU 115 - Teoria e Projeto V, com ênfase em arquitetura bioclimática, que tinha como tema o desenvolvimento do projeto de uma escola pública. Os alunos do 5º semestre (do curso de 12 semestres) deveriam apresentar, como trabalho final da disciplina, um projeto de escola atendendo critérios de desempenho térmico.

A disciplina teve seu conteúdo dividido entre aulas teóricas e experimentação em laboratório de conforto ambiental. Além destas atividades, os alunos também fizeram visitas a algumas escolas do município.

6.3.2 Acompanhamento dos alunos (AU 116)

Os alunos envolvidos na etapa anterior da pesquisa foram acompanhados na disciplina seguinte de projeto, AU 116 Teoria e Projeto VI, com ênfase em iluminação natural e conservação de energia, onde os alunos tiveram que projetar um templo e um centro empresarial respeitando os objetivos da disciplina.

Parte dos alunos, envolvidos na primeira etapa da pesquisa, deu continuidade ao processo de simulação, desta vez ampliando o escopo para desempenho luminoso.

³⁰ Ver item 5.1. Utilização de ferramenta de simulação em ensino de projeto arquitetônico e conforto ambiental.

6.3.3 Análise dos resultados

A análise dos resultados obtidos com o pré-teste deu suporte a etapa seguinte, o refinamento da pesquisa.

6.4 Refinamento

O refinamento da pesquisa foi desenvolvido em quatro etapas: 1) elaboração de uma disciplina de simulação; 2) aplicação do questionário 01; 3) oferecimento da disciplina eletiva de simulação (AU 207); e 4) aplicação do questionário 02.

6.4.1 Elaboração de uma disciplina de simulação

Apoiado pela experiência de outros pesquisadores e com base nos resultados do pré-teste, foi elaborada uma disciplina, com ênfase no ensino de metodologia de simulação de conforto ambiental e comandos do programa de simulação selecionado, *ECOTECH*.

6.4.2 Aplicação do questionário 01

No primeiro dia de aula, os alunos matriculados na disciplina eletiva responderam a um questionário (Apêndice A), com o objetivo de verificar como os alunos tratavam as questões de conforto ambiental em seus projetos antes do aprendizado da metodologia de simulação e da utilização do programa.

6.4.3 Oferecimento de uma disciplina eletiva de simulação (AU 207)

Foi oferecida aos alunos do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da Unicamp uma disciplina para ensino de metodologia e utilização de ferramenta de simulação. Pretendia-se assim transpor algumas barreiras observadas com a análise dos resultados do pré-teste desta pesquisa. A disciplina foi oferecida como eletiva, AU 207-Tópicos Especiais em Arquitetura e Urbanismo VII.

6.4.4 Aplicação do questionário 02

No último dia de aula, os alunos responderam a um novo questionário (Apêndice A), a fim de verificar se o aprendizado da metodologia da utilização do programa de simulação, modificou o modo como os alunos abordavam as questões de conforto ambiental em seus projetos.

6.4.5 Análise dos resultados

Os resultados obtidos com o oferecimento da disciplina eletiva, e com a aplicação dos questionários foram analisados e são apresentados no capítulo seguinte.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta e analisa os resultados das atividades realizadas na pesquisa. Inicialmente são apresentados os dados referentes à seleção do *software* de simulação mais apropriado para utilização com fins didáticos. Na seqüência apresentam-se os resultados da preparação dos dados climáticos utilizados para o município de Campinas, utilizado na simulação dos trabalhos dos alunos. São apresentados e comentados os resultados obtidos com o pré-teste: simulação dos trabalhos dos alunos (AU 115); acompanhamento dos alunos (AU 116). Por último são apresentados e comentados os resultados obtidos com o refinamento da pesquisa: elaboração da disciplina eletiva de simulação; aplicação dos questionários e oferecimento da disciplina eletiva (AU 207).

7.1 Seleção do *software*

A seleção do software de simulação de conforto térmico para utilização em ensino iniciou-se com a análise das ferramentas de simulação, relacionadas no site do Departamento de Energia dos Estados Unidos, com aproximadamente 290 ferramentas listadas. Desta extensa lista, destacaram-se os programas apresentados na Tabela 19 por serem largamente utilizadas entre programas de ensino de arquitetura por todo o mundo como ferramentas de simulação térmica.

As ferramentas ESP-r e Blast, apesar de serem utilizadas com finalidade didática e apresentarem grande confiabilidade de resultados, foram descartadas por apresentar interface não amigável. A ferramenta *Energy-10*, apesar de ser muito utilizada em ensino nos Estados Unidos, foi descartada por não trabalhar com ambientes sem ar condicionado.

A ferramenta *PowerDomus* foi incluída na seleção inicial por se tratar da única ferramenta nacional capaz de fazer análises mais completas de desempenho do edifício até o momento da seleção das ferramentas para esta pesquisa.

Tabela 19 - Ferramentas de simulação destacadas a partir da página do DOE na *internet*

| SOFTWARE | IDIOMA | | FOCO DE ANÁLISE |
|-------------------|---------------|-----------|---|
| <i>PowerDomus</i> | Português | Comercial | Conforto Térmico |
| ECOTECH | Inglês | Comercial | Eficiência Energética, Análise Térmica, acústica e Visual |
| IES<VE> | Inglês | Comercial | Eficiência Energética, Análise Térmica, acústica e Visual |
| EnergyPlus | Inglês | Freeware | Eficiência Energética |

Um quadro comparativo (Tabela 20) foi elaborado para estabelecer uma análise mais detalhada das capacidades dos programas e sua adequação na solução dos problemas relativos às primeiras fases do projeto.

Tabela 20 – Comparação das características de quatro ferramentas de simulação

| Características | ECOTECH | EnergyPlus | IES<VE> | PowerDomus |
|--|----------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Importa geometria de programas CAD | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ |
| Exporta geometria para programas CAD | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ |
| Importa/Exporta o modelo para outros programas | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Cria dispositivos de proteção solar | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Ventilação Natural | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Abertura de janelas controlável para análise de ventilação natural | ✗ | ✓ | ✓ | ✗ |
| Arquivos climáticos disponíveis com o programa | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ |
| Possibilidade de edição dos dados climáticos | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ |
| Dados climático em formato determinado pelo usuário | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ |
| Possibilidade de edição de materiais construtivos | ✓ | ✓ | | |
| Relatórios de saída em formato determinado pelo usuário | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Interface amigável | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Resultado visual de forma gráfica no modelo | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ |
| Programa validado | Em andamento | ✓ | ✓ | ✓ |

Fonte: Adaptado de CRAWLEY, D. B. et al. **Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs**. US Department of Energy, July 2005. 56 p

O *PowerDomus* não importa geometria de programas CAD, possui uma ferramenta de desenho dentro do programa, o que duplica o trabalho do projetista na

tarefa de desenho do modelo. Não exporta o modelo para outros programas, não traz arquivos climáticos com o programa e não apresenta os resultados graficamente no modelo.

O *EnergyPlus* não é um programa amigável e tem que ser utilizado com uma interface que ainda está em fase de desenvolvimento e apresenta algumas limitações. Sua utilização é mais indicada para alunos de graduação em engenharia mecânica ou alunos de pós-graduação.

O programa IES<*Virtual Environment*> apresentou características favoráveis em quase todos os quesitos colocados anteriormente, não possibilitando apenas que o modelo seja exportado. O que não configura um problema grave, pois, o programa já dispõe de diversas ferramentas validadas capazes de executar todas as análises desejadas.

O problema encontrado com o IES<*Virtual Environment*> foi o custo de aquisição, manutenção de licença³¹ e treinamento, característica mais restritiva para nosso estudo. Não é possível a utilização do *software* sem treinamento adequado, apesar de sua interface ser simplificada.

O *ECOTECT*, assim como o IES< *Virtual Environment* >, é capaz de fazer diversas análises do edifício e importar geometria de outros aplicativos CAD. O *ECOTECT* é capaz também de exportar dados a outros programas, como o *Radiance* e *Energy Plus*. Os resultados são fáceis de serem compreendidos, com opção de dados gráficos e em forma de relatórios.

O programa é bastante flexível quanto à inserção de dados climáticos, pois possui um aplicativo que converte a maioria dos arquivos climáticos disponíveis para o formato que o programa utiliza. É um *software* de baixo custo³², sua licença é permanente (ECOTECT, 2005).

Além disso, a página do programa na *internet* disponibiliza um tutorial gratuito e também um fórum de discussão para troca de informações entre usuários. O programa ainda não foi validado, mas está sendo submetido aos programas de validação *IEA*

³¹ Uma licença acadêmica tem o valor anual de £1100, licenças adicionais com o custo anual de £50 (cotação realizada em maio de 2005).

³² Custo de US\$ 90,00 para estudantes, valor da versão 5.2 em outubro de 2005.

SHC Task 12 Empirical e Envelope BESTEST, além do *CIBSE TM33 e ISO 13791* (CRAWLEY et al, 2005).

Portanto, na análise comparativa, o programa *ECOTECT* apresentou melhor desempenho nas características para simulação de conforto térmico em ensino de arquitetura. Outro fator que levou à adoção do *ECOTECT* como a ferramenta ideal para o propósito desta pesquisa é o fato de este ser amplamente utilizado entre cursos de arquitetura ao redor do mundo³³.

O programa *ECOTECT* foi analisado cuidadosamente e o processo de modelagem dos projetos dos alunos respeitou as condições necessárias a uma simulação acurada. A seguir são apresentadas detalhadamente todas as análises possíveis de serem realizadas com o programa³⁴.

7.1.1 *ECOTECT*: Análises solares

O programa *ECOTECT* pode fazer análises de radiação solar incidente (direta, difusa e/ou refletida) em janelas e superfícies (Ilustração 39). O período para o qual é feito o cálculo é determinado pelo usuário.

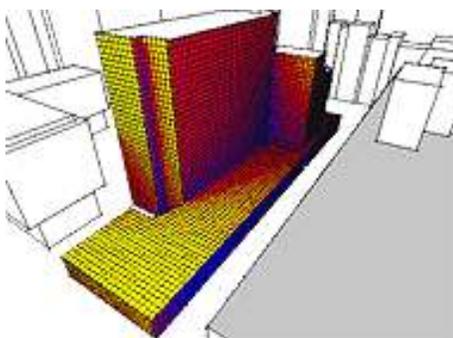


Ilustração 39 - Análise de radiação solar em um edifício.

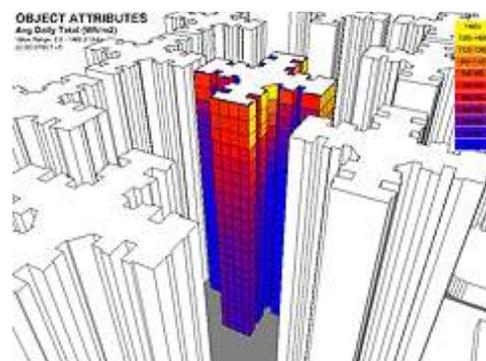


Ilustração 40 - Análise de radiação solar em um edifício, demonstrando a influência do entorno.

³³ Como demonstrado no item 5.6.5, e confirmado no PLEA 2006, onde o programa Ecotect foi empregado em simulações em 12 artigos, mais utilizado que o programa DOE2 (utilizado em 9 artigos). Os outros programas utilizados em simulações térmicas, de iluminação ou de eficiência energética foram: Transys (utilizado em 5 artigos); Radiance (utilizado em 11 artigos); Energy Plus (utilizado em 4 artigos); IES (utilizado em 3 artigos), HEED e Energy -10 (utilizado em um artigo cada).

³⁴ As imagens e informações sobre as possibilidades de análise do programa *Ecotect* foram extraídos de sua página oficial na Internet, <http://squ1.com>.

Assim é possível analisar a influência dos edifícios vizinhos no ganho de radiação em um edifício (Ilustração 40), ou ainda comparar os ganhos em diversas estações do ano (Ilustração 41). Também é possível analisar a eficácia de dispositivos de proteção solar (Ilustração 42).

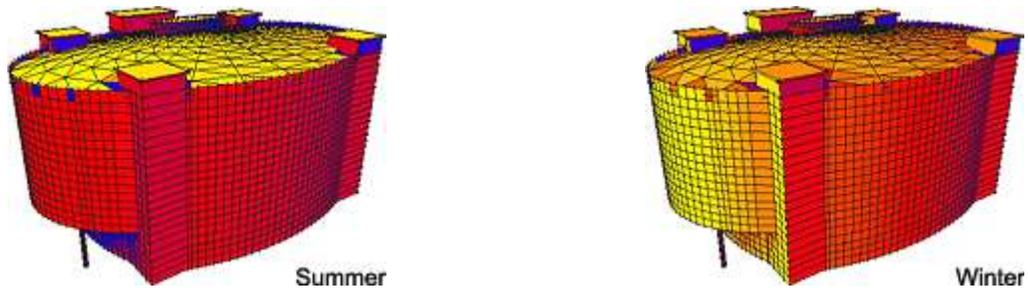


Ilustração 41 - Exemplo de estudo de radiação solar incidente em diferentes estações do ano

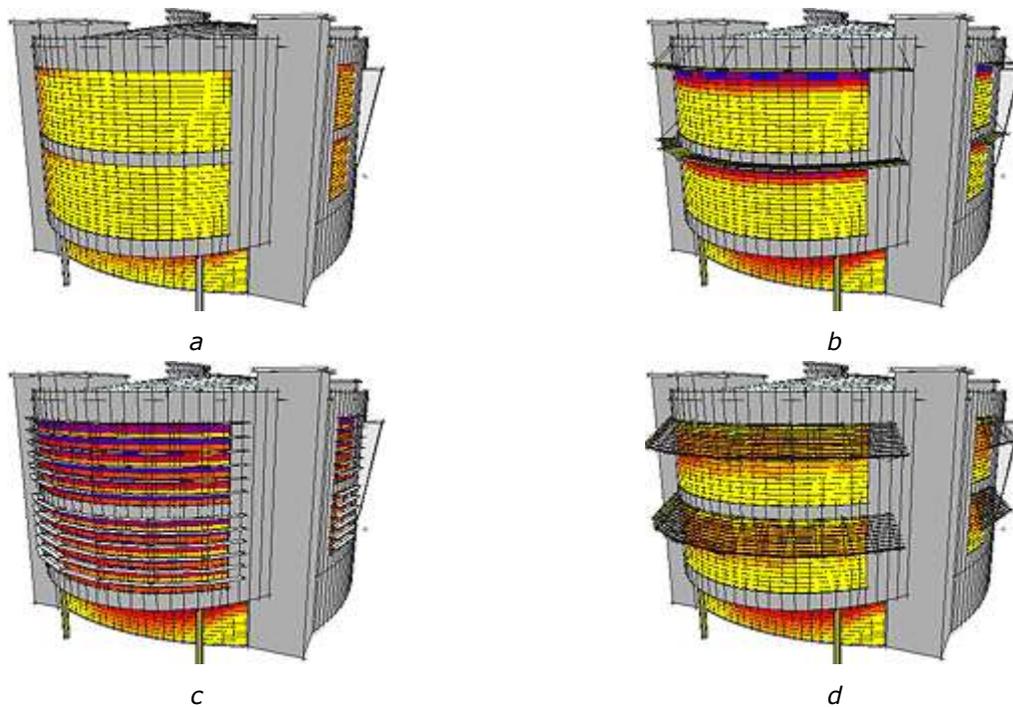


Ilustração 42 *a, b, c e d* - Exemplo de análise de ganho solar para verificação da efetividade de diversos dispositivos de sombreamento

O programa também pode ser aplicado em análises urbanas como demonstrado na Ilustração 43, sendo útil na elaboração de parques e praças urbanas.

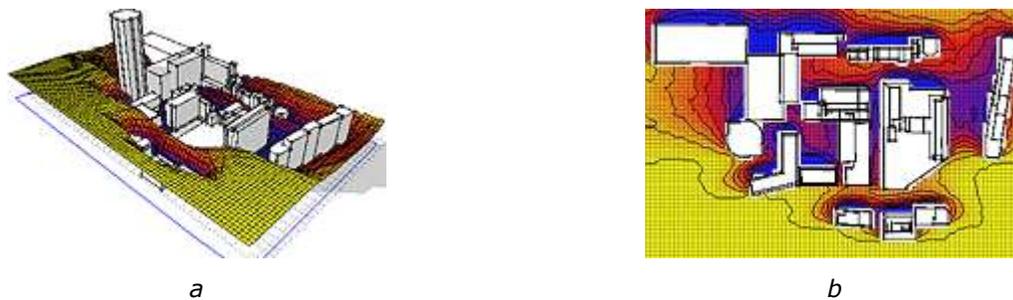


Ilustração 43 a e b - Disponibilidade solar em urbanos

A quantidade de radiação solar incidente em qualquer objeto pode ser facilmente calculada (Ilustração 44), com porcentagens de sombreamento e reflexão. Combinado com a radiação anual total (Ilustração 45), auxilia na determinação da melhor localização para colocação e orientação de painéis solares.

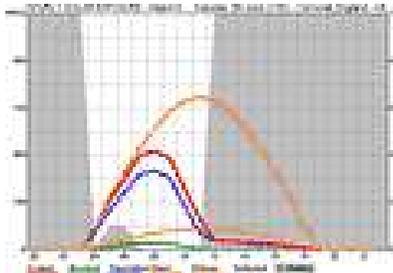


Ilustração 44 - Ganhos solares horários para um dia

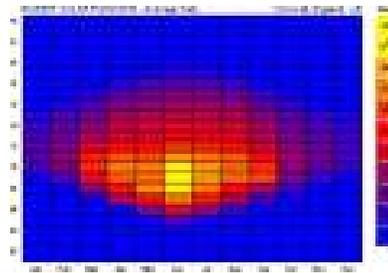


Ilustração 45 - Ganhos solares médios horários de um ano completo

Além de calcular mascaras de sombras para superfícies o programa pode combinar dados de radiação solar direta e difusa do arquivo climático, para demonstrar o horário e a intensidade do stresses solar em qualquer superfície (Ilustração 46).



Ilustração 46 - Exemplo de ganhos solares em uma cobertura, demonstrado em uma carta solar (a) e em 3D com o modelo (b)

Utilizando estas mesmas funções também é possível calcular a radiação solar incidente em um coletor solar. Possibilitando estimar a provável produção de energia

durante o ano. Como também é possível detalhar equipamentos e períodos de ocupação do edifício, a comparação entre consumo e produção de eletricidade pode ser feita no mesmo gráfico (Ilustração 47). O que simplifica o dimensionamento do sistema de coletores solares.

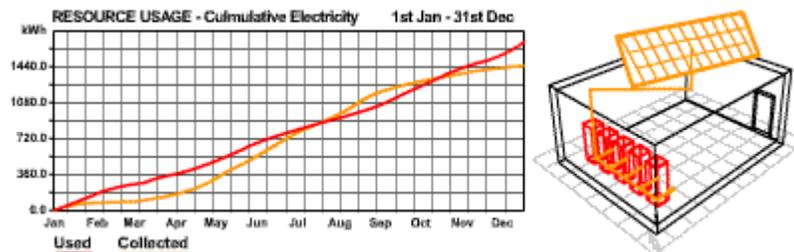


Ilustração 47 - Exemplo de estudo de dimensionamento de coletor solar

7.1.2 ECOTECH: Análises térmicas

O *ECOTECH* utiliza o método da admitância do CIBSE³⁵ para calcular as cargas de aquecimento e resfriamento, os modelos podem ter número ilimitado de zonas e podem ter qualquer geometria. É possível detalhar as propriedades termofísicas dos materiais construtivos bem como padrões de ocupação, ganhos internos, infiltração e equipamentos para cada zona térmica.

Além do cálculo de temperatura interna e gráficos de cargas térmicas, ainda é possível calcular a distribuição espacial tanto de temperatura radiante média, quanto dos níveis de conforto (PMV) como demonstra a Ilustração 48. Com atividades e vestimentas especificadas o programa também calcula a distribuição necessária de ventilação.

³⁵ Chartered Institution of Building Services Engineers

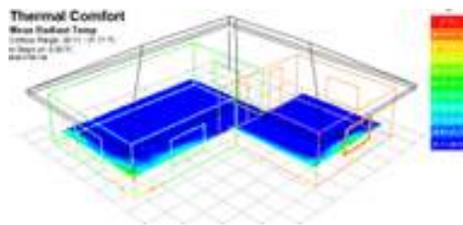


Ilustração 48 - Exemplo de análise níveis de conforto em um ambiente

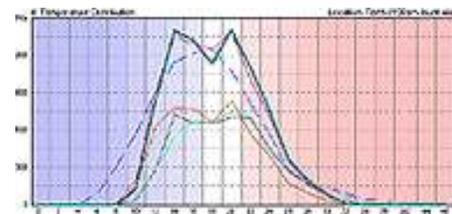


Ilustração 49 - Exemplo de análise de temperaturas.

Temperaturas internas podem ser demonstradas para qualquer dia do ano (Ilustração 49). Os gráficos incluem temperatura externa, efeitos da radiação e ventilação, permitindo uma completa análise da resposta térmica de qualquer zona.

Cargas mensais de resfriamento e refrigeração podem ser calculados utilizando dados climáticos reais. Considerando totalmente ganhos solares diretos/indiretos, sombreamento acurado, fluxo de calor entre zonas e padrões de ocupação compreensíveis, o programa pode calcular a carga exigida do sistema de condicionamento de ar.

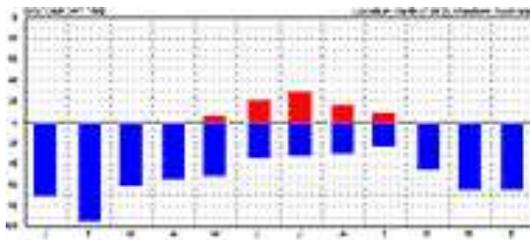


Ilustração 50 - Exemplo de gráfico demonstrando cargas térmicas de aquecimento (vermelho) e refrigeração (azul) para cada mês do ano

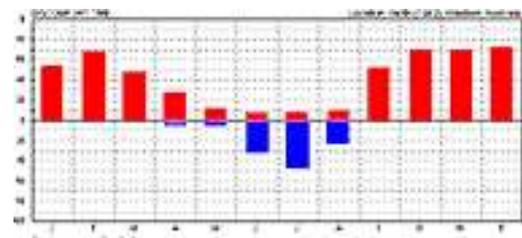


Ilustração 51 - Exemplo de gráfico demonstrando a porcentagem de período de desconforto para cada mês do ano

Com o cálculo de porcentagem de desconforto de temperatura interna dos ambientes (Ilustração 51), é possível tomar decisões baseadas em conforto e utilização de energia.

Os gráficos de distribuição de cargas térmicas (Ilustração 50) são diferentes dos de distribuição de temperaturas (Ilustração 52), pois mostram hora e dia em que ocorrem as cargas máximas e mínimas. Sendo útil, em especial, quando se analisam os efeitos da massa térmica de um edifício.

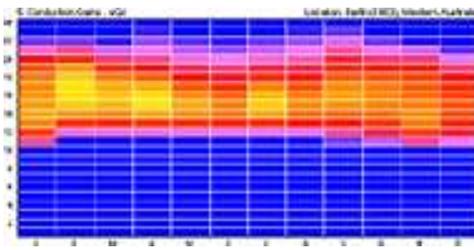


Ilustração 52 - Exemplo de gráfico de distribuição mensal de carga térmica em materiais, demonstrando os efeitos da massa térmica

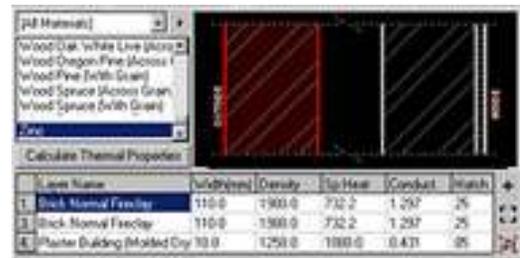


Ilustração 53 - Exemplo de cálculos térmicos considerando os efeitos de materiais heterogêneos

É possível detalhar os componentes de cada camada de um material construtivo. O *ECOTECH* não utiliza estas camadas em seus cálculos, eles são usados quando são exportados para programas de cálculo térmico mais acurados como *HTB2* e *Energy Plus*.

Nos padrões de ocupação para cada zona podem ser definidos todos os tipos de elementos, como aparelhos ligados/desligados, portas e janelas abertas ou fechadas, entre outros. As análises térmicas resultantes levam em conta como os espaços são utilizados, bem como o uso de equipamentos.

7.1.3 *ECOTECH*: Iluminação

O *ECOTECH* utiliza o método de cálculo de Fator de Luz Diurna do BRE³⁶ para os cálculos de iluminação natural e o método ponto a ponto para iluminação artificial. Para análises mais detalhadas é possível exportar o modelo diretamente para outras ferramentas como *DAYSIM* e *RADIANCE*.

O Square One (distribuidor do *ECOTECH*) disponibiliza gratuitamente o Radiance Control Panel, para que o usuário possa alcançar resultados melhores e mais rápidos.

Utilizando o Radiance Image Viewer que é parte do *ECOTECH*, é possível gerar diagramas de lux contornados ou em cores falsas e imagens DF (Ilustração 54 a e b).

³⁶ *Building Research and Conultancy*



Ilustração 54 *a* e *b* - Exemplo de diagramas de lux contornados ou em cores falsas e imagens DF gerado pelo Radiance Image Viewer

Com o *ECOTECH* é possível fazer a análise de fator de luz diurna níveis de iluminação em qualquer ponto de um modelo ou em um grid (Ilustração 55 *a* e *b*).



Ilustração 55 *a* e *b* - Exemplo de análise de fator de luz diurna níveis de iluminação em um grid

Com o fator de luz diurna calculado no modelo é possível utilizar os comandos avançados do *ECOTECH* para determinar o potencial de economia pela utilização de iluminação natural combinada a controles de iluminação. Outra possibilidade é exportar o modelo diretamente para o *DAYSIM* para uma análise detalhada da autonomia da iluminação natural.

O programa ainda permite que seja editado ou importado o perfil de lâmpadas e luminárias do IES³⁷, colocando-as diretamente no modelo simulado conforme o projeto de iluminação vai sendo desenvolvido. O perfil é baseado na definição do usuário dos níveis de iluminação para cada zona a qual a lâmpada pertence, mostrando os contornos de iluminância como volumes (Ilustração 56).

³⁷ Illuminating Engineering Society

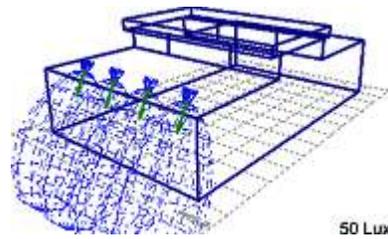


Ilustração 56 - Exemplo de contornos de iluminância como volumes

A visualização das análises de iluminação pode ser feita de diversas maneiras como demonstrado na Ilustração 57.

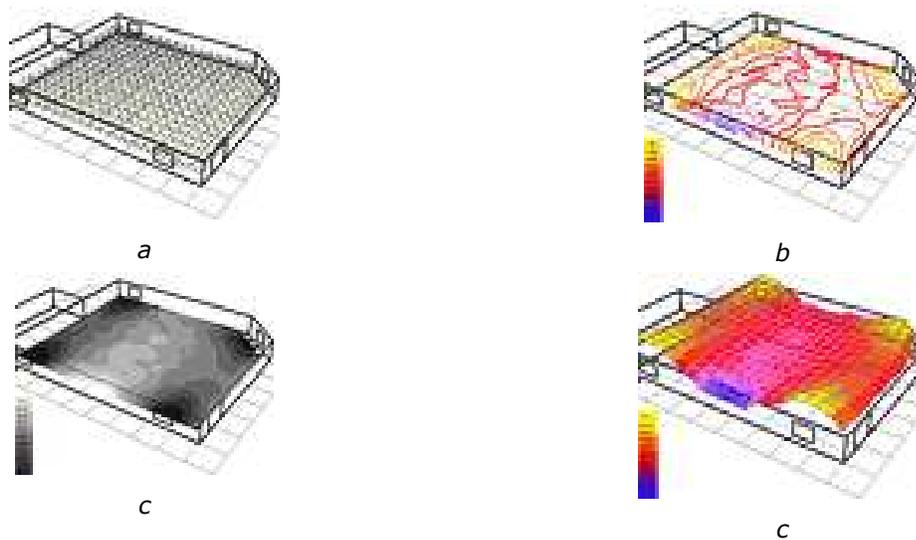


Ilustração 57 - Modos de visualização das análises de iluminação: (a) grid numérico; (b) por contornos; (c) 2D em qualquer escala de cores, ou em escala de cinza;(d) em 3D

7.1.4 ECOTECT: Sombras e reflexões

As análises de sombreamento são simples e rápidas. Pode ser feita para qualquer horário do dia e em qualquer parte do globo. É possível representar o traçado de um determinado dia ou do ano no modelo. As sombras são geradas automaticamente, conforme o usuário modifica a posição solar (Ilustração 58).

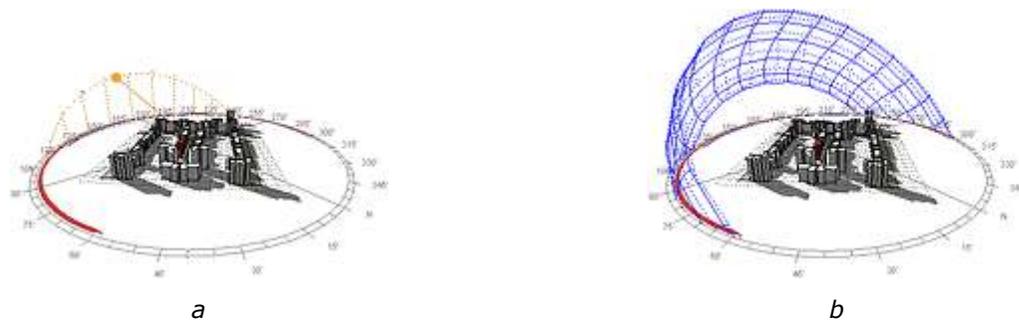


Ilustração 58 *a e b* - Exemplo de representação da posição solar e sombras (a) com o percurso do sol em um dia, (b) com o percurso do sol em um ano

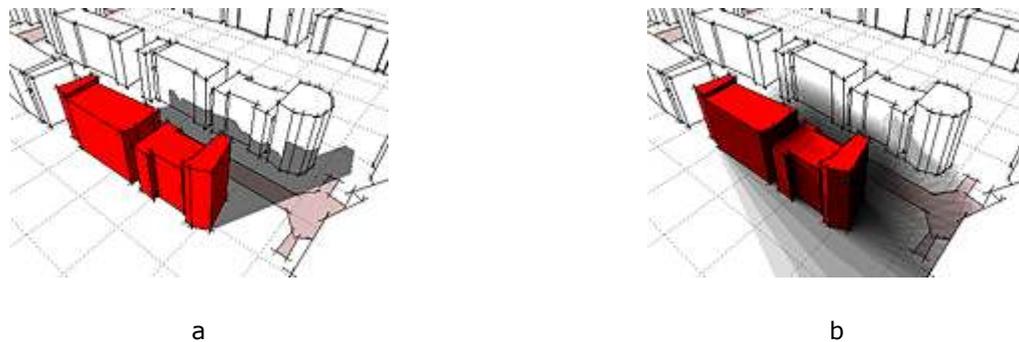


Ilustração 59 *a e b* - Exemplo de representação das sombras para um horário (a) ou sobreposição das sombras para um período (b)

O sombreamento dos edifícios pode ser facilmente representado para um único horário, ou com a sobreposição de diversos horários (Ilustração 59), ainda é possível destacar as sombras geradas por um edifício em especial (Ilustração 60) auxiliando em análises urbanas.

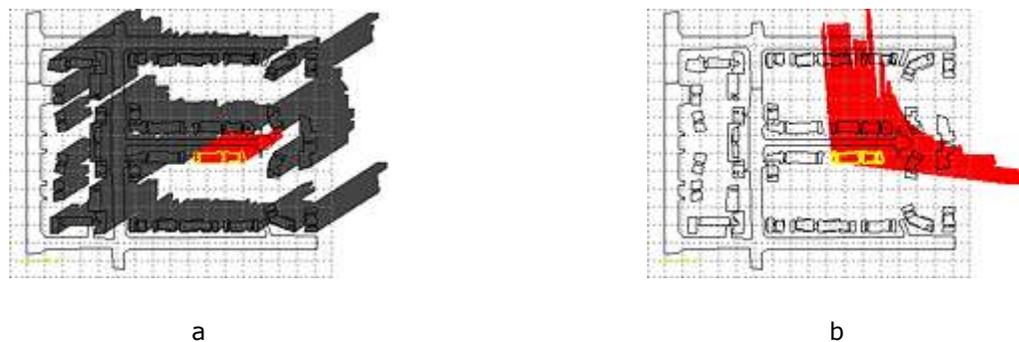


Ilustração 60 - Exemplo de como destacar as sombras de um edifício (a), ou isolá-las (b)

A visualização das sombras também pode ser feita por vistas internas aos edifícios, tanto com a colocação de uma câmera interna (Ilustração 61), quanto com o corte do modelo (Ilustração 62). Estas imagens podem ser salvas (arquivo bitmap ou metafile) para determinados horários ou podem gerar animações (formato avi), com o sombreamento no decorrer de um dia ou ano.



Ilustração 61 - Exemplo de vista internas dos modelos para análise de sombras

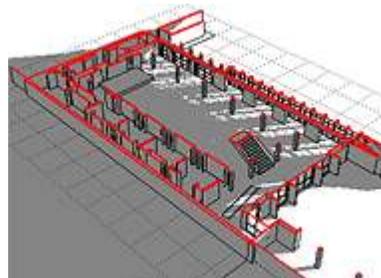


Ilustração 62 - Exemplo de modelo com corte para análise de sombras

Outra possibilidade é a seleção de objetos no modelo, como refletores solares e acompanhar o movimento das reflexões geradas por ele no sítio e no diagrama solar (Ilustração 63 e Ilustração 64).

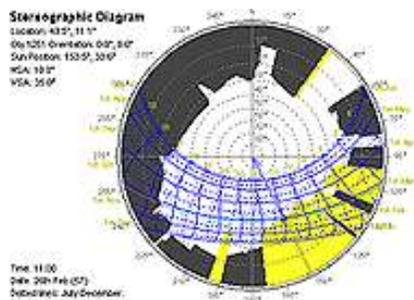


Ilustração 63 - Exemplo de carta solar com reflexões de objeto em destaque

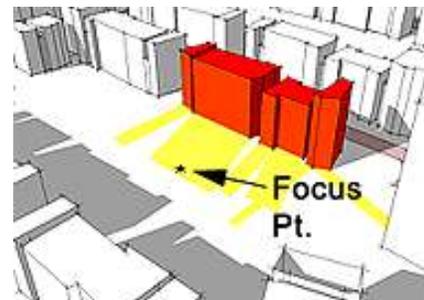


Ilustração 64 - Ponto escolhido para gerar carta solar

Cartas solares são automaticamente geradas pelo programa, para representar áreas de sombreamento ao longo do ano, para qualquer parte do modelo. Vários métodos de projeção são disponibilizados, incluindo diagramas esféricos, eqüidistante, estereográfico, o estilo de indicador do BRE, ortográfico e diagrama Waldram.

Sombreamento em cartas solares pode mostrar tanto sombras das cores das zonas quanto efeitos de transparência. Quando se consideram superfícies, também é possível calcular porcentagem de sombreamento com dados tabelados.

7.1.5 ECOTECH: Elaboração de protetor solar

Com o *ECOTECH* é possível projetar protetores solares nos formatos mostrados na Ilustração 65. O usuário deve escolher a forma desejada e estipular o período de proteção, para que o programa possa calcular as dimensões adequadas.

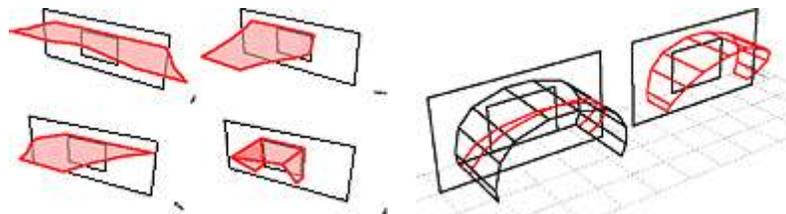


Ilustração 65 - Exemplos de formatos de *brises* que o programa ECOTECH pode calcular

Outra possibilidade é a elaboração de planos de corte que seguem o caminho do sol, como demonstrado na Ilustração 66. Esta função pode ser utilizada em planejamento urbano.

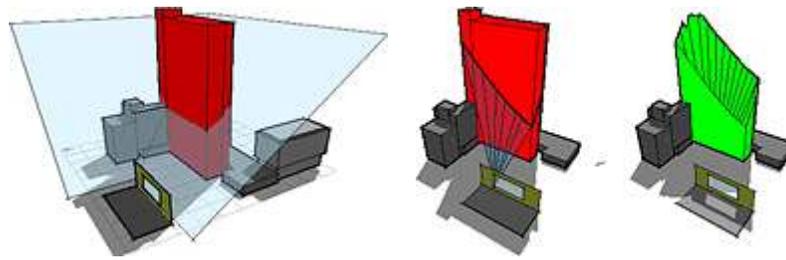


Ilustração 66 - Exemplo de planos de corte para estudo de insolação

A visualização do modelo através do Open GI permite a observação clara da efetividade dos dispositivos de sombreamento (Ilustração 67). Ainda é possível a inserção do grid de análise na posição vertical para estudo detalhado da radiação solar incidente (Ilustração 68)



Ilustração 67 - Exemplo de visualização do modelo através do Open GI



Ilustração 68 - Exemplo de inserção do grid de análise na posição vertical para estudo detalhado da radiação solar incidente

Outra característica importante do programa é a habilidade de analisar os ganhos incidentes. Com isso é possível selecionar um ou mais objetos com um grid de análise e utilizar a intensidade de radiação para desenhar dispositivos solares como demonstrado na Ilustração 69

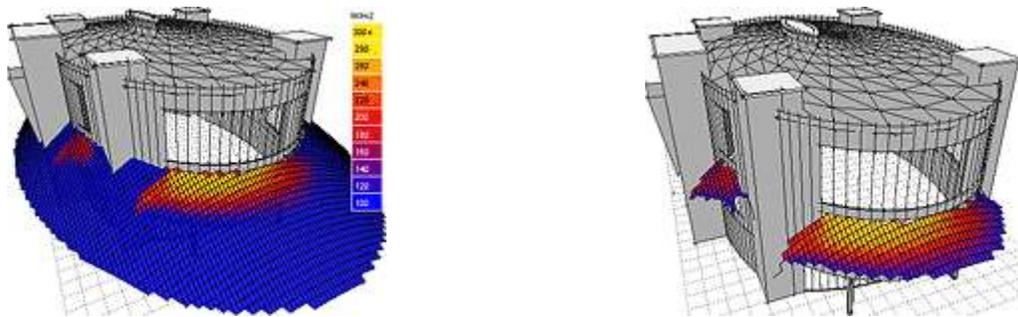


Ilustração 69 - Exemplo de utilização de análise de radiação solar incidente em um objeto para dimensionamento de dispositivo de sombreamento

Com a mesma ferramenta é possível determinar a localização adequada para colocação de coberturas envidraçadas com a finalidade de maximizar ganhos solares no inverno (Ilustração 70).



Ilustração 70 - Exemplo de utilização de análise de radiação solar solar incidente para projeto de cobertura envidraçada

Esta opção utiliza a técnica de *ray tracing* não apenas para determinar onde o sombreamento é necessário, mas também de qual intensidade de radiação solar deve proteger. Desta forma, este método pode ser utilizado para cálculo de intensidade de radiação solar relativa e também para obstruções existentes em todo o espaço.

7.1.6 ECOTECH: Normas para Edifícios (Building Regulations)

O ECOTECH, implementou a regulamentação aplicada à edifícios do Reino Unido, conhecidas como Part-L, (que aborda as questões relativas a conservação de energia) as possíveis análises do programa. Os desenvolvedores do *ECOTECH* pretendem ainda incluir normas e regulamentações de outros países nas próximas versões do programa.

7.1.7 ECOTECT: Análises Acústicas

Várias opções de análises acústicas estão disponibilizadas no ECOTECT v5. Variando de análises estatísticas simples de tempo de reverberação à sofisticadas análises de partículas e técnicas de *ray tracing*.

Uma vez definida a forma e os materiais de um espaço, o cálculo do tempo de reverberação interno é um processo simples. Baseado em fórmulas estatísticas, as curvas geradas dão um excelente indicador inicial do desempenho acústico do ambiente.

Para posicionar com precisão ângulos de refletores acústicos, raios sonoros podem ser gerados de qualquer ponto dentro do espaço. Estes raios são automaticamente atualizados conforme são feitas modificações tanto na geometria quanto na fonte sonora (Ilustração 71). Esta é uma maneira bastante eficiente de se entender a natureza e o efeito dos refletores sonoros em qualquer ambiente.

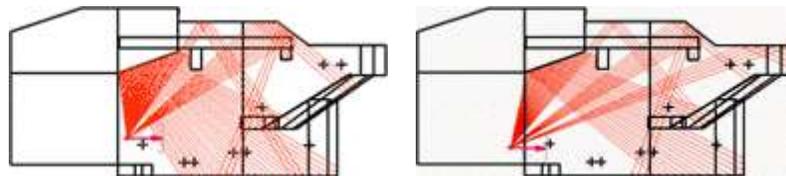


Ilustração 71 - Exemplo de ajuste na fonte sonora.

Para analisar a propagação do som dentro de qualquer espaço, é possível gerar raios sonoros distribuídos de maneira aleatória, ou diretamente em refletores acústicos (Ilustração 72 e Ilustração 73). Para entender o decaimento sonoro as cores das partículas de propagação são modificadas, baseadas no seu nível absoluto ou em seu potencial de efeito na percepção sonora do ambiente. Sendo assim possível destacar ecos ou outras anomalias acústicas.

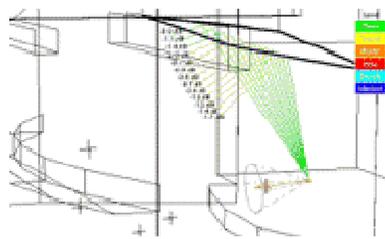


Ilustração 72 - Exemplo de propagação sonora por raios acústicos

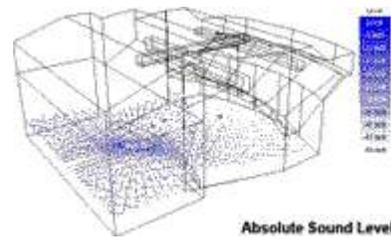


Ilustração 73 - Exemplo de propagação sonora por partículas

Após gerar os raios acústicos, ainda é possível visualizar os resultados em gráficos de análise 2D ou em tabelas. O cálculo do tempo de reverberação pode ser gerados para várias cada banda de frequência e derivam as médias dos coeficientes de absorção do espaço. O que pode ser utilizado nas rotinas de cálculo estatísticas do tempo de reverberação utilizadas em análises mais detalhadas do tempo de reverberação.

7.1.8 ECOTECT: Resource Management

Uma vez elaborado um modelo 3D, tabelas com dados relacionados a áreas, volumes e quantidades de material são automaticamente geradas pelo programa.

Para cada material utilizado no ECOTECT é possível atribuir dados relativos a custo inicial, de manutenção, bem como energia incorporada e emissão de gases causadores do efeito estufa. O que permite uma análise detalhada de custo financeiro e ambiental em qualquer etapa do projeto.

Os equipamentos utilizados em um modelo podem tanto consumir quanto gerar recursos durante sua operação. O ECOTECT pode produzir gráficos de uso cumulativo de recursos em um ano e comparar a geração de energia (fotovoltaica), ou consumo de água com a captação das águas de chuva.

7.2 Preparação dos dados climáticos

Como havia falhas na continuidade dos dados disponibilizados pelo IAC, e o período de quatro anos não é suficiente para o tratamento estatístico para definição de um ano típico ou de referência, o ano de 2001, que apresentava os dados mais completos, foi o selecionado para as simulações.

Estes dados foram colocados em uma planilha eletrônica e descartados os dados com intervalo superior a 60 minutos. Com a ferramenta *WeatherTool*, que faz parte do pacote de ferramentas do *ECOTECT*, este arquivo de dados climáticos horários foi convertido para o formato WEA (*Weather Tool Data*) para ser utilizado nas simulações.

7.3 Pré-teste

7.3.1 Simulação dos projetos dos alunos (AU-115)

A possibilidade do uso da ferramenta *ECOTECT* foi apresentada aos alunos que cursavam a disciplina AU 115 na segunda metade do semestre (Tabela 21), partindo da premissa que os alunos deveriam compreender totalmente os mecanismos envolvidos no comportamento térmico do edifício e serem capazes de projetar *brises* antes de utilizarem a ferramenta de simulação. Desta forma, pretendia-se que o aluno já tivesse idéia da resposta esperada da simulação de seu modelo e das possíveis soluções para melhorar seu desempenho.

As simulações eram agendadas pelos alunos com antecedência mínima de um dia. Para o desenvolvimento da simulação, os alunos deveriam levar o projeto que já estava sendo desenvolvido em um programa CAD, que era então importado pelo *ECOTECT*.

Tabela 21.- Cronograma da disciplina AU-115 (2005)

| DATA | TEMA |
|------------------|--|
| 03/03 | Introdução |
| 05/03 | Elementos climáticos, Zoneamento Bioclimático, Método de Mahoney |
| 10/03 | O ambiente escolar; avaliação das escolas da região |
| 12/03 | Resposta humana ao ambiente e conforto térmico. Índices de conforto |
| 17/03 | Atendimento aos projetos |
| 31/03 | Atendimento aos projetos |
| 02/04 | Movimento do Sol. Laboratório |
| 07/04 | Atendimento aos projetos |
| 14/04 | Atendimento aos projetos |
| 16/04 | Traçado de sombras pelas aberturas |
| 28/04 | Dimensionamento de <i>Brisés</i> |
| 30/04 | Atendimento aos projetos |
| 05/05 | Devolução do projeto 1 |
| 07/05 | Prova |
| 12/05 | Atendimento aos projetos |
| 14/05 | Propriedades térmicas dos materiais. Regime periódico e inércia térmica |
| 19/05 | Palestra: Arquitetura Escolar e atendimento aos projetos |
| 21/05 | Radiação solar. Vidros e cores. Método de avaliação de conforto e desempenho térmico . Apresentação do programa ECOTECT |
| 02/06 | Atendimento aos projetos |
| 04/06 | Ventilação |
| 09/06 a 23/06 | Atendimento aos projetos |
| 07/05 | Prova |

A primeira simulação apresentada (Ilustração 74 à Ilustração 78) foi utilizada por uma aluna da disciplina para confirmar a distribuição de iluminação natural dentro das salas de aula da escola projetada por ela. Na primeira simulação, a aluna utilizou um arquivo do projeto no formato 3ds para servir de modelo nas simulações com o *ECOTECT*.

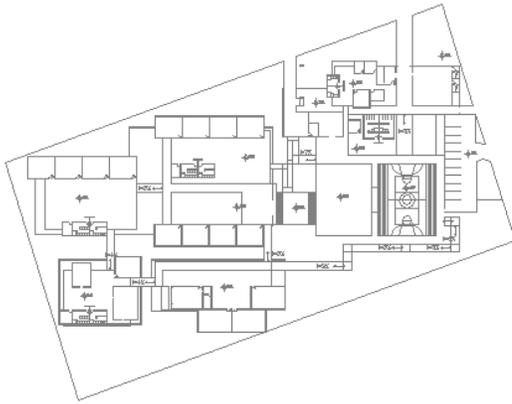


Ilustração 74 - Planta em CAD do projeto da escola simulada

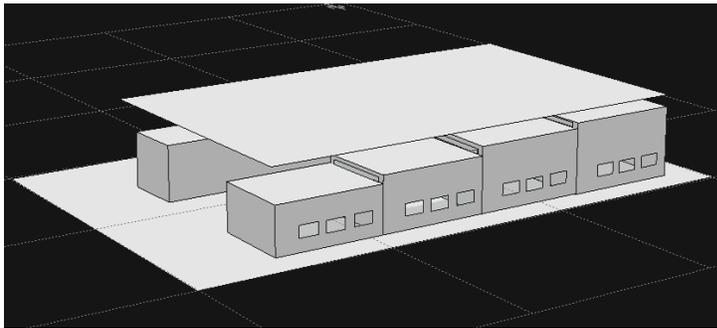


Ilustração 76 - Modelo que representa o primeiro projeto das salas de aula

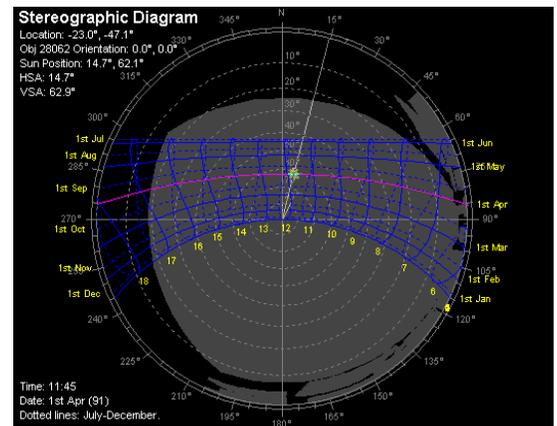


Ilustração 75 - Análise de sombras na quadra da escola

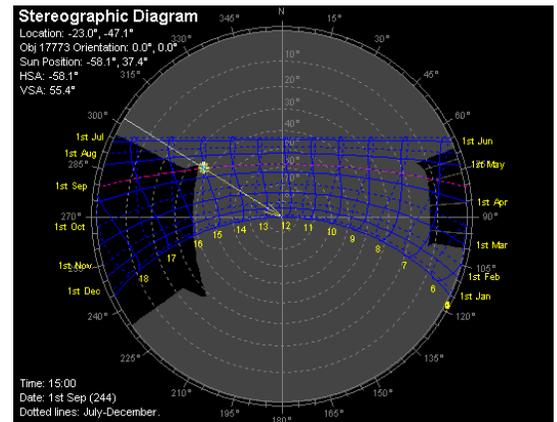


Ilustração 77 - Análise de sombras entre as salas de aula

Com os resultados da primeira simulação a aluna percebeu que o posicionamento das janelas estava adequado, porém a iluminação estava abaixo do esperado em algumas salas de aula devido a elementos que bloqueavam a entrada de luz na face norte.

A aluna refez o projeto (Ilustração 78) e agendou nova simulação. Desta vez um arquivo bitmap foi utilizado como base para a modelagem do edifício no *ECOTECH*. A simulação foi utilizada para avaliação da qualidade da iluminação e conforto térmico no interior das salas de aula.

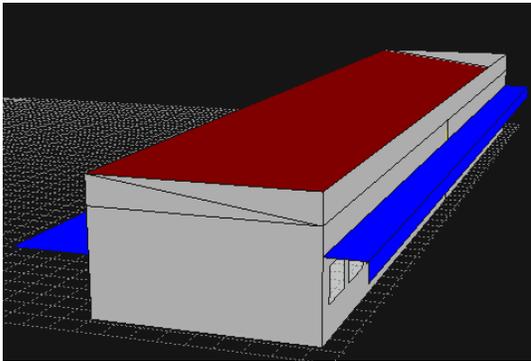


Ilustração 78 - Geometria final das salas de aula, após análises de sombras, e análises térmicas.

No caso seguinte, foi realizada apenas uma simulação para avaliação de desempenho térmico e de iluminação das salas de aula projetadas por outro aluno (Ilustração 79 e Ilustração 81). A partir dos resultados gerados pela simulação o aluno julgou que as salas de aula tinham desempenho térmico adequado com pouco desconforto em julho e janeiro, épocas de férias escolares. E que a disposição dos equipamentos, dentro da sala de aula, estava inadequada, pois havia radiação solar incidente diretamente na parede onde deveria se colocada à lousa e, a partir dos resultados da simulação refez o *layout* da sala.

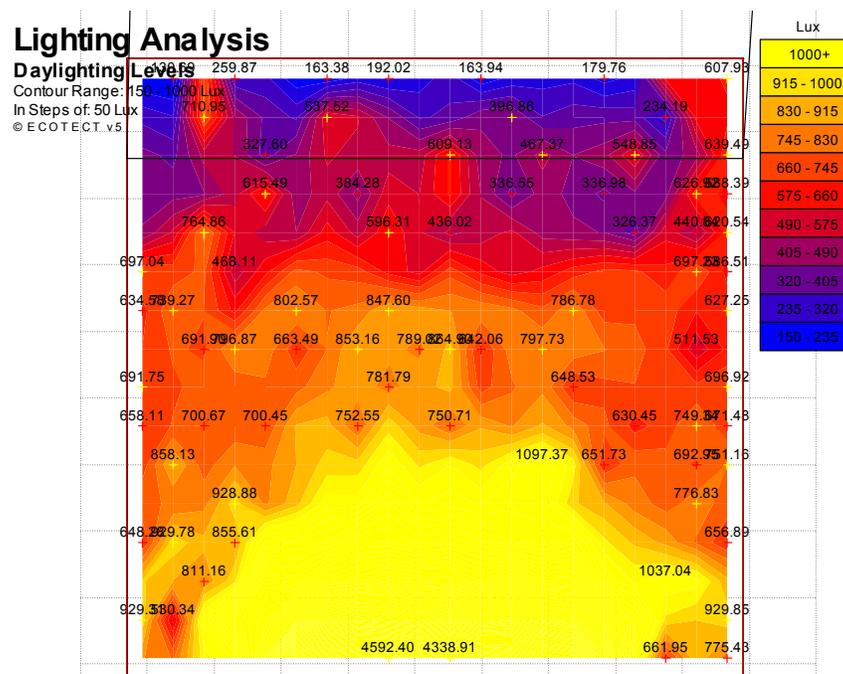


Ilustração 79 - Análise de distribuição de iluminação natural dentro da sala aula projetada por um aluno. Níveis de iluminação medidos em lux, escala de 150 a 1000 lux.

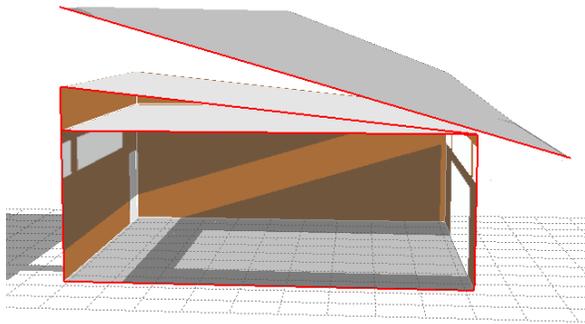


Ilustração 80 - Estudo de sombreamento na sala de aula no período de inverno às 7h

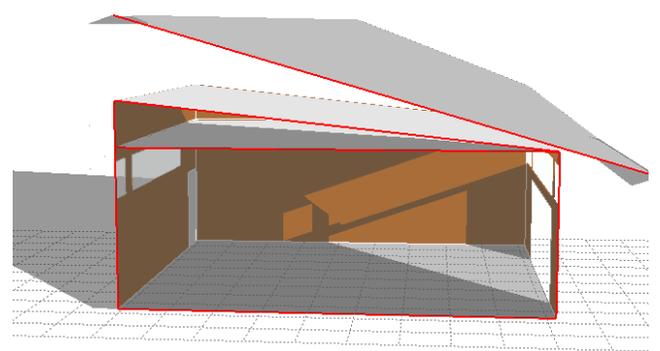


Ilustração 81 - Estudo de sombreamento na sala de aula no período de verão às 8h

No último caso apresentado, o programa *ECOTECH* foi utilizado para realizar simulações de iluminação natural e de desempenho térmico. Nos estudos, foram comparados os desempenhos de dois tipos de *brises* na fachada noroeste das salas de aula, como observado nas Ilustração 82 à Ilustração 84.

Com base nos resultados das simulações a aluna determinou o *brise* mais adequado e prosseguiu com o desenvolvimento do projeto.

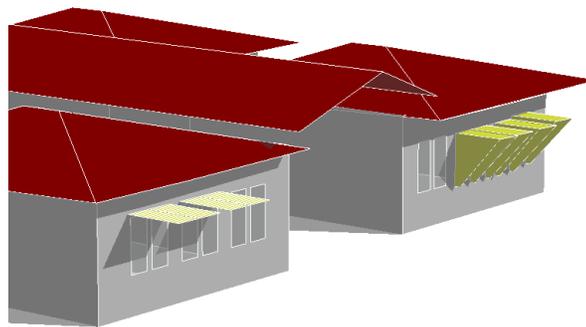


Ilustração 82 - *Brises* estudados: 1) pergolado; 2) retangular

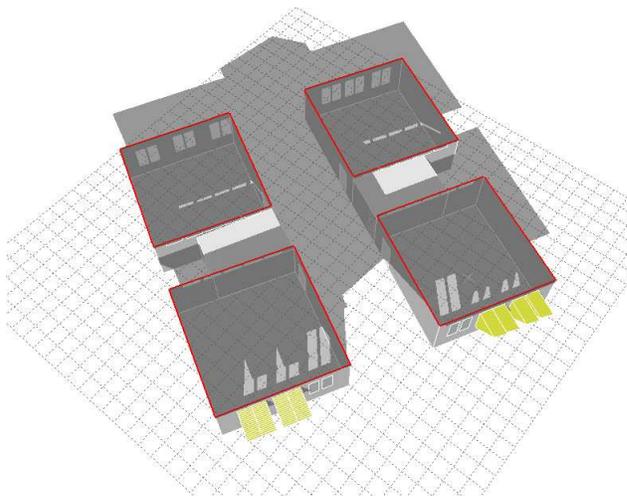


Ilustração 83 - Análise de sombras nas salas de aula com dois tipos de *brise* no inverno às 11h

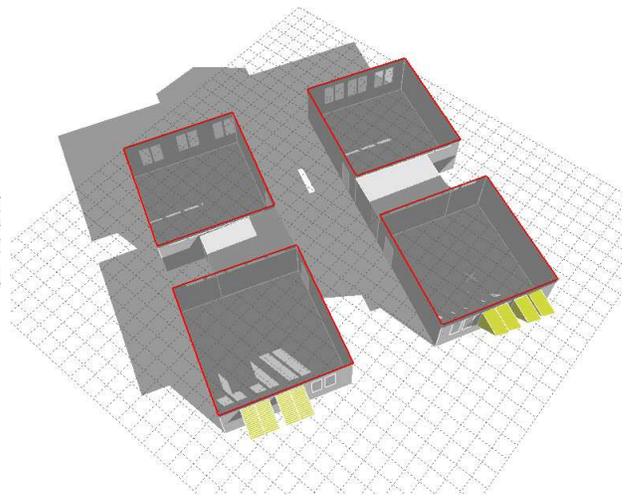


Ilustração 84 - Análise de sombras nas salas de aula com e sem *brise* no inverno às 14h

7.3.2 Acompanhamento dos alunos (AU 116)

Os alunos que participaram da primeira etapa do pré-teste foram acompanhados durante a disciplina de projeto seguinte, AU 116 Teoria e Projeto VI. Um dos estudos realizados pelos alunos participantes da pesquisa foi à simulação de desempenho luminoso em um templo de meditação. Nesta simulação, as alunas desejavam verificar se a geometria elaborada por elas proporcionava o efeito planejado (jogo de luzes e sombras dentro do templo). A simulação foi capaz de gerar imagens (Ilustração 85 à Ilustração 88), com qualidade e com maior rapidez que ferramentas como AutoCAD ou 3dStudio.

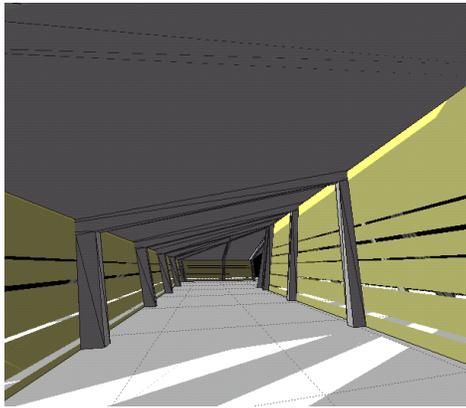


Ilustração 85 - Análise de sombras dentro do templo (verão às 12h)



Ilustração 86 - Análise de sombras dentro do templo (inverno às 9h)

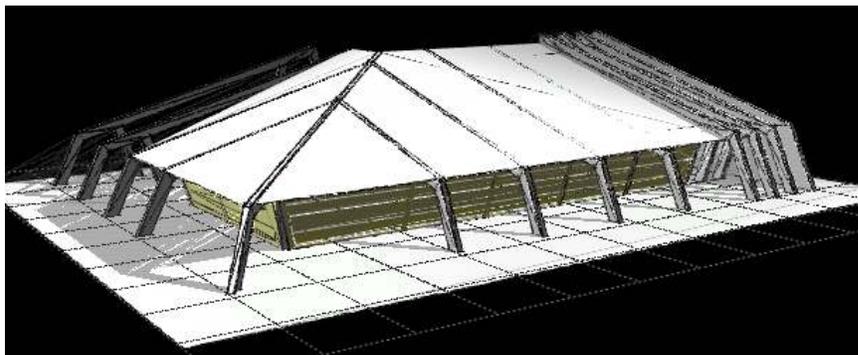


Ilustração 87 - Análise de sombras projetadas pelo edifício (no verão às 15h)

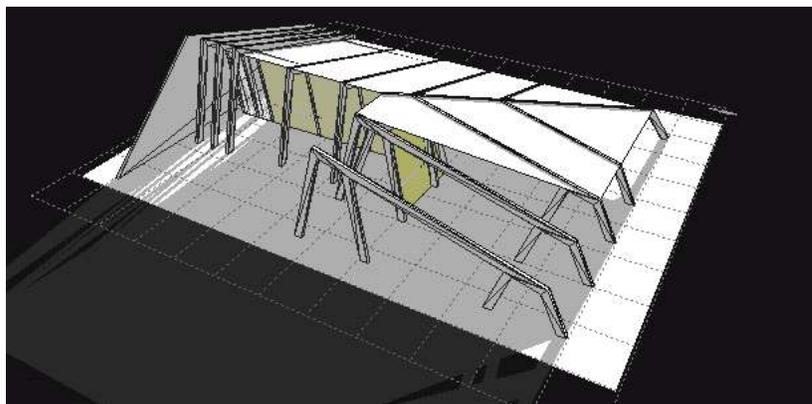


Ilustração 88 - Análise de sombras projetadas pelo edifício (Inverno às 17h)

7.3.3 Análise dos resultados

A simulação dos projetos dos alunos, na disciplina AU 115, seguiu um padrão de comportamento: nas primeiras simulações, os alunos sempre tinham maior interesse em analisar sombras e projetar *brises*, as análises térmicas eram deixadas para a segunda simulação, quando a geometria do edifício que estava sendo projetado já estava definida.

Durante as primeiras simulações (de iluminação), os alunos faziam sugestões de modificações dos modelos e declaravam estarem surpresos com alguns aspectos no comportamento do edifício. A frase “...*nossa, não havia pensado nisso*” sempre vinha à tona durante a simulação.

Na disciplina AU 116, os alunos procuravam confirmar expectativas de desempenho luminoso dos ambientes, e novamente se surpreendiam com alguns resultados.

O número de alunos que participaram do pré-teste foi pouco expressivo. Algumas razões possíveis: 1) os alunos não se sentiam confortáveis em ter que marcar um horário para realizar as simulações, muitos fizeram o *download* do programa e dos tutoriais na página do programa na *Internet*, para tentar fazer as simulações sozinhos; 2) nos atendimentos ao projeto, não se sentiram incentivados a utilizar a simulação; 3) não se sensibilizaram com o potencial da ferramenta, “*já tenho tanta coisa pra fazer, por que fazer mais uma coisa que não vai influenciar na minha nota?*”; 4) não houve disponibilidade de equipamentos para viabilizar a realização de simulações durante as aulas em *atelier*.

7.4 Refinamento

Pretendia-se, através da elaboração de uma disciplina específica de simulação, transpor algumas barreiras encontradas no pré-teste: 1) os alunos que haviam se interessado pelo processo de simulação, mas não se sentiam confortáveis com a necessidade de agendamento de horário, poderiam realizar as simulações de forma independente; e 2) só procurariam a disciplina alunos realmente interessados no assunto, desta forma seria mais fácil identificar se a metodologia de ensino de simulação proposta funciona de fato.

A disciplina apresentou aos alunos a metodologia de simulação típica e as reais possibilidades de análise com a utilização do programa *ECOTECT*. Em princípio, seriam ensinados os comandos relativos a análises térmicas e de iluminação natural, sendo os conteúdos relativos à análise acústica e de iluminação artificial foco de outra disciplina. No entanto, o rendimento dos alunos superou as expectativas, desta forma, foi possível incorporar comandos de análise de iluminação artificial e acústica ao escopo da disciplina.

Os alunos receberam treinamento para operar o programa e foram estimulados a interpretar os resultados obtidos. Enfatizou-se a interação com o programa a fim de que o aluno o utilizasse para fazer as análises pertinentes ao seu problema de projeto.

Os alunos efetivamente matriculados na disciplina (que foi apresentada como AU 207-Tópicos Especiais em Arquitetura e Urbanismo VII) já haviam cursado as disciplinas: AU 501 - Física Aplicada à Arquitetura, que leva a entender melhor os conceitos de zonas térmicas e trocas de calor; e AU 302 – Informática Aplicada II: Introdução ao CAD, que confere a habilidade necessária para importar plantas ou modelos 3D.

7.4.1 Disciplina de Ensino de Simulação

O programa da disciplina foi feito a partir da análise comparativa dos métodos de ensino dos *softwares* de simulação apresentado no Capítulo 5, item 5.2.7. Foram feitas adaptações quanto à carga horária e ao método de ensino adotado no curso da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp.

Optou-se por concentrar o conteúdo teórico nas seis primeiras aulas, com desenvolvimento de pequenos exercícios apoiados por tutoriais neste período. No decorrer das nove últimas aulas foi enfatizado a prática de simulação, apoiada por pequenas exposições teóricas (conforme necessidade dos alunos).

Tabela 22 - Cronograma da disciplina eletiva de simulação AU207

| AULA | COMPETÊNCIAS À DESENVOLVER | EIXO TEMÁTICOS | ATIVIDADES DE APRENDIZAGEM |
|------|--|--|---|
| 01 | -Demonstrar a importância da simulação de conforto ambiental no processo de projeto -Apresentar a dinâmica da disciplina | - Apresentação da disciplina e do programa ECOTECH | -Questionário 01 |
| 02 | -Entender o conceito de simulação, ter contado com a metodologia de simulação -Conhecimento das possibilidades de simulação com a utilização do ECOTECH -Apresentação da interface do ECOTECH - Introdução aos comandos de modelagem e modificação de modelos | -Conceito de simulação e metodologia de simulação -Visualização da interface do programa -Comandos de: modelagem; modificação do modelo; criação de zonas climáticas; intercâmbio de arquivos dxf., 3ds., bmp. | -Resolução de tutorial sobre fundamentos de modelagem |
| 03 | - Utilização do programa ECOTECH em análise de penetração solar e insolação, e criação de <i>brises</i> | -Localização do edifício: latitude, longitude, altitude, cidade, horário e Norte -Análise de iluminação natural -Arquivos de saída: metafile e bitmap | -Análises de insolação e diagramas de sombras -Cálculos de <i>brises</i> utilizando apenas coordenadas do local -Exercício - resolução de simulações sobre análise de sombras, guiado por tutoriais |
| 04 | - Compreensão das diferenças entre métodos de cálculo de iluminação natural em ambientes - Entendimento do algoritmo de cálculo de iluminação natural do ECOTECH -Capacitar a utilizar o ECOTECH em análises de iluminação | -Revisão de métodos de cálculo de iluminação natural -Apresentação do método de cálculo do ECOTECH -Utilização de câmeras para visualização de resultados | -Análise de iluminação -Exercício - simulação de iluminação natural e artificial, guiado por tutoriais) |
| 05 | - Compreensão das diferenças entre métodos de cálculo térmico de ambientes - Entendimento do algoritmo de cálculo térmico do ECOTECH -Capacitar a utilizar o ECOTECH em análises de conforto térmico | -Revisão de métodos de cálculo de conforto térmico -Apresentação do método de cálculo do ECOTECH -Conceito de zona térmica -Editor de materiais e de padrão de ocupação -Dados climáticos -Relatórios de saída do ECOTECH | -Exercício - Divisão de modelos em zonas térmicas |

Continua...

| AULA | COMPETÊNCIAS À DESENVOLVER | EIXO TEMÁTICOS | ATIVIDADES DE APRENDIZAGEM |
|----------------|---|---|---|
| 06 | -Internalizar os comandos de modelagem e as possibilidades de análise do ECOTECH | -Comandos avançados de modelagem e de importação de geometria CAD -Revisão dos conceitos de metodologia de simulação | -Início do exercício - Simulação completa de um edifício existente |
| 07 08 09 | -Praticar metodologia de simulação e comandos do programa | | -Resolução do exercício - Simulação completa de um edifício existente |
| 10 | -Estimular a capacidade de julgamento dos parâmetros de conforto e tomada de decisão na proposta de alternativas de projeto | -Apresentação e discussão dos resultados das simulações | -Apresentação das simulações em forma de seminários |
| 11 | -Estimular a capacidade de julgamento dos parâmetros de conforto e tomada de decisão na proposta de alternativas de projeto | -Apresentação de metas de desempenho para diferentes tipologias -Apresentação de alternativas de projeto | -Início do exercício - simulação completa de um projeto elaborado/em elaboração pelo aluno em disciplina de projeto |
| 12 | -Estimular a capacidade de escolha e inserção de materiais construtivos na base de dados do programa | -Revisão das propriedades físicas dos materiais construtivos | -Exercício sobre materiais -Continuidade a resolução do exercício iniciado na aula 11 |
| 13 | - Compreensão das diferenças entre métodos de cálculo acústicos de ambientes - Entendimento do algoritmo de cálculo térmico do ECOTECH -Capacitar a utilizar o ECOTECH em análises de conforto acústico | -Revisão de métodos de cálculo de conforto acústico -Apresentação do método de cálculo do ECOTECH | -Análise acústica -Exercício - simulação de comportamento acústico, guiado por tutoriais) |
| 14 | -Praticar metodologia de simulação e comandos do programa | | -Resolução do exercício - Simulação completa de um projeto próprio |
| 15 | -Estimular a capacidade de julgamento dos parâmetros de conforto e tomada de decisão na proposta de alternativas de projeto | -Apresentação e discussão dos resultados das simulações | -Apresentação das simulações em forma de seminários |

O método de avaliação proposto previa a realização de pequenos trabalhos em aula (exercícios 1 a 4) e dois trabalhos mais complexos (exercícios 5 e 6), seguindo a metodologia de simulação típica. A escolha por uma seqüência de pequenas simulações, com gradual aumento de complexidade, vem de encontro às recomendações dos professores de simulação.

A fim de estimular o uso da ferramenta, o último exercício (06), propunha que os alunos simulassem projetos próprios desenvolvidos em *atelier* para que utilizassem a ferramenta durante o processo de projeto e percebessem como a ferramenta poderia

ajudar na solução de problemas de projeto referentes a conceitos de conforto. A apresentação em forma de seminário pretendia que o aluno desenvolvesse a atividade com maior responsabilidade. Desta forma, pretendia-se ensinar os alunos a metodologia de simulação e estimulá-los a utilizá-la em seu cotidiano de projeto.

7.4.1.1 Atividades realizadas

A primeira aula da disciplina foi dedicada à apresentação do cronograma aos alunos. Além de apresentar a disciplina, os alunos responderam a um questionário (Apêndice A) para que fosse possível analisar como eles tratam as questões de conforto durante o processo de projeto.

A aula 2 foi utilizada para apresentação da metodologia de simulação e da ferramenta (*ECOTECT*). Os alunos tiveram o primeiro contato com a ferramenta de visualização *Open GL* (Ilustração 54). Alguns alunos ainda esperavam imagens como as do 3d Studio (Ilustração 55), o que demonstrou a necessidade de apresentação de interfaces de outros programas de simulação.

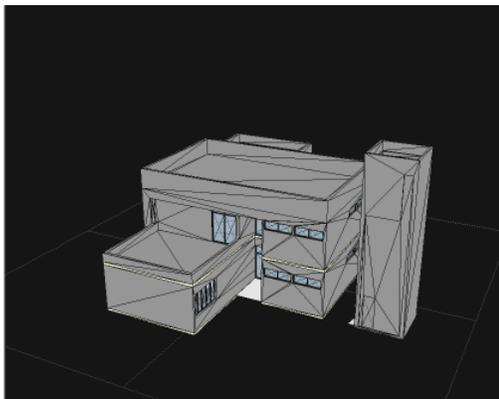


Ilustração 89 - Imagem gerada pelo Open GL, no *ECOTECT*

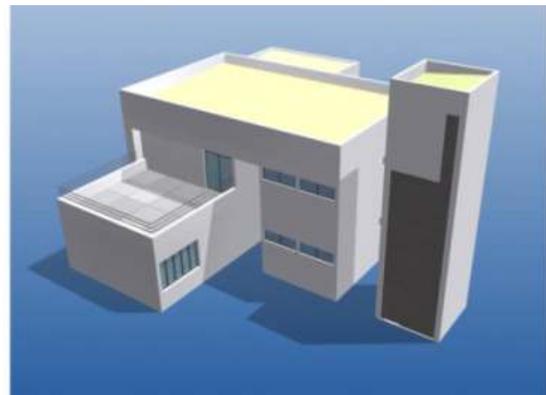


Ilustração 90 - Imagem gerada pelo programa 3d Studio

Uma breve revisão sobre máscara de sombras foi apresentada no início da terceira aula. Após a revisão, os alunos aprenderam os comandos do programa para realização das análises. Na segunda metade da aula, os alunos desenvolveram pequenos exercícios com tutoriais do programa.

Os tutoriais foram elogiados pelos alunos, que acharam mais prático fazer os exercícios sozinhos, por não precisarem esperar pelos colegas, como no método tradicional de ensino “passo-a-passo”.

Na aula seguinte (aula 04), foram revisados os métodos de cálculo de iluminação natural. Depois da exposição teórica, foi demonstrado o método de cálculo do *ECOTECT* (que segue o modelo do CIE - *Commission Internationale de l'Eclairage*), e os comandos necessários para esta avaliação. Como na aula anterior, os alunos desenvolveram o tutorial em sala, e a visualização dos resultados de iluminação no *Open GL* foi muito bem aceita.

O primeiro passo para simulação térmica de edifícios foi dado nas aulas 5 e 6. Nestas aulas, foi realizada uma revisão sobre conceitos de trocas térmicas em ambientes e ensinado aos alunos os conceitos fundamentais para zoneamento de edifícios a serem modelados no *ECOTECT*.

Os alunos fizeram em sala o exercício referente a zoneamento de dois edifícios que lhes eram bastante familiares o edifício padrão da Unicamp e o prédio de salas de aulas da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

Além de retomar o conteúdo da aula anterior, na aula 06 foi apresentado aos alunos um exemplo de simplificação, de um modelo no programa AutoCAD e a maneira correta para importar arquivos de programas CAD pelo *ECOTECT*. Alguns alunos iniciaram o zoneamento térmico do projeto escolhido para realização do exercício 5, específico de simulação térmica, a ser desenvolvido durante três semanas.

Neste período de três semanas, os alunos desenvolveram os projetos extra-classe e utilizavam o horário das aulas para tirar dúvidas individualmente. Para a realização deste exercício, os alunos escolheram projetos de pequeno porte que tenham sido construídos em uma das cidades brasileiras com arquivo climático conhecido (Tabela 9). Os resultados obtidos com as simulações foram apresentados em forma de seminários durante a aula 10.

No exercício 05 os alunos simularam um edifício existente. Eles deveriam elaborar alternativas de projeto se o edifício apresentasse desempenho inferior ao desejado. Para realização do exercício os alunos:

- planejaram a modelagem;
- modelaram o projeto no *ECOTECT*;
- realizaram análises de sombras e insolação (iluminação natural), realizaram as simulações de conforto térmico;

- analisaram resultados;
- definiram se havia necessidade de efetuar modificações no modelo; e
- reiniciaram as simulações ou finalizaram o modelo.

Alternativas de projeto, metas de desempenho e, novamente, interfaces de outros programas foram apresentados aos alunos na aula 11.

Na aula 12 foram revisadas as características termofísicas de materiais construtivos e realizado um exercício de comparação das características termofísicas dos materiais construtivos utilizados na primeira simulação (exercício 5) com a biblioteca de materiais do programa. Como parte da atividade sobre materiais, os alunos inseriram novos materiais na base de dados do programa, a serem utilizados na simulação de seus projetos.

A aula 13 contou com a presença de um especialista em acústica de ambientes. Foi realizada uma revisão de conceitos acústicos e, demonstradas aos alunos, duas simulações onde foram analisados o tempo de reverberação e o comportamento dos raios acústicos dentro do ambiente.

O último exercício desenvolvido pelos alunos foi a simulação de um projeto elaborado por eles em disciplinas de projeto (exercício 6), com a finalidade de verificar se e como a ferramenta os auxilia no processo de projeto. Alunos que não estavam cursando nenhuma disciplina de projeto naquele semestre realizaram a simulação de projetos desenvolvidos em semestres anteriores. Os resultados das simulações foram apresentados na aula 15. O exercício 6 obedeceu aos mesmos passos do exercício 05.

7.4.1.2 Análise dos resultados obtidos com as atividades realizadas

No exercício de divisão do modelo em zonas térmicas, dois métodos de ensino foram testados. Os alunos foram divididos em dois grupos: o primeiro grupo recebeu a explicação do conceito de zonas térmicas e realizou o exercício individualmente; o segundo grupo recebeu a explicação do conceito de zonas térmicas e atendimento individualizado para resolução dos exercícios.

A abordagem com melhores resultados foi conseguida com o segundo grupo onde houve a combinação de exposição da teoria e atendimento individualizado na solução do problema. O atendimento individualizado aos alunos tem influência direta no

tamanho ótimo das turmas de simulação e vai de encontro as recomendações³⁸ de Hand, 1998.

Com o exercício de zoneamento de edifícios, também foi possível detectar a dificuldade dos alunos com a simplificação do modelo. Apesar de terem declarado entendimento do conteúdo teórico, o erro mais comum foi o excesso de zonas (Ilustração 91). Outro erro surgiu na determinação de trocas térmicas do envelope com o meio externo, quando em alguns casos foi ignorada a diferença de orientação da fachada. Apesar de aparecer em menor proporção, este erro é mais grave e compromete seriamente a credibilidade dos resultados da simulação.

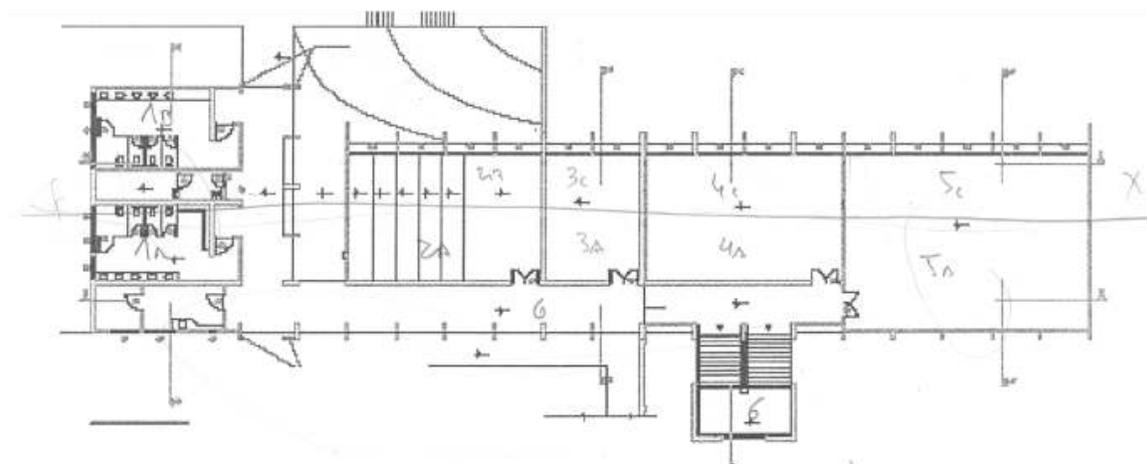


Ilustração 91 - Exercício solucionado equivocadamente por um aluno. Excesso de zonas que acarreta em elevação do tempo de simulação sem necessariamente contribuir para a melhoria na qualidade dos resultados

O resultado esperado é apresentado nas Ilustrações Ilustração 92 a e b.

³⁸ Em demonstrações realizadas ao redor do computador o número de alunos que observam a tela não deve ser superior a seis. A relação instrutor/aluno em cursos introdutórios deve ser 1:6 sendo a melhor relação 1:4. Já em cursos avançados a relação instrutor/aluno deve ser 1:5 sendo 1:3 a melhor relação.

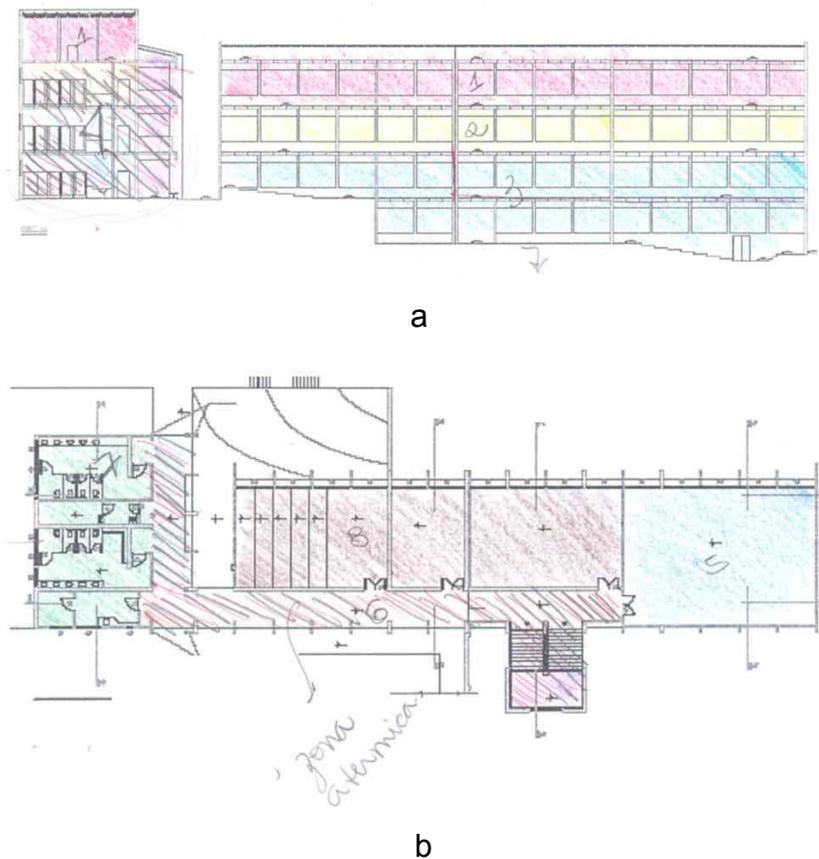


Ilustração 92 a e b - Resultado apresentado por aluno que representa o resultado esperado na divisão de zonas para o edifício de salas de aula da FEC

No exercício de simulação de projeto de pequeno porte já construído (exercício 5), os alunos tiveram preferência por realizar análises de insolação e iluminação a fazer simulações térmicas e, conseqüentemente, balizaram a maior parte das alterações dos projetos nas análises de iluminação. Algumas das simulações são apresentadas a seguir.

A Ilustração 93 à Ilustração 96, demonstram claramente esta preferência. O aluno escolheu uma escola na cidade de São Paulo para realizar o exercício de simulação. A primeira análise realizada por ele foi de insolação nas salas de aula e pátios da escola.

Com a verificação de insolação direta nas salas de aula no período da manhã no inverno, o aluno elaborou um *brise* e verificou sua efetividade com o programa *ECOTECH*.

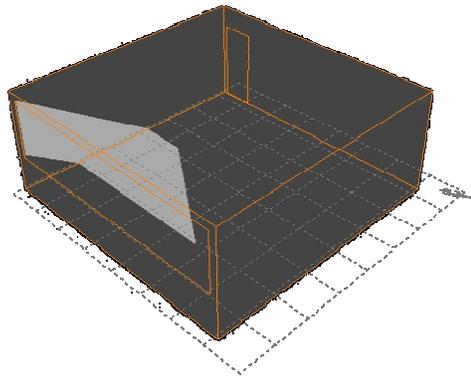


Ilustração 93 - Análise de sombras dentro de uma sala de aula no período de Solstício Inverno 8:30

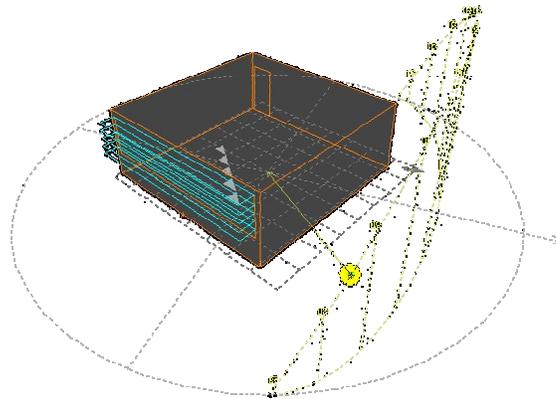


Ilustração 94 - Proposta de intervenção elaborada pelo aluno

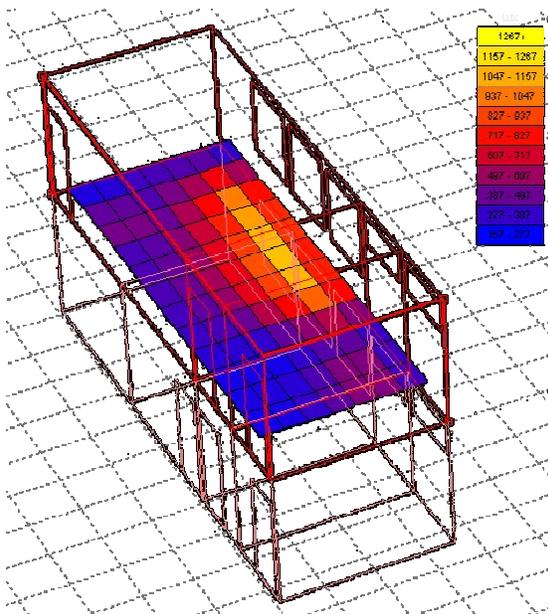


Ilustração 95 - Análise de iluminação natural dentro de uma sala de aula (projeto original)

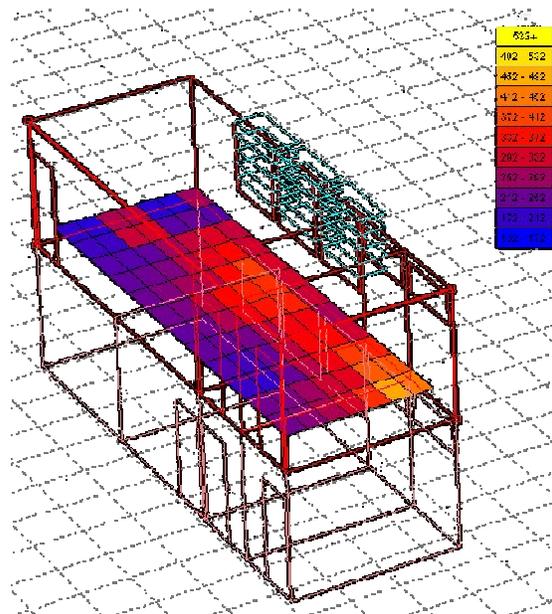


Ilustração 96 - Análise de iluminação natural dentro de uma sala de aula (intervenção do aluno)

Com base na análise de insolação dos pátios o aluno verificou que o pátio coberto recebia radiação solar direta nas manhãs de inverno, fato percebido como favorável, pois no período da manhã o pátio coberto será aquecido naturalmente e no

período da tarde, o pátio é quase todo sombreado, o que, julgou, melhorar seu desempenho térmico.

A não realização da análise de desempenho térmico foi justificada pelo aluno por problemas com o *hardware*. O tempo de processamento da simulação superou o tempo disponível para finalização da tarefa. o aluno demonstra nas Ilustração 97 à Ilustração 99 que dominou a etapa de zoneamento térmico e modelagem do edifício.

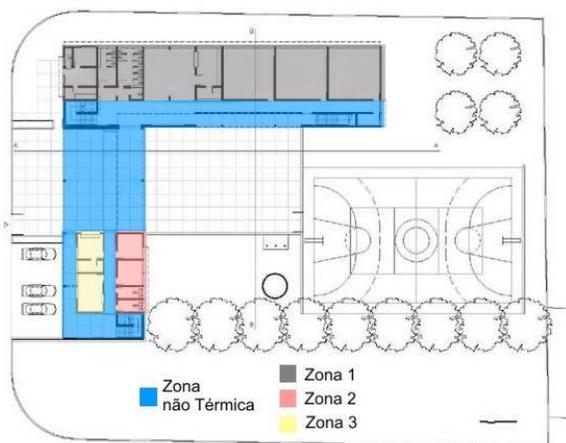


Ilustração 97 - Divisão de um edifício escolar em zonas térmicas (pavimento térreo)



Ilustração 98 - Divisão de um edifício escolar em zonas térmicas (primeiro pavimento)

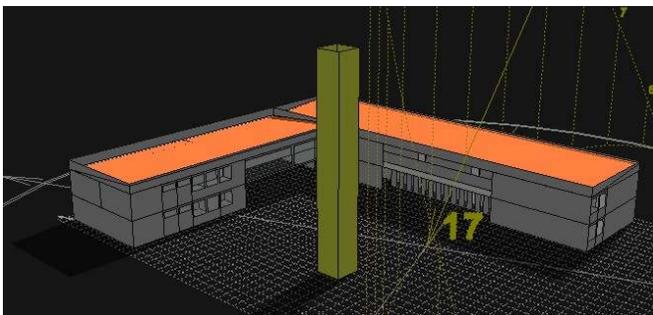


Ilustração 99 - Visualização do modelo elaborado para análise de comportamento ambiental do edifício escolar

Já na simulação do projeto de uma residência do arquiteto Marcos Acayaba, conhecida como “casa T”, o aluno fez simulações de desempenho térmico e de iluminação, tanto do projeto original como de alternativas para melhoria do desempenho ambiental.

O aluno fez as simulações em duas etapas: a primeira considerando as janelas abertas (Ilustração 100); e, numa segunda etapa as janelas são protegidas com anteparos, no caso brises horizontais de madeira (Ilustração 101). Assim o aluno pode observar qual o efeito causado pelos dois extremos e concluir como seria situação real do projeto (que é utilizado com estas duas possibilidades).

As análises de iluminação natural indicam que o desempenho dos ambientes é satisfatório. Ainda assim o aluno julgou que o desempenho poderia ser melhorado com o prolongamento do beiral em 1,5 m (Ilustração 102), alternativa proposta pelo aluno.

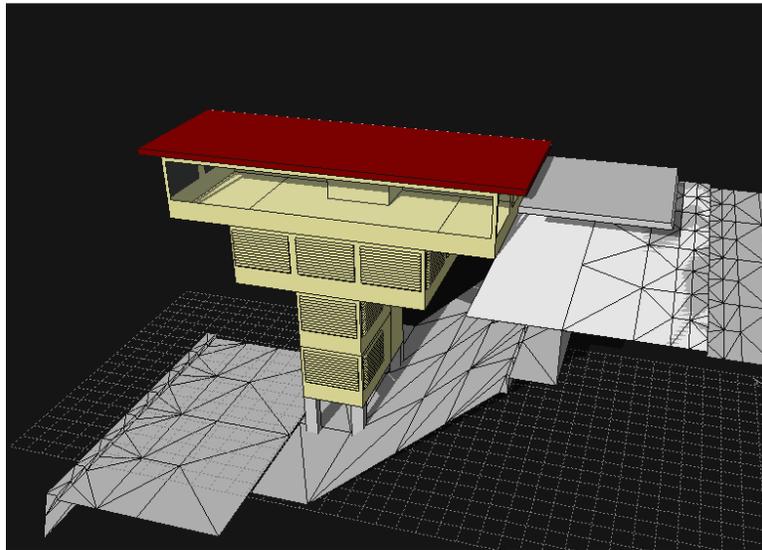


Ilustração 100 - Simulação da residência, projetada pelo arquiteto Marcos Acayaba, considerando as janelas abertas

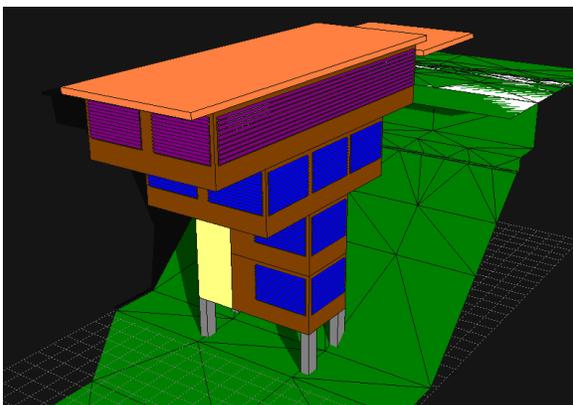


Ilustração 101 - Simulação da residência, projetada pelo arquiteto Marcos Acayaba, considerando as janelas protegidas por *brises*

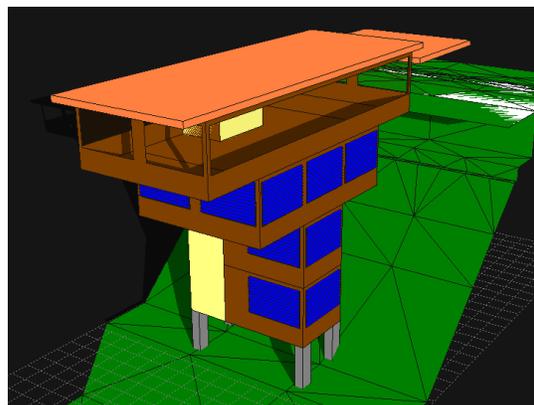


Ilustração 102 - Simulação da residência, projetada pelo arquiteto Marcos Acayaba, com prolongamento do beiral (proposta de intervenção do aluno)

É interessante notar, que para a análise de iluminação no interior da residência o aluno utiliza dois tipos de visualização dos resultados com o modelo em perspectiva. Um com os dados no plano de trabalho, utilizando somente a escala de cores, e o segundo com os dados em escala 3d, além da escala de cores (Ilustração 103 e Ilustração 104). Além disso, o aluno utiliza fotografias do edifício para estabelecer comparações com o resultado obtido com a simulação (Ilustração 105).

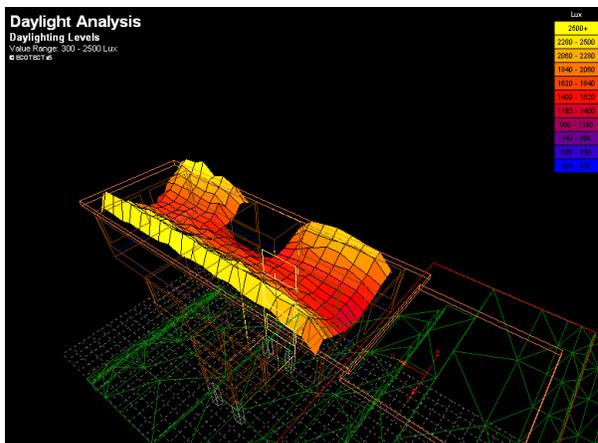


Ilustração 103 - Resultado da simulação natural no interior da residência (resultado representado em 3d)

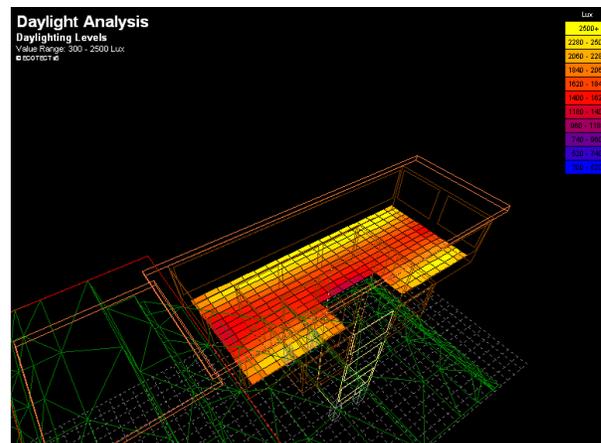


Ilustração 104 - Resultado da simulação natural no interior da residência



Ilustração 105 - Foto da residência, utilizada para fazer comparações com os resultados obtidos com a simulação

Através da análise do resultado da simulação da casa com *brises*, no período de verão, o aluno conclui que a casa tem bons níveis de conforto, já que mesmo em temperaturas quentes na zona externa a casa mantém-se em níveis mais regulares e amenos, o que levou o aluno a acreditar que há um bom planejamento de ventilação, volumetria e posição de aberturas. Neste caso a ventilação é o fator principal para o bom desempenho da edificação.

Com a simulação térmica, para o período de o inverno, o aluno observou que a casa mantém sua temperatura interna superior a externa, o que considerou ideal para residências.

O aluno destacou que o programa utiliza para seus cálculos uma tabela com dados que podem ser úteis para a concepção do projeto, como área total das aberturas e área total exposta (Ilustração 106).

| All Visible Thermal Zones | | |
|---------------------------|-------------------------|--------------------|
| Total Surface Area: | 1105.420 m ² | (513.9% flr area). |
| Total Exposed Area: | 649.172 m ² | (301.8% flr area). |
| Total North Window: | 0.000 m ² | (0.0% flr area). |
| Total Window Area: | 189.600 m ² | (88.1% flr area). |
| Total Conductance: | 2745.5 W/K | |
| Total Admittance: | 4551.6 W/K | |

Ilustração 106 - Tabela de dados elaborados pelo *ECOTECT*, durante os cálculos de desempenho acústico

O aluno realiza também análises de desempenho térmico considerando as janelas sem *brises* e com o prolongamento do beiral (sugestão de alteração do projeto) e conclui que a utilização do beiral também contribui para o melhor desempenho térmico do ambiente.

A casa de vidro da arquiteta Lina Bo Bardi, também foi simulada. Com base na análise de iluminação natural a aluna concluiu que a proteção solar da sala é feita principalmente pelas árvores do entorno. Praticamente toda a vedação lateral é feita por vidros, sendo que em alguns pontos existem grandes janelas deslizantes para ventilação. A sala não possui qualquer beiral, prateleira de luz ou *brise*.

Na análise feita sem considerar as árvores do entorno ou a árvore inserida na sala, a aluna identificou que o fator de luz diurna médio ficou em torno de 26,70%, com as árvores este valor diminuiu para 23,74% (Ilustração 107 à Ilustração 108).

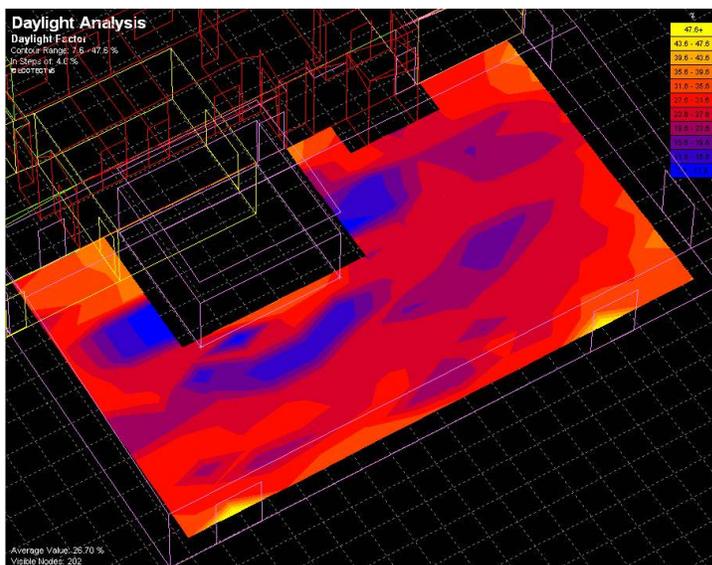


Ilustração 107 - Resultado da simulação de desempenho natural na casa de vidro, sem influência da vegetação do entorno

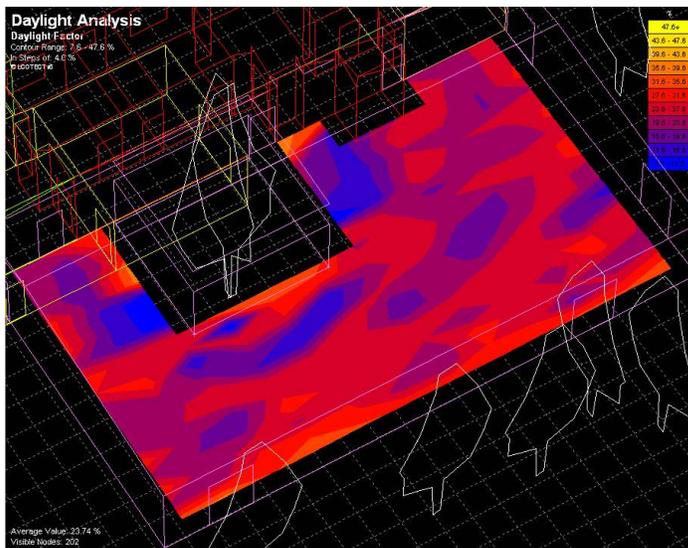


Ilustração 108 - Resultado da simulação de desempenho natural na casa de vidro, com influência da vegetação do entorno

Com a simulação de desempenho térmico a aluna verificou que a sala apresentou a maior variação de temperatura, entre todos os ambientes. A aluna acredita que isso ocorra por ser este o ambiente que realiza mais trocas térmicas com exterior (através do telhado, e principalmente pelos fechamentos em vidro). No dia mais frio do ano (30 de julho), a temperatura média encontrada foi de 15,7°C, com pouca variação térmica, enquanto no dia mais quente do ano (15 de dezembro) a temperatura média encontrada foi 25,5°C, variando de 24,1°C à 30,4°C. O piso térreo (semi-enterrado) apresentou menor variação térmica ao longo do ano. A aluna não fez nenhuma intervenção no projeto original.

Apenas uma simulação de desempenho térmico foi comprometida por erro de zoneamento térmico do edifício (Ilustração 109). Neste caso dois ambientes com aberturas em orientações totalmente diferentes (um ambiente com aberturas na orientação norte e sul e outro oeste), são colocados na mesma zona térmica.

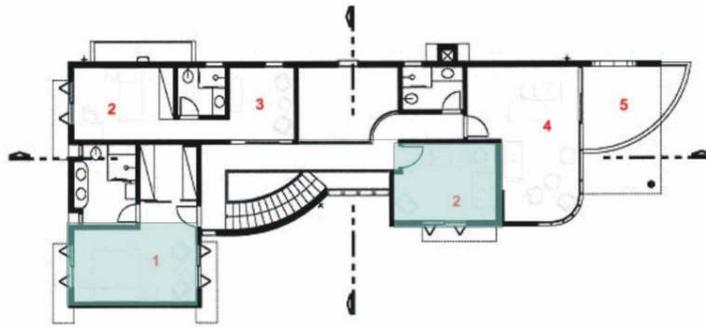


Ilustração 109 - Erro de zoneamento, ambientes com aberturas em diferentes orientações colocados na mesma zona

Os alunos relataram que as maiores dificuldades encontradas para realização de simulação de desempenho térmico, se deve ao mau dimensionamento no tempo para execução da tarefa, e dificuldade de escolha de materiais (barreira do idioma, desconhecimento das características termofísicas, quantidade limitada de materiais para escolha).

Em quase todos os projetos houve adaptação do modelo à ferramenta: um terreno em declive foi modelado em outro programa e importado pelo ECOTECT (Ilustração 110 e Ilustração 111), pisos semi-enterrados também necessitaram de artifícios para que a ferramenta fizesse os cálculos de trocas térmicas mais próximos do real (Ilustração 112 e Ilustração 113).

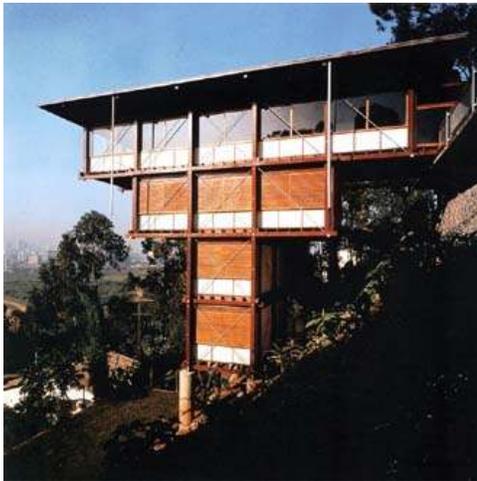


Ilustração 110 - Residência projetada pelo arquiteto Marcos Acayaba e simulada por um dos alunos

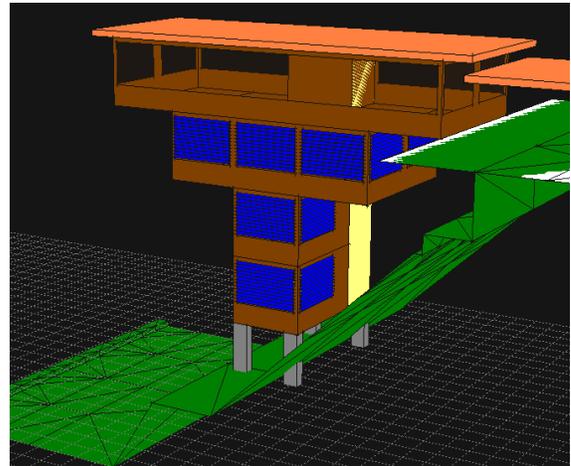


Ilustração 111 - O modelo da residência precisou que a superfície do terreno fosse modelada em outro programa (Rhinceros3D)



Ilustração 112 - O terreno original da casa de vidro é em declive, porém o programa ECOTECT 5.2, não simula terrenos em declive, o plano do (eixo $z=0$) é o terreno

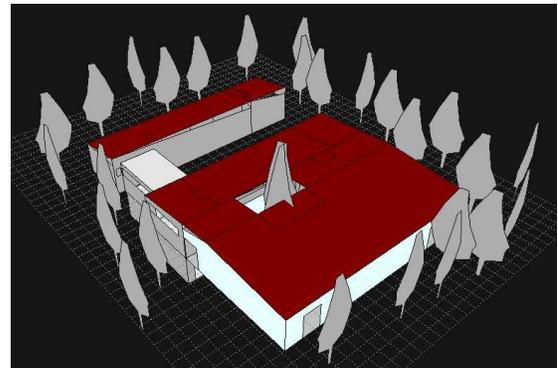


Ilustração 113 - Modelo com uma zona onde seria a rampa, desta forma, utilizou-se uma zona intermediária para que não ocorressem trocas térmicas do solo com as paredes que, no projeto real, estão acima da cota zero

Além da dificuldade em driblar a geometria, o uso de vegetação frustrou um dos alunos. No programa existe um modelo de árvore, porém, o mesmo é representado como um material opaco (parede) que não corresponde às características termofísicas da vegetação. Quando sabe-se que a vegetação tem menor capacidade e condutividade térmica do que os materiais de construção; a radiação solar é absorvida pelas folhas em especial, e assim a reflexão da radiação é muito pequena; as plantas

também controlam as velocidades dos ventos; e a evaporação é muito mais alta nas áreas verdes do que em áreas sem plantas (DELBIN, FONTES, 2001).

É compreensível que alguém que esteja sendo iniciado em simulação se desaponte com estas limitações, porém, deve-se deixar claro que outros programas também não utilizam vegetação e que cada ferramenta apresenta uma série de barreiras ao seu uso (modelagem, descrição do edifício e edição de materiais).

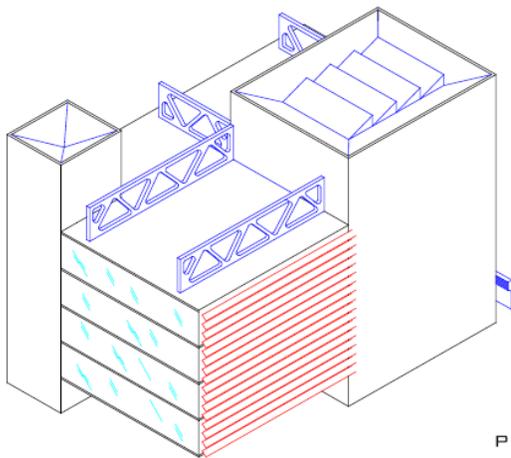
Com o exercício de construção de materiais os alunos perceberam que haviam escolhido materiais de forma equivocada por erro de tradução ou falta de atenção no momento da escolha dos materiais.

Em alguns casos alegaram dificuldade para encontrar a maioria das propriedades térmicas dos materiais nacionais. Comentaram que a dificuldade de obtenção de dados ocorreu por diversas razões: diferença de unidades entre tabelas de materiais nacionais e a biblioteca do *ECOTECT*; termos em inglês; e, dificuldade de encontrar propriedades térmicas de materiais heterogêneos.

A atividade seguinte foi a simulação elaborada pelos próprios alunos em disciplinas de projeto (exercício 6). São destacados e apresentados cinco trabalhos elaborados pelos alunos. Os dois primeiros exemplos são de projetos já finalizados em semestres anteriores, pois os alunos não estavam matriculados em disciplinas de projeto no semestre em curso. Os três últimos projetos são de alunos que cursavam a disciplina de projeto AU 117 – Teoria e Projeto VII: Acústica Arquitetônica (7º semestre), que tinha como ênfase o estudo de desempenho acústico de uma sala de cinema.

O primeiro projeto apresentado (Ilustração 114 à Ilustração 123) foi elaborado na disciplina AU 118: Teoria e Projeto VIII: Complexidade (8º semestre). A proposta era a criação de uma biblioteca pública.

A aluna havia elaborado algumas soluções de projeto no decorrer da disciplina de projeto mencionada, sempre mantendo dois blocos de concreto com fechamento em vidro. Na primeira solução (Ilustração 114 e Ilustração 116) a aluna colocava *brises* nas fachadas para proteção solar da área de leitura e uma abertura zenital para a área do acervo, no entanto, a solução plástica não a agradava.



PI

Ilustração 114 - Primeiro estudo apresentado para o projeto de uma biblioteca, modelo criado no AutoCAD

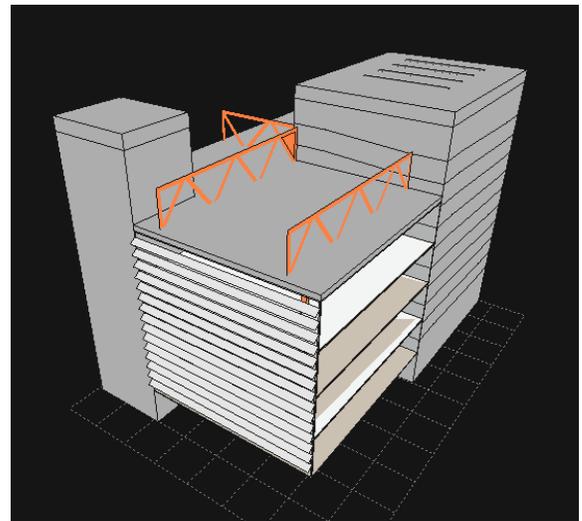
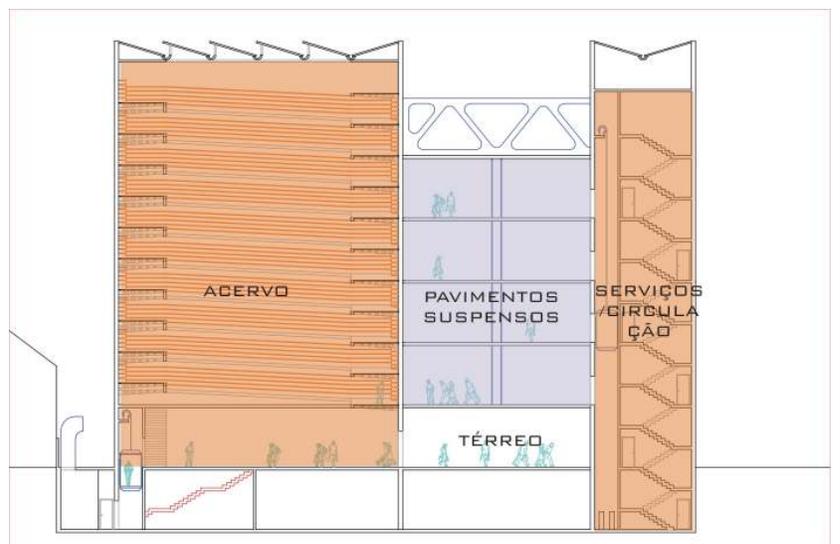


Ilustração 115 - Simulação do primeiro estudo do projeto da biblioteca



CORTE ESTUDO

Ilustração 116 - Corte do primeiro estudo elaborado para o projeto de uma biblioteca

Como uma alternativa para modificar a fachada do edifício e bloquear a radiação solar direta, a aluna utilizou as rampas de acesso ao piso superior como protetor solar (Ilustração 82 e Ilustração 83).

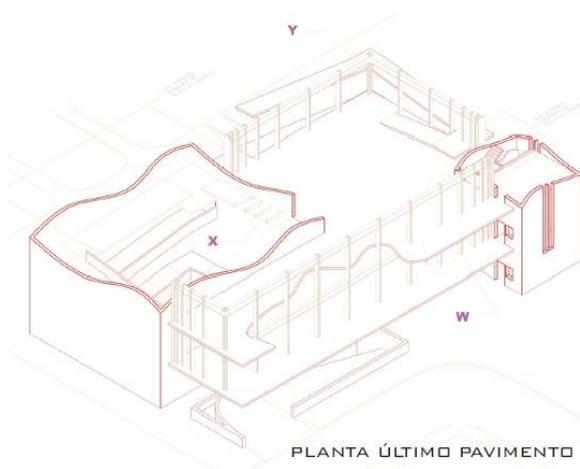


Ilustração 117 - Segundo estudo realizado em AutoCAD para o projeto da biblioteca

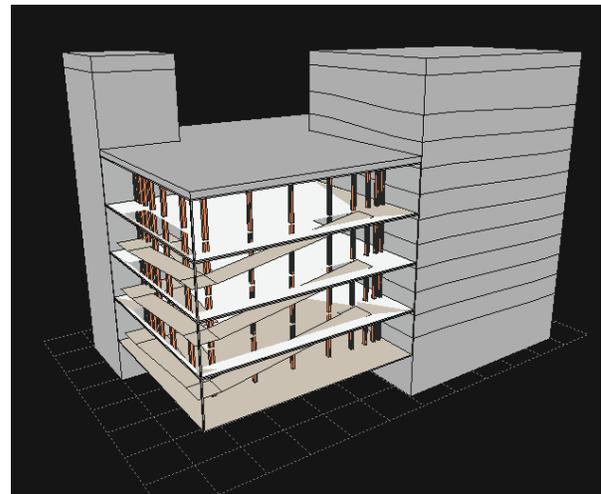


Ilustração 118 - Simulação do segundo estudo realizado em AutoCAD para o projeto da biblioteca

Quando as simulações foram realizadas com o programa *ECOTECH*, a aluna percebeu que nenhuma das soluções escolhidas por ela solucionava o problema de distribuição de iluminação natural dentro dos espaços projetados e o desempenho térmico também era inferior a meta estabelecida.

A simulação de iluminação natural, do primeiro estudo desenvolvido pela aluna, revelou que a iluminação, na área do acervo, estava abaixo da necessária para o desenvolvimento de atividade de leitura e pesquisa (Ilustração 119), os *sheds* não proporcionavam a iluminação desejada. Nas áreas destinadas a leitura havia boa distribuição da iluminação natural nas laterais protegidas pelos *brises*, já nas outras laterais, os níveis de iluminação ultrapassavam o limite desejado (Ilustração 120).

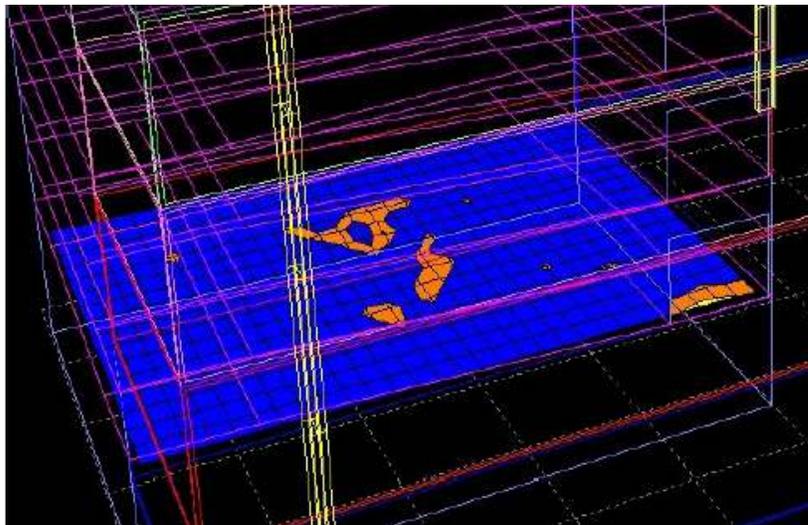


Ilustração 119 - Iluminação na área do acervo, média de 200lux

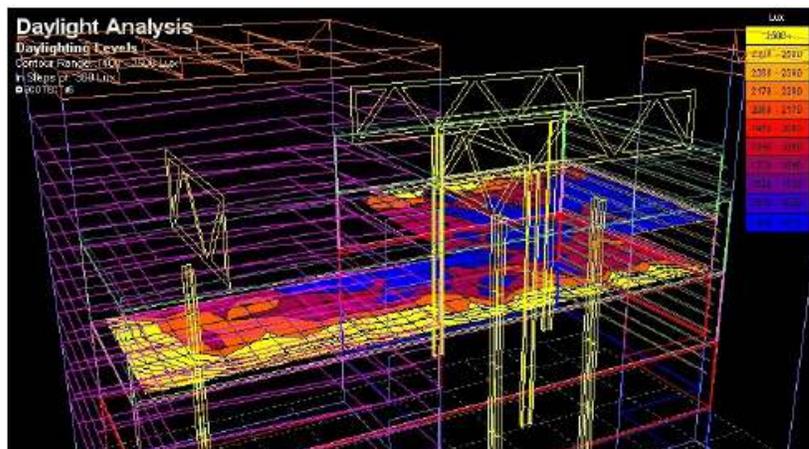


Ilustração 120 - Iluminação na área de leitura, até 2000lux próximo a fachada

A simulação térmica para o mesmo projeto, indicou grande desconforto na área destinada a leitura (calor excessivo no verão). Na área do acervo, a aluna detectou grande desconforto (por frio) no período de inverno.

A simulação da segunda proposta (utilização das rampas em substituição aos *brises*) revelou que o padrão de comportamento térmico não se alterava, e a distribuição da iluminação nos espaços de acervo e leitura continuavam ineficientes.

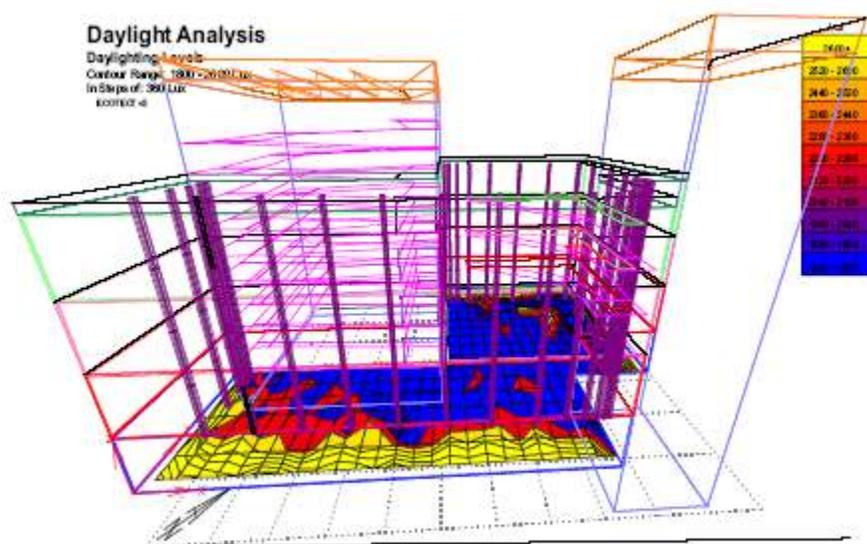


Ilustração 121 - Iluminação na área de leitura com as rampas como protetores solares. O resultado não difere muito da solução anterior

Assim, a aluna elaborou uma nova proposta para o projeto. Utilizou uma tela metálica para proteção da fachada (Ilustração 122) e modificou alguns materiais de acabamento.

Após refazer as simulações julgou que a distribuição da iluminação dentro dos ambientes da biblioteca havia melhorado consideravelmente (Ilustração 123).

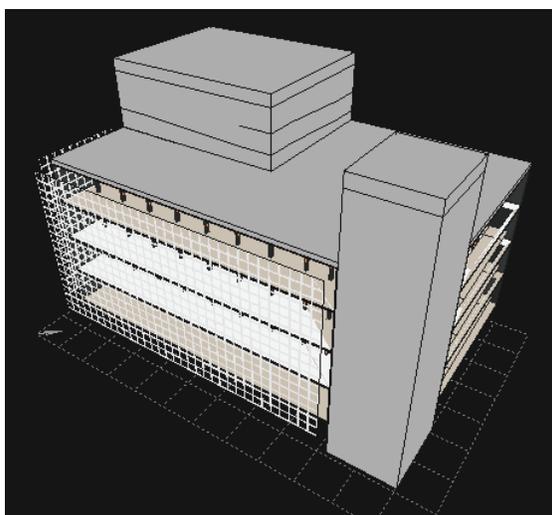


Ilustração 122 - Solução final encontrada com o auxílio do programa ECOTECH

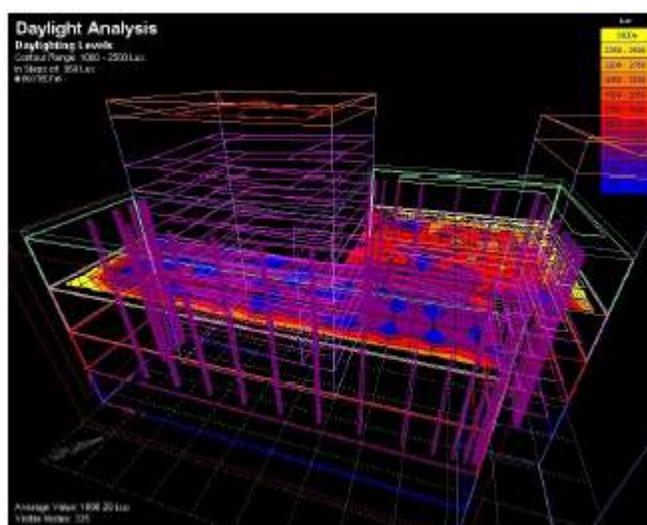


Ilustração 123 - Simulação de iluminação natural no terceiro piso da biblioteca

A aluna também concluiu que a utilização do programa possibilitou análises concretas sobre o desempenho térmico e luminoso do projeto. Afirmou ainda, que se houvesse utilizado o programa no desenvolvimento do projeto, desde a elaboração do partido, o resultado final seria diferente, pois a escolha pelos blocos de concreto com fechamento em vidro teria sido descartada desde as primeiras simulações.

A aluna comentou que o programa tornou-se muito lento quando foram inseridos detalhes ao modelo, e em alguns casos, não foi possível finalizar a simulação.

O segundo projeto refere-se a um centro empresarial projetado na disciplina de AU 116: Teoria e Projeto IV: Iluminação Natural e Conservação de Energia (4º semestre). A idéia inicial do aluno está representada na Ilustração 124 *a* e *b* e a solução final para o projeto na Ilustração 129.

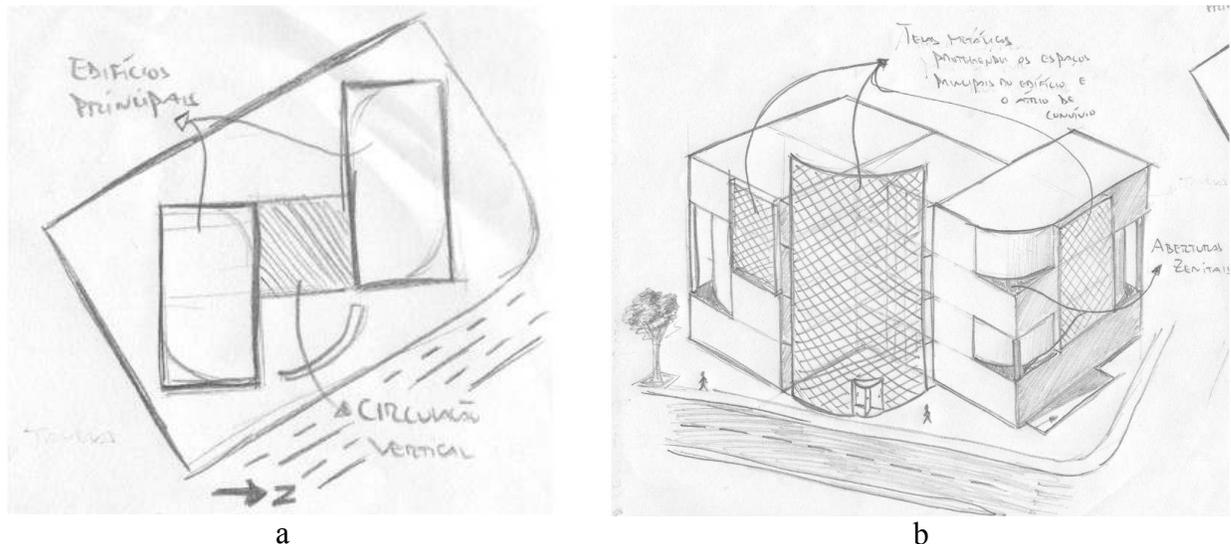


Ilustração 124 *a* e *b* - Croquis do projeto de um centro empresarial desenvolvido na disciplina de projeto iluminação natural

O aluno iniciou seus estudos com o *ECOTECH* baseado nos croquis apresentados na Ilustração 124 *a* e *b*. As primeiras simulações analisaram a distribuição de luz natural dentro dos ambientes. O aluno considerou, pelos resultados obtidos, que havia necessidade de criar protetores solares. Utilizou a ferramenta que cria dispositivos otimizados para o *ECOTECH* para guiá-lo na elaboração de seus *brises* (Ilustração 125 à Ilustração 127).

Após elaborar e combinar diversas alternativas no projeto, o aluno obteve um modelo (Ilustração 130) que, segundo seu julgamento, combinava o melhor

desempenho entre as soluções estudadas e com resultado estético mais agradável que a elaborada originalmente na disciplina de projeto (Ilustração 129).

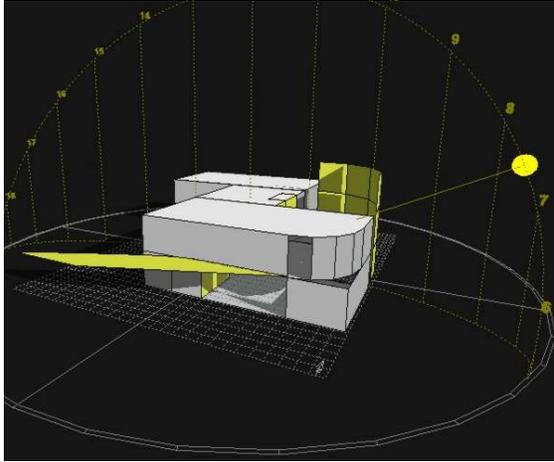


Ilustração 125 - Elaboração de um *brise* otimizado pelo programa ECOTECT

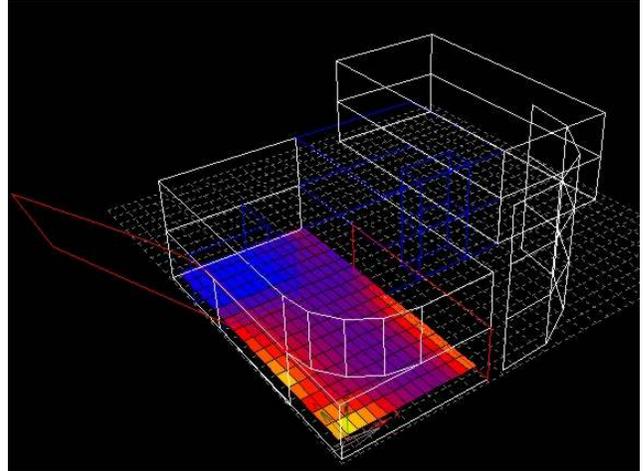


Ilustração 126 - Estudo de distribuição de iluminação natural dos ambientes protegidos pelo *brise* otimizado pelo programa ECOTECT

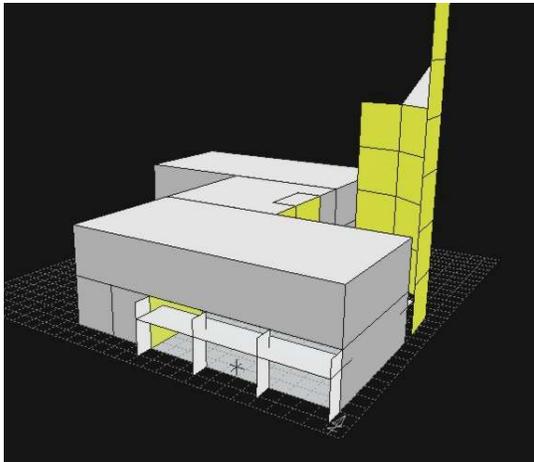


Ilustração 127 - *Brise* elaborado a partir da solução do *brise* otimizado

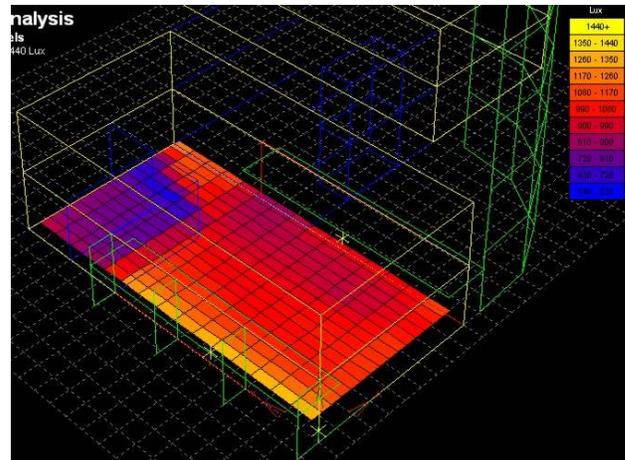


Ilustração 128 - Estudo de distribuição de iluminação natural dos ambientes protegidos pelo *brise*

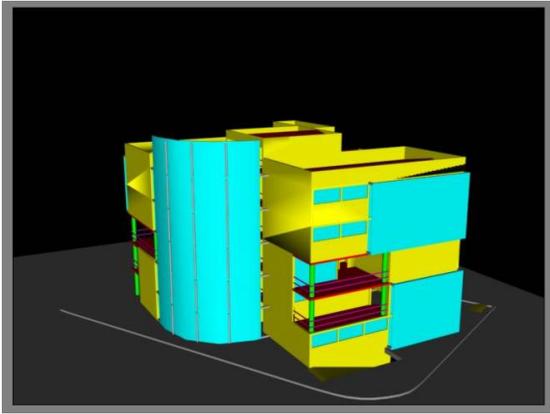


Ilustração 129 - Solução desenvolvida durante a disciplina de projeto. Modelo criado no programa AutoCAD

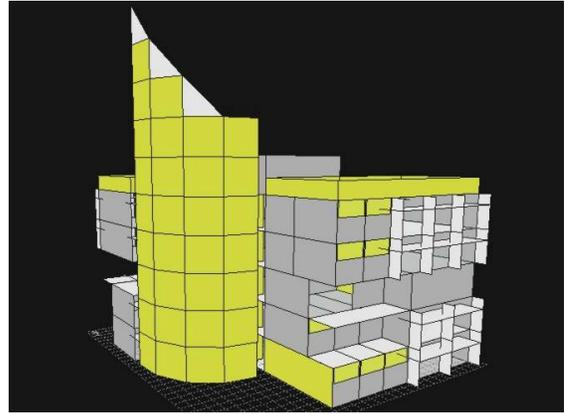


Ilustração 130 - Solução encontrada com a utilização do programa ECOTECT

As próximas três simulações foram realizadas com projetos em andamento na disciplina AU 117 - Teoria e Projeto VII: Acústica Arquitetônica, onde os alunos deveriam projetar uma sala de cinema.

O primeiro projeto é composto por quatro salas de cinema, todas de mesmo tamanho e geometria. Para este projeto foram realizadas as seguintes simulações: 1) tempo de reverberação (TR) e comportamento acústico das salas de cinema; 2) iluminação da sala de projeção; e 3) implantação do complexo no lote.

As simulações do tempo de reverberação da sala foram realizadas em situações distintas sem e com material de revestimento.

Através destas simulações, o aluno fez as escolhas dos materiais de revestimentos mais adequados, para o tempo de reverberação ideal no interior da sala de cinema. O próximo passo foi a simulação do comportamento dos raios acústicos no interior do ambiente, como pode ser observado nas ilustrações 96 a à d.

O aluno declarou que no cálculo de desempenho acústico o programa mostrou ser uma ferramenta eficiente de auxílio ao processo projetual, ajudando na escolha de materiais para o cálculo do tempo de reverberação.

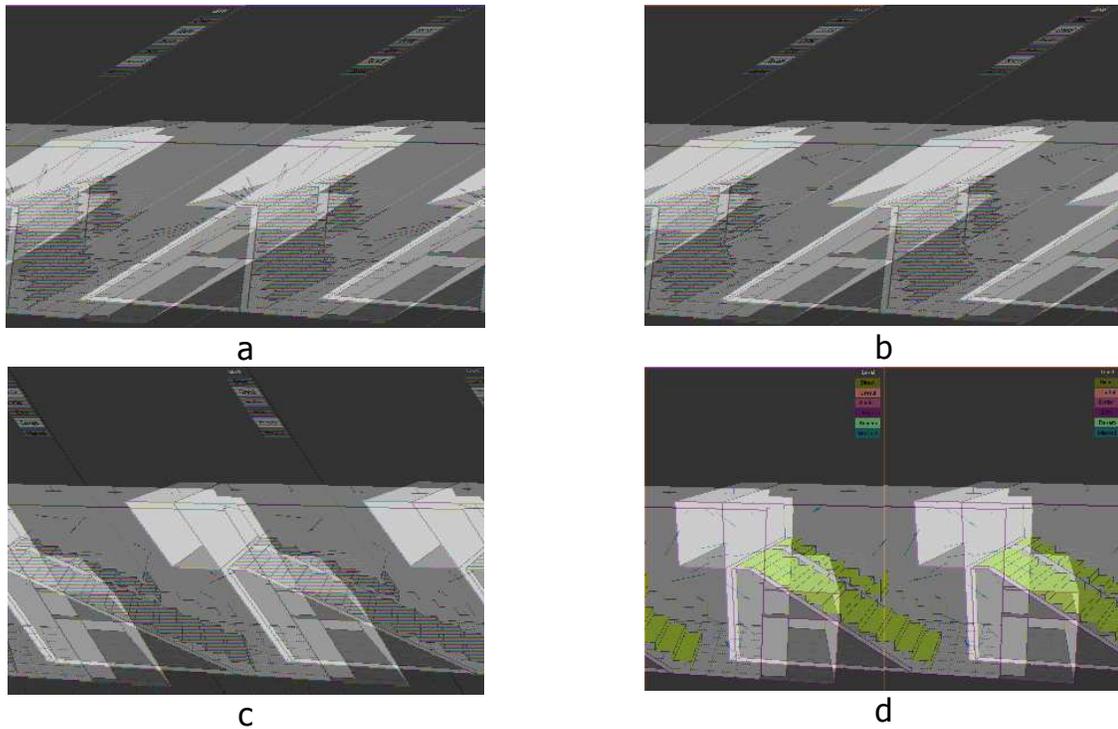


Ilustração 131 - Análise de comportamento dos raios acústicos no interior da sala de cinema

Os níveis de iluminação da sala de projeção também foram simulados. O aluno considerou que a simulação era importante, pois deveria quantificar a iluminação do ambiente e sua possível interferência na sala de cinema (ilustrações 97 a 99).

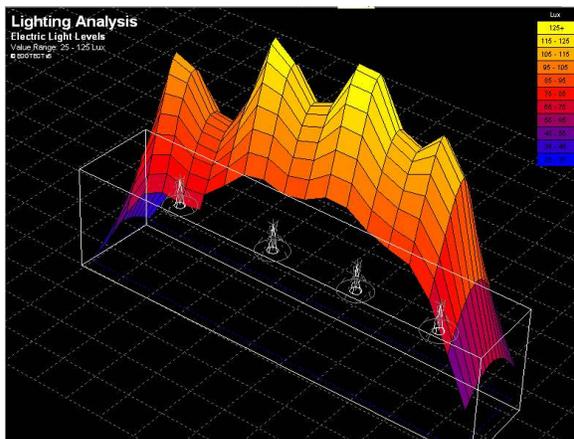


Ilustração 132 - Resultado da simulação dos níveis de iluminação artificial dentro da sala de projeção, obtido com o programa *ECOTECT* (resultado em 3d).

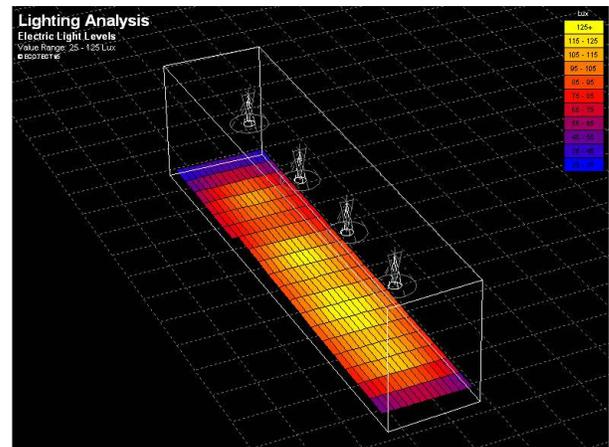


Ilustração 133 - Resultado da simulação dos níveis de iluminação artificial dentro da sala de projeção, obtido com o programa *ECOTECT* (resultado em 2d).



Ilustração 134 - Resultado da simulação dos níveis de iluminação artificial dentro da sala de projeção, obtido com o programa Rhinoceros3D

Uma terceira simulação foi elaborada para análise da implantação do complexo de cinemas no lote. O aluno acreditava que o estudo de orientação dentro do lote era importante para análise da exposição da fachada aos raios solares e análise da influência da insolação no desempenho térmico e lumínico dos ambientes internos. Para este estudo o aluno utilizou uma maquete virtual do complexo.

O aluno realizou uma avaliação da incidência de raios solares em um ponto do projeto utilizando as cartas solares elaboradas pelo *ECOTECH*. O resultado desta análise confirmou que a fachada em estudo necessitava de algum tratamento, e as soluções elaboradas pelo aluno foram à aplicação de *brises* horizontais e a elaboração de mais aberturas na fachada, que segundo seu julgamento, iriam possibilitar circulação de ar pelo efeito chaminé.

O aluno destaca que uma das características mais interessantes do *ECOTECH* é a possibilidade de elaboração da carta solar para qualquer ponto do projeto, demonstrando com precisão em que período este ponto estará protegido ou não de raios solares. Afirma também que o *software* foi importante para todo o processo de desenvolvimento do projeto. Na simulação das salas de cinema o mais importante, segundo ele, foi a escolha dos materiais de revestimento das paredes, forro e piso, além de materiais como portas e poltronas. A facilidade de visualização do comportamento através dos gráficos de tempo de reverberação do programa, que mostra os raios sonoros são grandes auxiliares no processo de projeto.

Outros alunos matriculados na disciplina AU 118, fizeram apenas as simulações acústicas (Ilustração 135 *a* e *b*) das salas de cinema projetadas por eles. O programa auxiliou no cálculo do tempo de reverberação e na distribuição dos raios dentro dos ambientes.

Os materiais de acabamento foram modificados para verificação do tempo de reverberação ideal, e os alunos declararam que a facilidade de troca de materiais, modificação da geometria e a velocidade de obtenção de uma resposta (comparado ao cálculo manual) compensam a dificuldade encontrada em algumas modelagens.

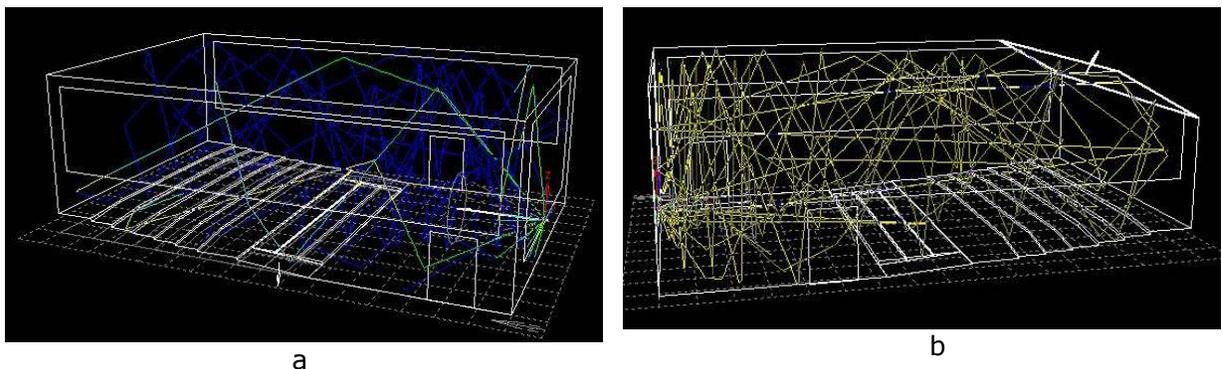


Ilustração 135 *a* e *b* - Estudo dos raios refletidos na sala original (*a*) e com modificação na geometria (*b*) (projeto de uma sala de cinema)

Uma das alunas apresenta o volume gerado pelo *ECOTECH*, para representar o modelo de sala de cinema elaborado por ela (Ilustração.101).

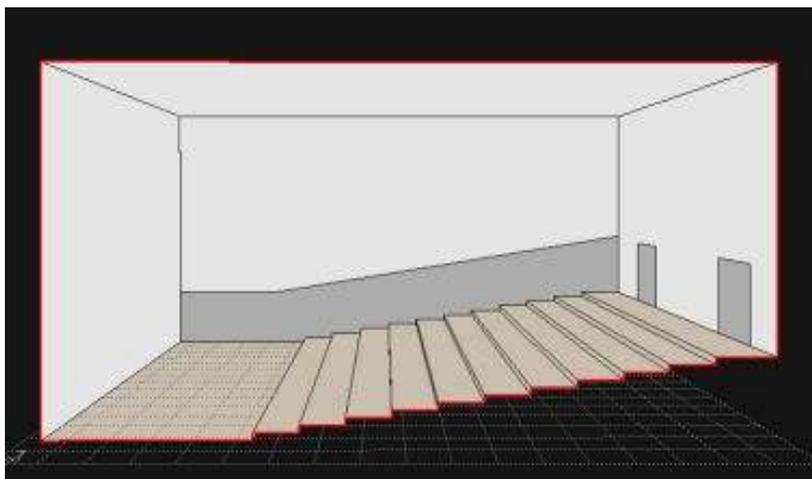


Ilustração 136 - Representação do modelo elaborado no *ECOTECH* para análise de comportamento acústico da sala de cinema

Através das simulações realizadas para análise de desempenho acústico (Ilustração 137 e Ilustração 138) a aluna fez as seguintes constatações: 1) para a frequência de 500Hz e todas as acima dela o tempo de reverberação satisfaz as condições para o conforto acústico do cinema; 2) para as baixas frequências os materiais escolhidos deixam muito a desejar, com o tempo de reverberação ultrapassando 3 segundos mesmo com 50% de ocupação.

A conclusão elaborada pela aluna é que a configuração dos materiais deste projeto é inadequada, sendo necessário pensar em soluções como painéis vibrantes ou *bass traps*.

| STATISTICAL ACOUSTICS - cinema | | <i>TOT. EMPTY</i> | | <i>50%</i> | <i>FULL</i> |
|--|-------------------------|-----------------------|--------------------|---------------|---------------|
| | | <i>FREQ.</i> | <i>ABS. RT(60)</i> | <i>RT(60)</i> | <i>RT(60)</i> |
| <i>Volume:</i> | 2091.720 m ³ | 63Hz: | 80.137 3.32 | 3.11 | 2.92 sec |
| <i>Surface Area:</i> | 1063.118 m ² | 125Hz: | 81.220 3.14 | 2.97 | 2.83 sec |
| <i>Occupancy:</i> | 100 (200 x 50%) | 250Hz: | 280.057 1.05 | 0.99 | 0.93 sec |
| <i>Optimum RT (500Hz - Speech):</i> | 0.90s | 500Hz: 552.502 | 0.55 | 0.54 | 0.52 |
| <i>Optimum RT (500Hz - Music):</i> | 1.54s | sec | | | |
| TR ótimo para sala de cinema (500Hz): de 0.4 a 0.6s | | 1kHz: | 740.796 0.42 | 0.41 | 0.40 sec |
| | | 2kHz: | 764.968 0.40 | 0.40 | 0.39 sec |
| | | 4kHz: | 684.820 0.44 | 0.44 | 0.43 sec |
| <i>Volume per Seat:</i> | 10.459 m ³ | 8kHz: | 684.820 0.43 | 0.43 | 0.43 sec |
| <i>Minimum (Speech):</i> | 4.70 m ³ | 16kHz: | 670.456 0.44 | 0.43 | 0.43 sec |
| <i>Minimum (Music):</i> | 8.71 m ³ | | | | |

Ilustração 137 - Tabelas de dados gerados pelo programa *ECOTECT* para realização dos cálculos de comportamento acústico do ambiente.

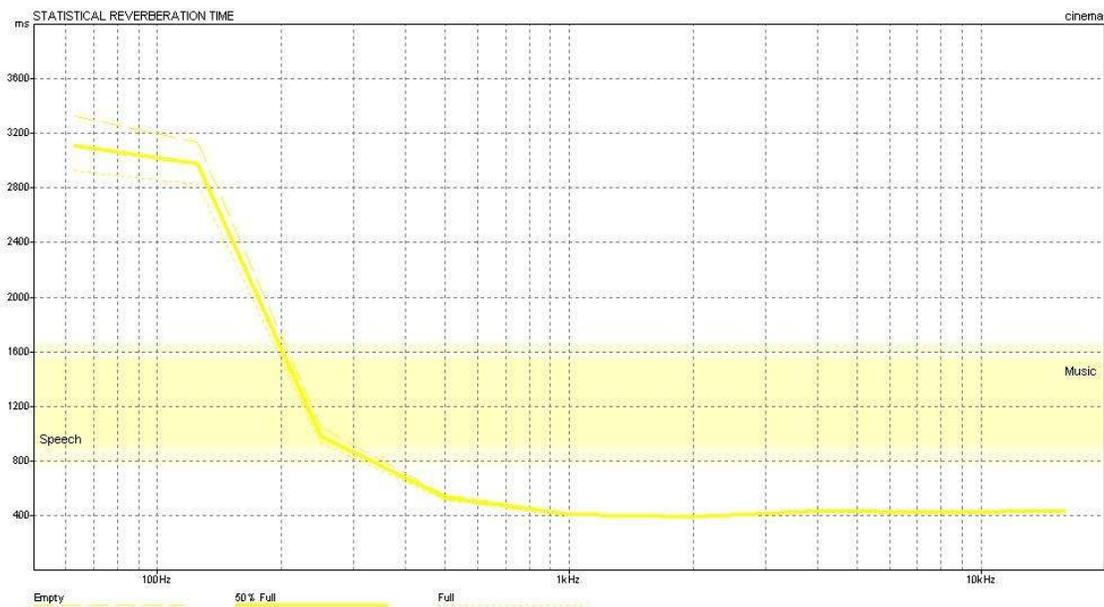


Ilustração 138 - Gráfico com resultados do tempo de reverberação da sala de cinema

Um padrão de comportamento foi observado quanto a forma de apresentação de resultados das simulações. Observou-se a tendência a utilizar a visualização de dados referentes a análises de iluminação com o modelo em perspectiva, ignorando a possibilidade de visualização dos dados em planta ou corte. Os resultados gráficos referentes a desempenho térmico foram mais utilizados que as planilhas numéricas.

O exercício onde os alunos simularam seus próprios projetos demonstrou a preferência em utilização da ferramenta em projetos já finalizados. Os alunos não entendem qual a razão em simular ambientes de um projeto que será modificado durante o processo de projeção.

Os alunos que cursavam a disciplina de iluminação artificial relataram que o uso do programa de simulação *ECOTECH* auxiliou na compreensão de alguns conceitos.

7.4.2 Análise dos questionários

Os alunos responderam a dois questionários (Apêndice A), um no primeiro dia de aula e outro no último dia de aula. A análise destes questionários leva a algumas conclusões:

- os alunos passaram a analisar a implantação do edifício mais cedo no processo de projeto. Antes da disciplina 66,6% faziam a análise nas fases de programa e croquis, após a disciplina, este número aumentou para 100%;

- o método de análise também mudou; antes utilizavam a carta solar, maquetes no AutoCAD/3dStudio ou maquete física. Com o aprendizado da ferramenta, 40% declarou utilizar a carta solar no *ECOTECT*;

- quanto à análise de ventos, os alunos declaravam fazer algum tipo de análise nas primeiras etapas de projeto, mas não foram capazes de explicar o método utilizado. Após a disciplina, 50% declarou analisar a direção dos ventos predominantes;

- os materiais construtivos ainda eram predominantemente escolhidos durante o estudo preliminar, mas a forma de análise mudou com a experimentação na disciplina. Antes, os alunos se preocupavam mais com estética e custo. A preocupação com conforto ambiental que correspondia a 18% das respostas passou a ser considerada por 75% dos alunos;

- o estudo de *brises* no processo de projeto também teve modificação significativa. No início do curso 40% dos alunos estudavam a possibilidade de utilização do *brises* durante a fase de programa e croquis, após a disciplina 71% dos alunos declararam realizar este estudo;

- a “intuição” era o método de cálculo de conforto térmico de 45,5% dos alunos. Com o aprendizado da ferramenta, apenas 25% dos alunos ainda utiliza “intuição” como método de cálculo;

- os alunos declararam ainda que: 1) pretendem utilizar o programa durante as primeiras fases do processo de projeto; 2) consideram a ferramenta de fácil utilização; e 3) a recomendam aos colegas.

As principais dificuldades relacionam-se à escolha e edição de materiais construtivos, e, em menor porcentagem, zoneamento térmico do edifício.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estratégias para implementação de uma metodologia de simulação de conforto ambiental em edifícios aqui sugeridas se enquadram as características específicas do curso de Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, podendo ser adaptada a outros cursos.

O pré-teste sugeriu que a inserção dos ateliês informatizados pode levar à resultados mais eficientes.

A disciplina de simulação pretendia sensibilizar os alunos quanto ao potencial da ferramenta de simulação e demonstrar a facilidade de utilização do *ECOTECT*. Os alunos demonstraram que sentiam a necessidade de ferramentas mais eficientes na análise de conforto (mais rápidas e mais simples que o processo de resolução de fórmulas usual).

Os alunos dominaram os comandos do programa. Como uma disciplina de apoio ensino de conforto, foi bem sucedida, os alunos foram capazes de fazer análises mais profundas em projetos em um tempo menor do que poderiam conseguir com cálculos manuais, e ainda consolidaram conceitos anteriormente obscuros.

O exercício de simulação térmica dos projetos de arquitetos demonstrou que os alunos utilizam bem os comandos de modelagem do programa e sabem como realizar análises de sombreamento e insolação. As dificuldades surgem com relação às análises de conforto térmico, desde o zoneamento do edifício, passando pela escolha dos materiais até a interpretação dos resultados obtidos com a simulação.

Desta forma, as modificações no projeto também ficaram comprometidas. Em alguns casos, o aluno percebia que o desempenho do edifício não era satisfatório (comparado às metas de desempenho), mas não sabia como resolver o problema e quais alternativas deveriam testar .

Deve-se adotar parâmetros de referência de desempenho. Desta maneira, o aluno que ainda não tem maturidade para desenvolver e simular diversas alternativas de projeto poderá balizar melhor a avaliação do desempenho de seu modelo.

Os alunos declararam que o programa é de fácil utilização, e que as maiores dificuldades encontradas se relacionam com: 1) modelagem: acham a ferramenta um pouco limitada e ainda tendem a construir o modelo como no CAD; 2) escolha de materiais, pelo idioma e dificuldade de obtenção de dados termofísicos; e 3) dificuldade de dividir o modelo em zonas térmicas (que reflete a falta de capacidade de simplificação do modelo).

Estes problemas foram transpostos com explicações mais detalhadas sobre os limitantes de modelagem do programa, ênfase nas simplificações, e criação de uma biblioteca de materiais nacionais baseado na norma brasileira de desempenho térmico de edifícios.

Todos percebem a ferramenta como um facilitador para análises de conforto e se sentem plenamente capazes de utilizá-la em seus futuros projetos. Os que declararam ainda dificuldade na modelagem, disseram valer a pena o tempo despendido na criação do modelo pela facilidade de obtenção de resultados nas análises.

Uma das capacidades mais elogiadas no programa é a análise de sombras e elaboração de cartas solares. Para o funcionamento deste comando o modelo pode ser importado em formato .3ds, (dispensando modelagem), não é necessário ter um arquivo climático (utiliza apenas latitude e longitude do local) e aplicação de materiais.

Os resultados da disciplina como modificador ou auxiliador no processo de projeto serão melhor percebidas nos próximos projetos dos alunos. Neste momento, eles puderam utilizar a ferramenta e perceber seu potencial de utilização.

A experiência de apresentação de telas capturadas para mostrar a interface de outras ferramentas de simulação não foi suficiente para que os alunos percebessem como o *ECOTECH* é uma ferramenta amigável. Seria interessante: 1) desenvolver pequenas simulações com os alunos utilizando outras ferramentas, como sugere a experiência de Hand e Crawley (1998), para que percebam por si, as dificuldades em sua utilização; e/ou 2) adoção de seminários, elaborados pelos alunos, sobre outras

ferramentas de simulação utilizadas por arquitetos, como na experiência de ensino utilizada por Andrade (2004).

Os alunos foram bastante receptivos à simulação de iluminação, o que demonstra que seria bastante produtivo apresentar-lhes também o programa *Radiance*. O programa *EnergyPlus* também poderia ser utilizado para análises de desempenho térmico e energético em um pequeno exercício para que os alunos tomassem conhecimento da ferramenta e evidenciar a amigabilidade da interface do *ECOTECT*. A experiência demonstrou que 30 horas aula são suficientes para ensino da ferramenta *ECOTECT* e, com um bom planejamento é possível mostrar as duas outras ferramentas sugeridas, (*Radiance* e *EnergyPlus*). Ambas gratuitas e capazes de importar o modelo gerado pelo *ECOTECT*. O estudo aprofundado destas ferramentas poderia ser feito em uma disciplina eletiva para os alunos com interesse específico.

A disciplina será melhor assimilada pelos alunos se ministrada como uma disciplina obrigatória no mesmo semestre que a disciplina AU 501 – Física Aplicada (4º semestre), para que os alunos possam utilizar a ferramenta na simulação de seus projetos durante os *ateliês* seguintes, e internalizem os conceitos vistos durante a disciplina de conforto.

Durante os *ateliês* seguintes, o aluno deve ser incentivado a formular diversas soluções de projeto e analisá-las antes de criarem vínculos afetivos com o projeto, o que dificulta a modificação ou abandono da idéia desenvolvida.

É fundamental que todo corpo docente, em especial os professores de projeto e de conforto, esteja envolvido com a utilização do programa e incentive os alunos à utilização de simulação. Como nem todos dispõem de tempo para aprender o programa, seria importante que alunos PED (programa de estágio docente) que costumam acompanhar estas disciplinas tivessem habilidade de utilizar o programa.

Para tal é necessário que seja implantado um programa de ensino e treinamento nas ferramentas de simulação indicadas (*ECOTECT*, *Radiance* e *EnergyPlus*).

Em diversos exercícios nos laboratórios são apresentados aos alunos alguma ferramenta de simulação (Luz do Sol, Relux, CTCA, etc), o *ECOTECT* também pode fazer as simulações realizadas por estes programas. Seria mais fácil para o aluno se

familiarizar com uma ferramenta capaz de produzir simulações completas a utilizar diversas ferramentas para pequenas análises isoladas.

A utilização da ferramenta de simulação durante aulas de conforto ambiental não pretende eliminar a utilização dos experimentos convencionais, como estudos de insolação com maquetes no heliodon, ou visitas e monitoramento de ambientes. Antes pretende-se seu emprego como mais um instrumento de ensino, capaz de auxiliar no preenchimento da lacuna entre o aprendizado de conceitos de conforto e sua aplicação na prática de projeto.

A utilização de ferramentas de simulação durante o processo de projeto só poderá ser percebida após algum tempo de implantação de todas estas medidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas –ABNT. **Projeto de Norma 02: 135.07.003.**: Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. 2003.

ABADIE, M. Discussion List. EnergyPlus_Support. Mensagem recebida porsdelbin@yahoo.com.br em 31 jan. 2006.

ABEA recomendações para implantação de laboratórios de conforto ambiental em cursos de Arquitetura e Urbanismo. 199?

AL- SALLAL, K. A. **Simulation tool for education** [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida porsdelbin@yahoo.com.br em 01 fev. 2006.

ALUCCI, M. P. **Conforto térmico, conforto lumínico e conservação de energia**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS (THE). **Understanding the Design Process**. 1999.

AMOR, R.; HORSKING, J.; DONN, M. Integrating design tools for total building evaluation. **Building and Environment**, Great Britain, v. 28, n. 4, p. 475-482, 1993.

ANDRADE, C. R. N de. Pelos espaços do ensino. **AU Arquitetura e Urbanismo**, [S.L.], n. 5, p. 54-55, abr 1986.

ANDRADE, M. L. V. X. de. O ensino da disciplina de informática aplicada à arquitetura: uma experiência pedagógica. *In*: SIGRADI, 2004, **Anais...**, 2004. p. 95-97.

ANDRÉ, P.; LEBORUN, J.; TERNOVEAU, A. Bringing simulation to application : some guidelines and practical recommendations issues from IEA-BCS annex 30. *In* Building Simulation'99. **Proceedings...**Kyoto, 1999

ARAÚJO, V. M. D.; DANTAS, E. M.; ARAÚJO, J. B. O ensino integrado de conforto ambiental no curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRN: relato de experiências. *In*: ENCAC, n do evento., 1999, Fortaleza. **ANAIS...** Fortaleza: ANTAC, 1999.

AsBEA – Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura. **Manual de Contratação dos Serviços de Arquitetura e Urbanismo**. São Paulo. Pini, 2 ed, 2000.

AUGENBROE, G. Trends in building simulation. **Building and Environment**, Great Britain, v. 37, n. 8-9, p. 891-902, Aug/Sep 2002.

AYRES, J. M. P. E., STAMPER, P.E. E. Historical development of building energy calculations. **ASHARE Transaction**, Atlanta, v. 98, n. 1, p. 841-849, 1992.

BAKER, N.; STEEMERS, K. **Energy and Environment in Architecture: a technical design guide**. London: Taylor & Francis Group, 2000. 224 p.

BALCOMB, J. D. The coming revolution in building design. *In: PLEA*, 1998, Lisboa. **Anais...** Lisboa, 1998.

BARBOSA, M. J.; LAMBERTS, R. Aplicação de uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico em edificações residenciais unifamiliares ao clima de Londrina-PR. IV ENCAC, Salvador, 1997. **Anais...** Salvador: ANTAC p. 205-210. 1997.

BARROS, L. A. F. et al. Aplicação de simulação computacional no projeto padrão de creche. *In: ENCAC*, 6., 2001, São Pedro. **Anais....** São Pedro: [S.n.], p. 1-10. 2001.

BARROSO-KRAUSE, C. Ciência e concepção arquitetônica. in: RIO, Vicente Del **Arquitetura: pesquisa e projeto**. São Paulo: PRO-Editores, p. 38-44.1998.

BARTAK , M. et al. An approach to teaching and research of simulation for environmental engineering design. *In: ADVANCED ENGINEERING DESIGN*, 3., 2003, **Proceedings...** , 2003.

BARNABY, C. S. **Building Simulation in the United States**. *In: eSIM 2001*. June 2001. (*oral presentation*)

BARTHOLOMEW D., et al. An application manual for building energy and environmental modeling. *In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE*, 5., 1997, Prague. **Proceedings...** Prague: Building Simulation, 1997.

BARROS, L. A. F. et al. Aplicação de simulação computacional no projeto padrão de creche. *In: ENCAC*, 6., 2001, São Pedro. **Anais....** São Pedro: ANTAC, p. 1-10. 2001.

BDA – **Building Design Advisor - An energy design tool for the initial, schematic phases of building design**. Disponível em: <<http://ciee.ucop.edu/Papamichael1998/>> Acesso em: 23 nov 2005

BENTON, C. C. **The Vital Signs Project: A Different Pedagogic Approach**. Outreach and Related Technical Analysis, Project Description. Solicitation Number DE-PS01-99EE10649. University of California, Berkley, 2p. January 5,. 1999 a.

BENTON, C. C. **The Vital Signs Project: A Different Pedagogic Approach**. Outreach and Related Technical Analysis, Narrative. Solicitation Number DE-PS01-99EE10649. University of California, Berkley, 10p. January 5, 1999 b.

BITTENCOURT, L. S.; TOLEDO, A. M. Ensino de conforto ambiental: mudanças de enfoque e metodologia. *In: ENCAC*, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 1997. p. 537-541.

BOLAND, J. Time-series analysis of climatic variables **Solar Energy**, [S.L.], v. 5, n. 55, p. 377-388, 1995.

BONI, F. A formação do arquiteto e a área de conforto ambiental - a experiência da Unisinos. *In: ENAC*, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, p. 598-599. 1997.

BOOKER, L. **Conference On Teaching of Engineering Design**, Institute of Engineering Designers, London, U.K., 1964

BRAHME, R. et al. Complex building performance analysis in early stages of design: a solution based on differential modeling, homology-based mapping, and generative design agents. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 7., 2001, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: Building Simulation, p. 661-668. 2001.

BRUAND, Y. **Arquitetura Contemporânea no Brasil**. São Paulo. Perspectiva, 1981.

CARDOSO, J. C. M. **Estratégias visando eficiência energética e conforto térmico incorporado aos projetos de edificações residenciais em Maringá-PR**. 2002. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CARLO, J. C. LABEEE - 200504. **Processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações**. AET N° 02/04 - Elaboração de Regulamentação e Classificação de Edificações Eficientes. Florianópolis, 2005. 228 p.

CARON, J. O. Notas para um projeto de ensino de arquitetura. **Projeto**, [S.L.], n. 99, p. 98-112, maio 1987.

CHVATAL, K. M. S. **A prática do projeto arquitetônico em Campinas, SP e diretrizes para o projeto de edificações adequadas ao clima**, 1998. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Estadual de Campinas, Campinas

CHENG, K. P. **ARCH 1006**, Disponível em < <http://www.arch.hku.hk/nkpcheng/teaching/b1-link.htm>> Acesso em 01 mar. 2006.

CHOW, W. K.; FONG, S. K. Typical meteorological year for building energy simulation in Hong Kong. **Architectural Science Review**, [S.L.], v. 40, n. 1, p. 11-15, 1997.

CEBE - The Center for Education in the Built Environment Disponível em <<http://www.cebe.heacademy.ac.uk/news/archievent.php?news=April%202004#143>> Acesso em 01 de mar. 2006

CIBSE – Chartered Institution of Building Services Engineers. Draft CIBSE **Guide vol. I - Weather and Solar Data**. London: Chartered Institution of Building Services Engineers, 1996.

CLARKE, J. A.; MAVER, T. W. Advanced design tools for energy conscious building design: Development and dissemination. **Building and Environment** 26, p.25-34, 1991.

COMPAGNON, R. The RADIANCE simulation *software* in the architecture teaching context. In: INTERNATIONAL CONFERENCE FOR TEACHERS OF ARCHITECTURE, 2., 1997, Firenze. **Proceedings...** Firenze: 1997.

CRAWLEY, D. B. et al. **Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs**. US Department of Energy, July 2005. 56 p.

CRAWLEY, D. B.; HUANG, Y. J. Does it matter which weather data you use in energy simulation? **User News**, [S.L.], v. 1, n. 18, p. 2-12, spring 1997.

CRAWLEY, D. B.; HAND, W. J.; LAWRIE L. K. Improving the weather information available to simulation programs. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 6., 1999, Kyoto. **Proceedings...** Kyoto: Building Simulation, 1999.

CTCA. Disponível em: <<http://www.members.xoom.com/ctca>> Acesso em: 15 fev 2004

DANTAS, P. M. C.; CORBELLA, O. D. O ensino do conforto ambiental - destaque para importância do período de ocupação. *In: ENCAC, 4., 2001, São Pedro. Anais...* São Pedro: ANTAC, 2001.

DE HAUSSER, R. **Énergetique dès Bâtments – calcul dès envelops**. Paris; PYC Édition, v3, 1988. p.364

DELBIN, S. ; FONTES, M. S. G. de C. **Efeito do Bosque da Comunidade nas características climáticas locais**. 2001. Relatório de Iniciação Científica – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru.

DE WILDE, P.; AUGENBROE, G.; VAN DER VOORDEN M. A strategy to provide computational support for selection of energy saving building components. *In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 7, 2001, Rio de Janeiro. Proceedings...* Rio de Janeiro: Building Simulation, p. 653-660. 2001.

DE WILDE, P et al. The need for computational support in energy efficient design projects in the Netherlands. *Proceedings...* Building Simulation 2001, Rio de Janeiro, IBPSA. p. 513-519. 2001.

DILONARDO, L. F. de S. P. **Avaliação do uso de tecnologias passivas visando a eficiência energética em edifícios de escritórios**. São Paulo, 2001. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Estado de São Paulo.

DONN, M.; AMOR, R. The creation of weather data files to fulfill the simulation needs of New Zeland. *In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 3, 1993, Adelaide. Proceedings...* Adelaide: Building Simulation, 1993. p. 495-499.

DUARTE, R. B. **A introdução do computador no processo ensino/aprendizado do projeto arquitetônico: estudo de caso**. São Paulo, 2000. 201 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

DUARTE, R. B. O uso do computador no ensino de projeto: (por) uma avaliação. *Anais...* IV Congresso Ibero-Americano de gráfica digital. Rio de Janeiro, UFRJ/PROURB, p. 361-363. 2000

DUNOVSKA, T.; DRKAL, F.; HENSEN, J. Barriers and solutions to he use of building simulation in the Czech Republic. *In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 6., 1999, Kyoto. Proceedings...* Kyoto: Building Simulation, 1999.

ECOTECT Tutorials Disponível em <<http://squ1.com>> acesso em 19 de janeiro de 2004

ELETROBRÁS. Efeito Estufa - **Emissões de Dióxido de Carbono e de Metano pelos reservatórios Hidroelétricos Brasileiros**. 2000 a. 176 f., Relatório final.: Eletrobrás,. Rio de Janeiro

ELETROBRÁS **Resenha de Mercado 2000** b. Disponível em <<http://www.eletrabras.gov.br/mercado>> Acesso em 13 mar. 2003

ELETOBRÁS **Balanco Energético Nacional** Disponível em
<http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do;jsessionid=8E476067E6111877935472980B8BD92D?channelId=1432&pageId=4124> acesso em 10 de fevereiro de 2005

ENERGY PLUS. Disponível em: <
http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_sources.html#SWERA> Acesso em: 18 nov 2005.

ENERGU PLUS. Getting Started with EnergyPlus: Everything you need to know about running EnergyPlus. Abril 2006.

ENERGY PLUS . **Introduction to building simulation and EnergyPlus. Undergraduate course curriculum information**, July, 2003. Disponível em: <
<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/training.cfm>> acesso em 10 agosto de 2004

FAWCETT, P. **Arquitectura: curso básico de proyectos**. Barcelona. Gustavo Gili, 1999.

FERNANDEZ, P. Integração das diretrizes energéticas na concepção arquitetônica. in: RIO, Vicente Del . **Arquitectura: pesquisa e projeto**. São Paulo: PRO-Editores, p. 25-35.1998.

FRESTEIRO, R. H.; MÉNDEZ, R. B. A informática como ferramenta de avaliação do conforto ambiental nos cursos de engenharia. In: COBENGE, 2004, **Anais...** , 2004.

FUCHS, H. U.; SIMON, M. Teaching Building Simulation with the help of general purpose dynamic modeling *software*. In: Building Simulation, 1995, **Proceedings...** p. 362-369. 1995.

GARG, N. K. Passive options for thermal comfort in building envelopes – an assessment. **Solar Energy**. Vol 47, n6, p 437-441.1991

GELLER, H. S. **Efficient electricity use: a development strategy for Brazil**. American Council for an Energy – Efficient Economy, Washignton DC, 1990, 124p.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistema de iluminação: estudo na Universidade Federal de Santa Catarina**. , 1997, 246p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GOLDENBERG, J.; VILLANUEVA, L. D. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 2ªed. São Paulo, Edusp, 2003.

GOMEZ, W. B. et al. *Software* educacional para evaluación térmica de viviendas. In: ENCAC, 6., 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro: ANTAC, p. 11-20.2001.

GOULARD, S; LAMBERTS, R. **Dados climáticos de 14 cidades brasileiras para projeto e avaliação de sistemas de ar condicionado**. Núcleo de Pesquisa em Construção UFSC, Florianópolis. 1997. 283 p.

GOULDING, J. R.; LEWIS, J. O. **Energy conscious design: a primer for European architects**. London: Batsford, 1992.

GRAEFF, E. A. Aprendizado de arquitetura: uma experiência na Universidade Católica de Goiás. **Projeto**, [S.L.], n. 57, p. 40-47, ago 1983.

- HABERL, J. S. ARCH 621 – **Energy Optimization. Class notes for teaching DOE-2.** Texas A&M University System, Department of Architecture, Building Energy Analysis Division, Energy Systems Laboratory. 2002.
- HAND, J. W. **Removing barriers to the use of simulation in the building design professions.**, 1998. 248 f. Tese (Phd) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Strathclyde, Glasgow.
- HAND, J. W.; CRAWLEY, D. B. Forget the tool when training new simulation users. **Proceedings...** Building Simulation 97, Prague, Vol III pp 39-45, 1997.
- HAND, J. W.; CRAWLEY, D. B. Forget the tool when training new simulation users. **Building performance analysis club**, [S.L.], n. 1, p. 3-5, Spring 1998.
- HAND, J. W., HENSEN, J. L. M. Recent experiences and developments in the training of simulationists. **Proceedings...** Building Simulation 95, Madison, Wisconsin, 1995. p.346-353.1995
- HENSEN, J. L. M. **Simulation for environmental engineering – Methodology.** Technical University of Eindhoven, The Netherlands. 1996 a. Disponível em: <http://www.bwk.tue.nl/fago/hensen/courseware/class-mod+sim/sim_theory/method.thm>. Acesso em 22 de julho de 2005.
- HENSEN, J. L. M. **Building Energy Modelling and Simulation Self-Learning Modules.** Technical University of Eindhoven, The Netherlands. 1996 b Disponível em: <<http://www.bwk.tue.nl/fago/hensen/courseware/Class-mod+sim/Intro.htm>> Acesso em: 20 de abril de 2003.
- HENSEN, J. L. M. Energy related design decisions deserve simulation approach. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DESIGN AND DECISION SUPPORT SYSTEMS IN ARCHITECTURE & URBAN PLANNING.*, 1994, Vaals. **Proceedings...**, 1994.
- HENSEN, I. J. Simulation of building energy and indoor environmental quality - some weather data issues. *In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE*, 6., 1999, Prague. **Proceedings...** Prague: Building Simulation, 1999.
- HENSEN, J. L. M; RADOSEVIC, M. Some quality assurance issues and experiences in teaching building performance simulation. **IBPSA News**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 21-32, 2004.
- HERKENHOFF, H. L. **Ensino de projeto arquitetônico caracterização e análise de um suposto modelo segundo alguns procedimentos didáticos.** Dissertação (Mestrado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- HITCHIN, E. R. et al. The CIBS example weather year. **Building Services Engineering Research & Technology**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 119-124, 1983.
- HIRST, E. et al. **Energy efficiency in buildings: progress & promise.** ACEEE, Washington, D.C., 1986.
- HUI, S. C. M.; LAM, L. C. **Computer programs for automated computer simulation using DOE-2 and BLAST.** Research Report BC/95/04: Department of Building & Construction, Hong Kong, 1995.

JONES, C. J. **Métodos de diseño**. Barcelona. Editora Gustavo Gili, 1976.

JONES, D. H. **Architecture and the environment - bioclimatic building design**. London: Laurence King, 1998.

KATAKURA, P. **O processo de projeto arquitetônico**. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo 1997.

KATAKURA, P. **O ensino do projeto arquitetônico**. Tese (Doutorado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo 2003.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. Metodologia e CAD no Projeto Arquitetônico *In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL COMPUTAÇÃO ARQUITETURA E URBANISMO*, 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FAU - USP, 1992. p. 51-57.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. Design methods for the practice of architectural design in São Paulo. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SYSTEMS RESEARCH, INFORMATICS AND CYBERNETICS*, 4., 1993, San Luis Obispo. **Proceedings...** Califórnia, 1993. p. 1-10.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K; LABAKI, L. C. O projeto arquitetônico e o conforto ambiental: necessidade de uma metodologia. *In: ENTAC*, 1993, **Anais...** : ANTAC, 1993.

KOWALTOWSKI, D. C. C. et al. A visualização do conforto ambiental no projeto arquitetônico. *In: ENTAC*, 3., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1998.

KOWALTOWSKI, D. C. C. et al. Ensino de Projeto com Inserção da Informática Aplicada: O Curso de Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP **Anais...** Sigradi, 2000. Rio de Janeiro, 2000.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K. et al. The Challenges of teaching bioclimatic architectural design. *In: PALENC*, 2005, Santorini. **Proceedings...** Santorini, 2005.

KOLOKOTRONI, M; YOUNG, A. N. Guidelines for bioclimatic housing design in Greece. **Building and Environment**. Vol 25, n. 4. p 297-307. 1990.

LABAKI, L. C. Tratamento de dados climáticos de Campinas –SP, para análise de desempenho térmico de edificações. *In: NUTAU/FAUUSP*, 1995. **Anais...**São Paulo: ANTAC. p. 355-365. 1995.

LabEEE - LABORATÓRIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Softwares** disponíveis para download. Disponível em: <www.ufsc.LabEEE.br> Acesso em: 10 jan 2003.

LabEEE - LABORATÓRIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES **Dados climáticos**. Disponível para em< <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/downloadaclim.html>> acesso em 10 fev 2006.

LaBEEE. Disponível em <[http:// www.LabEEE.ufsc.br/apresentacao.html](http://www.LabEEE.ufsc.br/apresentacao.html). 2001> Acesso em: 30 mar 2002.

LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR. **Softwares**. Disponível em <http://www.solar.ufrgs.br/#softwares> Acesso em: 10 ago 2004.

- LAM, J. C.; HUI, S. C.; CHAN, A. L. S. A statistical approach to the development of a typical meteorological year for Hong Kong. **Architectural Science Review**, [S.L.], v. 39, n. 4, p. 201-209, 1996.
- LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PAPST, A. L. **Desempenho térmico em edificações**. Disponível em: < <http://www.LabEEE.ufsc.br/> > Acesso em: 05 Jun 2003 152 f. Disciplina SCV 5161 Florianópolis, 2000.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura** São Paulo: PW, 1997. 188 p
- LIMA, M. A. A importância do regionalismo arquitetônico no ensino de conforto ambiental. In: ENCAC, 1997, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 1997. p. 556-558.
- LUND, H. Short **Reference Years and Test Reference Years for EEC Countries**: Final Report. EUR 10208 EN: Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark, 1985.
- LAUSEAU, P. **La expresión Gráfica para arquitectos y diseñadores**. México. Gustavo Gili, 1982
- LEUPEN, B. et al. **Proyecto y análisis: evolución de los principios en arquitectura**. Barcelona. Gustavo Gili, 1999.
- MARINHO, G. Momento da razão. **AU Arquitetura e Urbanismo**, [S.L.], v. 5, abr 1986.
- MARX, J. A proposal for alternative methods for teaching digital design. **Proceedings...ACADIA 98**. Quebec, p. 58-67, 1998.
- MARSH, A. ArchiCAD **Summer School: ECOTECH - advanced building physics**: One-day course, 2004. Disponível em <http://www.exmicro.mistral.co.uk/ACUE_www/workshops/ECOTECH_one-day.html> Acesso em 01 mar. 2006a
- MARSH, A. J. Thermal modeling: the ECOTECH way. **Natural Frequency**, n. 002, July 2006. Disponível em <http://naturalfrequency.com> Acesso em 03 jul 2006
- MARSH, A. J. ECOTECH as a teaching tool. **Natural Frequency**, n. 001, July 2006. Disponível em <http://naturalfrequency.com> Acesso em 03 jul 2006b
- MARK, E.; MARTENS, B.; OXMAN, R. The ideal computer curriculum. **Education & Curricula**, n. 07, p. 168-175, 2001.
- MATHEWS, E. H.; BOTHA, C. P. Improved thermal building management with the aid of integrated dynamic HVAC Simulation. **Building and Environment**, Great Britain v. 38, p. 1423-1429, 2003.
- MATHEWS, E. H.; RICHARDS P.G. An efficient tool for future building design. **Building and Environment**, Great Britain, v. 28, n. 4, p. 409-417, 1993.
- MAXIMO, G. V.; BERFE, V. A. A utilização do *software* Arqitrop em projetos de conforto térmico: o caso da sala de acervo do CDHIS-UFU. In: ENCAC, 6., 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro: ANTAC, p. 1-10. 2001.

- MENDES, N.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. da C. Building simulation in Brazil. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 7., 2001, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: Building Simulation, p. 3-13. 2001.
- MENDES, N. R.; OLIVEIRA, R. C. L. F. de, SANTOS, G. H. dos. DOMUS 1.0: a Brazilian pc program for building simulation. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 7., 2001, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: Building and Environment, p. 83-89. 2001.
- MERLIN, F. R. **Ensino e Prática do Projeto** Tese (Doutorado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- MEC – Ministério da Educação e do desporto. **Portaria n 1.770** de dezembro de 1994.
- MORBITZER, C. et al. Integration of building simulation into the design process of an architecture practice. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 7., 2001, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: Building Simulation, p. 697-704. 2001.
- MORAES, O. de; LABAKI, L. C. Avaliação do desempenho térmico de uma residência. Comparação entre a aplicação do programa de simulação Arqitrop e do método C.S.T.B. In: ENCAC, 6., 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro: [S.n.], 2001. p. 1-10.
- NARDELLI, E. S. Gráfica digital aplicada à arquitetura: da formação atual ao futuro de sua aplicação. In: SIGRADI, 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2005. p. 230-235.
- NATURAL RESOURCES CANADA. **Procedures for modeling buildings to MNECB and CBIP - Patr 1** -. Ottawa: Natural resources Canada., 2002. Final Report.
- NEYMARK, J. et al. Applying the building energy simulation test (BESTEST) diagnostic method to verification of space conditioning equipment models used in whole-building energy simulation programs. **Energy and Buildings**, [S.L.], v. 34, p. 917-931, 2002.
- NJUGUNA, D. G. Diffusion of bio-climatic building design techniques in Kenya: impediments and opportunities. **HABITAT ITNL**, Great Britain, v. 21. n.4 pp 347-359 1997
- NREL NATIONAL RENEABLE ENERGY LABORATORY . **International energy agency building simulation test (BESTEST) and diagnostic method**. Golden: NREL National Renewable Energy Laboratory, Feb. 1995.
- OLIVEIRA, M. M. F.de; MACEDO, I. P. de O. Uma metodologia de ensino de conforto ambiental. In: ENCAC, 8., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005.
- PEDRINI, A.; LAMBERTS, R.; WESTPHAL, F. S. **Treinamento para o programa Visual DOE-2**. 1999. 32pp.
- PEDRINI, A.; LAMBERTS, R. **Introdução ao Visual DOE-2, versão 2.61**. 1998. 65 p.
- PEDRINI, A.; SZOLKOLAY, S. Uma ferramenta de diagnóstico do consumo de energia orientada para as primeiras fases do projeto arquitetônico em clima quente. In: ENCAC, 7., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, p. 881-888. 2003.

PEDRINI, A.; SZOLKOLAY, S. Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritório em clima quente. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.5, n.1, jan./mar. 2005.

PEREIRA, M. Os cursos de arquitetura e os trabalhos de graduação. **Projeto**, [S.L.], n. 99, maio 1986. 128 p.

PISSIMANIS, D. et al. The generation of a "typical meteorological year" for the city of Athens **Solar Energy**, [S.L.], v. 40, n. 5, p. 405-411, 1988.

PROCEL. **Manual de conservação de energia elétrica em prédios públicos e comerciais**. PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. 3.ed, 1993.

QUARONI, L. **Projectar um Edifício: ocho lecciones de arquitectura**. Madri. Xarait, 1980.

HEINHART, C. ARCH- 676 **Building Simulation**. 2005 Disponível em: <http://www.arch.mcgill.ca/prof/reinhart/arch676/winter2005/LectureNotes/L1_Overview_Climate.pdf> Acesso 15 jan. 2006.

RIBEIRO, D. Reinventar a Universidade. **AU** Arquitetura e Urbanismo. [S.L.], n. 5 , abril 1986. p. 22-23. 1986.

RIBA – ROYAL INSTITUTE OF BRITISH ARCHITECTS. **Plan of Work for Design Team Operation**. London: RIBA Publications, 1973.

RIO, V Del . Projeto de arquitetura. in: RIO, Vicente Del . **Arquitetura: pesquisa e projeto**. São Paulo: PRO-Editores, 1998. p. 201-214.

ROBERTS, A.; MARSH, A. **ECOTECT**: Environmental prediction in architectural education. **Education & Curricula**, v. 13, n. Design Methods 2, p. 342-347, 1996

ROCHA, I. A. M. O processo de projeto de arquitetura em ambiente computacional uma experiência de ensino-aprendizagem no curso de Arquitetura e Urbanismo- Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS - São Leopoldo RGS - Brasil. *In*: NUTAU, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo,

RODE, C. **Computer programs for building energy simulation**. Dinamarca,. Notas de aula (U-074) - Danmarks Tekniske Universite. 2001. 22 p

RORIZ, M. BASSO, A. **ARQUITROP: Conforto térmico e economia de energia nas edificações**. São Carlos: UFScar, 1989. www.LabEEE.ufsc.br.

ROMERO, M.; GONÇALVES, C. G.; GUGLIELMETTI, A. **Edifício Birmann 21: um estudo sobre eficiência energética**. Disponível em <<http://www.tecto.com.br>>. Acesso em: 26 maio 2001.

ROSA, L .P.; LOMBARDO, L., L., B. A crise de energia: uma reputação empírica do modelo econômico neoliberal. in: **O Brasil à luz do apagão**. Rio de Janeiro: Palavra e Imagem, 2001.

RUAS, A. C. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificadas e sua aplicação num software**. 2002. 183 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Estadual de Campinas, Campinas.

SAID, S. A. M.; KADRY, H. M. Generation of representative weather year data for Saudi Arabia. **Applied Energy**, [S.L.], v. 48, p. 131-136, 1994.

SAM, C. M.; CHEUNG, K. P. Multi-Year (MY) building simulation: is it useful and practical? In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE , 1999, Prague. **Proceedings...** Prague: Building Simulation, 1999.

SATO, A. S.; LABAKI, L. C.; SILVA, V. G. da. **Avaliação de software simplificado para simulação energética em edificações**. Campinas: 2001. Relatório de Iniciação Científica – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SALAMA, A. **New trends in architectural education: design the design studio**. Cairo: The Anglo-Egyptian Bookstore, 1997.

SCARAZZATO, P. S. Recursos computacionais aplicados ao ensino do conforto térmico em arquitetura CTCA: conforto térmico, cálculo e análise. In: ENCAC, 5., 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 1999.

SILVA, E. **Matéria, idéia e forma: uma definição de arquitetura**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.

SILVA, V. G da.; AGOPYAN, V.; JOHN, V.M. The role of architectural decision-making process in environmentally responsible buildings. In: CIB Symposium on Construction and Environment – Theory into Practice. **Proceedings...** São Paulo: CIB/PCC EPUSP, 2000. 8 pp. (Publicado em CD-rom)

SILVEIRA, R.G da. O ensino de tecnologia no curso de arquitetura da UFRGS. **Projeto**, [S.L.], n. 126, p. 133-134, out 1989.

SOLNIK, A. A Guerra do Apagão: A crise de energia elétrica no Brasil. São Paulo, Senac, 2001.

STOFFEL, T. L. International solar radiation information. **ASHARE Transaction**, Atlanta, v. 101, n. 1, p. 476-483, 1995.

STRAND, R. K.; LIENSEN, R. J.; WITTE, M. J. Resources for teaching building energy simulation. In: BUILDING SIMULATION US NATIONAL CONFERENCE BOULDER, 2004, **Proceedings...** : IBPSA, . p. 1-8. 2004

UNICAMP. Projeto Pedagógico, 2001. Disponível em <<http://www.fec.unicamp.br/~au/ProjpedagAU-2000.pdf>> acesso 10 out. 2005.

US DEPARTMENT OF ENERGY. Office of Energy efficiency and renewable energy. 2004 **Buildings Energy Data book**. 2005. 116p.

VASCONCELLOS, G. F. **Biomassa, A Eterna energia do futuro**. São Paulo, Senac, 2002.

VELOSO, M; ELALI, G. A. **Qualificar é preciso...Uma reflexão sobre a formação do professor de projeto arquitetônico**. Disponível em: <www.vitruvius.com.br> Acesso em: 22 de julho de 2005.

VIANA, N. S. Análise crítica do ensino de conforto ambiental nas escolas de arquitetura. In: ENCAC, 6., 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro: ANTAC, 2001.

VIDAL, R. D. de M.; MARTINS, T. L. F.; ARAÚJO, V. M. D. DE. O ensino integrado de conforto ambiental: relato de experiência. In: ENCAC, 1995, Gramado. **Anais...** Gramado: ANTAC, p. 115-120. 1995.

WALTZ, J. P. Practical experience in achieving high levels of accuracy in energy simulations of existing buildings. **ASHARE Transaction**, Atlanta, v. 98, n. 1, p. 606-617, 1992.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Simulação energética de edificações no programa EnergyPlus utilizando dados climáticos das normais climatológicas. In: ENCAC, 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005. p. 2183-2196.

BIBLIOGRAFIA

ALMAO, N.; RINCON, J.; GONZALEZ, E. EVITA: computational model for evaluating buildings thermal efficiency. **Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 74-84, Apr. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Norma 02: 135.07.001**., Desempenho térmico de edificações.: Parte 1: Definições, símbolos e unidades, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **Projeto de Norma 02: 135.07.002**. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023** : referências bibliográficas. Rio de Janeiro, 2001.

BALCOMB, J. D. Energy-10: a design tool for low energy buildings. In Building Simulation, 1997. **Proceedings...**Prague, 1997 8p.

BIANCHI, A. S. **Herramientas digitales en el proceso de diseño en el taller de arquitectura** In: SIGRADI, 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, p. 146-148. 2004.

BIANCHI, G.; SILVA, V. G. da **Avaliação do software EnergyPlus para integração de simulação energética no ensino de arquitetura**. 2002. Relatório de Iniciação Científica - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BRASIL 12º maior consumidor de energia do mundo *Jornal Estado de São Paulo on line* . Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/editoriais/2002/06/27/eco048.html>> Acesso em: 3 de ago. de 2003.

BRONSON, D. J. et al. A procedure for calibrating the DOE-2 simulation program to non-weather-dependent measured loads. **ASHARE Transaction**, Atlanta, v. 98, p. 636-652, 1992.

CARSALADE, F. de L. Arte e ensino de arquitetura. **Projeto**, [S.L.], n. 119, p. 111-112, mar 1989.

CHEN, Y. Z.; FRAME I.; MAVER, T. W. A virtual studio environment for design integration. **Advances in Engineering Software**, Great Britain, v. 29, n. 10, p. 787-800, 1998.

CHOUDHARY, R.; MALKAWAI, A. A methodology for micro-level building thermal analysis: combining CFD experimental set-ups. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 7., 2001, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: Building Simulation, 2001. p. 1275-1282.

CITHERTEL, S., HAND, J. Assessing energy, lighting, room acoustics, occupant comfort and environmental impacts performance of building with a single simulation program. **Building and Environment**, Great Britain, v. 37, p. 845-856, 2002.

CORRÊA, H. H.; SOUZA, R. G. da. Utilização racional da energia na edificação. *In*: ENCAC, 2000, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 2000.

COSTA, E. C. da. **Física aplicada à construção: conforto térmico**. 4 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1991. 264 p.

COFAIGN, E. O.; OLLEY, J. A.; LEWIS, J. O. **The climatic dwelling: an introduction to climate-responsive residential architecture**. London: James and James, 1996. 165 p.

DESSOUKY, Y.M.; BAYER, A. A simulation and design of experiments modeling approach to minimize building maintenance costs. **Computers & Industrial Engineering**, New York, v. 43, n. 3, p. 423-436, Sep. 2002.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 243 p.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. 2 ed. London: Applied science publishers, 1981. 483 p.

GIVONI, B. *Climate consideration in building and urban design*. New York: J. Wiley, 1998. 464 p.

GÓMEZ, L. A.; LAMBERTS, R. Simulação da influencia de algumas variáveis arquitetônicas no consumo de energia em edifícios. *In*: ENCAC, 3., 1995, Gramado. **Anais...** Gramado, 1995.

GRANJA, A. D. **Transmissão de calor em regime periódico: efeito da inércia térmica em fechamentos opacos**. Campinas, 2002. 121 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Estadual de Campinas.

GRINGS, E. T. de O. **Comparação entre resultados experimentais e computacionais do comportamento térmico de um ambiente**. Porto Alegre, 2003. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HEED – Home Energy Efficient Design. Disponível em < <http://www2.aud.ucla.edu/heed/> > Acesso em 17 maio de 2004.

HENSEN, J. L. M.; JANÁK, M. Introducing energy building simulation classes on the web. **ASHRAE Transactions: Research**, Chicago. Atlanta: ASHARE, p. 488-494, 1998.

HIEN, W. N.; POH, L. K. ; FERIADI, H. Computer-based performance simulation for building design and evaluation: the Singapore perspective. **Simulation & Gaming**, Thousands Oaks, v. 34, n. 3, p. 457-477, Sep. 2003.

HONG, T.; CHOU, S. K.; BONG, T.Y. Building simulation: an overview of developments and information sources. **Building and Environment**, [S.L.], v. 35, n. 4, p. 347-361, May 2000.

JENSEN, S. O. Validation of building energy simulation programs: a methodology. **Energy and Buildings**, v. 22, p. 133-144, 1994.

JUDKOFF, R.D.; NEYMARK, J.S. Procedure for testing the ability of whole building energy simulation programs to thermally model the building fabric. **Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME**, New York, v. 117, n. 1, p. 7-15, Feb. 1995.

KRÜGER, E.L.; MICHALOSKI, A. O. Avaliação térmica de habitação popular através de simulação computacional como parâmetro de projeto arquitetônico: estudo de caso na vila ecológica de Curitiba. In: ENTAC, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: [S.n.], 2002. p. 1-10.

KNIPE, E. C.; DAY, F. T. Building energy simulation: looking before you leap. **Journal of Property Management**, Chicago, v. 51, n. 5, p. 19-22, Sep./Oct. 1986.

MAASSEN, W.; GROOT, E. de; HOENEN, M. Early design support tool for building services design model development. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 8., 2003, Eindhoven. **Proceedings...** Eindhoven: IBPSA, 2003. p. 763-769.

MAHDAVI, A., SUTER, G., PONT, U. **Building Performance Modeling : Tutorial ECOTECT**. Abteilung Bauphysik und Bauökologie, 2005.

MARION, W.; URBAN, K. **User's manual for typical meteorological years (TMY2)**. Derived from 1961-1990 National Solar Radiation Database. Golden, NREL, 1995.

MENDES, N. R.; OLIVEIRA, R. C. L. F. de, SANTOS, G. H. dos. DOMUS 1.0: a Brazilian pc program for building simulation. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 7., 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Building Simulation, 2001. p. 83-89.

MILLER, S. F. Design Process: a primer for architectural and interior designer. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995. 229 p.

MORAES, O. de. **Avaliação do desempenho térmico de uma residência na região de Campinas**. 1999. 227 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Estadual de Campinas, Campinas.

MORAES, O. de. **Avaliação do desempenho térmico de uma residência na região de Campinas**. Campinas, 1999. 227 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Estadual de Campinas.

NASAR, J. The shaping of design values: case studies on the trade magazines the cost of not knowing. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE ENVIRONMENTAL DESIGN RESEARCH ASSOCIATION, 17., 1986, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta, 1986.

PEDRINI, A. **Desenvolvimento de metodologia de calibração de modelos para simulação térmica e energética de edificações**. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

PIRONDI, C. O ensino de arquitetura e nossa herança futura. **Projeto**, [S.L.], n. 138, p10, fev 1991.

PRATA, A. R. **Uma ferramenta computacional de avaliação da ventilação natural em projetos arquitetônicos**. Campinas, 1998. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Estadual de Campinas.

PINTO, L. R.; LABAKI, L. C. Desempenho de uma ferramenta computacional para análise de desempenho térmico de edificações. *In*: ENCAC, 6., 2001, São Pedro. **Anais....** São Pedro: [S.n.], 2001. p. 1-10.

PLOKKER, W. Multizone computer simulation program VA114 for prediction of building thermal performance. *In*: SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL CENTER FOR HEAT AND MASS TRANSFER, 21., 1989, Dubrovnik. **Building Materials and Structures**. [S.L.]: Hemisphere Publ Corp, 1991. p. 291-301.

RAUBER, D. L. et al. Análise de *Softwares* de simulação térmica. Simulação para diferentes climas e sala comercial **Anais...ENTAC** 1999 paginas 795-802

RIBEIRO, D. Reinventar a Universidade. **AU Arquitetura e Urbanismo**, [S.L.], n. 5, p. 22, abr 1986.

ROMERO, M. A. **Arquitetura, comportamento e energia**. Tese (Livre docência) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SANCHES, A. C. B. **Informática aplicada à arquitetura: um plano de ensino**. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SANTOS, G. H. dos; MENDES, N.; PARISE, I. Comparação entre programas de simulação para análise de comportamento térmico de edificações. *In*: ENTAC, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ENCAC, 2004.

SAT, P. S. K.; YIK, F.W.H. Comparison of predictions of the building energy simulation programs HTB2 and BECON with metered buildings energy data **Transactions Hong Kong Institution of Engineers**, Hong Kong, v. 10, n. 3, p. 34-37, Sep. 2003.

SATTLER, M., A. Dias típicos para o projeto térmico de edificações, para Porto Alegre. *In*: ENCAC, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 1997. p. 127-132.

SCACCHI, W. Experience with *software* process simulation and modeling. **The Journal of Systems and Software**, New York, v. 46, n. 2,3, p. 183-192, Apr. 15, 1999.

SCHIBUOLA, L. Analysis of next generation building energy simulation tools. **International Journal of Ambient Energy**, [S.L.], v. 18, n. 4, p. 177-184, Oct. 1997.

SILVA, V. G. da Avaliação do desempenho ambiental de edifícios. **Revista Qualidade na Construção**, [S. L.], n 25, ano III, p. 14-22, 2000.

SILVA, F. D. da; MARTAU, B. T. A iluminação artificial simulada no ensino de projeto. *In*: SIGRADI, 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2004. p. 155-157.

SOWELL, E. F.; HITTLE, D. C. Evolution of building energy simulation methodology. *In*: ASHRAE ANNUAL MEETING, **ASHRAE Transaction.**, 1995, Chicago. Atlanta: ASHARE, 1995. p. 850-855.

SOUZA, R. C. F. de. Ensino de conforto ambiental e educação a distância: estudo de caso. *In: ENCAC*, 4., 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro: ANTAC, 2001.

SOUZA, R. C. F. de, et al. Simulação de iluminação natural : uma análise do desempenho frente a diferentes características de céu e especularidade de superfícies. *In: ENTAC*, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002.

SONG, L.; LUI, M.; CLARIDGE, D. E.; HAVES, P. Study of no-line simulation for whole building level energy consumption fault detection and optimization. *In: BUILDING INTEGRATION SOLUTIONS: ARCHITECTURAL ENGINEERING 2003 CONFERENCE*, 2003, Austin. **Proceedings...** : American Society of Civil Engineers, 2003. p. 76-83.

STECK, N. Renewable energy for high-performance buildings in New Jersey: Discussion of PV, wind power, and biogas and New Jersey's incentive programs. **ASHARE Transaction: Symposia** v. 110, P 1, Atlanta: ASHARE , 2004. p. 602-601.

STRAND, R. K.; PEDERSEN, C. O. Implementation of a radiant heating and cooling model into an integrated building energy analysis program. *In: ASHARE WINTER MEETING*, 1997, Philadelphia. **ASHARE Transaction...** Atlanta: ASHARE , 1997. p. 949-958.

STRAND, R. K Discussion List. EnergyPlus_Support. Mensagem recebida por sdeldin@yahoo.com.br em 03 fev. 2006.

SOWELL, E. F.; HITTLE, D. C. Evolution of building energy simulation methodology. *In: ASHRAE ANNUAL MEETING*, **ASHRAE Transaction.**, 1995, Chicago. Atlanta: ASHARE , 1995. p. 850-855.

THELLIER, F.; CODIER, A.; MONCHOUX, F. The analysis of thermal comfort requirements through the simulation of an occupied building. **Ergonomics**, London, v. 37, n. 5, p. 817, May. 1994.

VAN SCHIJNDEL, A. W. M. Modeling and solving building physics problems with FemLab. **Building and Environment**, v. 38, p. 319-327, 2003

TRABALHOS DERIVADOS DESTA DISSERTAÇÃO

DELBIN, S; SILVA, V. G. da; KOWALTOWSKI, D., LABAKI, L C. **Implementing building energy simulation into the design process: a teaching experience in Brazil...** *In: The 23 Conference on Passive and Low Energy Architecture*, 2006, Geneva. **PLEA 2006**. Imprimerie St-Paul Fribourg, 2006. v.II. p.755 – 760

DELBIN, S; SILVA, V. G. da. **Energy efficiency simulation of buildings in Brazil: proposal of methodology for insertion in design practice.** *In: 2005 World Sustainable building Conference*, 2005, Tokyo. **SB05 Tokyo**, 2005.

Delbin, S.; Silva, V.G. **Inserção de simulação computacional de conforto ambiental em cursos de Arquitetura e Urbanismo.** *In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC 2007) e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC 2007). **Anais.** Realizado de 08 a 10 de agosto em Ouro Preto, Brasil. *(aceito para apresentação oral. A ser publicado).**

Delbin, S.; Silva, V. G. **Seleção de software de simulação de conforto ambiental para utilização em ensino de graduação.** In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC 2007) e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC 2007). **Anais.** Realizado de 08 a 10 de agosto em Ouro Preto, Brasil. *(aceito para apresentação oral. A ser publicado).*

APÊNDICE A

Questionário 01

1) Em que fase do processo de projeto você costuma analisar a orientação para implantação do edifício?

- nenhuma
- programa
- croquis
- estudo preliminar
- projeto executivo

1a) Que método utiliza para realizar a análise ?

2) Em que fase do processo de projeto você costuma analisar a direção dos ventos?

- nenhuma
- programa
- croquis
- estudo preliminar
- projeto executivo

2a) Que método utiliza para realizar a análise ?

3) Em que fase do processo de projeto você costuma escolher os materiais construtivos?

- nenhuma
- programa
- croquis
- estudo preliminar
- projeto executivo

3a) Que critérios utiliza para realizar a análise ?

4) Em que fase do processo de projeto você escolher as cores dos materiais de fechamento?

- nenhuma
- programa
- croquis
- estudo preliminar
- projeto executivo

4a) Que critérios utiliza para realizar a análise ?

5) Em que fase do processo de projeto você estuda a possibilidade de utilização de *brises*?

- nenhuma
- programa
- croquis
- estudo preliminar
- projeto executivo

5a) Que critérios utiliza para realizar a análise, faz cálculos ?

6) Como você verifica o conforto ambiental de um projeto?

- Não utiliza método de calculo – intuição
- Maquete
- Equações, gráficos, tabelas...
- Outro. Qual? _____

7) Você acredita que a simulação irá auxiliar no desenvolvimento de seu projeto?

8) O que você espera desta disciplina?

Questionário 02 – perguntas 1 a 7 iguais as do questionário 1

8) Você considera a possibilidade de utilização de simulação em projetos futuros? Se sim em que etapa do processo de projeto?

9) Qual (quais) a(s) maior(ers) dificuldade(s) que você encontrou para utilizar a ferramenta de simulação?

10) Você acha o ECOTECH uma ferramenta de fácil utilização?

11) Você recomendaria a colegas que não participaram do curso a utilização do ECOETECT? Comente.

12) Este curso poderia ser incluído na disciplina Física Aplicada?

ANEXO A

Projeto de Norma para Desempenho Térmico de Edificações



**ABNT – Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 28º andar
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: PABX (21) 3974-2300
Fax: (21) 2220-8249/2220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2003,
ABNT–Associação Brasileira de
Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

SET 2003

Projeto 02:135.07-001/3

Desempenho térmico de edificações

Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social

Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003

ABNT/CB-02- Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:135.07 – Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações

Thermal performance in buildings – Brazilian Bioclimatic Zones and Building Guidelines for Low-Cost Houses.

Descriptors: Thermal performance. Buildings.

| | | |
|-----------------|---------------------------------|------------|
| Palavras-chave: | Desempenho térmico. Edificações | 23 páginas |
|-----------------|---------------------------------|------------|

1

Sumário

Prefácio

Introdução

1 Objetivos e campo de aplicação

2 Referências normativas

3 Definições

4 Zoneamento bioclimático brasileiro

5 Parâmetros e condições de contorno

6 Diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática Brasileira

7 Estratégias de condicionamento térmico

ANEXOS

A Relação das 330 cidades cujos climas foram classificados

B Zoneamento Bioclimático do Brasil

C Recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local

D Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de algumas paredes e coberturas

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT /CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta norma, sob o título geral “Desempenho térmico de edificações”, tem previsão de conter as seguintes partes:

Parte 1: Definições, símbolos e unidades;

Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes

de edificações;

Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Esta parte da NBR contém os anexos A e B, de caráter normativo, e os anexos C e D, de caráter informativo.

Introdução

A avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser feita tanto na fase de projeto, quanto após a construção. Em relação à edificação construída, a avaliação pode ser feita através de medições *in-loco* de variáveis representativas do desempenho, enquanto que na fase de projeto esta avaliação pode ser feita por meio de simulação computacional ou através da verificação do cumprimento de diretrizes construtivas.

Esta parte da NBR apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto. Ao mesmo tempo em que estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, são feitas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados.

Propôs-se, então, a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

Adaptou-se uma Carta Bioclimática a partir da sugerida por Givoni (“Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines”. Energy and Building, 18 (1), 11-23, 1992), detalhada no anexo B.

Esta Norma não trata dos procedimentos para avaliação do desempenho térmico de edificações, os quais podem ser elaborados através de cálculos, de medições *in loco* ou de simulações computacionais.

8.1.1.1.1.1.1.1 1 Objetivos e campo de aplicação

1.1 Esta parte da NBR estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social.

1.2 Esta parte da NBR estabelece recomendações e diretrizes construtivas, sem caráter normativo, para adequação climática de habitações unifamiliares de interesse social, com até três pavimentos.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta parte da NBR. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das mesmas. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

Projeto 02:135.07-001/1:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.

Projeto 02:135.07-001/2:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.

Projeto 02:135.07-001/4:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida.

Projeto 02:135.07-001/5:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade pelo método fluximétrico.

ASHRAE: 1996 - Algorithms for Building Heat Transfer Subroutines.

3 Definições

Para os efeitos desta parte da NBR, aplicam-se as definições, símbolos e unidades dos projetos 02:135.07-001/1, 02:135.07-001/2, 02:135.07-001/4 e 02:135.07-001/5.

4 Zoneamento bioclimático brasileiro

O zoneamento bioclimático brasileiro compreende oito diferentes zonas, conforme indica a figura 1.

O anexo A apresenta a relação de 330 cidades cujos climas foram classificados e o anexo B apresenta a metodologia adotada na determinação do zoneamento.

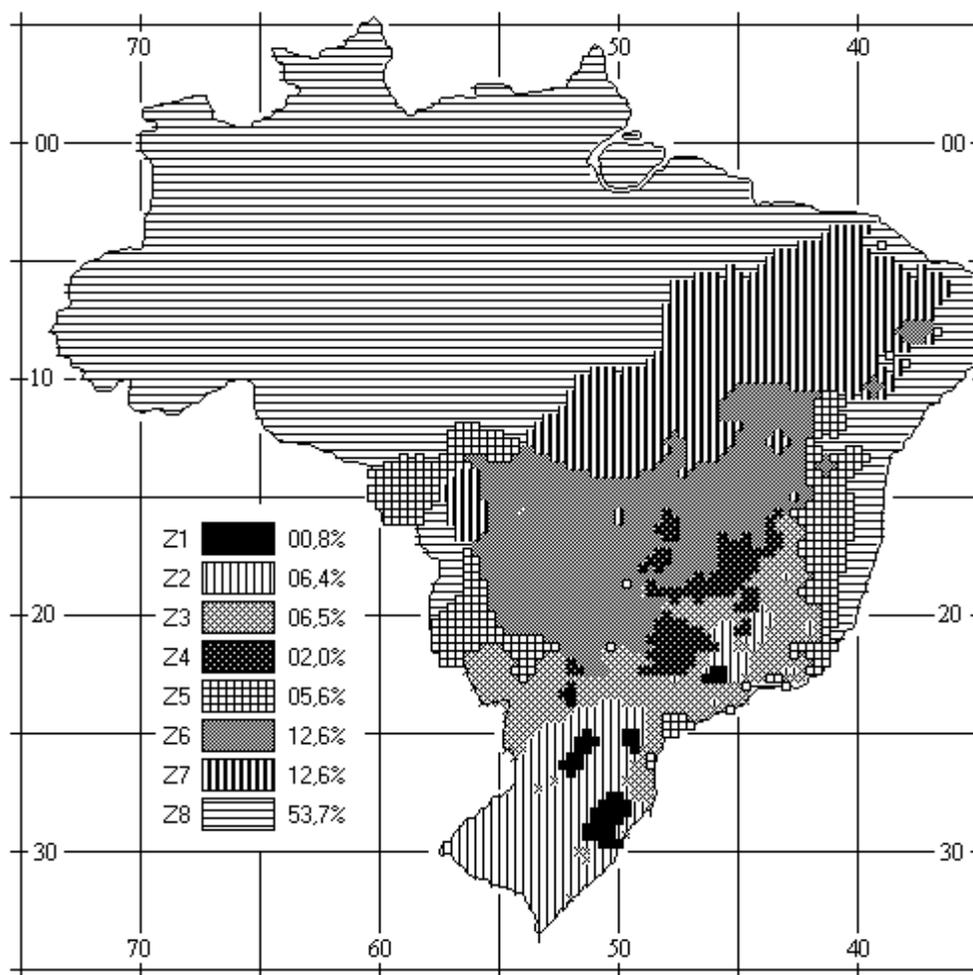


Figura 1 - Zoneamento bioclimático brasileiro.

5 Parâmetros e condições de contorno

Para a formulação das diretrizes construtivas - para cada Zona Bioclimática Brasileira (seção 6) - e para o estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo (seção 7), foram considerados os parâmetros e condições de contorno seguintes:

- tamanho das aberturas para ventilação;
- proteção das aberturas;
- vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura)³⁹; e
- estratégias de condicionamento térmico passivo.

As informações constantes das seções 6 e 7, a seguir, não têm caráter normativo mas apenas orientativo.

6 Diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática

Diretrizes construtivas relativas a aberturas, paredes e coberturas para cada zona bioclimática são apresentadas de 6.1 a 6.8. Limites indicativos são apresentados no anexo C.

6.1 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 1

Na zona bioclimática 1 (ver figuras 2 e 3) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 1, 2 e 3.

³⁹ Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver 02:135.07-001/2)



Figura 2 - Zona Bioclimática 1

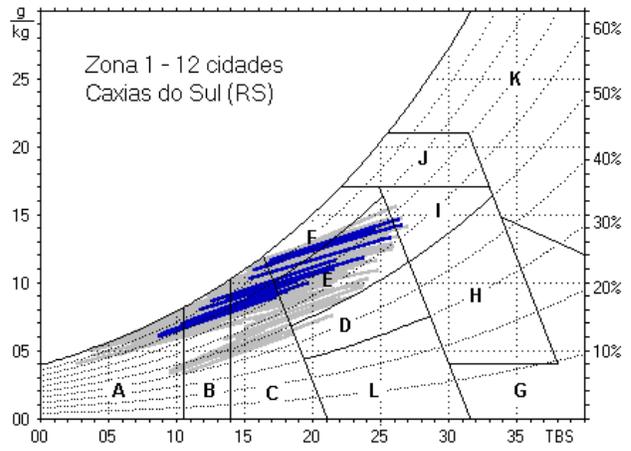


Figura 3 - Carta Bioclimática com as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Caxias do Sul, RS

Tabela 1 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 1

| | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Aberturas para ventilação | Sombreamento das aberturas |
| Médias | Permitir sol durante o período frio |

Tabela 2 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 1

| |
|-------------------------|
| Vedações externas |
| Parede: Leve |
| Cobertura: Leve isolada |

Tabela 3 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 1

| Estação | Estratégias de condicionamento térmico passivo |
|---------|--|
| Inverno | B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica) Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano. Os códigos B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B). |

6.2 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 2

Na zona bioclimática 2 (ver figuras 4 e 5) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 4, 5 e 6.

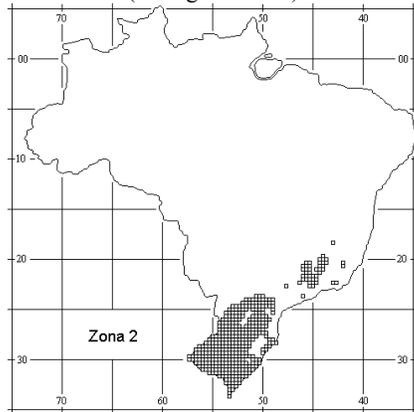


Figura 4 - Zona Bioclimática 2

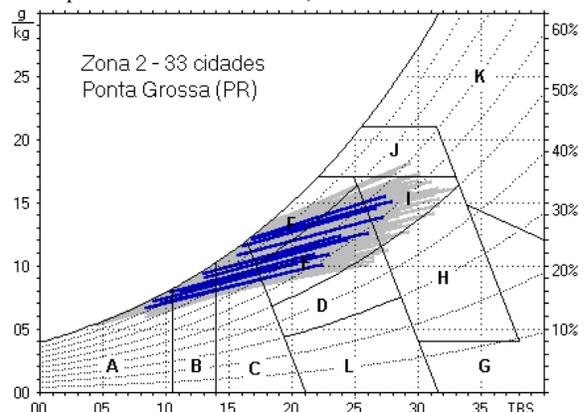


Figura 5 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Ponta Grossa, PR

Tabela 4 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 2

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| Aberturas para ventilação | Sombreamento das aberturas |
| Médias | Permitir sol durante o inverno |

Tabela 5 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 2

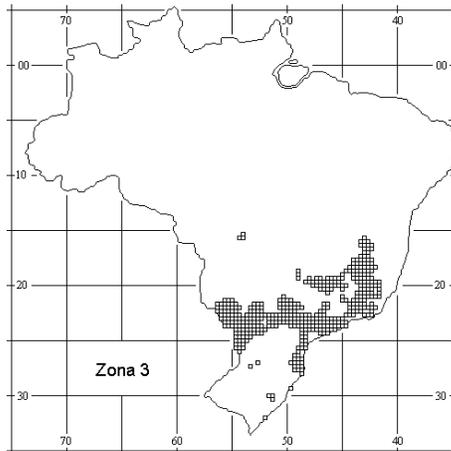
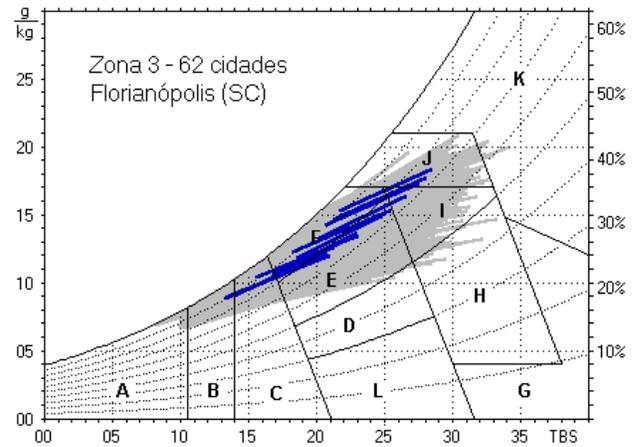
| |
|-------------------------|
| Vedações externas |
| Parede: Leve |
| Cobertura: Leve isolada |

Tabela 6 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 2

| | |
|---|--|
| Estação | Estratégias de condicionamento térmico passivo |
| Verão | J) Ventilação cruzada |
| Inverno | B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica) |
| Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano. Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B). | |

6.3 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 3

Na zona bioclimática 3 (ver figuras 6 e 7) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 7, 8 e 9.

**Figura 6 - Zona Bioclimática 3****Figura 7 - Carta Bioclimática apresentando as normas climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Florianópolis, SC****Tabela 7 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 3**

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| Aberturas para ventilação | Sombreamento das aberturas |
| Médias | Permitir sol durante o inverno |

Tabela 8 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 3

| |
|-------------------------|
| Vedações externas |
| Parede: Leve refletora |
| Cobertura: Leve isolada |

Tabela 9 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 3

| | |
|--|--|
| Estação | Estratégias de condicionamento térmico passivo |
| Verão | J) Ventilação cruzada |
| Inverno | B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica) |
| Nota: Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B). | |

6.4 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 4

Na zona bioclimática 4 (ver figuras 8 e 9) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 10, 11 e 12.

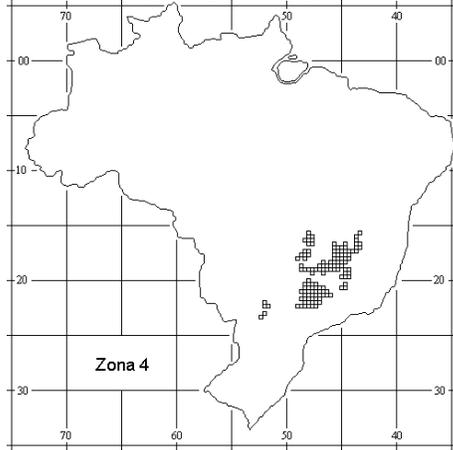


Figura 8 - Zona Bioclimática 4

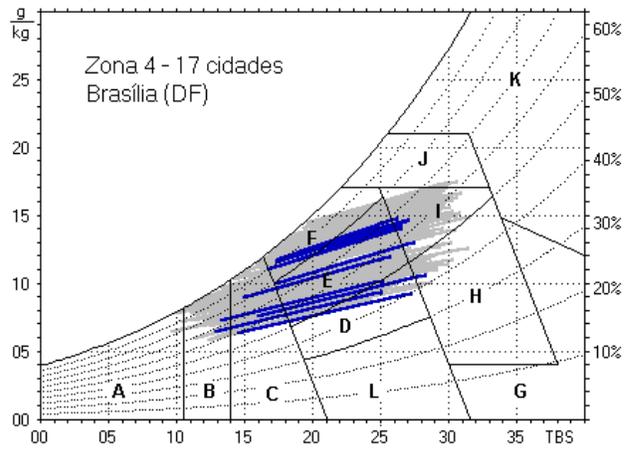


Figura 9 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Brasília, DF

Tabela 10 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 4

| | |
|---------------------------|----------------------------|
| Aberturas para ventilação | Sombreamento das aberturas |
| Médias | Sombrear aberturas |

Tabela 11 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 4

| |
|--------------------------|
| Vedações externas |
| Parede: Pesada |
| Cobertura: Leve isolada |

Tabela 12 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 4

| | |
|---|---|
| Estação | Estratégias de condicionamento térmico passivo |
| Verão | H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa) |
| Inverno | B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica) |
| Nota: Os códigos H, J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B). | |

6.5 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 5

Na zona bioclimática 5 (ver figuras 10 e 11) devem ser atendidas as diretrizes construtivas apresentadas nas tabelas 13, 14 e 15.

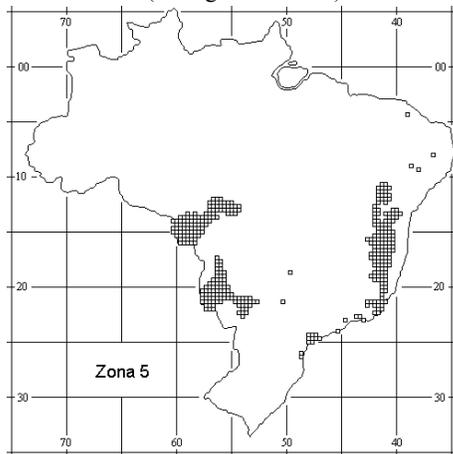


Figura 10 - Zona Bioclimática 5

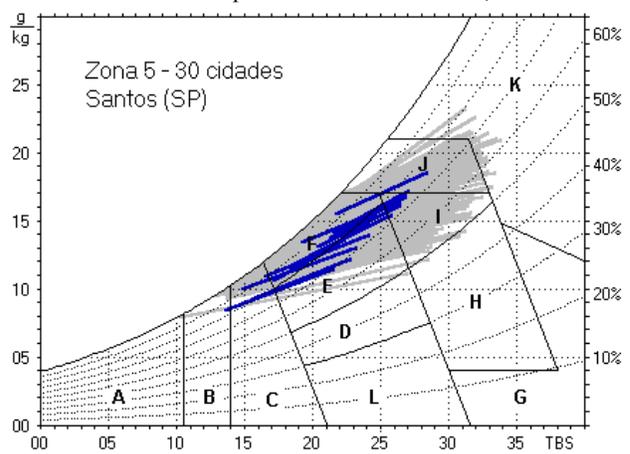


Figura 11 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Santos, SP

Tabela 13 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 5

| | |
|---------------------------|----------------------------|
| Aberturas para ventilação | Sombreamento das aberturas |
| Médias | Sombrear aberturas |

Tabela 14 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 5

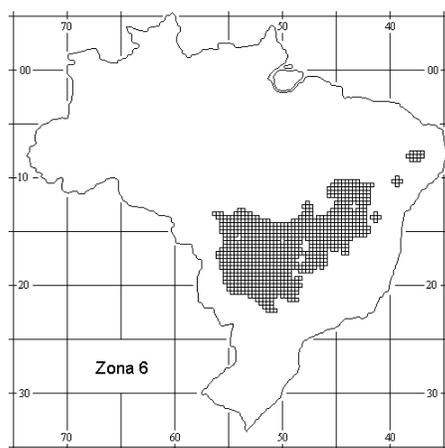
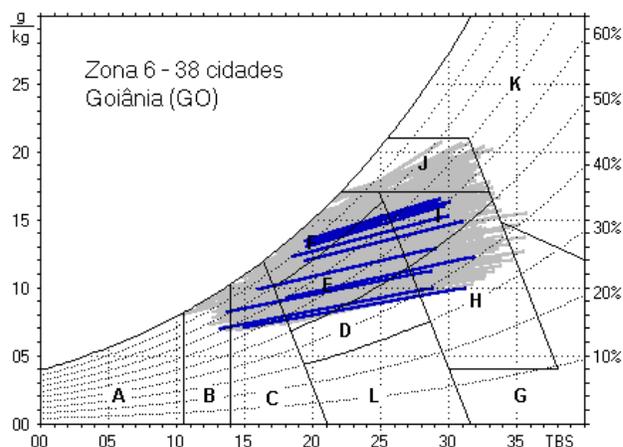
| |
|-------------------------|
| Vedações externas |
| Parede: Leve refletora |
| Cobertura: Leve isolada |

Tabela 15 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 5

| | |
|---|--|
| Estação | Estratégias de condicionamento térmico passivo |
| Verão | J) Ventilação cruzada |
| Inverno | C) Vedações internas pesadas (inércia térmica) |
| Nota: Os códigos J e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B). | |

6.6 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 6

Na zona bioclimática 6 (ver figuras 12 e 13) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 16, 17 e 18.

**Figura 12 - Zona Bioclimática 6****Figura 13 - Carta Bioclimática apresentando as normas climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Goiânia, GO****Tabela 16 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 6**

| | |
|---------------------------|----------------------------|
| Aberturas para ventilação | Sombreamento das aberturas |
| Médias | Sombrear aberturas |

Tabela 17 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 6

| |
|-------------------------|
| Vedações externas |
| Parede: Pesada |
| Cobertura: Leve isolada |

Tabela 18 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 6

| | |
|--|---|
| Estação | Estratégias de condicionamento térmico passivo |
| Verão | H) Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa) |
| Inverno | C) Vedações internas pesadas (inércia térmica) |
| Nota: Os códigos H, J e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B). | |

6.7 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 7

Na zona bioclimática 7 (ver figuras 14 e 15) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 19, 20 e 21.

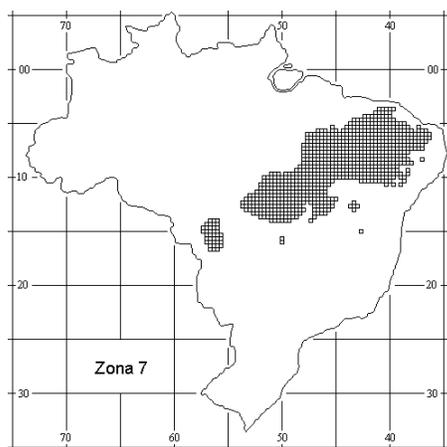


Figura 14 - Zona Bioclimática 7

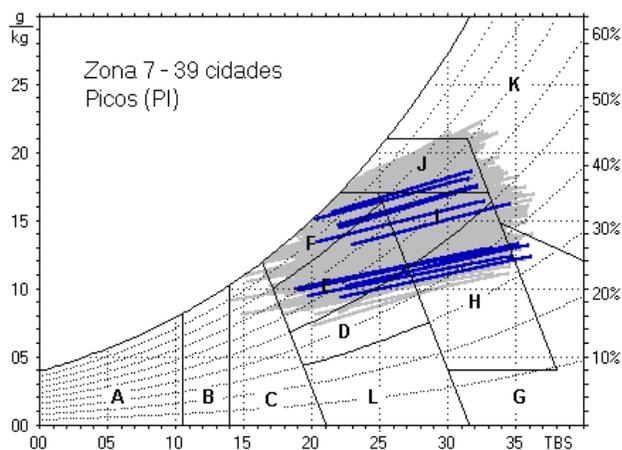


Figura 15 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Picos, PI

Tabela 19 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 7

| | |
|---------------------------|----------------------------|
| Aberturas para ventilação | Sombreamento das aberturas |
| Pequenas | Sombrear aberturas |

Tabela 20 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 7

| |
|-------------------|
| Vedações externas |
| Parede: Pesada |
| Cobertura: Pesada |

Tabela 21 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 7

| Estação | Estratégias de condicionamento térmico passivo |
|---|---|
| Verão | H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa) |
| Nota: Os códigos H e J são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B). | |

6.8 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 8

Na zona bioclimática 8 (ver figuras 16 e 17) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 22, 23 e 24.

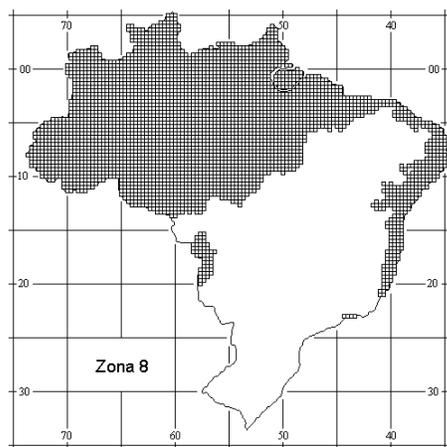


Figura 16 - Zona Bioclimática 8

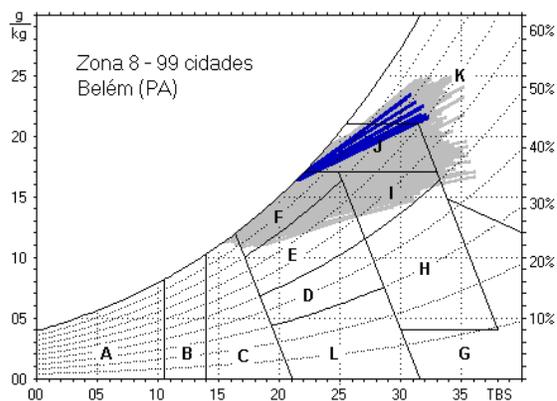


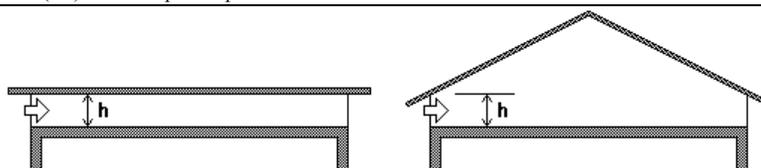
Figura 17 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Belém, PA

Tabela 22 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8

| | |
|---------------------------|----------------------------|
| Aberturas para ventilação | Sombreamento das aberturas |
| Grandes | Sombrear aberturas |

Tabela 23 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 8

| |
|--|
| Vedações externas |
| Parede: Leve refletora |
| Cobertura: Leve refletora |
| Notas: 1 Coberturas com telha de barro sem forro, embora não atendam aos critérios das tabelas 23 e C.2, poderão ser aceitas na Zona 8, desde que as telhas não sejam pintadas ou esmaltadas. 2 Na Zona 8, também serão aceitas coberturas com transmitâncias térmicas acima dos valores tabelados, desde que atendam às seguintes exigências: a) conttenham aberturas para ventilação em, no mínimo, dois beirais opostos; e b) as aberturas para ventilação ocupem toda a extensão das fachadas respectivas. Nestes casos, em função da altura total para ventilação (ver figura 18), os limites aceitáveis da transmitância térmica poderão ser multiplicados pelo fator (FT) indicado pela expressão 1. |

**Figura 18 - Abertura (h) em beirais, para ventilação do ático**

$$FT = 1,17 - 1,07 \cdot h^{-1,04} \quad (1)$$

Onde:

FT igual ao fator de correção da transmitância aceitável para as coberturas da zona 8 (adimensional);

h igual à altura da abertura em dois beirais opostos, em centímetros.

Nota:

Para coberturas sem forro ou com áticos não ventilados, FT = 1.

Tabela 24 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 8

| Estação | Estratégias de condicionamento térmico passivo |
|---------|--|
| Verão | J) Ventilação cruzada permanente Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes. O código J é o mesmo adotado na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B). |

7 Estratégias de condicionamento térmico

A tabela 25 apresenta o detalhamento das diferentes estratégias de condicionamento térmico passivo.

Tabela 25 - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico

| Estratégia | Detalhamento |
|------------|---|
| A | O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio. |
| B | A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar. |
| C | A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido. |
| D | Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades). |
| E | Caracteriza a zona de conforto térmico. |
| F | As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes. |
| G e H | Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar. |
| H e I | Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem. |

Tabela 25 (conclusão) - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico.

| Estratégia | Detalhamento |
|------------|---|
| I e J | A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos. |
| K | O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor. |
| L | Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21°C e 30°C, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida através da utilização de recipientes com água e do controle da ventilação, pois esta é indesejável por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas. |

//ANEXO

Anexo A (normativo)

Relação das 330 cidades cujos climas foram classificados

A.1 Notas sobre as colunas

A primeira coluna (UF) indica a Unidade Federativa a que a cidade pertence e a quarta coluna (Zona) indica a Zona Bioclimática na qual a cidade está inserida. Os estados e as cidades são apresentados em ordem alfabética. A terceira coluna apresenta as estratégias bioclimáticas recomendadas, de acordo com a metodologia utilizada.

| UF | Cidade | Estrat. | Zona |
|----|------------------------|---------|------|
| AC | Cruzeiro do Sul | FJK | 8 |
| AC | Rio Branco | FIJK | 8 |
| AC | Tarauacá | FJK | 8 |
| AL | Água Branca | CFI | 5 |
| AL | Anadia | FIJ | 8 |
| AL | Coruripe | FIJ | 8 |
| AL | Maceió | FIJ | 8 |
| AL | Palmeira dos Índios | FIJ | 8 |
| AL | Pão de Açúcar | FIJK | 8 |
| AL | Pilar | FIJ | 8 |
| AL | Porto de Pedras | FIJ | 8 |
| AM | Barcelos | FJK | 8 |
| AM | Coari | FJK | 8 |
| AM | Fonte Boa | FJK | 8 |
| AM | Humaitá | FIJK | 8 |
| AM | laurete | FJK | 8 |
| AM | Itacoatiara | FJK | 8 |
| AM | Manaus | FJK | 8 |
| AM | Parintins | JK | 8 |
| AM | Taracua | FJK | 8 |
| AM | Tefé | FJK | 8 |
| AM | Uaupes | FJK | 8 |
| AP | Macapá | FJK | 8 |
| BA | Alagoinhas | FIJ | 8 |
| BA | Barra do Rio Grande | CDFHI | 6 |
| BA | Barreiras | DFHIJ | 7 |
| BA | Bom Jesus da Lapa | CDFHI | 6 |
| BA | Caetitê | CDFI | 6 |
| BA | Camaçari | FIJ | 8 |
| BA | Canavieiras | FIJ | 8 |
| BA | Caravelas | FIJ | 8 |
| BA | Carinhanha | CDFHI | 6 |
| BA | Cipó | FIJK | 8 |
| BA | Correntina | CFHIJ | 6 |
| BA | Guaratinga | FIJ | 8 |
| BA | Ibipetuba | CFHIJ | 6 |
| BA | Ilhéus | FIJ | 8 |
| BA | Irecê | CDFHI | 6 |
| BA | Itaberaba | FI | 8 |
| BA | Itiruçu | CFI | 5 |
| BA | Ituaçu | CDFHI | 6 |
| BA | Jacobina | FI | 8 |
| BA | Lençóis | FIJ | 8 |
| BA | Monte Santo | CFHI | 6 |
| BA | Morro do Chapéu | CFI | 5 |
| BA | Paratinga | FHIJK | 7 |
| BA | Paulo Afonso | FHIJK | 7 |
| BA | Remanso | DFHI | 7 |
| BA | Salvador (Ondina) | FIJ | 8 |
| BA | Santa Rita de Cássia | CFHIJ | 6 |
| BA | São Francisco do Conde | FIJ | 8 |
| BA | São Gonçalo dos Campos | FIJ | 8 |
| BA | Senhor do Bonfim | FHI | 7 |
| BA | Serrinha | FIJ | 8 |
| BA | Vitória da Conquista | CFI | 5 |

| UF | Cidade | Estrat. | Zona |
|----|--------------------------|---------|------|
| CE | Barbalha | DFHIJ | 7 |
| CE | Campos Sales | DFHIJ | 7 |
| CE | Crateús | DFHIJ | 7 |
| CE | Fortaleza | FIJ | 8 |
| CE | Guaramiranga | CFI | 5 |
| CE | Iguatu | DFHIJ | 7 |
| CE | Jaguaruana | FIJK | 8 |
| CE | Mondibim | FIJ | 8 |
| CE | Morada Nova | FHIJK | 7 |
| CE | Quixadá | FHIJK | 7 |
| CE | Quixeramobim | FHIJK | 7 |
| CE | Sobral | FHIJK | 7 |
| CE | Tauá | DFHIJ | 7 |
| DF | Brasília | BCDFI | 4 |
| ES | Cachoeiro de Itapemirim | FIJK | 8 |
| ES | Conceição da Barra | FIJ | 8 |
| ES | Linhares | FIJ | 8 |
| ES | São Mateus | FIJ | 8 |
| ES | Vitória | FIJ | 8 |
| GO | Aragarças | CFHIJ | 6 |
| GO | Catalão | CDFHI | 6 |
| GO | Formosa | CDFHI | 6 |
| GO | Goiânia | CDFHI | 6 |
| GO | Goiás | FHIJ | 7 |
| GO | Ipamerí | BCDFI | 4 |
| GO | Luziânia | BCDFI | 4 |
| GO | Pirenópolis | CDFHI | 6 |
| GO | Posse | CDFHI | 6 |
| GO | Rio Verde | CDFHI | 6 |
| MA | Barra do Corda | FHIJK | 7 |
| MA | Carolina | FHIJ | 7 |
| MA | Caxias | FHIJK | 7 |
| MA | Coroatá | FIJK | 8 |
| MA | Grajaú | FHIJK | 7 |
| MA | Imperatriz | FHIJK | 7 |
| MA | São Bento | FIJK | 8 |
| MA | São Luiz | JK | 8 |
| MA | Turiaçu | FIJ | 8 |
| MA | Zé Doca | FIJK | 8 |
| MG | Aimorés | CFIJK | 5 |
| MG | Araçuaí | CFIJ | 5 |
| MG | Araxá | BCFI | 3 |
| MG | Bambuí | BCFIJ | 3 |
| MG | Barbacena | BCFI | 3 |
| MG | Belo Horizonte | BCFI | 3 |
| MG | Caparaó | ABCFI | 2 |
| MG | Capinópolis | CFIJ | 5 |
| MG | Caratinga | BCFI | 3 |
| MG | Cataguases | CFIJ | 5 |
| MG | Conceição do Mato Dentro | BCFI | 3 |
| MG | Coronel Pacheco | BCFIJ | 3 |
| MG | Curvelo | BCFIJ | 3 |
| MG | Diamantina | BCFI | 3 |
| MG | Espinosa | CDFHI | 6 |
| MG | Frutal | CFHIJ | 6 |

Continuação

| UF | Cidade | Estrat. | Zona |
|----|-----------------------|---------|------|
| MG | Governador Valadares | CFIJ | 5 |
| MG | Grão Mogol | BCFI | 3 |
| MG | Ibirité | ABCFI | 2 |
| MG | Itabira | BCFI | 3 |
| MG | Itajubá | ABCFI | 2 |
| MG | Itamarandiba | BCFI | 3 |
| MG | Januária | CFHIJ | 6 |
| MG | João Pinheiro | CDFHI | 6 |
| MG | Juiz de Fora | BCFI | 3 |
| MG | Lavras | BCFI | 3 |
| MG | Leopoldina | CFIJ | 5 |
| MG | Machado | ABCFI | 2 |
| MG | Monte Alegre de Minas | BCFIJ | 3 |
| MG | Monte Azul | DFHI | 7 |
| MG | Montes Claros | CDFHI | 6 |
| MG | Muriae | BCFIJ | 3 |
| MG | Oliveira | BCDFI | 4 |
| MG | Paracatu | CFHIJ | 6 |
| MG | Passa Quatro | ABCFI | 2 |
| MG | Patos de Minas | BCDFI | 4 |
| MG | Pedra Azul | CFI | 5 |
| MG | Pirapora | BCFHI | 4 |
| MG | Pitangui | BCFHI | 4 |
| MG | Poços de Calda | ABCF | 1 |
| MG | Pompeu | BCFIJ | 3 |
| MG | Santos Dumont | BCFI | 3 |
| MG | São Francisco | CFHIJ | 6 |
| MG | São João Del Rei | ABCFI | 2 |
| MG | São João Evangelista | BCFIJ | 3 |
| MG | São Lourenço | ABCFI | 2 |
| MG | Sete Lagoas | BCDFI | 4 |
| MG | Teófilo Otoni | CFIJ | 5 |
| MG | Três Corações | ABCFI | 2 |
| MG | Ubá | BCFIJ | 3 |
| MG | Uberaba | BCFIJ | 3 |
| MG | Viçosa | BCFIJ | 3 |
| MS | Aquidauana | CFIJK | 5 |
| MS | Campo Grande | CFHIJ | 6 |
| MS | Corumbá | FJK | 8 |
| MS | Coxim | CFHIJ | 6 |
| MS | Dourados | BCFIJ | 3 |
| MS | Ivinhema | CFIJK | 5 |
| MS | Paranaíba | CFHIJ | 6 |
| MS | Ponta Porã | BCFI | 3 |
| MS | Três Lagoas | CFHIJ | 6 |
| MT | Cáceres | FJK | 8 |
| MT | Cidade Vera | CFIJK | 5 |
| MT | Cuiabá | FHIJK | 7 |
| MT | Diamantino | FHIJK | 7 |
| MT | Meruri | CFHIJ | 6 |
| MT | Presidente Murtinho | BCFIJ | 3 |
| PA | Altamira | FJK | 8 |
| PA | Alto Tapajós | FJK | 8 |
| PA | Belém | FJK | 8 |
| PA | Belterra | FJK | 8 |

| UF | Cidade | Estrat. | Zona |
|----|-----------------------|---------|------|
| PA | Breves | FJK | 8 |
| PA | Conceição do Araguaia | FJK | 8 |
| PA | Itaituba | FJK | 8 |
| PA | Marabá | FJK | 8 |
| PA | Monte Alegre | FIJ | 8 |
| PA | Óbidos | FJK | 8 |
| PA | Porto de Moz | FJK | 8 |
| PA | Santarém (Taperinha) | FJK | 8 |
| PA | São Félix do Xingú | FJK | 8 |
| PA | Soure | JK | 8 |
| PA | Tirirós | FIJ | 8 |
| PA | Tracuateua | FIJK | 8 |
| PA | Tucuruí | FJK | 8 |
| PB | Areia | FIJ | 8 |
| PB | Bananeiras | FIJ | 8 |
| PB | Campina Grande | FIJ | 8 |
| PB | Guarabira | FIJK | 8 |
| PB | João Pessoa | FIJ | 8 |
| PB | Monteiro | CFHI | 6 |
| PB | São Gonçalo | FHIJK | 7 |
| PB | Umbuzeiro | FI | 8 |
| PE | Arco Verde | FHI | 7 |
| PE | Barreiros | FJK | 8 |
| PE | Cabrobó | DFHI | 7 |
| PE | Correntes | FIJ | 8 |
| PE | Fernando de Noronha | FIJ | 8 |
| PE | Floresta | FHIK | 7 |
| PE | Garanhuns | CFI | 5 |
| PE | Goiana | FIJ | 8 |
| PE | Nazaré da Mata | FIJ | 8 |
| PE | Pesqueira | FI | 8 |
| PE | Petrolina | DFHI | 7 |
| PE | Recife | FIJ | 8 |
| PE | São Caetano | FIJ | 8 |
| PE | Surubim | FIJ | 8 |
| PE | Tapera | FIJ | 8 |
| PE | Triunfo | CFHI | 6 |
| PI | Bom Jesus do Piauí | DFHIJ | 7 |
| PI | Floriano | FHIJK | 7 |
| PI | Parnaíba | FIJ | 8 |
| PI | Paulistana | DFHIJ | 7 |
| PI | Picos | DFHIJ | 7 |
| PI | Teresina | FHIJK | 7 |
| PR | Campo Mourão | BCFI | 3 |
| PR | Castro | ABCF | 1 |
| PR | Curitiba | ABCF | 1 |
| PR | Foz do Iguaçu | BCFIJ | 3 |
| PR | Guaira | BCFIJ | 3 |
| PR | Guarapuava | ABCF | 1 |
| PR | Ivaí | ABCFI | 2 |
| PR | Jacarezinho | BCFIJ | 3 |
| PR | Jaguariaiva | ABCFI | 2 |
| PR | Londrina | BCFI | 3 |
| PR | Maringá | ABCD | 1 |
| PR | Palmas | ABCF | 1 |

Continuação

| UF | Cidade | Estrat. | Zona |
|----|-------------------------|---------|------|
| PR | Paranaguá | BCFIJ | 3 |
| PR | Ponta Grossa | ABCFI | 2 |
| PR | Rio Negro | ABCFI | 2 |
| RJ | Angra dos Reis | FIJ | 8 |
| RJ | Barra do Itabapoana | CFIJ | 5 |
| RJ | Cabo Frio | FIJ | 8 |
| RJ | Campos | CFIJ | 5 |
| RJ | Carmo | BCFIJ | 3 |
| RJ | Cordeiro | BCFIJ | 3 |
| RJ | Escola Agrícola | CFIJ | 5 |
| RJ | Ilha Guaíba | FIJ | 8 |
| RJ | Itaperuna | CFIJ | 5 |
| RJ | Macaé | CFIJ | 5 |
| RJ | Niterói | CFIJ | 5 |
| RJ | Nova Friburgo | ABCFI | 2 |
| RJ | Petrópolis | BCF | 3 |
| RJ | Piraí | BCFIJ | 3 |
| RJ | Rezende | BCFIJ | 3 |
| RJ | Rio de Janeiro | FIJ | 8 |
| RJ | Rio Douro | CFIJ | 5 |
| RJ | Teresópolis | ABCFI | 2 |
| RJ | Vassouras | BCFIJ | 3 |
| RJ | Xerém | CFIJ | 5 |
| RN | Apodí | FIJK | 8 |
| RN | Ceará Mirim | FIJ | 8 |
| RN | Cruzeta | FHIJK | 7 |
| RN | Florânia | FHIJ | 7 |
| RN | Macaíba | FIJ | 8 |
| RN | Macau | FIJ | 8 |
| RN | Mossoró | FHIJK | 7 |
| RN | Natal | FIJ | 8 |
| RN | Nova Cruz | FIJ | 8 |
| RO | Porto Velho | FIJK | 8 |
| RS | Alegrete | ABCFI | 2 |
| RS | Bagé | ABCFI | 2 |
| RS | Bom Jesus | ABCF | 1 |
| RS | Caxias do Sul | ABCF | 1 |
| RS | Cruz Alta | ABCFI | 2 |
| RS | Encruzilhada do Sul | ABCFI | 2 |
| RS | Iraí | BCFIJ | 3 |
| RS | Passo Fundo | ABCFI | 2 |
| RS | Pelotas | ABCFI | 2 |
| RS | Porto Alegre | BCFI | 3 |
| RS | Rio Grande | BCFI | 3 |
| RS | Santa Maria | ABCFI | 2 |
| RS | Santa Vitória do Palmar | ABCFI | 2 |
| RS | São Francisco de Paula | ABCF | 1 |
| RS | São Luiz Gonzaga | ABCFI | 2 |
| RS | Torres | BCFI | 3 |
| RS | Uruguaiana | ABCFI | 2 |
| SC | Araranguá | ABCFI | 2 |
| SC | Camboriú | BCFIJ | 3 |
| SC | Chapecó | BCFI | 3 |
| SC | Florianópolis | BCFIJ | 3 |
| SC | Indaial | BCFIJ | 3 |

| UF | Cidade | Estrat. | Zona |
|----|-------------------------|---------|------|
| SC | Lages | ABCF | 1 |
| SC | Laguna | ABCFI | 2 |
| SC | Porto União | ABCFI | 2 |
| SC | São Francisco do Sul | CFIJ | 5 |
| SC | São Joaquim | ABCF | 1 |
| SC | Urussanga | ABCFI | 2 |
| SC | Valões | ABCFI | 2 |
| SC | Xanxerê | ABCFI | 2 |
| SE | Aracajú | FIJ | 8 |
| SE | Itabaianinha | FIJ | 8 |
| SE | Propriá | FIJK | 8 |
| SP | Andradina | CFHIJ | 6 |
| SP | Araçatuba | CFIJK | 5 |
| SP | Avaré | BCFIJ | 3 |
| SP | Bandeirantes | BCFI | 3 |
| SP | Bariri | BCFI | 3 |
| SP | Barra Bonita | BCFI | 3 |
| SP | Campinas | BCFI | 3 |
| SP | Campos do Jordão | ABCF | 1 |
| SP | Casa Grande | ABCFI | 2 |
| SP | Catanduva | CFHIJ | 6 |
| SP | Franca | BCDF | 4 |
| SP | Graminha | BCFI | 3 |
| SP | Ibitinga | BCFIJ | 3 |
| SP | Iguape | CFIJ | 5 |
| SP | Itapeva | ABCFI | 2 |
| SP | Jau | BCDFI | 4 |
| SP | Juquiá | CFIJ | 5 |
| SP | Jurumirim | BCFI | 3 |
| SP | Limeira | BCDFI | 4 |
| SP | Limoeiro | BCDFI | 4 |
| SP | Mococa | BCDFI | 4 |
| SP | Mogi Guaçu (Campininha) | BCFIJ | 3 |
| SP | Paraguacu Paulista | CDFI | 6 |
| SP | Pindamonhangaba | BCFIJ | 3 |
| SP | Pindorama | CDFHI | 6 |
| SP | Piracicaba | ABCFI | 2 |
| SP | Presidente Prudente | CDFHI | 6 |
| SP | Ribeirão das Antas | BCFI | 3 |
| SP | Ribeirão Preto | BCDFI | 4 |
| SP | Salto Grande | BCFIJ | 3 |
| SP | Santos | CFIJ | 5 |
| SP | São Carlos | BCDFI | 4 |
| SP | São Paulo | BCFI | 3 |
| SP | São Simão | BCDFI | 4 |
| SP | Sorocaba | BCFI | 3 |
| SP | Tietê | BCFI | 3 |
| SP | Tremembé | BCFI | 3 |
| SP | Ubatuba | BCFIJ | 3 |
| SP | Viracopos | BCDFI | 4 |
| SP | Votuporanga | CDFHI | 6 |
| TO | Paraná | CFHIJ | 6 |
| TO | Peixe | FHIJK | 7 |
| TO | Porto Nacional | FHIJK | 7 |
| TO | Taguatinga | DFHIJ | 7 |

Anexo B (normativo) Zoneamento Bioclimático do Brasil

B.1 Conceituação

O território brasileiro foi dividido em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima.

Para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas, objetivando otimizar o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

B.2 Base de dados climáticos

B.2.1 O território brasileiro foi dividido em 6500 células, cada uma das quais foi caracterizada pela posição geográfica e pelas seguintes variáveis climáticas:

- a) Médias mensais das temperaturas máximas;
- b) Médias mensais das temperaturas mínimas; e
- c) Médias mensais das umidades relativas do ar.

B.2.2 Para 330 células (ver figura B.1) contou-se com:

- a) dados das Normais Climatológicas medidos desde 1961 a 1990 em 206 cidades;
- b) dados das Normais Climatológicas e outras fontes medidos desde 1931 a 1960 em 124 cidades;
- c) para as demais células o clima foi estimado, por interpolação, através dos passos B.2.2.1 e B.2.2.2.

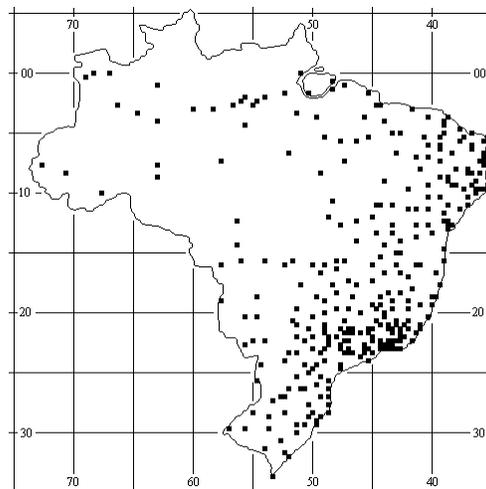


Figura B.1 – Localização das células com dados medidos

B.2.2.1 Médias mensais de temperaturas máximas e mínimas

Os valores de cada célula foram considerados como médias ponderadas entre quatro células vizinhas (acima, abaixo, à esquerda e à direita). Na ponderação, as células com dados medidos tiveram peso quatro e as demais, peso um.

B.2.2.2 Médias mensais de umidades relativas

Através dos algoritmos das relações psicrométricas (“Algorithms for Building Heat Transfer Subroutines”, ASHRAE, 1996), foram primeiramente calculadas as umidades absolutas (gramas de vapor d’água/quilo de ar seco) das cidades com clima medido.

Em seguida, estas umidades foram interpoladas pelo mesmo procedimento adotado para as temperaturas.

Finalmente, para cada célula, foram obtidas as umidades relativas correspondentes às temperaturas médias mensais.

B.3 Método para a classificação bioclimática

Adotou-se uma Carta Bioclimática (ver figura B.2) adaptada a partir da sugerida por Givoni (“Comfort, climate analysis and building design guidelines”. Energy and Building, vol.18, July/92).

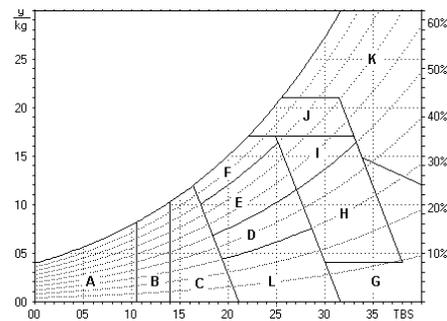


Figura B.2 – Carta bioclimática adaptada

As zonas da carta correspondem às seguintes estratégias:

| | |
|--|---|
| A – Zona de aquecimento artificial (calefação) | G + H – Zona de resfriamento evaporativo |
| B – Zona de aquecimento solar da edificação | H + I – Zona de massa térmica de refrigeração |
| C – Zona de massa térmica para aquecimento | I + J – Zona de ventilação |
| D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade) | K – Zona de refrigeração artificial |
| E – Zona de Conforto Térmico | L – Zona de umidificação do ar |
| F – Zona de desumidificação (renovação do ar) | |

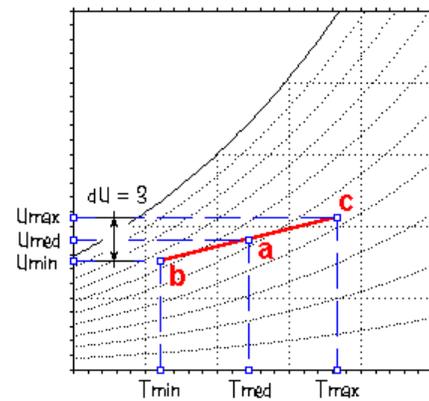
Sobre esta carta, foram registrados e classificados os climas de cada ponto do território brasileiro. Para cada mês do ano, os dados mensais de temperatura e umidade do ar foram representados por uma reta (ver figura B.3), obtida da seguinte maneira:

Dados de entrada:

- T_{min} igual à temperatura média das mínimas;
- T_{max} igual à temperatura média das máximas;
- UR igual à média mensal da umidade relativa.

Cálculo da temperatura média mensal e seqüência

$$T_{med} = (T_{min} + T_{max}) / 2$$



8.1.1.1.1.2 Figura B.3 – Determinação da linha abc

Marcar o ponto “a”, na interseção entre T_{med} e UR .

A umidade absoluta correspondente ao ponto “a” será considerada como a média mensal da umidade absoluta (U_{med} , em g. de vapor / kg de ar seco).

Calcular U_{min} (umidade absoluta correspondente a T_{min}) pela seguinte expressão:

$$U_{min} = U_{med} - 1,5 \text{ (gr. Vapor / kg ar seco)}$$

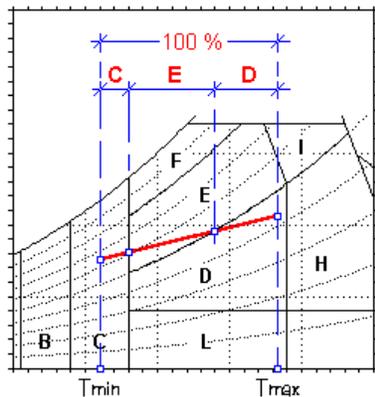
Calcular U_{max} (umidade absoluta correspondente a T_{max}) pela seguinte expressão:

$$U_{max} = U_{med} + 1,5 \text{ (gr. Vapor / kg ar seco)}$$

Nota: A variação média da umidade absoluta do ar, adotada nas expressões acima, é sugerida por Lamberts, Dutra e Pereira (“Eficiência Energética na Arquitetura”, 1997, página 144).

Localizar o ponto “b” na interseção entre as retas que passam por T_{min} e por U_{min}

Localizar o ponto “c” na interseção entre as retas que passam por T_{max} e por U_{max}



8.1.1.1.1.3 Figura B.4 – Percentagem de cada estratégia

A reta “bc” representa todas as horas de um dia médio do mês considerado. Calcula-se, então, a percentagem destas horas que corresponda a cada uma das estratégias indicadas na carta bioclimática.

No exemplo indicado na figura B.4, as horas mais frias do dia estão na região C da carta (massa térmica para aquecimento), enquanto as mais quentes estão na região D. Como a reta inteira equivale a 100% do tempo, os segmentos C, E e D indicam, respectivamente, as percentagens das horas correspondentes a cada uma destas estratégias. Esta operação é repetida para os 12 meses, calculando-se, assim, as percentagens de cada estratégia acumuladas ao longo de um ano.

B.4 Um caso particular

A figura B.5 mostra uma condição climática sob a qual a aplicação do procedimento indicado implicaria em localizar o ponto “b” acima da curva de saturação do ar.

Nestes casos, fazendo corresponder o ponto “b” a uma umidade relativa $\leq 100\%$, adota-se uma amplitude maior que 3 para a umidade absoluta ($dU > 3$ gr vapor / kg ar seco).

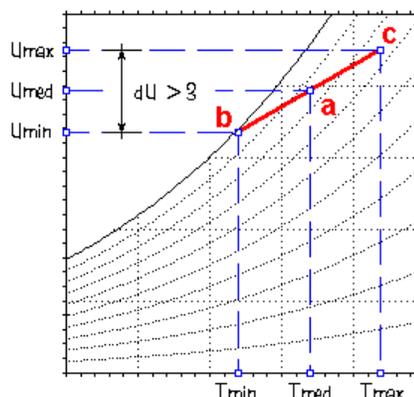


Figura B.5 – Ponto acima da curva de saturação do ar

A carta indicada na figura B.6 apresenta o clima de Brasília, com as respectivas percentagens das horas/ano correspondentes a cada estratégia. Valores menores que 1% são desprezados. Em seguida, são selecionadas as cinco principais estratégias, exceto a da região “E” (conforto térmico). No caso de Brasília, restariam as seguintes:

- F – 16,2 %
- D – 10,6 %
- C – 12,7 %
- I – 3,7%
- B – 1,5%

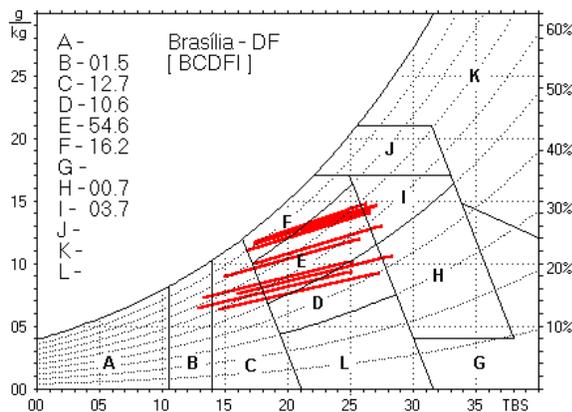


Figura B.6 – Estratégias bioclimáticas para Brasília

Reunidas em ordem alfabética, estas letras definem o código “BCDFI” para o clima analisado. Este código permitirá a classificação de cada tipo de clima, em uma das oito Zonas Bioclimáticas, através dos critérios apresentados na tabela B.1

Tabela B.1 - Critérios para classificação bioclimática

| Classificação | | | | | | | Zona | No Cidades |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------------|
| A | B | C | D | H | I | J | | |
| Sim | | | | | Não | Não | 1 | 12 |
| Sim | | | | | | | 2 | 33 |
| | Sim | | Não | Não | | | 3 | 62 |
| | Sim | | | | | | 4 | 17 |
| | | Sim | Não | Não | | | 5 | 30 |
| | | Sim | | | | | 6 | 38 |
| | | | | Sim | | | 7 | 39 |
| | | | Não | | | | 8 | 99 |

Legenda: Sim = presença obrigatória
 Não = presença proibida

NOTAS:

- 1 As estratégias não assinaladas com sim ou não podem estar no código do clima, mas sua presença não é obrigatória.
- 2 Percorrer a tabela de cima para baixo, adotando a primeira zona cujos critérios coincidam com o código.

B.5 Exemplo de aplicação

Como já foi visto, o clima de Brasília é identificado pelas letras BCDFI. Percorre-se, então, a tabela, de cima para baixo, procurando a primeira Zona cujos critérios aceitem esta seqüência:

- Zona 1: A é obrigatório e I e J são proibidos. Portanto, Brasília não faz parte desta Zona Bioclimática, pois não tem A e tem I.
- Zona 2: A é obrigatório. Brasília não faz parte desta Zona Bioclimática, pois não tem A.
- Zona 3: B é obrigatório e D e H são proibidos. Brasília tem D, portanto não faz parte desta Zona Bioclimática.
- Zona 4: B é obrigatório. Como Brasília tem B, sua Zona Bioclimática é a 4.

Anexo C (informativo)**Recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local**

A tabela C.1 apresenta diretrizes construtivas relativas às aberturas para ventilação e a tabela C.2, diretrizes construtivas relativas à transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar para paredes externas e coberturas.

Tabela C.1 - Aberturas para ventilação

| Aberturas para ventilação | A (em % da área de piso) |
|---------------------------|--------------------------|
| Pequenas | $10\% < A < 15\%$ |
| Médias | $15\% < A < 25\%$ |
| Grandes | $A > 40\%$ |

Tabela C.2 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa

| Vedações externas | | Transmitância térmica - U W/m ² .K | Atraso térmico - φ Horas | Fator solar - FS _o % |
|-------------------|----------------|---|-------------------------------------|------------------------------------|
| Paredes | Leve | $U \leq 3,00$ | $\varphi \leq 4,3$ | FS _o $\leq 5,0$ |
| | Leve refletora | $U \leq 3,60$ | $\varphi \leq 4,3$ | FS _o $\leq 4,0$ |
| | Pesada | $U \leq 2,20$ | $\varphi \geq 6,5$ | FS _o $\leq 3,5$ |
| Coberturas | Leve isolada | $U \leq 2,00$ | $\varphi \leq 3,3$ | FS _o $\leq 6,5$ |
| | Leve refletora | $U \leq 2,30.FT$ | $\varphi \leq 3,3$ | FS _o $\leq 6,5$ |
| | Pesada | $U \leq 2,00$ | $\varphi \geq 6,5$ | FS _o $\leq 6,5$ |

NOTAS

1 Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver 02:135.07-001/2)

2 s aberturas efetivas para ventilação são dadas em percentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar).

3 No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente.

4 O termo "ático" refere-se à câmara de ar existente entre o telhado e o forro.

Anexo D (informativo)**Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de algumas paredes e coberturas****Tabela D.1 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados nos componentes da tabela D.3**

| Material | ρ (kg/m ³) | λ (W/(m.K)) | c (kJ/(kg.K)) |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------|
| Cerâmica | 1600 | 0,90 | 0,92 |
| Argamassa de emboço ou assentamento | 2000 | 1,15 | 1,00 |
| Concreto | 2400 | 1,75 | 1,00 |

8.1.1.2

Tabela D.2 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados nos componentes da tabela D.4

| Material | ρ (kg/m ³) | λ (W/(m.K)) | c (kJ/(kg.K)) |
|---|-----------------------------|---------------------|---------------|
| Cerâmica | 2000 | 1,05 | 0,92 |
| Fibro-cimento | 1900 | 0,95 | 0,84 |
| Madeira | 600 | 0,14 | 2,30 |
| Concreto | 2200 | 1,75 | 1,00 |
| Lâmina de alumínio polido ($\varepsilon < 0,2$) | 2700 | 230 | 0,88 |
| Lã de vidro | 50 | 0,045 | 0,70 |

Tabela D.3 - Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes

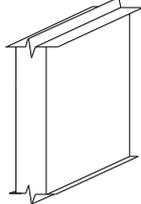
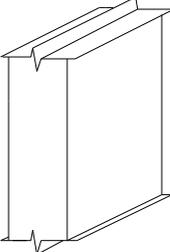
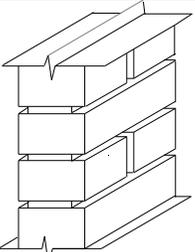
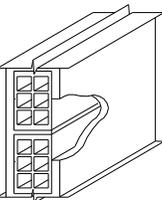
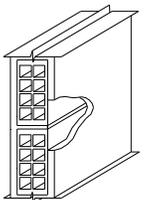
| Parede | Descrição | U [W/(m ² .K)] | C _T [kJ/(m ² .K)] | ϕ [horas] |
|---|--|---------------------------|---|----------------|
|  | Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm | 5,04 | 120 | 1,3 |
|  | Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm | 4,40 | 240 | 2,7 |
|  | Parede de tijolos maciços aparentes Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura total da parede: 10,0 cm | 3,70 | 149 | 2,4 |
|  | Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm | 2,48 | 159 | 3,3 |
|  | Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm | 2,49 | 158 | 3,3 |

Tabela D.3 (continuação) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

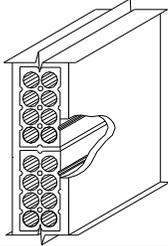
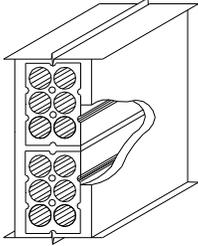
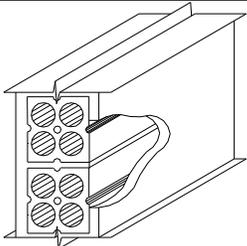
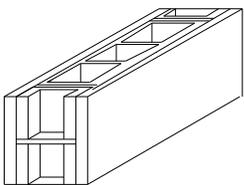
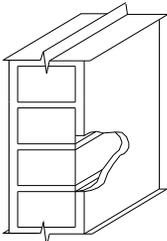
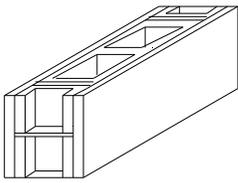
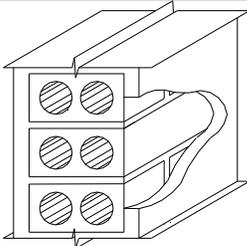
| Parede | Descrição | U [W/(m ² .K)] | C _T [kJ/(m ² .K)] | φ [horas] |
|---|---|---------------------------|---|-----------|
|  | Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm | 2,24 | 167 | 3,7 |
|  | Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm | 2,28 | 168 | 3,7 |
|  | Parede com 4 furos circulares Dimensões do tijolo: 9,5x9,5x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,5 cm | 2,49 | 186 | 3,7 |
|  | Parede de blocos cerâmicos de 3 furos Dimensões do bloco: 13,0x28,0x18,5 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 18,0 cm | 2,43 | 192 | 3,8 |
|  | Parede de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm | 3,13 | 255 | 3,8 |
|  | Parede de blocos cerâmicos de 2 furos Dimensões do bloco: 14,0x29,5x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm | 2,45 | 203 | 4,0 |
|  | Parede de tijolos com 2 furos circulares Dimensões do tijolo: 12,5x6,3x22,5 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,5 cm | 2,43 | 220 | 4,2 |

Tabela D.3 (continuação) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

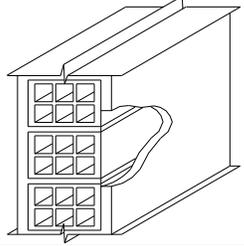
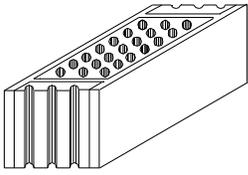
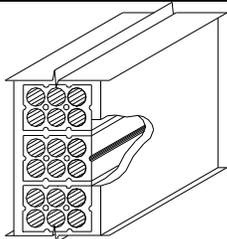
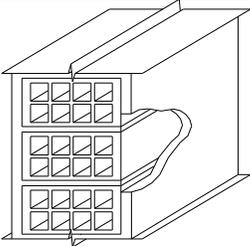
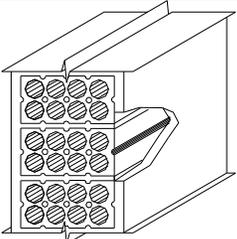
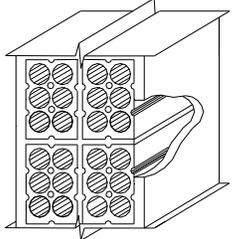
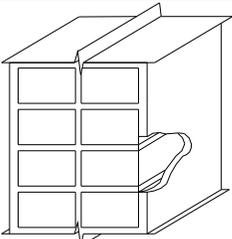
| Parede | Descrição | U [W/(m ² .K)] | C _T [kJ/(m ² .K)] | φ [horas] |
|---|---|---------------------------|---|-----------|
|  | Parede de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm | 2,02 | 192 | 4,5 |
|  | Parede de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,0 cm | 2,31 | 227 | 4,5 |
|  | Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 20,0 cm | 1,92 | 202 | 4,8 |
|  | Parede de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 24,0 cm | 1,80 | 231 | 5,5 |
|  | Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 25,0 cm | 1,61 | 232 | 5,9 |
|  | Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm | 1,52 | 248 | 6,5 |
|  | Parede dupla de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm | 2,30 | 430 | 6,6 |

Tabela D.3 (conclusão) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

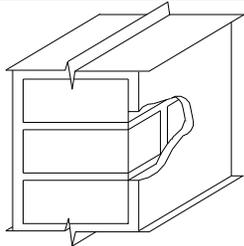
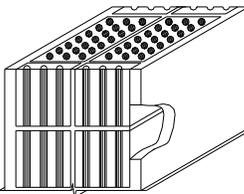
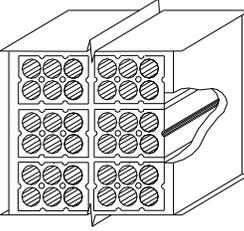
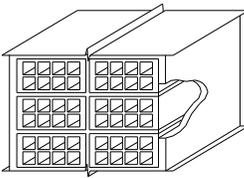
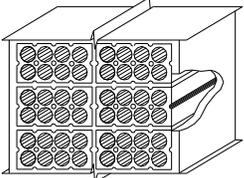
| Parede | Descrição | U [W/(m ² .K)] | C _T [kJ/(m ² .K)] | φ [horas] |
|---|--|---------------------------|---|-----------|
|  | Parede de tijolos maciços, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 27,0 cm | 2,25 | 445 | 6,8 |
|  | Parede dupla de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 30,0 cm | 1,54 | 368 | 8,1 |
|  | Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 36,0 cm | 1,21 | 312 | 8,6 |
|  | Parede dupla de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 44,0 cm | 1,12 | 364 | 9,9 |
|  | Parede dupla de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 46,0 cm | 0,98 | 368 | 10,8 |

Tabela D.4 – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas.

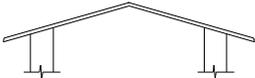
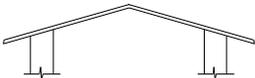
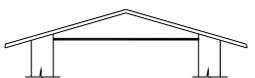
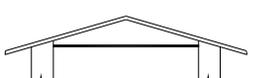
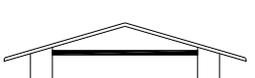
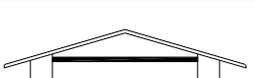
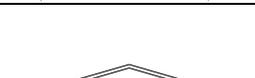
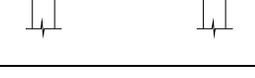
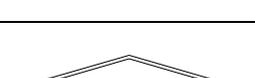
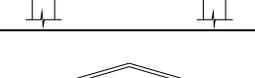
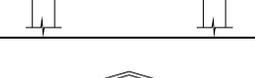
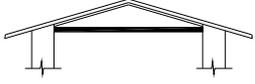
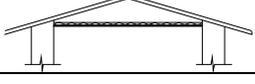
| Cobertura | Descrição | U [W/(m ² .K)] | C _T [kJ/(m ² .K)] | φ [horas] |
|---|--|---------------------------|---|-----------|
|  | Cobertura de telha de barro sem forro Espessura da telha: 1,0 cm | 4,55 | 18 | 0,3 |
|  | Cobertura de telha de fibro-cimento sem forro Espessura da telha: 0,7 cm | 4,60 | 11 | 0,2 |
|  | Cobertura de telha de barro com forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm | 2,00 | 32 | 1,3 |
|  | Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de madeira Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da madeira: 1,0 cm | 2,00 | 25 | 1,3 |
|  | Cobertura de telha de barro com forro de concreto Espessura da telha: 1,0 cm Espessura do concreto: 3,0 cm | 2,24 | 84 | 2,6 |
|  | Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de concreto Espessura da telha: 0,7 cm Espessura do concreto: 3,0 cm | 2,25 | 77 | 2,6 |
|  | Cobertura de telha de barro com forro de laje mista Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da laje: 12,0 cm R _{t(laje)} = 0,0900 (m ² .K/W) C _{T(laje)} = 95 kJ/(m ² .K) | 1,92 | 113 | 3,6 |
|  | Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de laje mista Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da laje: 12,0 cm R _{t(laje)} = 0,0900 (m ² .K/W) C _{T(laje)} = 95 kJ/(m ² .K) | 1,93 | 106 | 3,6 |
|  | Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 1,0 cm | 1,84 | 458 | 8,0 |
|  | Cobertura de telha de fibro-cimento com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 0,7 cm | 1,99 | 451 | 7,9 |
|  | Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 1,0 cm | 1,75 | 568 | 9,3 |
|  | Cobertura de telha de fibro-cimento com laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 0,7 cm | 1,75 | 561 | 9,2 |
|  | Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm | 1,11 | 32 | 2,0 |

Tabela D.4 (conclusão) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas.

| Cobertura | Descrição | U [W/(m ² .K)] | C _T [kJ/(m ² .K)] | φ [horas] |
|---|---|---------------------------|---|-----------|
|  | Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e forro de madeira Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da madeira: 1,0 cm | 1,16 | 25 | 2,0 |
|  | Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de concreto Espessura da telha: 1,0 cm Espessura do concreto: 3,0 cm | 1,18 | 84 | 4,2 |
|  | Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e forro de concreto Espessura da telha: 0,7 cm Espessura do concreto: 3,0 cm | 1,18 | 77 | 4,2 |
|  | Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de laje mista Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da laje: 12,0 cm $R_{t(laje)} = 0,0900 \text{ (m}^2\text{.K/W)}$ $C_{T(laje)} = 95 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$ | 1,09 | 113 | 5,4 |
|  | Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e forro de laje mista Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da laje: 12,0 cm $R_{t(laje)} = 0,0900 \text{ (m}^2\text{.K/W)}$ $C_{T(laje)} = 95 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$ | 1,09 | 106 | 5,4 |
|  | Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 1,0 cm | 1,06 | 458 | 11,8 |
|  | Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 0,7 cm | 1,06 | 451 | 11,8 |
|  | Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 1,0 cm | 1,03 | 568 | 13,4 |
|  | Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 0,7 cm | 1,03 | 561 | 13,4 |
|  | Cobertura de telha de barro com 2,5 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm | 0,95 | 33 | 2,3 |
|  | Cobertura de telha de barro com 5,0 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm | 0,62 | 34 | 3,1 |

NOTAS:

- 1 As transmitâncias térmicas e os atrasos térmicos das coberturas são calculados para condições de verão (fluxo térmico descendente).
- 2 Deve-se atentar que, apesar da semelhança entre a transmitância térmica da cobertura com telhas de barro e aquela com telhas de fibrocimento, o desempenho térmico proporcionado por estas duas coberturas é significativamente diferente pois as telhas de barro são porosas e permitem a absorção de água (de chuva ou de condensação). Este fenômeno contribui para a redução do fluxo de calor para o interior da edificação, pois parte deste calor será dissipado no aquecimento e evaporação da água contida nos poros da telha. Desta forma, sugere-se a utilização de telhas de barro em seu estado natural, ou seja, isentas de quaisquer tratamentos que impeçam a absorção de água.