

TÍTULO

LUZ E CALOR NO AMBIENTE CONSTRUÍDO ESCOLAR E O SOMBREAMENTO ARBÓREO: CONFLITO OU COMPROMISSO COM A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA?

DOUTORANDO: Cláudio Emanuel Pietrobon.

ORIENTADOR: Roberto Lamberts, PhD.

CO-ORIENTADOR: Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD.

(BU)



UFSC-BU

**UFSC
1999**

TESE DE DOUTORADO

**LUZ E CALOR NO AMBIENTE CONSTRUÍDO ESCOLAR E O
SOMBREAMENTO ARBÓREO: CONFLITO OU COMPROMISSO
COM A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA?**

DOUTORANDO: Cláudio Emanuel Pietrobon.

ORIENTADOR: Roberto Lamberts, PhD.

CO-ORIENTADOR: Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD.

**UFSC
1999**

CETO
UFSC
PEPS
0878
V 1
22. 2

SC 00041887-1
AQUISIÇÃO POR DOAÇÃO
DOADO POR _____

143343

20 SET. 1999

REGISTRO 0.309.623-9
DATA DO REGISTRO _____

BU/DPT
0.309.623-9

PIETROBON, Cláudio Emanuel. Luz e calor em ambiente construído escolar e o sombreamento arbóreo: conflito ou compromisso com a conservação de energia? 2 V. Florianópolis, 1999. V. 1 270p. V.2 177p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Curso de Pós - Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Roberto Lamberts, PhD.

Co-Orientador: Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD

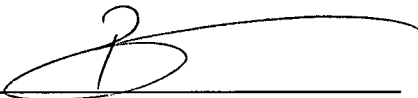
O trabalho é apresentado em dois volumes acerca do diagnóstico, da definição e da quantificação dos conflitos e compromissos do sombreamento arbóreo em salas de aula [escolas] em Maringá - PR, através da avaliação do [desempenho térmico] e da [iluminação natural e artificial]. Este estudo exploratório foi realizado através de medições [termo - lumínicas] experimentais que possibilitam a identificação, a análise e o diagnóstico dos conflitos entre luz e calor. O tratamento computacional de imagens de hemisférios e de [árvores] com os "softwares" ADOBE e IMAGO, em amostra de edificios representativos de 4 modelos de salas de aula locais, que possibilitou o desenvolvimento de uma metodologia e de instrumentação para se obter a transparência das árvores. Utilizou-se de simulação computacional paramétrica, através de parâmetros determinantes da envolvente da edificação. Foi utilizado o programa de simulação energética de edificações [VisualDOE] e elaborado um arquivo computacional de dados de elementos de clima do tipo Ano Climático de Referência para Maringá - PR, com 52640 dados horários. Foram efetuadas 8162 simulações computacionais paramétricas para identificar os parâmetros mais sensíveis a alterações: a distância da árvore ao edificio, a otimização do sistema de iluminação artificial, e a inércia e isolamento térmicas das paredes. Os resultados indicaram, situações distintas de desempenho termo-lumínico das salas de aula, com a definição das melhores situações quanto às variáveis determinantes da envolvente e do entorno imediato, visando o potencial da análise diádica em termos de [conservação de energia]. Os resultados de economia de Energia Elétrica são da ordem de 14% a 57%, em base anual.

**LUZ E CALOR NO AMBIENTE CONSTRUÍDO ESCOLAR E O
SOMBREAMENTO ARBÓREO : CONFLITO OU COMPROMISSO
COM A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ?**

Volume 1

Cláudio Emanuel Pietrobon

**Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em
Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Programa
de Pós-Graduação.**

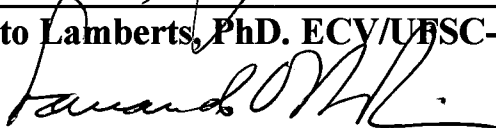


**Ricardo Miranda Barcia, PhD
Coordenador do Curso**

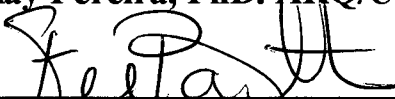
BANCA EXAMINADORA:



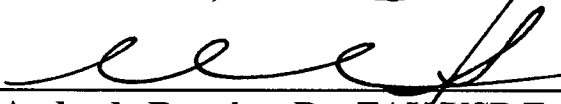
Roberto Lamberts, PhD. ECV/UFSC-.Orientador



Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD. ARQ/UFSC- Co-orientador



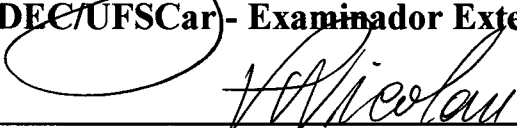
Fernando Barth, PhD. ARO/UFSC - Moderador



Marcelo de Andrade Roméro, Dr. FAU/USP Examinador Externo.



Maurício Roriz, Dr. DEC/UFSCar - Examinador Externo



Vicente de Paula Nicolau, Dr. EMC/UFSC - Examinador

AGRADECIMENTOS

Aos professores Roberto Lamberts e Fernando Oscar Ruttkay Pereira, respectivamente Orientador e Co-orientador desta tese, pela segura orientação deste trabalho;

Ao laboratório LABCON/UFSC e aos departamentos DCCi/UEL, DEQ/UEM e DEC/UEM, pelo empréstimo dos equipamentos para medição, sem os quais não se poderia executar esta pesquisa;

Aos bolsistas de iniciação científica do PIBIC/UEM e do balcão do CNPq: Fernando Garcia, Rodrigo Fernandes Junqueira, Maurílio Hidalgo, Mônica Umemura do DEC/UEM e Marcos Forte Gil, Ilário Salatino e Gustavo Rocha Loures Duque de Souza do DEQ/UEM, pelo auxílio nas medições, nos levantamentos de campo e no tratamento dos dados;

Ao servidor da UEM, Antonio Carlos Locatelli pela execução das fotografias que compõem este trabalho;

A PTO/DOP/PCU/UEM pelo auxílio no levantamento de campo dos sistemas construtivos e pelo fornecimento das peças gráficas que compõem esta monografia;

A Coordenação do Parque Ecológico da UEM pelo levantamento botânico e cadastral das essências arbóreas do Câmpus-Sede da UEM;

A CAPES e à UEM pela oportunidade e apoio para a realização desta pesquisa;

Ao NPC e LMPT/UFSC pela cessão para uso dos "*softwares*" visualDOE, IMAGO, ANALYSIS e ADOBE Photoshop;

Ao pesquisador Dr. Celso Peres Fernandes pelo auxílio no tratamento computacional de imagens, com os "*softwares*" ADOBE e IMAGO;

Ao pesquisador Aldomar Pedrini, M.Eng e ao bolsista Fernando P. Maluf do LABEEE-UFSC pelo auxílio no processamento do "*software*" visualDOE;

Ao DEQ/UEM pela cessão do "*software*" TBLCURVE para tratamento dos dados lumínicos;

Aos professores Maurício Roriz e Ademir Basso da UFSCar pela cessão do "*software*" ARQUITROP.

Aos acadêmicos Mônica Umemura da UEM, Patrícia Rigoto e Gustavo Gonçalves Morozowski, da UFSC pelo auxílio na digitação desta tese.

SUMÁRIO GERAL

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS.....	xvii
LISTA DE QUADROS.....	xix
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xx
GLOSSÁRIO	xxiii
RESUMO.....	xxx
ABSTRACT.....	xxxii

CAPÍTULO 1**INTRODUÇÃO**

1.1 A Problemática e o Tema.....	2
1.2 Justificativas.....	4
1.3 Situação de Referência e a Delimitação do Objeto de Trabalho.....	6
1.3.1 Localização Geográfica.....	6
✗ 1.3.2 Características Climáticas.....	7
1.3.3 Características da Arborização Urbana.....	7
1.3.4 Universidade Estadual de Maringá.....	8
✗ 1.3.4.1 A Evolução Cronológica dos Sistemas Construtivos no Câmpus - sede.....	9
1.4 Objetivos.....	11
1.4.1. Objetivo Geral.....	11
1.4.2. Objetivos Específicos.....	12
1.5 Hipótese Geral.....	12

1.6 Estrutura da Tese.....	12
----------------------------	----

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução.....	18
2.2 Descrição dos Sistemas Envolvidos na Análise.....	20
2.3 O Sistema do Edifício.....	21
→ 2.3.1 O Desempenho Global do Edifício.....	23
2.3.2 O Desempenho Termo-Luminoso do Edifício.....	25
2.3.2.1 Variáveis, Índices e Limites de Conforto Térmico e Eficiência Luminica.....	27
2.4 O Sistema do Clima.....	31
2.5 O Sistema da Energia.....	33
2.6 O Sistema do Jardim.....	35
2.7 A Análise Sistêmica.....	38
2.8 Aspectos Térmicos, Eólicos e Vegetação.....	38
2.8.1 Da Escala Urbana à do Edifício.....	38
2.8.1.1 A Experiência Européia.....	39
2.8.1.2 A Experiência Norte-Americana.....	42
2.8.1.3 A Experiência do Lawrence Berkeley Laboratory - University of California.....	45
2.8.1.4 A Revisão Bibliográfica de MEIER, 1991.....	56
2.8.1.5. A Revisão Bibliográfica de GIVONI, 1991.....	60
2.8.1.6 A Experiência Brasileira.....	64
2.8.1.7 A Experiência de outros países.....	71

2.8.2 As Medições das Árvores.....	72
2.8.3 Aspectos da Transmissão de Radiação Solar.....	73
2.9 Aspectos Lumínicos e Vegetação.....	74
→ 2.10 Aspectos Ambientais e Escolas.....	77
2.11 Considerações sobre os Aspectos Termo-Luminosos.....	80
2.12 Os Sistemas a Serem Analisados.....	82

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Sumário metodológico.....	84
3.2. Descrição das etapas metodológicas.....	85
3.2.1. Primeira Etapa-: Definição da situação de referência e escolha da amostra.....	85
3.2.2. Segunda Etapa - Medição no local das variáveis termo-lumínicas para o Verão.....	100
3.2.2.1 Medição da Temperatura Superficial do Forro.....	104
3.2.2.2 Medição da Velocidade do Ar nas Janelas Centrais e na Porta.....	105
3.2.2.3 Medição da Iluminância Interna e Externa.....	105
3.2.3. Terceira Etapa - Medição no local das variáveis termo-lumínicas para o Inverno.....	109
3.2.4. Quarta Etapa - Medição de Transparência das Árvores através da Luminância e do Tratamento Computacional das Imagens.....	111
3.2.4.1 Medidas de Luminância do conjunto de árvores.....	111
3.2.4.2 Tratamento Computacional das imagens das árvores.....	112
3.2.5. Quinta Etapa - Simulação Paramétrica com o “software” visual DOE.....	114

3.2.5.1 Levantamento de dados climáticos externos e elaboração do ano típico de referência- “Test Reference Year”.....	122
3.2.6 Sexta Etapa: Levantamento dos conflitos e compromissos termo-lumínicos.....	124

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados das Medições Termo-Lumínicas de Verão.....	127
4.1.1 As Condições Climáticas Externas do Período de Medição Térmica no Verão.....	127
4.1.2 As Medições da iluminação de Verão.....	129
4.1.3 As Medições Térmicas de Verão.....	135
4.1.4 Considerações Finais para o Verão.....	138
4.2 Resultados das Medições Termo - Lumínicas de Inverno.....	140
4.2.1 As Condições Climáticas Externas no Período de Medição Térmica, no Inverno.....	140
4.2.2 As Medições Lumínicas de Inverno.....	142
4.2.3 Medições Térmicas de Inverno.....	147
4.2.4 Considerações Finais de Inverno.....	151
4.2.5. Considerações Finais para o Inverno e Verão.....	153
4.3 Resultados do método de obtenção do índice de transparência das essências arbóreas.....	161
4.3.1 Resultados das Medições de Luminância e do Tratamento Computacional de Imagens.....	161

4.3.2 Resultados na Medição mensal no local da transparência de um exemplar de cada espécie de árvore através da luminância.....	170
4.3.2.1 Incerteza da medição mensal da transparência das árvores.....	172
4.4 Simulação Computacional Paramétrica do consumo de energia elétrica de modelos de salas de aula com o “software” VisualDOE 2.5.....	173
4.4.1 Consumo do caso base de E.E para os Quatro pontos Cardeais sem Sombreamento e com usuários e ar condicionado.....	178
4.4.2. Tendências Gerais de Desempenho do Sombreamento por Espécie Arbórea.....	180
4.4.3 Simulação Computacional paramétrica do consumo de energia elétrica em salas sombreadas por Flamboyant.....	187
4.4.4 Simulação Computacional Paramétrica do Consumo de Energia Elétrica em Salas Sombreadas por Sibipiruna.....	199
4.4.5 Simulação Computacional Paramétrica do Consumo de Energia Elétrica em Salas Sombreadas por Ipê Roxo.....	204
4.4.6. Simulação Computacional Paramétrica do Consumo de Energia Elétrica em Salas Sombreadas por Ipê Amarelo.....	209
4.4.7 Simulação paramétrica dos casos com dimensionamento de ar condicionado para as quatro árvores.....	214
▶ 4.4.7.1 Discussão sobre os Conflitos e Compromissos entre a Luz e o Calor em salas de aula sombreadas.....	215

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Introdução.....	220
5.2 - Conclusões acerca das Medições Termo-Lumínicas no local, em Salas não Climatizadas.....	222
5.2.1. Estação Climática de Verão.....	222
5.2.2 Estação Climática de Inverno.....	224
5.2.3 Considerações Finais.....	225
5.3 Conclusões acerca da Transparência Média dos Exemplares Arbóreos.....	226
5.4 Conclusões das Medições Anuais da Transparência de um Exemplar de cada Espécie Arbórea através da Luminância.....	227
5.5 Conclusões Acerca da Simulação Computacional Paramétrica do Consumo Energético dos Modelos de Salas de Aula com o “Software” VisualDOE 2.6.....	228
5.5.1 Conclusões sobre o Sombreamento com Flamboyant.....	228
5.5.2. Conclusões sobre o Sombreamento com Sibipiruna.....	231
5.5.3 Conclusões sobre o Sombreamento com Ipê Roxo.....	232
5.5.4. Conclusões sobre o Sombreamento com Ipê Amarelo.....	235
5.5.5. Considerações finais acerca do Sombreamento Arbóreo sob a ótica da Análise Paramétrica.....	235
5.6 Contribuição esperada.....	237
5.7 Considerações Finais.....	238
5.7.1 Introdução.....	238
5.7.2. A Confirmação da Hipótese e Objetivos.....	241
5.8 Recomendações para Trabalhos Futuros.....	242

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....246

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

FIGURA 1.1 - BLOCO D34 - FACE NORDESTE À ESQUERDA E SUDOESTE À DIREITA, NO PERÍODO DE INVERNO. SISTEMA CONSTRUTIVO COM BLOCO CERÂMICO DE 6 FUROS E TELHAMENTO DE FIBROCIMENTO.....	10
FIGURA 1.2 - BLOCO M05 - FACE SUL NO PERÍODO DE INVERNO. SISTEMA CONSTRUTIVO COM BLOCO DE CONCRETO E TELHAMENTO CERÂMICO.....	10
FIGURA 1.3 - BLOCO E46 - FACE OESTE À ESQUERDA E LESTE À DIREITA NO PERÍODO DE INVERNO. SISTEMA CONSTRUTIVO COM BLOCO CERÂMICO 4 FUROS E TELHAMENTO EM ALUMÍNIO.....	11
FIGURA 1.4 - BLOCO E34 - FACE SUDESTE À ESQUERDA E NOROESTE À DIREITA NO PERÍODO DE INVERNO. SISTEMA CONSTRUTIVO COM BLOCO CERÂMICO 4 FUROS E TELHAMENTO EM ALUMÍNIO.....	11

CAPÍTULO 2

FIGURA 2.1. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO BALANÇO TÉRMICO DE UMA ÁRVORE NA ESCALA DO EDIFÍCIO, SEGUNDO OKE, 1978.....	19
FIGURA 2.2 POSSÍVEIS CAMINHOS DA RADIAÇÃO DIFUSA EM TERMOS DE ILUMINAÇÃO NUMA ÁRVORE E EDIFÍCIO, SEGUNDO YATES E MCKENNAN, 1979.....	19
FIGURA 2.3 - VALORES DE PICO DA REDUÇÃO NA TEMPERATURA SUPERFICIAL DO ENVOLTÓRIO SEGUNDO MEIER, 1991.....	57
FIGURA 2.4 ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA NA OPERAÇÃO DE AR CONDICIONADO SEGUNDO MEIER, 1991.....	58
FIGURA 2.5 - REDUÇÃO DA CARGA TÉRMICA, SEGUNDO MEIER, 1991.....	59

CAPÍTULO 3

FIGURA 3.1 MARCHA HORÁRIA DA TEMPERATURA DO AR EXTERNO NA MEDIÇÃO DE INVERNO.....	91
FIGURA 3.2 MARCHA HORÁRIA DA TEMPERATURA DO AR EXTERNO NA MEDIÇÃO DE VERÃO.....	92
FIGURA 3.3. - FREQUÊNCIA ACUMULADA DE TEMPERATURAS MÍNIMAS PARA OBTENÇÃO DE DIAS TÍPICOS DE INVERNO, SEGUNDO PIETROBON, 1990.....	92
FIGURA 3.4. FREQUÊNCIA ACUMULADA DE TEMPERATURAS MÁXIMAS PARA OBTENÇÃO DE DIAS TÍPICOS DE VERÃO, SEGUNDO PIETROBON, 1990.....	93
FIGURA 3.5. SITUAÇÃO ESQUEMÁTICA DO BLOCO M05 COM COBERTURA ARBÓREA INSIGNIFICANTE.....	98
FIGURA 3.6. SITUAÇÃO ESQUEMÁTICA DO BLOCO D34 COM COBERTURA ARBÓREA INSIGNIFICANTE.....	98
FIGURA 3.7. SITUAÇÃO ESQUEMÁTICA DO BLOCO E46 COM COBERTURA ARBÓREA SIGNIFICATIVA.....	99
FIGURA 3.8. SITUAÇÃO ESQUEMÁTICA DO BLOCO E34 COM COBERTURA ARBÓREA SIGNIFICATIVA.....	99
FIGURA 3.9- CONJUNTO PARA A MEDIÇÃO HIGRO-TÉRMICA E DO VENTO.....	103
FIGURA 3.10 - CONJUNTO PARA A MEDIÇÃO LUMÍNICA, DO VENTO E TEMPERATURA SUPERFICIAL.....	103
FIGURA 3.11 EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÃO DA LUMINÂNCIA DAS ÁRVORES.....	111
FIGURA 3.12 FLUXOGRAMA DO PROGRAMA COMPUTACIONAL VISUALDOE 2.5.....	115
FIGURA 3.13 FLAMBOYANT E O CORTE DO EDIFÍCIO.....	119
FIGURA 3.14 IPÊ AMARELO ADULTO E O CORTE DO EDIFÍCIO.....	119
FIGURA 3.15 IPÊ ROXO ADULTO E O CORTE DO EDIFÍCIO.....	120
FIGURA 3.16 SIBIPIRUNA ADULTA E O CORTE DO EDIFÍCIO.....	120
FIGURA 3.17 – EXEMPLO DE ÁRVORE COM TRANSPARÊNCIA DE 30% PARA USO NA SIMULAÇÃO COM O PROGRAMA VISUAL DOE.....	121

CAPÍTULO 4

FIGURA 4.1 - MARCHA HORÁRIA DA TEMPERATURA DO AR EXTERNO NO VERÃO.....	127
FIGURA 4.2 - MARCHA HORÁRIA DA UMIDADE RELATIVA DO AR EXTERNO NO VERÃO.....	128
FIGURA 4.3 - MARCHA HORÁRIA DA INSOLAÇÃO EXTERNA NO VERÃO (HORAS DE SOL).....	128
FIGURA 4.4 - MARCHA HORÁRIA DA VELOCIDADE DO AR EXTERNO NO VERÃO.....	129
FIGURA 4.5 - REGRESSÃO LINEAR DOS COEFICIENTES ANGULARES DAS ILUMINAÇÕES DIÁRIAS E TOTAL -VERÃO.....	134
FIGURA 4.6 - REGRESSÃO LINEAR DA EFICIÊNCIA DA ILUMINAÇÃO MÉDIA E COEFICIENTE ANGULAR DE ILUMINAÇÃO TOTAL - VERÃO.....	134
FIGURA 4.7 - MARCHA HORÁRIA DA TEMPERATURA NO INVERNO.....	141
FIGURA 4.8 - MARCHA HORÁRIA DA UMIDADE RELATIVA DO AR EXTERNO NO INVERNO.....	141
FIGURA 4.9 - MARCHA SINÓTICA DA NEBULOSIDADE NO INVERNO.....	142
FIGURA 4.10 - MARCHA HORÁRIA DA VELOCIDADE DO AR EXTERNO NO INVERNO.....	142
FIGURA 4.11 - REGRESSÃO LINEAR DOS COEFICIENTES ANGULARES DAS ILUMINÂNCIAS DIÁRIA E TOTAL - INVERNO.....	146
FIGURA 4.12 - REGRESSÃO LINEAR DA EFICIÊNCIA DA ILUMINÂNCIA MÉDIA E COEFICIENTE ANGULAR DA REGRESSÃO DE ILUMINÂNCIA TOTAL - INVERNO.....	146
FIGURA 4.13 - GRÁFICO DE CORRELAÇÃO ENTRE LUMINÂNCIAS MEDIDAS E TRATAMENTO DE IMAGEM.....	162
FIGURA 4.14 - GRÁFICO DE CORRELAÇÃO ENTRE LUMINÂNCIAS MEDIDAS E TRATAMENTO DE IMAGEM.....	163
FIGURA 4.15 - GRÁFICO DE CORRELAÇÃO ENTRE LUMINÂNCIAS MEDIDAS E TRATAMENTO DE IMAGEM.....	164
FIGURA 4.16 - GRÁFICO DE CORRELAÇÃO ENTRE LUMINÂNCIAS MEDIDAS E TRATAMENTO DE IMAGEM.....	166

FIGURA 4.17 - GRÁFICO DE CORRELAÇÃO ENTRE LUMINÂNCIAS MEDIDAS E TRATAMENTO DE IMAGEM.....	167
FIGURA 4.18 - GRÁFICO DE CORRELAÇÃO ENTRE LUMINÂNCIAS MEDIDAS E TRATAMENTO DE IMAGEM.....	168
FIGURA 4.19 TRANSPARÊNCIA MÉDIA MENSAL DAS SIBIPIRUNAS.....	170
FIGURA 4.20- TRANSPARÊNCIA MÉDIA MENSAL DOS IPÊS ROXOS.....	170
FIGURA 4.21 TRANSPARÊNCIA MÉDIA MENSAL DOS FLAMBOYANTS.....	171
FIGURA 4.22 TRANSPARÊNCIA MÉDIA MENSAL DOS IPÊS AMARELOS.....	171
FIGURA 4.23 MARCHA MENSAL DAS TBS (0 C) DA NORMAL E DO ANO TÍPICO 1991.....	175
FIGURA 4.24 - MARCHA HORÁRIA DAS TBS (□C) DO TRY (ANO TÍPICO DE REFERÊNCIA) (1991).....	177
FIGURA 4.25 COMBINAÇÕES DE CONSUMO DE E.E. GLOBAL PARA FLAMBOYANT COM AS TRÊS TRANSPARÊNCIAS DE 3%, 13% E 17%.....	180
FIGURA 4.26 COMBINAÇÕES DE CONSUMO DE E.E. GLOBAL PARA SIBIPIRUNA.....	181
FIGURA 4.27 COMBINAÇÕES DE CONSUMO DE E.E. GLOBAL PARA IPÊ ROXO.....	182
FIGURA 4.28 COMBINAÇÕES DE CONSUMO DE E.E. GLOBAL PARA IPÊ AMARELO.....	183
FIGURA 4.29 – CONSERVAÇÃO DE E.E PARA FLAMBOYANT (F) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR = 30% (W30), PAREDES EXTERNAS DE INÉRCIA TÉRMICA LEVE, ORIENTAÇÃO NORTE.....	187
FIGURA 4.30 – CONSERVAÇÃO DE E E PARA FLAMBOYANT (F) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR = 60% (W60), PAREDES EXTERNA DE INÉRCIA TÉRMICA LEVE, ORIENTAÇÃO NORTE.....	189
FIGURA 4.31 – CONSERVAÇÃO DE E.E PARA FLAMBOYANT (F) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR = 60% (W60), PAREDES EXTERNA DE INÉRCIA TÉRMICA LEVE, ORIENTAÇÃO SUL.....	190
FIGURA 4.32 – CONSERVAÇÃO DE E.E PARA FLAMBOYANT (F) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR = 60% (W60), PAREDES EXTERNA DE INÉRCIA TÉRMICA LEVE, ORIENTAÇÃO ESTE.....	191

FIGURA 4.33 – CONSERVAÇÃO E.E PARA FLAMBOYANT (F) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR = 60% (W60), PAREDES EXTERNA DE INÉRCIA TÉRMICA LEVE, ORIENTAÇÃO OESTE.....	191
FIGURA 4.34 – CONSERVAÇÃO DE E.E PARA FLAMBOYANT (F) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR = 30% (W30) PAREDES EXTERNA DE INÉRCIA TÉRMICA LEVE, ORIENTAÇÃO ESTE.....	192
FIGURA 4.35 – CONSERVAÇÃO DE E.E PARA FLAMBOYANT (F) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR = 30% (W30), PAREDES EXTERNA DE INÉRCIA TÉRMICA LEVE, ORIENTAÇÃO SUL.....	193
FIGURA 4.36 – CONSERVAÇÃO DE E.E PARA FLAMBOYANT (F) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR = 30% (W 30), PAREDES EXTERNA DE INÉRCIA TÉRMICA LEVE, ORIENTAÇÃO OESTE.....	194
FIGURA 4.37 – CONSERVAÇÃO E.E PARA FLAMBOYANT (F) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR = 30%, PAREDES EXTERNAS DE INÉRCIA TÉRMICA PESADA.....	195
FIGURA 4.38 – CONSERVAÇÃO DE E.E PARA FLAMBOYANT (F) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR = 60% (W60), PAREDES EXTERNA DE INÉRCIA TÉRMICA PESADA, ORIENTAÇÃO NORTE.....	196
FIGURA 4.39 CONSERVAÇÃO DE E.E PARA SIBIPIRUNA (S) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR=30% (W) EXTERNAS DE INÉRCIA TÉRMICA LEVE, (L) TODAS AS ORIENTAÇÕES.....	199
FIGURA 4.40 – CONSERVAÇÃO DE E.E PARA SIBIPIRUNA (S) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR=60% (W6) EXTERNAS DE INÉRCIA TÉRMICA LEVE, (L) TODAS AS ORIENTAÇÕES.....	200
FIGURA 4.41 CONSERVAÇÃO DE E.E PARA SIBIPIRUNA (A) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR=30% (W3) EXTERNAS DE INÉRCIA TÉRMICA PESADA, (P) TODAS AS ORIENTAÇÕES.....	201
FIGURA 4.42 CONSERVAÇÃO DE E.E PARA SIBIPIRUNA (S) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR=60% (W6) EXTERNAS DE INÉRCIA TÉRMICA PESADA, (P) TODAS AS ORIENTAÇÕES.....	202

FIGURA 4.43 – CONSERVAÇÃO DE E.E PARA IPÊ ROXO (IR) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR = 30% (W30), PAREDES EXTERNAS DE INÉRCIA TÉRMICA LEVE, TODAS AS ORIENTAÇÕES.....	204
FIGURA 4.44 - CONSERVAÇÃO DE IPÊ ROXO (IR) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR = 60% (W60), PAREDES EXTERNAS DE INÉRCIA TÉRMICA LEVE, TODAS AS ORIENTAÇÕES.....	205
FIGURA 4.45 – CONSERVAÇÃO DE E.E PARA IPÊ ROXO (IR) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA(LO), WWR = 30% (W30), PAREDES EXTERNAS DE INÉRCIA TÉRMICA PESADA, TODAS AS ORIENTAÇÕES.....	206
FIGURA 4.46 - IPÊ ROXO (IR) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR = 60% (W60), PAREDES EXTERNAS DE INÉRCIA TÉRMICA PESADA, TODAS AS ORIENTAÇÕES..	207
FIGURA 4.47 CONSERVAÇÃO DE E.E PARA IPÊ AMARELO (A) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR=30% (W3) EXTERNAS DE INÉRCIA TÉRMICA LEVE, (L) TODAS AS ORIENTAÇÕES.....	209
FIGURA 4.48 CONSERVAÇÃO DE E.E PARA IPÊ AMARELO (A) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR=60% (W6) EXTERNAS DE INÉRCIA TÉRMICA LEVE, (L) TODAS AS ORIENTAÇÕES.....	210
FIGURA 4.49 CONSERVAÇÃO DE E.E PARA IPÊ AMARELO (A) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR=30% (W3) EXTERNAS DE INÉRCIA TÉRMICA PESADA, (P) TODAS AS ORIENTAÇÕES.....	211
FIGURA 4.50 CONSERVAÇÃO DE E.E PARA IPÊ AMARELO (A) COM LUZ NORMAL (LN) E LUZ OTIMIZADA (LO), WWR=60% (W6) EXTERNAS DE INÉRCIA TÉRMICA PESADA, (P) TODAS AS ORIENTAÇÕES.....	212

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

TABELA 2.1 TRANSMISSIVIDADE À LUZ DE ÁRVORES NATIVAS, SEGUNDO MASCARÓ, 1996.....	77
--	----

CAPÍTULO 3

TABELA 3.1 - PRIMEIRA MEDIÇÃO PARA AFERIÇÃO.....	100
TABELA 3.2 - SEGUNDA MEDIÇÃO PARA AFERIÇÃO.....	100
TABELA 3.3 LIMITES NORMATIVOS PARA A MEDIÇÃO DAS VARIÁVEIS TÉRMICAS.....	101
TABELA 3.4 INCERTEZA DA MEDIÇÃO DAS VARIÁVEIS TÉRMICAS DE CONFORTO.....	101

CAPÍTULO 4

TABELA 4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS HEMISFÉRIOS VERTICAIS EXTERNOS PELO VALOR DE ILUMINÂNCIA MÉDIA.....	129
TABELA 4.2 CLASSIFICAÇÃO DOS HEMISFÉRIOS HORIZONTAIS INTERNOS PELO VALOR DE ILUMINÂNCIA MÉDIA.....	130
TABELA 4.3 RESUMO DOS RESULTADOS DE VERÃO.....	139
TABELA 4.4 - CLASSIFICAÇÃO DOS HEMISFÉRIOS VERTICAIS EXTERNOS PELO VALOR DECRESCENTE DE ILUMINÂNCIA MÉDIA, ORIENTAÇÕES OPOSTA E IDÊNTICA.....	143
TABELA 4.5 - CLASSIFICAÇÃO DOS HEMISFÉRIOS VERTICAIS EXTERNOS PELO VALOR DECRESCENTE DA ILUMINÂNCIA MÉDIA, MESMA ORIENTAÇÃO.....	144
TABELA 4.6- CLASSIFICAÇÃO DOS HEMISFÉRIOS HORIZONTAL INTERNOS PELO VALOR DE ILUMINÂNCIA MÉDIA.....	144
TABELA 4.7 RESUMO DOS RESULTADOS DE INVERNO.....	152
TABELA 4.8 SOMATÓRIA DOS ÍNDICES (PMV) DE FANGER QUE EXTRAPOLAM OS LIMITES DE CONFORTO E A RAZÃO ENTRE OS VALORES INTERNOS E EXTERNOS.....	156
TABELA 4.9 CLASSIFICAÇÃO POR ORDEM CRESCENTE DE RAZÃO ENTRE PMVI E PMVE - VERÃO	157

TABELA 4.10 CLASSIFICAÇÃO POR ORDEM CRESCENTE DE RAZÃO ENTRE PMVI E PMVE- INVERNO.....	158
TABELA 4.11 RESUMO DOS RESULTADOS LUMÍNICOS DOS HEMISFÉRIOS VHP DE VERÃO.....	159
TABELA 4.12 RESUMO DOS RESULTADOS LUMÍNICOS DOS HEMISFÉRIOS VHP DE INVERNO.....	160
TABELA 4.13 - NORMAL CLIMATOLÓGICA DA TBS, PERÍODO: 1983-1995.....	173
TABELA 4.14 CLASSIFICAÇÃO POR ORDEM DE IMPORTÂNCIA PARA CÁLCULO DE ENERGIA.....	175
TABELA 4.15 - SEQÜÊNCIA DE ELIMINAÇÃO DE DADOS.....	176
TABELA 4.16 ESCOLHA DO TRY (ANO TÍPICO DE REFERÊNCIA) POR DESVIO PADRÃO ENTRE OS VALORES 1986 E 1991.....	176
TABELA 4.17 - CONSUMO DE E.E PARA TODAS ORIENTAÇÕES SEM SOMBREAMENTO E COM AR CONDICIONADO	178
TABELA 4.18 - VARIAÇÃO DE CONSUMO DE E.E PARA O AR CONDICIONADO, NOS CASOS MÁXIMOS E MÍNIMOS, COM OCUPAÇÃO E SEM OCUPAÇÃO.....	214

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1

QUADRO 1.1. EXEMPLOS DE FALHAS NO DESEMPENHO VISUAL DE EDIFICAÇÕES, RELACIONADAS COM DECISÕES DE ADEQUAÇÃO HIGROTÉRMICA, SEGUNDO LOFTNESS, 1986.....	5
QUADRO 1.2 EXEMPLOS DE FALHAS NO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DE EDIFICAÇÕES RELACIONADAS COM AS DECISÕES DE ADEQUAÇÃO VISUAL, SEGUNDO LOFTNESS, 1986.....	5
QUADRO 1.3 FREQUÊNCIA PERCENTUAL REAL DAS ESPÉCIES ARBÓREAS URBANAS EM MARINGÁ, SEGUNDO MILANO, 1988.....	7
QUADRO 1.4 CLASSIFICAÇÃO POR ORDEM DE QUALIDADE DAS ÁRVORES URBANAS EM MARINGÁ, SEGUNDO MILANO (1988).....	8

CAPÍTULO 2

QUADRO 2.1 - ENERGIA AMBIENTAL.....	34
QUADRO 2.2 - USO FUNCIONAL DA VEGETAÇÃO.....	37

CAPÍTULO 3

QUADRO 3.1 - CARACTERÍSTICAS DAS PROPRIEDADES TERMO-FÍSICAS DA AMOSTRA DE VERÃO.....	86
QUADRO 3.2 - CARACTERÍSTICAS DAS PROPRIEDADES TERMO-FÍSICAS DA AMOSTRA DE INVERNO.....	87
QUADRO 3.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS AMOSTRAS DE VERÃO E INVERNO.....	88
QUADRO 3.4 AMOSTRA DE VERÃO.....	95
QUADRO 3.5 - AMOSTRA DE INVERNO.....	96

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

α - absorptância (%)

a – Coeficiente Angular das Curvas de Regressão Linear

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE - “*American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers*”

ASTM – “*American Society of Technical Materials*”

Cfa – Clima Subtropical Úmido

CNPq – Conselho Nacional de Pesquisa

DCCi – Departamento de Construção Civil/UEL

DEC – Departamento de Engenharia Civil/UEM

DEQ – Departamento de Engenharia Química/UEM

DOE – “*Department of Energy*” - USA

E - Este

E.E – Energia Elétrica

ECPM – Estação Climatológica Principal de Maringá - PR

F – Flamboyant

FDE – Fundação para o Desenvolvimento da Educação

FLD – Fator de Luz do Dia

g – Intensidade de Fluxo Térmico ($W/m^2 K$)

HARDWARE – Partes do Mecanismo de um Computador

HHD – Horizontal – Horizontal Distante (lux)

HHP – Horizontal – Horizontal Próximo (lux)

IA ou A – Ipê Amarelo

INEMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IR ou R – Ipê Roxo

ISO – “*International Standards Organization*”

L - Parede Leve

LABCON - Laboratório de Conforto Ambiental/UFSC

LMPT – Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Técnicas

LN – Luz Normal

- LO – Luz Otimizada
- MME – Ministério das Minas e Energia
- N - Norte
- NAAQS – “*National Atmospheric Air Quality Standard*”
- NBR – Norma Brasileira
- NBS – “*National Bureau of Standards*”
- Ne – Nordeste
- NPC – Núcleo de Pesquisa em Construção - UFSC
- NW – Noroeste
- OMM – Organização Mundial de Meteorologia
- OMS - Organização Mundial de Saúde
- P – Parede Pesada
- PMV – “*Predict Mean Vote*” ou Voto Médio Estimado
- PMV_e – “*Predict Mean Vote*” - externo
- PMV_i – “*Predict Mean Vote*” - interno
- PPD – “*Percentage of People Dissatisfied*” ou Porcentagem de pessoas insatisfeitas
- r² – Coeficiente de Regressão Linear
- RETROFIT – Otimização dos Sistemas Ativos de um Edifício visando a Conservação de Energia Elétrica.
- S – Sibipiruna
- S - Sul
- SE – Sudeste
- SOFTWARE – Programa Computacional
- SW – Sudoeste
- TBS – Temperatura de Bulbo Seco do Ar (°C)
- TBV – Temperatura do Bulbo Úmido do Ar (°C)
- TGlobo – Temperatura de Globo (°C)
- TMG – Tempo Médio de Greenwich
- TRY – “*Test Reference Year*” ou Ano Típico de Referência
- UEL – Universidade Estadual de Londrina
- UEM – Universidade Estadual de Maringá - PR
- UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
- UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

USA – “*United States of America*” ou Estados Unidos da América do Norte

VHP – Vertical – Horizontal Próximo (lux)

W - Oeste

W30 ou W3 – WWR=30%

W60 ou W6 - WWR=60%

WWR – “*Window to Wall Ratio*” ou percentagem da área das janelas em relação à da parede

GLOSSÁRIO

Absortância:	Fração de ondas eletromagnéticas de luz e calor que incidem sobre uma superfície e são absorvidas.
Albedo:	Poder difusor de uma superfície, ou seja, fração da luz incidente que é difundida pela superfície.
Anisotropia:	Qualidade de uma substância ou de um sistema cujas propriedades dependem da direção em que se observam.
Antrópica:	Refere-se a ação do homem sobre o meio ambiente natural.
Árvores decíduas:	Árvores que perdem todas as folhas durante certa época do ano, em geral fria ou seca.
Atividade metabólica:	O conjunto de fenômenos químicos e físico-químicos mediante os quais se faz a assimilação e a desassimilação das substâncias necessárias à vida. Refere-se também ao nível de atividade física que exerce o indivíduo podendo ser quantificado na unidade MET = 58,2 W/m ² .
Átrio:	Pátio interno de acesso a um edifício.
Azimute:	Distância angular, medida sobre o horizonte, a partir de um ponto de origem, geralmente o Norte no sentido horário ou anti-horário obtido através de uma bússola referida ao Norte magnético, cuja direção deve ser corrigida para o Norte verdadeiro.
Banho termostático:	Aparelho utilizado laboratorialmente para se manter fixa a temperatura em um determinado experimento.
Barlavento:	Direção de onde sopra o vento.
<i>Bay-window</i> :	Espécie de janela que possui chanfros que estendem-se além da fachada, constituindo-se de planos salientes à fachada.
Bifurcação:	Altura do tronco de uma árvore no qual os galhos se dividem ao modo de forquilhas.
Bioambiental:	Área de conhecimento que relaciona as variáveis de luz, som e calor em relação aos seres vivos.

Bioclimáticos:	Relativo a Bioclimatologia, ou seja, as relações entre o clima e os seres vivos.
Bioclimatologia:	Área de conhecimento que relaciona o clima e as suas ações sobre os seres vivos.
Biomassa:	É o emprego da flora com finalidades operacionais para obtenção de energia, alimentação, dentre outros objetivos, com destinações inseridas em um sistema de desenvolvimento sustentado.
Biometeorológicos:	A relação dos fatores e elementos meteorológicos com os seres vivos.
<i>Brise-soleil</i> :	Componente arquitetônico externo ao edifício para proteção contra a radiação ou iluminação solares.
Brise-verde:	É o <i>brise-soleil</i> em que se emprega vegetação para sua execução, em conjunto com outros elementos construtivos de suporte.
Caducifólia:	Diz-se das plantas que não se mantêm verdes durante o ano todo, perdendo todas as folhas na estação seca ou no inverno.
<i>Campi</i> :	Plural de <i>Campus</i> , porção de terreno onde se situam as Universidades.
Céu Claro:	Diz-se da abóbada celeste com nebulosidade superior a 9/10 de céu.
Céu Encoberto:	Diz-se da abóbada celeste com nebulosidade inferior a 3/10 de céu.
Céu Uniforme:	Modelo de abóbada celeste encoberta que possui um valor constante de luminância em todas as direções de azimute e altura.
Clinômetro:	Equipamento manual com o qual se medem as inclinações, em graus, dos terrenos.
Cobogós:	Componentes arquitetônicos denominados de elementos vazados.
Condutância térmica:	É a capacidade de conduzir fluxo térmico, correspondendo a razão entre a condutividade térmica e a espessura de material homogêneo.

Convecção:	Fenômeno de troca de calor nos fluidos onde há, também, transporte de massa.
Convectivo:	Relativo a convecção.
Densidade foliar:	Refere-se a quantidade de cobertura foliar de um determinado vegetal, relacionada com o seu índice de vazios.
Densidade Superficial:	É a densidade de um metro quadrado de componente arquitetônico de um edifício, cuja unidade é kg/m^2 .
Diádica:	Relativo a díade: um par, um grupo de dois.
Difusa:	Em termos de radiação luminosa diz-se do tipo de propagação em que não há componente direta.
<i>Domus</i> :	Elemento arquitetônico translúcido destinado a iluminação natural, no interior de edifícios. Fica localizado sobre a cobertura dos edifícios.
Efeito estufa:	Efeito de aquecimento da atmosfera oriundo dos vazios na camada de ozônio através da incidência dos raios ultravioletas.
Efeito termoluminoso:	Efeito combinado das radiações eletromagnéticas térmicas e luminosas no ambiente construído.
Efemérides astronômicas:	São datas repetitivas numa determinada escala de tempo em que ocorrem variações astronômicas: Exemplificando Solstícios de inverno e verão e equinócios de primavera e outono.
Emissividade:	Capacidade de um corpo, cuja a temperatura está acima do zero absoluto, de emitir radiação térmica, oriunda das propriedades superficiais do corpo.
Entorno:	Porção de espaço natural ou de ambiente construído que circunda um determinado elemento: exemplificando: um edifício e a sua vizinhança imediata.
Envoltório:	Elementos ou componentes arquitetônicos que envolvem externamente uma edificação.
Ergonômicos:	Relativo a Ergonomia: que trata das relações de adaptação do trabalho ao usuário.

- Estação de trabalho: É um “*hardware*” denominado de estação de trabalho com características que ocupam uma posição intermediária entre microcomputadores e computadores *Main-frame*.
- Estômatos: Estrutura microscópica existente na epiderme de órgãos aéreos, especialmente de folhas, constituída basicamente de duas células com reforço especial da parede, entre as quais fica uma abertura pela qual se efetuam trocas gasosas entre a planta e o meio.
- Fenológico: Relativo a fenologia: parte da botânica que estuda vários fenômenos periódicos das plantas, como a brotação, a floração, a frutificação, a cobertura por folhas, marcando-lhes as épocas e suas características. Ou ainda, o estudo das relações dos processos biológicos periódicos com o clima.
- Fish-eye*: Lente fotográfica com campo de visão esférica de 180°, também denominada lente olho de peixe.
- Fotômetro: Instrumento usado para medir a energia de um feixe luminoso, e que se pode basear em comparações efetuadas visualmente ou em comparações quantitativas realizadas por meio de dispositivos fotoelétricos.
- Fotovoltáico: Referente a equipamento que transforma radiação térmica em energia elétrica.
- Globoscópio: Instrumento para medições de obstrução do entorno, em determinada projeção cartográfica, exemplificando: projeção estereográfica.
- Heliógrafo: Equipamento meteorológico destinado a medição das horas de insolação de um determinado período.
- Ilha de Calor: É o fenômeno climático que ocorre em locais de grandes cidades com alta densidade de ocupação cujos os valores de temperatura do ar são superiores aos respectivos valores simultâneos de temperatura das zonas suburbanas de baixa densidade ocupacional.
- Iluminância: Grandeza física que quantifica a iluminação de ambientes internos ou externos, cuja a unidade de medida é o *lux* correspondente a razão entre lúmens por unidade de área.

Impacto meteórico:	Parte do estudo meteorológico que observa e quantifica todo o tipo de precipitação que ocorre sobre o globo terrestre, exemplificando: chuva e granizo, dentre outros.
<i>in loco</i> :	No local.
Liga-desliga:	Liga-desliga, procedimento destinado ao controle da iluminação artificial ligando-a ou desligando-a, quando a iluminação natural atinge o limite normativo de iluminância.
<i>Light-shelf</i> :	Prateleira de luz, ou seja, componente arquitetônico constituído por placas horizontais, fixadas nas janelas com saliências internas e externas, geralmente de cor clara, com a finalidade de auxiliar na iluminação natural através da reflexão para o forro.
Lítrio:	Elemento arquitetônico para iluminação natural dos ambientes internos.
Luminância:	Razão entre a intensidade do fluxo luminoso emitido por uma superfície em uma dada direção e a área da superfície emissora projetada sobre um plano perpendicular à direção considerada, cuja a unidade é definida em candela/m ² .
Luminancímetro:	Aparelho para medição da luminância.
Lumínico:	Que dá ou esparge luz, diz-se, também, luminoso .
Luxímetro:	Aparelho para medir a iluminância.
Malha:	É uma malha quadriculada em imagens fotográficas ou compugráficas.
Mesoescala:	Escala de dimensão geográfica intermediária.
Micro-Clima:	É o clima de uma escala geográfica muito reduzida.
<i>Mobile homes</i> :	<i>Trailer</i> ou casa móvel.
<i>Muxarabi</i> :	Treliça para vedação de janelas de origem árabe.
Oásis de Verão:	Denominação da vegetação inserida em zonas urbanas de alta densidade de ocupação para minimizar o efeito da ilha de calor.

Óculo:	Abertura ou janela circular ou elíptica de pequena dimensão, não raro decorativa, destinada a passagem do ar e da luz.
Padrão de uso:	Histograma elaborado computacionalmente para quantificar valores em uma determinada escala de tempo.
Psicrômetro:	Aparelho destinado a medição da umidade relativa do ar.
Pubescência:	Órgão vegetal coberto de pelos finos e curtos.
Refletância espectral:	Razão entre a parcela de ondas eletromagnéticas térmicas refletidas por um objeto e o total de ondas eletromagnéticas incidentes no mesmo objeto, para cada comprimento de onda.
Refletância:	Razão entre a parcela de ondas eletromagnéticas térmicas refletidas por um objeto e o total de ondas eletromagnéticas térmicas incidentes no objeto.
Refletividade:	Razão entre a parcela de ondas eletromagnéticas luminosas refletidas por um objeto e o total de ondas eletromagnéticas luminosas incidentes no objeto.
Revisão bibliográfica:	Artigo de periódico, de monografias, de dissertações e de teses que descrevem a revisão bibliográfica sobre determinado assunto específico.
Rugosidade:	Qualidade de rugoso, ou seja, material áspero.
Seteira:	Elemento arquitetônico destinado à iluminação natural de ambientes internos, com forma retangular e estreita.
Sinóticas:	Horários de leitura dos valores de elementos climatológicos, efetuados em estações meteorológicas, definidos pela Organização Mundial de Meteorologia, referidos ao Tempo Médio de Greenwich. São os seguintes: 12, 18 e 24 TMG, que devem ser corrigidos para a latitude da estação climatológica de forma que as leituras, no mundo todo, ocorram simultaneamente no mesmo horário.
Solarímetro:	Aparelho meteorológico registrador usado para medir a radiação solar global. (direta e difusa).
Solstício:	Época em que o Sol passa pela sua maior declinação boreal ou austral, e durante a qual cessa de afastar-se do equador. No hemisfério Sul, as datas de 22 ou 23 de

junho correspondem ao solstício de inverno e as datas de 22 ou 23 de dezembro correspondem ao solstício de verão.

- Sotavento: O lado para onde vai o vento.
- Stress* térmico: Esforço do sistema termo-regulador de organismos vivos quando sujeitos à influência intensa das condições higro-térmicas do ambiente.
- Taxa metabólica: Taxa referente a atividade metabólica, correspondente à atividade física de um indivíduo. É quantificada pela unidade MET = 58,2 W/m².
- Temperatura radiante: É a temperatura relativa à radiação térmica de um dado ambiente. Usa-se a medida do termômetro de globo para estimá-la.
- Termômetro de bulbo seco: É o instrumento de medida da temperatura do ar, sendo um dos componentes do psicrômetro, que é o aparato para obtenção da umidade relativa do ar.
- Termômetro de bulbo úmido: É o instrumento de medida da temperatura úmida do ar revestido de uma gaze umidificada, sendo um dos componentes do psicrômetro.
- Termômetro de globo: Equipamento composto de um termômetro de bulbo seco, cujo o bulbo é revestido por uma esfera oca de cobre pintada na cor de preto fosco, utilizado para medições das temperaturas de globo e para estimar a temperatura radiante de um determinado ambiente.
- Topoclima Urbano: Estudo do clima urbano correlacionado à superfície topográfica do local.
- Transmissividade: Razão entre a fração de luz que atravessa um corpo translúcido e a radiação luminosa total que incide neste objeto.
- Transmitância Térmica: É a capacidade de determinado corpo relativo a transmissão de calor dado um gradiente de temperatura, mede-se pela unidade W/m² K.
- Turvamento: Relativo a torvação: característica da nebulosidade em apresentar nuvens escuras.
- Zenital: Relativo ao zênite que é a interseção da vertical superior do lugar com a esfera celeste.

RESUMO

Os desempenhos termo-energético e lumínico em edificações escolares estão vinculados às variáveis determinantes do projeto arquitetônico e paisagístico.

A relação diádica entre estas variáveis é conflitante, se analisadas conjuntamente, através do consumo de energia elétrica.

Esta tese exploratória, de cunho sistêmico, analisa, conflitos e compromissos entre luz e calor em escolas com sombreamento arbóreo, através de medições no local e tratamento computacional de imagens hemisféricas, através da iluminância interna e externa. Diagnostica, define e quantifica os conflitos entre luz e calor, em salas de aula da amostragem, sombreadas com Flamboyants, Sibipirunas, Ipês Amarelos e Ipês Roxos, no Câmpus-Sede da UEM.

Na busca dos compromissos entre as variáveis de luz e calor, foram desenvolvidos um aparato e um método de medição. Foram medidas a transparência dos hemisférios verticais, das copas de grupos de árvores nos solstícios de verão e inverno e durante um ano, um exemplar de cada árvore.

Além disto, elaborou-se um arquivo de variáveis de clima, na forma de Ano Climático de Referência, com 52.640 dados horários.

Com tais procedimentos, possibilitou-se efetuar 8.162 simulações computacionais paramétricas através do “*software*” VisualDOE2.6, na busca de compromissos nesta relação diádica entre luz e calor. Os parâmetros que mais influenciaram o desempenho termo-energético do modelo de sala foram:

- O “*retrofit*” no sistema de iluminação artificial;
- A distância das árvores ao edifício;
- A porcentagem da área das janelas em relação à área das paredes;
- A inércia e isolamento térmica das paredes.

Com tais resultados, foram identificadas as distâncias ótimas das árvores para obtenção do menor consumo de energia elétrica, com sombreamento arbóreo. Além do que, obtiveram-se valores de conservação de energia consideráveis em ambientes climatizados artificialmente, com e sem sombreamento, variando de 14% a 57%.

E, finalmente identificou-se que o “*lay-out*” das salas pode ser melhorado com a alteração no partido arquitetônico e com a especialização das funções das janelas.

ABSTRACT

The thermal-energetic and light performance in school buildings is associated with key variables in architectural and landscape projects. The two-side relationship between these variables is conflicting, if analysed jointly, using energy consumption.

This exploratory thesis, applying systems theory, analyses classrooms, through “*in loco*” measurements and computer hemispheric imaging using internal and external illumination.

It evaluates, defines and quantifies the conflict between light and heat in a sample of four classrooms, shaded by “*Caesalpinea peltophoroides, Tabebuia avellanadae, Delonix regia, Tabebuia crysotricha*” trees, in the University Campus of UEM.

To observe the interplay of light and heat, a special device and method was developed to measure the transparence of vertical hemispheres and groups of trees during the winter and summer solstices as well as a sample of each tree, using the luminance.

In addition, a special meteorological records system named Test Reference Year was set up containing 52640 hourly data. With such procedures in place, it was conducted 8162 parametric computer simulations using VisualDOE 2.6 software to analyse the twin conflicts of light and heat.

The parameters that most influenced the performance of thermal-energetic and luminous performance in classrooms were:

- The retrofit of artificial lighting system;
- The distance of trees from the building;
- The Window to Wall Ratio;
- Wall thermal isolation and inertia.

With these results it was possible to identify the optimum distance of perennial and decidua trees in reduced energy consumption, even with the presence of tree shades.

In addition, it was observed significant electric energy savings results in artificially climatized environments with and without shading, between the values of 14% to 57%. And, finally, it was identified that the layout of classrooms may be improved by modifying architectural blueprints and specially designed windows.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 A Problemática e o Tema.....	2
1.2 Justificativas.....	4
1.3 Situação de Referência e a Delimitação do Objeto de Trabalho.....	6
1.3.1 Localização Geográfica	6
1.3.2 Características Climáticas	7
1.3.3 Características da Arborização Urbana	7
1.3.4 Universidade Estadual de Maringá.....	8
1.3.4.1 A Evolução Cronológica dos Sistemas Construtivos no Câmpus - sede.	9
1.4 Objetivos	11
1.4.1. Objetivo Geral.....	11
1.4.2. Objetivos Específicos	12
1.5 Hipótese Geral.....	12
1.6 Estrutura da Tese.....	12

1.1 A Problemática e o Tema

A complexidade e a coexistência dos fatores energético - ambientais (luz, som e calor) e a percepção humana integrada desses parâmetros operativos através de qualidades ambientais tornam a sua análise holística, no ambiente construído, extremamente dificultada pelos aspectos conflitantes no comportamento dessas variáveis.

A interferência dos elementos do entorno imediato às edificações, em especial, da vegetação é discutida e aplicada empiricamente e de modo qualitativo, nos trabalhos de FITCH (1972) na década de 40 e de OLGAYAY e OLGAYAY (1963) na década de 50.

Desde a década de 70, tem-se procurado quantificar os efeitos da vegetação no ambiente construído, especialmente sob os aspectos térmicos e de conservação de energia tanto na escala urbana quanto na das edificações climatizadas artificialmente. Sob esses aspectos, os resultados tem sido auspiciosos, principalmente nos países do hemisfério norte.

Na América do Norte a saturação de mercado do ar condicionado para o setor residencial cresceu de 12% em 1960 para 36% em 1970 e de 55% em 1980 para 64% em 1992, segundo KEMPTON e LUTZENHEIZER (1992). Comparativamente, mesmo de modo pontual, JANNUZZI e SCHIPER (1991) avaliam uma saturação de 6% no setor residencial de Rio Claro-SP, atingindo 7% do consumo final de energia elétrica despendida em condicionamento artificial.

No Brasil, a iluminação por lâmpadas incandescentes apresenta uma saturação de mercado de 100% atingindo 12% do consumo energético final, conforme mencionam LAMBERTS *et alii* (1996) que, também, afirmam haver um crescimento no uso de condicionamento artificial no Brasil.

Com tal tendência no mercado de equipamentos de ar condicionado, extrapolando-se para o Brasil, o problema se configura de forma diversa dos Estados Unidos, pois surgem conflitos e compromissos entre os aspectos funcionais do paisagismo e a conservação de energia nas variáveis lumínicas e nas térmicas do ambiente construído, se descartarmos, de modo reducionista, a acústica da análise, pois ela não demanda diretamente consumo energético.

Como, geralmente, o consumo elétrico para manter o sistema de ar condicionado é maior que o da iluminação artificial, os estudos mencionados na revisão bibliográfica,

sobre a aplicação do paisagismo na conservação de energia, têm-se restringido aos aspectos térmicos nas edificações, não mencionando a influência no ambiente lumínico.

Existem estudos sobre a influência de árvores no desempenho térmico de residências de interesse social e a quantificação da transparência de árvores pela radiação solar elaborados por SATTLER (1987, 1993).

Outros estudos abordam aspectos acerca da contribuição da luz natural na redução do consumo energético de escritórios em Florianópolis, segundo SOUZA (1994).

ALVAREZ (1995), apresenta um trabalho acerca de procedimentos para análise e avaliação da iluminação em ambientes escolares no Rio de Janeiro, através de uma APO - Avaliação de Pós - Ocupação, abordando o problema de forma qualitativa com aplicação de questionários.

No contexto de consumos globais e desagregados anuais de energia elétrica, LAMBERTS (1996) apresenta um histórico do PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, revisando o resultado das pesquisas efetuadas e em andamento, apresentando valores quantitativos sobre a eficiência no uso da eletricidade em edifícios comerciais e públicos nacionais e estrangeiros.

Cita-se, também, o trabalho de BOGO (1996) que analisa o desempenho térmico e a verificação do potencial de uso da iluminação natural para o ambiente construído escolar. Neste trabalho BOGO (1996) aplicou a simulação computacional com o "software" DOE-2.1E para o clima da cidade de Florianópolis, a partir de modelos representativos das salas de aula locais. Considerou, também, os aspectos de conforto térmico e do nível de iluminamento, visando obter orientações para projeto.

A problemática no caso dos estabelecimentos de ensino superior, cujo maior consumo final desagregado ocorre com a iluminação artificial, segundo ROMÉRO (1994), TOLEDO (1995), GHISI (1997) e MASCARÓ *et alii* (1997). O primeiro autor efetuou levantamentos para a USP - Universidade de São Paulo e o segundo e terceiro autores, para UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Os últimos autores efetuaram levantamentos para a UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. ROMÉRO (1994) indica um valor médio de consumo anual de 61,00 kWh/m² ano, GHISI (1997) apresenta outros valores quantitativos do consumo energético, a saber: 94,56 kWh/m² ano para universidades norte-americanas e 79,26 kWh/m² ano para a

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina.

As pesquisas referentes aos conflitos e compromissos em relação aos aspectos térmicos e lumínicos, quando inseridos no contexto da aplicação do sombreamento arbóreo, em escolas, cuja prática é comum no Brasil, tratam de estudos qualitativos de paisagismo como o da FDE - Fundação para o Desenvolvimento da Educação (1990), e não estão ainda, quantitativamente, exploradas.

Deste modo, a temática deste trabalho, reside no equacionamento dos conflitos térmicos e lumínicos de edificações com finalidade ensino (salas de aula) da UEM - Universidade Estadual de Maringá, sombreadas por quatro tipos de essências arbóreas e não sombreadas, havendo três sistemas, construtivos diferentes em pauta e quatro edifícios em análise.

O fato que norteia este estudo é que a UEM - Universidade Estadual de Maringá é uma universidade nova, cujo Câmpus-sede definitivo iniciou sua ocupação em 1971 e em 1988 foi implantado um projeto de caráter permanente denominado Parque Ecológico, cuja meta é transformar a UEM num “pulmão verde” da Zona Norte do município com diversos sub-projetos que vão desde as preocupações ecológico - ambientais até o uso funcional do paisagismo em relação ao sombreamento das edificações. A continuidade deste projeto depende dos resultados da presente pesquisa.

1.2 Justificativas

Justifica-se a escolha deste tema pela complexidade existente nas inter-relações entre o comportamento térmico e lumínico nas edificações, especialmente nas escolas, de todos os níveis, onde se realizam atividades didáticas cujo desempenho das variáveis ambientais condiciona diretamente o processo de ensino - aprendizagem nelas desenvolvido.

Apresentam-se nos quadros 1.1 e 1.2 os conflitos entre luz e calor, nos quais ficam evidenciadas algumas incompatibilidades, frente as características de cada um desses elementos energético - ambientais. Torna-se necessária uma hierarquização dos problemas no contexto do projeto, das características funcionais do edifício e do seu entorno imediato, conforme propõe LOFTNESS (1986).

Quadro 1.1. Exemplos de falhas no desempenho visual de edificações, relacionadas com decisões de adequação higrotérmica, segundo LOFTNESS, 1986.

Decisões para:	Causam falhas em:
DESEMPENHO TÉRMICO	DESEMPENHO VISUAL
<ul style="list-style-type: none"> -Redução de área envidraçada -Aumentar áreas envidraçadas em faces dirigidas ao equador e reduzi-las em outras direções -Insolação direta para conforto térmico (aquecimento) -Superfícies escuras para aumentar absorção de radiações solares (aquecimento) -Redução no uso de iluminação artificial incandescente para minimizar fontes internas de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reduz iluminação natural e aumenta o contraste -Aumenta o potencial de ofuscamento e elimina iluminação bilateral. -Possibilidade de ofuscamento - Baixa refletividade reduzindo a penetração de luz natural e o desempenho de iluminação artificial. - Reduz o controle de iluminação em termos de cor.

Quadro 1.2 Exemplos de falhas no desempenho higrotérmico de edificações relacionadas com as decisões de adequação visual, segundo LOFTNESS, 1986.

Decisões para:	Causam falhas em:
DESEMPENHO VISUAL	DESEMPENHO TÉRMICO
<ul style="list-style-type: none"> -Aumentar o pé-direito -Utilizar vidros reflexivos para reduzir ofuscamento -Aumentar a área envidraçada para melhorar a contribuição da iluminação natural. -Aumentar a iluminação artificial. 	<ul style="list-style-type: none"> -Incrementa estratificação térmica e as necessidades de condicionamento térmico, devido ao aumento do volume -Reduz potencial de ganho térmico pela radiação solar em períodos frios (baixa radiação solar). -Induz a excessivo ganho térmico em períodos quentes (alta radiação solar). -Promove excessivo ganho térmico devido às fontes internas de calor.

Por outro lado, a exiguidade de estudos para as condições climático - ambientais do Brasil neste contexto é grande, em especial na escala do edifício e de seu entorno imediato. Salienta-se, ainda, que para a situação geográfica do Brasil, localizado na faixa intertropical, na maioria dos casos, há condições climáticas que possibilitam tratar o problema de climatização das edificações de modo passivo (sem consumo de Energia

Elétrica) , tirando partido em termos conservativos no caso das variáveis energético-ambientais. A escolha do tema, também, é relevante, tendo como escopo salas de aula do 3º grau, pois nas escolas em geral e especialmente nas universidades, a implantação das edificações garante espaço suficiente entre elas para uma melhor avaliação do objeto de estudo edifício – entorno, do que no contexto urbano onde a ação antrópica no ambiente é mais intensa e complexa.

Sob o ponto de vista sistêmico aumentando-se a amplitude do objeto de estudo, surgem as condicionantes climáticas, oriundas da ação antrópica na escala urbana, dentre as quais: a interferência no clima regional, originando variações no clima urbano que são condicionantes para o desempenho ambiental das edificações urbanas. Neste contexto, a vegetação assume um papel importante na mitigação dos efeitos da “ Ilha de Calor”, que ocorre nas áreas urbanas com grande densidade de ocupação.

Por outro lado, analisando-se o efeito do micro-clima oriundo da vegetação, especialmente das árvores, sobre as edificações, do ponto de vista reducionista, é possível encontrar uma grande gama de benefícios nos aspectos energético-ambientais, que complementam e auxiliam no desempenho energético das edificações. Dentre esses benefícios oriundos da vegetação, salienta-se que é raro encontrar-se estudos quantitativos e simultâneos acerca dos aspectos térmicos e lumínicos e sua ação no micro-clima do entorno imediato e no interior das edificações. Tal lacuna no conhecimento, aponta para a direção de estudos acerca dos conflitos e compromissos oriundos da ação e da importância deste contexto, especialmente no Brasil, sobre o qual conhecem-se poucos dados quantitativos na escala da edificação.

O tema da presente tese vem auxiliar no diagnóstico e na quantificação da ação conjunta dos aspectos termo-lumínicos, oriundos do sombreamento arbóreo em salas de aula. Além disto, a temática envolve entre as justificativas, nortear o projeto do Parque Ecológico e a implantação de novas edificações na UEM, no contexto deste estudo.

1.3 Situação de Referência e a Delimitação do Objeto de Trabalho

1.3.1 Localização Geográfica

Maringá, cidade polo da microrregião homogênea 282 (Norte Novo do Paraná) situa-se em torno das coordenadas de 23° 25’ de Latitude Sul e 51° 55’ de Longitude

Oeste de Greenwich, portanto muito próxima do Trópico de Capricórnio. Tem altitude média de 545m sobre o nível do mar, estando na região fisiográfica do terceiro planalto paranaense.

1.3.2 Características Climáticas

De acordo com o critério de classificação de KÖEPEN (*apud* IAPAR, 1978) o clima regional é do tipo **Cfa**, subtropical úmido com verões quentes e geadas pouco frequentes, tendo tendência de concentração das chuvas nos meses de verão e sem estação seca definida. A precipitação média anual encontra-se entre 1500 e 1600 mm e a umidade relativa do ar média abaixo de 75%. A média anual da temperatura do ar atinge os valores de 20°C a 21°C, a média anual das temperaturas extremas são: para as máximas entre 27°C e 28°C; e para as mínimas entre os valores de 14°C e 15°C, segundo o IAPAR- Instituto Agrônômico do Paraná (1978).

1.3.3 Características da Arborização Urbana

Através de dados disponíveis na Secretaria Municipal do Planejamento da Prefeitura Municipal de Maringá foram catalogadas 86 áreas verdes públicas (80 praças e 6 parques) equivalentes à área de 1.931.145,60 m² (193,1 ha) distribuídas pela malha urbana e a arborização urbana corresponde a 3.877.745,00 m², atingindo o índice de 12m²/habitante de vegetação urbana pública, em 1988. Atualmente, com inclusão das áreas verdes privadas este índice atinge o valor de 25,65m²/habitante, referente à vegetação urbana, acima do índice de 20,0 m²/habitante recomendado pela OMS – Organização Mundial de Saúde. O quadro 1.3 apresenta parte da frequência de ocorrência real da arborização urbana de interesse neste trabalho, em Maringá segundo MILANO (1988). Salienta-se que essas espécies de árvores citadas, também, são as mais comuns no paisagismo da UEM, com a função de sombreamento das edificações.

Quadro 1.3 Frequência percentual real das espécies arbóreas urbanas em Maringá, segundo MILANO, 1988.

Classificação	Nome Científico	Nome Popular	Freq. (%)
1º	Caesalpineia peltophoroides	Sibipiruna	49,83%
4º	Tabebuia avellanadae	Ipê Roxo	8,00%
5º	Delonix regia	Flamboyant	4,19%
10º	Tabebuia crysotricha	Ipê Amarelo	1,07%

MILANO (1988) através de uma avaliação quali-quantitativa e de manejo da arborização urbana apresenta uma classificação e pontuação para as espécies arbóreas mais adaptadas a esta finalidade, por ordem de qualidade, de um total de 19 espécies arbóreas mais comuns da arborização urbana. Apresentam-se no quadro 1.4 os resultados, que demonstram a adaptabilidade ao meio ambiente das árvores nativas em relação às essências exóticas (Flamboyant)

Quadro 1.4 Classificação por ordem de qualidade das árvores urbanas em Maringá, segundo MILANO (1988).

Classificação	Nome Científico	Nome Popular	Fenologia
5º	Tabebuia caryotricha	Ipê Amarelo	Caducifolia
6º	Caesalpinia peltophoroides	Sibipiruna	Semi-caducifolia
7º	Tabebuia avellanadae	Ipê Roxo	Caducifolia
13º	Delonix regia	Flamboyant	Caducifolia Tardia

Há algum tempo, na escala urbana, alguns estudos têm sido efetuados no sentido de avaliar a influência da vegetação no clima urbano de Maringá. Pode-se citar os trabalhos de SANTOS e RIBEIRO (1991); SANTOS e TARIFA (1992). O primeiro estudo trata de definir ambientes micro-climáticos na escala urbana da cidade, através da distribuição espacial dos diferentes ambientes gerados pela interação entre o uso do solo e o albedo correspondente, valendo-se do uso de Aerofotogrametria. O segundo trabalho trata de investigações preliminares sobre o clima urbano da cidade, com o objetivo de analisar a integração entre os seus componentes naturais e urbanos, com o ar de sua atmosfera adjacente, considerando ainda as influências da circulação de ar regional e local. Para a realização deste estudo utilizaram-se a análise e a produção de material cartográfico, além de medições de campo.

1.3.4 Universidade Estadual de Maringá

A Universidade Estadual de Maringá - UEM, foi fundada em 06/11/69, e seu Câmpus - sede com 165 ha de área está inserido na malha urbana onde se localiza a Estação Climatológica Principal de Maringá - ECPM, vinculada ao Instituto Nacional de

Meteorologia -INEMET, que forneceu os dados de elementos climatológicos de superfície para este trabalho. A proximidade da Estação Climatológica Principal, reduz o risco da influência do clima urbano nos valores dos elementos meteorológicos.

De acordo com o último censo universitário, em 1993, o total de alunos matriculados no segundo semestre deste ano foi de 7965 alunos, os quais se encontravam distribuídos nos 24 cursos de graduação. Além desses, outros 497 estudantes freqüentavam 19 cursos de pós-graduação, “*Strictu e Latu-senso*”. O total das edificações nos “*campi*” da UEM somam 137.288,95m² sendo 100.260,50m² de edificações cobertas e 37.028,45m² de edificações descobertas, deste montante 59.586,10m² cobertas e 30.831,50m² descobertas de caráter definitivo no Câmpus-sede da UEM. Neste montante há 104 salas de aula em instalações definitivas e 44 em instalações provisórias, num total de 148 salas de aula.

1.3.4.1 A Evolução Cronológica dos Sistemas Construtivos no Câmpus - sede.

Em 1971 o Câmpus-sede começou a ser ocupado e em diferentes fases foram escolhidos sistemas construtivos diversos. Iniciou-se com edificações pré-moldadas em chapas de madeira compensada e cobertura metálica, com paredes e forros claros.

Posteriormente foi elaborado um plano piloto de ocupação do Câmpus definitivo através de um concurso de projetos que mudou o sistema construtivo para alvenaria de blocos cerâmicos aparentes internamente de 4 furos, revestidos externamente e pintados com cor branca, além de forro de gesso branco. A estrutura de cobertura é metálica e o telhamento em alumínio, com beirais largos (1,85m). O isolamento térmico é composto de camadas de lã de vidro com espessura 2,5 cm, fixadas sob as telhas.

Em seguida, mudou-se a tipologia com a verticalização até 3 pavimentos, porém sem a execução dos elementos arquitetônicos de sombreamento necessários, previamente projetados. Alguns blocos receberam revestimento e pintura clara, em outros adotou-se alvenaria aparente e em todos a cobertura com telhas de cimento-amianto. Finalmente, em caráter emergencial, foram construídas edificações com blocos de concreto, laje pré-moldada revestida e cobertura com telha cerâmica colonial, térreos, com cores claras interna e externamente. O beiral mede 0,70m, sem outros

elementos arquitetônicos de proteção solar.

Porém, para garantir o cumprimento do plano piloto da UEM, que consiste de uma malha hexagonal formada pelas edificações, a orientação dos edifícios não foi levada em conta e sim a forma geométrica de implantação dos edifícios. Nas figuras 1.1 a 1.4 apresentam-se os sistemas construtivos e a sua proteção arbórea, na estação do inverno.

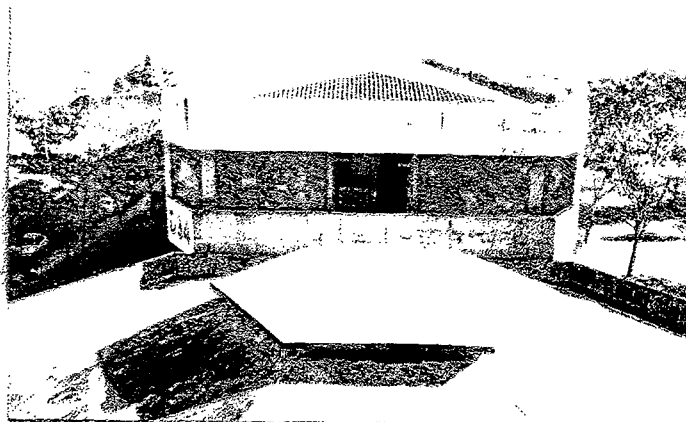


Figura 1.1 - BLOCO D34 - Face Nordeste à esquerda e Sudoeste à direita, no período de inverno. Sistema Construtivo com Bloco Cerâmico de 6 furos e Telhamento de Fibrocimento

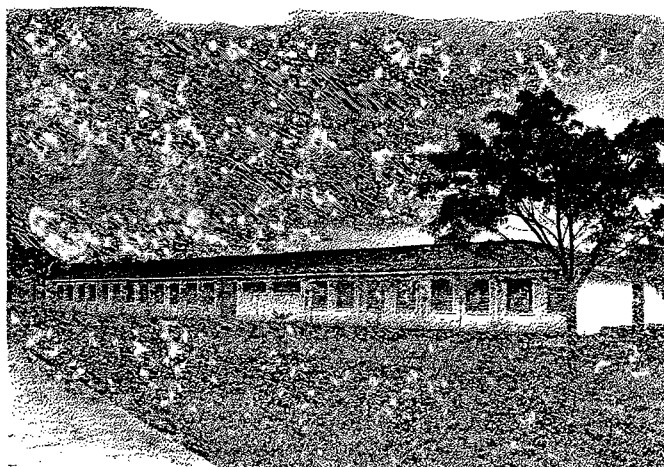


Figura 1.2 - BLOCO M05 - Face Sul no período de inverno. Sistema Construtivo com Bloco de Concreto e Telhamento Cerâmico



Figura 1.3 - BLOCO E46 - Face Oeste à esquerda e Leste à direita no período de inverno. Sistema Construtivo com Bloco Cerâmico 4 furos e Telhamento em Alumínio



Figura 1.4 - BLOCO E34 - Face Sudeste à esquerda e Noroeste à direita no período de inverno. Sistema Construtivo com Bloco Cerâmico 4 furos e Telhamento em Alumínio

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo Geral

- i) Diagnosticar, definir e quantificar os conflitos e os compromissos da arborização, nos os aspectos lumínicos e térmicos do ambiente construído escolar, visando o conforto térmico, a eficiência do sistema de iluminação, além da conservação de energia elétrica.

1.4.2. Objetivos Específicos

- i) Quantificar os conflitos na iluminação das salas de aula devido a obstrução arbórea, com quatro espécies de árvores;
- ii) Verificar os benefícios térmicos nas edificações escolares devidos ao sombreamento arbóreo com quatro espécies de árvores;

1.5 Hipótese Geral

- Já se comprovou que a arborização, através do sombreamento de aberturas e de paramentos opacos verticais externos das edificações, minimiza o rigor térmico (temperatura) a que se expõem os edificios escolares, porém pode-se estabelecer condições ótimas para o seu uso, a fim de que não se comprometa a iluminação, em ambientes escolares (salas de aula).

1.6 Estrutura da Tese

A presente tese apresenta-se em 2 volumes, sendo que o primeiro aborda propriamente a tese e o segundo compõe-se de anexos contendo as figuras, tabelas e quadros suplementares . Inclui-se, também, um glossário de termos técnicos para auxiliar no entendimento desta Tese.

O presente capítulo 1, de introdução, discorre acerca da problemática e do tema justificando-os e definindo a situação de referência documentada, onde se expõe, também, a delimitação do objeto de estudo deste trabalho, através do conteúdo dos objetivos e da hipótese adotados.

No capítulo 2 apresenta-se uma revisão bibliográfica acerca dos aspectos térmicos e da vegetação, bem como, sobre os aspectos lumínicos e vegetação na escala do edificio, do seu entorno imediato e na escala urbana, conforme metodologia sistêmica. Nele inclui-se, também, uma fundamentação teórica na qual se analisam os subsistemas envolvidos no escopo da presente Tese, concluindo acerca da forma de abordagem e delimitando-os ao objeto desta Tese.

No capítulo 3, apresenta-se o contexto dos Materiais e Métodos da medição no local dos parâmetros termo-lumínicos cuja finalidade é explicitar os conflitos entre conforto térmico e conforto lumínico naturais no ambiente construído escolar sombreado. Porém, devido ao comportamento climático durante o período de monitoramento, que foi atípico, especialmente no inverno, procurou-se um procedimento mais abrangente. A medição e o tratamento computacional de imagens arbóreas e dos hemisférios verticais externos (campo visual de 180° tendo como base o plano vertical externo) têm por finalidade desenvolver e validar um método expedito para obter, respectivamente, a transparência das copas das árvores, auxiliar no diagnóstico, definir e quantificar os conflitos entre os aspectos térmicos e lumínicos, que são implementos da simulação paramétrica. Ainda, neste capítulo, apresenta-se a proposta metodológica de trabalho - na qual se incluem os procedimentos para a montagem do Ano Climático de Referência - para a simulação computacional paramétrica, desenvolvidos neste trabalho com a finalidade de indicar a sensibilidade dos parâmetros, dentre os alterados sistematicamente. Propõe-se, também, uma instrumentação alternativa para a medição da transparência das copas das árvores, através da sua luminância, com a finalidade de validar o método de tratamento computacional de imagens.

No capítulo 4, apresentam-se os Resultados e Discussões das medições nos períodos de verão e inverno acerca dos aspectos térmicos e lumínicos e os resultados do tratamento computacional das imagens arbóreas e hemisféricas, justificando-se os conflitos entre luz e calor nas escolas, oriundos da proteção arbórea. Apresentam-se e discutem-se os resultados da simulação computacional do consumo de energia total e desagregada por uso final, para uma avaliação paramétrica. Neste tópico, ressalta-se a importância da vegetação e apresentam-se dados acerca do seu desempenho. Analisa-se o desempenho termo-lumínico das salas de aula, com a proximidade da cobertura arbórea, sobre o qual conhece-se, quantitativamente, muito pouco, na relação diádica entre luz e calor estudados conjuntamente na escala do edifício. Ainda, sobre estes aspectos, apresentam-se dados pelo período de um ano, do monitoramento mensal, das medidas de luminância de um espécime arbóreo de cada espécie monitorada e dos tratamentos de imagens efetuados, com a finalidade de obter o comportamento fenológico de cada árvore estudada durante um ano, com periodicidade mensal, e mais três medições mensais para se obter a confiabilidade do método. Este procedimento

tornou-se necessário para inclusão do sombreamento arbóreo na simulação do programa computacional VisualDOE 2.6, nas condições propostas no escopo desta Tese.

No capítulo 5, apresentam-se as considerações finais e conclusões, onde também, se sugerem atividades para trabalhos futuros e discutem-se os aspectos positivos e os limitantes do presente trabalho.

Finalmente, no capítulo 6, apresentam-se as referências bibliográficas citadas no trabalho.

No segundo volume, constam 16 anexos, compostos de figuras, quadros e tabelas, necessários à compreensão deste estudo.

Os resultados completos da simulação computacional paramétrica estão disponíveis no “*site*” do NPC/UFSC na INTERNET, disponíveis para consultas.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução.....	18
2.2 Descrição dos Sistemas Envolvidos na Análise	20
2.3 O Sistema do Edifício.....	21
2.3.1 O Desempenho Global do Edifício.....	23
2.3.2 O Desempenho Termo-Luminoso do Edifício	25
2.3.2.1 Variáveis, Índices e Limites de Conforto Térmico e Eficiência Lumínica	27
2.4 O Sistema do Clima	31
2.5 O Sistema da Energia	33
2.6 O Sistema do Jardim	35
2.7 A Análise Sistêmica.....	38
2.8 Aspectos Térmicos, Eólicos e Vegetação	38
2.8.1 Da Escala Urbana à do Edifício.....	38
2.8.1.1 A Experiência Européia	39
2.8.1.2 A Experiência Norte-Americana	42
2.8.1.3 A Experiência do Lawrence Berkeley Laboratory - University of California	45
2.8.1.4 A Revisão Bibliográfica de MEIER, 1991.....	56
2.8.1.5. A Revisão Bibliográfica de GIVONI, 1991.....	60
2.8.1.6 A Experiência Brasileira.....	64
2.8.1.7 A Experiência de outros países	71
2.8.2 As Medições das Árvores.....	72
2.8.3 Aspectos da Transmissão de Radiação Solar.....	73
2.9 Aspectos Lumínicos e Vegetação.....	74

2.10 Aspectos Ambientais e Escolas	77
2.11 Considerações sobre os Aspectos Termo-Luminosos.....	80
2.12 Os Sistemas a Serem Analisados	82

2.1. Introdução

A contribuição da vegetação para melhorias no ambiente construído, na escala urbana e na do edifício, tem sido reconhecida por profissionais das mais diversas áreas de conhecimento. Desde as mais remotas eras, o paisagismo tem sido utilizado funcionalmente com esta finalidade e incluindo-se nele, dos aspectos estéticos até os psicológicos, dentre outros.

O presente capítulo revisa alguns efeitos resultantes da integração da vegetação na vida humana e no ambiente construído.

ROBINETTE (*apud* GREY e DENEKE, 1978) listou as seguintes características das plantas e seus efeitos que auxiliam a resolver problemas de engenharia ambiental:

- i) Folhas carnudas que amortecem o som;
- ii) Galhos que movem-se e vibram para absorver e mascarar ruídos;
- iii) Pubescência nas folhas que atraem e fixam partículas de pó;
- iv) Estômatos nas folhas que trocam oxigênio e gás carbônico;
- v) Flores e folhagens que produzem odores agradáveis para mascarar odores atmosféricos desagradáveis;
- vi) Folhas e galhos para reduzir a intensidade das chuvas;
- vii) Folhas e galhos para reduzir a intensidade do vento;
- viii) Espalhamento das raízes para auxiliar contra erosão do solo;
- ix) Folhagem densa para bloquear a luz;
- x) Folhagem menos densa para filtrar a luz;
- xi) Galhos espinhosos para deter o fluxo de pessoas.

OKE (1978) apresenta um balanço de calor esquemático de uma árvore e o ambiente construído, na escala da edificação, indicado na figura 2.1 à direita, onde: T_g - temperatura do solo e T_b - temperatura do edifício e T_e e T_i , temperaturas do exterior e interior da copa da árvore e T_a - Temperatura do ar, obedecendo as seguintes condições de contorno: $T_g \sim T_b < T_e < T_a < T_i$. A situação de ganhos térmicos na árvore está indicada na parte esquerda da figura 2.1. Nota-se que a gama de variáveis envolvidas e a situação de equilíbrio entre elas, são complexas e de difícil solução analítica. Desta forma, nas medições micro-climáticas no local a complexidade e a quantidade de variáveis é muito grande.

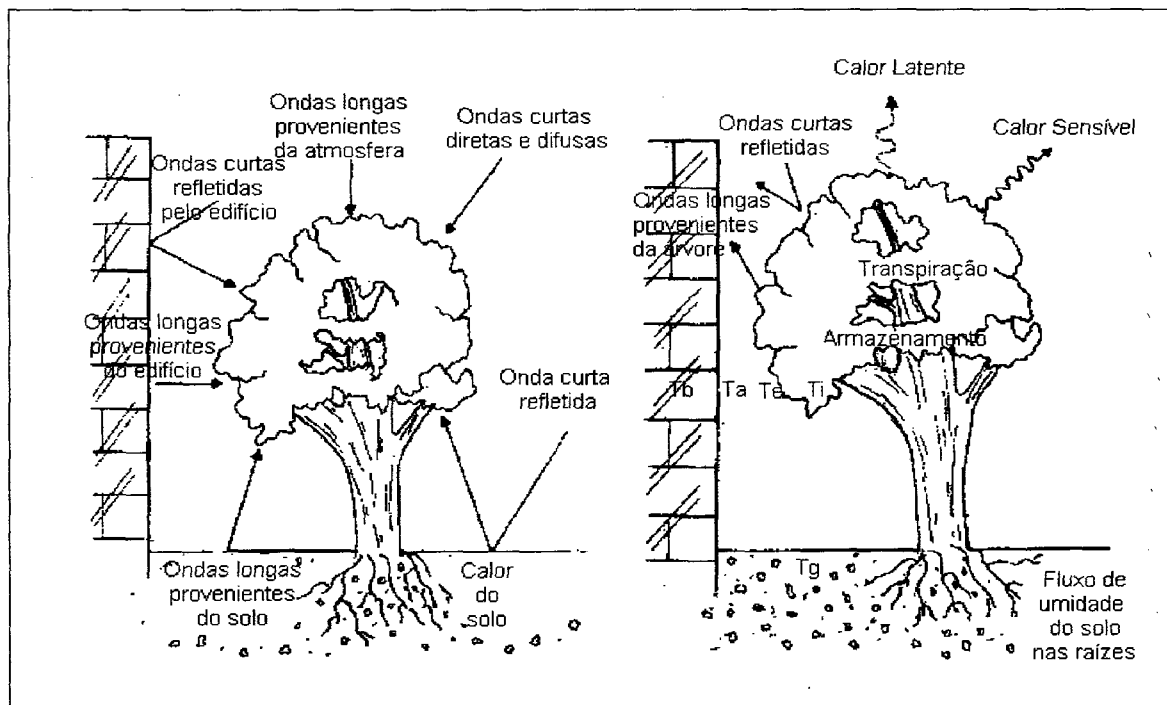


Figura 2.1. Representação esquemática do balanço térmico de uma árvore na escala do edifício, segundo OKE, 1978.

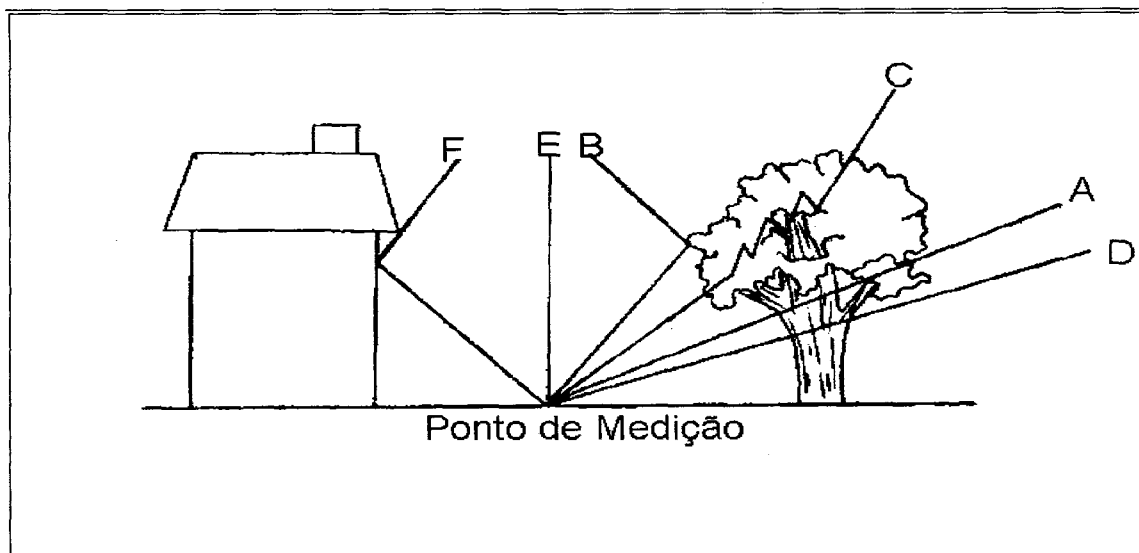


Figura 2.2 Possíveis Caminhos da Radiação Difusa em Termos de Iluminação numa Árvore e Edifício, Segundo YATES e McKENNAN, 1979

YATES e McKENNAN (1989) apresentam na figura 2.2 os possíveis caminhos da iluminação difusa da abóbada celeste nas árvores e no ambiente construído, na escala do edifício. Neste contexto, as variáveis, têm a mesma complexidade que as da figura 2.1.

Os caminhos identificados na figura 2.2 são:

- A- Penetração da luz direta nos vazios dos galhos e folhas;
- B- A reflexão da luz pela árvore;
- C- Penetração da luz refletida internamente nos galhos da árvore;
- D- Iluminação transmitida através das folhas;
- E- Iluminação refletida pelo albedo do solo para o hemisfério superior da abóbada celeste;
- F- Iluminação refletida pelo albedo do solo para edificação.

Considerando o exposto, adota-se a metodologia sistêmica, efetuando medições no local, que englobam todas as variáveis em conjunto, analisando-se e o efeito final resultante. Este procedimento de abordagem pela Teoria dos Sistemas, define que o todo é mais que a soma das partes e engloba os fenômenos conjuntamente.

Pela teoria das ondas eletromagnéticas, sob o aspecto do comprimento de ondas, as correspondentes à luz visível formam um subconjunto das correspondentes às ondas térmicas.

Desta forma, simplifica-se o modelo do objeto de estudo, adotando-se os efeitos da luz e do calor em faixas de comprimento de ondas idênticas às radiações luminosas.

A revisão bibliográfica proceder-se-á em dois tópicos principais, a saber: aspectos térmicos e vegetação e aspectos lumínicos e vegetação, precedidos de alguns elementos de fundamentação teórica.

2.2 Descrição dos Sistemas Envolvidos na Análise

Faz-se necessário, inicialmente, analisar a etimologia dos nomes dos sistemas envolvidos na problemática deste trabalho.

- i) **Edifício** - Do latim: "*Aedificium*" (Edifício, Construção) provindo do verbo "*Aedificare*" (Edificar, Construir); "*Aedes*" ou "*Aedis*" (Templo, Casa); "*Facere*" (Fazer);
- ii) **Clima** - Do grego: "*Klima*" (Inclinação) - Designa conhecimentos de ordem astronômica e cosmográfica, aplicados a toda a superfície terrestre em diversas escalas de tempo e espaço, caracterizadas por condições atmosféricas comparáveis;
- iii) **Energia** - Do grego: "*Energos : En Ergon*" (Em trabalho). Algo que concentra

energia pode ser encarado como tendo trabalho em si mesmo;

iv) Jardim - Do hebraico: “*Gan-oden*” ou “*Gan- eden*”

Do inglês: “Garden” “*Gan*”: (proteger, defender) *Oden ou Eden*”: (prazer, encanto, deleite, satisfação).

Estes quatro sistemas estão envolvidos na temática deste trabalho e em qualquer estudo deve-se atentar para duas ações:

- i) Definir o objeto e a sua abrangência;
- ii) Classificar o seu conteúdo.

2.3 O Sistema do Edifício

O edifício é projetado pelo arquiteto para o homem e portanto deve ter como seu objetivo o bem-estar dos usuários, no sentido mais amplo, ou seja, atingir o conforto psico-físico daqueles que usam o espaço que ele propõe.

O conforto é função da relação que o Homem estabelece com o ambiente, relação esta que é dependente daquilo que o ambiente construído possibilita ao indivíduo, sob o aspecto bioambiental, em termos de luz, som, calor, uso do espaço e das experiências próprias de cada pessoa, que por sua vez vão, também, orientar suas respostas aos estímulos recebidos, atendendo às suas necessidades e aspirações. Cumpre esclarecer que o estímulo pode ser medido, mensurado fisicamente, enquanto a sensação não. Esta última é o próprio sentido que, portanto, só pode ser expressada por aqueles que o têm.

Quando se determina o nível de iluminação, da temperatura e o nível de ruído, mede-se o estímulo e não a sensação, que vai estar ligada à experiência de cada um.

As leis da psicofisiologia dizem respeito exatamente ao relacionar-se as sensações humanas com os estímulos físicos. As bases da relação entre o Homem e o Ambiente Construído residem no campo da psicofisiologia, que vai orientar o projetista com relação aos principais problemas da percepção humana para se estabelecer necessidades e possibilitar as respostas mais adequadas, através da intervenção do projetista no meio ambiente.

Segundo GRAEFF (1980), o edifício constitui o produto mais característico da Arquitetura. É através dele que a Arquitetura se relaciona com a vida dos homens em

suas diversas manifestações.

A rigor, o edifício não é apenas a construção em si, nem os seus sistemas construtivos e componentes, que definem suas qualidades essenciais. Tais elementos são importantes na medida em que geram, delimitam, organizam, ordenam o espaço arquitetônico, isto é, o lugar agenciado para a prática das atividades humanas.

Ao se falar de ambiente construído, o espaço arquitetônico apresenta duas modalidades: o espaço arquitetônico, propriamente dito, e o espaço urbano. Entre um e outro não há diferenças essenciais, mas a distinção é útil para o estudo e melhor conhecimento do espaço arquitetônico.

Entende-se por espaço edificado aquele que está contido pelo espaço interno. Porém, ao ser erigido, o edifício além de abarcar ou envolver uma certa porção do espaço, exerce e recebe influências das adjacências. A relação dos edifícios com a paisagem ou o espaço externo, lança raízes sobre a idéia de espaço urbano que se identifica em certa medida com a noção de espaço externo.

Desta forma, pode-se conceituar o edifício como: *“um conjunto organizado de espaços construídos engendrados com algum intuito estético e funcional segundo um critério construtivo”*.

Segundo SOUZA (*apud* GRAEFF, 1980), adotou-se como classificação dos edifícios, tendo em vista o critério básico das necessidades humanas - individuais e sociais - a saber: edifícios para sobrevivência, produção, organização da vida social e para o desenvolvimento do homem.

Nesta última tipologia da classificação encontram-se os edifícios destinados para atividades educacionais, que são o objeto deste estudo.

Sob o enfoque energético, o MINISTÉRIO DAS MINAS DE ENERGIA (1992) adota a classificação por setores de produção e engloba as universidades na categoria de Setor Comercial (Serviços Pessoais) e Setor Público (Administração Pública Estadual e Autárquica) , conforme sejam, respectivamente, privadas ou públicas.

Do ponto de vista do ciclo de vida útil das edificações, na fase de uso e operação pode-se, pela Teoria dos Sistemas, enquadrar o edifício com um sistema não isolado aberto, posto que são aqueles nos quais ocorrem constantes trocas de energia ou

matéria, tanto recebendo quanto perdendo.

Além disto, sob o enfoque de complexidade estrutural, o edifício pode ser visto como um sistema em caixa branca, porquanto esta tentativa é feita no sentido de identificar e analisar as estocagens, fluxos e outros processos, a fim de obter o conhecimento detalhado e claro de como a estruturação interna do edifício funciona.

Por outro lado, como o edifício é um produto humano e por ele controlado, ele pode ser considerado como um sistema controlado, que é aquele que apresenta a atuação do homem sobre os sistemas de processos-respostas.

Basicamente são três os subsistemas que constituem um sistema completo da edificação, a saber:

- i) Subsistema de Mecanismos Ativos: que inclui todas as instalações que necessitam energia para seu funcionamento e englobam transporte, armazenagem e troca de matéria e energia;
- ii) Subsistema do Espaço Arquitetônico: que engloba o espaço ocupado pela edificação, e os sistemas da infra, meso e superestrutura, além do mobiliário;
- iii) Subsistema da Locação: que engloba o terreno, base natural da edificação, considerando-se as grandezas morfológicas de declividade, topografia, constituição geológica e geotécnica do solo, proximidade com acidentes geográficos como maciços de rocha, massas de água, contiguidade com áreas verdes, além de outros elementos da ação antrópica no meio ambiente.

É útil o conhecimento de cada subsistema que compõe o edifício, pois cada um deve cumprir uma multiplicidade de funções para atendimento às necessidades humanas, sem se esquecer dos aspectos formais, estéticos e simbólicos.

2.3.1 O Desempenho Global do Edifício

A aceitabilidade da edificação, em termos tecnológicos, depende do seu desempenho. A avaliação do desempenho de uma edificação é uma abordagem complexa, onde interagem diversos fatores. Consiste em prever o comportamento potencial do edifício, seus elementos e instalações, quando submetidos a condições normais de exposição e avaliar-se, se tal comportamento satisfaz as exigências do usuário.

SOUZA e MITIDIARI FILHO (1986), analisando o desempenho de habitações populares, resumem-no nos seguintes pontos:

- i) Identificação das exigências do usuário a serem satisfeitas;
- ii) Identificação das condições de exposição a que estão submetidas as edificações, seus elementos e componentes;
- iii) Listagem dos requisitos de desempenho a serem atendidos pela edificação, seus elementos e componentes, em termos quantitativos;
- iv) Definição dos critérios de desempenho a serem atendidos pela edificação, seus elementos e componentes, em termos quantitativos;
- v) Definição dos métodos de avaliação a serem adotados envolvendo ensaios, medidas e procedimentos de cálculo.

Os autores citam a norma internacional ISO-DP 6241 (1970) que estabelece quatorze exigências dos usuários. Dentre as ambientais, citam-se:

- i) Exigências de conforto higrotérmico: temperatura e umidade do ar e das paredes;
- ii) Exigências de conforto visual: iluminação, aspecto dos espaços, das paredes e vista para o exterior;
- iii) Exigências de conforto acústico: isolamento acústico e níveis de ruído;
- iv) Exigências de conforto tátil: eletricidade estática, rugosidade, umidade e temperatura de superfície;
- v) Exigências atmosféricas: pureza do ar e limitação de odores.

Quanto aos aspectos funcionais, a norma mencionada anteriormente, estabelece:

- i) Exigências de adaptação à utilização: número, dimensões, geometria e relações de espaços e de equipamentos necessários.

Os autores, entretanto, consideram essenciais ao desenvolvimento dos trabalhos, dentre as exigências ambientais, apenas o conforto higrotérmico, o conforto lumínico e o conforto acústico, além das outras exigências: de segurança estrutural, segurança ao fogo, estanqueidade e durabilidade.

2.3.2 O Desempenho Termo-Luminoso do Edifício

AKUTSU *et alii* (1987) definem o desempenho térmico de uma edificação como: “o resultado da interação que se estabelece entre a edificação e o ambiente térmico a que a mesma está submetida”.

As condições de exposição são classificadas como condições climáticas, condições de implantação e condições de uso das edificações.

As grandezas que intervêm nessas condições são:

- i) grandezas que caracterizam as condições climáticas: temperatura de bulbo seco do ar externo, umidade relativa do ar externo, velocidade e direção dos ventos, radiação solar direta e difusa, ganhos térmicos;
- ii) grandezas que caracterizam as condições de implantação: latitude, longitude e orientação solar;
- iii) grandezas que caracterizam as condições de uso da edificação: número de usuários e atividades-padrão, quantidade de calor e vapor d'água produzidos internamente na edificação e número de renovações de ar proporcionado pelo controle da ventilação ou pelo condicionamento artificial do ambiente.

Do mesmo modo, pode-se relacionar as grandezas que caracterizam a edificação, seus elementos, componentes e materiais:

- i) forma e dimensões geométricas da edificação, dos seus elementos e componentes; opacos e translúcidos;
- ii) transmitância, absortância e refletância à radiação solar dos elementos e componentes opacos expostos à radiação solar;
- iii) transmissão, absorção, reflexão, fator solar e dimensões dos componentes translúcidos;
- iv) condutibilidade térmica, calor específico e massa específica dos materiais;
- v) emissividade das superfícies dos elementos e componentes opacos e translúcidos.

Por sua vez, o conforto térmico é função dos seguintes estímulos do ambiente térmico interno e dos aspectos comportamentais do usuário:

- i) temperatura de bulbo seco do ar interno;

- ii) velocidade relativa do ar interno;
- iii) temperatura radiante oriunda dos fluxos de calor nas superfícies interiores de elementos e componentes;
- iv) umidade relativa do ar interno.
- v) taxa metabólica, referente à atividade física do usuário;
- vi) valor da eficiência mecânica da atividade física do usuário;
- vii) valor da resistência térmica da roupa do usuário.

Convém salientar que o comportamento dos componentes construtivos opacos e os translúcidos, quando expostos aos raios solares, é diferente.

No caso de uma parede opaca exposta à radiação solar e sujeita a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que separa, os mecanismos de troca de calor, para determinar a intensidade de fluxo térmico que a atravessa q (W/m^2), dependem das seguintes variáveis: coeficiente global de transmissão térmica U ($W/m^2 K$), temperatura do ar externo ($^{\circ}C$), coeficiente de absorção da radiação solar (%), intensidade de radiação solar global incidente (W/m^2), coeficiente de condutância térmica superficial externa ($W/m^2 K$) e temperatura do ar interno ($^{\circ}C$).

Na situação de uma parede transparente ou translúcida exposta à incidência da radiação solar e sujeita a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que separa é diferente da parede opaca. Inclui-se a parcela que penetra por transparência, através da transmissividade às radiações de ondas curtas.

Em ambos os casos anteriores, o vento interfere no comportamento térmico, tanto internamente como externamente, através do mecanismo térmico de convecção.

No ambiente interno, a ventilação deve cumprir o atendimento às condições de salubridade (provisão de oxigênio para a respiração, redução da concentração de CO_2 , prevenção na concentração de bactérias nocivas e remoção de odores); aos aspectos de conforto higro-térmico (resfriamento ou aquecimento da estrutura construída, remoção do calor ambiente, resfriamento do corpo humano) e auxiliar na durabilidade dos materiais e componentes da edificação, limitando a ação da umidade.

No ambiente externo, dependendo da textura dos materiais, o vento pode alterar o coeficiente de condutância térmica superficial variando o desempenho térmico do edifício. Pode, ainda, conforme as dimensões, o arranjo e o formato da disposição dos edifícios, alterar o fluxo aerodinâmico externo do ar, que pode ser benéfico ou não,

conforme o clima local. Em ambas as situações, o vento altera os padrões de trocas de calor.

Sob o aspecto luminoso, têm-se como objetivo proporcionar ótimo desempenho de uma tarefa visual, seja ela qual for. Isso significa, necessariamente, que esse desempenho funcional esteja diretamente ligado ao conceito de produtividade ditado pelo sistema econômico vigente. Apesar disto, foi essa ótica econômica que favoreceu o grande desenvolvimento da iluminação, tanto natural quanto artificial, primeiramente a partir de segunda guerra mundial e mais recentemente com a evolução tecnológica das lâmpadas e vidros, visando um desempenho energético mais racional nas edificações. Entretanto, esse conceito de correto desempenho deve ser estendido às tarefas que nada têm de produtivo, como por exemplo, atividades de lazer ou cultos religiosos, dentre tantas outras.

Para tal, existe uma série de fatores que devem ser respeitados na realização de qualquer tarefa visual e alguns pontos fundamentais na relação entre o homem e o ambiente construído. Pode-se relacioná-los sinteticamente como:

- i) a vista e a visão;
- ii) a tarefa visual a ser desempenhada;
- iii) o campo visual do Homem;
- iv) o nível de iluminação;
- v) a luminância e os contrastes;
- vi) as perturbações visuais, dentre as quais, o ofuscamento.

2.3.2.1 Variáveis, Índices e Limites de Conforto Térmico e Eficiência Lumínica

JABARDO (1984) cita uma definição de conforto térmico da ASHRAE (1981): *“um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”*. Desta forma, considerações fisiológicas e psicológicas estão envolvidas nesta definição, que dependem individualmente de cada pessoa.

As variáveis condicionantes da sensação de conforto térmico, no seu aspecto reducionista, dependem das condições ambientais e das comportamentais do usuário:

- i) Temperatura de bulbo seco do ar;
- ii) Temperatura radiante média do ambiente;
- iii) Velocidade relativa do ar;
- iv) Umidade relativa do ar ou pressão parcial do vapor d'água no ar ambiente.

Além destas, existem as variáveis que dependem do indivíduo:

- i) Atividade mecânica associada à produção de energia no interior do organismo;
- ii) Eficiência mecânica da atividade;
- iii) Resistência térmica da vestimenta.

A inter-relação destas variáveis causam a sensação térmica no indivíduo.

Internacionalmente, o problema do conforto térmico tem sido analisado há cerca de 150 anos, inicialmente nas minas de carvão da Inglaterra ou com interesses militares.

Outras áreas de interesse, visando diferentes aplicações foram: rendimento nos trabalhos físico e intelectual, sobrevivência humana em condições de exposição curta ou prolongada a climas agressivos, obtenção de parâmetros para projeto e desempenho de sistemas de ventilação e climatização natural ou artificial de ambientes.

Segundo LIM (1983), pode-se perceber que o desenvolvimento, durante a primeira metade deste século, concentrou-se na definição das variáveis que afetam o conforto térmico, já citadas anteriormente, mas não lhes foram dadas igual ênfase nos diversos índices e escalas. O autor continua elucidando que a partir da segunda metade deste século o desenvolvimento na área de conforto térmico é uma extensão dos conceitos iniciais, auxiliado por equipamentos mais sofisticados, através de condições ambientais controladas ou pesquisas de campo. Esclarece, ainda, que enquanto alguns poucos índices tenham sido desenvolvidos recentemente, os estudos continuam a se conduzir em pesquisas de campo, câmaras climáticas controladas e alguns dos resultados destas pesquisas têm sido adotados sob a forma normativa.

FROTA (1979) analisou, aproximadamente, cerca de 40 índices de conforto térmico, visando a sua aplicabilidade nas condições climáticas brasileiras e posteriormente, FROTA (1995) adota apenas 3, passíveis de aplicação no Brasil.

Vários autores têm procurado classificar estes índices de conforto sob diversos aspectos, conforme o modelo físico adotado. Dentre eles, MEXIA de ALMEIDA (*apud* FROTA, 1979) definiu-os em 3 grupos: Biofísicos, Fisiológicos e Subjetivos. VILLAS BOAS (1983), agrupa-os como Biometeorológicos e diferencia-os em dois tipos:

Meteorológicos e Fisiológicos. SCARAZZATO (1988) agrupa-os em 3 tipos: Termométricos ou Fisiológicos, Subjetivos e Psico-Fisiológicos.

Na seqüência, é importante mencionar apenas a evolução dos índices normativos pertinentes às questões de conforto térmico, utilizados recentemente:

- i) ANSI-ASHRAE 55 (1981) expressa como condição de conforto, a situação na qual 80% dos usuários estejam satisfeitos, o que segundo o índice de FANGER (1972) corresponde aos limites de PMV (Voto Médio Estimado ou “*Predicted Mean Vote*”) variando entre -0,82 e +0,82 e de PPD (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas ou “*Predicted Percentage of Dissatisfied*”) de 20%, adotado também no Brasil para escolas e habitações por AKUTSU *et alii* (1987);
- ii) GAGGE (*apud* LIM, 1983) define a temperatura efetiva padrão (SET) como a temperatura de um ambiente fechado isotérmico, com velocidade do ar abaixo de 0,15m/s, umidade relativa de 50%, no qual pessoas em atividade sedentária, vestidas com roupas de 0,6 clo, teriam os mesmos valores de suor da pele e da temperatura média da pele, que teriam os usuários no ambiente real não uniforme;
- iii) ISO - 7730 (1984) adotando as pesquisas de FANGER (1972), recomenda que para espaços de ocupação humana, o PPD (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas ou “*Predicted Percentage of Dissatisfied*”) deve ser menor que 10% isto corresponde a uma faixa de variação do PMV (Voto Médio Estimado ou “*Predicted Mean Vote*”) de -0,5 a +0,5;
- iv) ISO - 7726 (1985) especifica as características mínimas de equipamentos para medição das quantidades termo-físicas que caracterizam um ambiente e os métodos para medir estas quantidades. Não define o índice global de conforto ou “*stress*” térmico mas, simplesmente, padroniza o processo de registros de informações orientadas para determinação destes índices. É aplicado ao estudo de conforto de ambientes moderadamente quentes ou frios para ocupação humana;

- v) ANSI ASHRAE 55 (1992) define o novo índice de temperatura efetiva (ET) como sendo a temperatura operativa (t_o) de um ambiente a 50% de umidade relativa que causaria a mesma troca de calor sensível e latente de uma pessoa como se fosse no ambiente real;
- vi) ISO-7726 (1996) denominada (“*Ergonomics of the Thermal Environment - Instruments for Measuring Physical Quantities*”), que é uma revisão da norma citada no item anterior iii, com mesma numeração que a já mencionada, ainda em estudo.

Nesta tese, tendo como objeto de estudo as escolas de terceiro grau, adotou-se a metodologia de avaliação preconizada por AKUTSU *et alii* (1987) através do índice de FANGER (1972) com PPD - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas - de 20% e PMV - Voto Médio Estimado - variando entre -0,82 a +0,82, sem considerar os outros aspectos de assimetria de radiação térmica preconizados pela ISO-7730 (1984), devido à limitação dos instrumentos de medida

O nível de iluminação recomendado é de 300 lux para salas de aula e baseia-se na NBR 5413 (ABNT, 1991).

A respeito do aspecto luminoso, HOPKINSON *et alii* (1975) definem como conforto lumínico: “*É o prazer e satisfação visuais proporcionados por um ambiente , conduzindo a uma sensação de bem-estar, além das necessidades essenciais de segurança e eficiência*”.

Pode-se relacionar os fatores que afetam a visão da seguinte maneira:

- i) níveis de iluminação e sua distribuição;
- ii) luminância e contrastes;
- iii) tamanho do elemento a ser visualizado;
- iv) tempo para a visualização.

O primeiro fator que deve ser estabelecido em estudos de iluminação é a relação entre a habilidade de se ver, a quantidade de luz fornecida e o grau de contraste inerente ao objeto para o qual está se olhando. Pode-se sintetizar os requisitos para uma visão recomendável, como segue:

- i) iluminação suficiente;
- ii) ausência de ofuscamento;

- iii) sem contraste marcante;
- iv) equilíbrio de luminâncias.

E, ainda, seguem alguns fatores a serem considerados na determinação do nível de iluminação para uma determinada tarefa:

- i) o tamanho dos detalhes críticos da tarefa;
- ii) a distância dos detalhes a serem vistos;
- iii) a luminância da tarefa (função do fator de reflexão);
- iv) os contrastes entre a tarefa e o entorno;
- v) a velocidade com a qual essa tarefa deve ser desenvolvida;
- vi) o grau de precisão exigido na realização das tarefas;
- vii) a idade de quem realiza a tarefa.

Isto posto, nota-se que a melhoria da visão com o aumento do nível de iluminação não é ilimitada. Têm-se dois fatores restritivos, a saber:

- i) primeiramente, têm-se que os níveis máximos possíveis de serem adotados são ditados primordialmente por questões econômicas. Logicamente quanto maior for o nível de iluminamento adotado maior será o consumo de energia, o custo inicial de instalação e o custo de manutenção;
- ii) em segundo lugar, existe um limite quantitativo, variando não linearmente, a partir do qual qualquer aumento no nível de iluminamento, não traz mais nenhuma melhoria para a acuidade visual. Este limite estaria próximo ao ponto de saturação de luminância interna de 2000 lux;
- iii) potencial de ocorrência de efeitos adversos, tais como o ofuscamento.

2.4 O Sistema do Clima

Para reconhecimento do subsistema da locação, torna-se necessário incluir na escala imediata ao edifício os aspectos climáticos que podem ser analisados em diversas escalas temporais e espaciais. Modernamente a noção de clima passa a ter um caráter mais específico, havendo diversidade nas suas definições conforme as áreas de conhecimento a que se destinam, impossibilitando uma definição essencial única.

Surge, então, a noção de climatologia aplicada aos mais diversos setores da atividade humana. Quando aplicada às relações com seres vivos denomina-se

Bioclimatologia, podendo-se distinguir como Bioclimatologia Humana, Animal e Vegetal, estudadas em diversas escalas de tempo e espaço. Quando analisada junto às edificações, surge o campo da Climatologia Aplicada à Edificação.

Para o estudo da Climatologia Aplicada é necessário esclarecer que há dois conceitos intervenientes:

- i) Fatores Climáticos: que são parâmetros fixos e dão origem ou determinam as variações nos elementos climatológicos;
- ii) Elementos Climatológicos: que são os elementos mensuráveis cujas variações definem o clima.

Notam-se implícitas três noções fundamentais no estudo da Climatologia Aplicada:

- i) Escala espacial (onde);
- ii) Escala Temporal (quando, durante quanto tempo);
- iii) A Escala Locacional (disponibilidade de dados).

É necessária, então, uma hierarquização dos fatos climáticos em termos de dimensão espacial, ocorrência temporal e duração do período de análise, bem como, meios adequados de observação e tratamento de dados, coerentes com a realidade local.

Para tanto definem-se escalas de atuação: Macro-escala, escala regional, meso-escala, escala urbana e micro-escala, analisadas de modo quali-quantitativo, através dos seus âmbitos de interesse e das interferências do ambiente construído pelo homem, nas diversas escalas temporais e espaciais.

GROGGER (*apud* WATSON e LABS, 1983) analisa através de uma sinopse qualitativa sobre a interação de elementos micro-climáticos com fatores climáticos e elementos não climáticos. Quantificando esta interação através do seu resumo os elementos climáticos que mais sofrem influência dos fatores climáticos são: a temperatura, a radiação solar, a umidade relativa do ar e a insolação.

Por outro lado os fatores climáticos que mais condicionam a variação dos elementos meteorológicos são: as estruturas humanas (cidade e edificações), a vegetação, a topografia e o relevo além da latitude. Porém, a análise desta Tese condicionar-se-á apenas à temperatura e ao conforto térmico, ao edifício e à vegetação, além da iluminação interna e externa nas edificações. Neste trabalho adotou-se a escala

da edificação e o seu entorno imediato.

Relacionados aos fatores climáticos, a energia ambiental representada pelos condicionantes de luz, de som e de calor pode-se ter em relação ao edifício três tipos de ação, a saber. Ação positiva, Ação negativa e Ação conservativa. Uma síntese dessas ações pode ser visualizada no quadro 2.1, que se limitam às estratégias passivas, de uso com elementos arquitetônicos e paisagísticos, no intuito de obter condições aceitáveis de conforto térmico e, de maneira menos direta, alcançar os limites de iluminância adequados a cada caso de referência

Sob o aspecto lumínico, a distribuição luminosa da abóbada celeste varia de acordo com as condições atmosféricas (tipos de nuvens, nebulosidade, turvamento, poluição atmosférica, dentre outros fatores). As condições do céu mais utilizadas são: Céu Uniforme, Céu Encoberto e Céu Claro. A primeira condição caracteriza-se por apresentar luminâncias iguais em todas as direções, mas é dificilmente encontrada em condições naturais.

A segunda condição (alta nebulosidade, acima de nove décimos de céu) apresenta uma abóbada cinza-claro, com a porção zenital caracterizada por uma luminância três vezes maior que a porção próxima à linha do horizonte e sofre influência da altura solar. A terceira condição de céu claro (nebulosidade abaixo de 3 décimos de céu) apresenta no céu uma porção mais escura a 90° do sol, e a parte mais brilhante ao redor do sol, variando em azimute e altura solares.

Neste trabalho, pretende-se analisar ações conservativas, ou seja, minimizar o consumo energético de condicionamento artificial, potencialmente, através do controle das trocas de calor com o exterior (ganhos ou perdas) com o auxílio da proteção arbórea, e analisar os conflitos decorrentes destas ações, ou os compromissos com a iluminação. Desta forma, englobando-se os aspectos termo-lumínicos na ação conservativa surge a aplicação da vegetação sob o aspecto funcional de sombreamento.

2.5 O Sistema da Energia

Ao se considerar o ciclo de vida útil do edifício como um empreendimento que, resumidamente, engloba as fases de planejamento, projeto, construção, uso/operação/manutenção e, finalmente, demolição; o consumo de energia pode, segundo PIETROBON *et alii* (1994), ser desmembrado em fatores intrínsecos que

referem-se à fase de uso, operação/manutenção e ao consumo final de energia. Os fatores extrínsecos são representados pelo contexto da produção de insumos, da execução da construção e da sua própria eliminação. Considerando-se apenas os fatores intrínsecos, incluem-se os seguintes sistemas condicionantes: os climáticos, os do entorno, os da própria edificação, os da ocupação do edifício e os fatores ativos (consumo final).

Relacionados aos fatores climáticos, a energia ambiental representada pelos condicionantes de luz e calor pode-se ter em relação ao edifício três tipos de ação, a saber: Ação Positiva, Ação Negativa e Ação Conservativa. Uma síntese dessas ações pode ser visualizada no quadro 2.1, a seguir.

Quadro 2.1 - Energia Ambiental

Ação Positiva: Captar e utilizar a energia externa	
Energia Solar	Energia eólica
Ação Negativa: Proteger os usuários e controlar os níveis excessivos de energia externa	
Caráter Conservativo	Caráter Seletivo
Externa ou Internamente:	Envelope:
Planejamento Espacial Evaporação Sombreamento Ventilação	Reflexão Inércia Térmica Resistência Térmica
Ação Conservativa: Minimizar o consumo de energia e controlar as trocas com o exterior (ganhos ou perdas)	
Inverno:	Verão:
Promover Ganhos Evitar Perdas	Evitar Ganhos Promover Perdas
Quebra-ventos Proteção pela terra	Vegetação e água Proteção pela terra Sombreamento Ventilação Natural

No século XX, marcado pela intensificação da produção e uso de energia, alguns pontos podem ser considerados significativos. Na primeira metade do século, o movimento modernista na arquitetura enfatiza os aspectos formais em detrimento dos funcionais que com o barateamento do custo de produção do vidro plano, aliado à disseminação dos sistemas estruturais de aço e concreto armado liberam os paramentos verticais da função estrutural, tornando os edifícios mais leves e transparentes. Desta

forma, utiliza-se em massa e climatização artificial. A utilização do condicionamento artificial de ar, embora com limitadas aplicações industriais, iniciou-se antes da primeira guerra mundial. Mas, a significativa penetração desta tecnologia inicialmente, no mercado residencial ocorreu na década de 50, nos Estados Unidos.

De acordo com as estimativas publicada no STATISTICAL ABSTRACTS OF THE UNITED STATES (*apud* FEUSTEL *et alii*, 1992), foram manufaturados cerca de 11 mil aparelhos de ar condicionado em 1940, 201 mil em 1950 e mais 1 milhão nos anos seguintes.

Em 1954, cerca de 2 milhões de residências (5% dos Estados Unidos) possuíam aparelhos de ar condicionado. Porém, este sucesso comercial e tecnológico não aconteceu sem ônus. Ele aumentou o consumo energético do estilo de vida americano e tornou-se o fator chave no direcionamento dos processos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Na mesma década de 50, houve o surgimento da Bioclimatologia aplicada à Arquitetura e os conflitos conceituais com o modernismo só surgiram com os choques do petróleo, na década de 70. Após este período, retoma-se a preocupação com a ênfase conservacionista de energia, em todos os setores da produção, aliando-se tecnologias energéticas alternativas com tecnologias de ponta: energia eólica, da biomassa, das ondas, das marés, geotérmica, solar, nuclear e fotovoltaica, dentre outras.

No entanto, para o Brasil o problema se configura de forma diferente, devido à baixa saturação do mercado para sistemas de ar condicionado. Assim, o problema é mais flexível, em termos conservacionistas, que a situação norte-americana, em parte devido às condicionantes climáticas que se transformam em uma grande vantagem, se adotadas medidas legais e normativas para controle e racionalização do consumo energético.

2.6 O Sistema do Jardim

Há necessidade de integração entre o Paisagismo e a Arquitetura, na etapa de concepção dos edifícios, para a obtenção da qualidade adequada do produto final : o edifício e seu entorno imediato.

Nesta tese, abordar-se-ão apenas os aspectos funcionais do Paisagismo em

termos das variáveis termo-lumínicas, na escala do edifício, na tentativa de quantificação de valores de transmissão da luz através de árvores. O uso funcional da vegetação por área conhecimento pode ser visto no Quadro 2.2.

MEIER (1991) apresenta os padrões de ganho de calor nos edifícios que podem ser afetados por vegetação:

- i) Ganho direto através de janelas;
- ii) Ganho por condução através de superfícies opacas;
- iii) Trocas térmicas por calor latente através de infiltração de ar;
- iv) Trocas térmicas por calor sensível pela infiltração de ar;
- v) Influência no desempenho de sistema de condicionamento artificial do ar.

Tais trocas têm como fatores condicionantes: a vegetação utilizada, a estrutura e orientação do edifício, o sistema de ar condicionado e o próprio clima.

GIVONI (1991) destaca os elementos do projeto paisagístico que podem afetar o desempenho térmico do edifício; a saber:

- i) A largura da área plantada ao redor do edifício;
- ii) O tipo das plantas, árvores, arbustos, gramado, flores, trepadeiras;
- iii) O tamanho e a forma das árvores e arbustos;
- iv) A orientação das plantas;
- v) As características: tamanho, densidade, espessura e tipo de folhas que variam com o estado fenológico e a sazonalidade.

Destaca ainda as estratégias de paisagismo que podem ser utilizadas em termos de aspectos térmicos:

- i) Sombreamento através de árvores e pérgolas vegetadas;
- ii) Sombreamento e isolamento térmica: arbustos altos e trepadeiras;
- iii) Minimização da condição de infiltração através de vegetação contígua ao envoltório do edifício;
- iv) Minimização da reflexão através da cobertura vegetal do solo;

- v) Sombreamento ou resfriamento evaporativo do condensador do sistema de ar condicionado;
- vi) Isolação térmica devido à redução das taxas de infiltração e da carga térmica de aquecimento no período de inverno, utilizando a vegetação como quebra-vento.

Quadro 2.2 - Uso Funcional da Vegetação.

Vegetação e Clima	
Altera Padrões de temperatura através de:	
Controle de radiação solar direta e refletida	Evapotranspiração: temperatura e umidade
Barreiras à perda de calor noturno por radiação	Redução da evaporação e temperatura do solo coberto
Protege contra o vento e altera padrões do movimento do ar, através de:	
Proteção e controle do vento por: <i>obstrução, direcionamento, deflexão e filtragem</i>	Controle do <i>Snowdrifting</i>
Diminuição da convecção próxima ao envoltório, através de cobertura vegetal	
Auxilia no ciclo hidrológico: Precipitação e umidade	
Interceptando a precipitação, diminuindo a sua velocidade, possibilitando o aumento da infiltração, e diminuindo o escoamento superficial	
Vegetação e Engenharia	
Controla a erosão e protege os mananciais d'água	Auxilia na disposição final de resíduos líquidos
Reduz a poluição sonora	Reduz a poluição do ar
Controla o ofuscamento e a reflexão luminosa	Controla o tráfego de pedestres
Vegetação e Arquitetura	
Ênfase Funcional	Ênfase Estética
Define e ordena seletivamente o espaço externo:	Define formalmente a Composição arquitetônica
Árvores e trepadeiras: teto	Emoldura e realça a edificação ou sua vista panorâmica
Arbustos e trepadeiras: parede	Suaviza as linhas e volumes arquitetônicos
Plantas rasteiras: piso	Complementa e unifica linhas e elementos arquitetônicos
Vegetação e Agronomia	
Complementa a alimentação humana, através de:	
Hortas	Pomares
Vegetação e Ecologia Urbana	
Recupera o Ecossistema Urbano, através de:	
Alimentação e abrigo da avifauna e insetos úteis	Essências vegetais produzem frutos, flores e abrigo

Tais trocas têm como fatores condicionantes: a vegetação utilizada, a estrutura e orientação do edifício, o sistema de ar condicionado e o próprio clima.

No escopo deste trabalho, o objeto de estudo está limitado á análise da vegetação e clima, sob o enfoque conservativo no entorno imediato do edifício, e também, no micro-clima térmico e na iluminância do interior de edificações destinadas a salas de aula.

2.7 A Análise Sistêmica

De maneira sintética, diz-se pela Teoria Sistêmica que o *todo* é mais que a *soma das partes* do objeto de estudo. Contrapõe-se à teoria reducionista que afunila o objeto de pesquisa em partes menores e busca a compreensão do *todo* pela soma das partes.

Pela Teoria Sistêmica se busca a compreensão do *todo* através das relações entre os seus *elementos*, que é mais que a soma estática do conhecimento destes elementos, e visa a compreensão do objeto de pesquisa em sistemas mais amplos que o do objeto de estudo, ampliando-o.

MILLER (1965) define um sistema como segue:

- i) *“É um conjunto de unidades com relações entre si. A palavra ‘conjunto’ implica as unidades possuírem propriedades comuns. O estado de cada unidade é controlado, condicionado ou dependente do estado das outras unidades”.*

Desta forma será organizada a revisão bibliográfica e a pesquisa, através do estudo dos elementos ou unidades, das relações entre si, dos seus atributos, das entradas de dados e saídas do sistema em pauta, desde o sistema do clima urbano até o microclima das árvores e das salas de aula.

2.8 Aspectos Térmicos, Eólicos e Vegetação

2.8.1 Da Escala Urbana à do Edifício.

Findada a fundamentação teórica, nos próximos itens se efetuará a revisão da literatura, com a amplitude definida neste item.

2.8.1.1 A Experiência Européia

No aspecto da ventilação, o CSTB - "*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*", apresenta algumas pesquisas, tais como, as de GANDEMER e GUYOT (1981A, 1981B), nas quais analisam-se, respectivamente, a integração dos fenômenos devidos ao vento na concepção de ambiente construído e a proteção contra o vento, nos aspectos aerodinâmicos dos quebra-ventos, através de recomendações detalhadas.

GANDEMER (1981) apresenta os efeitos do vento, externamente às edificações, e as condições de aproveitá-lo ou rejeitá-lo conforme as condições do clima. Os efeitos da ação do vento externo nas edificações são: efeito barreira, efeito Venturi, efeito do gradiente de pressão, efeito de malha, efeito "*pilotis*", efeito de canto, efeito corredor, efeito de pirâmide, efeito Wise, efeito de esteira e efeito redemoinho. O paisagismo, em alguns destes efeitos, pode atenuar a ação negativa do vento. Detalhes maiores podem ser encontrados em uma síntese de PIETROBON (1990).

Na linha de planejamento urbano, de novos assentamentos humanos LAUMANNNS (1982) apresenta o impacto do clima no "*lay out*" de novas cidades e o efeito de barreiras vegetais como quebra-ventos, para um plano em larga escala próximo à "*Amsterdam*" : nas cidades de "*Bijlmermeer*" e "*Almere*".

A primeira cidade construída na década de 60 apresenta-se diferente da segunda, na qual o controle climático foi obtido com controle do vento pois 80% das edificações em "*Almere*" são unifamiliares e as multifamiliares têm no máximo quatro pavimentos e conclui que a vegetação teve uma influência positiva em termos climáticos e até sociais, na qualidade de vida.

BERNATZKY (1982) analisa a contribuição das árvores e das áreas verdes no clima urbano. Baseado em um estudo para "*Frankfurt*" apresenta melhorias tanto em termos de temperatura quanto de controle de poluição, inclusive da sonora. Afirma que o planejamento de áreas verdes deve incorporar e enfatizar preferencialmente o lado funcional, em detrimento do estético, pois corretamente elaborado em termos biológicos, e meteorologicamente adequado, bem situado e cultivado, promove benefícios inestimáveis para a qualidade do clima urbano.

WILMERS (1988) apresenta um estudo para análise da contribuição das áreas verdes para a mitigação do efeito de "Ilha de Calor" e poluição do ar, apresenta

técnicas de medição com aparelhos de medida de ondas infravermelhas. Inclui no estudo diversas escalas de áreas verdes, até a do jardim de edificações, nas cidades de “*Hannover e Bonn*”, na Alemanha.

KEEBLE *et alii* (1990/1991) apresentam, em um artigo de revisão bibliográfica, algumas tendências européias acerca do potencial do controle do desenvolvimento e do planejamento do uso do solo, visando a obtenção de condições favoráveis no entorno das edificações. Afirmam que na Europa, em uma escala muito grande, há 2 tipos de clima predominantes:

- i) No oeste considerando as regiões marítimas com verões frios, o ponto chave é minimizar os efeitos dos ventos gélidos e a umidade nesta longa estação. Tais estratégias podem ser estendidas para o período no qual sente-se que as condições climáticas externas estão confortáveis e reduzir a demanda de energia para aquecimento das edificações;
- ii) No sul, tendo em vista as regiões continentais, com verões quentes, a prioridade deve ser dada ao combate das condições sufocantes, nesta estação climática, especialmente nas áreas urbanas e na escala da edificação, interna e externamente, tornando-as mais toleráveis. Ainda assim, há necessidade de visar a conservação de energia nos sistemas de resfriamento artificial, nas fases em que as condições climáticas não implicam necessidade de uso ou de funcionamento com baixa demanda;
- iii) No primeiro tipo de clima, pode-se tentar criar uma “Ilha de Calor”, em pequena escala, evitando-se o vento frio indesejável através de quebra-ventos arbóreos e aumentando-se o acesso ao sol, através da correta orientação dos edifícios;
- iv) No segundo tipo de clima, deve-se evitar o acesso ao sol, através de proteção e sombreamento, que podem ser arquitetônicos ou paisagísticos. Estabeleceram-se várias estratégias neste sentido: controlando o acesso solar e o vento, criando-se condições do conforto nos espaços externos e atuando nas escalas climáticas da geografia, do paisagismo e da edificação;
- v) No Reino Unido, atua-se nas duas extremidades do planejamento: desde o desenvolvimento dos planos de ocupação do solo, no controle desse desenvolvimento urbano e na sua implementação, através de planos de uso do

solo.

Concernente ao crescimento urbano, no final da década de 70, considerando os efeitos das crises do petróleo e suas implicações econômicas, resultaram em iniciativas em nível nacional e local, visando a conservação de energia.

Neste caso, surgiu a necessidade de atuação inter-disciplinar, nas seguintes áreas de conhecimento: Ecologia, Geografia, nas diversas escalas da Climatologia, controle de poluição, eficiência energética e Paisagismo. As 3 escalas espaciais (regional, urbana e local) oferecem diferentes oportunidades de atuação na influência do micro-clima, através de normalização baseada em legislação nacional, regional ou local. Tal legislação, é fundamentada em regulamentação detalhada para o planejamento do uso do solo, de códigos de desempenho das edificações e de elaboração de projetos, no âmbito dos setores público e privado.

WILMERS (1990/1991) analisa os efeitos da vegetação em climas urbanos e no microclima das edificações. Confirma a importância da vegetação no topoclima urbano e no micro-clima dos edifícios. Estabelece uma escala de clima baseada na vegetação.

Em “*Hannover*”, na Alemanha, na escala de clima urbano, localiza-se o “*Paleotopos*”, através da estruturação e uso do solo, salientando a influência positiva da vegetação. Em uma escala de clima menor, denominada como “*Chorotopos*”, na mesma cidade, avalia a presença de vegetação e de água, com influências positivas.

Tais estudos foram baseados em medições de temperaturas superficiais com sensores e por tratamento de imagens de recintos urbanos, na frequência de ondas infravermelhas, obtidas em condições de tempo climático semelhantes: dias e noites sem nebulosidade, durante 2 dias do mês de outubro de vários anos. Em 17 e 18 de outubro, obteve-se no rio “*Leine*” em “*Hannover*”, a 40 metros de altura, temperaturas do ar na faixa de 8 °C a 18 °C, enquanto as temperaturas superficiais apresentaram, durante as leituras sinóticas, uma faixa de variação de 5^oC a 40^oC.

Outra medição ocorreu em “*Langenhagen*”, cidade satélite de “*Hannover*”, próximo do rio “*Ilme*”, na qual obteve-se um diferença de 8 °C entre as temperaturas do ar de ambas as cidades. Assim, se conclui que as temperaturas superficiais variam mais que as do ar. As temperaturas superficiais menores foram encontradas em locais com a presença de vegetação. Tais dados foram coletados através de imagens na frequência de ondas infravermelhas. Finaliza, afirmando que a vegetação, em todas as escalas de clima

definidas, é um fator importante para melhorias no clima urbano. Pelo exposto, convém salientar que as condições climáticas frias da Europa, induzem a pesquisar exaustivamente os ventos e a ventilação, respectivamente para ambientes externos e internos à edificação.

O clima europeu é especialmente frio, exceto na região Sul, portanto a maioria dos estudos dirige-se para a influência do vento no ambiente construído. Os aspectos conservacionistas estão presentes com a ação negativa do vento nas épocas frias.

2.8.1.2 A Experiência Norte-Americana

ZANETTO (1978) apresenta um estudo sobre a locação e seleção de árvores para atenuar os efeitos da radiação solar na escala de vizinhança urbana, na parte sul do “*Central Valley*” próximo de “*Fresno*” na “*California*”, utilizando-se da geometria da insolação e apresenta resultados qualitativos.

REAGAN e ACKLAM (1979) analisando os materiais do telhamento, através da refletância de materiais comuns e sua influência no ganho de calor para edificações do Sudoeste Norte-Americano, concluem que cores claras exercem um papel importante na conservação de energia.

PARKER (1982) trata de dirimir a dúvida acerca da eficácia da conservação de energia em residências pelo uso de paisagismo. Em “*Miami*”, através de monitoramento do consumo energético, por curtos períodos de tempo, obtém resultados de conservação de energia elétrica da ordem de 58,9% e 57,6%, nas tardes muito quentes. A redução na demanda de pico, durante o período de tardes quentes na melhor situação é de 5 kW.

A informação sobre o uso e planejamento de árvores e bosques para reduzir o consumo de energia nos edifícios climatizados artificialmente têm-se desenvolvido através estudos que remontam à década de 40, conforme descrito nos artigos de revisão bibliográfica de HEISLER (1977) e de DeWALLE (1980), ambos citados por DeWALLE *et alii* (1983).

DeWALLE *et alii* (1983) tratam da influência de reflorestamentos, em sítio urbano, sobre o condicionamento artificial de residências, através do monitoramento em “*trailers*” na “*Pennsylvania*”.

PARKER (1983) aplica o paisagismo como estratégia de redução no consumo energético devido ao resfriamento artificial de residências situadas no clima quente e úmido de “*Miami*”.

WAGAR (1984) apresenta um estudo sobre as estratégias para o uso de vegetação para controle de radiação solar. Através do sombreamento de janelas, empregando a geometria da insolação, para a latitude de 32° N, na “*Califórnia*”.

McPHERSON *et alii* (1988) estudam o impacto da vegetação na climatização artificial tanto para resfriamento, quanto para aquecimento, em residências (143 m²), situadas em 4 cidades: “*Madison, Salt Lake City, Tucson e Miami*” que apresentam 4 tipos diferentes de clima. Utilizaram-se os “*softwares*” SPS para estimar a redução da radiação solar devido a vegetação e MICROPAS para a análise e simulação energética.

O resfriamento artificial mostrou-se mais efetivo no sombreamento da cobertura e paredes externas orientadas a oeste, ao passo que o aquecimento apresentou-se mais efetivo no sombreamento das paredes externas voltadas para os quadrantes sul e este.

No caso de climas frios, como o de “*Madison*”, o custo devido ao aquecimento artificial aumentou em 28%. No caso de resfriamento e sombreamento, em climas quentes como o de “*Miami*”, o custo reduziu-se em cerca de 61%. Um denso sombreamento com árvores e arbustos reduziu o pico de demanda na faixa de 31% a 49%.

A redução de 50% na incidência de vento, em base anual, na cidade de “*Madison*” atingiu o valor de conservação em 11%. Na cidade de “*Miami*” aumentou o resfriamento artificial em 15%.

Conclui-se que, em climas frios ou temperados, do hemisfério Norte, deve-se reduzir a incidência de ventos frios e promover ganho solar nas paredes orientadas a sul e oeste, sem bloquear as brisas de verão. Em climas quentes, o sombreamento oriundo de árvores frondosas e a diminuição da pavimentação próxima das edificações, constituem-se em estratégias que podem auxiliar na conservação energética, porém sem impedir a ventilação natural.

BITAN (1988) expõe uma metodologia para aplicação da climatologia em planejamento urbano até a escala do edifício incluindo o paisagismo entre as variáveis. Afirma que quando o clima é levado em conta em todas as escalas espaciais do ambiente construído há economia no consumo energético, especialmente para as condições do seu

objeto de estudo.

Sob o aspecto de quebra-ventos, McPHERSON (1988) discorre sobre as funções de áreas verdes na escala urbana e sua influência no ambiente urbano, especialmente para climas frios.

No contexto de uso da variação do albedo de paredes e telhados de edificações, têm-se o trabalho de BANSAL *et alii* (1992) sobre o efeito da cor externa no desempenho térmico de edificações através de um modelo matemático teórico e sua validação por medições no local, além de simulação computacional, que auxiliam na conservação de energia e na redução do “smog” urbano (neblina e fumaça).

SOUZA (1993) apresenta um artigo no qual, através de interpretação de imagens de satélite (LANDSAT-5) são identificadas “Ilhas de Calor” urbanas e valores quantitativos dos fluxos de calor por radiação, na cidade norte-americana denominada de “Grenn Bay-WT”. Para que se estabeleça uma relação entre as fontes e fluxos de calor por radiação atuantes no meio urbano, as imagens foram classificadas por densidades de ocupação e em áreas não construídas. O “software” ERDAS foi utilizado para o tratamento computacional das imagens e pôde-se quantificar que os locais alta densidade de ocupação apresentam uma situação de calor com 30W/m^2 a mais que na superfície da água.

Na linha de utilizar quebra-ventos arbóreos, para evitar a perda de calor no ambiente interno, em situação de clima ou estação climática frios, nas quais ainda se analisa a conservação de energia, têm-se os trabalhos de DeWALLE *et alii* (1993), MATTINGGLY *et alii* (1994); EVANS (1994) e STATHOPOULOS (1994).

PARKER *et alii* (1997) estudaram a refletância à radiação solar e a energia de resfriamento artificial através pesquisas de campo na “Florida”, em nove residências ocupadas e monitoradas durante o período de 1991 a 1994. A conservação da energia despendida em resfriamento artificial, em relação ao caso sem tratamento foi de 19% em média, dentre uma faixa de variação de 2% a 43%. A diminuição do pico de demanda foi da ordem de 22% em média.

2.8.1.3 A Experiência do Lawrence Berkeley Laboratory - University of California

A “home page” da INTERNET elaborada por CHEN (1997), trata de um breve histórico do LBL - “Lawrence Berkeley Laboratory”, a partir de 1985. Citam-se os componentes do grupo de pesquisadores, a saber: Hashem Akbari, Art Rosenfeld, Sara Bretz, Beth Fishman, Dan Kurn e Haider Taha. Esta equipe tem pesquisado acerca das “Ilhas de Calor”, em ambiente urbano e as formas de diminuir o seu efeito na temperatura do ar. Atuam, também, na escala do edifício e do paisagismo.

Eles diagnosticaram em um dia de verão, que a temperatura média do ar, em uma cidade norte americana típica, é cerca de 2° C a 3° C mais quente que na região suburbana. Também, estimaram que o condicionamento artificial de ar, para resfriar toda a cidade equívale, no horário de pico de demanda energética, a valores de incremento na faixa de 5% a 10%.

Afirmam que em “Los Angeles”, apenas o custo adicional de energia elétrica, devido às “Ilhas de Calor”, corresponde a mais de US\$ 100 milhões ao ano, sem computar o custo adicional referente à concentração de neblina e fumaça, devidas ao aumento da temperatura do ar (“smog”). (neblina e fumaça).

Demonstram que a elevação da temperatura do ar nas “Ilhas de Calor” está crescendo com o aumento da população e da urbanização aceleradas. Desde 1940, as temperaturas do ar de várias cidades cresceram na faixa de 0,15° C a 0,60° C por década. A cada incremento de 0,60° C na temperatura do ar urbano, aumenta-se o pico de consumo no condicionamento artificial em 1,5%.

Identificaram que as “Ilhas de Calor” comprometem a qualidade do ar através de dois mecanismos. Primeiramente, as usinas de geração de eletricidade, no caso norte-americano, quando geram energia adicional, produzem mais poluição atmosférica (termelétricas). Em segundo lugar, o aumento da temperatura do ar acentua a formação de fumaça e neblina (“smog”).

Em “Los Angeles”, reduzindo-se a temperatura do ar urbano em cerca de 5,5° C, pode-se eliminar 1/3 da poluição do ar, conforme descrita anteriormente. Afirmam que há maneiras simples e econômicas para minimizar o efeito da “Ilha de Calor” da mesma forma que antigas civilizações, tais como: plantando árvores para sombreamento e

alterando as cores do envoltório das edificações, para tons mais claros. O alto albedo das cores claras através da refletância à radiação solar, e além disto, a sombra da vegetação reduzem o ganho de calor pelo redução da radiação solar direta, bem como, através do mecanismo fisiológico da evapo-transpiração nas árvores.

Os resultados das pesquisas indicam que o sombreamento arbóreo pode reduzir o consumo energético despendido em resfriamento artificial, em cerca de 10% do capital investido na geração e no consumo de energia elétrica destinada a esta finalidade. A pintura do envoltório das edificações, com cores claras, pode resfriar mais efetivamente que a arborização, através de ação imediata, pois não há o período de espera para o crescimento das árvores.

O valor monetário da conservação de energia é cerca de US\$ 0.01/kWh a US\$ 0.02/kWh no consumo de carvão. Assumindo uma média de custo de US\$ 0.05/kWh para a eletricidade a economia líquida é de US\$ 0.04/kWh. Pode-se considerar o custo médio economizado no consumo de carvão em US\$ 200.00/t.

Finalmente, para pesquisar o efeito das cores claras e do sombreamento arbóreo, utilizou-se de um modelo meteorológico tridimensional da bacia hidrográfica de “*Los Angeles*”, consistindo-se de 2600 sensores correspondendo a cada um deles o equivalente a uma área de influência de 25 km². Identificaram-se 394 sensores, dentre os locais que foram característicos das áreas críticas. Os resultados indicam que quando o albedo é aumentado cerca de 0,16 na refletância, a diferença entre os casos correntes e os que sofreram alteração no albedo, às 15:00 h, corresponde a um decréscimo de 2,5° C na temperatura do ar urbano.

AKBARI *et alii* (1987) quantificam o impacto da vegetação nas “Ilhas de Calor” e na conservação de energia para climatização artificial, através de simulações com o valor de albedo variando, o que demonstrou grandes reduções nas cargas térmicas de resfriamento, nas cidades de “*Sacramento, Phoenix, Lake Charles e Los Angeles*”.

HUANG *et alii* (1987), analisam o potencial da vegetação para reduzir a carga térmica do resfriamento artificial de verão, em residências localizadas nas cidades citadas na referência anterior. Utilizaram o “*software*” DOE-2.1D para simulação computacional, dos aspectos térmicos, após a adaptação para a inclusão do sombreamento vegetal. Os resultados preliminares, indicam que um aumento de 25% na quantidade de árvores pode conservar cerca de 40% da energia despendida por uma

residência localizada em “*Sacramento*” e 25% em “*Phoenix*” e “*Lake Charles*”. Se houver uma distribuição adequada nas essências arbóreas e outros tipos de vegetação no tratamento paisagístico esta conservação pode subir até 50% em “*Sacramento*” e 33% nas últimas duas cidades mencionadas anteriormente. Na redução do pico de demanda, os valores obtidos são da ordem de 34% em “*Sacramento*”; 18% em “*Phoenix*”; 22% em “*Lake Charles*”; e 44% em “*Los Angeles*”. Uma análise paramétrica dos casos indica que o potencial de conservação devido ao incremento na evapo-transpiração é cerca de 10% a 30%.

MEIER e FRIESEN (1987) propõem estratégias sucintas para a implantação de paisagismo e citam estudos anteriores de PARKER (1981), na Universidade de “*Miami*”, cujo objeto de estudo apoia-se na medição no local de duas “*mobile homes*”, utilizadas como creche. A fonte de calor devida à ocupação atinge o valor de 1,5kW, para cada grupo de 10 crianças, durante o período de utilização que é de 5 dias semanais. O paisagismo utilizado compõe-se de árvores e arbustos e a maioria dos monitoramentos ocorre durante os fins de semana, com o ambiente desocupado, possibilitando maior controle, principalmente na infiltração de ar. Esses monitoramentos ocorrem em 9 dias sem a atuação do paisagismo e 10 dias considerando a ação do paisagismo. A média de conservação de energia elétrica atinge 24% com o ambiente ocupado e 35% sem a ocupação. Em uma segunda fase, com maior controle no monitoramento, durante dias ensolarados, a conservação de energia atinge até o valor de 65%.

O artigo confirma que, no caso de monitoramento anual, o valor da conservação energética diminuiria, pois os dias monitorados foram todos claros e ensolarados e, no caso de dias nublados e frios, este valor de conservação, também diminuiria.

TAHA *et alii* (1988) analisam as cargas térmicas de resfriamento e as “Ilhas de Calor” através dos efeitos do albedo, utilizando, também, dados de simulação computacional para a cidade de “*Sacramento - CA*”, onde concluem que o efeito do albedo é particularmente eficiente em climas quentes como estratégia de conservação de energia até à escala do edifício.

AKBARI *et alii* (1988) incluem neste estudo o impacto das “Ilhas de Calor” no consumo de energia para resfriamento e das emissões de CO₂ no tocante à qualidade ambiental urbana. Chegam a uma análise de projeção de custos, para as estratégias de

arborização e superfícies claras, bem menor que a estratégia de climatização artificial.

TAHA *et alii* (1989) mediram, a temperatura do ar e a velocidade no interior das copas de árvores de um pomar isolado, e a barlavento e sotavento do mesmo, ao norte e ao sul na cidade “Davis, CA”. Apesar das diferenças entre sítios rurais e urbanos, GIVONI(1991) comenta os resultados. Foram utilizadas cinco estações meteorológicas : três internamente ao pomar e duas externamente, nos quadrantes norte e sul em relação ao pomar. As diferenças quantitativas entre os valores obtidos entre o pomar e as áreas abertas foram afetadas pela nebulosidade e pelas condições do vento. Na pesquisa não fica claro porque a temperatura máxima no pomar era maior que a do campo aberto durante dias nublados.

AKBARI e ROSENFELD (1989) resumem o conteúdo de 2 artigos anteriores, nos quais analisam-se a arborização urbana e o alto albedo do envoltório das edificações pintadas em cor branca, em três partes: os efeitos da “Ilha de Calor”, a redução destes efeitos e o controle das emissões de CO₂ para a atmosfera. Os artigos mencionados são de AKBARI *et alli* (1988, 1989). No primeiro artigo, os autores afirmam que o uso de cores claras no envoltório das edificações e o emprego de sombreamento arbóreo constituem-se em duas maneiras de baixo custo de implementação para reduzir os efeitos das “Ilhas de Calor” e são passíveis de criar o efeito de resfriamento natural, em escala urbana, conhecida como “Oásis de Verão”. Além de técnicas fáceis de se obter para a conservação energética, são efetivas maneiras de diminuir a quantidade de CO₂ expelido para a atmosfera urbana, reduzindo a necessidade de uso e queima de combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica.

Afirmam, ainda, que a arborização urbana é indiretamente cerca de 15 vezes mais eficiente para consumir CO₂ que a arborização rural. Quantificam que dentre 4 possibilidades de ação: superfícies claras, sombreamento arbóreo nas edificações, arborização urbana e parques com vegetação, a primeira opção é a medida mais eficiente e de menor custo de implantação. A opção de sombreamento arbóreo de edificações é o dobro mais eficiente que a arborização urbana e parques, na redução do consumo energético oriundo do resfriamento do ar por condicionamento artificial.

No segundo artigo, afirmam que o condicionamento artificial para o resfriamento de ambientes internos, através dos procedimentos de uso de cores claras e arborização eram comuns antigamente. Com o passar do tempo, considerando-se antes da década de

40 e posteriormente à ela, o centro de “*Los Angeles*” teve um aumento na temperatura do ar na faixa de 3,2° C a 6,3° C. Aumentou-se a possibilidade de ocorrência de “*smogs*” (neblina e fumaça) e abaixo de 24° C o fenômeno tem valores admissíveis pela NAAQS - “*National Atmospheric Air Quality Standard*”. Acima de 36° C os efeitos são o dobro da condição admissível.

Apesar dos resultados apresentados, os autores afirmam que há necessidade de mais pesquisas para diagnosticar vários outros aspectos desses fenômenos:

- i) Superfícies claras e árvores - as árvores resfriam as cidades pela evapotranspiração, mas refletem apenas de 20% a 25% da radiação solar incidente. Necessitam-se mais estudos acerca da combinação ótima de superfícies claras e arborização;
- ii) Conservação energética direta e indireta - atualmente, conhece-se o fenômeno da conservação energética devido aos efeitos diretos. Para os efeitos indiretos, há a necessidade de modelação;
- iii) Dentre o sombreamento arbóreo, arborização urbana, parques, árvores da zona rural, as árvores situadas no lote conservam mais energia no resfriamento por sombreamento das edificações, reduzem a poluição atmosférica através da absorção do CO₂ e contribuem para minimizar o fenômeno da “Ilha de Calor”, pela evapotranspiração. Nas ruas, rodovias e parques, as árvores auxiliam a combater o fenômeno das “Ilhas de Calor”, mas a sua eficiência é a metade dos casos anteriores. Na zona rural, as árvores não conservam energia, mas absorvem CO₂ da atmosfera. Ainda há necessidade de estudos econômicos destes tipos de árvores em vários climas e localidades;
- iv) Elaboração de um manual para mitigação da ilha de calor - urge a necessidade deste tipo de divulgação, para uma correta implementação de ações conservativas na energia;
- v) Demonstração e monitoramento - na seqüência, a próxima prioridade é demonstrar a efetividade econômica do efeito do sombreamento e das pinturas claras em edificações (*mobile homes*), submetidas a várias condições climáticas em diversas localidades.

AKBARI *et alii* (1989) analisam formas de mitigar o efeito das “Ilhas de Calor” em ambientes urbanos, através de uma série de estratégias quantificando-as em termos

econômicos e alertam para a necessidade de difundi-las para os planejadores, a fim de obter um efeito multiplicador dessas estratégias.

AKBARI e ROSENFELD (1989) pesquisaram o efeito das superfícies brancas no envoltório de edificações e a arborização urbana, na mitigação das “Ilhas de Calor” em “Los Angeles e Sacramento”. Nesta pesquisa aponta-se para um cenário de prioridades; e discutem-se as superfícies brancas e a arborização urbana em três aspectos. Na mitigação da “Ilha de Calor” e no custo-benefício das superfícies brancas *versus* “árvores:

- i) Efeitos na “Ilha de Calor”- Antigamente, antes da difusão do ar condicionado, os edifícios eram claros e os lotes arborizados. Atualmente, este procedimento não é usual e a metade do efeito da “Ilha de Calor” corresponde a esta tendência, sendo que a outra metade do fenômeno da “Ilha de Calor” é oriunda da pavimentação escura, além dos reduzidos níveis de vegetação urbana. A ocorrência de “Ilhas de Calor” aumenta o consumo energético para a climatização artificial, bem como, aumenta a possibilidade de ocorrência de “smog” (neblina e fumaça) devido ao aumento da temperatura do ar urbano;
- ii) Mitigação da “Ilha de Calor” - Cores claras e arborização são medidas positivas na mitigação da “Ilha de Calor” e têm baixo custo de implantação, cerca de apenas 1% do investimento na geração de energia elétrica e no condicionamento artificial de ar. Além disto, há medidas complementares, tais como: Clarear telhados e superfícies pavimentadas que auxiliam na mitigação da “Ilha de Calor”. Estimando-se a conservação de energia com estas estratégias para “Sacramento”, têm-se que: aumentando-se o albedo em 15% reduz-se em 3° C a temperatura máxima do ar urbano. A conservação direta e indireta de energia atingiria o valor de 50%. Também, o sombreamento direto nas residências economizariam cerca de 20% a 30% da energia despendida no resfriamento artificial;
- iii) Custo - Benefício das superfícies brancas *versus* árvores - Dentre três opções, a saber: superfícies brancas, sombreamento arbóreo no lote, arborização urbana em ruas e parques, as superfícies brancas são as medidas mais efetivas, menos dispendiosas e mais imediatas.

A combinação dos efeitos diretos e indiretos de 100 milhões de árvores urbanas

correspondem a uma economia de 8 milhões de toneladas de carvão para queima. Ao passo que, a mesma quantidade de árvores em florestas correspondem ao consumo de 0,65 milhões de toneladas de carvão.

Para se avaliar o montante do desperdício, a cada ano que se espera por medidas no sentido de minimizar os efeitos das “Ilhas de Calor” nos EUA, pode-se estimá-lo em US\$ 1 bilhão no custo do consumo de energia e o mesmo montante no aumento da capacidade de geração de energia e investimentos em equipamentos de ar condicionado.

HUANG *et alii* (1990) analisam os efeitos de quebra-ventos e sombreamento nas necessidades de aquecimento e resfriamento artificiais em residências. O estudo baseou-se em dados de medições no local, durante o ano de 1989 efetuados por HEISLER (*apud* HUANG *et alii*, 1990), que serviram de dados quantitativos para a simulação computacional do desempenho energético com o “*software*” DOE-2.1 D. Analisaram-se 14 edifícios representativos de tipologias dos EUA, levando em conta apenas a influência de árvores, através do sombreamento e como quebra-ventos.

Escolheram-se as localidades de: frio dominante (“*Chicago, Minneapolis e Pittsburg*”); clima composto frio e quente (“*Washington e Sacramento*”); e quente (“*Miami e Phoenix*”). As edificações escolhidas foram subdivididas conforme a data de construção, pré 1973 e pós 1980.

Nas residências mais antigas, com apenas 3 árvores adultas, em clima quente, pode-se reduzir o custo de aquecimento artificial em cerca de 4% a 8%, anualmente. Para o resfriamento atinge-se o montante de economia em cerca de 13% a 20%, em base anual. Nas residências mais novas, a economia anual em aquecimento varia de 4% a 12% e para o resfriamento a economia anual varia na faixa de 10% a 16%.

HUANG *et alii* (1990), através de um manual, afirmam que as principais estratégias são o aumento da quantidade de árvores na escala urbana e a alteração do fator de albedo através de cores claras do ambiente urbano até a escala do edifício. Mostram os aspectos estratégicos a serem implementados para essa finalidade.

Nesta mesma linha, AKBARI *et alii* (1990), afirmam que as árvores no ambiente urbano e as superfícies pintadas em cor clara causam o efeito mitigador e a economia energética, através da tendência de evolução do consumo em diversas cidades americanas desde 1940.

AKBARI e ROSENFELD (1990) apresentam o potencial de conservação de

energia através de projeção de dados econômicos e da redução da poluição do ar para toda a "California".

AKBARI (1990) percorre neste trabalho, desde a escala urbana até a do edifício, ressaltando a necessidade de vegetação e cores claras como estratégias que influenciam nas cargas térmicas para aquecimento e resfriamento. Simulam, através do programa computacional DOE-2.1D, a influência das árvores na escala do edifício e no consumo energético para a sua climatização artificial, quantificando a conservação de energia e a diminuição da emissão de CO₂ oriunda da geração de eletricidade para três cidades americanas: "Sacramento - CA", "Phoenix- AZ" e "Lake Charles - LA".

AKBARI *et alii* (1992) apresentam o impacto das árvores e das superfícies externas claras no consumo energético de aquecimento e resfriamento para quatro cidades canadenses: "Edmond, Montreal e Vancouver, Toronto". O clima do Canadá é dominado altas demandas de aquecimento durante o inverno e de resfriamento moderado durante o verão. Consideram nos resultados que, apesar do clima Temperado do Canadá, há alto potencial de conservação de energia para climatização artificial, na linha de alteração das cores mais claras ou mudança dos materiais para cobertura.

Como divulgação dos resultados das pesquisas, em janeiro de 1992, houve a edição do manual elaborado por AKBARI *et alii* (1992) denominado "Cooling our Communities: A guide-book on tree planting and light colored surfacing".

No contexto dos materiais para telhamento, BERDAHL e BRETZ (1994) apresentam a refletância espectral solar de vários materiais, que é uma estratégia para o envoltório dos edifícios, sendo útil a análise desses materiais para uso de forma que sejam consideradas quantitativamente as suas características e propriedades.

AKBARI (1995) apresenta um estudo sobre novos materiais com alto índice de albedo.

ROSENFELD *et alii* (1995) apresentam um estudo a cerca da mitigação das "Ilhas de Calor" urbanas, analisando impacto dos materiais, dos programas de ação pública e atualização de dados de pesquisas. A questão do crescimento acelerado e do efeito das "Ilhas de Calor" é parte proeminente do programa institucional "President Clinton's Climate Change Action Plan", que visa controlar a emissão de gases para a atmosfera para diminuir o efeito estufa. Para tanto, é necessário um maior conhecimento quantitativo dos benefícios das medidas de controle destes fenômenos.

O artigo apresenta uma súmula de pesquisas anteriores e amplia a área de ação, determinando o pico de demanda de energia elétrica urbana, em 5 cidades norte-americanas: “*Los Angeles, Washington-DC, Phoenix, Tucson e Colorado Springs*”. Afirmam que a demanda aumenta de 2% a 4% a cada 1° C de crescimento na temperatura máxima diária, acima de uma faixa de variação de 9,4° C a 12,5° C. Assim, o uso de ar condicionado, devido à variação anterior, é responsável por aumento de 5% a 10% do pico de demanda de energia elétrica.

Analysaram-se diversos tipos de materiais de construção quanto à eficácia de seu albedo e monitoraram a conservação de energia elétrica em edificações (seis unidades em “*Sacramento*”).

Estudou-se o efeito de sombreamento arbóreo, em três etapas e quatro tipologias de edificações: uma residência e três escolas. Efetuaram simulação computacional do desempenho energético com o “*software*” DOE-2.1E e pesquisaram o albedo na escala urbana na bacia hidrográfica de “*Los Angeles*”, além do efeito da “Ilha de Calor” na qualidade de ar.

Apresentam uma análise de custos sobre o potencial de conservação de energia, na escala urbana, através das modificações no albedo.

Finalmente, propõem as etapas do plano de ação pública, para implementar o uso de materiais com alto fator de albedo e do emprego de sombreamento arbóreo, através de sete estratégias, dentre elas: a inclusão em termos normativos no “*Building Energy Performance Standards*” da ASHRAE, CABO, “*Califórnia*”, título 24.

Concluem o artigo com dados econômicos, referentes às proposições anteriores que, adotando-se o máximo potencial de uso de materiais de alto albedo e sombreamento arbóreo, pode-se economizar cerca de US\$ 10 bilhões anualmente em consumo de energia e no investimento em novos aparelhos de condicionamento artificial, além de eliminar o montante de 20 milhões de toneladas de emissões de CO₂ para a atmosfera. Afirmam, também, que o mercado de materiais para telhamentos e pavimentação, ambos com alto fator de albedo, potencialmente, podem gerar um faturamento de US\$ 500 milhões ao ano para os fornecedores, através da substituição sistemática dos materiais, no ritmo da manutenção das edificações e pavimentação.

MOFFAT *et alii* (1995) editaram um manual intitulado de “*Energy-Efficient and Enviromental Landscaping*”, visando difundir a aplicação do paisagismo como elemento

de conservação de energia.

ROSENFELD *et alii* (1996) discutem acerca da mitigação das “Ilhas de Calor” em “*Los Angeles*”, nos aspectos da magnitude dos benefícios e sugerem planos para participação de patrocinadores. Apresentam novos resultados, nos moldes do artigo anterior.

TAHA (1996) modela os impactos de vegetação urbana na qualidade do ar, tendo como indicador a quantidade de ozônio na bacia hidrográfica da costa sul, na “*California*”. O autor afirma que os impactos na qualidade do ar, através do estudo na mesoescala meteorológica e da modelagem foto-química, indicam a necessidade de arborização urbana, que causa o decréscimo na concentração de ozônio, se as árvores adicionais tiveram baixa capacidade de emissão de hidrocarbono. No caso contrário, as árvores teriam efeito negativo na qualidade do ar.

ROSENFELD (1996) apresenta planos de ação para reduzir o efeito das “Ilhas de Calor”, através da magnitude dos benefícios e incentivos, para conseguir este intento. Comenta os efeitos diretos da aplicação de materiais frios (com alta refletância) e do sombreamento arbóreo das edificações. Na escala urbana, a arborização, o uso de cores claras nos telhados, na pavimentação dos estacionamentos e nas vias de circulação, resfriam o ar urbano. Estima-se que em “*Los Angeles*”, a temperatura do ar no centro da cidade aumenta 1° C a cada 15 anos, por efeito indireto.

Afirma, ainda, que a temperatura da “Ilha de Calor” nesta cidade pode diminuir em cerca de 3° C aumentando-se o albedo do envoltório das edificações e dos pavimentos. Com o plantio de 11 milhões de árvores pode-se reduzir o excesso de ozônio em 12%. Este valor excede a estimativa de redução da poluição do ar no caso de queima de gasolina com baixa emissão de poluentes, mostrando que a ação pública deve-se direcionar, preferencialmente, para a primeira estratégia de controle da poluição.

A combinação de estratégias nos efeitos diretos e indiretos do resfriamento nas comunidades urbanas, potencialmente, pode reduzir pela metade o consumo de energia despendida no condicionamento artificial de residências e economizar cerca de 10% desse consumo nos escritórios térreos. Quando se acrescenta aos efeitos termoclimáticos anteriores, o do “*smog*” (neblina e fumaça), a economia na bacia hidrográfica de “*Los Angeles*” é estimada em US\$ 500 milhões por ano e a correspondente economia nacional em condicionamento artificial do ar que atinge cerca de 20%.

Estas estimativas podem concretizar-se se lhes forem dadas a mesma importância que é destinada ao gerenciamento da eficiência na geração de energia elétrica.

AKBARI *et alii* (1996) apresentam um artigo a respeito da mitigação dos efeitos das “Ilhas de Calor” no verão, para conservação de energia e redução do “smog” (neblina e fumaça). Afirmam que em “Los Angeles” a temperatura máxima anual é aproximadamente 3° C maior que em 1940 e em “Washington-DC” é cerca de 2° C. Demonstram que este fenômeno de aquecimento é comum em grandes cidades norte-americanas. Comentam a relação direta entre o efeito das “Ilhas de Calor” e a ocorrência de “smog” (neblina e fumaça).

Tratam dos passos necessários para a implementação das estratégias que visem mitigar os efeitos oriundos das “Ilhas de Calor”, da inversão térmica e do potencial de conservação de energia: aumento do albedo das edificações, quantificação da refletância de novos materiais para telhamento e sombreamento arbóreo, em conjunto com a ASTM e ASHRAE.

AKBARI *et alii* (1997) apresentam os resultados de uma pesquisa sobre a conservação de energia elétrica e a diminuição na demanda de pico, devidas ao sombreamento arbóreo, em duas residências situadas na cidade de “Sacramento”.

Os dados coletados foram: o consumo de energia elétrica despendido em resfriamento artificial, as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido internas e externas, a temperatura superficial do telhamento e do forro, a temperatura superficial das paredes externas, a insolação e, ainda, a direção e a velocidade do vento.

Com o sombreamento arbóreo (faces sul e oeste), em ambas as residências monitoradas, houve uma conservação de energia elétrica de cerca de 30%, sazonalmente, o que corresponde a uma conservação média diária na faixa de 3,6 kWh/dia a 4,8 kWh/dia. A redução dos picos de demanda foram de 0,6 kW a 0,8 kW (cerca de 27% em uma residência e 42% na outra).

Efetuuou-se a simulação computacional das residências monitoradas no “software” DOE-2.1 E, cujos resultados obtidos apresentam-se inferiores, tanto na conservação de energia, quanto na redução do pico de demanda. Cumpre, ainda, esclarecer que houveram três monitoramentos no local: o primeiro no período compreendido entre 8 de junho a 3 de agosto; o segundo no intervalo de 4 a 31 de agosto; o terceiro entre as datas de primeiro de setembro a 14 de outubro. Tais

monitoramentos corresponderam, respectivamente, a 57, 28 e 44 dias, dos quais foram analisados na casa 1 o montante de 28, 27 e 41 dias e na casa 2 o período de 36, 28 e 44 dias, ambos na estação climática do verão. Nos monitoramentos, a vegetação foi colocada em grandes recipientes portáteis, para mudanças de posição ou a sua remoção.

BRETZ *et alii* (1997) apresentam aspectos práticos acerca do uso de materiais de construção com alta refletância à radiação solar, que minimizam os efeitos negativos da “Ilha de Calor” urbana.

BRETZ e AKBARI (1997) estudam o desempenho dos revestimentos de telhados com materiais de alto albedo, a longo prazo. Afirmam que a energia despendida em resfriamento artificial pode ter índices de conservação que variam de 10% a 70% em edificações residenciais, situadas “*Florida e California*”. E, sugerem que é necessário desenvolver e identificar materiais com alto albedo que sejam mais resistentes à ação da sujeira neles acumulada, minimizando a manutenção.

BERDAHL e BRETZ (1997) elaboraram um levantamento preliminar de materiais com alta refletância à radiação solar, para telhamentos. A pesquisa visa, entre outros efeitos, a conservação de energia elétrica usada para resfriamento de edificações.

SIMPSON e McPHERSON (1997) estudam os efeitos da modificação no albedo do telhamento e sua influência nas cargas de resfriamento em modelos de residências, reduzidos para $\frac{1}{4}$, na cidade de “*Tucson-AZ*”.

AKBARI *et alii* (1997) estudaram o efeito de conservação no pico de demanda do resfriamento artificial devido a telhados de alto albedo, em uma residência na cidade de “*Sacramento-CA*”. Apresentam os resultados da conservação em um período sazonal de 2,2kWh/dia (80% do caso de referência) e redução do pico de demanda em 0,6kW. Em bangalôs utilizados como escolas a conservação foi da ordem de 3,1 kW/dia (35% do caso de referência) e no pico de demanda a conservação foi da ordem de 0,6kW. Os edifícios foram simulados com o “*software*” DOE-2.1E e os resultados obtidos na simulação, subestimam os valores medidos.

2.8.1.4 A Revisão Bibliográfica de MEIER, 1991.

Neste item apresentam-se os trabalhos de PARKER, HOYANO, McPHERSON, HARAZONO e HALVORSON (*apud* MEIER, 1991) na escala do edifício, cujos resultados gráficos apresentam-se nas figuras 2.3, 2.4 e 2.5, a seguir.

Observa-se nesta coletânea de trabalhos, que foram elaborados nos mais diversos tipos de clima, no Japão, no Oriente Médio e nos Estados Unidos, dentre eles: Clima Desértico, Quente e Úmido e Temperado. Além disto, as estratégias de paisagismo, foram escolhidas de acordo com a condição de exposição a estes tipos de clima, variando as possibilidades de proteção: à cobertura, às paredes e ao solo no entorno da edificação.

As variáveis em estudo foram a temperatura superficial de paredes e coberturas, a redução no consumo de energia elétrica devido à climatização artificial, além da redução na carga térmica das edificações.

Na figura 2.3, que trata, segundo MEIER (1991), da temperatura superficial, as estratégias paisagísticas mais eficientes foram vegetação no teto, árvores e pérgolas para climas Quente e Úmido e Temperado, com valores de redução de 20°C a 21°C.

A seguir, as escolhas de trepadeiras e arbustos para climas Quente e Úmido e Desértico atingiram a redução de 17°C a 18°C.

Finalmente, a estratégia de gramado para clima Desértico atingiu o menor valor de redução de 6°C.

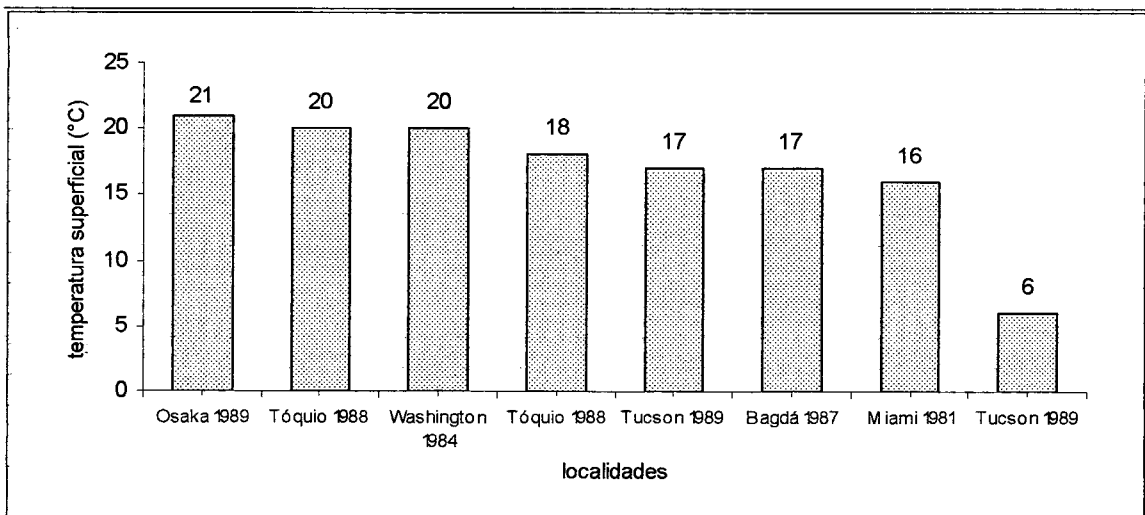


Figura 2.3 - Valores de Pico da Redução na Temperatura Superficial do Envoltório segundo MEIER, 1991.

Em ordem de desempenho decrescente, descrevem-se os experimentos da figura 2.3, agrupados por autor.

Em Osaka, região de clima quente e úmido, o experimento é de HARAZONO (1989), e os resultados de cobertura vegetal em um teto foram obtidos pela média dos dados referentes ao período das 10:00h às 18:00h, em um dia de céu claro no mês de

Agosto.

Em Tóquio, também com clima quente e úmido, duas medições foram efetuadas por HOYANO (1988, 1988A) primeiramente em árvores com folhagem perene e posteriormente com plantas trepadeiras cobrindo uma parede orientada para oeste às 15:00 h, registrando-se o valor máximo, durante o período de 1 ano. No mesmo ano, procedeu-se ao segundo experimento, com o registro de medições paralelas, em paredes protegidas e não protegidas.

Em “*Pullman-Washington*”, cujo clima local é Temperado, HALVORSON (1984) conduziu um experimento efetuado com trepadeiras em paredes, sem explicitar a sua duração.

Em “*Tucson-AZ*”, com clima desértico, dois experimentos foram efetuados por McPHERSON (1989, 1989A), ambos em paredes orientadas a oeste, em várias edificações, no horário de 15:00 h. O primeiro com arbustos, cujo desempenho foi melhor que o segundo, no qual empregou-se grama. O período de medição não foi explicitado. O experimento de MAKZOUMI e JAFF (1987), em “*Baghdad-Iraq*”, cujo clima é Desértico, conduziu-se com trepadeiras revestindo paredes de diversos edifícios, orientadas a sudoeste e monitorados às 15:00 h, sem explicitar a duração das medições.

No experimento efetuado por PARKER (1981), em “*Miami-FLA*”, cujo clima é Quente e Úmido, utilizaram-se árvores e arbustos dispostos frontalmente a paredes orientadas a oeste, medidas às 17:00 h, registrando os valores máximos durante 1 mês.

Convém salientar que tais medições, foram efetuadas, geralmente, em curto espaço de tempo, além de utilizarem-se de metodologias e equipamentos diferentes.

MEIER (1991), afirma que torna-se muito difícil e pouco robusta uma intercomparação entre os resultados de cada experimento. Estes resultados servem apenas para avaliar o desempenho de cada situação de referência, e mostrar a magnitude que podem atingir as estratégias de sombreamento como as do paisagismo, no seu aspecto funcional, além do fator de albedo.

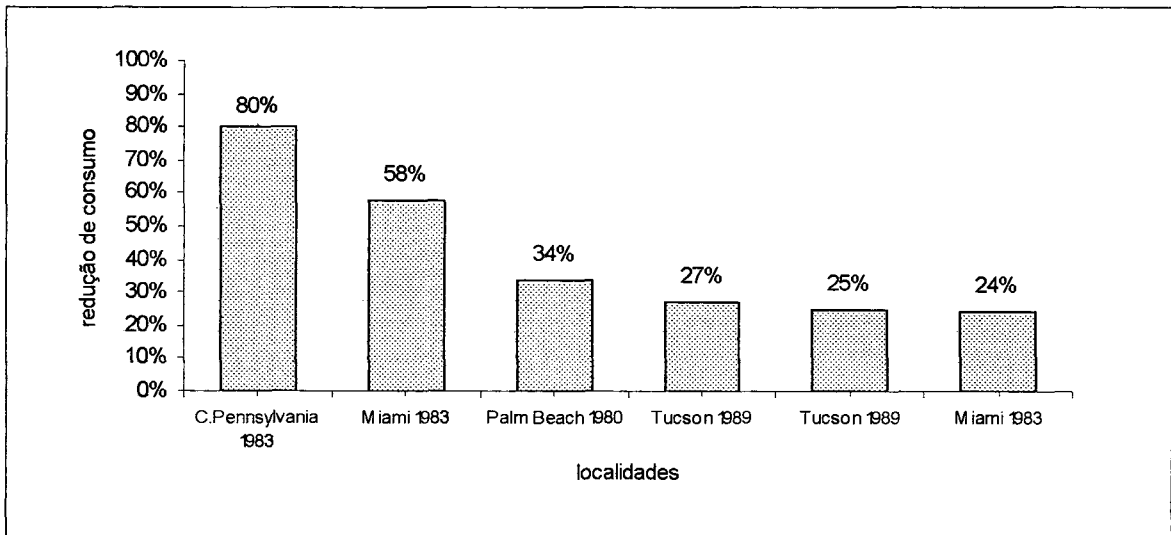


Figura 2.4 Economia de Energia Elétrica na Operação de Ar Condicionado segundo MEIER, 1991.

Na figura 2.4, que mostra-se a economia no consumo de energia elétrica devida à presença de estratégias funcionais de paisagismo. O maior valor ocorre na situação de um “trailer” colocado no interior de uma floresta na “*Pennsylvania Central*” com clima Temperado, atingindo o valor de redução de 80%. Para as localidades de “*Miami e Palm Beach*”, com clima Quente e Úmido, com a aplicação de árvores e arbustos, na primeira cidade apresentam-se os valores conservação de E.E, em cerca de 58% e 24% em diferentes monitoramentos. Para a segunda localidade, também com clima Quente e Úmido atinge-se o valor de redução no consumo de E.E de 34%. E no clima desértico de “*Tucson*” com a aplicação de arbustos e gramado, chega-se aos respectivos valores de conservação de E.E cerca de 27% e 25%.

No trabalho de HOYANO (*apud* MEIER, 1991) apresentado na figura 2.5, analisou-se a redução de carga térmica frente a adoção de estratégias funcionais de paisagismo, tais como : vegetação no teto, pérgula e árvores em clima Quente e Úmido obtendo-se respectivamente os valores de redução de 90%, 75% e 50%.

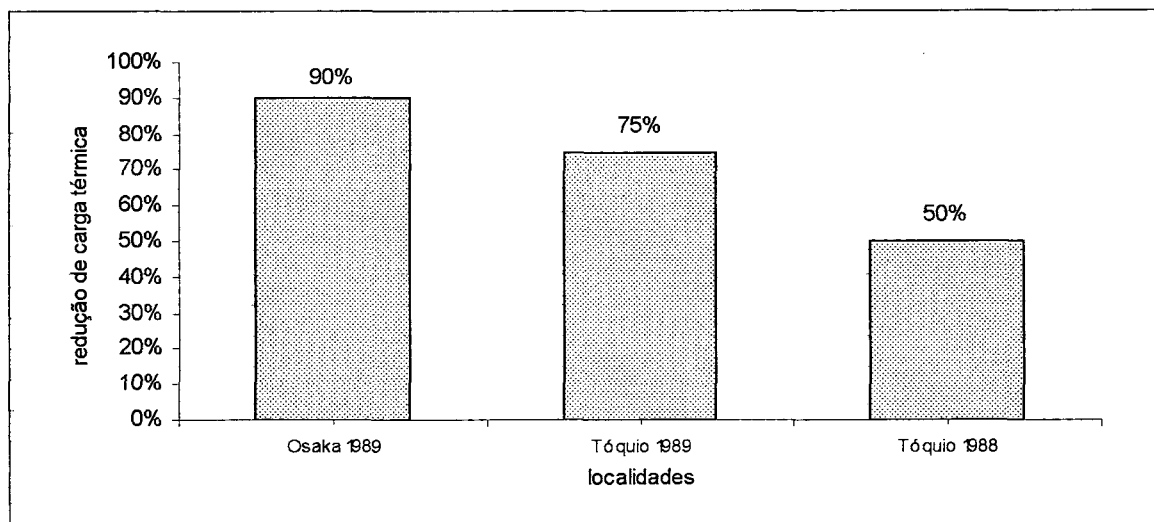


Figura 2.5 - Redução da Carga Térmica, Segundo MEIER, 1991.

Nesta mesma linha de atuação McPHERSON *et alii* (1989) apresentam um estudo sobre os efeitos do paisagismo constituído por três estratégias de tratamento no consumo de energia e no consumo de água em clima Árido, em “Tucson-AZ”, através das medições no local e em escala reduzida através de modelos. As estratégias adotadas foram pedrisco, grama e sombreamento por arbustos.

SIMPSON (1991) apresenta o resultado da simulação dos efeitos dos gramados no uso de energia nos edifícios em Climas Áridos, em contraponto com o consumo de água e conclui que a cobertura vegetal do solo é mais eficiente que a de pedrisco, devido às diferenças micro-climáticas que se formam no entorno imediato da edificação, creditados principalmente a dois fatores: primeiramente a temperatura do ar e, em menor escala, à radiação de ondas curtas e ondas longas devido ao albedo. O local analisado é “Tucson- AZ”, nos Estados Unidos da América do Norte.

2.8.1.5. A Revisão Bibliográfica de GIVONI, 1991.

GIVONI (1991) apresenta outro artigo de revisão bibliográfica, com alguns trabalhos já mencionados por MEIER (1991), entretanto para o escopo deste trabalho analisam-se a escala do edifício e do entorno imediato, descrevendo-se as características técnicas e resultados de medição.

O artigo discute o impacto de áreas urbanas arborizadas: parques públicos, e privados, plantações no entorno de edifícios individuais sob vários aspectos da qualidade do ambiente urbano. Os aspectos de interesse tratam de:

- i) impacto climático de áreas plantadas no entorno de edificações;
- ii) estudos experimentais sobre o efeito térmico das plantas.

Os principais detalhes do efeito da vegetação sobre os edifícios em termos topológicos são:

- i) Largura da área vegetada no entorno da edificação;
- ii) Tipo de plantas: árvores, arbustos, gramado, flores;
- iii) Trepadeiras e pérgulas;
- iv) Tamanho e forma das árvores e arbustos;
- v) Orientação das plantas de diferentes tipos, com relação ao edifício.

O artigo estabelece as diferenças entre as funções e os efeitos ambientais das áreas verdes em geral, e das plantas em particular em diversas escalas; baseadas em ROBINETTE (1972).

A escala de interesse é a de vegetação ao redor de edificações, salientando que o desempenho térmico do edifício é afetado diretamente pelo micro-clima através das variações de: exposição solar, velocidade do ar, temperatura do ar e temperatura radiante.

Comenta na escala da edificação os estudos de:

- i) PARKER (1983, 1987, 1989) em “Miami”, acerca da temperatura superficial de paredes com e sem o efeito do paisagismo, através de árvores e arbustos, sem indicar o efeito da cor da parede, mostrando a redução da temperatura superficial entre 13,5°C e 15,5°C e com trepadeiras entre 10°C e 12°C;
- ii) DeWALLE (1983) mediu a infiltração de ar e o uso de energia para aquecimento em uma pequena casa móvel (“trailer”) na “Pennsylvania Central”. O “trailer” foi inicialmente calibrado para avaliar a sua taxa de infiltração e então locado em diferentes locais considerados “abertos” ou protegidos em relação a uma linha de quebra-ventos constituída de “*pinus*”. As distâncias consideradas eram múltiplas da altura da linha de quebra-ventos (H). A infiltração e o uso de energia para aquecimento foram expressados como função da velocidade do vento externa e da diferença

interna e externa da temperatura. As medidas foram comparadas com as estimativas. Nas distâncias de 1 a 4H da linha de quebra-ventos a velocidade do vento reduziu-se cerca de 40% a 50% em relação ao campo aberto. As reduções de infiltração foram desde 55% (à distância de 1H) até 30% (à distância de 4 H e 8H). O consumo de energia para aquecimento foi reduzido em cerca de 20% (à distância de 1H) até 10% (à distância de 4H);

- iii) HOYANO (1988) reuniu os resultados de seus diversos estudos experimentais realizados no Japão, visando o efeito de plantas nas temperaturas superficiais e do ar. No caso de Pérgula Horizontal Vegetada: o experimento mediu a radiação solar através da pérgula e a temperatura do ar abaixo dela. A transparência obtida foi cerca de 0,1 a 0,2 da radiação solar horizontal. A temperatura das folhas ao meio-dia foi de 1 °C abaixo da temperatura do ar e a temperatura do ar abaixo da pérgula foi similar a do ar externo.

Uma trepadeira consistindo em um “brise-verde” na posição vertical defronte a uma varanda. Foram comparados os efeitos deste tratamento paisagístico na face sudoeste de uma varanda residencial e outra varanda sem proteção, na mesma orientação.

O sombreamento da vegetação mostrou-se significativamente eficiente para conter a insolação. Entretanto a temperatura das folhas foi medida com valores maiores que a temperatura do ar, mas menores que a temperatura do ar na varanda desprotegida.

Outro resultado obtido é que a velocidade do vento foi significativamente reduzida na janela da varanda sombreada pelo “brise-verde” e também no ambiente externo, em relação ao espaço não protegido. Os valores numéricos indicaram uma redução de 45% na velocidade do ar no centro da janela protegida e apenas 17 % na desprotegida, ambos referidos à velocidade do ar externo. Neste caso, considera-se que tal estratégia é negativa em situações de clima Quente-Úmido, no qual a ventilação constitui-se em uma efetiva estratégia de climatização passiva.

Uma trepadeira cobrindo uma parede de concreto na orientação oeste foi avaliada comparando as temperaturas através da parede, com e sem o

tratamento paisagístico. Foram medidas as temperaturas das folhas da trepadeira, do ar e através da parede. Entretanto não se menciona a cor da parede ou a sua absorvância.

Sem a proteção da trepadeira a temperatura superficial externa máxima da parede atingiu 10° C acima da temperatura do ar ambiente e com o tratamento paisagístico obteve-se 1° C a menos que a do ar ambiente. Em termos de média os resultados indicaram que a temperatura superficial da parede protegida atingiu 1° C acima da temperatura média do ar externo e na outra situação obteve-se o valor de 3° C.

Outras estratégias, analisadas nos experimentos, foram:

- i) Uma linha de árvores em frente a uma parede. Neste experimento, árvores crescidas foram colocadas em grandes vasos e colocadas em diversos espaçamentos e posições em relação a uma parede de concreto de um edifício, na orientação oeste.

As variáveis experimentais foram as distâncias entre as copas das árvores (45 à 65 cm) e a distância da parede e da copa das árvores (20 ou 60 cm). Todos estes arranjos paisagísticos reduziram o fluxo de calor no edifício, quando comparados a uma situação de parede desprotegida da radiação solar. O efeito do sombreamento se faz significativamente maior de acordo com a proximidade da proteção solar em relação à parede.

O autor, entretanto, comenta as dificuldades na manutenção do jardim para esta situação, afirmando que tal variável deve ser considerada num tratamento paisagístico definitivo.

PARKER (1989) também mediu o efeito do paisagismo no consumo de energia para condicionamento artificial de edificações, através de árvores e arbustos, em um “*trailer*”.

Variam os resultados diários entre 5,56 kWh sem sombreamento a 2,28 kWh com sombreamento. Porém o efeito mais marcante ocorreu no horário de pico da carga térmica, à tarde, com valores médios de redução de 8,65 kW para 3,67 kW.

- ii) MCPHERSON *et alii* (1989) mediram em 3 edifícios com escala reduzida em ¼, o consumo energético para resfriamento com e sem tratamento

paisagístico. Essa escala de redução foi adotada devido a problemas operacionais de medição.

As estratégias de paisagismo foram, gramado ao redor do modelo, sem sombreamento; cobertura do solo com pedrisco e sombreamento com arbustos; cobertura do solo apenas com pedrisco; sem gramado e sem sombreamento. Não se menciona no artigo os efeitos do vento e da coloração dos modelos. O gramado reduziu os ganhos de calor por radiação de onda longa e também pela temperatura do ar próxima ao modelo, enquanto os arbustos reduziram o ganho de calor oriundo da insolação. O consumo energético para resfriamento aumentou entre 20% e 30% no caso da cobertura do solo com pedrisco em relação ao tratamento com grama e sombreamento por arbustos.

O trabalho de AL HEMIDDI (*apud* GIVONI, 1991) consiste de uma pesquisa de um acadêmico de graduação da Universidade da Califórnia - UC, sob a orientação do professor Boruch Givoni, sobre o efeito de plantas como agentes de proteção solar. Foram medidas a temperatura superficial e do ar a uma altura de 1,0m do solo, sobre coberturas do solo com diferentes tratamentos superficiais, medidas ao meio-dia, durante diferentes períodos, em um ano inteiro, num total de 70 dias. Os tratamentos superficiais incluíram pavimentação exposta e sombreada por árvores, um gramado exposto e um espaço entre uma cerca alta e densa composta de arbustos convenientemente disposta em relação a um edifício.

Durante dias claros, especialmente no verão, diferenças da temperatura do ar maiores que cerca de 3° C foram observadas freqüentemente, entre o ar acima dos pavimentos expostos e o do espaço atrás dos arbustos. Esta diferença observada aliada ao efeito de sombreamento devido à vegetação podem reduzir significativamente o ganho térmico através das paredes e resultar em uma redução do consumo energético para condicionamento do ar, especialmente nos horários de pico de consumo.

2.8.1.6 A Experiência Brasileira

A tese de livre docência de MONTEIRO (1976) é um marco teórico nacional no estudo do clima urbano. Estabelece as escalas de clima e os âmbitos de interesse, dentre

os quais se inclui o escopo desta tese, a saber: Urbanismo, Arquitetura e Edificações. São definidos três canais de percepção:

- i) O primeiro, envolvendo a Bioclimatologia, a Arquitetura e o Urbanismo, nas suas relações com o conforto térmico humano, atuando no sistema termodinâmico, sob a responsabilidade da Natureza e do Homem;
- ii) O segundo, englobando a Engenharia Ambiental nas suas relações com a qualidade do ar, atuando no sistema físico-químico, sob a responsabilidade exclusiva do Homem;
- iii) O terceiro, denominado de hidrodinâmico, envolvendo a Engenharia Ambiental e a infra-estrutura urbana, atuando no nível de impacto meteórico, no sistema hidrodinâmico, sob responsabilidade da Natureza.

Dentre os efeitos de desequilíbrio no primeiro canal, citam-se: desconforto e a redução no desempenho humano, passíveis de correção, através do controle do uso do solo e da aplicação de critérios de conforto ambiental. No segundo canal, apresentam-se como efeitos negativos e de desequilíbrio: os problemas ambientais e de saúde, passíveis de correção através de ações de vigilância e controle. No terceiro canal, denominado de hidrodinâmico, cujo desequilíbrio, ataca a integridade urbana na sua comunicação e circulação, sendo passíveis de controle através do aperfeiçoamento da infra-estrutura urbana, da regularização fluvial e do controle do uso do solo.

No tocante às escalas adotadas por MONTEIRO (1976), analisando-as PEDROSO (1986) fez a sua adaptação às escalas de tratamento cartográfico usual em cada uma delas, evidenciando a organização geográfica dos espaços climáticos e suas relações com ambiente construído pelo Homem. Nesta adaptação, o autor esclarece que, com o desdobramento dos climas zonais em unidades menores, novos fatores tornam-se relevantes e passam a interagir com os de ordem de grandeza superiores.

Assim, a cada mudança de escala, deve-se efetuar um levantamento dos fatores mais significativos e o seu modo de análise. Salienta, ainda, que os fatores geográficos devem ser diferentemente considerados para cada escala adotada, podendo assumir diferentes significados.

a) Clima Urbano

Analisando-se, de forma aplicada, a questão do clima na escala urbana, cita-se o trabalho de OLIVEIRA (1985), que estudou a forma urbana como instrumento de controle do seu clima. Definiu-se em um quadro resumo os aspectos da forma urbana que devem ser considerados no planejamento urbano, em função do tipo de clima regional, a saber: Quente-seco, Quente-úmido, Frio-seco e Frio-úmido. Deixa evidente que na sua aplicação há diversos fatores conflitantes, conforme cada tipo de clima.

ROMERO (1985) analisa princípios bioclimáticos para aplicação em Urbanismo. No tocante à obtenção de dados quantitativos, também é de opinião que fatores e elementos climatológicos assumem significados diversos em cada escala climática adotada.

LOMBARDO (1985) analisa a formação de “Ilhas de Calor” nas metrópoles, através de um exame de caso para a cidade de São Paulo-SP. Utilizou o tratamento de imagens de satélite e encontraram-se diferenças muito significativas entre as temperaturas do ar da zona central e as da zona suburbana, atingindo na estação do verão até 10° C.

ASSIS (1990) avaliou a influência do uso e ocupação do solo urbano sobre a formação de “Ilhas de Calor” na cidade de Belo Horizonte-MG. Desenvolveu-se um processo de análise do fenômeno, envolvendo a inter-relação entre os parâmetros climáticos e a organização espacial urbana. Para tanto, efetuaram-se levantamentos de campo e dos registros públicos de uso do solo através dos indicadores de tipologia, uso e densidade de ocupação, inclusive a incidência de áreas verdes urbanas. Neste estudo observou-se um comportamento diferenciado na evolução das temperaturas diurnas máximas em função da tipologia de ocupação, tanto no verão, quanto no inverno. Nas temperaturas mínimas (noturnas) não se notaram grandes variações.

Observou-se que a tendência de elevação da temperatura é mais acentuada na ocupação urbana horizontal, quando cresce a densidade de ocupação, do que para o uso do solo predominante vertical, cujo incremento na densidade de ocupação causa, relativamente, pouco aumento na temperatura do ar.

A partir de uma faixa de densidade na ocupação variando entre 130 a 150 habitantes/ha, o impacto da ocupação horizontal sobre o conforto térmico urbano, pelos

indicadores da carta bioclimática de GIVONI e MILNE (*apud* WATSON, 1978), é maior do que a ocupação vertical, principalmente no verão. Nota-se que as regiões de maior densidade de ocupação horizontal, possuem um índice de cobertura vegetal inferior a 3%, enquanto este índice varia de 3% a 50% nas áreas mais densas de ocupação vertical.

CARVALHO (1992) analisa as escalas topoclimáticas e microclimáticas do sítio de projetos urbanos. Discute os fatores condicionantes do clima urbano aplicado à projeção arquitetônica. Procura no enfoque encontrado em diversos autores, em relação, especialmente, às escalas já mencionadas, com o objetivo de indicar o modo como atuam os fatores urbanos e geocológicos do clima urbano, no nível da escala do sítio de um determinado projeto de arquitetura ou de desenho urbano.

O artigo fundamenta-se, principalmente, no modelo teórico de clima urbano elaborado por MONTEIRO (1976) através de análise dinâmica do clima. A cobertura vegetal é incluída como fator de ocupação urbana, através dos seguintes elementos: densidade, porte e distribuição espacial.

HACKENBERG e MATTOS (1993) apresentam as diferenças climáticas através de um exame de caso para a cidade de Joinville-SC. Durante o período de 4 anos, foram analisados os dados de elementos climáticos coletados por 3 estações climatológicas em área urbana, situadas em locais muito distintos e com características climáticas e físicas diferentes. Os elementos de clima comparados foram os seguintes: velocidade do vento, a temperatura e a umidade relativa do ar, que influem no conforto térmico. O elemento climático que mais variou no estudo comparativo foi o vento. Na análise da variação dos demais elementos climáticos, tornou-se evidente a influência da Serra do Mar, no clima da cidade, tanto como obstáculo à ventilação, quanto pela influência da sua cobertura vegetal.

CARVALHO (1993) trata do impacto do ambiente construído sobre o clima. Discute aspectos relativos a parâmetros de ocupação urbana e de tecnologias mais apropriadas ao ambiente edificado. O estudo baseia-se em um exame de caso, no sítio de Abaeté em Salvador-BA, especialmente nas transformações climáticas oriundas de diversos padrões de ocupação. O estudo fundamentou-se em diversos autores, dentre os quais: CHANDLER, LANDSBERG, OKE, NISHIZAWA, MONTEIRO, TARIFA, SAMPAIO, LOMBARDO e HASENACH (*apud* CARVALHO, 1993). Tem como

objetivos fazer recomendações de preservação, conservação e elaboração de um zoneamento ambiental com normas de uso e ocupação do solo. Visa, também, a qualidade do ambiente construído e a obtenção de conforto ambiental na área de estudo e adjacências.

MASCARÓ (1994) analisa a morfologia urbana e a ambiência dos edifícios, em uma pesquisa iniciada em 1992, que visa, em uma primeira etapa, estudar as modificações ambientais dos recintos urbanos, como consequência da morfologia dos conjuntos arquitetônicos - para em um segundo momento - associá-los à ambiência dos edifícios - no seu desempenho ambiental e energético. O trabalho analisa por medições no local, as seguintes variáveis, em nível urbano: a iluminância natural, a temperatura e a umidade relativa do ar. Analisa, ainda, os perfis e o tecido urbano, o sombreamento e a ambiência dos edifícios, na cidade de Porto Alegre-RS.

Este estudo foi uma das bases do livro “Ambiência Urbana” de MASCARÓ (1996), no qual se incluem no capítulo 4 - os resultados da dissertação de mestrado de WEINGARTNER (1994) - além de outros trabalhos - como os de : ROBINETTE (1972), OKE (1978), GANDEMER e GUYOT (1981). Nestes trabalhos, detalha-se a influência da vegetação nas escalas urbana e microclimática.

LOMBARDO (1997) afirma, que as condições humanas e biometeorológicas devem ser consideradas como as mais importantes no processo de planejamento urbano. Tem como proposta a introdução de um método mais simplificado, para avaliar as condições climáticas urbanas, que é qualitativamente descrito. Este método deve respeitar as diferenças espaciais do ambiente e a diferenciação climática local. O artigo, também, menciona os aspectos de urbanização e qualidade ambiental, as condicionantes geo-ecológicas urbanas e descreve as características do clima urbano, baseadas na teoria de MONTEIRO (1976). Conclui, destacando a necessidade de interdisciplinaridade neste processo proposto.

Outros artigos, de cunho mais acadêmico, acerca das “Ilhas de Calor”, se restringem a exames de caso, dentre os quais citam-se:

- i) FONTES e MATTOS (1997) que tratam de uma investigação climática em áreas de fundo de vale, na cidade de São Carlos-SP. A análise dos resultados medidos no local, mostra que essas áreas possuem um efeito de amenização do clima urbano devido a presença de água e matas ciliares;

- ii) DUARTE (1997) investiga a reposição de vegetação em áreas urbanas, através de uma relação diádica: a desmistificação de conceitos e a proposição de alternativas de reposição de vegetação tendo em vista o tipo e o rigor do clima da cidade de Cuiabá-MT. Apresenta um diagnóstico das áreas verdes e da arborização pública atual, na zona urbana, identificando as alterações sofridas nestes espaços ao longo da evolução da cidade, bem como, as conseqüências dessas transformações no clima urbano local. Na busca de alternativas, propõe algumas soluções, dentre as quais: a reposição de matas ciliares para unidades de proteção ambiental e para as unidades de manejo sustentável incluindo morros, hortos, rios e córregos;
- iii) SOUZA e MATTOS (1997) analisam o fenômeno das “Ilhas de Calor” e a geometria urbana, na cidade de São Carlos-SP. O objetivo do trabalho é verificar a existência de “Ilhas de Calor” na cidade e avaliar o papel da geometria urbana nos padrões térmicos urbanos. Durante de um ano foram comparados dados de elementos climatológicos, tais como: temperatura máxima, média e mínima do ar, oriundas de duas estações climatológicas uma localizada em área urbana (Câmpus da EESC-USP) e a outra na zona rural, onde se localiza a represa do Broa. Em etapa subsequente, verificou-se a influência da forma urbana sobre a temperatura do ar na altura do nível dos pedestres, através de monitoração no local. Os resultados indicam que apesar de existir a “Ilha de Calor” na cidade, a temperatura do ar ao nível dos pedestres é fracamente relacionada à geometria urbana;
- iv) NERY *et alii* (1997) apresentam uma primeira aproximação para o estudo do clima urbano em Salvador-BA que visa analisar os aspectos teóricos do zoneamento climático urbano. Fundamenta-se nos fatores topoclimáticos oriundos da morfologia do sítio natural. Levanta hipóteses a serem testadas, sobre as interferências na ventilação e radiação solar, na análise dos fatores topoclimáticos, que permitiram identificar uma primeira proposta de zoneamento climático, a saber: Litoral, Miolo e a Faixa da Baía de Todos os Santos. A quantificação dos elementos climáticos nestes locais, ainda não está concluída.

Finalmente, pode-se citar algumas pesquisas em andamento, nas quais a

vegetação já se apresenta como fator de mitigação do efeito das “Ilhas de Calor”, nas cidades do Rio de Janeiro (Posto 3 - Copacabana) e Fortaleza-CE, respectivamente elaboradas por CORBELLA e YANNAS (1997), SANTANA e LOMBARDO (1997).

b) Microclima do Edifício

A primeira reunião de pesquisadores do tema de conservação de energia nas edificações ocorreu em junho de 1989 no Simpósio Nacional de Conservação de Energia nas Edificações. Algumas pesquisas do PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - ocorreram de forma isolada até a promoção do Primeiro Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, elaborado pela ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído - em 1990. A partir de então foram elaborados mais três encontros dessa natureza respectivamente em 1993, 1995, 1997; nos quais se reuniram os pesquisadores do conforto no ambiente construído.

Salientam-se os esforços do NPC - Núcleo de Pesquisa em Construção e do LABCON - Laboratório de Conforto Ambiental, ambos de UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina - no sentido de divulgar o conhecimento acumulado na área de conservação de energia em edificações, através de minicursos como os de PEREIRA (1995) e LAMBERTS (1996), além de publicações como as de LAMBERTS *et alii* (1997) e GOULART *et alii* (1997).

A pesquisa mais recente é de POUHEY *et alii* (1998) que trata de um estudo de coberturas verdes e sua análise de desempenho térmico no Rio Grande do Sul. Este trabalho tem o objetivo de analisar o desempenho térmico de coberturas horizontais verdes, relativamente ao de coberturas tradicionais. Para tanto, foi construída uma bancada experimental, onde foram monitoradas, uma cobertura com vegetação e outra, também plana, com terraço. Os dados foram levantados em períodos de inverno e verão. A cobertura verde apresentou melhor resposta nas duas estações, pois em termos de temperatura superficiais, a externa registrou menor amplitude de variação, em ambas estações : a interna é menor no verão e praticamente igual à do terraço, no inverno. Quanto à temperatura do ar interno, a da cobertura verde no verão, é sempre menor e, no inverno, em dias de frio mais intenso, ela se torna superior ou igual à temperatura interna da cobertura tipo terraço.

Nestes anos de atividade de pesquisa na área, nenhum estudo abordou

concomitantemente luz e calor no edifício, especialmente no caso do uso funcional do paisagismo como sombreamento.

2.8.1.7 A Experiência de outros países

HOLM (1989) apresenta na escala da edificação, medições com solarímetros para avaliar as melhorias térmicas, tendo como objeto de pesquisa as trepadeiras vegetais em paredes do envoltório de residências localizadas na África do Sul. Utilizou o “software” DEROB para confrontar os resultados medidos e simulados, obtendo coeficientes de correlação na regressão linear da ordem de $r^2=0,93$ no verão e $r^2=0,97$ no inverno, a um nível de probabilidade de $p=0,0001$.

As trepadeiras utilizadas foram: “*Hedera helix*, *Parthenocissus tricuspidata*, *Parthenocissus quinquefolia* e *Vitis vinifera*”, que produziram temperaturas semelhantes no sombreamento do envoltório, com uma espessura de 0,20 m. Para edificações com inércia térmica leve, sob a ação de climas insulares quentes, durante o verão, a cobertura vegetal diminui a temperatura externa superficial em 5° C, na orientação norte. Internamente, a faixa de temperatura do ar foi reduzida na faixa de 17° C a 33° C, sem proteção vegetal, para o intervalo de 18° C a 28° C, com proteção vegetal quando submetidas à ação de temperaturas do ar externo na faixa de 21° C a 31° C. No inverno, a faixa de temperatura interna, sem cobertura vegetal, alterou-se da faixa de 10° C a 30° C para o intervalo de 12° C a 27° C com as trepadeiras, sob a ação de temperaturas do ar externo variando de 7° C a 18° C. Com valores da mesma ordem de grandeza, o fenômeno repete-se para a orientação oeste. Para edificações de inércia térmica leve e pesada, com o mesmo projeto, foram processadas simulações computacionais, nas orientações norte e oeste, sob a ação de climas Quente-úmido e Quente-seco, nas estações de verão e inverno. O melhor desempenho térmico ocorreu em edificações com inércia térmica leve no clima quente e seco, na face orientada para o norte com cobertura vegetal caducifólia.

NAYAK *et alii* (1982) apresenta diversas estratégias para resfriamento passivo de telhados para climas quente e seco do Norte da Índia, incluindo entre as estratégias a cobertura de solo e jardim nos telhados, aumentando a sua inércia térmica, que é a

estratégia mais conveniente para o clima Árido, atingindo uma diferença, entre o telhado mais pesado e o mais leve no horário de pico da temperatura externa, de até 20°C.

Na linha de alteração das cores mais claras ou mudança dos materiais para cobertura tem-se o trabalho de MAHAJAN e SRIVASTAVA (1991). Neste mesmo contexto têm-se os trabalhos de SUMAN e SAXENA (1992) para as condições climáticas da Índia, propondo diversas soluções de coberturas e dos seus tratamentos.

2.8.2 As Medições das Árvores

Inicialmente, TERJUNG e LOVE (1972) analisam a forma das árvores e o seu potencial quanto à radiação solar. Estudam diferentes formatos de árvores, reduzindo-os a sólidos geométricos simples, tais como esferas, cilindros, cones, cones reversos, e através de uma modelação matemática estudam o potencial da forma e da radiação solar através da transparência da copa em medições na escala diária.

McPHERSON e ROWNTREE (1988) analisam a forma de árvores para efeito de simulação e através de fotografias, classificando-as em: esfera, elipsóide vertical, parabolóide, cone e elipsóide horizontal.

BUENO *et alii* (1997) caracterizam o micro-clima de três espécies arbóreas: Cassia Carnaval (*Senna spectabilis var. exelsa*), Chuva-de-ouro (*Cassia fistula*) e Escova-de-garrafa (*Callistemon viminalis*). O local do experimento é o Sub-distrito de Barão Geraldo em Campinas-SP. Para o experimento, sob cada uma das espécies arbóreas, foi locado um tripé que sustentava um termômetro de globo e um psicrômetro a uma altura de 1,30m. A fim de comparar os dados, um quarto módulo foi disposto em campo aberto. Para cada dia de coleta, foram elaborados três gráficos: Temperatura Ambiente, Temperatura de Globo e Umidade Relativa. A medição foi efetuada durante o período de 8 dias, em Agosto de 1997, nos horários de 7:00 às 18:00h.

As conclusões indicam que a temperatura ambiente não foi grandemente afetada nas três espécies, mas em campo aberto apresentou maior amplitude, com queda significativa ao anoitecer. Nos dados da temperatura de globo, as espécies denominadas Escovas-de-Garrafa apresentam valores bastante elevados, evidenciando que a copa menos densa e que o tamanho das folhas influem diretamente no calor radiante. Também,

em relação à umidade relativa, essa espécie apresentou um comportamento distinto das outras, com variações maiores ao longo do dia. Assim, as demais espécies forneceram melhores condições de conforto térmico.

2.8.3 Aspectos da Transmissão de Radiação Solar

Uma das técnicas de se verificar a transparência das árvores é através da radiação solar, por medições no local deste elemento climatológico. Inicialmente os trabalhos de ANDERSON (1970), REIFSNYDER *et alii* (1971), GAY *et alii* (1971), FEDERER (1972), HUTCHISON (1977), WHITFIELD *et alii* (1982) e MYNEMI e INPENS (1985) estudam os efeitos da transparência à radiação solar em florestas ou conjunto de árvores.

BALDOCHI *et alii* (1986) estudam a variação sazonal estatisticamente em um reflorestamento de carvalhos.

Em nível urbano, TAHA *et alii* (1991) estudam os efeitos das “Ilhas de Calor” e o efeito “Oásis” das copas das árvores através da medição do micro-clima no local, incluindo além da radiação solar outros elementos climatológicos, tais como a temperatura e o vento.

Outros trabalhos realizam medições de campo através da radiação solar em espécies arbóreas isoladas com a finalidade de obter dados de transparência à radiação solar, tais como: GARDENER *et alii* (1987), SATTLER (1987,1993) e mais recentemente CANTÓN *et alii* (1994). No grupo de pesquisa argentino, do qual faz parte o último autor citado, obtiveram-se comunicações pessoais de CERRUTI (1995) que tratam do bloqueio da radiação solar incidente nas copas de quatro tipos de árvores decíduas, em “Mendoza”: “*Morus alba*, *Platanos acerifolia*, *Fraxinius excelsior* e *Melia azedarach*”, todas em ambiente urbano. Os resultados quantitativos que se obtiveram foram efetuados através de medições com solarímetros.

CANTÓN *et alii* (1995) apresentam um trabalho acerca da quantificação do efeito da arborização na malha urbana da cidade de “Mendoza”, indicando os resultados iniciais de um modelo analítico-computacional, com as mesmas árvores já citadas. O modelo matemático combina: a geometria solar de posição e o produto resultante da

interseção dos volumes de sombra nas fachadas das edificações. Para tanto, elaborou-se um “*software*”, validado por medições de campo, através de solarímetros, em duas medições diárias, mês a mês, às 10:00 h e 12:00 h, na escala de tempo solar.

2.9 Aspectos Lumínicos e Vegetação

a) Conceituação

Diversos são os componentes arquitetônicos para se usufruir ou proteger-se da iluminação natural, dentre eles: janela, óculo, seteira, poço de luz, lanternim, lítrio, *domus*, pátio, galeria, átrio, duto solar, beiral, água furtada, mansarda, *shed*, *bay-window*, clarabóia, *brise-soleil*, *light-shelf*, *muxarabi* e treliça, micro-persianas, pérgulas, clerestório, varanda e elementos vazados ou *cobogós*.

Acerca dos conflitos ou compromissos entre a Arquitetura Solar e a atenuação luminosa das árvores, YATES e McKENNAN (1989), alertam para a necessidade de um zoneamento solar para impedir os efeitos negativos do sombreamento de coletores solares e exemplifica com a legislação californiana através do “*California Solar Shade Control Act*” de 1978. Na seqüência, ressalta o uso positivo do sombreamento em locais de intensa radiação solar direta e exemplifica com valores da densidade visual de diversas árvores, feitos por WESTERGARD (*apud*, YATES e McKENNAN, 1989). Identifica os caminhos da luz difusa através de árvores. Comenta, ainda, sobre o controle da atenuação da luz no ambiente construído em termos de Arquitetura Solar. Ressalta a grande variedade de técnicas de medição da atenuação luminosa obtidas e os parâmetros medidos, dentre eles, os métodos que utilizam a radiação solar, a iluminância e a densidade de obstrução física das árvores. Os dois últimos métodos enquadram-se no escopo deste item utilizando aparatos para obtenção de dados lumínicos e fotografias. Salienta, também, a dificuldade das medições deste tipo, afirmando que não há uma maneira simples de efetuá-las, devido a grande gama de variáveis envolvidas.

Conclui que, apesar da parca quantidade de bibliografia sobre o assunto e a diversidade de metodologias de medição, há três situações básicas, a saber:

- i) quando há mecanismos ativos ou passivos incorporando painéis de coletores solares, é o caso de maximizar o acesso solar;
- ii) há necessidade de proteção, inclusive arbórea, se o objetivo é a eficiência

energética. Não se deve descartar a influência do acesso solar, modificando-o através de quebra-ventos no inverno, sombreamento no período de verão e evitando o efeito de ofuscamento oriundo do sol a baixas alturas.

- iii) quando o próprio edifício, na arquitetura solar passiva, é o “coletor”. Nesta situação o problema torna-se mais complexo do que quando se utiliza a climatização artificial ativa, pois a janela é o ponto de integração interior - exterior e fica em pauta um compromisso entre o desejo do usuário da vista exterior ou a necessidade de obstruções ao acesso solar. Descreve no corpo do trabalho um método de obstrução da radiação solar pela copa das árvores.

PEREIRA (1995), cita a classificação geral dos elementos de iluminação natural de BAKER *et alii* (*apud* PEREIRA, 1995), definindo-os e classificando-os em elementos de condução, elementos de passagem e elementos de controle. Também, classifica as aberturas através das suas características, a saber: função, tamanho, forma, posição, orientação e controles. Ainda propõe ferramentas de avaliação e projeto, dentre elas: métodos gráficos, modelagem matemática por computador e procedimentos experimentais com modelos em escala reduzida ou natural.

Nos itens seguintes relacionam-se trabalhos em que se empregam duas técnicas de medição (métodos fotográficos e métodos experimentais). O primeiro método trata de obter a transparência das árvores à luz solar através da luminância ou iluminância. O segundo método procura obter a transparência das copas arbóreas através da medição da radiação solar global horizontal na altura de um plano de trabalho.

b) Métodos Fotográficos

LAKSO (1976) descreve um método fotográfico, com câmera “*fish-eye*”, aplicado à macieiras e comparando-os com dados de radiação solar obtém o coeficiente de correlação entre os resultados de $r^2 = 0,87$.

Na mesma linha de atuação com fotos hemisféricas SALMINEN *et alii* (1983) comparam diversos métodos para a medição dos aspectos lumínicos das copas de árvores em condições de céu encoberto e céu claro. Os métodos utilizados, além das fotos hemisféricas foram: Lambda Radiométrico, Lambda Fotômetro, Lambda Quantum, descritos por SALAMINEN *et alii* (1983).

Também, com fotos hemisféricas, BALDOCHI *et alii* (1984) analisaram as variações sazonais do regime de radiação em uma floresta de carvalhos, que são árvores decíduas. E, o interesse foi estudar o curso anual de trocas de massa e energia tais como o vapor d'água, CO₂ e o balanço das radiações térmicas nas estações do ano.

WAGAR (1986) utiliza um método fotográfico com lente comum para verificar a densidade da copa, em árvores decíduas no inverno, comparando os resultados com os da técnica de medição da radiação solar.

SATTLER (1987) utilizou-se, também, do método de fotografias planas como alternativa para medição da radiação solar global. E obteve boa correlação entre ambas. Elaborou um programa de simulação computacional e aplicou-o em habitações de interesse social situadas no Rio Grande do Sul. O programa denomina-se THEDES. As árvores monitoradas com aquisição direta de dados de radiação solar global foram da espécie *Prunus kanzan*, na Inglaterra.

Também, com fotos planas GARDENER *et alii* (1987) analisam a capacidade de sombreamento através de três câmeras fotográficas posicionadas entre um painel e a árvore, paralelamente aos ângulos de incidência de luz solar e trabalha os resultados com a densitometria das fotos.

Neste contexto do tratamento de imagens, tem-se o trabalho de BARRIE *et alii* (1990), também utilizando fotos hemisféricas e leitura por transparências com as máscaras da projeção adotada pela câmera. A leitura é manual e efetuada através de um malha superposta à foto.

WILKINSON (1991) estuda a atenuação luminosa e caracteriza, com uso do fotômetro Universal Hagner, sete tipos comuns de árvores na Inglaterra, com dados de campo obtidos em dois anos de medições.

Para encerrar a revisão, WILKINSON *et alii* (1991) confirma que é viável o uso de fotos para medição da atenuação luminosa de árvores com folhas, embora dificultadas, pela grande gama de variáveis envolvidas.

Compara resultados das fotos planas e por fotometria obtém alta correlação com o valor de $r^2 = 0,89$ para $p < 0,01$. Este resultado é obtido para situação de céu encoberto, onde minimiza-se o efeito da radiação solar direta.

c) Métodos Experimentais

Dentre as pesquisas nacionais, salienta-se o trabalho de WEINGARTNER (1994) que analisa o efeito termo-luminoso do sombreamento da arborização urbana de Porto Alegre-RS.

Como documentação indireta, utilizou-se de mapas aerofotogramétricos e dados de elementos meteorológicos de estação climatológica, no período de maio de 1991 a abril de 1992, dentre os quais: a temperatura e umidade relativa do ar.

A documentação direta foi obtida por trabalho de campo com as variáveis de desempenho ambiental (luminoso e termo-higrométrico). Para a medição, no local do registro fotográfico do hemisfério horizontal, foi utilizado um aparato desenvolvido para tanto, semelhante ao globoscópio de PLEIJEL (*apud* HOPKINSON *et alii*, 1975).

As árvores analisadas sazonalmente são decíduas e foram monitoradas 4 espécies: “*Jacaranda mimoseafolia*, *Melia azedarach*, *Lagerstroemia indica* e *Tipuana tipu*”, que são comuns em Porto Alegre-RS.

Alguns resultados da transparência à luz natural, podem ser visualizados na tabela 2.1, conforme sintetiza MASCARÓ (1996), baseando-se na dissertação de mestrado de WEINGARTNER (1994).

Tabela 2.1 Transmissividade à luz de árvores nativas, segundo MASCARÓ, 1996

Transmissividade à luz natural	<i>Jacaranda mimoseafolia</i>	<i>Jacaranda mimoseafolia</i>	<i>Tipuana tipu</i>	<i>Tipuana tipu</i>
NEBULOSIDADE	Dia nublado	Dia ensolarado	Dia nublado	Dia ensolarado
PRIMAVERA	-	13,7%	19,6%	11,5%
VERÃO	20,9%	4,3%	20,6%	4,6%
INVERNO	-	22,5%	-	42,5%

2.10 Aspectos Ambientais e Escolas

O trabalho pioneiro no Brasil que trata do desempenho térmico de habitações, e escolas apresentado como manual de procedimentos para o Estado de São Paulo, foi elaborado por AKUTSU *et alii* (1987) no IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de

São Paulo. Adota o critério de FANGER (1972) para o conforto térmico e os limites do PMV- Voto Médio Estimado ou "*Predicted Mean Vote*"- entre -0,82 e +0,82 correspondendo a um PPD - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas ou "*Percentage of People Dissatisfied*" de 20%.

Para escolas de primeiro e segundo graus há uma série de manuais elaborados como indicação e orientação qualitativa para projetos arquitetônicos, ergonômicos, paisagísticos e dos projetos complementares; visando uma padronização das condicionantes e soluções de projeto, que foram elaborados pela FDE- FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO (1990).

A experiência argentina sobre projetos bioclimáticos de escolas, para as diversas zonas climáticas deste país, é apresentada em uma coletânea de projetos elaborados por estudantes de Arquitetura e editada por EVANS e SCHILLER (1990). Esses projetos enfatizam o conforto ambiental, principalmente as condicionantes térmicas e lumínicas.

Para universidades, como no caso da USP- Universidade de São Paulo- considerando-se a necessidade de padronização, o FUNDUSP (1991) elaborou uma série de manuais, com as mesmas finalidades da FDE. Em ambos, as referências às condicionantes ambientais de luz, som e calor são consideradas qualitativamente, dentre as inúmeras outras variáveis condicionantes para projetos arquitetônicos e complementares.

BOEMEKE *et alii* (1995), apresentam uma análise do desempenho térmico de um protótipo escolar em argamassa armada, concebido pela CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre-RS. Utilizou-se na metodologia: medições no local e simulação computacional, com o "*software*" NBSLD do NBS - "*National Bureau of Standards*".

ALVAREZ (1995) apresenta alguns procedimentos para análise e avaliação da iluminação em ambientes escolares, em termos qualitativos através de conceituação a partir de levantamento bibliográfico e da sistematização de procedimentos para projetos.

ARAÚJO *et alii* (1995) avaliam o desempenho térmico dos setores de aula do Câmpus da UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. A metodologia empregada foi a de medição no local e do estudo comparativo com os elementos climatológicos. Os autores chegam a propor alterações visando melhorar o desempenho ambiental em nível de projeto de adaptação.

MASCARÓ *et alii* (1995) apresentam o consumo energético dos edifícios universitários e seu desempenho, visando o seu uso racional, na UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Os resultados indicam que a parcela do consumo de energia elétrica que corresponde ao setor de edificações é da ordem de 35%, sendo despendido com iluminação artificial o montante de 17,5%. Em edifícios de ensino, o consumo de energia elétrica para a iluminação artificial corresponde a 85% do consumo mensal do prédio e 7% são devidos ao condicionamento artificial.

SILVA e GIRALT (1995) determinam o nível de ofuscamento no protótipo da Escola Felipe de Oliveira, situada em Porto Alegre-RS. A pesquisa envolve o nível de ofuscamento causando pelo contraste e/ou saturação de iluminação natural, nas salas de aula. Foram efetuadas medições no local, com luxímetros e luminancímetros, cujos resultados apresentam índices de ofuscamento elevados, às vezes intoleráveis. A partir desta averiguação foram sugeridas medidas para atenuar tais problemas.

ROSENFELD *et alii* (1995) apresentam propostas de melhoramento da eficiência energética e da habitabilidade de dois edifícios escolares, localizados em “*La Plata*”, através de um projeto de extensão da “*Universidad Nacional de La Plata*”. O trabalho envolve a melhoria dos edifícios escolares de primeiro e segundo graus, através das variáveis tecnológicas, econômicas e ambientais; atuando sobre a habitabilidade e racionalidade energética.

SAN JUAN e ROSENFELD (1995) tratam do projeto bioclimático de edifícios de uso descontínuo para a Educação, em “*Buenos Aires*”. Como exemplo expõe-se a caracterização do nível pré-escolar em diferentes regiões bioclimáticas da província de “*Buenos Aires*”.

ROSA *et alii* (1995) analisam o ambiente termo-luminoso em escolas primárias do oeste argentino, em “*Mendoza*”, considerando a realidade atual e as oportunidades de melhorias, através da análise de um caso típico. Com diversas estratégias bioclimáticas e tecnológicas, melhoram-se as condições termo-luminosas e a conservação energética atingiu os valores de 89% para a calefação e 37% para iluminação.

YANNAS (1995) trata de edifícios educacionais na Europa, através da ótica de sustentabilidade ambiental e do projeto arquitetônico.

MAGALHÃES (1997) apresenta e avalia soluções de projeto para iluminação natural em edificações escolares situadas no Rio de Janeiro. Foram efetuadas medições

da luz difusa que penetra no ambiente por diferentes tipos de aberturas na fachada sul e da luz direta difundida por prateleiras de luz na fachada norte. Utilizou-se um modelo reduzido, no exterior, sob as condições naturais de luminosidade da abóbada celeste. A combinação dos valores obtidos nas duas medições permitiu obter uma iluminação adequada, sob o aspecto normativo, variando-se a inclinação, a posição das prateleiras de luz, bem como as dimensões e tipos de aberturas. Foi utilizada a simulação computacional com o programa RADLITE desenvolvido para avaliar os efeitos de “*light-shelves*”, na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

2.11 Considerações sobre os Aspectos Termo-Luminosos

Independentemente da vegetação e dos aspectos térmicos, os aspectos lumínicos através de vários coeficientes podem ser vistos nos trabalhos de TREGENZA (1980).

LITTLEFAIR (1989) com o intuito de aplicações computacionais em programas de simulação do desempenho lumínico, pesquisa a correlação de diversos índices de iluminância interna e externa. Assim, todos tratam da crítica e da obtenção de índices mais representativos da realidade que o FLD - Fator de Luz do Dia - envolvendo os hemisférios verticais externos e os horizontais internos.

Na escala das edificações e do seu entorno imediato, no tocante aos aspectos térmicos, MEIER (1991) afirma que a cuidadosa disposição da vegetação, já de longa data tem sido reconhecida como um meio de resfriamento do ambiente construído. Entretanto, para a quantificação da conservação de energia de condicionamento artificial, afirma que não tem sido largamente reconhecida, nem quantificada.

Os estudos apresentados neste artigo, tratam de diversas estratégias paisagísticas em climas com características diferentes, além de uma grande variedade de métodos de monitoramento e instrumentação. Afirma, também, que esses estudos são geralmente divulgados com pouca documentação e que isto dificulta a sua aplicação para modelos de simulação e outras situações. Reforça a necessidade de pesquisas futuras para criar uma base de dados significativa, acerca dos monitoramentos.

Define como continuidade destas pesquisas, aquela que incluisse a análise de mais edifícios, diferentes combinações de arranjos de vegetação e cuidadoso monitoramento no caso da temperatura e do uso de energia quando se utiliza climatização e iluminação

artificiais.

O experimento mais importante na opinião de MEIER (1991) seria aquele que apenas um mesmo edifício pudesse ser monitorado comparativamente com e sem vegetação, alertando para os aspectos referentes aos conflitos na manutenção entre o paisagismo e a edificação.

Para as medições no local da presente pesquisa, procurou-se adotar uma situação corriqueira no Brasil, a falta de condicionamento artificial em edificações escolares, nas quais o paisagismo pode ser efetivamente útil sob os aspectos térmicos. Assim, na questão do equacionamento dos aspectos térmicos e lumínicos em ambientes não climatizados ou climatizados artificialmente, quando incluem-se obstruções externas para sombreamento, tais como árvores, reside o ponto central do desenvolvimento desta tese, pois os estudos anteriores não mencionam os efeitos do sombreamento na eficiência lumínica da edificação.

Além disto, foram utilizados procedimentos computacionais de tratamento de imagens das árvores e dos hemisférios verticais das salas de aula, além de simulação computacional paramétrica, para a determinação de dados acerca, respectivamente, da transparência das árvores e da determinação de situações ótimas no paisagismo com árvores. Visa-se a obtenção de dados acerca dos conflitos e compromissos com a conservação de energia, adotando-se como premissa o conforto do usuário. Tal procedimento, torna-se de grande valor, quando efetuado em escolas de quaisquer níveis, pois as atividades didático-pedagógicas nelas desenvolvidas sofrem diretamente a influência das variáveis energético-ambientais na qualidade do desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem, principalmente, se ainda efetuar-se a análise da conservação de energia elétrica despendida na iluminação artificial ou na climatização artificial.

LOVE e NAVVAB (1993) tratam do estudo e análise de diversos índices de iluminância.

O uso de fotografias dos hemisférios verticais externos, com o tratamento computacional das imagens, visando determinar a percentagem de obstrução física externa, que poderia ser denominada como densidade de obstrução, pode ser um indicativo de uma metodologia adequada para ambientes construídos como obstruções externas, que são situações corriqueiras em áreas urbanas, conforme descrevem

PIETROBON *et alii* (1997).

Quando esta metodologia de estudo dos aspectos lumínicos puder ser analisada em conjunto com os aspectos higro-térmicos do ambiente construído, haverá um implemento adequado para a determinação dos aspectos conflitantes ou de compromisso entre ambos, na ausência ou presença de climatização artificial.

O tratamento computacional de imagens, obtidas por digitalização de fotos das árvores, medidas em três posições verticais com inclinações e distâncias fixas para cada exemplar, quando confrontados, podem indicar uma simplificação nos métodos de medição da transparência das árvores.

O uso de simulação computacional para casos paramétricos pode servir como um indicador para o hemisfério sul, com suas peculiaridades, além de quantificar dados e resultados sobre aspectos funcionais e bioambientais da vegetação, especialmente em salas de aula, conforme PIETROBON *et alii* (1997A).

Tendo em vista os diversos procedimentos citados nesse item, convém apresentar um resumo dos sistemas a serem analisados, no exame de caso desta Tese, que constituem uma indicação da metodologia a ser adotada no capítulo seguinte.

2.12 Os Sistemas a Serem Analisados

As análises conjuntas dos aspectos Termo-Lumínicos ainda não foram efetuadas na forma proposta nesta tese, na escala do edifício. Ressalta-se a importância desta análise, especialmente, em ambientes escolares, cujas atividades didáticas neles desenvolvidas necessitam de uma adequação, para o seu correto desempenho.

Desta forma definem-se cinco subsistemas a serem estudados, segundo a justificativa acima descrita. Isso se faz necessário para um completo entendimento dos conflitos e compromissos nos aspectos Termo-Lumínicos no Câmpus-Sede da UEM, podendo servir como subsídios para ela e outras escolas. São eles:

- i) Externamente, o topoclima definido pela ECPM - Estação Climatológica Principal de Maringá, situada dentro do Câmpus-Sede, em termos dos aspectos térmicos, que sofrem pouca interferência da ação antrópica no meio ambiente devido à pequena distância entre os edifícios em estudo e a respectiva Estação Climatológica Principal;

-
- ii) Externamente, o espaço intermediário entre a vegetação e o edifício, sob o aspecto de energia ambiental lumínica, através da medição no local da luminância e da iluminância, no qual tais grandezas são comparadas através do tratamento computacional de imagens dos hemisférios verticais externos, de essências arbóreas isoladas, fotografados com lente “*semi-fish eye*” e de exemplares arbóreos pilotos monitorados mensalmente em condições de nebulosidade acima de 9 décimos céu. Este espaço sendo assim monitorado juntamente com os aspectos descritos no item anterior, possibilitam a definição dos conflitos entre os aspectos Termo-Lumínicos nas edificações, em seu entorno imediato e a procura dos compromissos entre eles;
 - iii) O jardim, através das essências arbóreas, como elementos sombreadores dos edifícios e difusores da radiação solar e luminosa, considerando a análise de quatro espécies de árvores, pela luminância e iluminância: Ipê-Roxo, Ipê-Amarelo, Sibipiruna e Flamboyant. Assim, possibilita-se a continuidade do estudo do item anterior e faz-se necessário conhecer a transparência mensal das árvores e as suas variações fenológicas durante um ano, possibilitando conhecer o ciclo anual completo de cada espécie arbórea estudada;
 - iv) A análise de três sistemas construtivos de edifícios que se submetem a influência dos três subsistemas anteriores através do conforto térmico e da iluminância interna, por medição direta das variáveis termo-lumínicas envolvidas, com instrumentação simplificada. Assim, visa-se obter dados da situação real. Fez-se necessário também, a modelagem de salas de aula nas quais permite-se apenas o fluxo Termo-Lumínico pelos paramentos verticais externos opacos e translúcidos, básicos para a simulação computacional paramétrica;
 - v) Finalmente, a simulação computacional de casos paramétricos, visa obter dados e relações para análise do consumo elétrico total e desagregado, a fim de definir os conflitos e compromissos entre os aspectos termo-lumínicos nas edificações sombreadas e climatizadas, visando uma possível otimização entre esses aspectos.

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Sumário metodológico	84
3.2. Descrição das etapas metodológicas	85
3.2.1. Primeira Etapa: Definição da situação de referência e escolha da amostra	85
3.2.2. Segunda Etapa - Medição no local das variáveis termo-lumínicas para o Verão	100
3.2.2.1 Medição da Temperatura Superficial do Forro	104
3.2.2.2 Medição da Velocidade do Ar nas Janelas Centrais e na Porta....	105
3.2.2.3 Medição da Iluminância Interna e Externa.....	105
3.2.3. Terceira Etapa - Medição no local das variáveis termo-lumínicas para o Inverno.....	109
3.2.4. Quarta Etapa - Medição de Transparência das Árvores através da Luminância e do Tratamento Computacional das Imagens	111
3.2.4.1 Medidas de Luminância do conjunto de árvores	111
3.2.4.2 Tratamento Computacional das imagens das árvores.....	112
3.2.5. Quinta Etapa - Simulação Paramétrica com o “ <i>software</i> ” visual DOE	114
3.2.5.1 Levantamento de dados climáticos externos e elaboração do ano típico de referência- “ <i>Test Reference Year</i> ”	122
3.2.6 Sexta Etapa: Levantamento dos conflitos e compromissos termo-lumínicos.....	124

3.1. Sumário metodológico

A presente tese trata de uma pesquisa exploratória de caráter sistêmico, na qual se busca um possível ponto de otimização entre as variáveis térmicas e lumínicas levando em conta o conforto térmico e a eficiência luminosa em ambiente escolar sombreado por árvores. Iniciou-se através de uma medição no local, posteriormente devido ao desempenho atípico do clima, efetuaram-se medições da luminância dos hemisférios externos e hemisférios internos para quantificar os conflitos entre luz e calor.

Complementarmente, elaborou-se um aparato para a medição da luminância de grupos de árvores e árvores isoladas visando obter um índice de transparência médio durante as medições térmicas mensais e pelo período de um ano, para ser empregado na definição dos conflitos e compromissos termo-lumínicos através de simulação computacional paramétrica. No presente sumário metodológico apresentam-se as estratégias adotadas que serão posteriormente descritas nos itens subsequentes. São elas:

- i) Definição da situação de referência e escolha da amostra, onde se explicitam a situação climatológica da localidade estudada e descrevem-se as amostras de edifícios e árvores para medição no local, visando obter orientações de edifícios para os oito pontos cardeais e colaterais. Além disso buscou-se a escolha de 3 padrões de edificações existentes com sistemas construtivos diferentes, com intuito de compará-los entre si, visando conhecer a melhor opção;
- ii) Segunda etapa: Medição no local das variáveis termo-lumínicas da situação de verão incluindo o tratamento computacional das imagens do hemisfério vertical externo;
- iii) Terceira Etapa: Medição no local das variáveis termo-lumínicas da situação de inverno incluindo o tratamento computacional das imagens do hemisfério vertical externo;
- iv) Quarta Etapa: Definição do método de obtenção do índice de transparência das essências arbóreas através das medidas de luminância e do tratamento computacional das imagens. Para tanto foi construído um aparato para obtenção da transparência das árvores através da luminância anterior e posterior às árvores. Além disto, efetuou-se a medição no local da transparência mensal de um exemplar de cada espécie de árvore através da luminância e do aparato

construído visando a obtenção de dados mensais para acompanhamento de estado fenológico das árvores durante o período de um ano, complementados por mais 3 meses para definição da repetibilidade do método;

- v) Quinta Etapa: Simulação computacional dos casos paramétricos, de modelos de salas de aulas visando obter o consumo total e final desagregado de energia elétrica dos edifícios escolares e suas variações através do “*software*” visualDOE 2.5, além dos parâmetros que mais influenciam nessa relação. Efetuou-se o levantamento de dados climáticos externos e elaboração do ano típico de referência - “*Test Reference Year*”- para a obtenção dos elementos de clima a serem usados no processamento computacional paramétrico;
- vi) Sexta Etapa: Levantamento dos conflitos e compromissos entre os aspectos termo-lumínicos e as possíveis tentativas de otimização.

3.2. Descrição das etapas metodológicas

3.2.1. Primeira Etapa:- Definição da situação de referência e escolha da amostra

Adotou-se uma amostra de salas situadas em 4 blocos de forma a possuir uma sala para cada orientação cardinal (Norte, Sul, Leste e Oeste), e para cada orientação colateral (Nordeste, Sudeste, Sudoeste e Noroeste).

Para o Subsistema do Espaço Arquitetônico, nele compreendendo o envoltório das salas monitoradas, têm-se os valores discriminados nos Quadros 3.1, 3.2 e 3.3 a seguir comentados.

No Quadro 3.1 as propriedades termo-físicas da amostragem de verão foram obtidas através do módulo de propriedades térmicas de componentes do “*software*” ARQUITROP desenvolvido por RORIZ e BASSO (1991), no qual associam-se em série as camadas dos componentes. As características da ventilação efetiva foram medidas no local durante o monitoramento das salas, e as absortâncias para a radiação solar foram obtidas no Manual de FROTA e SCHIFFER (1995).

Quadro 3.1 - Características das Propriedades Termo-Físicas da Amostra de Verão.

Bloco	Vedação Externa					Cobertura		
Grandeza	U (W/m ² K)	Dens. Sup. (kg/m ²)	α	Área de Vent. de Portas (m ²)	Área de Vent. de Janelas (m ²)	U (W/m ² K)	α	Dens. Sup. (kg/m ²)
M05	2,10	110	0,30	2,10	2,52	1,43	0,80	142
D34	1,26	96	0,20	2,10	1,35	1,57	0,85	250
E46	1,33	56	0,20	2,42	2,40	0,79	0,65	51
E34	1,33	56	0,20	2,42	2,40	0,79	0,65	51

Segundo os dados do processamento do software ARQUITROP, acerca da inércia térmica dos componentes de vedação e cobertura têm-se que:

i) Vedações:

Para o bloco M05, com vedação em blocos de concreto aparentes o tempo de retardo é de 2,85 h e o amortecimento é de 53%. No bloco D34, cuja vedação é feita de blocos cerâmicos com 6 furos e revestida em ambas as faces, o tempo de retardo é de 3,47 h e o amortecimento é de 60%;

Nos blocos E46 e E34, ambos com mesmo sistema construtivo, em blocos cerâmicos aparentes internamente com 4 furos o tempo de retardo é de 2,09 h e o amortecimento é de 42%;

ii) Coberturas:

Para o bloco M05, cuja cobertura é composta por telhamento cerâmico e o forro em laje pré-moldada em concreto e cerâmica, o tempo de retardo é de 2,04 h e o amortecimento é de 41%;

No bloco D34 onde o telhamento é feito com cimento amianto e o forro é de concreto armado aparente, o tempo de retardo é de 4,66 h e o amortecimento é de 70%. Nos blocos E46 e E34, o tempo de retardo é de 3,04 h e o amortecimento é de 59%. Nos quadros 3.2 e 3.3 apresentam-se dados da amostra de inverno.

No Quadro 3.2 as propriedades termo-físicas da amostragem de inverno foram obtidas nas mesmas fontes bibliográficas que as do verão, já citadas anteriormente.

Quadro 3.2 - Características das Propriedades Termo-Físicas da Amostra de Inverno.

Bloco	Vedação Externa					Cobertura		
	U (W/m ² K)	α	Dens. Sup. (kg/m ²)	Área de Vent. de Portas (m ²)	Área de Vent. de Janelas (m ²)	U (W/m ² K)	α	Dens. Sup. (kg/m ²)
M05	2,10	0,30	110	2,10	1,26	1,60	0,80	142
D34	1,26	0,20	96	2,10	1,35	1,79	0,85	250
E46	1,33	0,20	56	2,42	2,40	0,84	0,65	51
E34	1,33	0,20	56	2,42	2,40	0,84	0,65	51

Para esta amostra de inverno, os valores que mudam em relação aos de verão são os da transmitância global da cobertura, devido aos sentidos diferentes do fluxo térmico convectivo na camada horizontal de ar do ático.

Os demais valores não se alteram devido ao sistema construtivo ser o mesmo que no verão. Com relação ao entorno imediato a cobertura arbórea é diferente para cada sala das amostras de verão e inverno.

A amostra de verão, foi feita para condições de medição em salas com orientação em sentidos opostos, nos 8 pontos cardeais e colaterais a fim de se avaliar a influência da orientação dos edifícios e do seu entorno imediato no desempenho termo-lumínico, em condições reais de uso, exceto a presença de usuários, por problemas operacionais entre a medição e as atividades didáticas.

Para a amostra de inverno, adotou-se a medição aos pares de salas com orientação de mesmo sentido nos blocos com obstrução arbórea significativa, a fim de se avaliar a densidade de obstrução em edificações com o mesmo sistema construtivo, mantendo-se o edifício M05 como piloto, sem obstrução arbórea significativa e com a mesma sistemática de medição do verão. No inverno, abandonou-se a medição do bloco D34, de 3 pavimentos devido ao péssimo desempenho no verão a proteção arbórea insignificante, pois as salas de aula situam-se no terceiro pavimento.

Apresentam-se, também, no quadro 3.3 as características geométricas dos elementos de iluminação natural das salas monitoradas nos períodos de verão e inverno.

É importante salientar que no bloco E46 há duas tipologias de janelas diferentes entre as salas 1 e 2 e as salas 5 e 6. Também, as profundidades das salas, no sentido ortogonal ao plano das janelas varia pouco, entre 5,87m a 6,41m, se desconsiderarmos

as salas 1 e 2 do bloco E46, que possuem um chanfro no canto das paredes externas, correspondendo a uma profundidade de 5,10m. As medições foram efetuadas no centro da sala.

Quadro 3.3 Características Geométricas das Amostras de Verão e Inverno

Blocos	Área de Janelas (m ²)	Área de Salas (m ²)	Razão entre a Área de Iluminação e a do piso (%)	Salas	Profundidade (m)
M05	10,93	63,27	17,3	7 e 10	6,41
D34	17,90	56,06	31,6	205 e 206	5,87
E46	16,56	57,53	28,8	5 e 6	5,88
E46	12,42	54,42	22,8	1 e 2	5,10 a 5,80
E34	16,56	56,67	29,2	5,6,9 e 10	5,89

Para as condições de verão e inverno o valor do fluxo horizontal de calor não varia para as paredes, apresentando o maior valor de Transmitância Térmica Global - U (W/m² K) para o edifício M05 que é constituído de blocos vazados de concreto, sem revestimento, atingindo o valor de 2,10 W/m² K e para os demais edifícios este valor apresenta-se decrescendo de 1,33 W/m² K para os blocos E46 e E34 até de 1,26 W/m² K para o bloco D34.

A Absortância à radiação solar tem valores muito próximos nas paredes externas devido às cores claras, sendo de cor creme para o edifício M05 e branca nos demais, correspondendo respectivamente a valores de α entre 0,30 e 0,20.

Quanto à Densidade Superficial das paredes opacas, o maior valor é de 110 kg/m² para o edifício M05, na sequência este valor decresce para 96 kg/m² no bloco D34 e ainda 56 kg/m² nos blocos E46 e E34.

Quanto à área de ventilação efetiva de janelas e portas, que dependem da tipologia das aberturas, o bloco D34 tem o menor valor para as janelas, correspondendo a 1,35 m², contra 2,10 m² para a porta. A maior área efetiva de ventilação corresponde às janelas do bloco M05 com o valor de 2,52 m² contra o valor de 2,10 m² para a porta. Os valores intermediários correspondem aos blocos E46 e E34 com 2,40 m² para a ventilação efetiva das janelas e de 2,42 m² para a da porta, nas salas 5 e 6. Nas salas 1 e

2 do bloco E46, este valor decresce para $1,80 \text{ m}^2$ nas janelas e mantém-se o valor de $2,42 \text{ m}^2$ para a porta.

Na relação entre a área das janelas e a do piso da sala, o menor valor corresponde a 17,3% para o bloco M05 e o maior valor ocorre no bloco D34 correspondendo a 31,6% e intermediariamente para as salas 5 e 6 dos blocos E46 e E34 com 28,8%. Nas salas 1 e 2 do bloco E46 tem-se o valor de 22,8%.

Para a cobertura, os valores de Transmitância Térmica Global diferem no caso de verão e de inverno, devido ao sentido da transmissão de calor convectiva na camada de ar do ático da cobertura.

Na situação de verão o maior valor de U , corresponde a $1,57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ para o bloco D34, na seqüência o bloco M05 apresenta $1,43 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ e os blocos E46 e E34 têm o valor de $0,79 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

A absorptância à radiação solar das coberturas segue a mesma seqüência anterior com os valores de 0,85 para o bloco D34, 0,80 para o bloco M05 e 0,65 para os blocos E46 e E34.

A Densidade Superficial das coberturas, também mantém-se na mesma ordem anterior, com 250 kg/m^2 para o bloco D34, 142 kg/m^2 para o bloco M05 e para os blocos E46 e E34 tem-se o valor de 51 kg/m^2 .

Na situação de inverno mantém-se as características anteriores, exceto para a Transmitância Térmica Global, tendo-se para o bloco D34 o valor de $1,79 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, para o bloco M05 o valor de $1,60 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ e para os blocos E46 e E34 é $0,84 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Para as condições de Verão (dezembro, janeiro, fevereiro), processando-se o “software” ARQUITROP, e considerando-se os valores de exposição climática, segundo as Normais Climatológicas da cidade de Maringá, têm-se, em termos de distribuição do fluxo térmico no ambiente sem considerar as obstruções externas:

- i) Nos blocos sem obstrução arbórea, o bloco D34 apresenta as janelas como ponto de maior penetração de calor e no bloco M05 é pela cobertura. Estas considerações são válidas para as salas em ambas as orientações opostas;
- ii) Nos demais blocos e orientações (E34 e E46), as janelas se apresentam como o ponto onde há maior penetração de calor.

Para as condições de Inverno têm-se, nos blocos sem proteção arbórea:

- i) No bloco D34 , na sala 205 com orientação NE, as janelas são o ponto de maior penetração do fluxo térmico e na sala 206 de orientação SW isto acontece pela cobertura. No bloco M05 as mesmas considerações são válidas respectivamente para as salas 07 com orientação N e 10 com orientação S ;
- ii) Nos demais blocos e orientações (E34 e E46) as janelas são o ponto de maior acesso térmico no ambiente interno, o que justifica a adotar proteção contra o sol , com critério conservativo, diferenciando-a para o verão e inverno.

Quanto ao Subsistema da Locação, neste trabalho levou-se em conta a contiguidade da proteção arbórea nas edificações E46 e E34, sendo que nos blocos M05 e D34 a presença das árvores não é significativa.

Para medição da altura das árvores e da sua bifurcação foi utilizada uma régua retrátil DURKON (RrD). A leitura do diâmetro do tronco foi efetuada na altura de 1.30m com trena topográfica.

Com a mesma trena foram levantados os diâmetros longitudinais da copa, a distância até as edificações e os espaçamentos entre as árvores. Nesta mesma etapa, utilizou-se um teodolito ZEISS, para obtenção da orientação dos edifícios e do Norte Magnético, com a posterior correção através da carta de declinação magnética do Brasil para obter-se o Norte Verdadeiro.

i) Levantamento de elementos climáticos externos.

Utilizam-se as planilhas das leituras diretas e fichas dos aparelhos registradores dos elementos de clima da Estação Climatológica Principal de Maringá, situada dentro do Câmpus-sede da Universidade Estadual de Maringá. Nesta estação meteorológica são efetuadas medidas diretas dos elementos de clima das 10 TMG às 02 TMG que correspondem em horário legal das 7:00 às 23:00 h.

Nos demais horários podem ser obtidos dados nas fichas dos aparelhos registradores. A estação meteorológica não mede dados lumínicos e não trata os dados de radiação solar, e a sua principal função é o registro dos dados sinóticos as 12,18 e 24 TMG - Tempo Médio de Greenwich. Os seus objetivos são a previsão do tempo e o fornecimento de dados para a Agricultura.

Apresenta-se na figura 3.1 a marcha horária da temperatura externa durante o período de medição no Inverno. Neste caso, o inverno não é rigoroso, tendo como dias típicos muito variáveis, segundo metodologia de AKUTSU *et alii* (1987), na frequência acumulada das TBS mínimas, conforme os dados de PIETROBON (1990), apresentados na figura 3.3, no qual ocorrem valores de dias mais frios que 20% até 80%, mostrando-se atípico e instável este período.

De acordo com a classificação climática de KÖEPEN, o verão, neste período, apresentou-se chuvoso, o que pode ser visualizado na figura 3.2, onde por penetração de frentes frias ocorriam quedas bruscas de temperatura associadas a uma elevação da umidade relativa, ambas externas obtidas com dados horários da ECPM/UEM.

Considerando os valores das temperaturas máximas do ar, no verão, e o critério de dia típico definido por AKUTSU *et alii* (1987), além do levantamento dos dados de dias típicos locais feitos por PIETROBON (1990), apresentam-se na figura 3.4, que o período de medição caracterizou-se pela probabilidade de ocorrência de 20% a 60% de dias mais quentes, sendo uma situação atípica e instável.

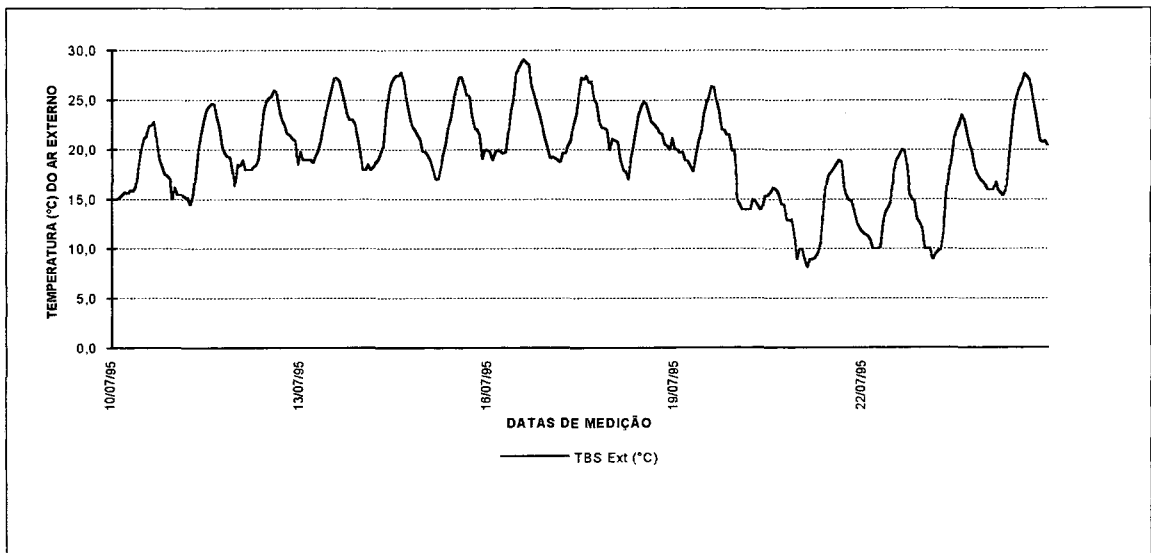


Figura 3.1 Marcha horária da temperatura do ar externo na medição de Inverno.

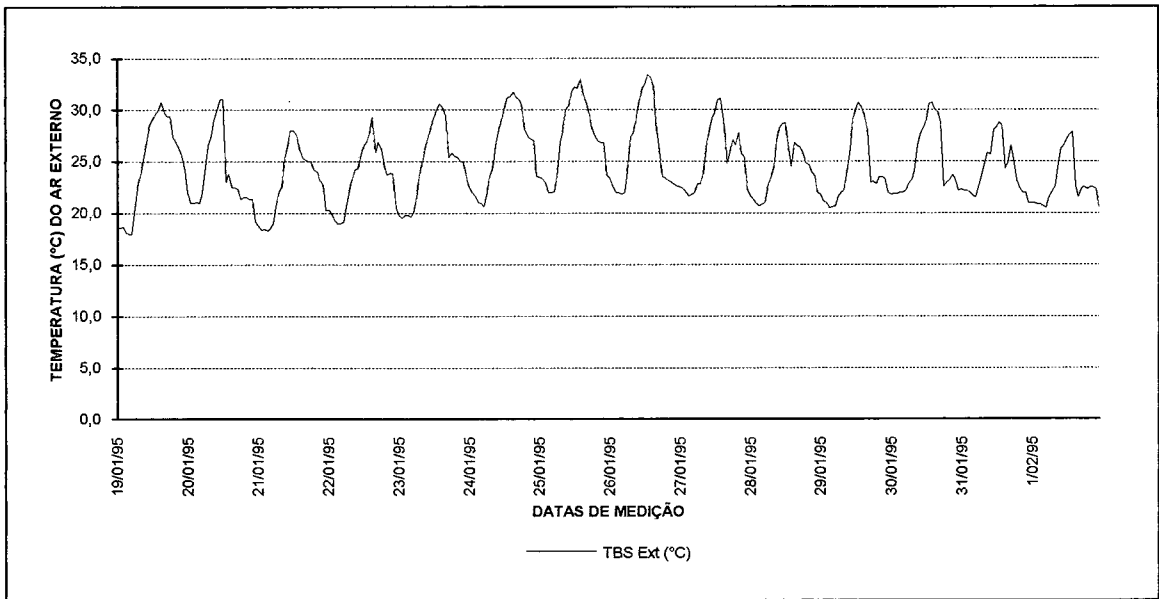


Figura 3.2 Marcha horária da temperatura do ar externo na medição de Verão.

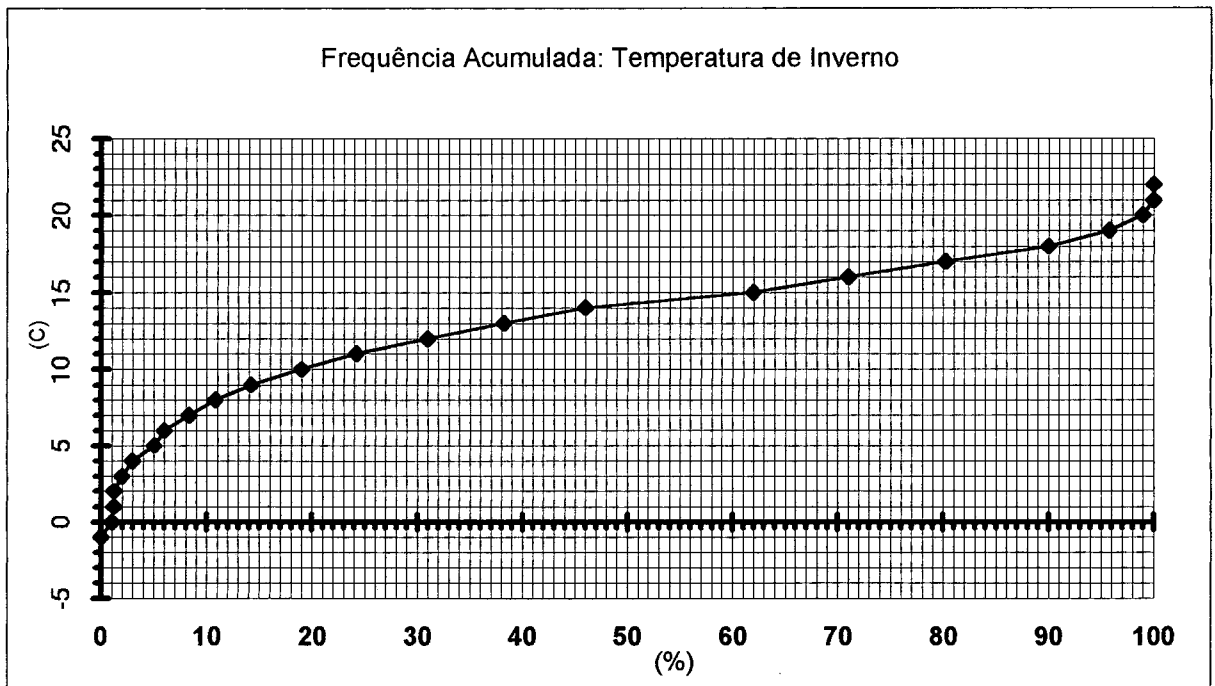


Figura 3.3. - Frequência acumulada de temperaturas mínimas para obtenção de dias típicos de Inverno, segundo PIETROBON, 1990.

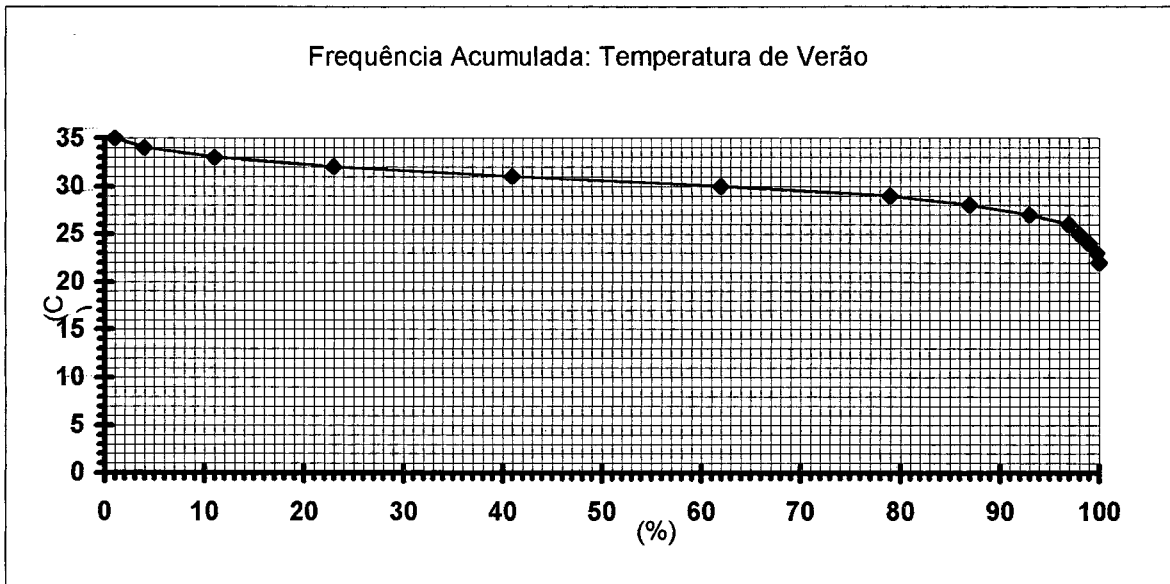


Figura 3.4. Frequência acumulada de temperaturas máximas para obtenção de dias típicos de Verão, segundo PIETROBON, 1990.

Considerando tais aspectos dos períodos de medição, adotou-se o critério de verificação do conforto térmico pelo índice de FANGER (1972) preconizado pela ISO 7730 (1984) para as condições internas e externas, dos valores obtidos por medição no local. Efetuou-se a razão entre estes valores, para a finalidade de intercomparação entre eles. O objetivo deste procedimento é tornar o desempenho térmico do edifício relativo ao rigor de exposição externa, adotando-se um limite de PPD de 20%, conforme propõem AKUTSU *et alii* (1987).

ii) Levantamento da situação de referência e da amostra

Neste trabalho, durante a etapa de monitoração, o Subsistema de Mecanismos Ativos compreende apenas a iluminação artificial composta de lâmpadas fluorescentes e reatores eletro-mecânicos com potências, respectivamente de 640 W devidas às lâmpadas e 192 W devidos aos reatores eletro-mecânicos, em cada sala com áreas úteis que variam de 56,06 m² a 63,27 m², correspondendo a uma taxa média de 13,9 W/m², e foram mantidas ligadas durante o monitoramento térmico das salas.

Para o Subsistema do Espaço Arquitetônico, nele compreendendo o envoltório das salas monitoradas, têm-se os valores discriminados nos quadros 3.1, 3.2, 3.3, já apresentados.

Do universo de edificações da UEM foram escolhidas como amostra quatro edificações com salas de aula dos três últimos sistemas construtivos e orientações em oito pontos cardeais, dois dentre os quatro (E34 e E46) possuem sombreamento com as essências arbóreas mais comuns na arborização da UEM e nos demais o sombreamento arbóreo é insignificante devido ao fato de que as árvores no Bloco M05 são muito novas e pequenas e no Bloco D34 devido às salas de aula situarem-se no terceiro pavimento. Apresentam-se nos quadros 3.4 e 3.5, dados das amostras de verão e inverno.

A razão entre a massa do envoltório de cada amostra e o volume interno de cada sala pode ser um parâmetro para a indicação de sua inércia térmica. Assim pode-se classificar como o pesado o bloco D34 com o valor de $159,85 \text{ kg/m}^3$, como médio o bloco M05 $148,70 \text{ kg/m}^3$, e como leves os blocos E34 e E46 com $96,25 \text{ kg/m}^3$.

A monitoração termo-lumínica das salas foi efetuada aos pares, inicialmente em sentidos opostos para o verão, a fim de verificar-se a influência da orientação.

Os sistemas construtivos podem ser classificados em termos de densidade superficial como :

- i) sistema construtivo com bloco de concreto, telhamento cerâmico e laje de concreto pré-moldada - bloco M05 - inércia térmica média;
- ii) sistema construtivo bloco cerâmico de seis furos com telhamento em fibrocimento e laje maciça de concreto armado - bloco D34 - inércia térmica pesada;
- iii) sistema construtivo com bloco cerâmico de quatro furos, telhamento em alumínio e forro de gesso, com isolamento térmico na cobertura (lã de vidro com espessura de 2,5cm) - blocos E34 e E46 - inércia térmica leve.

Quadro 3.4 Amostra de Verão

Blocos	Salas	Situação	Orientação	Sistema Construtivo
M05 Último sistema construtivo emergencial térreo	07 e 10	Opostas	N e S	Bloco de Concreto à vista Laje Pré-moldada revestida Telhamento Cerâmico Cores Internas e Externas Claras Sombreamento arbóreo: Ipê Roxo com baixa densidade devido ao tamanho Relação entre a área de janelas e a das paredes = 25,5% Janelas Basculantes Beiral de 0,70m Pé-direito 3,10m
D34 Sistema construtivo intermediário definitivo 3 pavimentos	205 e 206	Opostas	NE e SW	Bloco Cerâmico (6 furos) Revestido Laje de concreto aparente Telhamento de fibrocimento Cores claras nas paredes e escura no forro e bloco cerâmico aparente externamente Sem sombreamento arbóreo devido ao fato das salas de aula situarem-se no 3º pavimento Relação entre a área de janelas e a das paredes = 38,3% Janelas Maximar Pé-direito 3,57m
E46 Primeiro sistema construtivo definitivo térreo	5 e 6	Opostas	E e W	Bloco Cerâmico(4 furos) aparente internamente e revestido externamente Forro de gesso com lâ de vidro com telhas de alumínio Cores escuras nas paredes e branco no forro Beiral largo (1,85m) Sombreamento arbóreo: Flamboyants grandes(W) e brise vertical Ipês Amarelos pequenos (E) Relação entre a área de janelas e a das paredes=41,7% Janela Basculante com parte central fixa Pé direito 2,96m
E34 Primeiro sistema construtivo Definitivo térreo	5 e 6	Opostas	SE e NW	Bloco Cerâmico(4 furos) aparente internamente e revestido externamente Forro de gesso com lâ de vidro com telhas de alumínio Cores escuras nas paredes e branco no forro Beiral largo (1,85m) Sombreamento arbóreo: Sibipirunas grandes (SE) Flamboyants grandes(NW) e brise vertical Relação entre a área de janelas e a das paredes=41,7% Janela Basculante com parte central fixa Pé direito 2,96m

Quadro 3.5 - Amostra de Inverno.

Blocos	Salas	Situação	Orientação	Sistema Construtivo
M05 Último sistema construtivo emergencial térreo	07 e 10	Opostas	N e S	Bloco de Concreto à vista Laje Pré-moldada revestida Telhamento Cerâmico Cores Internas e Externas Claras Sombreamento arbóreo: Ipê Roxo com baixa densidade devido ao tamanho Relação entre a área de janelas e a das paredes = 25,5% Janelas Basculantes Beiral de 0,70m Pé-direito 3,10m
D34 SISTEMA CONSTRUTIVO intermediário definitivo 3 pavimentos	205 e 206	Opostas	NE e SW	Não medido devido ao péssimo desempenho de verão.
E46 Primeiro sistema construtivo definitivo térreo	1 e 5	Mesma orientação	E e E	Bloco Cerâmico(4 furos) aparente internamente e revestido externamente Forro de gesso com lâ de vidro com telhas de alumínio Cores escuras nas paredes e branco no forro Beiral largo (1,85m) Sombreamento arbóreo: Ipês Amarelos pequenos - Salas 1 e 5 Relação entre a área de janelas e a das paredes=31,3 % na sala 1 Janela Basculante com parte central fixa Pé direito 2,96m
E46 Primeiro sistema construtivo definitivo térreo	2 e 6	Mesma orientação	W e W	Bloco Cerâmico(4 furos) aparente internamente e revestido externamente Forro de gesso com lâ de vidro e telhas de alumínio Cores escuras nas paredes e branco no forro Beiral largo (1,85m) Sombreamento arbóreo: Ipês Amarelos pequenos - Sala 2 Flamboyants grandes - Sala 6 Brises Verticais Relação entre a área de janelas e a das paredes=31,3 % na sala 2 Janela Basculante com parte central fixa Pé direito 2,96m
E34 Primeiro sistema construtivo Definitivo térreo	5 e 9	Mesma orientação	SE e SE	Bloco Cerâmico(4 furos) aparente internamente e revestido externamente Forro de gesso com lâ de vidro e telhas de alumínio Cores escuras nas paredes e branco no forro Beiral largo (1,85m) Sombreamento arbóreo: Sibipirunas grandes - Salas 5 e 9 Relação entre a área de janelas e a das paredes=41,7% Janela Basculante com parte central fixa Pé direito 2,96m
E34 Primeiro sistema construtivo Definitivo térreo	6 e 10	Mesma orientação	NW e NW	Bloco Cerâmico(4 furos) aparente internamente e revestido externamente Forro de gesso com lâ de vidro e telhas de alumínio Cores escuras nas paredes e branco no forro Beiral largo (1,85m) Sombreamento arbóreo: Flamboyants grandes - Sala 6 Ipês Roxo e Amarelo Pequenos - Sala 10 Brises Verticais Relação entre a área de janelas e a das paredes=41,7% Janela Basculante com parte central fixa Pé direito 2,96m

Por problemas operacionais com a atividade de medição e as atividades didáticas, as salas foram monitoradas vazias, sem ocupação, pretendendo-se verificar a relação edifício-entorno, pois a ocupação é uma forte fonte de calor interno. A escolha da amostra para o verão foi efetuada com salas em direções opostas nos oito pontos

cardeais e colaterais em três sistemas construtivos diversos e com coberturas arbóreas de quatro tipos de árvores visando analisar os efeitos da orientação no seu desempenho.

A escolha da amostra de inverno foi efetuada em salas com direções idênticas nos blocos com cobertura arbórea significativa visando analisar o efeito da densidade de obstrução das essências arbóreas nos blocos de mesmo sistema construtivo (E46 e E34 - Sistema Construtivo com inércia leve).

Foram escolhidas para amostra 4 edificações escolares, três térreas e uma com 3 pavimentos. Sendo 3 sistemas construtivos diversos. Dois prédios não possuem arborização considerável e dois a apresentam. As espécies arbóreas escolhidas foram: Ipê Roxo, Ipê Amarelo, Sibipiruna e Flamboyant cujas características fenológicas são respectivamente, caducifólias (Ipês), semi-caducifólias (Sibipiruna) e caducifólias tardias (Flamboyants). O objetivo da seleção é analisar salas de aula com capacidade para 40 alunos (ocupadas e não ocupadas), cada uma, sombreadas com as árvores mais comuns no Câmpus-sede e na cidade de Maringá.

Foram efetuados levantamentos de campo para determinação das características geométricas e as dimensões das árvores, bem como, a geometria e o sistema construtivo da amostra das edificações. Apresentam-se os “*lay-outs*” de situação nas figuras 3.5 a 3.8

Para o inverno as salas foram monitoradas no mesmo sentido de orientação para avaliar-se a densidade de cobertura e os seus efeitos nas variáveis termo-lumínicas. Em ambos os casos os hemisférios verticais externos foram registrados em fotografias com lente “*semi-fish-eye*”, para verificar a densidade de obstrução arbórea

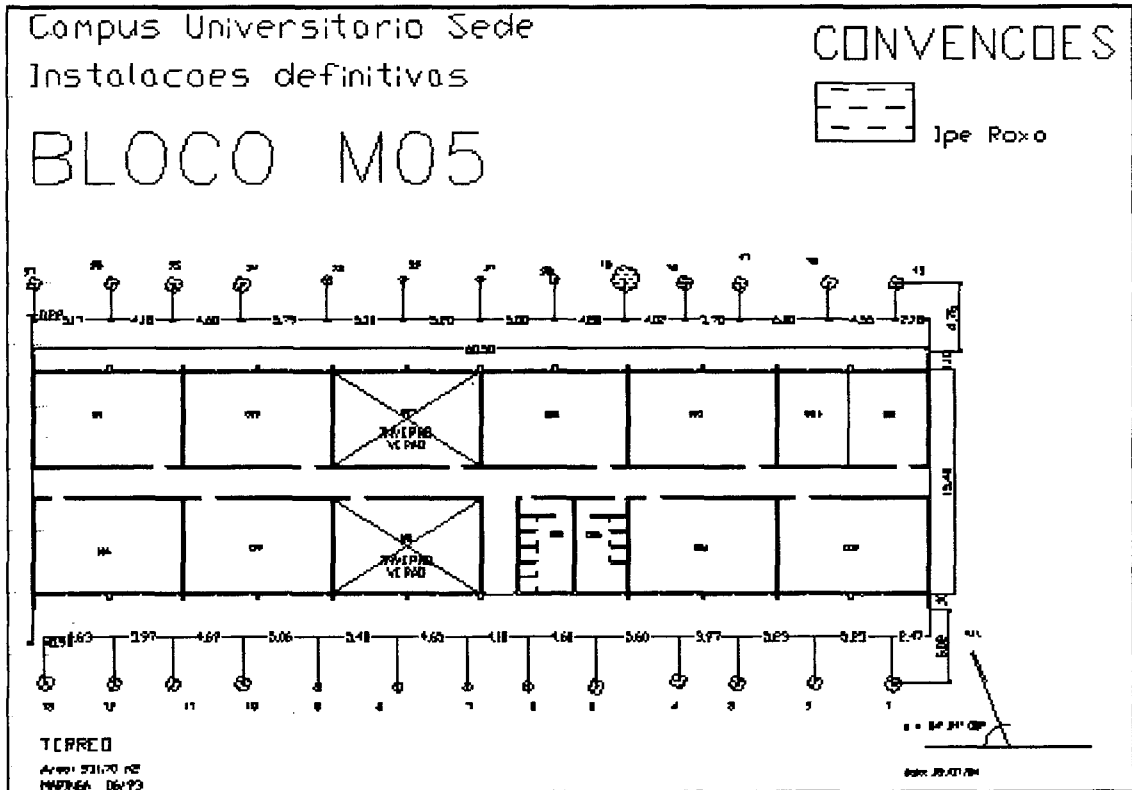


Figura 3.5. Situação Esquemática do Bloco M05 com cobertura arbórea insignificante

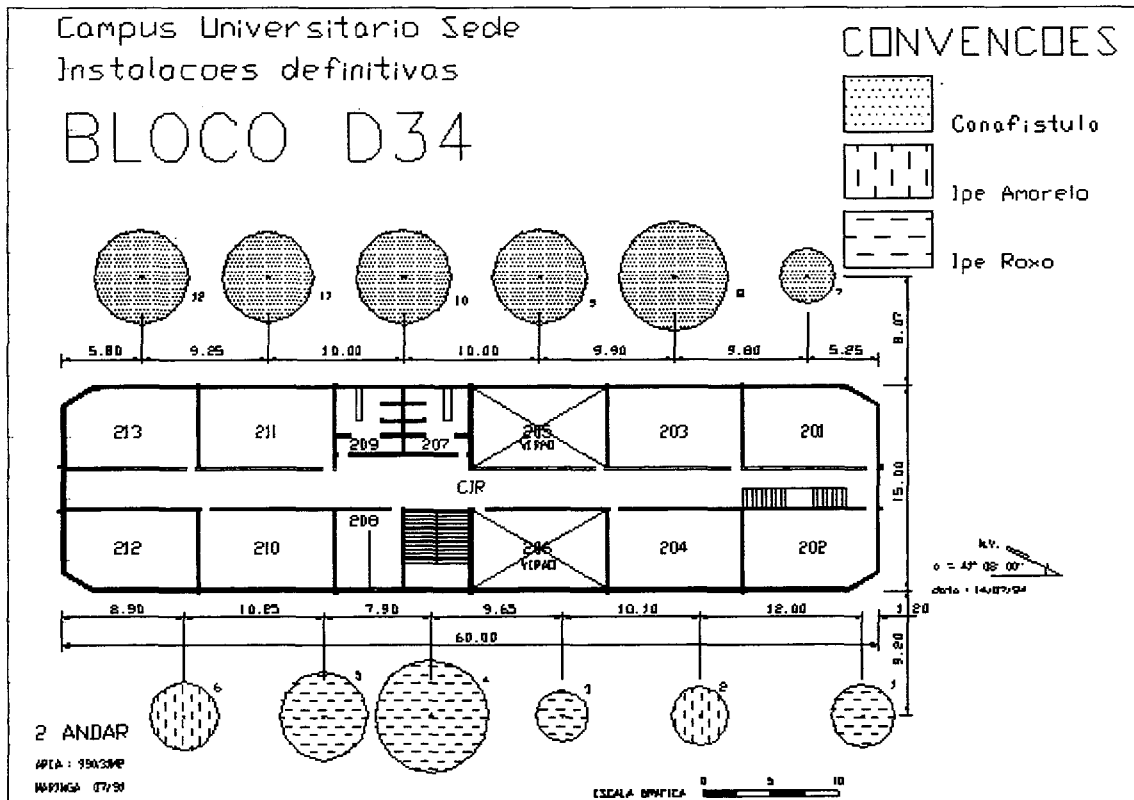


Figura 3.6. Situação Esquemática do Bloco D34 com cobertura arbórea insignificante

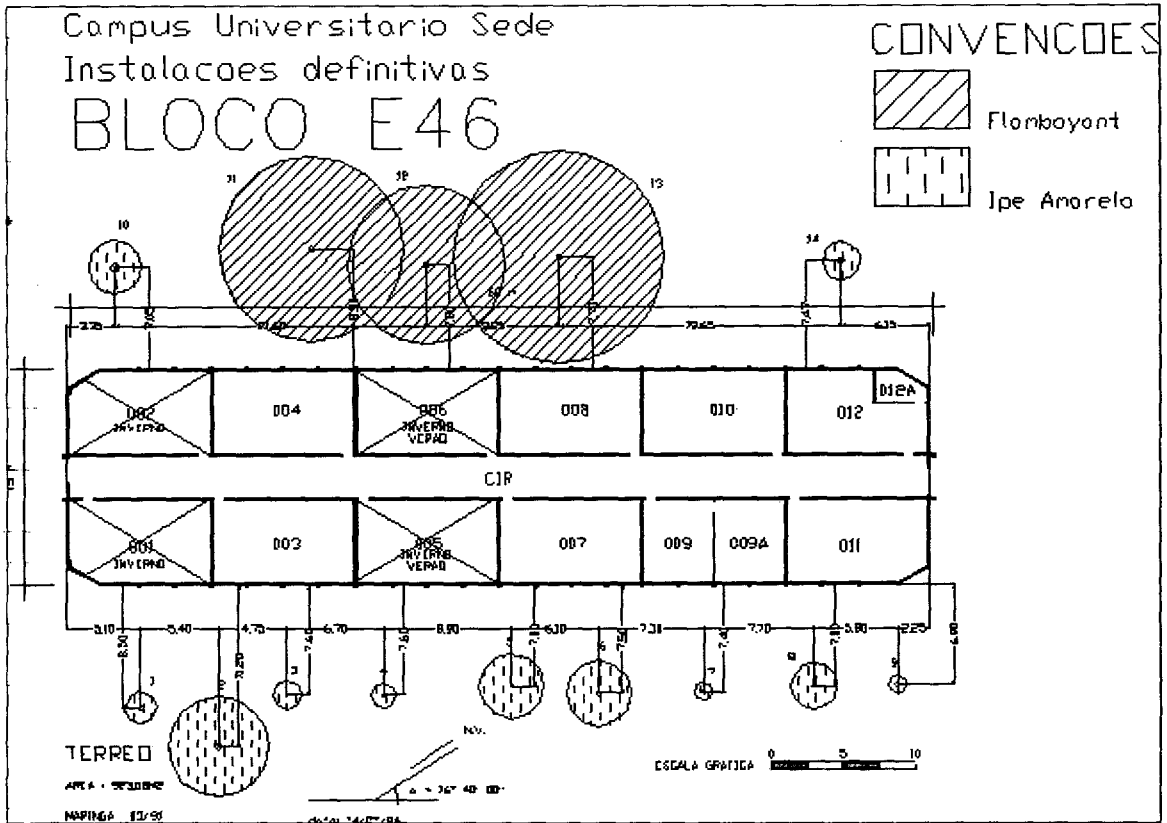


Figura 3.7. Situação Esquemática do Bloco E46 com cobertura arbórea significativa.

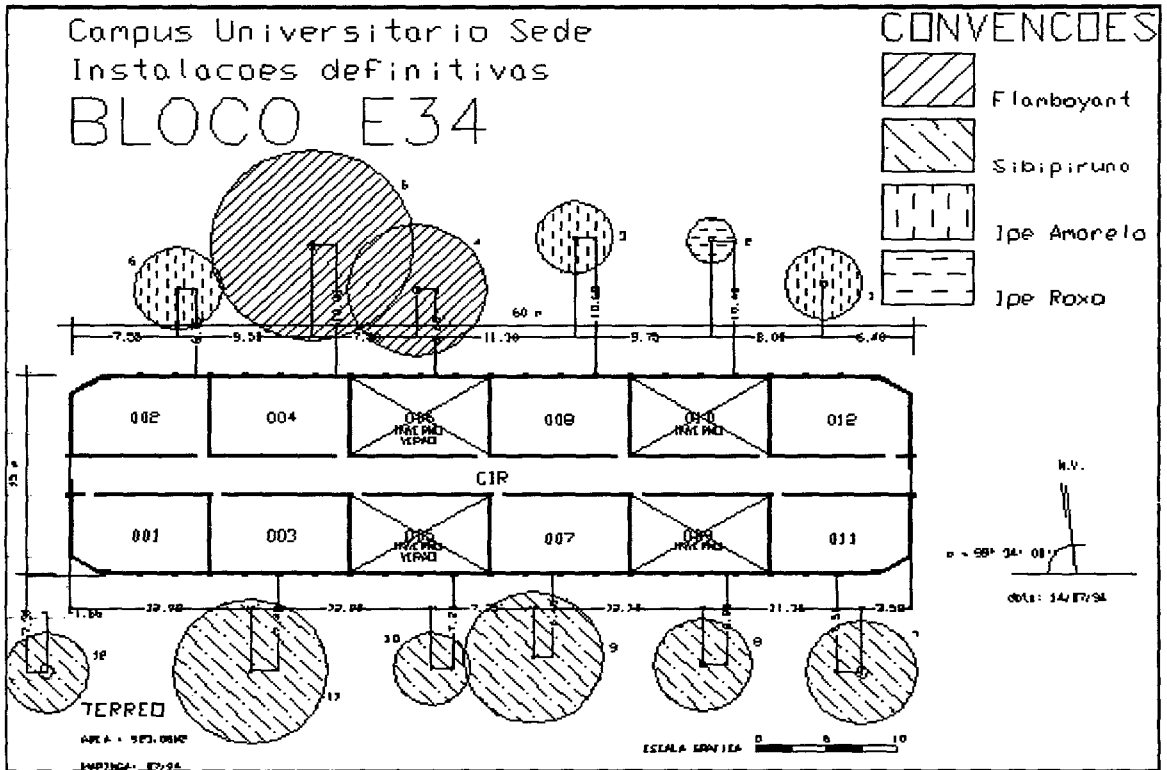


Figura 3.8. Situação Esquemática do Bloco E34 com cobertura arbórea significativa

3.2.2. Segunda Etapa - Medição no local das variáveis termo-lumínicas para o Verão

i) Inter-Aferição dos Instrumentos de Medição

Apenas os conjuntos de medição térmica foram aferidos antes da medição de verão em 18/01/95.

Foram os conjuntos T3 e T4 compostos de termômetros do globo e psicrômetros giratórios, assim denominados pelo LABCON/UFSC.

Foi utilizado um banho termostático à temperatura ambiente, com sala climatizada artificialmente e o banho termostático em repouso durante 24 horas, desligado.

As características do Banho Termostático são:

i) Modelo ÉTICA - 110V - 800W

Mod 521 - 3D nº 0542 - Série 94

Cuba com capacidade de 20 litros, com agitador ligado durante a aferição.

Foram feitas duas medidas durante a aferição, cujos resultados apresentam-se a seguir, nas tabelas 3.1 e 3.2.

Tabela 3.1 - Primeira Medição para Aferição

Conjunto	TBS (°C)	TBU (°C)	T Globo (°C)	Temp. do Banho (°C)
T3	27,0°	27,0°	27,0°	27,0°
T4	27,0°	27,0°	27,2°	27,0°

Após um repouso de meia hora, apresentam-se os resultados na tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Segunda Medição para Aferição

Conjunto	TBS (°C)	TBU (°C)	T Globo (°C)	Temp. do Banho (°C)
T3	27,2°	27,2°	27,2°	27,2°
T4	27,2°	27,2°	27,4°	27,2°

Notou-se uma discrepância no termômetro de globo do conjunto T4 em +0.2°C. Consideraram-se como válidas para as medições a resolução deste valor corrigindo-o nos dados medidos da temperatura de globo.

Os aparelhos digitais foram inter-aferidos informalmente sem registro de dados e atingiram apenas a diferença de 1 lux para um local com iluminação artificial de potência de 640W numa área de aproximadamente 60 m²

ii) A Incerteza das Medições

Na tabela II da norma ISO 7726 (1985), para a classe “C” de conforto térmico as variáveis a serem medidas tem as seguintes recomendações para os instrumentos de medição, discriminadas na tabela 3.3.

Tabela 3.3 Limites Normativos para a Medição das Variáveis Térmicas

Variável Medida	Precisão Requerida	Precisão Desejada	Limites de Variação
Temperatura do Ar	$\pm 0,5^{\circ} \text{C}$	$\pm 0,2^{\circ} \text{C}$	10° C a 30° C
Temp. Radiante Média	$\pm 2^{\circ} \text{C}$	$\pm 0,2^{\circ} \text{C}$	10° C a 40° C
Assimetria da Temp. Radiante	$\pm 1 \text{ K}$	$\pm 0,5 \text{ K}$	0 K a 20 K
Velocidade do ar (m/s)	$\pm 0,05 + 0,05 \text{ Va} $	$\pm 0,02 + 0,07 \text{ Va} $	0,05 a 1 m/s
Umidade Absoluta em Pressão Parcial de Vapor	$\pm 0,15 \text{ kPa}$	-	0,05 a 2,5 kPa

Pela ISO 7730 (1984) os limites para as variáveis estimadas são: Para a atividade metabólica $0,8 < \text{Met} < 1,2$ sendo $1 \text{ Met} = 58 \text{ W/m}^2$ e para a resistência térmica da roupa os limites são $0 < \text{Iclo} < 2$ sendo $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ} \text{C/W}$.

Acerca da incerteza de medição para os índices de PMV e PPD, considerando a inter-aferição dos termômetros adotaram-se os valores discriminados na tabela 3.4.

Tabela 3.4 Incerteza da medição das variáveis térmicas de conforto

Variáveis	Resolução	Incerteza	Variáveis Medidas
Temp. do Ar	0,2° C	$\pm 0,4^{\circ} \text{C}$	Temp. de Bulbo Seco
Temp. Radiante Média	-	$\pm 0,5^{\circ} \text{C}$	Temp. do Ar e de Globo
Velocidade do Ar	-	$\pm 0,1 \text{ m/s}$	Temp. do Ar e Tempo
Umidade Relativa do Ar	-	$\pm 5\%$	Temp. de Bulbo Seco e Úmido
Atividade Metabólica	-	$\pm 5 \text{ W/m}^2$	Variável Estimada
Resist. Térmica da Roupa	-	$\pm 0,05 \text{ clo}$	Variável Estimada

Para a iluminância a resolução dos aparelhos de medição (luxímetros) é de 1 lux, e a incerteza adotada é de ± 2 lux, devido ao valor da inter-aferição. Neste caso o programa computacional TBLCurve já fornece para um limite de confiança de 95% a variação do coeficiente angular da reta de regressão $a = \text{FLD} (\%)$.

Este programa computacional tem a finalidade de ajuste estatístico e seleção automáticos de equações lineares e não lineares de um conjunto de pares de coordenadas até o limite de 32.000 pares e possui um banco de 8.000 equações e a possibilidade de definir outras equações pelo usuário.

As equações que compõem o banco de equações lineares utilizadas são monômios do tipo $y = a + b.f(x)$, num total de 22 equações que são classificadas em ordem decrescente de coeficiente de correlação linear (r^2). Adotaram-se as equações da forma $y = a.x$, para que a reta de regressão linear passe pela origem das coordenadas

A Incerteza das medições de luminância, efetuadas para obtenção da transparência de um exemplar de cada espécie é obtida verificando-se a repetibilidade dos resultados para os meses de outubro, novembro e dezembro de 1997, comparativamente) para o mesmo período de 1996.

iii) Materiais

Os equipamentos mostram-se nas figuras 3.9 e 3.10, a seguir.

Foram usados dois conjuntos para a medição simultânea de 2 salas de cada vez, em medidas horárias das 12 TMG às 24 TMG que correspondem ao horário legal das 9:00 h às 21:00 h. Este período é o mesmo espaço de tempo utilizado para as leituras sinóticas da Estação Meteorológica segundo recomendação da OMM - Organização Mundial de Meteorologia. Os conjuntos de aparelhos para medição térmica foram denominados de T3 e T4 pelo LABCON/UFSC. Para as medições seguiram-se as determinações da ISO 7726 (1985).

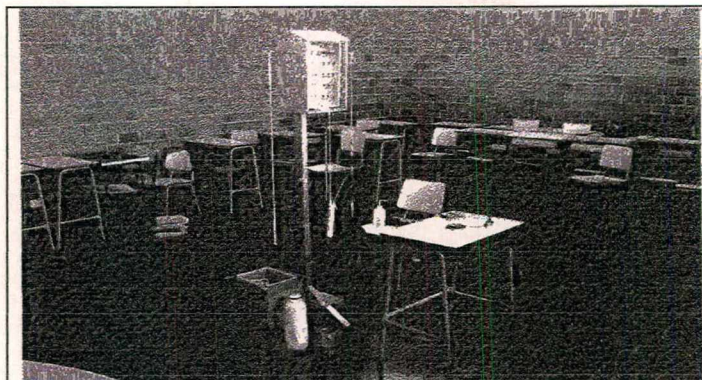


Figura 3.9- Conjunto para a Medição Hígro-Térmica e do vento

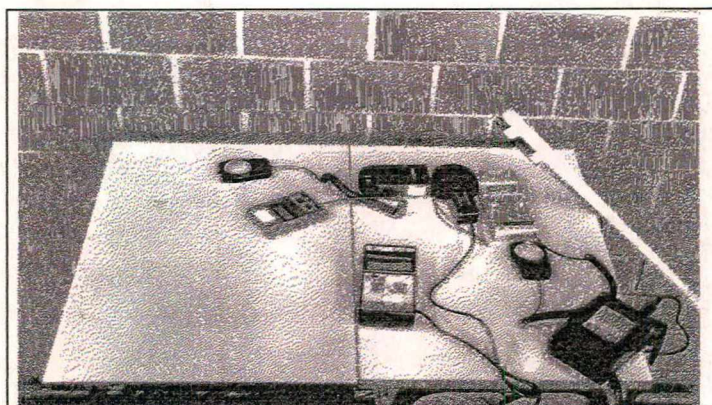


Figura 3.10 - Conjunto para a Medição Lumínica, do Vento e Temperatura Superficial

As unidades foram assim constituídas:

i) Termômetro de Globo com proteção metálica e globo de ϕ 15 cm

Fabricante: INCONTERM

Amplitude: -10°C a $+150^{\circ}\text{C}$

Resolução: $0,2^{\circ}\text{C}$

Finalidade: Medição da temperatura de globo;

ii) Psicrômetro giratório

Fabricação: IOPE Modelo SP - 2

Amplitude: -1°C a $+60^{\circ}\text{C}$

Resolução: $0,2^{\circ}\text{C}$

Finalidade: Medição das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, ventiladas e não ventiladas;

iii) Termômetro de Kata

Fabricante/Referência nº 389

Amplitude: $+35^{\circ}\text{C}$ a 38°C - Ponto médio: $+36,5^{\circ}\text{C}$

Características do grupo T3 $F=448$ (mg.cal/cm²)

Características do grupo T4 $F=445$ (mg.cal/cm²)

Finalidade: Medição da velocidade média do ar;

iv) Cronômetro digital

Fabricante: DIVA

Amplitude: 0 a 10h

Resolução: 0,1 s

Finalidade: Apoio a medição do termômetro de Kata.

v) Termômetro de máxima e mínima com botão central

Fabricante: INCOTERM

Amplitude: -30°C a +50°C

Finalidade: Medição das temperaturas internas extremas do ar no período considerado

vi) Lupa

Fabricante: BAYCUTEN

Finalidade: auxiliar na leitura dos termômetros

vii) Trena Topográfica:

Amplitude: 0 a 20m

Finalidade: Marcação dos pontos de medição

viii) Erlenmeyer de vidro

Volume: 300 ml

Finalidade: recipiente para água quente para uso com o termômetro de Kata;

ix) Suporte para o posicionamento dos termômetros

x) Diversos: toalha, barbante, fita crepe, água destilada, água potável quente aproximadamente a 60°C e garrafa térmica

3.2.2.1 Medição da Temperatura Superficial do Forro

i) Termômetro de contato superficial (portátil)

Fabricante: GULTON - Modelo SALVTERM 100-Ferro-Constatan

Amplitudes: -40°C a +199,9°C e +200°C a 700°C

Resolução: 0,1°C

Tipo digital com bateria 9V

Finalidade: medir a temperatura superficial do forro em 5 pontos.

3.2.2.2 Medição da Velocidade do Ar nas Janelas Centrais e na Porta

i) Anemômetro de Hélice (portátil) para medição do vento nas janelas

Fabricante: LUTRON - Referência: AM 4201

Amplitude: 0,4 a 30m/s

Resolução: 0,1m/s

Tipo: Digital

Finalidade: medir a velocidade do ar em 2 janelas, 4 pontos em cada uma.

ii) Anemômetro de Hélice (portátil) para medição do vento na porta

Fabricante: OMEGA - Modelo HH-F10 meter

Amplitude: 0,4 a 44,8m/s

Resolução: 0,1m/s

Tipo: Digital

Finalidade: medir a velocidade do ar na porta
à altura do plano de trabalho. (0,73 m)

3.2.2.3 Medição da Iluminância Interna e Externa

i) INTERNO - Luxímetro digital (portátil)

Fabricante: LT - LUTRON - Modelo LX102 - “*Light-meter*”

Amplitude: 0 lux a 50 000 lux

Resolução: 1 lux

Tipo digital com bateria 9V

Finalidade: medir a iluminância do hemisfério horizontal na altura do plano de trabalho de 0,73m, no centro da sala.

ii) EXTERNO - Luxímetro digital (portátil)

Fabricante: ICEL - Modelo LD-500

Amplitude: 0 lux a 50 000 lux

Resolução: 1 lux

Tipo digital com bateria 9V

Finalidade: medir a iluminância do hemisfério horizontal e vertical externamente à edificação, simultaneamente, nas seguintes modalidades:

- HHD - Horizontal-horizontal distante.
- HHP - Horizontal-horizontal intermediário (sob as árvores).
- VHP - Vertical-horizontal próximo (sob as árvores)

As melhores correlações de regressão linear através desta reta foram as medições VHP - Vertical externa e horizontal interna próximas, que associadas às fotos “*semi fish-eye*” do hemisfério vertical exterior indicam uma relação entre a densidade de obstrução arbórea e os resultados de iluminação externa do hemisfério através de uma classificação em ordem decrescente deste valor. Tal avaliação pode ser vista comparativamente em conjunto com as fotos das Figuras III.1 a III.8 do Anexo III.

iii) Métodos

Durante os períodos de verão e inverno os hemisférios verticais externos das salas foram fotografados para se verificar a transparência da cobertura vegetal do entorno imediato das edificações, com lentes “*semi fish-eye*” e “*scanner*” de mesa. Os “*softwares*” utilizados foram ADOBE e IMAGO.

As imagens foram digitalizadas através de um “*scanner*” de mesa, com a resolução de 300 dpi, e foram tratadas computacionalmente através da binarização da imagem digitalizada, com o auxílio dos “*softwares*” ADOBE e IMAGO do LMPT/UFSC, obtendo-se a percentagem de obstrução do hemisfério vertical externo através da proporção entre os “*pixels*” brancos e pretos do plano da imagem hemisférica, de acordo com a sua binarização. Além deste tipo de medição, foram efetuadas duas outras, a saber:

- i) As medições da luminância e as fotografias com lente “*semi fish eye*” dos espécimes arbóreos escolhidos para a amostra, efetuaram-se sem controle da nebulosidade do céu, em datas próximas aos solstícios de Verão e Inverno. Propõe-se um método de avaliação das transparências das árvores pelo método de tratamento de imagens “*scaneadas*”, com o auxílio dos “*softwares*” ADOBE e IMAGO;

ii) Monitoramento mensal de um exemplar de cada espécie, através de uma medição da luminância por mês, visando obter dados pelo período de um ano acerca de estado fenológico, para uso como sombreamento no “*software*” visualDOE 2.5.

No período das medições térmicas de verão não foi possível realizar as medições lumínicas por falta de aparelhagem. Estas medições foram realizadas posteriormente nos meses de Novembro/95 a Janeiro/96.

Foram analisadas, primeiramente, para cada estação climática o comportamento dos elementos de clima de cada período de medição, pelo índice de FANGER (1972).

Os limites do índice de conforto de FANGER (1972) foram adotados entre os valores de -0,82 e +0,82, conforme indica o trabalho de AKUTSU *et alii* (1987) em que pese a recomendação de PMV entre -0,50 e +0,50 definida pela ISO 7730 (1984), que é muito rigorosa para ambientes não climatizados artificialmente. Para a obtenção dos valores de PMV, foi utilizado o “*software*” ANALISYS do NPC/LMPT/UFSC. E, para a integração numérica desses valores foi empregada a planilha EXCEL 5.0.

Para auxiliar na metodologia, apresenta-se o critério de AKUTSU e VITTORINO (1993) que consiste em qualificar o desempenho térmico das edificações também relacionando-o com o rigor da exposição ao clima externo.

Para este critério de conforto do índice de FANGER (1972), no verão, associando-o à vestimenta, à ventilação, e à atividade metabólica do usuário, têm-se:

- i) Temperatura máxima de conforto para o Verão: 28^o C (velocidade do ar baixa < 0,25m/s) ou 29^o C (velocidade do ar alta > 0,50 m/s) e qualifica em **A**- Conforto durante todo o dia; **B**- Quando a temperatura máxima interna é menor que a externa; **C**- Quando a temperatura máxima interna é maior que a externa;

Durante os períodos de verão os hemisférios verticais externos das salas foram fotografados para se verificar a densidade de cobertura vegetal do entorno imediato com lentes “*semi fish-eye*” e medidos no local através da iluminância.

Posteriormente, as imagens foram tratadas computacionalmente através da binarização e digitalizadas. Para o efeito de comparação com as medições apresentadas nesta tese, com o auxílio dos “*softwares*” ADOBE e IMAGO do LMPT/UFSC, obteve-se a percentagem de obstrução do hemisfério vertical externo através da proporção entre os “*pixels*” do plano da imagem hemisférica, de acordo com a sua binarização.

As medições dividem-se em dois grandes grupos, para os períodos de verão e inverno de 1995 e no início de 1996.

i) O grupo de medições higrótérmicas e do vento;

ii) O grupo de medições lumínicas.

Para as características geométricas das essências arbóreas adotou-se a medição direta segundo metodologia desenvolvida por MILANO (1988).

O princípio norteador das medições foi buscar ao máximo a situação real de uso das salas, em 3 dias medidos para cada par de salas, sem interrupção das 12 TMG às 24 TMG que correspondem às 9:00h até 21:00h no horário normal e 10:00h até 22:00h no horário de verão.

As janelas foram mantidas abertas, bem como as portas. A iluminação artificial foi mantida ligada num montante de 640W de iluminação em lâmpadas fluorescentes, luz do dia, em cada sala desocupada, com mais a carga térmica de 192 W da a potência dos reatores eletromecânicos.

Para as medições térmicas, as salas no período de verão (de 19/01/95 a 01/02/95) foram medidas em orientações opostas e no inverno (de 10/07/95 a 24/07/95) em salas com mesma orientação nos edifícios com maior densidade de arborização, exceto o bloco M05, mantido como referência, com salas em orientações opostas.

As medições lumínicas dos hemisférios externos verticais e os internos horizontais ocorreram nas mesmas datas das medições térmicas, no período de inverno. No período de verão, elas ocorreram semanalmente em meses consecutivos: novembro, dezembro e janeiro nas datas de 18/11/95, 25/11/95, 02/12/95, 09/12/95, 16/12/95, 22/01/96, 23/01/96 e 24/01/96, para acompanhar o estado fenológico das árvores.

As medições da luminância das árvores foram efetuadas em datas próximas aos solstícios de Inverno e Verão para avaliação da metodologia experimental e do tratamento computacional das imagens fotografadas e digitalizadas.

Nas medições, de monitoramento mensal consecutivo durante 12 meses, da luminância de um exemplar de cada espécie arbórea, foi necessária para acompanhar o desenvolvimento fenológico das árvores e para obtenção dos seus índices de transparência, visando obter dados para “*schedule*” (padrão de uso) da simulação computacional paramétrica do consumo energético de cada sala arborizada da amostra.

3.2.3. Terceira Etapa - Medição no local das variáveis termo-lumínicas para o Inverno

i) Materiais

Os equipamentos utilizados para esta situação de monitoramento são os mesmos dos capítulos anteriores, utilizados para o Verão.

ii) Métodos

As medições térmicas foram em dias contínuos, três dias por sala, das 12 TMG às 24 TMG, que são os limites das medidas sinóticas e envolvem os aspectos termo-eólicos.

Durante o período de inverno os hemisférios verticais externos nas salas foram medidos, pela luminância e fotografados para se verificar a densidade de cobertura vegetal do entorno imediato com lentes “*semi fish-eye*”.

Posteriormente, estas imagens foram digitalizadas através de um “*scanner*” de mesa, com a resolução de 300 dpi, e foram tratadas computacionalmente através da binarização da imagem digitalizada para efeito de comparação com as medições no local. O tratamento de imagens foi executado com o auxílio dos “*softwares*” ADOBE e IMAGO do LMPT/UFSC, obtendo-se a percentagem de obstrução do hemisfério vertical externo através da proporção entre os “*pixels*” do plano da imagem hemisférica, de acordo com a sua binarização. No período de inverno estas medições foram realizadas simultaneamente com as medições térmicas.

Foram realizadas em condições reais de abóbada celeste em três situações, tanto para o verão quanto para o inverno:

- i) HHD - Horizontal externamente e internamente no centro da sala na altura do plano de trabalho de 0.73m. Externamente em campo desimpedido, sobre um tripé topográfico nivelado na altura próxima do plano de trabalho;
- ii) HHP- Horizontal interna e externamente, sob a proteção arbórea;
- iii) VHP - Vertical externamente, sobre a fachada obstruída por beirais e árvores, na altura da metade do pé-direito e no centro da fachada da sala, e horizontal internamente no centro da sala sobre o plano de trabalho com altura de 0,73m.

Foram medidas simultâneas no tempo, interna e externamente, ambas em monitoramento horário.

As medições lumínicas foram efetuadas simultaneamente com as térmicas no inverno. A fim de se detectar a influência da sazonalidade, no verão, foram efetuadas durante os três meses mais quentes de novembro a janeiro, uma vez por semana.

Para auxiliar na metodologia, apresenta-se o critério de AKUTSU e VITTORINO (1993) que consiste em qualificar o desempenho térmico das edificações também relacionando-o com o rigor da exposição ao clima externo.

Para este critério de conforto do índice de FANGER (1972), no verão, associando-o à vestimenta, à ventilação, e à atividade metabólica do usuário, têm-se:

i) Temperatura mínima de conforto para o Inverno: 17°C (0,8 clo, velocidade do ar baixa $< 0,25\text{ m/s}$) e qualifica em **A**- Conforto durante todo o dia; **B**- Uma hora de conforto por dia; **C**- Nenhuma hora do dia em conforto.

Estes limites de temperaturas aproximam-se dos definidos por GIVONI (1991), para países em desenvolvimento, adotados por BARBOSA (1995) e BOGO (1996), e também aplicados na simulação computacional com o “*software*” visualDOE, neste trabalho.

Também, nesta estação climática foi utilizado o “*software*” ANALYSIS desenvolvido pelo LMPT/NPC/UFSC, no qual além das variáveis térmicas medidas no local, foram adotados os índices de 70 W/m^2 , que corresponde a atividade de escritório e ao arroupamento típico de inverno: meia grossa, cueca, camiseta, blusa fina, calça grossa, tênis equivalendo ao índice de $I_{clo}=0,826$, obtido conforme propõem AKUTSU *et alli* (1987). Este arroupamento corresponde a situação corriqueira do modo de vestir dos acadêmicos em salas de aula, obtidos por simples observação. Adotou-se a roupa masculina pois são a maioria dos alunos que freqüentam as salas de aula dos locais de monitoramento

Os limites de conforto adotados foram os da ANSI/ASHRAE 55-81, conforme AKUTSU *et alii* (1987) variando o PMV entre -0.82 e +0.82 e PPD de 20%.

Aplica-se o tratamento de computacional de imagens digitalizadas das fotos através da binarização da imagem em tons de cinza, com os “*softwares*” ADOBE e IMAGO do LMPT/UFSC

3.2.4. Quarta Etapa - Medição de Transparência das Árvores através da Luminância e do Tratamento Computacional das Imagens

3.2.4.1 Medidas de Luminância do conjunto de árvores

i) Materiais

Para esta etapa foi desenvolvido um aparato composto de um tubo plástico de PVC rígido para instalação telefônica, de cor preta fosca, com diâmetro interno de 100 mm. Este tubo foi fixado em um apoio metálico que possibilita movimentos de rotação verticais e horizontais quando fixado a um tripé topográfico. Em sua extremidade foi associado um tampão de PVC para esgoto, pintado na cor preta fosca, no centro do qual foi efetuada uma abertura circular de diâmetro idêntico à dimensão do sensor do luxímetro. Dois dos aparatos indicados na figura 3.9, eram posicionados anterior e posterior à árvore e os valores de luminância da árvore e da abóbada celeste foram lidos simultaneamente com dois luxímetros, em três posições no eixo vertical da árvore, mantendo-se a altura e o azimute para cada uma.

Apresentam-se, na figura 3. 11, os equipamentos para medição da luminância das árvores: o aparato construído, a bússola, o clinômetro, os luxímetros e a trena. Apenas o aparato de diâmetro de 100mm foi utilizado, pois tem ângulo sólido de abertura maior, por isso é mais indicado que o outro, em função das dimensões e do espaçamento entre as árvores.

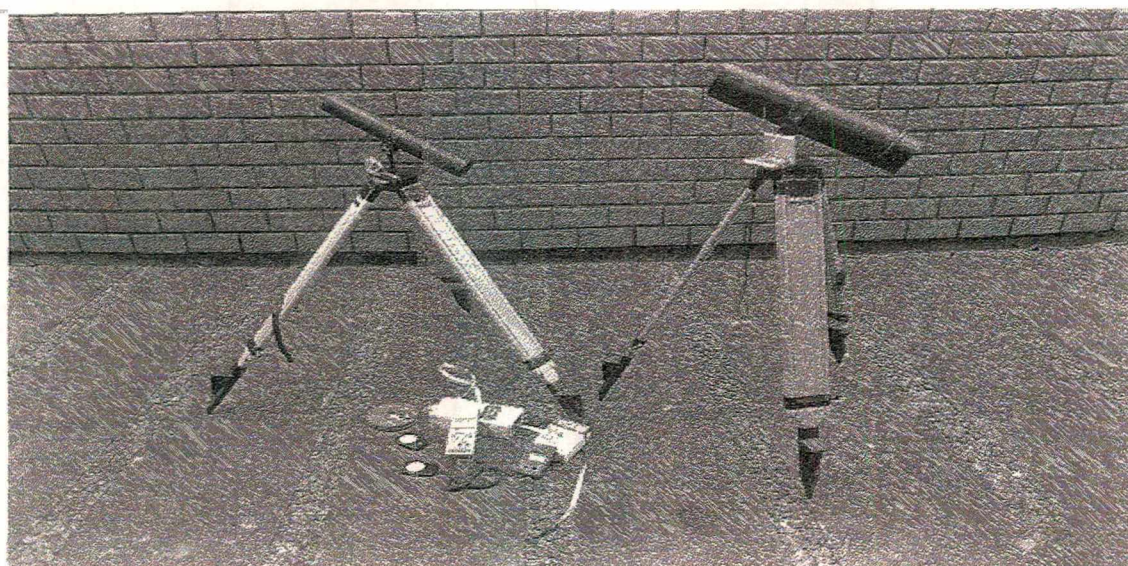


Figura 3.11 Equipamentos para medição da luminância das árvores.

As medidas de ângulos da inclinação foram tomadas por um clinômetro manual, que também possibilitava o nivelamento do tripé. As medidas azimutais se procederam com uma bússola manual, ambos da marca ZEISS. O aparato possui uma abertura com ângulo de $19,56^{\circ}$.

ii) Métodos

Como tentativa de obter um índice de transparência das árvores dos blocos E34 e E46 foram efetuadas medidas em três tipos de árvores: Flamboyant, Sibipiruna, Ipê Amarelo. Essas medições ocorreram nos solstícios de verão e inverno, sem considerar o controle da nebulosidade que pode causar a reflexão das folhas indicando vazios (cor branca) nas fotografias. Controlou-se apenas a altura solar nessas efemérides astronômicas.

Durante 12 meses consecutivos, foram medidas as transparências de 4 exemplares de árvores em dias com nebulosidade próxima de 10 décimos de céu. Para os resultados assim obtidos, foi feita uma média aritmética para se obter a transparência mensal de cada árvore, individualmente, para cada exemplar.. As medidas foram tomadas em condições reais de nebulosidade variável, em três alturas visando para a abóbada celeste e para a árvore simultaneamente, com 3 fotografias de alto contraste, em preto e branco, para cada medição. Este procedimento foi efetuado para as estações climáticas de verão e inverno. As datas de medição foram próximas dos solstícios de verão e inverno.

3.2.4.2 Tratamento Computacional das imagens das árvores

i) Materiais

Para a documentação fotográfica do hemisfério vertical das edificações, visando definir a densidade de obstrução das árvores, como no caso anterior, foi utilizada uma câmera fotográfica CANON com associação de lentes para fotos hemisféricas:

- Lente AUBELL SUPER WIDER “*semi fish-eye*” de procedência japonesa;
- Lente CANON LENS FD, 28 mm, 1:2.8.

O filme utilizado foi o TMAX 100 KODAK e o papel para revelação KODABROME PRINT RC F3 18 x 24 cm.

As revelações foram feitas com alto contraste, e posteriormente para inserir no corpo desta tese utilizou-se um “*scanner*” com resolução de 300 dpi.

O tratamento de imagens foi executado com o auxílio dos “*softwares*” ADOBE e IMAGO do LMPT/UFSC.

ii) Métodos

As imagens obtidas foram digitalizadas com resolução de 300 dpi, com três alturas, para as quais se obteve um resultado a ser comparado com o valor medido experimentalmente. A intenção foi de obter-se um valor médio para cada espécime arbóreo monitorado. Porém, a influência da nebulosidade variável, da altura e azimute solares, além de não haver um referencial métrico ou angular nas fotografias induziram a uma pequena dispersão dos resultados. Esta dispersão pode ser creditada com maior peso à variabilidade do clima do que ao método e ao aparato de medição, pois quando tais variáveis foram controladas os resultados apresentaram-se consistentes.

Os valores de transparência de um exemplar de cada espécie analisada, foram obtidos, por medição no local, conforme recomendação do exame de qualificação. As medições iniciaram-se em outubro de 1996, e estenderam-se até setembro de 1997.

As distâncias, os azimutes e os ângulos de inclinação, do aparato descrito anteriormente e apresentado na Figura 3.11, foram mantidos constantes em todas as medições, com valores diferentes para cada exemplar. Todas as medições foram feitas com céu completamente nublado, com valores de 9 a 10 décimos de céu.

Desta forma, os dias e horários das medições variam durante os 12 meses consecutivos de medição, e conseqüentemente, as coordenadas de posição do sol.

As datas e horários de medição foram: 05/10/96 (12 TMG); 02/11/96 (12 TMG); 28/12/96 (18 TMG); 21/01/97 (18 TMG); 14/02/97 (18 TMG); 31/03/97 (12 TMG); 17/04/97 (12 TMG); 14/05/97 (12 TMG); 03/06/97 (18 TMG); 01/07/97(18 TMG); 04/08/97 (12 TMG); 03/09/97 (12 TMG).

Os exemplares escolhidos para monitoração mensal foram: Ipê Roxo 2, na face NW do bloco E34; Sibipiruna 11, na face SE do bloco E34; Flamboyant 11, na face W do bloco E46 e Ipê Amarelo 2, na face do bloco E46.

Para avaliar a incerteza da medição foram repetidas três medições nos meses de outubro, novembro e dezembro de 1997, cujos resultados foram confrontados com os dos respectivos meses de 1996.

No período das medições térmicas de verão não foi possível realizar as medições lumínicas por falta de aparelhagem. Estas medições foram realizadas posteriormente nos meses de Novembro/95 a Janeiro/96.

No período de inverno elas foram realizadas simultaneamente com as medições térmicas.

3.2.5. Quinta Etapa - Simulação Paramétrica com o “*software*” visual DOE

i) Materiais

As simulações computacionais de desempenho energético foram efetuadas no “*software*” comercial visualDOE 2.5 cujo processamento é em ambiente “*Windows*” e que permite, segundo LAMBERTS (1996), a arquitetos, engenheiros, especialistas em energia e profissionais das concessionárias de energia avaliarem rapidamente a economia de energia devidas a alternativas de projeto ou de “*redimensionamentos*”. O programa computacional usa o “*software*” de simulação horária DOE-2.1 E para calcular o uso de energia e o pico de demanda, também, em base horária.

O “*software*” facilita o uso do DOE-2.1 E, antes restrito a especialistas, elaborado para a plataforma de operação em estação de trabalho, o que demandava longo tempo de treinamento. Cada arquivo de projeto contém informações sobre o caso base e até 20 alternativas de projeto.

No caso de se conhecer o custo de cada alternativa de projeto, o visualDOE calcula o ciclo de vida útil de cada uma. O “*software*” possui “*on-line help*” (*comando computacional para esclarecimento de função*) sensível ao contexto. O “*software*” já inicializa o DOE com um razoável conjunto de “*defaults*” e produz além dos relatórios específicos do DOE outros relatórios síntese. O visualDOE 2.5, possui os seguintes módulos de programa:

- i) **Graphic Editor;**
- ii) **Plant only Runs;**
- iii) **Schedule (padrão de uso) Makers;**

- iv) **Constructions Builder;**
- v) **Fenestration Editor;**
- vi) **Climate Editor;**
- vii) **Utility Rates Editor;**
- viii) **Equipment Editor.**

O fluxograma do VisualDOE 2.5, apresenta-se na figura 3.12, seguir:

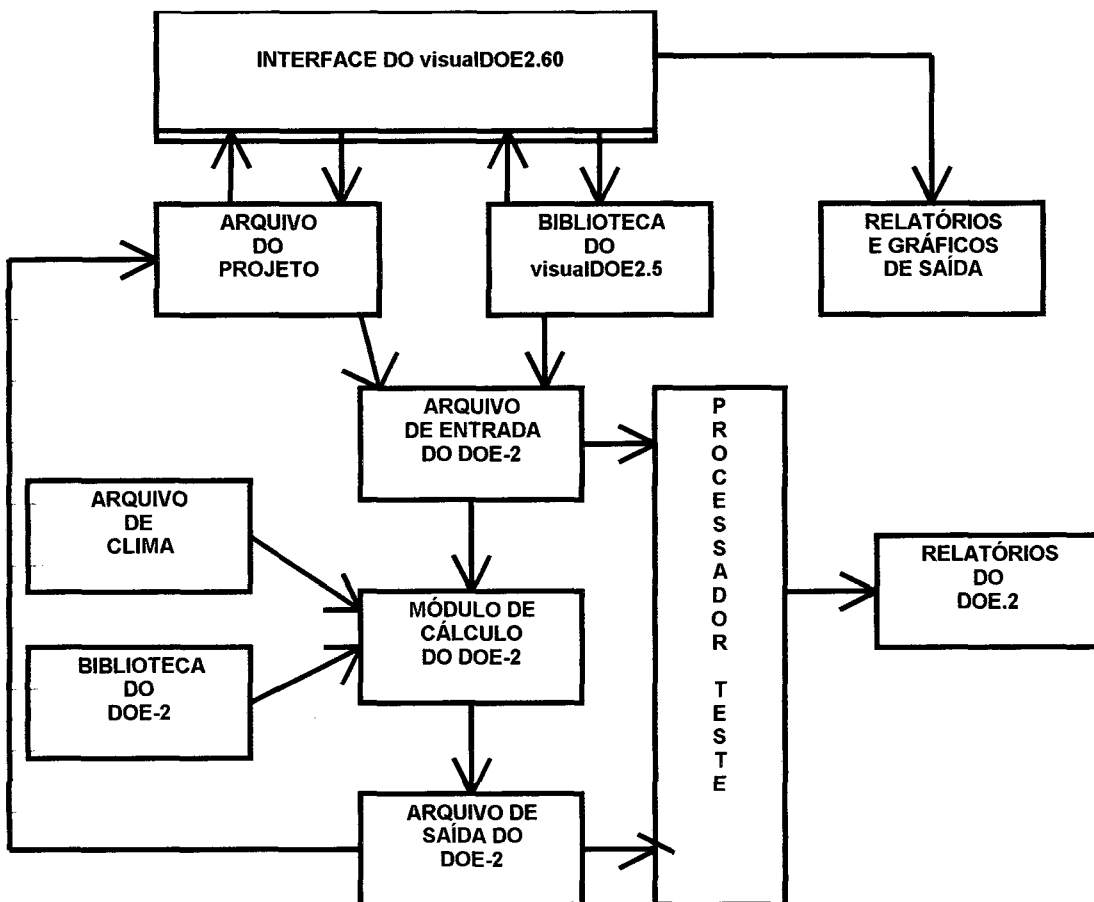


Figura 3.12 Fluxograma do programa computacional VisualDOE 2.5

ii) Métodos

Como a presente pesquisa é exploratória, adotou-se a simulação computacional paramétrica, com o “*software*” VisualDOE 2.5 processado para um modelo de sala de aula, no qual as trocas de calor ocorrem apenas para a parede verticais externa e as janelas, sendo as demais faces praticamente muito isoladas termicamente . Tais ambientes foram climatizados artificialmente para resfriamento, sem ocupação e na iluminação

artificial adotou-se um controle liga-desliga de 1/3 e 2/3 de abrangência, para manter a iluminância interna em 300 lux .

Para processar este “*software*” com proteção arbórea e condicionamento artificial, foram necessárias duas etapas, a saber: obtenção do TRY (1991) digitando 52560 dados horários de elementos de clima em planilha eletrônica, tratamento computacional de imagens das árvores mensalmente com céu encoberto para obter a “*schedulle*” (padrão de uso) da transparência das árvores e efetuar 8162 simulações paramétricas para definir os parâmetros que mais influenciam no desempenho termo-lumínico dos modelos de sala, além de verificar as tendências gerais de desempenho do sombreamento por espécie arbórea.

A influência da ocupação não foi considerada na simulação horária para as principais cargas térmicas para o dia de pico: 3 de março de 1991. O modelo não apresenta árvores, seu WWR é 60% a parede é leve, a abertura é voltada para o leste, e a iluminação é não otimizada. Nestes dias, têm-se que:

- i) a carga térmica de pico sem ocupação é de 3919kWh às 11:00 horas no dia 3 de março;
- ii) carga térmica de pico com ocupação é de 21317 kWh às 11:00 horas no dia 6 de março;

A escolha em simular a sala de aula sem ocupação (1 pessoa) advém da pronunciada carga térmica sob regime regular (40 pessoas). Enquanto que a sala sem ocupação necessita de um condicionador de ar de janela de 12.500 BTU/h, a sala com ocupação regular necessita de um condicionador de ar 6 vezes maior (ou 6 unidades). Como carga térmica de ocupação apresenta-se entre 37% e 87% da carga térmica total durante os períodos de ocupação, essa participação expressiva tende a mascarar os efeitos de sombreamento. Para acentuar a influência das árvores sobre o consumo e facilitar a compreensão, sugere-se que a análise seja inicialmente realizada sem ocupação, para se obter as faixas com maior amplitude de variação (mínima e máxima). Posteriormente foram simuladas parametricamente com ocupação e com e sem sombreamento para avaliar a variação em situação real de uso e verificar o percentual de acréscimo de energia elétrica, em todos os casos.

Para se avaliar a influência dos vários parâmetros no desempenho energético de salas de aula, elaborou-se o processamento computacional paramétrico, variando-se as condições dos seguintes parâmetros:

- i) A distância entre a extremidade da copa de árvores adultas e as salas, a saber, Flamboyant, Sibipiruna, Ipê Roxo e Ipê Amarelo, do valor de 8,0m a 0,5m;
- ii) A relação entre a área de janelas e a das paredes- “*Window to Wall Ratio*”, com dois valores: 30% e 60% e o vidro liso com 3 mm de espessura;
- iii) As paredes externas com características de inércia térmica leve e isolante correspondendo ao valor de transmitância global de $U=0,870 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ e inércia térmica pesada e isolante com $U=1,695 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. As demais paredes, consideradas bem isoladas termicamente com valores de $U=0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ e a cobertura com $U=0,377 \text{ W/m}^2 \text{ K}$;
- iv) A iluminação artificial composta por lâmpadas fluorescentes e luminárias brancas correspondem à taxa de $13,9 \text{ W/m}^2$ e a iluminação artificial otimizada com lâmpadas de maior eficiência, com luminária de alumínio polido correspondem à taxa de $6,7 \text{ W/m}^2$. Ambas dimensionadas para a iluminância de 300 lux e com as características superficiais de paredes e forros claros correspondendo à $\alpha=0,20$;
- v) As salas desocupadas, com um aparelho de ar condicionado de parede correspondendo a 12.500 BTU. Outra situação de uso é com lotação de 40 alunos com e sem proteção arbórea, na qual o dimensionamento do sistema de ar condicionado foi adotado por “*default*” do próprio programa visual DOE 2.5;
- vi) A orientação da sala variando para os 4 pontos cardeais: N, E, S, W com paredes externas e coberturas brancas, com $\alpha=0,20$;
- vii) A transparência das árvores foi modelada com tiras verticais, nas dimensões de exemplares arbóreos adultos, onde foram incluídos, geometricamente, os vazios correspondentes às transparências.

Para melhor esclarecer sobre os parâmetros variados, têm-se que: no caso de simulação computacional paramétrica do desempenho energético, adotaram-se duas situações de paredes externas: uma leve e isolante e uma com inércia térmica pesada. As demais, inclusive cobertura e piso interno, foram adotadas com grande isolamento térmico. Tal escolha fundamenta-se em prever o desempenho energético, apenas nas

paredes verticais externas e nas janelas com relação ao WWR - razão entre a área de janelas e a da parede - correspondendo a duas situações, com os valores de 30% e 60%.

Estas paredes externas são compostas, no caso das paredes leves e isolantes, por duas chapas de madeira compensada e isolamento térmico interno com 2,5 cm de lã de rocha, compondo um painel do tipo “*sandwich*”, cujo valor de transmitância térmica global é de $U=0,87 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. No caso das paredes externas, com inércia térmica pesada, são compostas de tijolo maciço, dispostos na composição de uma vez, com reboco interno e externo, correspondendo a um valor de transmitância térmica global de $U=1,695 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Os demais fechamentos são compostos como segue:

- i) Paredes internas compostas de reboco interno e externo, isolamento térmica externa com poliestireno expandido na espessura de 7,26 cm e alvenaria com tijolos maciços dispostos em composição de uma vez. Neste tipo de fechamento o valor de transmitância térmica global corresponde a $U=0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$;
- ii) A cobertura é composta por telha cerâmica com cor branca, uma camada de poliestireno com espessura de 7,62 cm e uma laje de concreto maciço com espessura de 10,0 cm. Tal fechamento corresponde a um valor de transmitância térmica global de $U=0,377 \text{ W/m}^2 \text{ K}$;
- iii) O piso interno é composto por cerâmica, lastro de concreto maciço com 10,0 cm de espessura e uma camada de poliestireno expandido com a espessura de 7,62 cm. Tal composição corresponde a um valor de transmitância térmica global de $U=0,412 \text{ W/m}^2 \text{ K}$;

O ambiente construído corresponde a apenas uma sala com dimensões em planta de 6,0 m de largura e 10,0 m de comprimento e a altura do pé-direito é de 3,0 m. O sombreamento arbóreo constitui-se de planos verticais vazados correspondendo à transparência das árvores, pois o algoritmo do “*software*” VisualDOE considera apenas a transmitância térmica para as obstruções externas. Como ilustração da proteção arbórea apresentam-se “*lay-outs*” nas figuras 3.13 a 3.16, para se aquilatar as dimensões do edifício e da árvore.

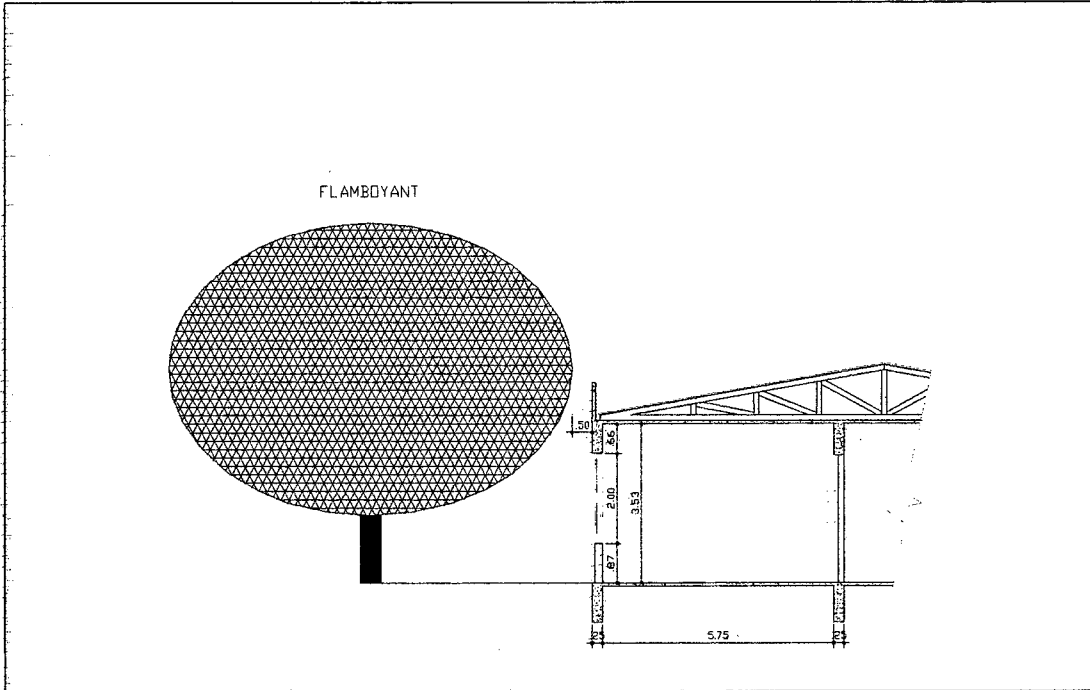


Figura 3.13 Flamboyant e o corte do edifício

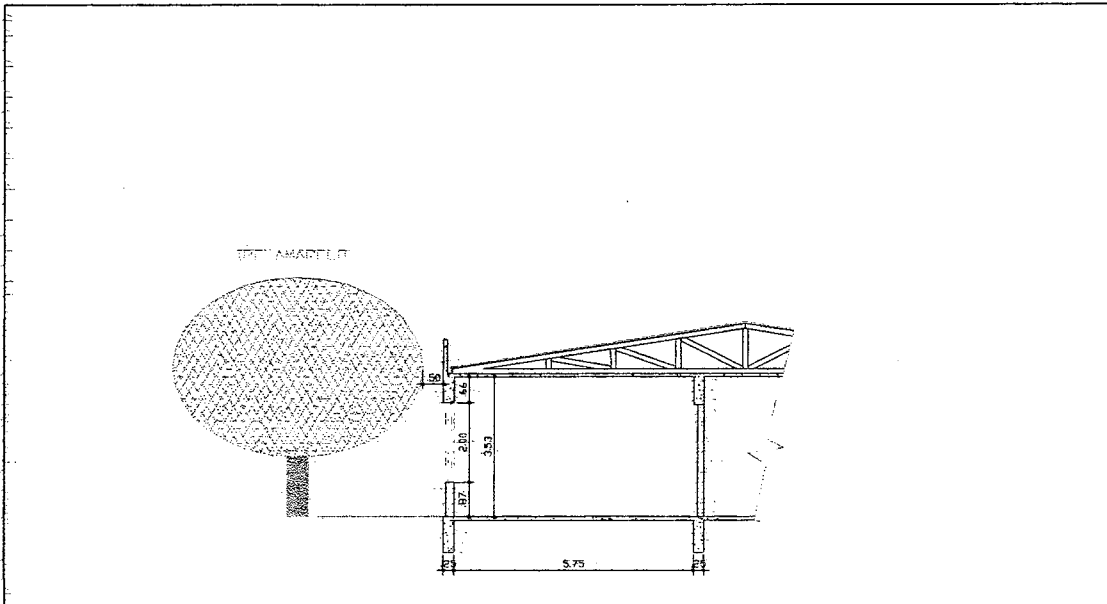


Figura 3.14 Ipê Amarelo adulto e o corte do edifício

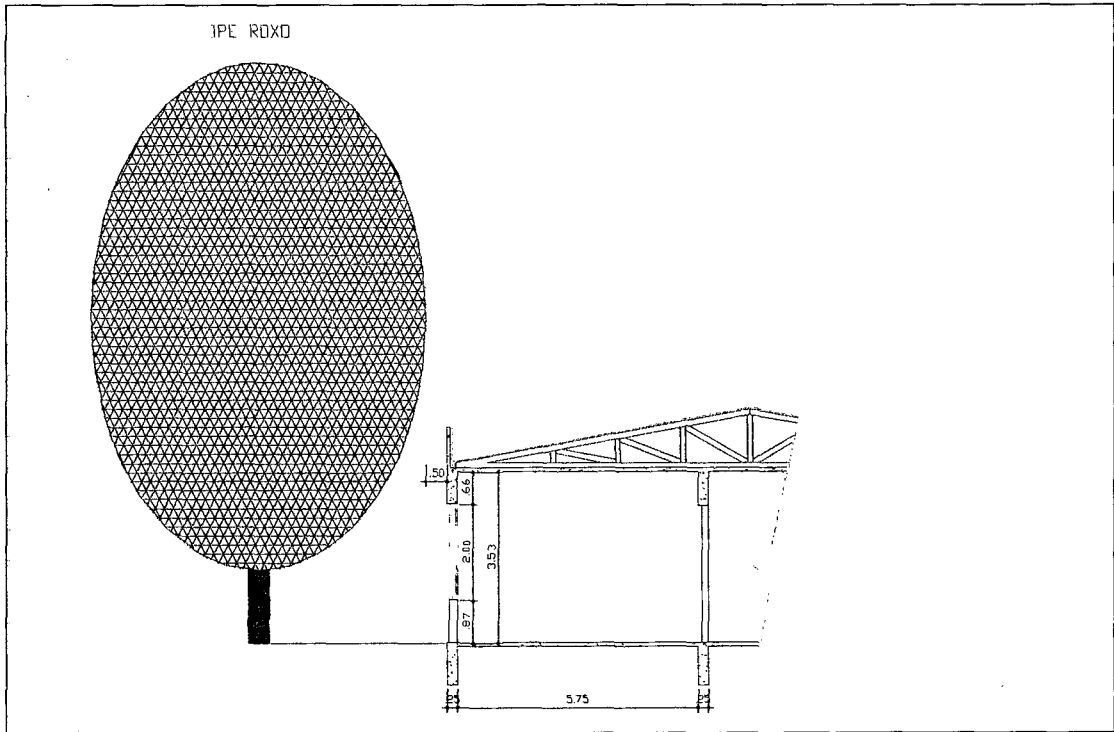


Figura 3.15 Ipê Roxo adulto e o corte do Edifício

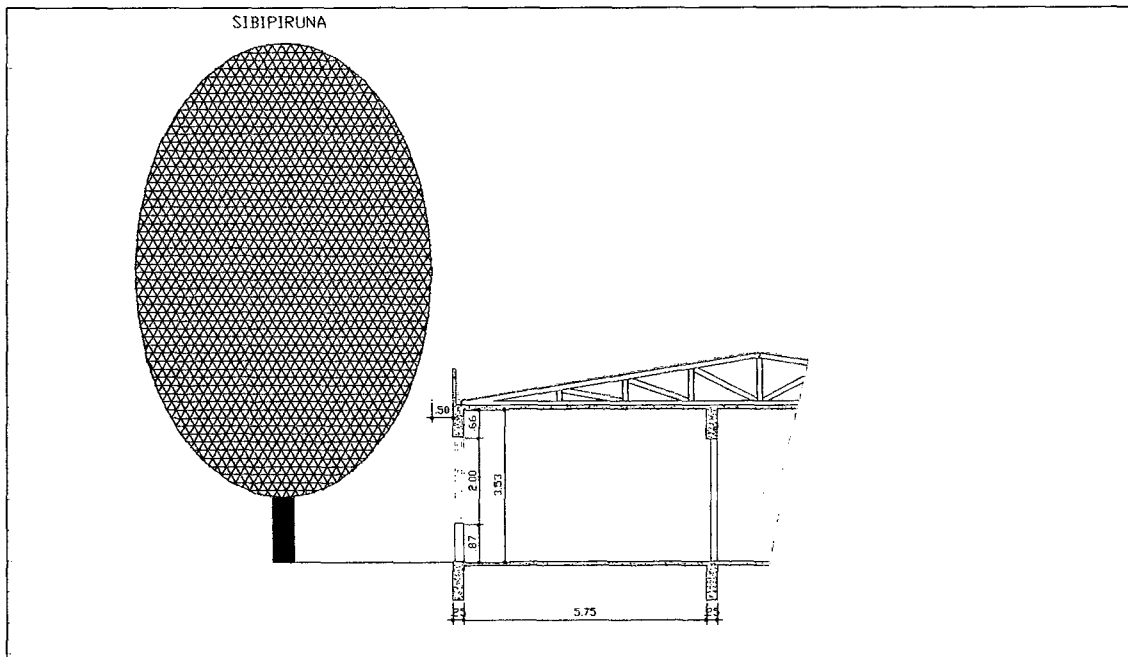


Figura 3.16 Sibipiruna adulta e o corte do Edifício

As dimensões das árvores são: de 1,5m de altura de bifurcação e as copas têm a dimensão de árvores adultas. O Flamboyant com altura de 8,0m e diâmetro da copa com 10,0m; o Ipê Roxo com altura de 12,0m e diâmetro da copa com 8,0m; o Ipê Amarelo com altura de 6,0m e diâmetro da copa com 6,0m e, finalmente, a Sibipiruna com altura de 12,0m e diâmetro da copa com 7,0m.

São dispostas com distâncias da copa em relação ao edifício, variando de 8,0m a 0,5m. As espécies arbóreas adotadas (Flamboyant, Sibipiruna, Ipê Amarelo e Ipê Roxo) estão dispostas contíguas entre si e paralelas à parede externa com os vazios correspondentes à transparência da árvore conforme figura 3.17 que indica um exemplo para 40% de transparência da árvore.

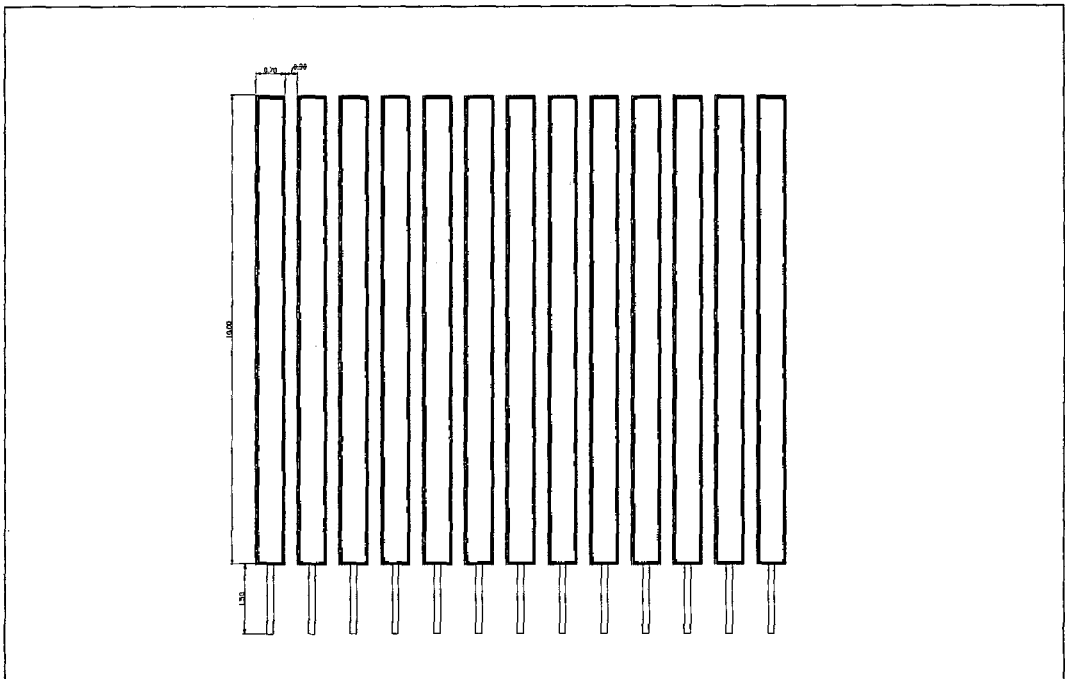


Figura 3.17 – Exemplo de árvore com transparência de 30% para uso na simulação com o Programa Visual DOE.

Esta simplificação adotada para as árvores, decorre das limitações do “*software*” visualDOE, que possibilita a adoção de elementos planos ou volumétricos (em forma de paralelepípedos) como obstrução externa, com transparência variável, porém apenas para radiação térmica. Desta forma para incluir no estudo a transparência à luz solar, adotou-se como válida, para ambos os casos, a transparência geométrica do plano de obstrução externo.

Ressalta-se que tal procedimento de simplificação permite a inclusão simultânea das ondas eletromagnéticas térmicas e luminosas na simulação computacional paramétrica, muito embora acarrete, principalmente, limitações referentes à geometria da posição solar, que entretanto não invalidam o modelo físico adotado.

Para avaliar os conflitos e os compromissos entre luz e calor nos edifícios variam-se: a orientação das salas, o tipo de iluminação artificial fluorescente (otimizada ou não), e para as árvores foram adotadas as transparências mensais medidas pela luminância, além das dimensões geométricas que foram adotadas como as de exemplares adultos, obtidas da bibliografia.

Tal procedimento de escolha, variando-se a distância das árvores em relação ao edifício, é para analisar-se os casos paramétricos e para obtenção de dados propícios para uma análise individual de cada variável no desempenho energético dos modelos de salas escolhidos.

3.2.5.1 Levantamento de dados climáticos externos e elaboração do ano típico de referência- “*Test Reference Year*”

O “*Test Reference Year*” (ano típico de referência), consiste em dados climáticos horários apresentados em um formato padronizado, necessário para simulação de desempenho térmico e de energético edificações. No ano típico de referência constam as seguintes informações climáticas para as 8.760 horas do ano para cada elemento de clima, com unidades do S.I, são eles:

- i) Temperatura de Bulbo Seco (TBS);**
- ii) Temperatura de Bulbo úmido (TBU);**
- iii) Direção do Vento;**
- iv) Velocidade do Vento;**
- v) Pressão Barométrica**
- vi) Radiação Solar.**

Utilizando o Banco de dados informatizado da ECPM/UEM/INEMET, de leituras sinóticas, 12, 18 e 24 TMG do período 1983-1995, elaborou-se a Normal Climatológica e a escolha do “*Test Reference Year*” ou Ano Típico de Referência.

Na elaboração da Normal Climatológica do período 1983-1995, foram utilizadas as médias de: TBS (Temperatura de Bulbo Seco), TBU (Temperatura de Bulbo Úmido), UMID (Umidade Relativa), Velocidade do Ar, NEB (Nebulosidade), VISIB (Visibilidade). Para obtenção dessas médias as seguintes fórmulas foram utilizadas:

- Temperatura de Bulbo Seco média (TBSMÉD)

$$TBSMÉD = \frac{TEMP_{MÉD12} + 2 \cdot TEMP_{MÉD24} + TEMP_{MÁXMED} + TEMP_{MÍNME D}}{5} \quad (3.1)$$

- Temperatura de Bulbo Úmido média (TBUMÉD)

$$TBUMÉD = \frac{TEMP_{MÉD12} + 2 \cdot TEMP_{MÉD24} + TEMP_{MÁXMED} + TEMP_{MÍNME D}}{5} \quad (3.2)$$

- Umidade Relativa do Ar média (UMIDMÉD)

$$UMIDMÉD = \frac{UMID_{MED12} + UMID_{MED18} + 2 \cdot UMID_{MED24}}{4} \quad (3.3)$$

- Velocidade do Ar média (UMIDMÉD)

$$VENTOMÉD = \frac{VEL_{MED12} + VEL_{MED18} + VEL_{MED24}}{3} \quad (3.4)$$

- Nebulosidade média (NEBMÉD)

$$NEBMÉD = \frac{NEB_{MED12} + NEB_{MED18} + NEB_{MED24}}{3} \quad (3.5)$$

- Visibilidade média (VISIBMÉD)

$$VISIBMÉD = \frac{VISIB_{MED12} + VISIB_{MED18} + VISIB_{MED24}}{3} \quad (3.6)$$

Uma vez obtidas as médias mensais das variáveis acima explicitadas, foi elaborada uma média aritmética e a partir dessa, e das médias mensais de cada ano, foi calculado o desvio padrão. A Normal Climatológica do elemento de interesse, no período em estudo, fica sendo portanto, a média aritmética das médias mensais.

O procedimento utilizado para selecionar o ano típico de referência é baseado na eliminação de anos com dados, os quais contém temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas) até permanecer um ano somente. Para isso, os meses são classificados em ordem de importância para cálculos de energia. Ou seja são considerados mais importantes o mês mais quente e o mês mais frio, em seguida o 2º mês mais quente e o 2º mês mais frio e assim sucessivamente, montando-se uma lista de ordem de importância.

A partir da lista de temperaturas mensais, o ano que contém o mês mais quente é anotado em seguida o ano que contém o mês mais frio, esses anos são eliminados. Desconsiderando os dois anos e meses eliminados anota-se novamente o ano que contém o mês mais quente, depois o ano que contém o mês mais frio repete-se o processo até restar apenas um ano. Este ano é considerado o ano típico de referência.

O ano típico de referência - “*Test Reference Year*”- obtido foi o ano de 1991. Para a sua aplicação foi necessária a digitação de 52560 dados em planilha eletrônica, além de que, em substituição à nebulosidade, utilizou-se a radiação global diária. Para obtê-la foram planimetradas de modo manual e diariamente cada ficha de registro da radiação solar global. Em seguida, aplicou-se a subrotina do “*software*” NBSLD elaborado por KUSUDA (1976), que se baseia no modelo físico-matemático de LIU e JORDAN (1960), para obter os valores horários de radiação solar global diária e as suas componentes direta e difusa. Obtém-se, também, como dado de saída a radiação solar normal à direção do raio solar em cada hora. Estes dados foram tratados para a substituição aos dados horários de nebulosidade e tipos de nuvens que estimam a radiação solar no “*software*” visualDOE.

3.2.6 Sexta Etapa: Levantamento dos conflitos e compromissos termo-lumínicos.

Para cada sistema construtivo, tipologia e densidade de proteção arbórea apresentam-se, através de uma listagem de argumentos quantificados, os compromissos e conflitos do desempenho termo-lumínico com a conservação de energia através da simulação computacional paramétrica do consumo elétrico com iluminação artificial e do consumo devido ao resfriamento por ar condicionado. A simulação computacional paramétrica efetuou-se com o “*software*” visualDOE 2.5.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados das Medições Termo-Lumínicas de Verão	127
4.1.1 As Condições Climáticas Externas do Período de Medição Térmica no Verão	127
4.1.2 As Medições da iluminação de Verão	129
4.1.3 As Medições Térmicas de Verão	135
4.1.4 Considerações Finais para o Verão	138
4.2 Resultados das Medições Termo - Lumínicas de Inverno	140
4.2.1 As Condições Climáticas Externas no Período de Medição Térmica, no Inverno	140
4.2.2 As Medições Lumínicas de Inverno	142
4.2.3 Medições Térmicas de Inverno	147
4.2.4 Considerações Finais de Inverno.....	151
4.2.5. Considerações Finais para o Inverno e Verão.....	153
4.3 Resultados do método de obtenção do índice de transparência das essências arbóreas.....	161
4.3.1 Resultados das Medições de Luminância e do Tratamento Computacional de Imagens.....	161
4.3.2 Resultados na Medição mensal no local da transparência de um exemplar de cada espécie de árvore através da luminância	170
4.3.2.1 Incerteza da medição mensal da transparência das árvores	172
4.4 Simulação Computacional Paramétrica do consumo de energia elétrica de modelos de salas de aula com o “software” VisualDOE 2.5	173
4.4.1 Consumo do caso base de E.E para os Quatro pontos Cardeais sem Sombreamento e com usuários e ar condicionado	178
4.4.2. Tendências Gerais de Desempenho do Sombreamento por Espécie Arbórea	180
4.4.3 Simulação Computacional paramétrica do consumo de energia elétrica em salas sombreadas por Flamboyant.....	187

4.4.4 Simulação Computacional Paramétrica do Consumo de Energia Elétrica em Salas Sombreadas por Sibipiruna.....	199
4.4.5 Simulação Computacional Paramétrica do Consumo de Energia Elétrica em Salas Sombreadas por Ipê Roxo	204
4.4.6. Simulação Computacional Paramétrica do Consumo de Energia Elétrica em Salas Sombreadas por Ipê Amarelo	209
4.4.7 Simulação paramétrica dos casos com dimensionamento de ar condicionado para as quatro árvores.....	214
4.4.7.1 Discussão sobre os Conflitos e Compromissos entre a Luz e o Calor em salas de aula sombreadas	215

4.1 Resultados das Medições Termo-Lumínicas de Verão

Foram adotados os resultados das medições em orientações opostas para os aspectos termo-lumínicos nesta estação climática, para se avaliar a influência da orientação.

4.1.1 As Condições Climáticas Externas do Período de Medição Térmica no Verão

De acordo com a classificação climática de KÖEPEN, o verão, neste período, apresentou-se chuvoso, o que pode ser visualizado nas figuras 4.1 e 4.2, onde por penetração de frentes frias ocorriam quedas bruscas de temperatura associadas a uma elevação da umidade relativa, ambas externas obtidas com dados horários da ECPM/UEM. Essas depressões na figura 4.1 indicam o horário e a temperatura de queda no valor da temperatura do ar devido às chuvas, e como se incrementa a umidade relativa na condição de chuva podem ser visualizadas pelas depressões que ocorrem ao longo da marcha horária da temperatura de cada dia apresentando dois ou mais picos de máximo durante cada dia chuvoso. Esta instabilidade climática pode ser avaliada pelos valores da insolação horária da figura 4.3 e dos ventos na figura 4.4. Considerando os valores das temperaturas máximas do ar e o critério de dia típico definido por AKUTSU *et alii* (1987), além do levantamento dos dados locais para os dias típicos feitos por PIETROBON (1990), o período de medição caracterizou-se pela probabilidade de ocorrência de 20% a 60% de dias mais quentes, sendo uma situação atípica.

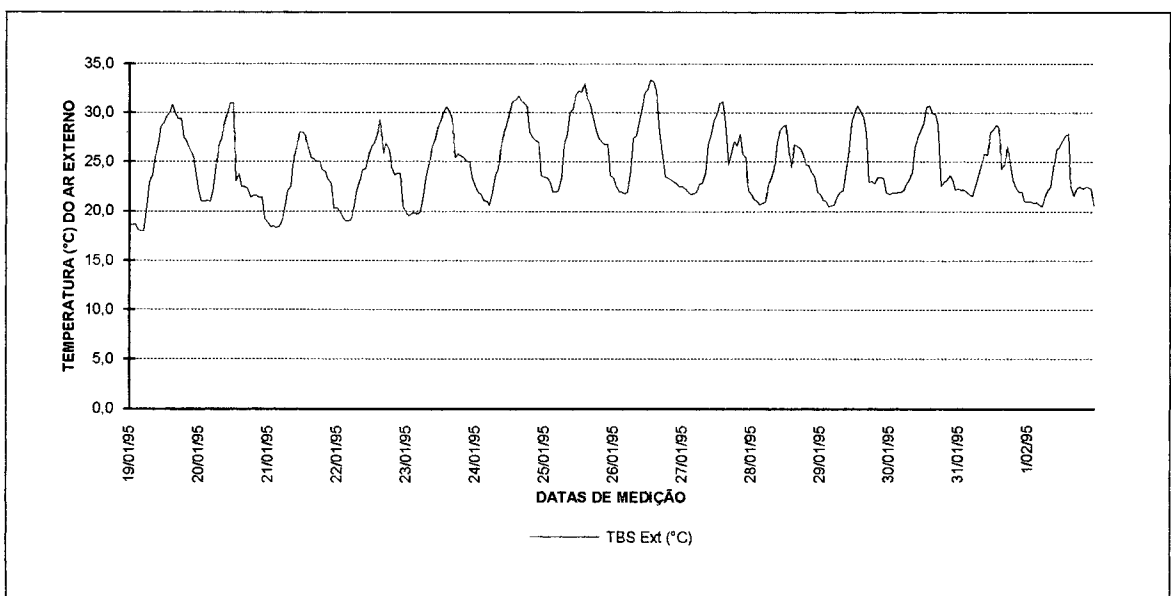


Figura 4.1 - Marcha Horária da temperatura do ar externo no verão

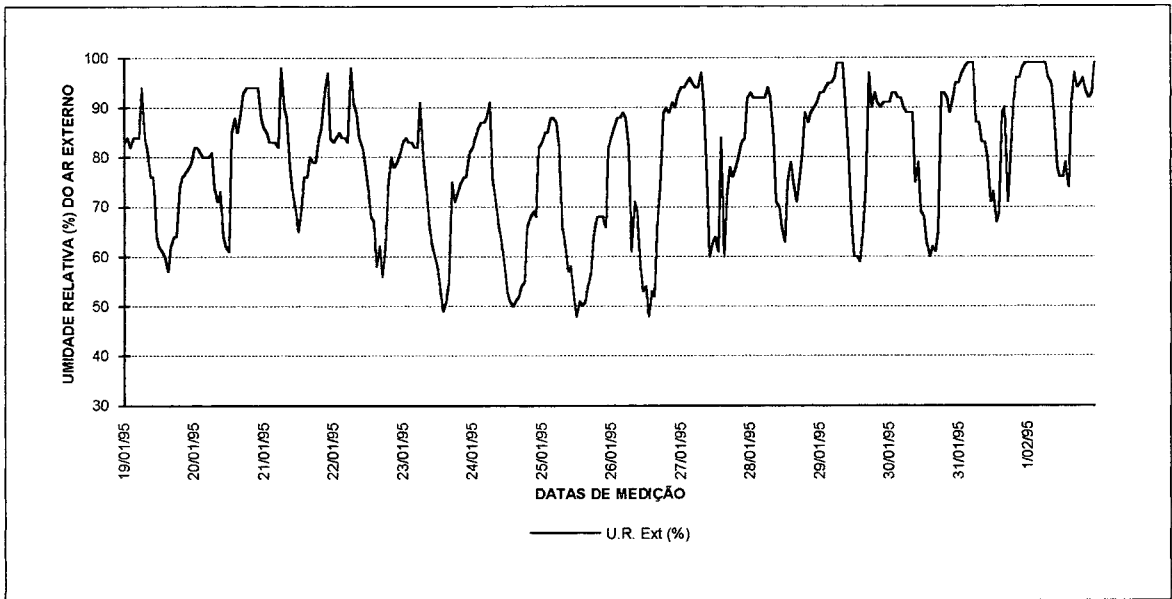


Figura 4.2 - Marcha Horária da umidade relativa do ar externo no verão

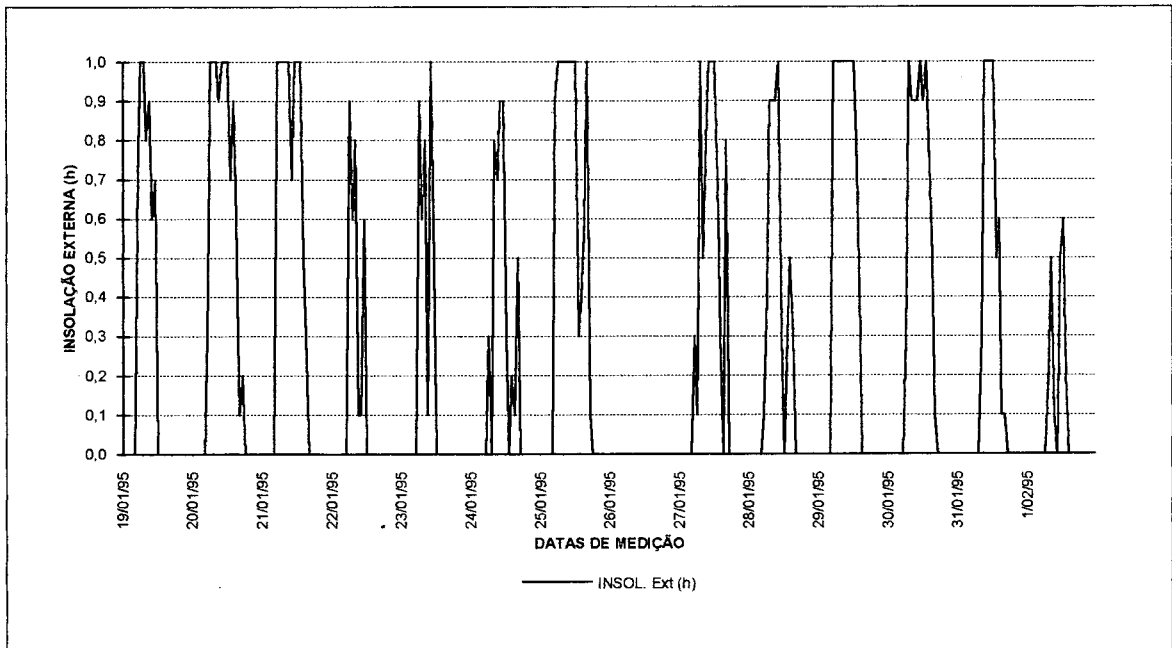


Figura 4.3 - Marcha Horária da insolação externa no verão (horas de sol).

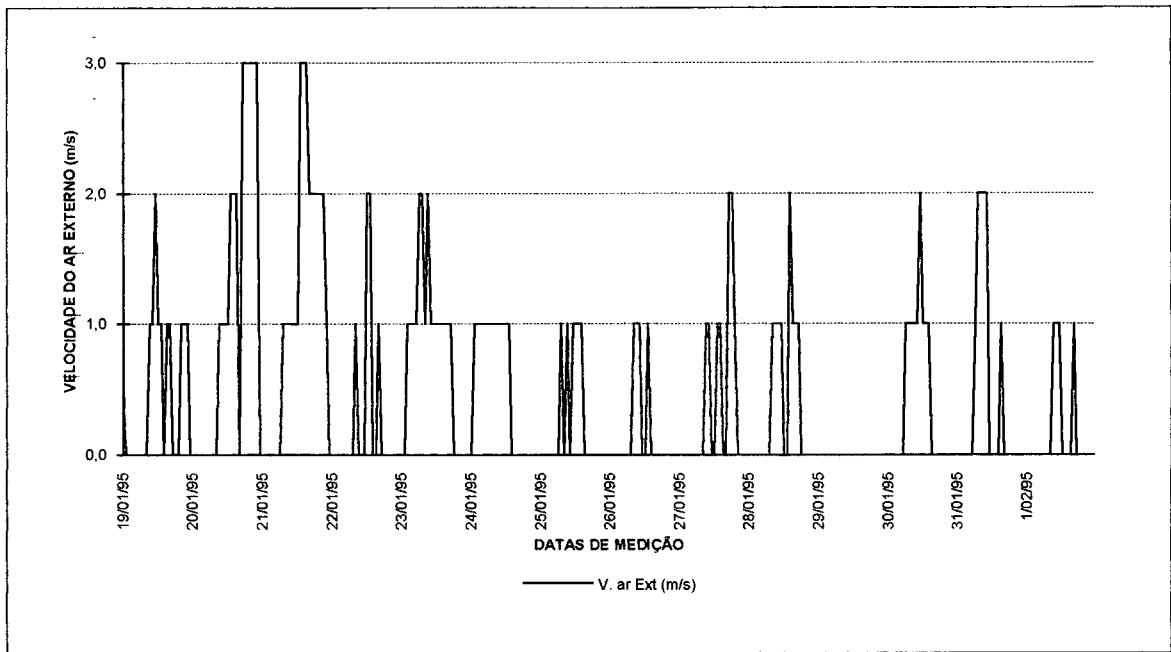


Figura 4.4 - Marcha Horária da velocidade do ar externo no verão

4.1.2 As Medições da iluminação de Verão

Complementando este item apresentam-se os gráficos da correlação dos valores de iluminância obtidos por medição " *in loco* " com a metodologia de VHP- Vertical Horizontal Próximo das salas em pauta, nas Figura III.9 a III.16 no Anexo III e na tabela 4.1, com a classificação por ordem decrescente de iluminância interna. O VHP, da forma proposta nesta tese, é obtido através do coeficiente angular da reta de regressão (a) na forma percentual.

Tabela 4.1 Classificação dos hemisférios verticais externos pelo valor de iluminância média

Local	Orientação	Sala	Iluminância média Vertical (M)	Coef. de Regressão (r^2)	Coef. Angular $a=FLD$ e VHP(%)
Bloco M05	N	S07	12 375 lux	0,70	4,65%
Bloco M05	S	S10	10 320 lux	0,94	4,51%
Bloco D34	SW	S206	9 140 lux	0,86	6,40%
Bloco D34	NE	S205	7 365 lux	0,80	7,94%
Bloco E46	E	S05	5 622 lux	0,95	6,94%
Bloco E46	W	S06	2 099 lux	0,95	6,25%
Bloco E34	SE	S05	1 289 lux	0,96	7,68%
Bloco E34	NW	S06	697 lux	0,99	8,45%

Tabela 4.2 Classificação dos hemisférios horizontais internos pelo valor de iluminância média.

Local	Orientação	Sala	Iluminância média Horizontal (M)	Coef. de Regressão (r^2)	Coef. Angular $a=FLD$ e VHP(%)
Bloco D34	NE	S205	631 lux	0,80	7,94%
Bloco D34	SW	S206	612 lux	0,86	6,40%
Bloco M05	N	S07	595 lux	0,70	4,65%
Bloco M05	S	S10	468 lux	0,94	4,51%
Bloco E46	E	S05	392 lux	0,95	6,94%
Bloco E46	W	S06	128 lux	0,95	6,25%
Bloco E34	SE	S05	101 lux	0,96	7,68%
Bloco E34	NW	S06	61 lux	0,99	8,45%

Analisando-se as tabelas 4.1 e 4.2 além das curvas de regressão linear da iluminância VHP, nota-se que os valores do bloco E34 apresentam os menores valores de iluminância média horizontal e os maiores coeficientes angulares das retas de regressão linear em função da cobertura arbórea diferenciada dos demais blocos. Salientam-se ainda; os seguintes aspectos nos blocos não obstruídos por vegetação:

a) Bloco D34 - hemisférios NE e SW em regime de nebulosidade variável , salas 205 e 206. Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 6 furos - Telhamento de Fibrocimento

i) Na iluminação interna predomina a insolação direta;

ii) A Orientação do edifício influi no regime da iluminação interna;

iii) Há uma maior dispersão dos valores pontuais internos, mostrados nas retas de regressão devido ao regime de insolação direta e refletida no qual o regime de iluminação direta predomina;

iv) Apresenta maiores valores de iluminação interna média, no plano horizontal devido às seguintes condicionantes:

- Maior valor de $WWR=52,5\%$ (total do vão) e $WWR_v=38,3\%$ devido apenas à área dos vidros;

- Maior pé-direito com 3,57m de altura.

v) O FLD obtido para a sala 205 é 7,94% e para a sala 206 é 6,40%.

b) Bloco M05 - Hemisfério N e S em regime de nebulosidade variável, salas 7 e 10 Sistema Construtivo Bloco de Concreto Telhamento Cerâmico

São válidas as mesmas considerações anteriormente descritas, exceto que:

i) Apresenta menores valores de iluminação interna média, no plano horizontal devido às condicionantes a seguir apresentadas:

- Menor valor de $WWR=35,7\%$ e $WWR_v=25,5\%$;
- Menor valor de pé direito com dimensão de 3,10m de altura;
- Na sala 10, na face sul, devido a insolação, no período considerado, ser menor que na face norte, a dispersão das medições é menor que na situação anterior;

Em ambos os casos sem proteção arbórea o hemisfério vertical externo atinge valores de iluminância máxima entre 15.000 e 25.000 lux. E nos de iluminância interna horizontal os valores máximos aproximam-se de 700 lux a 1.500 lux. Convém salientar que a amplitude dos luxímetros utilizados é de 0 a 50.000 lux e os valores de iluminância externa no plano horizontal que ultrapassaram este limite superior foram excluídos da análise, num montante de cerca de 70% dos dados medidos. Portanto não se apresentaram os resultados HHD e HHP devido a pequena quantidade de dados significativos.

O valor de FLD/VHP obtido para a sala 007 é de 4,65% e para a sala 010 é de 4,51%.

Para os casos dos blocos obstruídos por elementos de proteção arquitetônicos e vegetação, têm-se que:

c) Bloco E46 - Hemisférios E, W em regime de nebulosidade variável, salas 05 e 06.
Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 4 furos Telhamento de Alumínio

- i) Na iluminância do hemisfério vertical externo predomina a iluminação difusa, com a vegetação atuando como agente difusor;
- ii) A orientação do bloco exerce pouca influência devido a existência de elementos de proteção solar;
- iii) As salas apresentaram $WWR=57,1\%$ e $WWR_v=41,7\%$ e apesar do maior valor de “*Window to Wall Ratio*” – WWR (Razão entre a área das janelas e a da parede), da proteção por beirais maiores (1.85m), do sombreamento pelas árvores, além das paredes internas serem escuras, apresentam valores de iluminação natural interna média diretamente ligados à obstrução física,

conforme indica a documentação fotográfica dos hemisférios verticais (Anexo III);

- iv) A dispersão dos resultados, por estarem regidos pela iluminação difusa, é menor que nos casos anteriores sem proteção arbórea.
- v) O valores obtidos para FLD/VHP na sala 005 é de 6,94% e para sala 006 é de 6,35%.

d) Bloco E34 - hemisfério SE e NW, em regime de nebulosidade variável, salas 05 e 06. Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 4 furos Telhamento de Alumínio

Este bloco, arquitetonicamente é igual ao anterior, exceto na orientação e na vegetação, sendo válidas as considerações para o edifício anterior, têm-se que:

- i) A proteção arbórea tem maior densidade de obstrução física, e devido a isto apresenta menores valores de iluminância natural interna no plano horizontal.
- ii) O valor obtido para FLD/VHP na sala 005 é de 7,68% e para a sala 006 é de 8,45%.

Em ambos os blocos E46 e E34 os resultados para o índice VHP apresentam menor dispersão dos resultados, devido à predominância da iluminação externa possuir incidência maior da componente difusa, devido às obstruções arbóreas e menor incidência de iluminação solar direta, em função dos elementos de proteção arquitetônica.

Nestes dois blocos os valores de iluminância interna e externamente ocupam a mesma ordem de classificação nas tabelas 4.1 e 4.2. Ou seja, no hemisfério vertical externo mais obstruído apresenta-se menor valor de iluminância interna.

Os valores de iluminância externa máxima variam de 1 500 lux até 10 000 lux e os internos máximos de 125 lux a 800 lux, conforme a densidade de obstrução arbórea e WWR(Razão entre a área das janelas e a da parede).

Os resultados obtidos pelo tratamento de imagens dos hemisférios interiores e exteriores através da iluminância, bem como as curvas de regressão comparativas com os dados de medição no local apresentam-se no Anexo III, para o Verão.

e) Confiabilidade da análise

Como a iluminância foi medida em datas diversas, no verão, procurou-se verificar a possibilidade de juntar os valores das três medições numa única regressão linear. Então, tomou-se a média de cada coeficiente angular dos três dias na forma percentual e correlacionou-se com o valor deste coeficiente com o da regressão que inclui todas as medições numa só regressão mostradas nas figuras 4.5 e 4.6 e obteve-se uma reta de regressão linear com $r^2 = 0,87$ indicando uma aproximação com a reta de $y = a.x$ com o coeficiente $a = 1,011$ - apresentado na figura 4.5.

Também, adotou-se o índice denominado de Coeficiente de Eficiência de Iluminação Média que corresponde, em forma percentual à razão entre a iluminação natural média interna e no plano de trabalho relacionadas na tabela 4.2 e os valores de iluminação externa vertical média. Saliencia-se que o CLD difere do Coeficiente de Eficiência, pois adota valores de iluminância externa e interna com os sensores do luxímetro na posição horizontal.

Correlacionou-se com o coeficiente angular da reta de regressão da iluminação das três medições em conjunto e obteve-se uma reta com $r^2 = 0,87$ e coeficiente $a = 1,019$ na forma da reta $y = a .x$, apresentado nas figura 4.5 e 4.6, que indica uma robusta correlação linear, validando os métodos de medição diferenciados para o verão e inverno.

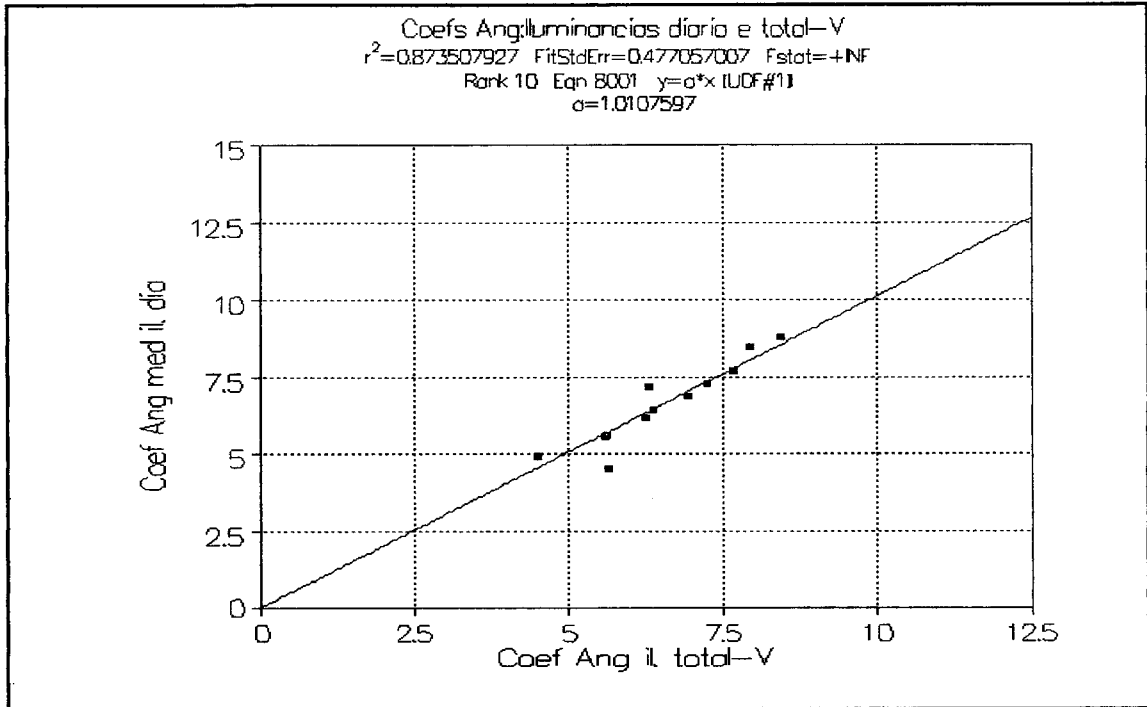


Figura 4.5 - Regressão Linear dos Coeficientes Angulares das Iluminações Diárias e Total - VERÃO.

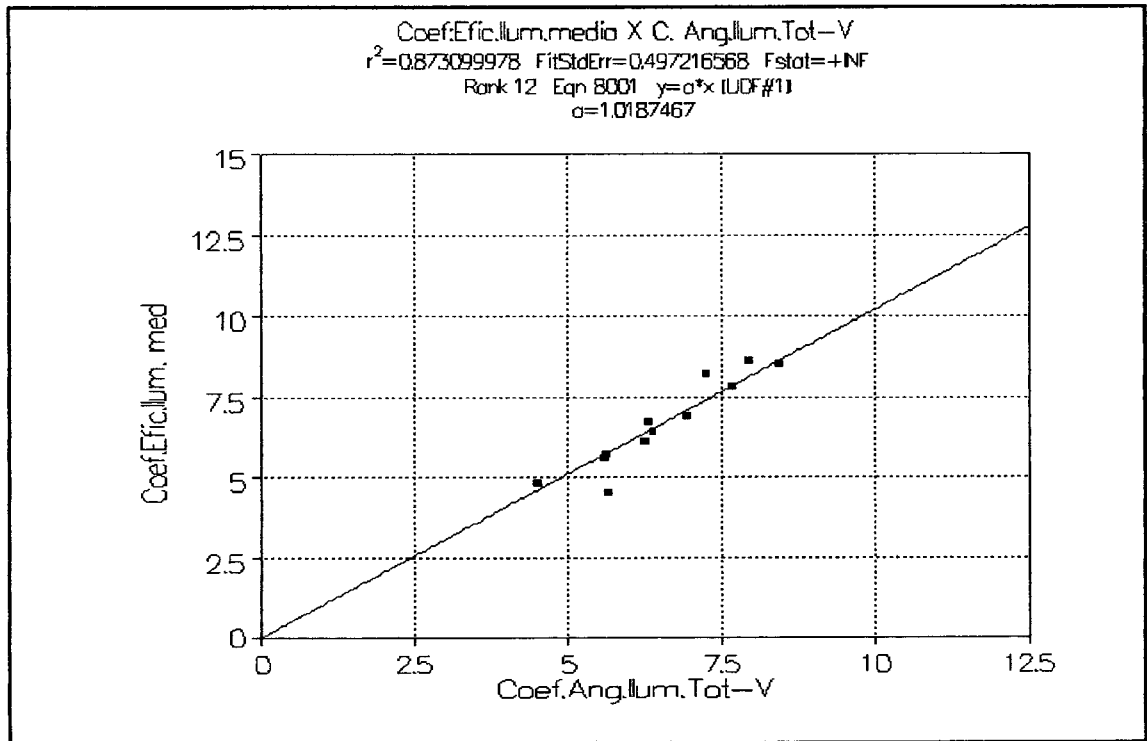


Figura 4.6 - Regressão Linear da Eficiência da Iluminação Média e Coeficiente. Angular de Iluminação Total - VERÃO.

4.1.3 As Medições Térmicas de Verão

As medições foram efetuadas no verão e as salas monitoradas o foram em mesma orientação, pois necessita-se avaliar comparativamente o desempenho termo-luminoso com diferentes sombreamentos arbóreos. Neste caso não foi possível obter os resultados pretendidos acerca da influência da orientação em edificações arborizadas. Da mesma forma que para o inverno ocorreu a mesma situação anterior citada, a não ser no caso de se obter quantitativamente os conflitos entre iluminação natural e conforto térmico, portanto necessita-se de simulação computacional paramétrica para indicar um caminho relativo aos compromissos entre luz e calor

Para determinação do PMV, segundo FANGER (1972), utilizou-se o programa computacional ANALYSIS que foi desenvolvido pelo LMPT / NPC / UFSC. Além das variáveis térmicas medidas no local, foi observada a variável de 0,477 clo para a vestimenta que corresponde ao arroupamento típico de verão: meia grossa, cueca, camiseta, calça fina e tênis. Como atividade metabólica utilizou-se o valor de escritórios que corresponde a 70 W/m^2 . Os limites de conforto adotados foram os da ANSI/ASHRAE 55-81, conforme AKUTSU *et alii* (1987), variando o PMV entre -0,82 e +0,82 e PPD de 20%.

Apresentam-se os resultados das medições térmicas, pela ordem de classificação por iluminância interna média da tabela 4.2, inicialmente para os edifícios sem sombreamento arbóreo. Estas e as demais curvas de comportamento térmico no Verão, apresentam-se no Anexo V, pela ordem crescente da razão entre a integração numérica das ΣPMV_i e ΣPMV_e .

- a) Bloco D34 - orientação NE e SW em regime de nebulosidade variável, salas 205 e 206. Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 6 furos Telhamento de Fibrocimento

Analisando-se os dados da temperatura de bulbo seco externo, através das suas quedas bruscas nos três dias de medição, indicam a ocorrência de chuvas de verão. As demais variáveis analisadas são a Temperatura Radiante média, a Temperatura de Bulbo seco do ar interno e a Temperatura Superficial média do forro, cujo comportamento é o pior de todas as salas, sendo as temperaturas internas maiores que as externas.

As salas 205 e 206 não possuem proteção contra radiação solar, nem arbórea e nem arquitetônica, ressalta-se então que as temperaturas superficiais devido ao alto

valor de transmitância da cobertura e as temperaturas radiantes médias são sempre superiores a temperatura de bulbo seco do ar externo. Nestes ambientes internos não protegidos a iluminação interna média é maior, conseqüentemente com mais luz, apresenta-se mais calor. Segundo o índice de FANGER (1972), o comportamento da sala 206 com orientação SW é pior que o da sala 205 com orientação NE, especialmente no primeiro dia de medição. Estas condições podem ser visualizadas no ANEXO V. Integrando-se numericamente os valores de ΣPMV_i e ΣPMV_e , que ultrapassam o limite de $PMV=+0,82$ hora à hora, efetuando uma razão entre eles; confirmam-se numericamente as assertivas anteriores, com os valores de: Sala 205 razão $|0,95|$, e a Sala 206 razão $|1,72|$.

b) Bloco M05 - orientação N e S em regime de nebulosidade variável, salas 7 e 10. Sistema Construtivo Bloco de Concreto Telhamento Cerâmico

Neste caso pela análise da temperatura de bulbo seco do ar externo, ocorreu chuva no 2º dia de medição.

O comportamento térmico do Bloco M05 é melhor que o anterior especialmente nos dois primeiros dias de medição no tocante às temperaturas, devido principalmente à orientação correta N e S, que minimiza a carga térmica, embora o bloco apresente alta iluminância interna. Neste monitoramento não foi medida a temperatura superficial do forro, por falta de equipamento. Mesmo assim nota-se a influência da orientação em relação ao comportamento térmico da edificação.

No tocante ao conforto térmico, segundo o índice de FANGER (1972), no período vespertino não se obtém bons resultados, marcadamente na sala 10, com orientação Sul, que é a face que recebe insolação horária na estação climática de verão no período inicial da manhã e no final da tarde. Tais considerações podem ser visualizadas no Anexo V. Utilizando a integração numérica, como na sala anterior, têm-se que: Sala 07, razão $|0,61|$ e Sala 10, razão $|0,84|$, confirmando quantitativamente que a sala 7 tem melhor desempenho térmico que a sala 10.

c) Bloco E46, orientação E e W, em regime de nebulosidade variável, salas 5 e 6. Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 4 furos Telhamento de Alumínio

Nos dois últimos dias de medição pela análise da temperatura de bulbo seco do ar externo, nota-se chuva devido às quedas bruscas nos seus valores no decorrer da marcha horária dessa temperatura.

O comportamento térmico da face com maior densidade de cobertura arbórea embora a implantação do bloco seja desaconselhável do ponto de vista térmico (sala 6, orientação W) apresenta melhores resultados que na orientação da sala oposta 05, cuja proteção é menos densa. Embora não se tenha alcançado conforto térmico em nenhuma das salas, a situação é menos crítica na sala 6 com maior proteção arbórea que é visualizada no Anexo V.

Utilizando a integração numérica, como na sala anterior, têm-se que: na sala 05, a razão é $|1,13|$ e na sala 06 a razão é $|0,59|$, confirmando quantitativamente que a sala 06 tem melhor desempenho térmico que a sala 05.

Neste caso a iluminação natural interna apresenta menores valores que nas salas anteriores.

d) Bloco E34, orientação SE e NW, em regime de nebulosidade variável, salas 5 e 6. Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 4 furos Telhamento de Alumínio.

Neste caso ambas as salas apresentam alta densidade de cobertura arbórea e também o melhor comportamento térmico que as anteriores, pela análise das temperaturas, embora a iluminação natural interna seja muito baixa.

Quanto ao conforto térmico, no período vespertino, os resultados não são adequados segundo o índice de FANGER (1972). Tais considerações podem ser visualizadas no Anexo V.

Quantitativamente, através da integração numérica tem-se que: na Sala 05, a razão é $|0,72|$ e na sala 06 é $|0,41|$, confirmando quantitativamente que a sala 06 tem melhor desempenho térmico que a sala 05.

4.1.4 Considerações Finais para o Verão

Neste ponto, caracteriza-se na situação de referência, um conflito entre as variáveis térmicas e lumínicas, juntamente com a conservação de energia.

Caracteriza-se para o Verão que a orientação das edificações é fundamental no caso de ambientes não protegidos. No caso de proteção solar, arbórea ou arquitetônica, promovem uma relativa independência da orientação. Porém o sombreamento induz a um consumo maior de energia elétrica devido ao baixo nível de iluminação natural disponível, quando iluminadas por janelas laterais.

Além destes aspectos conceituais, salienta-se que a análise do desempenho térmico nesta estação climática fica complexa e é dificultada pela ação das freqüentes chuvas de verão que descaracterizam um comportamento térmico em termos de inércia e resistência térmicas das três tipologias construtivas consideradas. Em termos de conforto térmico, devido às condições atípicas do período de medição no verão, à cobertura vegetal e arquitetônica dos blocos monitorados não foram suficientes para obtenção de condições completamente aceitáveis, conforme AKUTSU *et alli* (1993), pelos índices A, B e C, em relação à razão entre PMVi e PMVe propostas neste trabalho.

Analisando-se o seu efeito nas condições de temperaturas internas nota-se uma melhora crescente com o aumento da densidade de obstrução das aberturas por essências arbóreas e mesmo arquitetônicas. Das salas monitoradas em orientações opostas, no período de verão, de acordo com a integração numérica das curvas de PMV e o tratamento computacional das imagens do hemisfério vertical externo, têm-se que, a densidade de obstrução externa obtida pelo tratamento computacional é coerente com a tabela 4.3, aos pares de salas arborizadas. De acordo com a tabela 4.3, nos aspectos lumínicos, a iluminância horizontal interna média e a obstrução dos hemisférios verticais externos, obtidas por tratamento computacional das imagens, mostram-se coerentes: quanto maior a obstrução física, menor a iluminância interna.

Os coeficientes angulares das retas de regressão $a = \text{FLD}/\text{VHP}$ (%), quando analisados aos pares de salas indicam que quanto maior o valor de FLD/VHP, maior iluminância interna se observa. Esta distinção de análise é necessária pois os sistemas construtivos são diferentes. No caso desta medição que monitoraram-se salas em direções opostas não foi possível extrair resultados que possibilitasse uma análise

consistente. Para o verão com a monitoração com salas de orientação oposta só foi possível obter dados acerca do conflito entre luz e calor no ambiente construído escolar.

Tabela 4.3 Resumo dos Resultados de Verão

Bloco	Orient Oposta	Sala	Ilum. Int.Média (lux)	Obstrução Física da Imagem (%)	Transp. Física da imagem (%)	a=FLD e VHP (%) Lim. de Conf de 95%	Integração Numérica do ΣPMV_i e ΣPMV_e	Proteção Arbórea
D34	NE	S205	631 lux	5 %	95%	7,94±0,84	0,95	-
D34	SW	S206	611 lux	11 %	89%	6,40±0,57	1,72	-
M05	N	S07	595 lux	12 %	88%	4,65±0,40	0,61	-
M05	S	S10	468 lux	13 %	87%	4,51±0,16	0,84	-
E46	E	S05	392 lux	53 %	47%	6,94±0,39	1,13	2 Ipês A.
E46	W	S06	128 lux	72 %	28%	6,25±0,42	0,59	3 Flamb.
E34	SE	S05	101 lux	78 %	22%	7,68±0,30	0,72	3 Sibip.
E34	NW	S06	61 lux	81 %	19%	8,45±0,26	0,41	2 Flamb.

No tocante à razão numérica das curvas de PMV, apresenta-se um problema na sua análise global: Os sistemas construtivos são diferentes nos blocos monitorados, além das orientações que são opostas.

Para os blocos E34 e E46, com mesmo sistema construtivo, quando analisados aos pares de salas de orientação externa opostas, há coerência nos valores de obstrução física e desempenho térmico, ou seja, maior obstrução melhor desempenho térmico associado a um menor valor de integração numérica. A respeito do critério de FANGER (1972) pode-se considerar satisfatória a sua adoção que é facilmente visível nas figuras respectivas, complementada pela integração numérica das curvas de PMV.

Neste ponto da pesquisa pode-se apontar as deficiências no critério adotado pois há que se definir uma faixa para aceitação dos valores da razão de integração numérica entre PMV_i e PMV_e , podendo até ter caráter normativo. A medição no local fica prejudicada devido ao comportamento climático atípico e pela não simultaneidade das medições, além do curto período de medição. Necessita-se, então, buscar outras metodologias para o estudo através do tratamento de imagens e da simulação computacional paramétrica.

4.2 Resultados das Medições Termo - Lumínicas de Inverno

Foram adotados os resultados das medições em orientações idênticas para os aspectos termo-lumínicos nesta estação climática, exceto para o bloco M05, que serve como piloto, sem cobertura vegetal. As salas 1 e 2 do Bloco E46, possuem WWR (Razão entre a área das janelas e a da parede) diferentes das demais salas dos blocos E46 e E34.

As fotos representativas do hemisfério vertical externo foram executadas nos sentidos opostos no Bloco M05 e idênticas nos blocos E34 e E46 arborizados. E, finalmente, o bloco D34, sem proteção arbórea não foi monitorado por estar ocupado com atividades acadêmicas, além do péssimo desempenho apresentado no verão.

4.2.1 As Condições Climáticas Externas no Período de Medição Térmica, no Inverno

Este período não apresenta as características típicas de inverno, conforme a classificação de KÖEPEN, (*apud* IAPAR, 1978) do tipo Cfa, pois as temperaturas apresentaram-se relativamente altas e ocorreram alguns dias de chuva, caracterizados pelas penetrações de frentes frias. O dia mais frio do período foi 20/07/95 quando se efetuava a medição térmica das salas 02 e 06 do bloco E46, nos quais as janelas foram mantidas fechadas, para garantir as medidas da temperatura superficial do forro, pois o termômetro de contato não se estabilizava para a referida medida, devido às características do sensor.

Apresentam-se nas figuras 4.7 e 4.8 a marcha horária da temperatura e umidade relativa externas. Neste caso, o inverno não é rigoroso, tendo dias típicos muito variáveis segundo metodologia de AKUTSU *et alii* (1987) e dados locais de PIETROBON (1990). Têm frequência de ocorrência maiores que 20% até 80%, mostrando-se atípico e instável.

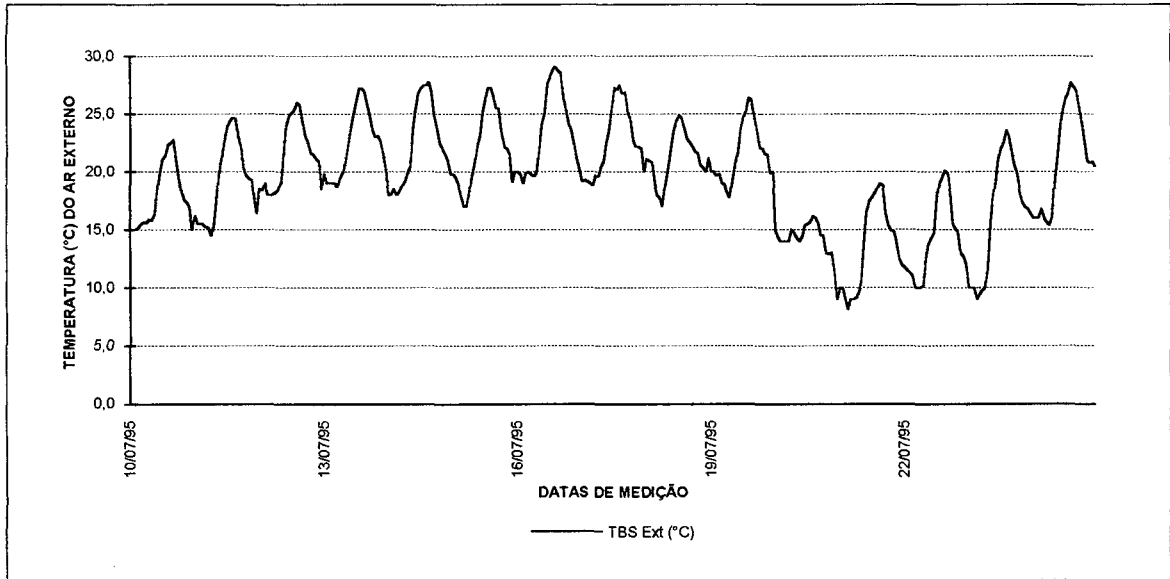


Figura 4.7 - Marcha Horária da Temperatura no Inverno.

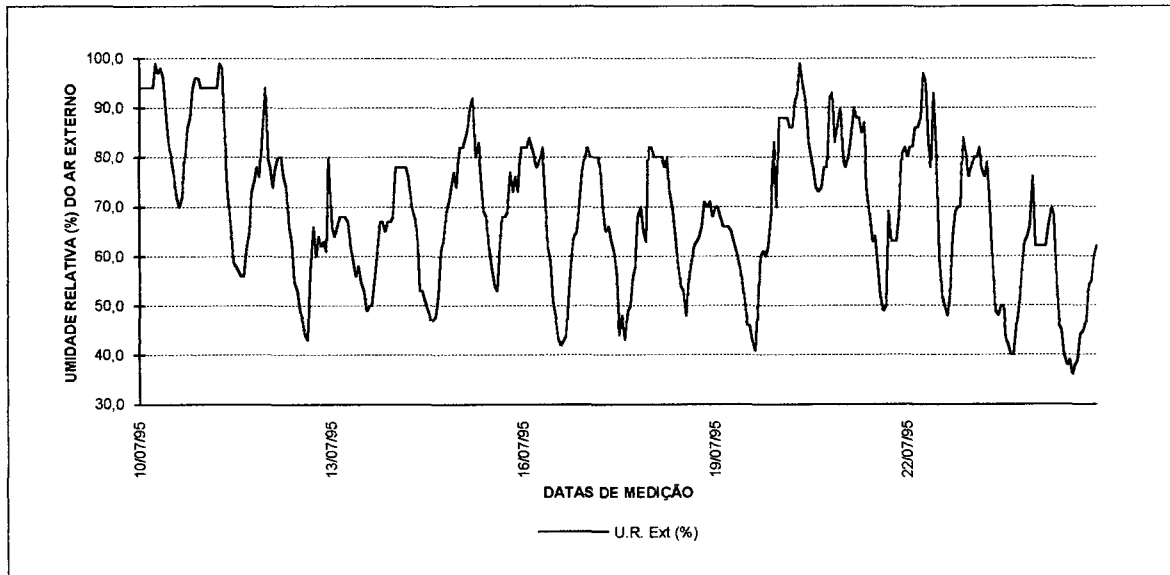


Figura 4.8 - Marcha Horária da Umidade Relativa do Ar Externo no Inverno.

Nas figuras 4.9 e 4.10, apresentam-se a nebulosidade variável do período e o regime de ventos. Apresenta-se o regime de nebulosidade sinótica obtidos na estação climática de inverno, pois o equipamento de medição da insolação horária, o heliógrafo estava desativado na ECPM e adotou-se a nebulosidade como parâmetro. Nas duas figuras seguintes nota-se a instabilidade do período e a variação da ventilação é mais intensa que no verão.

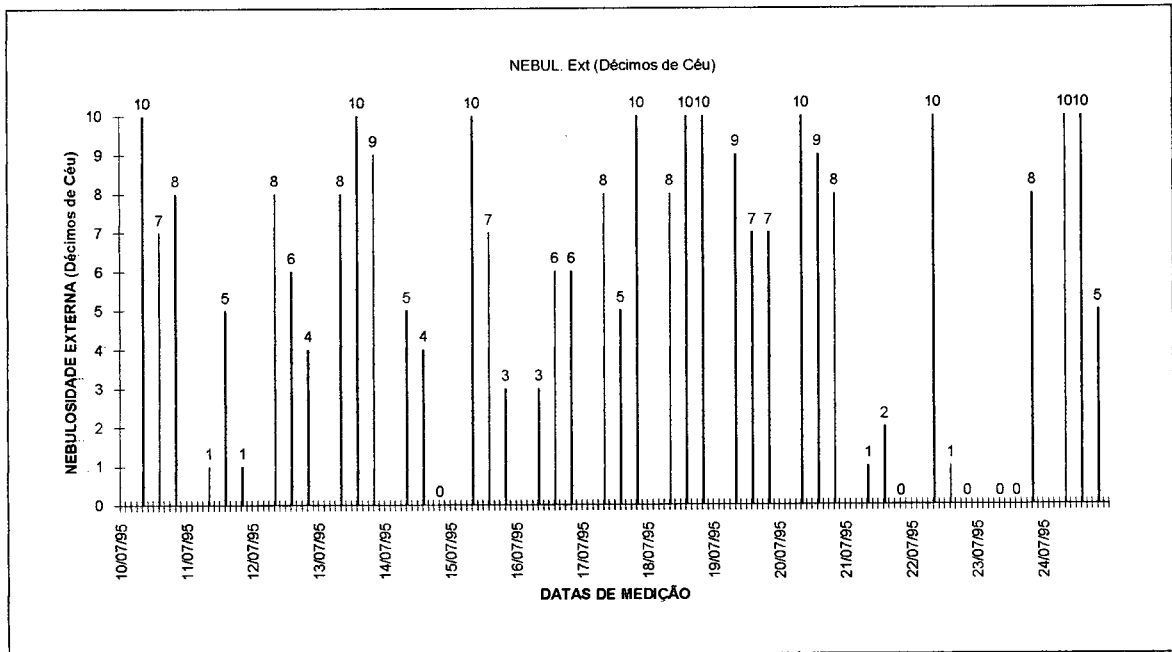


Figura 4.9 - Marcha Sinótica da Nebulosidade no Inverno.

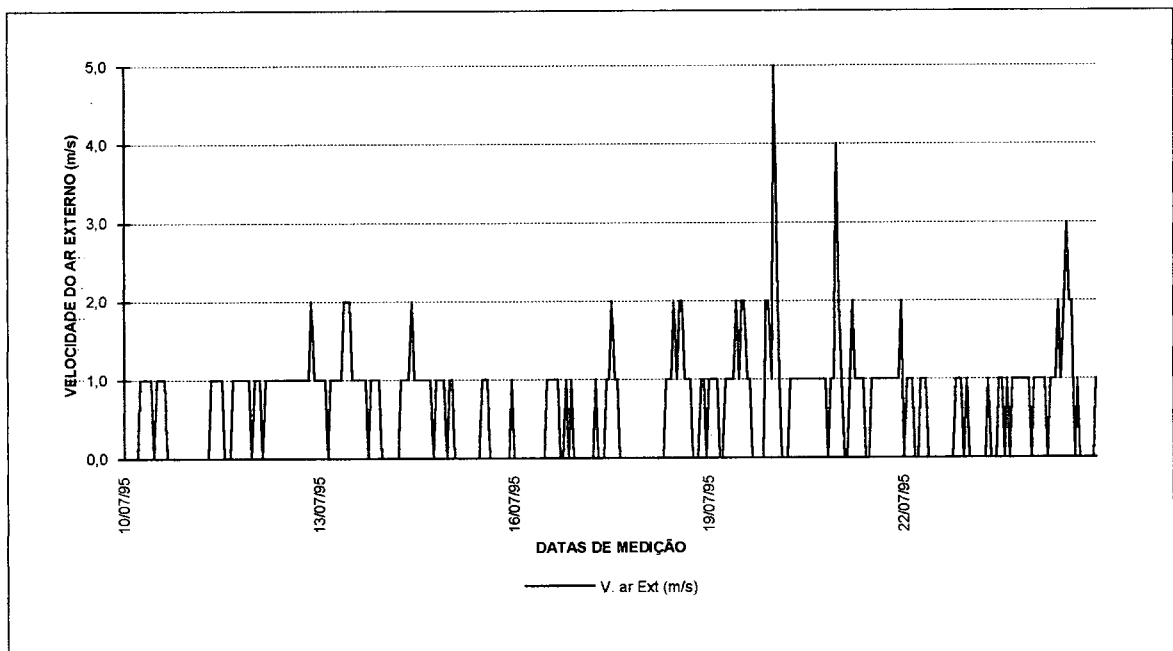


Figura 4.10 - Marcha Horária da Velocidade do Ar externo no Inverno.

4.2.2 As Medições Lumínicas de Inverno

As fotos hemisféricas foram tomadas para as salas com orientações oposta e idêntica. Excluiu-se o bloco D34 que não foi monitorado e mantém-se a ordem de classificação do hemisfério vertical anterior pela tabela 4.4, donde se conclui que as árvores caducifólias adotadas especialmente nos blocos E34 e E46 têm o mesmo

padrão de comportamento no inverno e no verão, nas mesmas orientações ou em orientações opostos de medição.

Apresentam-se as fotos nas Figuras IV.1 a IV.12 do Anexo IV. As correlações de regressão linear, cujos melhores comportamentos foram obtidos através de uma reta $y=ax$ para o critério de VHP - Vertical Horizontal Próximos, da mesma forma que na estação climática de verão, apresentadas nas Figura IV.13 a IV.22 do Anexo IV.

Tabela 4.4 - Classificação dos hemisférios verticais externos pelo valor decrescente de iluminância média, orientações oposta e idêntica.

Local	Orientação Oposta	Sala	Iluminância média Vertical (M)	Coef.de Regressão (r^2)	Coef Angular a=FLD e VHP(%)
Bloco M05	N	S07	22 217 lux	0,83	3,76%
Bloco M05	S	S10	4 998 lux	0,94	6,31%
Bloco D34	SW	S206	Não medido	-	-
Bloco D34	NE	S205	Não medido	-	-
Bloco E46	E	S05	3 121 lux	0,96	7,93%
Bloco E46	W	S06	2 023 lux	0,95	5,97%
Bloco E34	SE	S05	1 357 lux	0,91	7,70%
Bloco E34	NW	S06	1 347 lux	0,95	9,92%
Local	Orientação Idêntica	Sala	Iluminância média Vertical (M)	Coef.de Regressão (r^2)	Coef Angular a=FLD e VHP(%)
Bloco E46	E	S01	3 063 lux	0,97	7,25%
Bloco E46	W	S02	3 268 lux	0,94	6,76%
Bloco E34	SE	S09	1 115 lux	0,96	7,73%
Bloco E34	NW	S10	5 713 lux	0,97	8,81%

Tabela 4.5 - Classificação dos hemisférios verticais externos pelo valor decrescente da iluminância média, mesma orientação.

Local	Orientação Idêntica	Salas	Iluminação Média Vertical (M)	Coef de Regressão (r^2)	Coef. Angular a=FLD e VHP (%)	Obstrução Arbórea
Bloco E34	NW	S10	5 713 lux	0,97	8,81%	1 Ipê Roxo
Bloco E46	W	S02	3 268 lux	0,94	6,76%	1 Ipê Amarelo
Bloco E46	E	S05	3 121 lux	0,96	7,93%	2 Ipês Amarelos
Bloco E46	E	S01	3 063 lux	0,97	7,25%	1 Ipê Amarelo
Bloco E46	W	S06	2 023 lux	0,95	5,97%	3 Flamboyants
Bloco E34	SE	S05	1 357 lux	0,91	7,70%	3 Sibipirunas
Bloco E34	NW	S06	1 347 lux	0,95	9,92%	2 Flamboyants
Bloco E34	SE	S09	1 115 lux	0,96	7,73%	3 Sibipirunas

Na tabela 4.5, cujas medições foram feitas em salas com orientações idênticas, a classificação dos hemisférios luminosos verticais depende da fenologia das obstruções arbóreas e da sua densidade de obstrução. São mais iluminados os hemisférios com árvores caducifólias e decresce esta característica com as árvores semi-caducifólias e caducifólias tardias, as salas dos blocos D34 e M05 não foram consideradas pois a proteção arbórea é insignificante. As orientações das salas nas medições de inverno e verão são diferentes pois no verão pretendia-se analisar a influência da orientação e no inverno a influência da proteção arbórea. Eliminando-se da classificação pela iluminância interna, das salas 1 e 2 do Bloco E46, por possuírem WWR (Razão entre a área das janelas e a da parede) diferente das demais, tem-se na tabela 4.6, a seguir, a mesma ordem de classificação que a da tabela anterior.

Tabela 4.6- Classificação dos hemisférios horizontal internos pelo valor de iluminância média.

Local	Orientação Idêntica	Sala	Iluminância média Horizontal (M)	Coef. Ang. a=FLD e VHP %	Coef. de Regressão (r^2)
Bloco E34	NW	S10	502 lux	8,81%	0,97
Bloco E46	E	S05	243 lux	7,93%	0,96
Bloco E34	NW	S06	135 lux	9,92%	0,95
Bloco E46	W	S06	122 lux	5,97%	0,95
Bloco E34	SE	S05	107 lux	7,70%	0,91
Bloco E34	SE	S09	87 lux	7,73%	0,96
Bloco E46	E	S01	221 lux – excluído	7,25%	0,97
Bloco E46	W	S02	219 lux – excluído	6,76%	0,94

Analisando-se aos pares, conforme as orientações nos blocos, a iniciar-se do bloco M05, sem proteção arbórea, nas Figuras IV.13 e IV.14 do anexo IV, nota-se a influência tanto da orientação quanto da insolação direta.

No hemisfério norte insolado neste período invernal, há uma grande dispersão dos valores na curva de regressão linear da Figura IV.13 no Anexo IV.

Na face sul, que não recebe insolação direta no verão a não ser no início da manhã e no final da tarde sendo que no Trópico de Capricórnio durante o solstício de verão o sol encontra-se totalmente no hemisfério Sul, portanto a dispersão é menor.

Nos demais blocos, com proteção vegetal arbórea, o sombreamento filtra a luz e as correlações matemáticas do índice FLD/VHP têm altos coeficientes de correlação r^2 , variando entre 0,91 a 0,97, conforme figuras IV.15 a IV.22 no anexo IV.

a) Confiabilidade da Análise

Para garantir a confiabilidade dos resultados foi também elaborada uma reta de regressão linear entre o coeficiente angular de iluminação dos três dias plotados num só gráfico e as médias dos coeficientes angulares das retas de regressão das medições diárias apresentadas na figura 4.11.

Também o coeficiente de iluminância média interna com o coeficiente angular total da reta de regressão dos três dias plotados num só gráfico

Os resultados apontam para $r^2 = 0.98$ e 0.99 apresentados nas figuras 4.11 e 4.12, que se aproximam de uma reta $y = a.x$, com coeficientes angulares (a) de 1,010 e 1,003.

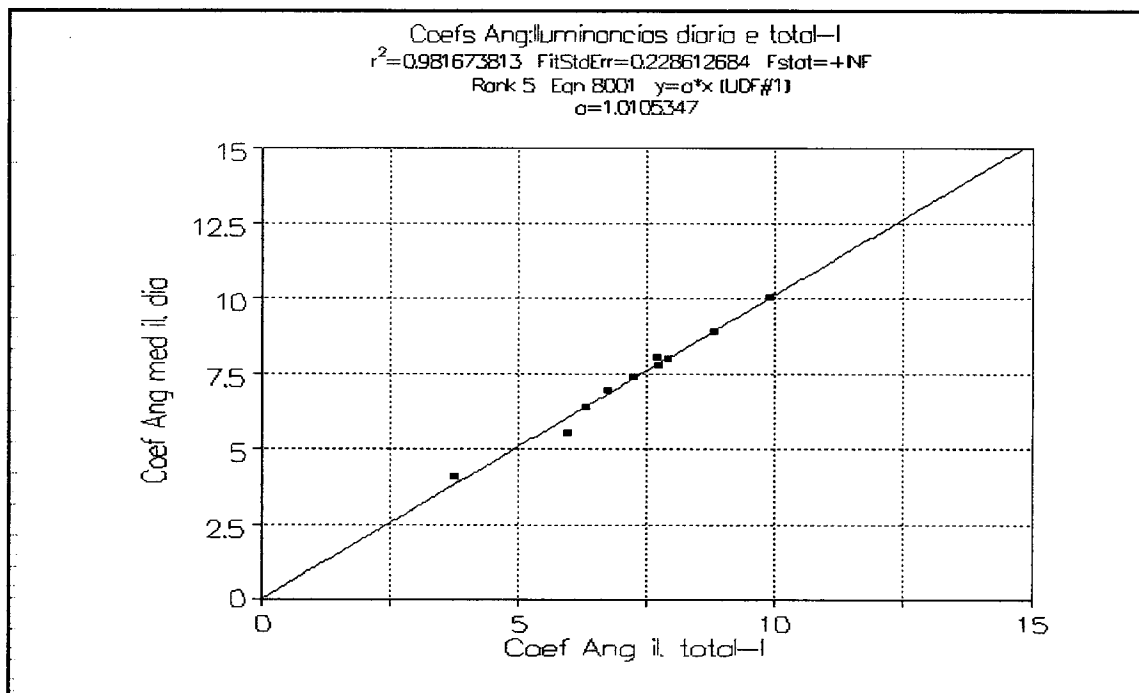


Figura 4.11 - Regressão Linear dos Coeficientes Angulares das Iluminâncias Diária e Total - INVERNO.

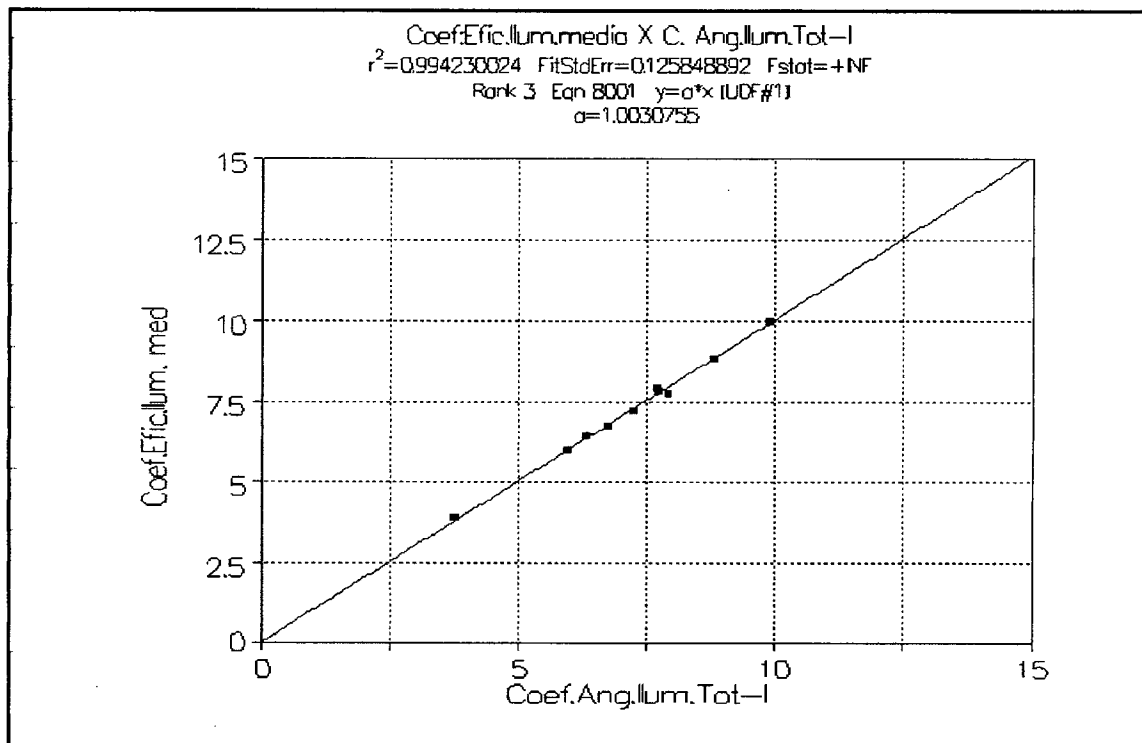


Figura 4.12 - Regressão Linear da Eficiência da Iluminância Média e Coeficiente Angular da regressão de Iluminância Total - INVERNO

4.2.3 Medições Térmicas de Inverno

Apresentam-se os resultados das medições térmicas de inverno pela ordem de classificação da iluminância interna da tabela 4.7. Esta forma de apresentação foi adotada pois estudam-se duas variáveis: condições térmicas e luminosas.

As medições foram efetuadas no inverno e as salas monitoradas foram em direções opostas. No primeiro caso, os resultados pretendidos acerca da influência da orientação em edificações arborizadas, não são muito robustos. Da mesma forma para o inverno ocorreu a mesma situação anterior citada, a não ser no caso de se obter quantitativamente os conflitos entre iluminação natural e conforto térmico. A partir destas constatações necessita-se redirecionar a pesquisa, para a simulação computacional paramétrica que indicará um caminho relativo aos compromissos entre luz e calor, além de verificar a influência de cada parâmetro a ser variado.

a) Bloco M05 - orientação N e S em regime de nebulosidade variável, salas 07 e 10. Sistema Construtivo Bloco de Concreto Telhamento Cerâmico.

Iniciando-se pelo edifício sem sombreamento arbóreo, M05, conforme Anexo VI o hemisfério norte da sala 07 é o mais aquecido devido à orientação e a posição solar nesta estação climática, entretanto o hemisfério sul, sujeito apenas à luz difusa apresenta aquecimento menor que o anterior.

Em ambos os casos, em termos de conforto térmico, considerando-se as seis variáveis do índice de FANGER (1972), os resultados de PMV estão completamente dentro da zona de conforto, exceto nas primeiras horas matutinas do primeiro dia de medição. Ressalta-se que o período de medição não é típico de inverno, considerando-se as temperaturas extremas.

Integrando-se numericamente os valores de ΣPMV_i e ΣPMV_e que ultrapassam o limite de $|-0,82|$ hora à hora, obtendo-se a razão entre eles, confirmam-se numericamente as assertivas anteriores, com os valores de: Sala 07, a razão de $|0,07|$ e Sala 10, com razão de $|0,06|$

Tais considerações podem ser visualizadas nas Figura IV.13 e IV.14 .no Anexo IV, onde se salienta a importância da orientação para os blocos não protegidos.

b) Bloco E34 - orientação NW, sala 10. Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 4 furos Telhamento de Alumínio.

Analisando-se os dados de temperatura a sua marcha horária no Anexo VI, indicam uma proximidade muito grande entre as temperaturas internas e externas devido, provavelmente, à grande área de ventilação efetiva dessa sala, o regime de ventos do período e também à baixa densidade de cobertura vegetal. Quanto ao índice de conforto de FANGER (1972), no primeiro dia de medição chega, no período vespertino, a exceder o limite superior de PMV.

Nos demais dias os valores de PMV estão contidos na faixa limite, conforme o Anexo VI. Integrando-se numericamente os valores de ΣPMV_i e ΣPMV_e obtendo-se a razão entre os valores que ultrapassam o limite de $|-0,82|$ hora à hora, têm-se que na Sala 10, a razão é $|0,03|$.

c) Bloco E46 - orientação E, sala 05. Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 4f Telhamento de Alumínio.

Nesta sala não foi efetuado monitoramento no segundo dia de medição devido a sua ocupação para atividades acadêmicas. Os dias monitorados em termos de temperaturas refletem a mesma problemática citada no item anterior, sendo que, em termos de conforto térmico, segundo o índice de FANGER (1972), o primeiro dia de monitoramento está bem abaixo do limite inferior de frio, devido as condições externas.

No último dia de monitoramento, devido também às condições externas o PMV encontra-se dentro da faixa de conforto, apresentadas graficamente no Anexo VI.

Ressalta-se neste caso a cobertura arbórea de baixa densidade de obstrução. Integrando-se numericamente os valores de ΣPMV_i e ΣPMV_e e obtendo-se a razão entre os valores que ultrapassam o limite de $|-0,82|$ hora à hora, têm-se na Sala 05, a razão é $|1,35|$.

d) Bloco E34 - orientação NW, sala 06. Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 4 furos Telhamento de Alumínio.

Nesta sala 06, monitorada simultaneamente com a sala 10, que possui menor cobertura arbórea, e devido a altas temperaturas externas, mesmo no inverno, e à cobertura vegetal de grande densidade de obstrução, fazem com que a marcha horária das temperaturas interna e externa se confundam e nos três dias de monitoramento o

PMV encontra-se na faixa de conforto de FANGER (1972), exceto no período vespertino do primeiro dia de medição onde se ultrapassa o limite superior de conforto.

Tais considerações podem ser visualizadas no Anexo VI.

Integrando-se numericamente os valores de ΣPMV_i e ΣPMV_e e obtendo-se a razão entre os valores que ultrapassam o limite de que ultrapassam o limite de $|-0,82|$ hora à hora, têm-se na Sala 06, a razão é $|0,00|$.

e) Bloco E46 - orientação W, sala 06. Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 4 furos Telhamento de Alumínio.

Nesta sala durante o segundo dia de medição foi necessário manter as janelas fechadas devido ao frio e para estabilizar o termômetro de contato das medidas de temperaturas superficiais do forro.

Nos demais dias as janelas foram mantidas abertas. No primeiro e último dia de medição a marcha horária das temperaturas interna e externa praticamente se confundem, sendo o primeiro dia mais quente que o terceiro, desta forma o índice de conforto de FANGER (1972) apresenta as seguintes características: calor no período vespertino do primeiro dia, frio no período noturno no segundo dia e praticamente frio em todo o terceiro dia. Esta sala possui grande e densa obstrução arbórea por Flamboyants. Apresentam-se os resultados gráficos no Anexo VI.

Integrando-se numericamente os valores de ΣPMV_i e ΣPMV_e e obtendo-se a razão entre os valores que ultrapassam o limite de $|-0,82|$ hora à hora, têm-se que na Sala 06, a razão é $|0,20|$.

f) Bloco E34 - orientação sudeste, sala 05. Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 4 furos Telhamento de Alumínio.

Embora esta sala tenha uma densa cobertura arbórea por Sibipirunas e as temperaturas externas estejam praticamente numa marcha horária similar nos três dias, as temperaturas internas são menores que as externas, porém em termos de conforto térmico pelo índice de FANGER (1972) os três dias de monitoramento encontram-se na faixa limite de conforto. Os resultados gráficos apresentam-se no Anexo VI.

Integrando-se numericamente os valores de ΣPMV_i e ΣPMV_e e obtendo-se a razão entre os valores que ultrapassam o limite de $|-0,82|$ hora à hora, têm-se que na Sala 5, a razão é $|0,00|$.

g) Bloco E34 - orientação sudeste, sala 09. Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 4 furos Telhamento de Alumínio.

Esta sala foi monitorada simultaneamente com a sala 05 analisada anteriormente, em que pese uma cobertura arbórea menos densa, as mesmas considerações da sala 05 do bloco E34 são válidas para este caso. Como pode ser visualizado no Anexo VI.

Integrando-se numericamente os valores de ΣPMV_i e ΣPMV_e e obtendo-se a razão entre os valores que ultrapassam o limite $|-0,82|$ hora à hora, têm-se que na Sala 09, a razão é $|0,00|$.

h) Bloco E46 - orientação E, sala 01. Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 4 furos Telhamento de Alumínio.

Esta sala 01 foi monitorada simultaneamente com a sala 05 do mesmo bloco (E46), e a densidade de cobertura arbórea é um pouco maior que a sala anterior, mesmo assim as considerações feitas para a sala 05 são válidas para esta sala, conforme indicam os resultados no Anexo VI.

Integrando-se numericamente os valores de ΣPMV_i e ΣPMV_e e obtendo-se a razão entre os valores que ultrapassam o limite de $|-0,82|$ hora à hora, têm-se que na Sala 01, a razão é $|1,14|$.

i) Bloco E46 - orientação W, sala 02. Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 4 furos Telhamento de Alumínio.

Esta sala 02 foi monitorada juntamente com a sala 06 do mesmo bloco (E46), e a densidade de obstrução arbórea é bem menor, neste caso o primeiro dia difere do da sala anterior em termos de conforto estando dentro dos limites, o segundo e terceiro dias repetem as condições da sala anterior, também em termos de conforto. Já para a situação do segundo dia de monitoramento, em que as janelas foram mantidas fechadas, ao contrário de todas as outras medições, pois este dia foi o mais frio de todos medidos. A

temperatura radiante média, desta sala apresentou-se muito acima das demais temperaturas, provavelmente devido ao efeito estufa e à baixa densidade de obstrução arbórea, tais resultados podem ser visualizados no Anexo VI.

Integrando-se numericamente os valores de ΣPMV_i e ΣPMV_e e obtendo-se a razão entre os valores que ultrapassam o limite de $|-0,82|$ hora à hora, têm-se que na Sala 02, a razão é $|0,30|$. Os demais blocos apresentam quanto menor a iluminação, menor o aquecimento, exceto no bloco E46, nas salas 06 e 02, no segundo dia de medição, em que as janelas foram mantidas fechadas devido ao vento e ao frio, onde o ganho de calor se fez presente, mantendo sempre as temperaturas internas maiores que as externas.

Os resultados das salas 01 e 02 do bloco E46 não entram nesta análise, pois possuem WWR (Razão entre a área das janelas e a da parede) menor que as outras salas dos blocos E46 e E34.

4.2.4 Considerações Finais de Inverno

Apresenta-se nesta estação climática, também uma situação de conflito entre os aspectos térmicos e luminosos, principalmente pela arborização adotada não ser totalmente caducifólia, apenas os Ipês o são, o que conforme a tabela 4.7, indicam um melhor desempenho quanto ao hemisfério vertical externo.

Além disto, de acordo com a tabela 4.7, a análise de desempenho térmico, mesmo em blocos com as mesmas características arquitetônicas, monitorados aos pares de salas com orientações idênticas, com diferentes densidades de obstrução arbórea, existem outros fatores que afetam a sua análise, tais como:

- i) Outras variáveis ambientais, tais como a ventilação, que interferem na marcha horária do PMV;
- ii) A própria instabilidade climática no período de inverno, durante os dias de monitoramento, que dificulta uma análise direta dos fenômenos variando de condições internas de frias a quentes;
- iii) O fato de no dia 22/07/95, durante o segundo dia de monitoramento das salas 05 e 01 do bloco E46, não ter sido possível executá-lo, altera o valor total da integração numérica da marcha horária do PMV.

Analisando-se aos pares, na tabela 4.7 as salas de mesma orientação e com proteções arbóreas diferentes há coerência entre os resultados da densidade de obstrução física das imagens tratadas computacionalmente e a iluminância média horizontal interna, sendo inversamente relacionadas, com a seguinte tendência: maior proteção arbórea, menor valor de iluminância natural interna. Tal fato ocorre mesmo com árvores diferentes e nota-se que elas constituem também uma barreira ao vento que influi na ventilação interna. Neste caso de monitoramento com salas em orientações idênticas os resultados obtidos confirmam o conflito entre luz e calor no ambiente construído escolar.

As tipologias de árvores decíduas, como os Ipês Roxo e Amarelo, quando comparadas aos outros tipos de árvores não decíduas completamente, tem menor densidade de proteção e apresentam resultados do FLD/VHP referentes ao coeficiente angular da regressão linear (a) coerentes, exceto nas salas 1 e 2 do bloco E46 que possuem WWR (Razão entre a área das janelas e a da parede) menor que nas demais salas. Quanto à integração numérica da marcha horária do PMV e a obstrução física das imagens, também há coerência nos valores, embora as condições externas variem muito, têm-se que: quanto mais protegida a sala, mais condição de frio se observa, excluindo-se da análise as salas com WWR (Razão entre a área das janelas e a da parede) diferente. (Salas 1 e 2 do bloco E46) Todas essas considerações, podem ser visualizadas na tabela 4.7, a seguir.

Tabela 4.7 Resumo dos Resultados de Inverno

Bloco	Orientação Idêntica	Sala	Ilum. Int.Média (lux)	Obstrução Física da Imagem (%)	Transp. Física da imagem (%)	a=FLD e VHP (%) Lim. De Conf. De 95%	Integração Numérica do ΣPMV_i e ΣPMV_e	Proteção Arbórea
E34	NW	S10	502 lux	49 %	51%	8,81 ± 0,34	0,93	1 Ipê R.
E34	NW	S06	135 lux	77 %	23%	9,92 ± 0,49	0,00	2 Flamb.
E34	SE	S05	107 lux	72 %	28%	7,70 ± 0,41	0,00	3 Sibip.
E34	SE	S09	87 lux	80 %	20%	7,73 ± 0,26	0,00	3 Sibip.
E46	E	S05	243 lux	51 %	49%	7,93 ± 0,39	1,35	2 Ipês A.
E46	E	S01	221 lux	45 %	55%	7,25 ± 0,26	1,14	1 Ipê A.
E46	W	S02	219 lux	44 %	56%	6,76 ± 0,36	0,30	1 Ipê A.
E46	W	S06	122 lux	70 %	30%	5,97 ± 0,29	0,20	3 Flamb.

A respeito do índice de FANGER (1972) pode-se considerar satisfatória a sua adoção, sendo facilmente visualizáveis nas figuras respectivas, dos Anexos V e VI.

A marcha horária das temperaturas também, no aspecto gráfico, facilita o entendimento dos fenômenos térmicos com ela relacionados.

Neste ponto da pesquisa confirmam-se as limitações da medição no local e devido aos resultados obtidos até o presente momento, não se apresentarem robustos, deve-se reorientar a sistemática de pesquisa para simulação computacional paramétrica e por isso efetuar-se um tratamento computacional da transparência das árvores em base anual. Desta forma necessita-se de isolar parâmetros e analisar a influência de cada um deles para obtenção de resultados mais robustos.

Os Parâmetros são: Inércia Térmica e isolamento térmico dos paramentos verticais externos, que dependem do WWR adotado (30% e 60%) a proximidade das árvores em relação ao edifício.

4.2.5. Considerações Finais para o Inverno e Verão

Para os blocos desprovidos de proteção arbórea, têm-se que:

- i) Bloco D34 hemisfério NE e SW salas 205 e 206 Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 6 furos Telhamento de Fibrocimento.**

Este bloco foi monitorado apenas no período de verão sendo que nesta estação climática apresentou valores de iluminância natural interna elevados devido ao alto índice WWR_v (Razão entre a área transparente das janelas e a da parede). Entretanto, devido a falta de proteção solar e por ser um bloco com inércia térmica pesada com altos valores de densidade superficial do envoltório o seu desempenho térmico apresentou resultados pouco robustos frente a solicitação térmica externa em período quente-úmido, que no caso requer um envoltório mais leve e isolante.

- ii) Bloco M05 hemisférios N e S salas 07 e 10 Sistema Construtivo Bloco de Concreto Telhamento Cerâmico.**

Este bloco foi monitorado como piloto nos períodos de inverno e verão na situação de salas com orientações opostas e apresentou grande influência da orientação.

A orientação é correta para minimizar a carga térmica de verão com as fachadas maiores orientadas a N e S. Termicamente no período de verão apresentam-se os melhores valores de desempenho baseado nos montantes da integração numérica do PMV_i e PMV_e , correspondendo respectivamente aos pares de salas S07-N com $|0,61|$ e S10-S com $|0,84|$.

Tal comportamento se justifica pela posição solar nesta estação. Também, no inverno o fato se repete com os valores das salas em estudo correspondendo ao montante de integração numérica do PMV de S07-N (fig. VI.13) com $|-0,07|$ e S10-S (Fig. VI.10) com $|0,06|$.

Para os blocos com proteção arbórea, têm-se que:

iii) Bloco E46 - hemisférios E e W, salas 5 e 6 Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 4 furos Telhamento de Alumínio.

Foram monitorados em direções opostas no verão nas salas 5 e 6 e as salas 1 e 2 o foram no inverno aos pares com as anteriores. Porém os valores de WWR (Razão entre a área das janelas e a da parede) e WWR_v (Razão entre a área transparente das janelas e a da parede) das salas 1 e 2 são menores que os das salas 5 e 6 sendo que as primeiras foram excluídas desta análise.

Para o verão o bloco possui orientação inadequada com as fachadas maiores dirigidas aos hemisférios E e W que maximizam a carga térmica devida a radiação solar.

A sala 5, no inverno e no verão, dirigida ao quadrante E, tem desempenho térmico mais desfavorável que a sala 6 orientada para o quadrante W devido às características das proteções arbórea e arquitetônica.

Porém, a iluminação natural disponível internamente diminui em relação aos casos anteriores em ambas as salas. Para o inverno as salas 05, orientação Este e sala 06 orientação Oeste, não podem ser comparadas pela integração numérica do PMV_i e PMV_e e a razão entre elas na sala 05 é $|1,35|$ e para a sala 06 é $|0,20|$.

A iluminância interna média nos valores aos pares das salas 01 e 05 e das salas 02 e 06 são diretamente relacionadas com o índice de obstrução do hemisfério vertical

externo através do tratamento computacional das imagens binarizadas conforme tabela 4.7.

iv) Bloco E34 - hemisfério SE e NW salas 05 e 06 Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 4 furos Telhamento de Alumínio.

Nestas salas a influência da proteção arbórea se apresenta significativa e coerente com os demais índices constantes da tabela 4.6 onde há conflito entre os desempenhos térmico e lumínico, que ocorrem também no inverno na tabela 4.7, quando analisada aos pares de salas.

v) Bloco E34 - hemisférios SE e NW salas 09 e 10 Sistema Construtivo Bloco Cerâmico 4 furos Telhamento de Alumínio.

Da mesma maneira anterior, a influência da proteção arbórea quando analisada aos pares de salas mostram-se coerentes com os valores indicados nas tabelas 4.3 e 4.7, respectivamente para a situação de verão e inverno.

Concluindo estes comentários, pode-se dizer que as edificações leves como os blocos E34 e E46 sofrem mais influência da proteção arbórea que as edificações médias ou pesadas em termos de densidade superficial.

Esta constatação pode ser um indicativo para a expansão do uso de sombreamento neste tipo de edificação. Ressalta-se também o aspecto de que o conflito entre os aspectos térmicos e luminosos permanecem nestas considerações.

Para explicar de modo mais claro a discussão anterior, apresentam-se considerações complementares acerca das medições termo-lumínicas e do tratamento de imagens dos hemisférios verticais externos.

Foram consideradas, primeiramente, para cada estação climática o comportamento dos elementos de clima de cada período de medição, pelo índice de FANGER (1972), cujos resultados apresentam-se nas Tabelas 4.8 até 4.10.

Tabela 4.8 Somatória dos índices (PMV) de Fanger que extrapolam os limites de conforto e a razão entre os valores internos e externos.

PMV-Externo Software ANALISYS					PMV-Interno Software ANALISYS				
VERÃO	1º DIA	2º DIA	3º DIA	SOMATÓRIO	1º DIA	2º DIA	3º DIA	SOMATÓRIO	RAZÃO
D34-S205-NE	+4.00	+1.90	+0.80	+6.70	+4.66	+0.84	+0.84	+6.34	0.95
D34-S206-SW	+4.00	+1.90	+0.80	+6.70	+8.22	+3.14	+0.16	+11.52	1.72
M05-S007-N	+2.40	+2.60	+0.00	+5.00	+1.14	+1.64	+0.28	+3.06	0.61
M05-S010-S	+2.40	+2.60	+0.00	+5.00	+1.04	+2.40	+0.76	+4.20	0.84
E46-S005-E	+9.20	+4.60	+0.60	+14.40	+9.32	+6.18	+0.84	+16.34	1.13
E46-S006-W	+9.20	+4.60	+0.60	+14.40	+5.86	+2.58	+0.00	+8.44	0.59
E34-S005-SE	+1.70	+7.80	+0.80	+20.30	+2.98	+5.42	+6.20	+14.60	0.72
E34-S006-NW	+1.70	+7.80	+10.80	+20.30	+1.62	+2.68	+4.04	+8.34	0.41
INVERNO	1º DIA	2º DIA	3º DIA	SOMATÓRIO	1º DIA	2º DIA	3º DIA	SOMATÓRIO	RAZÃO
D34-S205-NE	*	*	*	*	*	*	*	*	*
D34-S206-SW	*	*	*	*	*	*	*	*	*
M05-S007-N	-2.20	-2.70	-0.70	-5.60	-0.40	0.00	0.00	-0.40	0.07
M05-S010-S	-2.20	-2.70	-0.70	-5.60	-0.34	0.00	0.00	-0.34	0.06
E46-S005-E	-6.40	*	-0.40	-6.80	-9.20	*	0.00	-9.20	1.35
E46-S001-E	-6.40	*	-0.40	-6.80	-7.74	*	0.00	-7.74	1.14
E46-S006-W	-1.00	-23.10	-16.70	-40.80	0.00	-2.00	-6.00	-8.00	0.20
E46-S002-W	-1.00	-23.10	-16.70	-40.80	0.00	-1.20	-11.10	-12.30	0.30
E34-S005-SE	-0.20	-0.30	0.00	-0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E34-S009-SE	-0.20	-0.30	0.00	-0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E34-S006-NW	0.00	0.00	-0.30	-0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E34-S010-NW	0.00	0.00	-0.30	-0.30	0.00	0.00	-0.28	-0.28	0.93

Os elementos para a análise da Tabela 4.8 indicam que quanto mais próxima a razão do valor 0,00 melhor o desempenho térmico da sala frente à exposição climática. E, quanto mais próxima do valor 1,00 pior o desempenho térmico do ambiente, sendo que no limite a sala não oferece defesa contra o rigor climático externo. Finalmente quanto mais acima do valor da razão unitária, o desempenho do ambiente construído é pior que as condições climáticas externas.

Para auxiliar na discussão, apresenta-se o critério de AKUTSU e VITTORINO (1993) que consiste em qualificar o desempenho térmico das edificações também relacionando-o com o rigor da exposição ao clima externo.

Na continuidade da discussão apresentam-se nas tabelas 4.9 e 4.10, respectivamente para o Verão e o Inverno, em ordem crescente, da razão entre a somatória da integração numérica valores de PMV internos e externos, que ultrapassam os limites de +0,82 e -0,82.

As medições internas de caráter térmico são analisadas em conjunto com as de caráter lumínico através de uma classificação por hemisférios verticais externos mais luminosos e pelos hemisférios horizontais internos mais luminosos. As fotos hemisféricas externas servem de apoio a esta análise e discussão.

Tabela 4.9 Classificação por ordem crescente de razão entre PMV_i e PMV_e - VERÃO

Razão	ΣPMV_i	ΣPMV_e	Salas	Classe			Inércia	Árvores
0,41	+8,34	+20,30	E34 S006 NW	B	B	B	LEVE	2 Flamb.
0,59	+8,44	+14,40	E46 S006 W	B	B	B	LEVE	3 Flamb.
0,61	+3,06	+5,00	M05 S007 N	B	B	B	MÉDIA	-
0,72	+14,60	+20,30	E34 S005 SE	B	B	B	LEVE	3 Sibip.
0,84	+4,20	+5,00	M05 S010 S	B	B	B	MÉDIA	-
0,95	+6,34	+6,70	D34 S205 NE	B	C	B	PESADA	-
1,13	+6,34	+14,40	E46 S005 E	B	B	C	LEVE	2 Ipês A.
1,72	+11,52	+6,70	D34 S206 SW	C	C	B	PESADA	-

No caso da medição de Verão, como já mencionado, foi um período atípico, o que justifica obter apenas classes B e C. Comparativamente com a razão entre a somatórias de PMV_i nota-se que os critérios adotados mostram-se coerentes com os resultados obtidos conforme AKUTSU e VITTORINO (1993) que propõem os índices A, B e C. As salas com inércia leve indicam uma resposta de desempenho favorável devido às proteções arquitetônicas e arbóreas, quando sombreadas por árvores adultas não caducifólias ou caducifólias tardias. A exceção ocorre no caso dos Ipês Amarelos, que além de árvores caducifólias, são de pequeno porte e sombreiam uma sala orientada para o quadrante Leste. Na situação de salas com inércia média, protegidas apenas por beirais pequenos (0,70 m), o desempenho foi melhor que nas salas não protegidas e com inércia pesada.

Pode-se incluir entre os fatores causadores deste desempenho a orientação adequada do bloco M05- Inércia Térmica Média - (Fases maiores orientadas ao Norte e ao Sul) que minimiza a carga térmica, além da absorvância das cores externas claras, o

que não ocorre nas salas do bloco D34- Inércia Térmica Pesada- (Faces maiores orientadas a NE e SW) constituído externamente de lajotas com 6 furos, de cerâmica vermelha aparente.

A análise efetuada apenas com os valores absolutos das somatórias do desempenho interno, não parece constituir-se um indicador robusto, pois este exame de caso não baseia-se em dias típicos e sim uma seqüência de 3 dias aleatórios e contínuos, sujeitos a diversas variações climáticas.

Desta forma o indicador relativo entre o desempenho interior, ou seja, a razão entre eles pode auxiliar melhor na compreensão dos fenômenos que ocorrem nas variáveis envolvidas. A proteção arbórea mais densa, tem o seu desempenho em conjunto com as proteções arquitetônicas (beirais largos), demonstrado a sua parcela de contribuição positiva em termos de colaboração contra o rigor climático de Verão.

Tabela 4.10 Classificação por ordem crescente de razão entre PMV_i e PMV_e - INVERNO.

Razão	ΣPMV_i	ΣPMV_e	Salas	Classe			Inércia	Árvores
0,00	0,00	-0,30	E34 S006 NW	A	A	A	LEVE	2 Flamb.
0,00	0,00	-0,50	E34 S005 SE	A	A	A	LEVE	3 Sibip.
0,00	0,00	-0,50	E34 S009 SE	A	A	A	LEVE	3 Sibip.
0,06	-,34	-5,60	M05 S010 S	B	A	A	MÉDIA	-
0,07	-0,40	-5,60	M05 S007 N	B	B	B	MÉDIA	-
0,20	-8,00	-40,80	E46 S006 W	A	B	B	LEVE	3 Flamb.
0,30	-12,3	-40,80	E46 S002 W	A	B	C	LEVE	1 Ipê A.
0,93	-0,28	-0,30	E34 S010 NW	B	A	B	LEVE	1 Ipê R.
1,14	-7,74	-6,80	E46 S001 E	B	-	A	LEVE	1 Ipê A.
1,35	-9,20	-6,80	E46 S005 E	B	-	A	LEVE	2 Ipês A.

No caso da medição de Inverno, conforme já citado, o clima apresentou-se atípico, com tendência a temperaturas mais quentes que as de outros anos, com exceção de apenas um dia em que penetrou uma frente fria mais rigorosa. Estas condições climáticas entretanto, foram, obviamente, menos quentes que na medição de Verão.

Na tabela 4.10, apresentam-se 3 dias com razão entre somatória de PMV_i e PMV_e com valor zero que significa conforto durante todo o período de medição, devido ao fato de estarem sombreadas por árvores de alta densidade foliar. As salas cujo desempenho assim ocorreu, apresentam inércia leve e sombreamento denso através de

beirais largos (1,85 m) e árvores adultas caducifólias tardias e não caducifólias. As salas de inércia térmica média com beiral pequeno (0,70 m) e cor externa clara, são as do bloco M05 que é orientado aos quadrantes Norte e Sul, apresentou bom desempenho de razão 0,06 e 0,07 entre somatória de PMV_i e PMV_e pois minimiza a carga térmica de verão. Na seqüência, os blocos de inércia térmica leve, com mesmas características termo-físicas e geométricas entre si, apresentam bom desempenho quando sombreados por árvores adultas e semi-caducifólias com alta densidade de obstrução, cuja razão entre de PMV_i e PMV_e com valores crescentes de $|0,20|$ e $|0,30|$. Os demais blocos leves sombreados por árvores caducifólias e de porte pequeno, apresentam desempenho inadequado, com valores de razão entre somatória de PMV_i e PMV_e variando de $|0,93|$ a $|1,35|$ porém com classes melhores que no Verão.

A razão entre as somatórias do desempenho interno e externo proposta, parece indicar resultados consistentes, pois as soluções arquitetônicas passivas e paisagísticas, apresentam uma relação direta com o rigor de exposição ao clima externo. De comparados os valores percentuais crescentes de obstrução do hemisfério vertical externo, obtidos pelo tratamento computacional das imagens, com os valores absolutos médios das medições de iluminância interna, respectivamente apresentados nas tabelas 4.11 para o Verão e 4.13 para o Inverno nota-se que: quanto menor o índice de obstrução maior a iluminância horizontal interna, e também, para o Verão. No caso do inverno, esta assertiva é válida para os pares de salas de mesma orientação, exceto para as salas que tem WWR- “*Window to Wall Ratio*” ou razão entre a área das janelas e a da parede diferentes.

Tabela 4.11 Resumo dos Resultados lumínicos dos Hemisférios VHP de Verão

Bloco	Orientação Oposta	Sala	Efic. da Ilum. Natural (%)	Obstrução Física da Imagem (%)	Transp. Física de imagem (%)	a=FLD e VHP (%) Lim. de Conf. de 95%	Coefficiente de regressão (r^2)	Proteção Arbórea
D34	NE	S205	8,6%	5 %	95%	7,94±0,84	0,80	-
D34	SW	S206	6,7%	11 %	89%	6,40±0,57	0,86	-
M05	N	S07	4,8%	12 %	88%	4,65±0,40	0,70	-
M05	S	S10	4,5%	13 %	87%	4,51±0,16	0,94	-
E46	E	S05	7,0%	53 %	47%	6,94±0,39	0,95	2 Ipês A.
E46	W	S06	6,1%	72 %	28%	6,25±0,42	0,95	3 Flamb.
E34	SE	S05	7,8%	78 %	22%	7,68±0,30	0,96	3 Sibip.
E34	NW	S06	8,8%	81 %	19%	8,45±0,26	0,99	2 Flamb.

Tabela 4.12 Resumo dos Resultados Lumínicos dos Hemisférios VHP de Inverno

Bloco	Orientação Idêntica	Sala	Efic. da Ilum. Nat (%)	Obstrução Física da Imagem (%)	Transp. Física de imagem (%)	a=FLD e VHP (%) Lim. de Conf. de 95%	Coefficiente de regressão (r^2)	Proteção Arbórea
E34	NW	S10	8,8%	49 %	51%	8,81±0,34	0,97	1 Ipê R.
E34	NW	S06	10,0%	77 %	23%	9,92±0,49	0,95	2 Flamb.
E34	SE	S05	7,9%	72 %	28%	7,70±0,41	0,91	3 Sibip.
E34	SE	S09	7,8%	80 %	20%	7,73±0,26	0,96	3 Sibip.
E46	E	S05	7,8%	51 %	49%	7,93±0,39	0,91	2 Ipês A.
E46	E	S01	7,2%	45 %	55%	7,25±0,26	0,97	1 Ipê A.
E46	W	S02	6,7%	44 %	56%	6,76±0,36	0,94	1 Ipê A.
E46	W	S06	6,0%	70 %	30%	5,97±0,29	0,95	3 Flamb.

Nas Tabelas 4.11 e 4.12 comparando-se os dados de Eficiência da iluminação natural, que correspondem à razão entre as médias das medidas de iluminâncias internas no plano horizontal e as médias no plano vertical e externo, com os valores do coeficiente angular da curva de regressão linear (a) de todos os valores de iluminâncias medidos em VHP, apresentam uma alta correlação através de uma reta do tipo $y=ax$;

Nelas os coeficientes angulares aproximam-se da condição ideal do valor unitário, são eles; $a=1,001\pm 0,091$ e $r^2=0,87$; $a=1,019\pm 0,95$ e $r^2=0,873$; $a=1,010\pm 0,045$ e $r^2=0,982$; $a=1,003\pm 0,025$ e $r^2=0,0994$.

Tais resultados apresentam alto grau de correlação, o que indica uma robusta compatibilidade entre os dados medidos e os dados das imagens tratadas computacionalmente.

Esta análise, parece indicar a possibilidade de aplicação, principalmente, no caso de obstruções arbóreas mais densas e qualitativamente diversificadas, quando é difícil avaliar individualmente cada exemplar arbóreo.

Além do que através do senso comum, apresentam-se os conflitos no desempenho das variáveis termo-lumínicas, no caso de sombreamento, seja arquitetônico ou arbóreo. Os valores da obstrução obtidos pelo tratamento das imagens, indicam os efeitos da sazonalidade do clima e da obstrução arbórea e são inversamente proporcionais aos valores médios das medidas de iluminância vertical externa.

Para o verão, demonstra-se essa assertiva nas Tabelas 4.1 e 4.2. No inverno, aos pares de salas, podem ser analisadas nas Tabelas 4.5 e 4.12.

4.3 Resultados do método de obtenção do índice de transparência das essências arbóreas

4.3.1 Resultados das Medições de Luminância e do Tratamento Computacional de Imagens

Nas figuras 4.13 a 4.18 apresentam-se os valores de regressão linear que demonstram os resultados comparativos entre os valores experimentais da medição de grupos de espécimes arbóreos e os do tratamento de imagens pelos “softwares” ADOBE e IMAGO.

Indica-se, também, a reta ideal de coeficiente angular igual a 1, para visualização do distanciamento da condição ideal. É conveniente lembrar que as fotos e medições experimentais foram efetuadas simultaneamente em 3 alturas para cada exemplar arbóreo e os números indicados nos gráficos correspondem à denominação de cada um deles.

Essas medições foram efetuadas em datas dos solstícios de Inverno e Verão, tendo como norteadora da escolha da data, a posição solar. Nesta escolha implicou nebulosidade variável, que no caso de insolação direta ocorre o fenômeno de reflexão nas folhas das árvores. Pode-se, assim, justificar a correlação entre os valores medidos e tratados, menor que o caso da medida dos hemisférios, que integra todas as obstruções em um só dado experimental, anteriormente apresentada.

Também, a posição angular do aparato de medida e a forma quadrangular para o tratamento das imagens, conforme se aplica no “software” IMAGO podem causar alguma distorção nos resultados, afastando a regressão linear da reta ideal de coeficiente angular unitário.

No caso do Inverno apresentado nas figuras 4.13 a 4.15, a transparência obtida pelo tratamento das imagens é menor em relação aos dados das medições no local., devido ao fenômeno de reflexão da luz solar na copa, que aparenta ser um vazio. As árvores adultas e de maior densidade foliar - Flamboyant e Sibipiruna - apresentam melhor correlação que os Ipês Amarelos, que são de menor porte e idade.

Os números indicados nos gráficos seguintes correspondem à numeração das árvores nos “lay-outs” apresentados no capítulo 3.

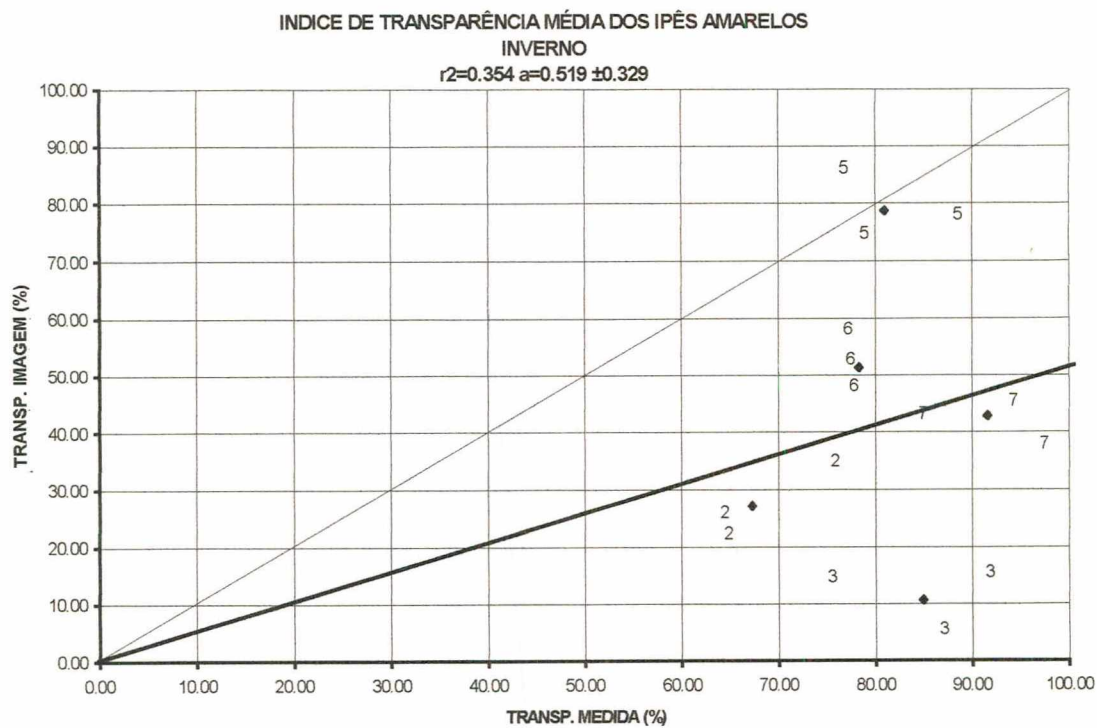
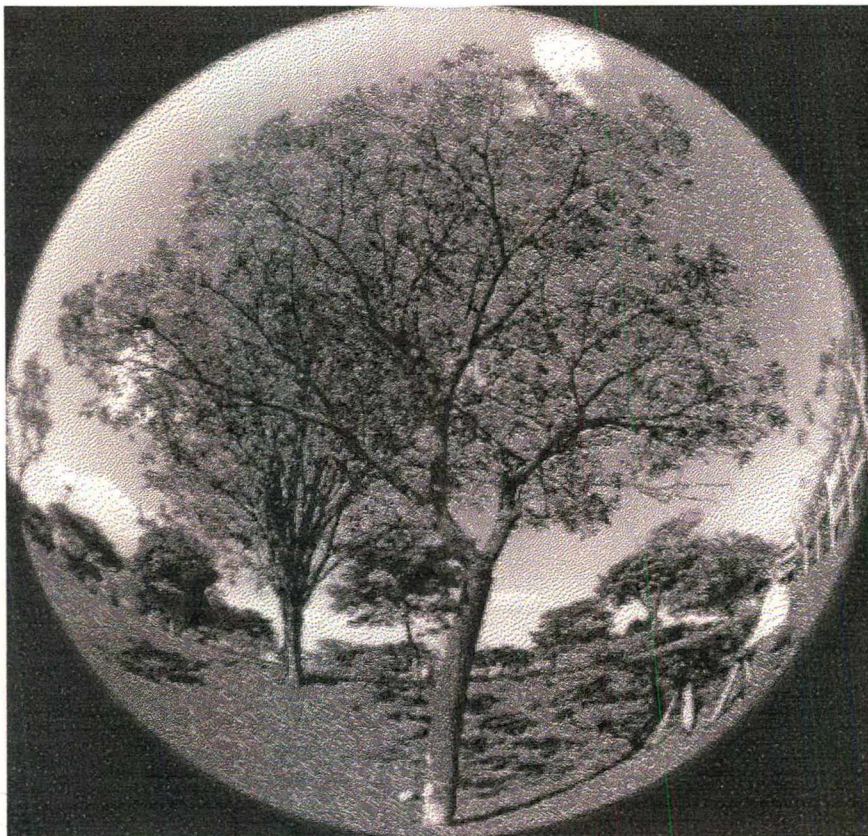


Figura 4.13 - Gráfico de correlação entre luminâncias medidas e tratamento de imagem

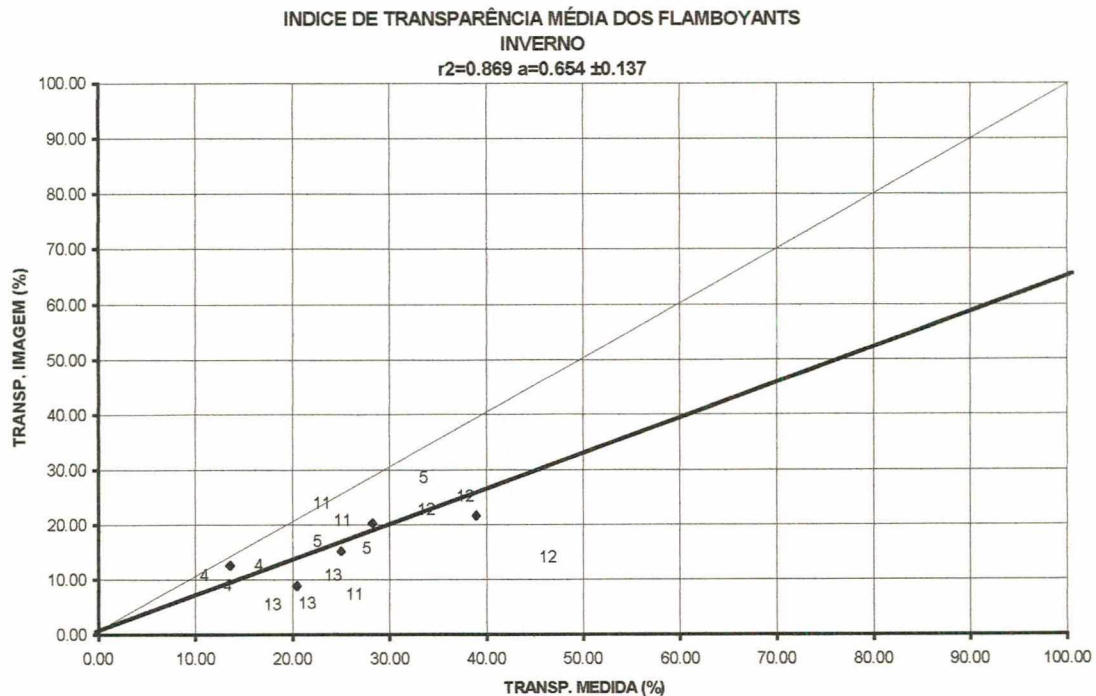
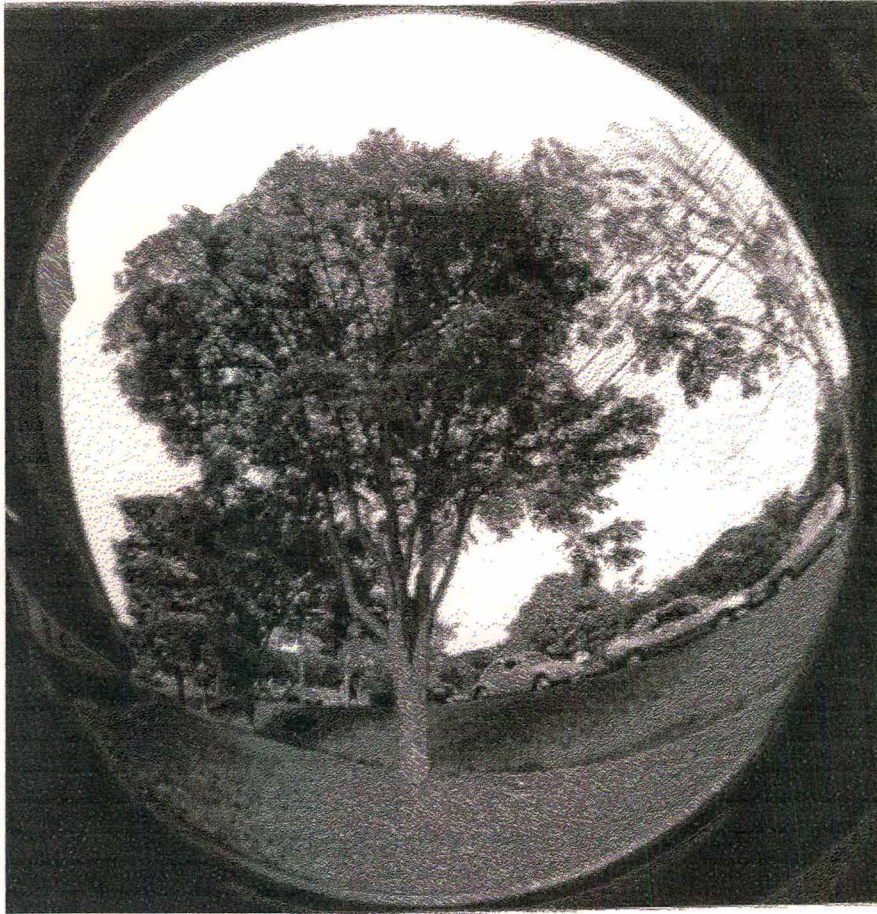


Figura 4.14 - Gráfico de correlação entre luminâncias medidas e tratamento de imagem



INDICE DE TRANSPARÊNCIA MÉDIA DAS SIBIPIRUNAS
INVERNO

$r^2=0.434$ $a=0.780 \pm 0.386$

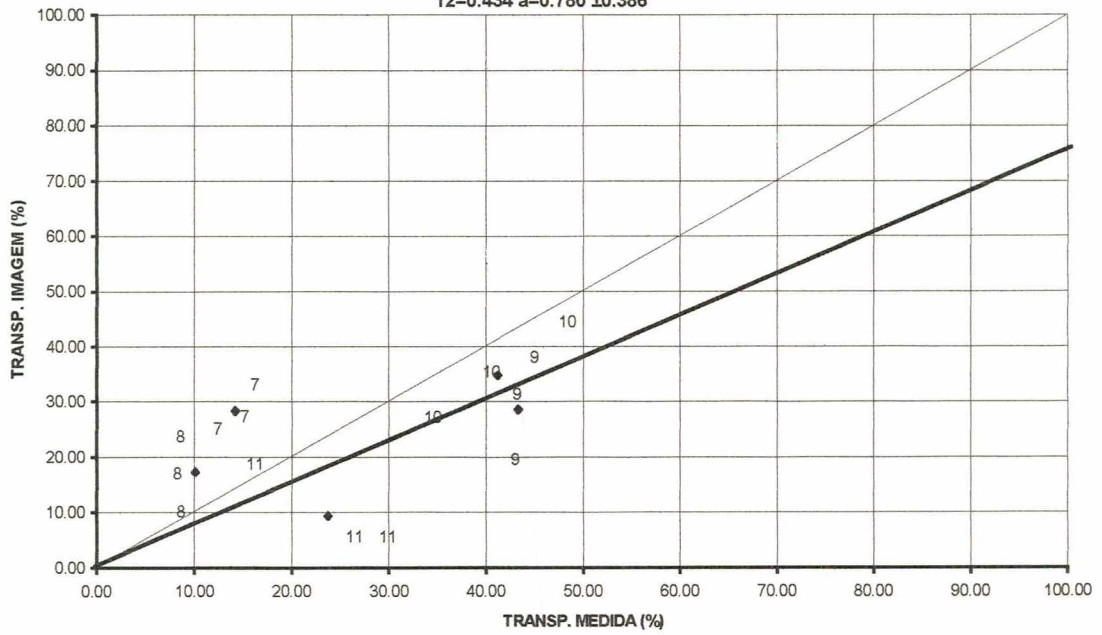


Figura 4.15 - Gráfico de correlação entre luminâncias medidas e tratamento de imagem

No verão os dados são apresentados nas Figuras 4.16 a 4.18.

Os dados do tratamento de imagens, devido à densidade foliar maior, característica da estação, apresentam melhor correlação que no caso do Inverno. Outro fator importante é a maior quantidade de exemplares monitorados.

A exceção da Sibipiruna (folhas perenes), o valor de transparência obtido com o tratamento das imagens continua apresentando valores menores em relação aos valores experimentais, embora a metodologia seja a mesma.

Tanto no Verão (11 e 12/12/95) quanto no Inverno (21, 22 e 27/06/95), as medidas foram feitas em 2 e 3 dias, respectivamente.

Neste caso, a discrepância, pode ser creditada, em parte, à variação da nebulosidade, que no experimento não foi controlada., pois as medições foram feitas próximas as datas dos solstícios de inverno e verão. Deixa-se de apresentar o gráfico correspondente ao Ipê Roxo, por existir apenas um exemplar na amostra, o que inviabilizaria a confecção deste gráfico. Nos demais gráficos foram plotados somente os valores médios das três medições por exemplar, pois para a simulação computacional do consumo energético é necessário apenas um valor médio para a transparência arbórea em cada mês. O que se pretendeu foi obter resultados estatísticos de cada exemplar.

Nota-se que nas figuras 4.13 a 4.15, a transparência obtida por tratamento computacional de imagens subestima os valores obtidos por medição no local da luminância, pois a sua curva de regressão está sempre com coeficiente angular menor que o ideal ($a=1$).

A exceção ocorre nas Sibipirunas durante a estação do Verão, o que pode ser causado pela densa cobertura foliar característica deste período. Além disto, não foi possível manterem fixos os ângulos de altitude e de azimute nas medições, por tratar-se de exemplares diferentes e diversamente dispostos no terreno.

Outro fator, talvez o mais significativo, foi não efetuar as medições em condições similares de nebulosidade do céu, que foi variável nos períodos de medição, sendo que o objetivo era aproximarem-se as medidas das efemérides astronômicas dos solstícios de Verão e Inverno, em função da altura solar típica e extremas nestas estações consideradas.

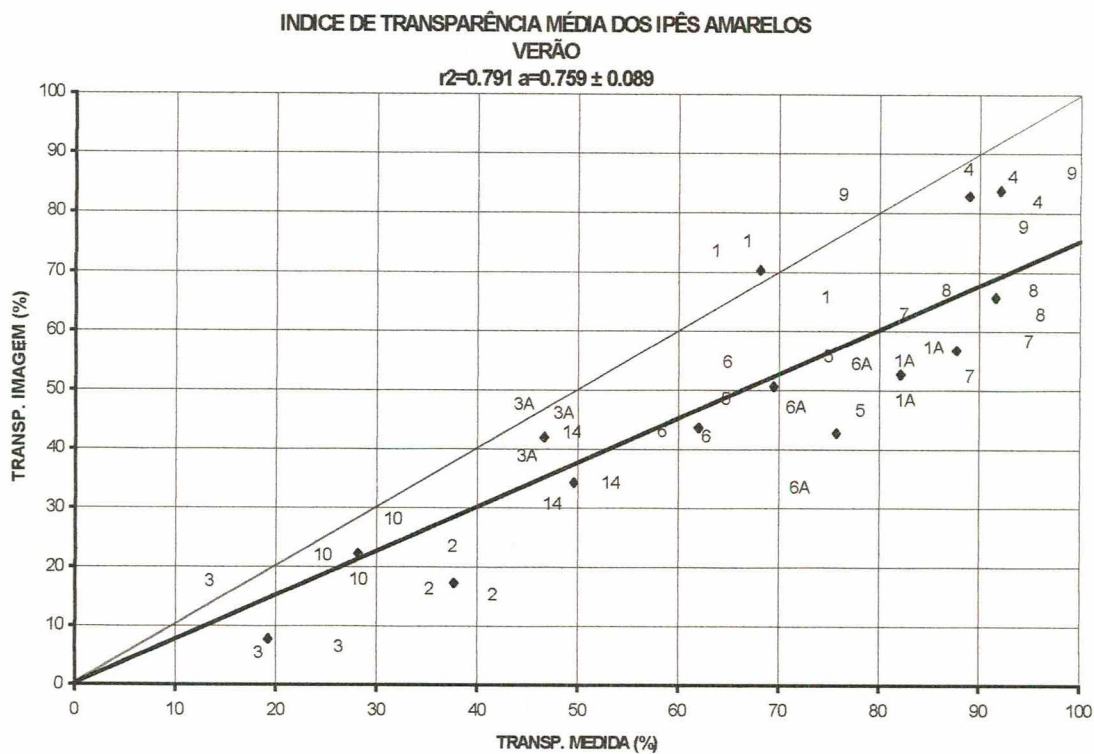


Figura 4.16 - Gráfico de correlação entre luminâncias medidas e tratamento de imagem

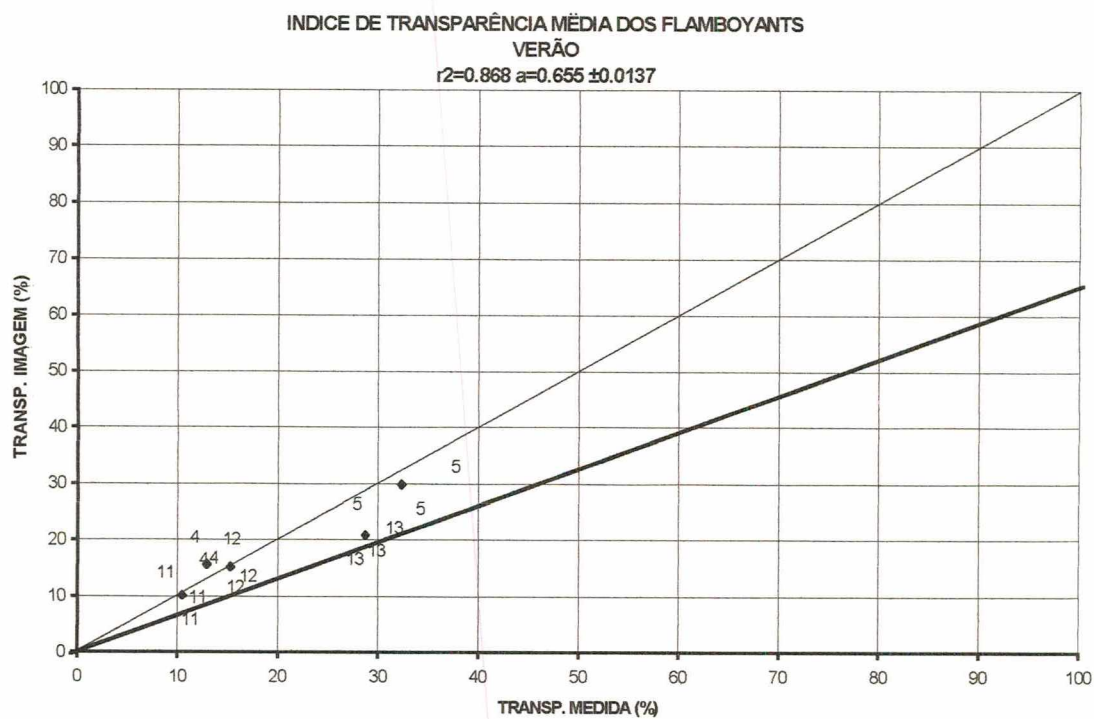


Figura 4.17 - Gráfico de correlação entre luminâncias medidas e tratamento de imagem

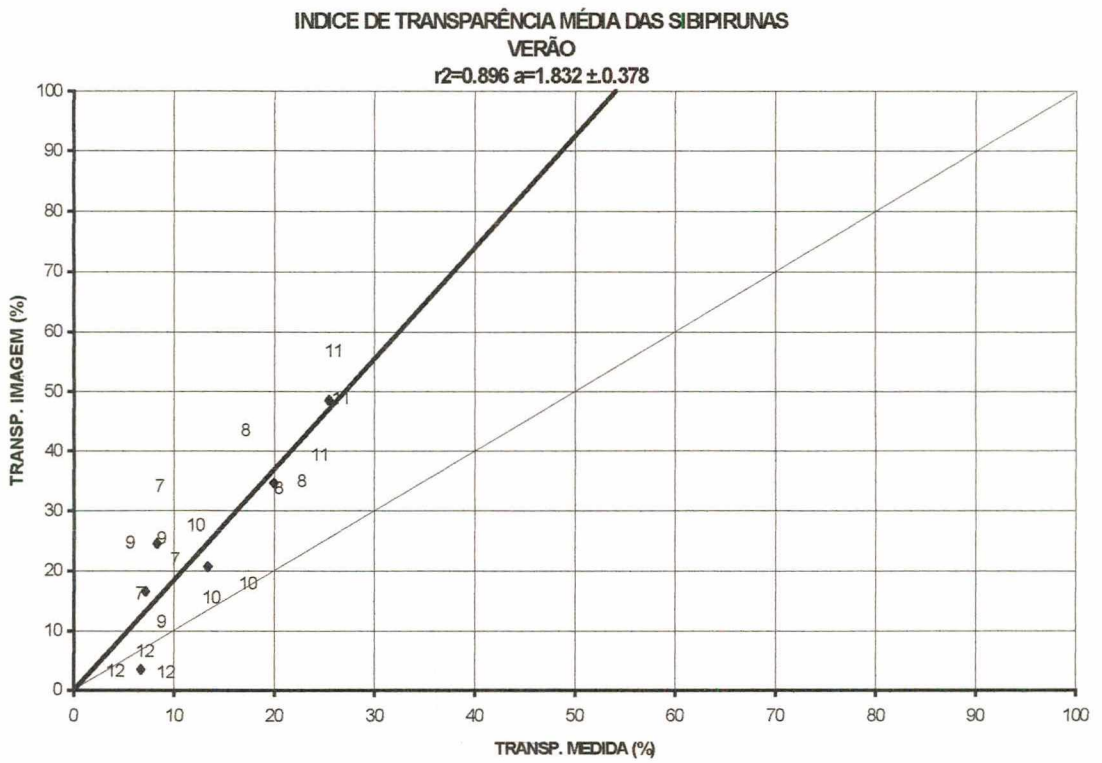


Figura 4.18 - Gráfico de correlação entre luminâncias medidas e tratamento de imagem

4.3.2 Resultados na Medição mensal no local da transparência de um exemplar de cada espécie de árvore através da luminância

Nas figuras seguintes 4.19 a 4.22, apresentam-se os resultados das medições de luminâncias com os valores mínimos e máximos de cada mês ao invés de colocar o valor medido médio adotaram-se as médias das três medições mensais. Nota-se que a variação dos resultados é grande devido à anisotropia das copas das árvores, ao estado fenológico e as posições das três medidas por exemplar arbóreo. Essas posições foram próximas da altura de bifurcação, no centro e na extremidade das copas das árvores.

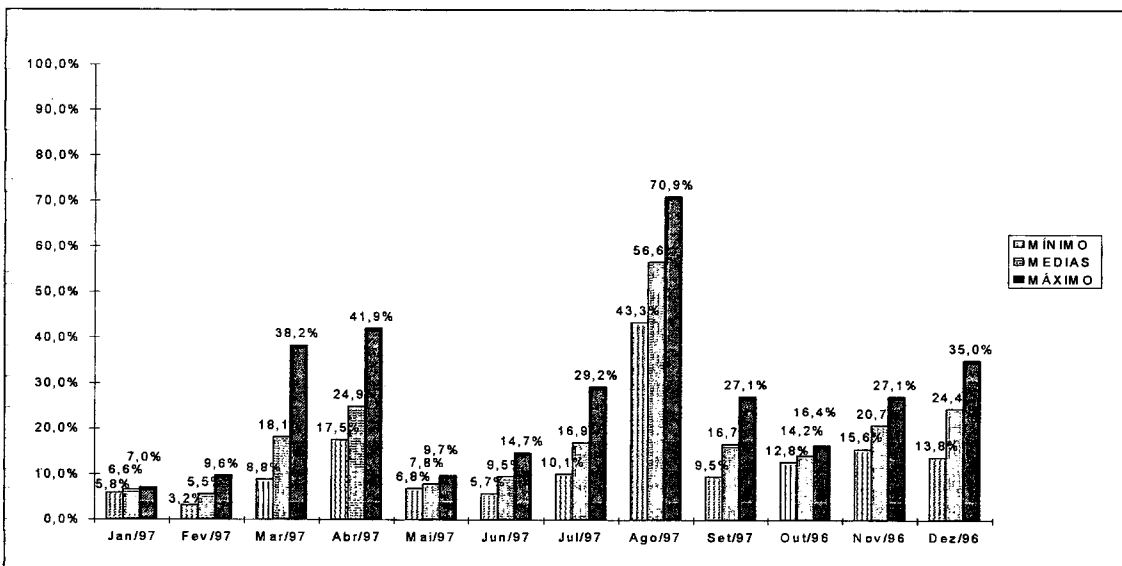


Figura 4.19 Transparência média mensal das Sibipirunas.

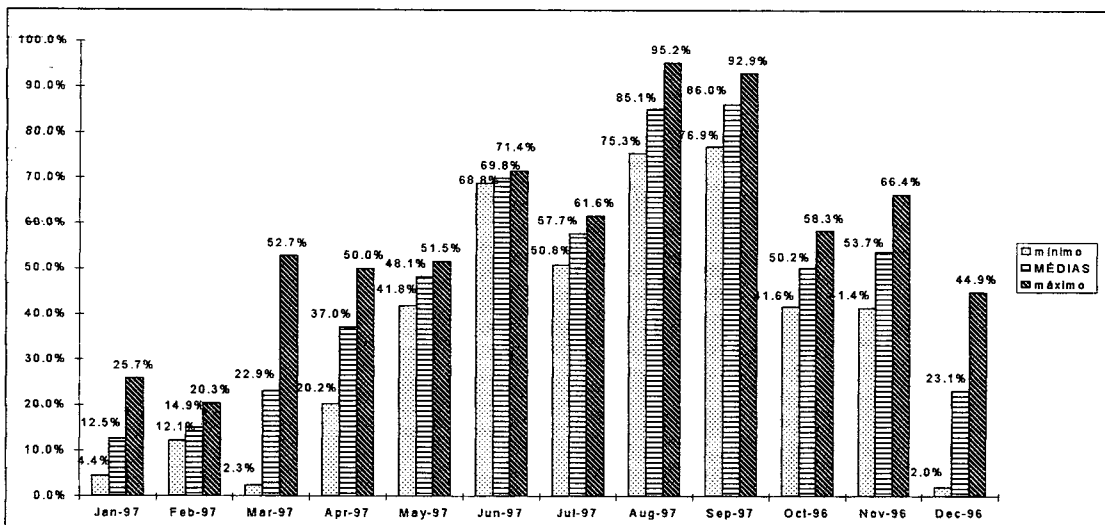


Figura 4.20- Transparência média mensal dos Ipês Roxos.

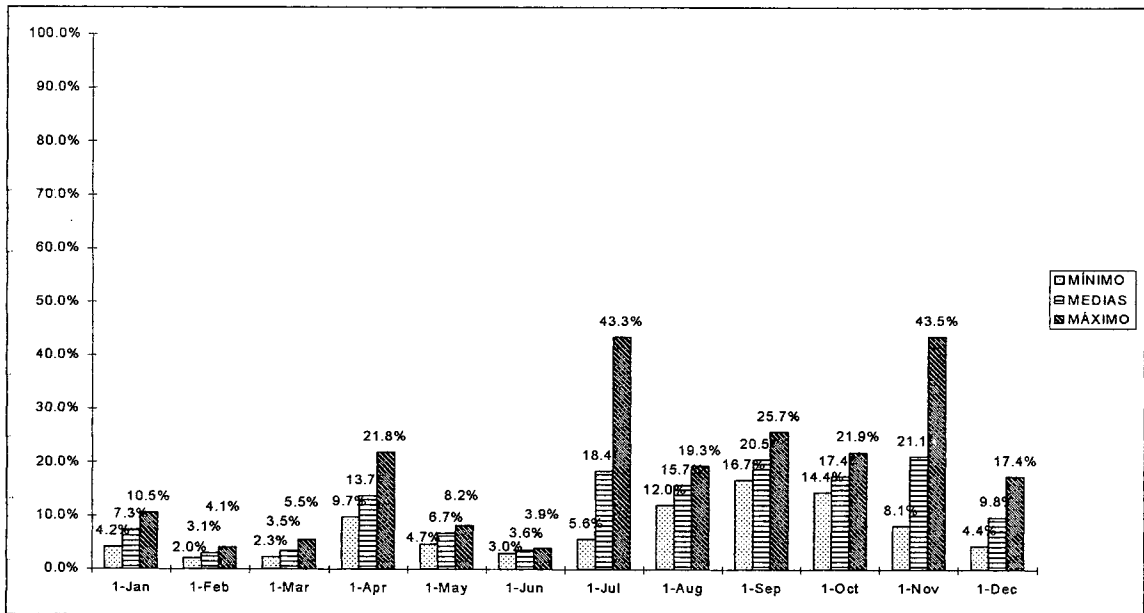


Figura 4.21 Transparência média mensal dos Flamboyants.

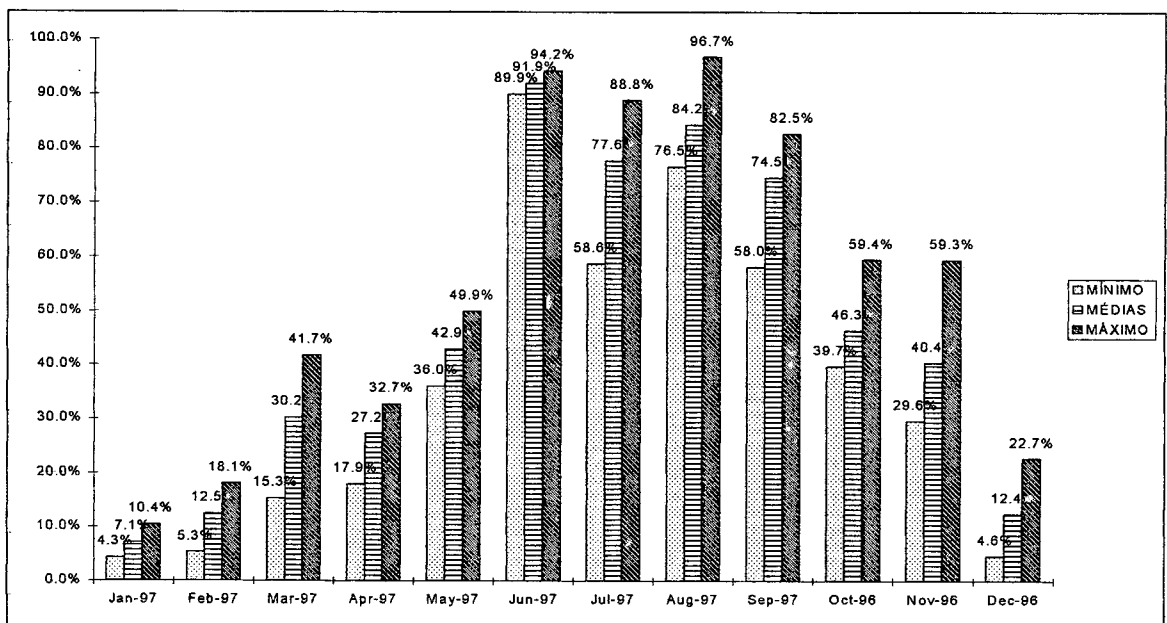


Figura 4.22 Transparência média mensal dos Ipês Amarelos.

As espécies caducifólias (Ipês Amarelo e Roxo) apresentam um comportamento com transparência máximas nos meses de inverno devido a queda das folhas conforme visto nas figuras 4.20 e 4.22. A espécie de folhas perenes da figura 4.19 (Sibipiruna) apresenta um comportamento variável, pois perde folhas durante todo o ano, em pequenas quantidades, mantendo uma alta densidade foliar anualmente. Além disso apresentam resultados de transparência arbórea inferiores aos do caso de sombreamento arbóreo por árvores caducifólias.

A espécie caducifolia tardia (Flamboyant), cujos dados apresentam-se na figura 4.21, também possui alta densidade foliar. No monitoramento mensal não se verificou queda foliar significativa, sendo que o exemplar escolhido apresenta menor índice de transparência que os demais. Essas medições foram necessárias para o acompanhamento mensal do estado fenológico das árvores escolhidas para monitoramento.

São necessárias também para o processamento do “*software*” visualDOE 2.5, no objeto do presente estudo, no qual se incluem os valores de transparência nas obstruções externas, mês a mês, pois “*software*” é limitado na transparência visual (opaco) e não opaco as grandezas térmicas. Consideram-se os valores obtidos válidos para todos os exemplares das quatro espécies arbóreas existentes no caso da simulação computacional de desempenho energético.

4.3.2.1 Incerteza da medição mensal da transparência das árvores

Para avaliar a incerteza do método mensal da transparência das árvores escolhidas, adotou-se o critério de continuar as medições no local, durante um período de 3 meses, procurando escolher datas e horários mais próximos entre as medidas iniciais e as medidas excedentes, que são: 07/10/97 (12 TMG); 15/11/97 (12 TMG) e 06/12/97 (18 TMG), todos com 10/10 de céu para a nebulosidade. Os valores médios mensais de tais desvios absolutos, que correspondem à diferença entre o percentual de transparência medido inicialmente e o percentual das repetições das medições, e são, respectivamente, para outubro, novembro e dezembro:

i) Flamboyant 12- Bloco E46: -5,2%; +2,7%; -1,4%;

ii) Ipê Amarelo 2 - Bloco E46: -3,7%; +2,3%; -1,5%;

iii) Ipê Roxo 2- Bloco E34 : -6,4%; -3,7%; +1,6%;

iv) Sibipiruna 11- Bloco E34 : -0,7%; +2,6%; -1,9%.

Considerando que a faixa de resolução dos valores de transparência nas “*schedulle*” (*padrão de uso*) do “*software*” visualDOE 2.5 é de 5%, pode-se considerar que o método proposto é consistente, pois a exceção é de apenas um valor

absoluto de incerteza (-6,4%) que ultrapassa o da resolução. Por outro lado, mesmo utilizando-se uma instrumentação alternativa os resultados e a metodologia podem ser considerados robustos para este exame de caso.

4.4 Simulação Computacional Paramétrica do consumo de energia elétrica de modelos de salas de aula com o “software” VisualDOE 2.5

Para aplicação na simulação Computacional Paramétrica, há necessidade de definição do TRY (Ano Típico de Referência), para cálculos de consumo de energia elétrica em base anual. Uma vez obtidas as médias mensais das TBS, foi elaborada uma média aritmética anual e a partir dessa, e das médias mensais, foram calculadas o desvio padrão. A Normal Climatológica do elemento de interesse, do período em estudo fica sendo portanto, a média anual. Os resultados obtidos para TBS encontram-se na tabela 4.13.

Tabela 4.13 - NORMAL CLIMATOLÓGICA DA TBS, período: 1983-1995

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1983	24,8	24,8	23,1	22,3	20,3	15,6	19,1	19,8	18,2	21,6	22,8	23,8
1984	25,6	26,0	24,3	21,0	21,1	19,2	19,7	18,4	20,1	24,6	23,9	23,1
1985	24,8	24,5	23,7	22,7	19,3	17,0	16,8	20,5	21,9	23,9	25,4	26,2
1986	25,1	23,7	23,8	23,3	20,0	18,9	17,4	19,4	20,1	22,4	25,0	24,0
1987	24,7	23,2	24,1	23,3	17,3	16,6	20,5	18,6	20,3	22,6	24,5	24,6
1988	26,1	23,6	25,4	22,8	18,7	16,8	16,1	21,5	23,5	22,5	24,2	25,7
1989	23,0	24,0	24,1	23,0	19,2	17,4	16,7	18,4	19,5	21,8	23,4	24,5
1990	23,9	25,3	25,2	23,9	18,2	17,5	14,8	18,5	18,8	23,8	25,3	25,0
1991	24,9	24,2	23,4	22,4	19,9	18,9	17,9	20,4	22,0	23,0	24,6	24,5
1992	25,9	25,2	23,1	21,1	19,5	19,9	16,1	18,2	19,5	22,8	23,3	24,9
1993	25,1	22,8	24,4	23,2	19,5	17,1	17,3	19,4	20,5	23,5	25,1	24,6
1994	24,2	24,8	23,6	22,5	20,5	17,7	18,6	20,9	23,5	24,1	24,2	25,7
1995	24,7	24,2	24,2	21,2	19,5	19,3	20,7	23,1	21,6	21,5	24,3	24,8
NÚMERO	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
MÉDIA	24,8	24,3	24,0	22,5	19,4	17,9	17,8	19,8	20,7	22,9	24,3	24,7
DESV. PADRÃO	0,82	0,89	0,70	0,93	1,00	1,28	1,80	1,46	1,67	0,99	0,79	0,84

O Ano Típico de referência é o ano real que mais se aproxima da Normal Climatológica. Para sua determinação é tomada como base a variável TBS.

De forma mais detalhada para a seleção do Ano Típico de Referência foi utilizado o processo descrito a seguir: primeiramente, a partir dos dados médios mensais de TBS, foi feita uma classificação em ordem de importância para cálculo da energia, dos meses e seus respectivos anos e temperatura, segundo o critério de, em 1^o lugar o mês mais quente em 2^o lugar o mês mais frio, em 3^o lugar o segundo mês mais quente, em 4^o lugar o segundo mês mais frio, e assim por diante até complementar 12 posições. Depois repete-se a operação, porém invertendo-se o sentido da análise onde é mais quente passa a ser mais frio e vice-versa.

Como a base de dados utilizada foi de leituras sinóticas, não se dispunha de dados horários, mas de médias diárias, com isso reduziu-se muito a quantidade de dados. Quando foi empregado o método acima descrito, não foi possível obter apenas um ano como TRY (Ano Típico de Referência) ficando determinados dois anos, 1986 e 1991.

Para eliminação de um dos dois anos obtidos, foi utilizado como parâmetro o desvio padrão das diferenças das médias. Ou seja, comparado-se a média mensal dos anos de 1986 e 1991 com a média mensal da Normal Climatológica e obteve-se a diferença das médias. A partir dessa diferença, foi calculado o desvio padrão indicado na tabela 4.16. O ano de 1991 apresentou um desvio padrão menor que 1986, mostrando que no geral das temperaturas médias mensais se aproximam mais da Normal Climatológica do que o ano de 1986. Esta constatação pode ser confirmada visualizando a figura 4.23, na qual a média é levemente inferior ao TRY (Ano Típico de Referência) a partir de maio até outubro. Nos demais meses a situação se inverte, porém a similaridade dos gráficos é muito robusta. Na figura 4.23, a abscissa é constituída pelos doze meses do ano e a ordenada apresenta as médias mensais da temperatura de bulbo seco do ar externo, obtidas nas leituras sinóticas da ECPM/UEM.

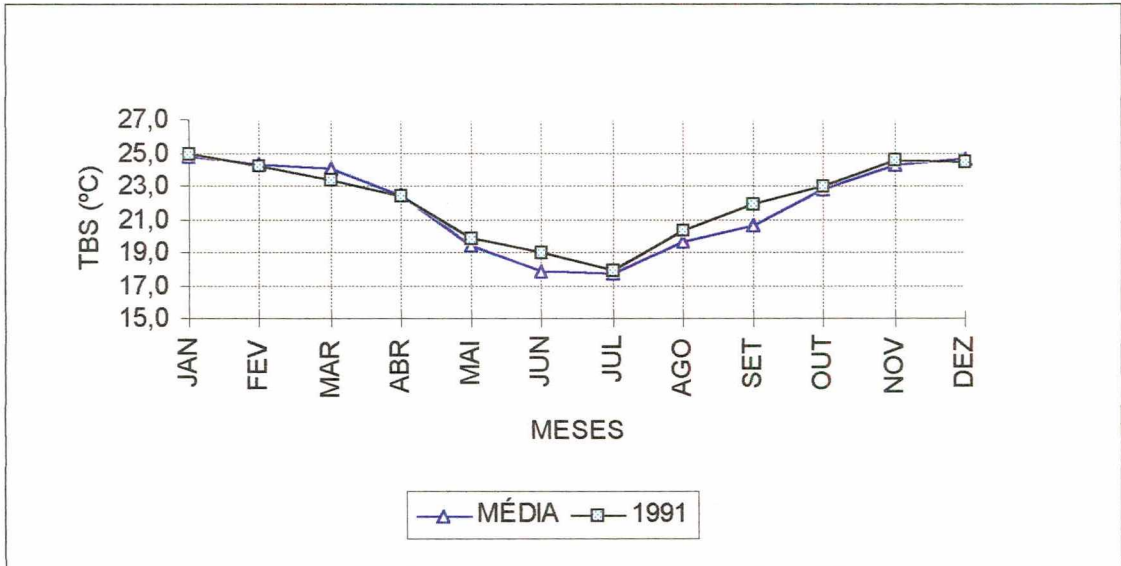


Figura 4.23 Marcha mensal das TBS (° C) da normal e do ano típico 1991

O TRY (Ano Típico de Referência) foi elaborado para uso no “software” VisualDOE 2.5 que é uma interface comercial do DOE 2.1E para o Windows 95, fornecido para o uso pelo NPC/UFSC.

A tabela 4.14 da classificação ficou assim definida:

Tabela 4.14 Classificação por Ordem de Importância para Cálculo de Energia.

Ordem importância	Class.	TBS (° C)	ANO
1	+ Q	26,20	dez/85
2	+ F	14,80	jul/90
3	+ Q	26,50	jan/88
4	+ F	15,60	jun/83
5	+ Q	26,00	fev/84
6	+ F	17,30	mai/87
7	+ Q	25,40	mar/88
8	+ F	18,20	set/83
9	+ Q	25,40	nov/85
10	+ F	18,20	ago/92
11	+ Q	24,60	out/84
12	+ F	21,00	abr/84
13	+ F	23,10	dez/84
14	+ Q	20,70	jul/95
15	+ F	23,00	jan/89
16	+ Q	19,90	jun/92
17	+ F	22,80	fev/93
18	+ Q	21,10	mai/84
19	+ F	23,10	mar/92
20	+ Q	23,50	set/94
21	+ F	22,80	nov/83
22	+ Q	23,10	ago/95
23	+ F	21,50	out/95
24	+ Q	23,90	abr/90

Para eliminação dos anos tomou-se o ano que apresentava o mês mais quente e eliminou-se esse ano, em seguida o ano que apresentava o mês mais frio. Repete-se o processo para o 2º mês mais quente e o 2º mês mais frio. Continua-se o processo até restar um ano somente. Essa seqüência de eliminação é apresentada na tabela 4.15.

Tabela 4.15 - Seqüência de Eliminação de Dados

Ordem	+ Q	+ F
1	Dez/85	dez/84
2	Jul/95	jul/90
3	Jan/88	jan/89
4	Jun/92	jun/83
5	Fev/84	fev/93
6	Mai/84	mai/87
7	Mar/88	mar/92
8	Set/94	set/83
9	Nov/85	nov/83
10	Ago/95	ago/92
11	Out/84	out/95
12	Abr/90	abr/84
ANO	1986	1991

Tabela 4.16 Escolha do TRY (Ano Típico de Referência) por Desvio Padrão entre os valores 1986 e 1991.

DIF. MÉDIA 86	0,2	-0,7	-0,3	0,8	0,5	1,1	-0,4	-0,3	-0,7	-0,6	0,7	-0,7	0,6417
DIF. MÉDIA 91	0,1	-0,1	-0,6	-0,1	0,4	1,1	0,0	0,6	1,2	0,1	0,3	-0,3	0,5385

A seguir, na figura 4.24, apresenta-se a marcha horária das temperaturas de bulbo seco externas de 1991, escolhido como TRY (Ano Típico de Referência).

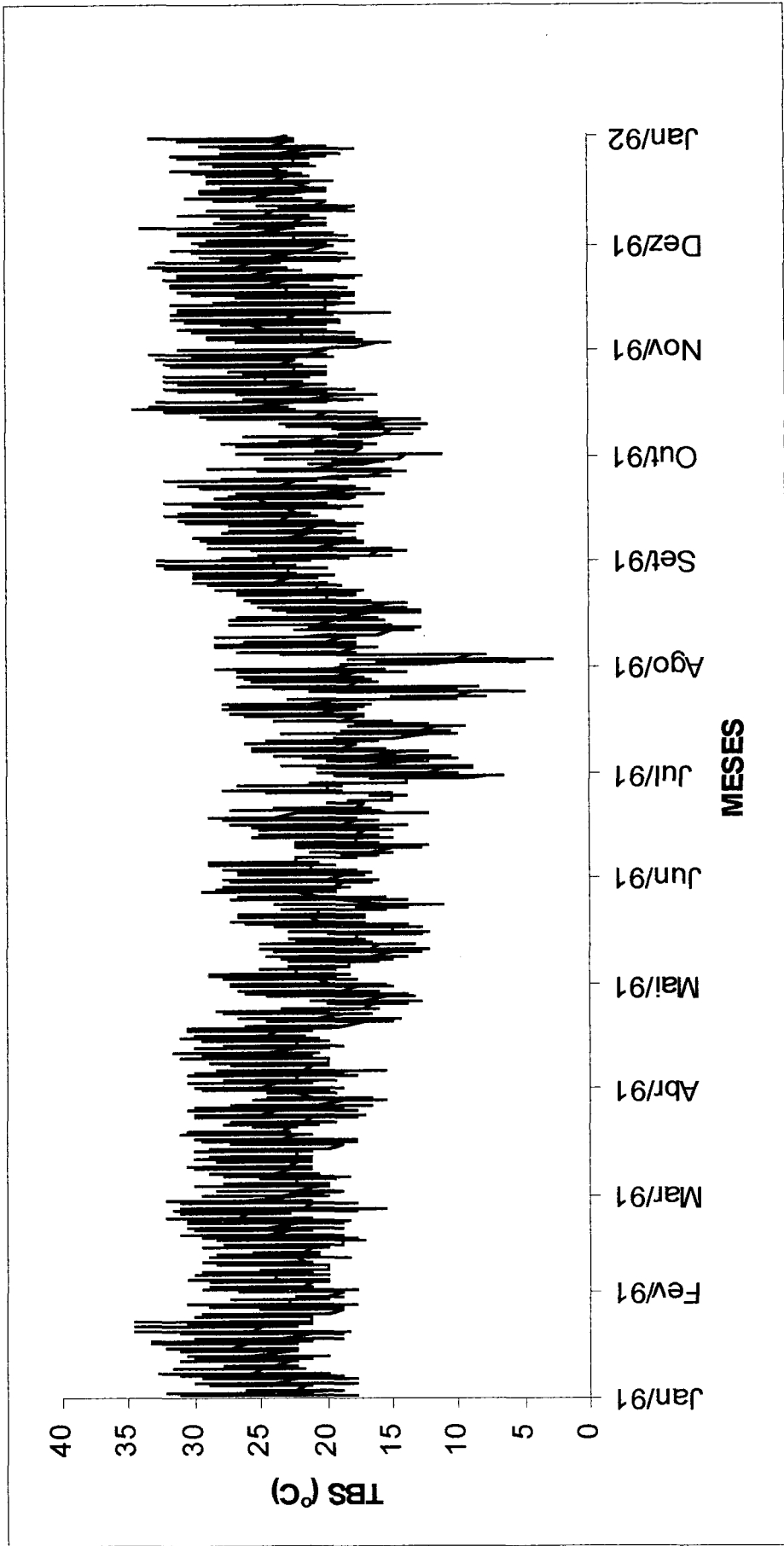


Figura 4.24 Marcha Horária das TBS (°C) de (1991)

4.4.1 Consumo do caso base de E.E para os Quatro pontos Cardeais sem Sombreamento e com usuários e ar condicionado

Sendo L (Leve), LN (Luz Normal – lâmpadas fluorescentes comuns) W3 (WWR=30%) N (Norte) S (Sul) E (Este) W (Oeste) P (Pesada) W6 (WWR=60%) LO (Luz Otimizada – lâmpadas fluorescentes de baixo consumo).

Tabela 4.17 - Consumo de E.E para todas orientações sem sombreamento e com ar condicionado .

Identificação	Total anual s/ sombra c/ ar condic. (kWh)	Identificação	Total anual s/ sombra c/ ar condic. (kWh)
LLNW3N	3251	PLNW3N	3233
LLOW3N	1924	PLOW3N	1903
LLNW6N	3478	PLNW6N	3470
LLOW6N	2188	PLOW6N	2179
LLNW3E	3321	PLNW3E	3297
LLOW3E	2004	PLOW3E	1975
LLNW6E	3356	PLNW6E	3782
LLOW6E	2299	PLOW3E	2282
LLNW3S	3091	PLNW3S	3062
LLOW3S	1768	PLOW3S	1744
LLNW6S	3239	PLNW6S	3221
LLOW6S	1768	PLOW6S	1920
LLNW3W	3169	PLNW3W	3146
LLOW3W	1852	PLOW3W	1826
LLNW6W	3350	PLNW6W	3329
LLOW6W	2064	PLOW6W	2050

Na tabela 4.17 apresentam-se os resultados da variação de consumo de E.E em relação as salas sem sombreamento e com ar condicionado dimensionado para salas de aula ocupadas.

Apesar da ocupação ser uma fonte interna de calor significativa, manteve-se a situação de iluminação artificial variável do tipo “*on-off*” de 1/3 e 2/3, e a cor branca do envoltório.

Tais valores indicam o acréscimo de consumo de E.E em relação as simulações paramétricas sem ocupação, sendo relativamente pequenos em relação a variabilidade do contexto desta tese.

Nessas condições, sem sombreamento arbóreo, a orientação exerce fundamental importância além dos valores decorrentes da otimização da iluminação artificial.

As fachadas orientadas para Este são as que apresentam maiores valores tanto para WWR=30% quanto para WWR=60%, na seqüência as fachadas Norte e Oeste apresentam valores intermediários e na fachada Sul apresentam menores valores de consumo de E.E.

Todos os valores de consumo de E.E neste caso são maiores do que os valores apresentados para a condição de sombreamento arbóreo e envoltório branco.

Esses valores assim obtidos pela simulação computacional paramétrica indicam que os resultados variam também em relação a inércia ou isolamento térmica.

Quanto maior a janela é menor a altura do peitoril, e assim o consumo de E.E é maior que nos casos onde o WWR (Razão entre a área das janelas e a da parede) é menor com o peitoril maior, nos casos de sombreamento arbóreo.

4.4.2. Tendências Gerais de Desempenho do Sombreamento por Espécie Arbórea

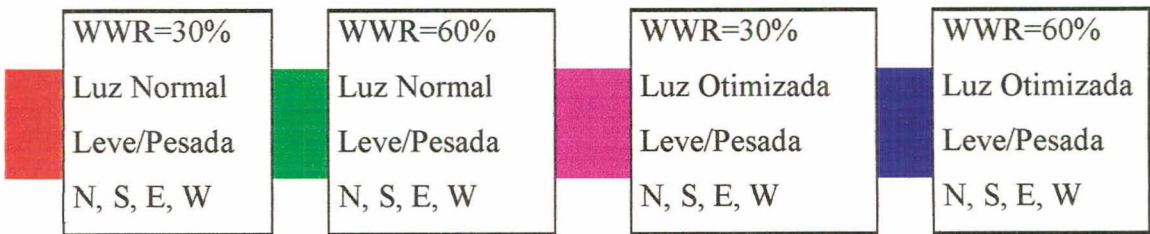
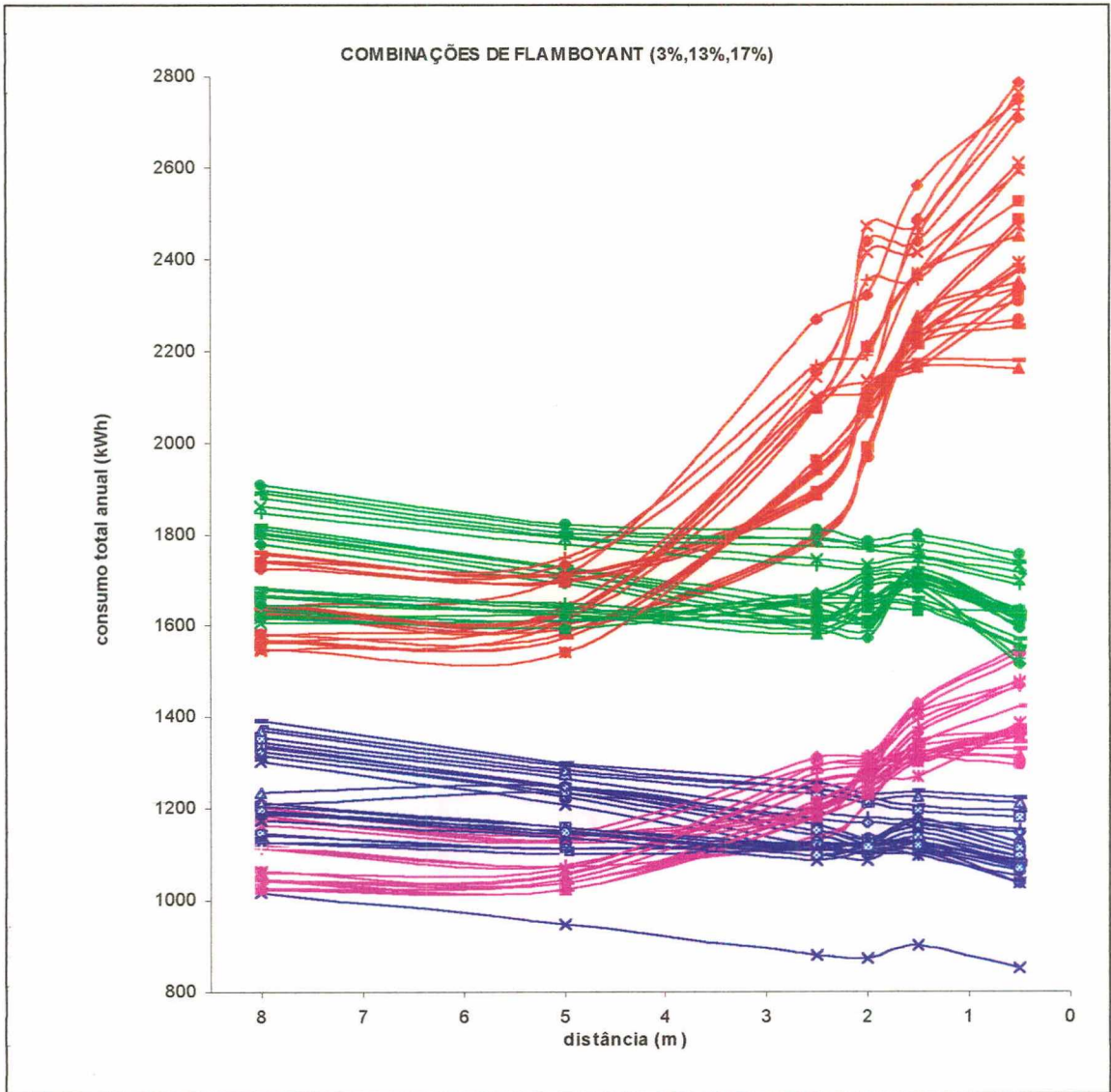


Figura 4.25 Combinações de consumo de E.E. global para Flamboyant com as três transparências de 3%, 13% e 17%.

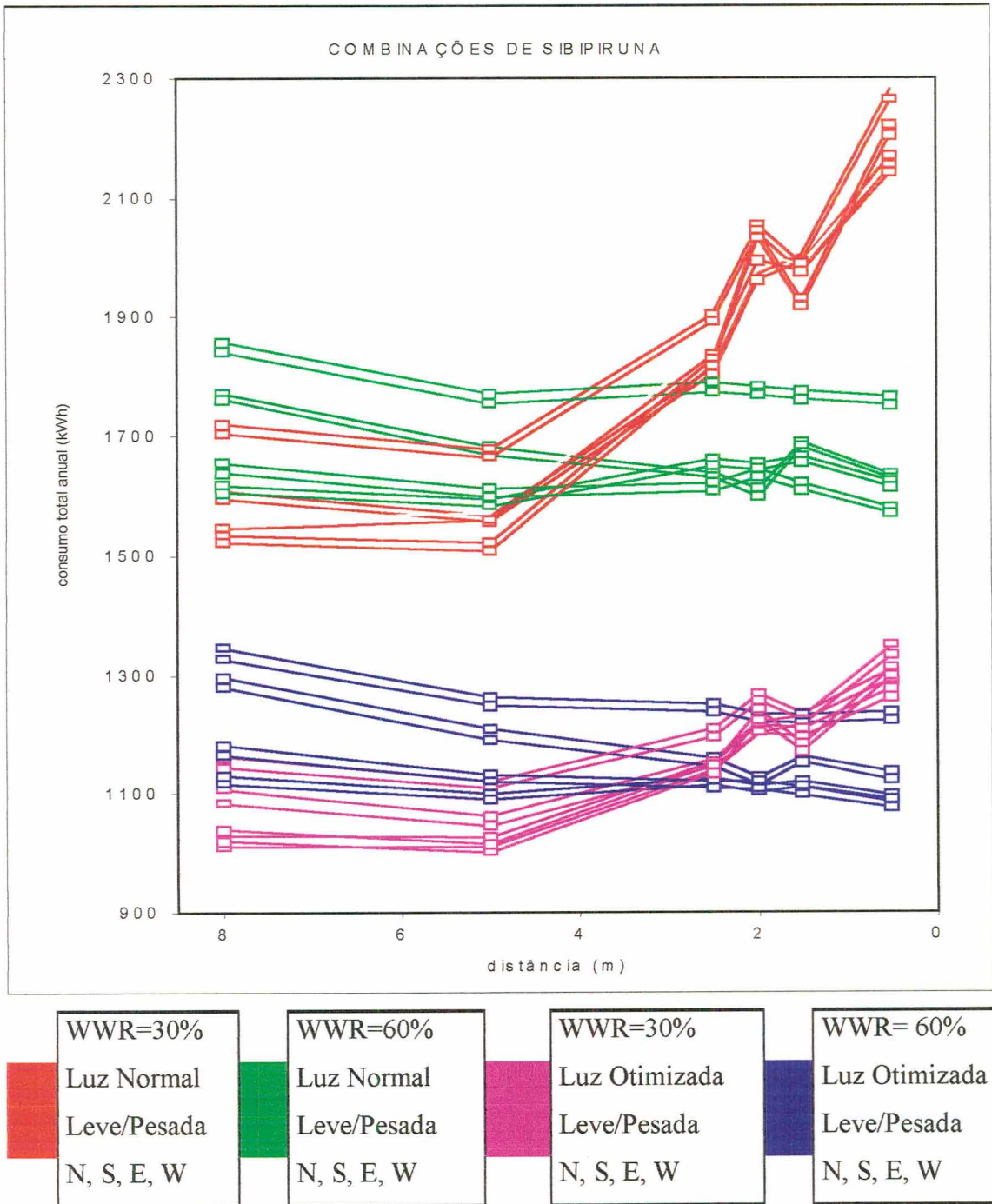


Figura 4.26 Combinações de consumo de E.E. global para Sibipiruna.

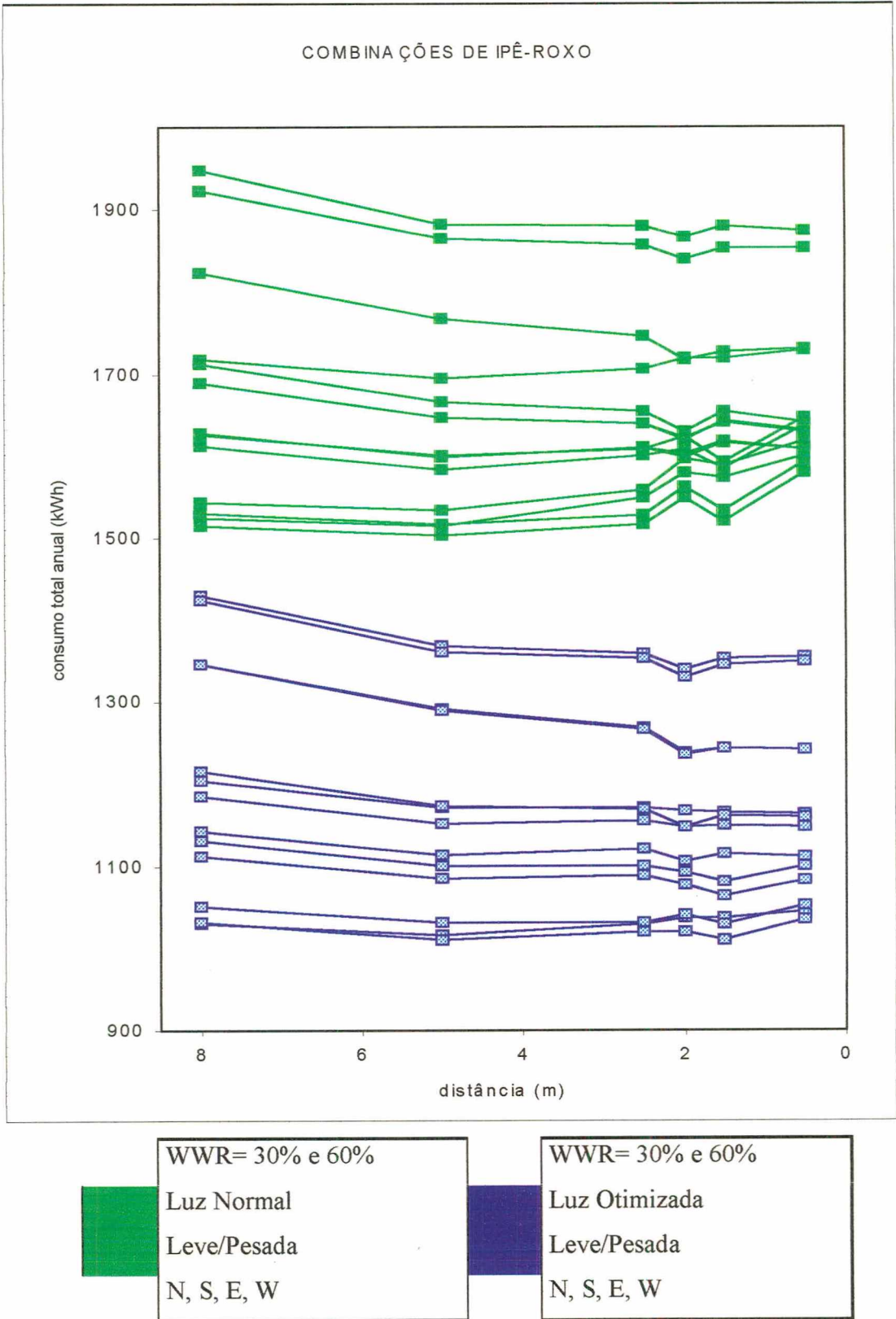


Figura 4.27 Combinações de consumo de E.E. global para Ipê Roxo.

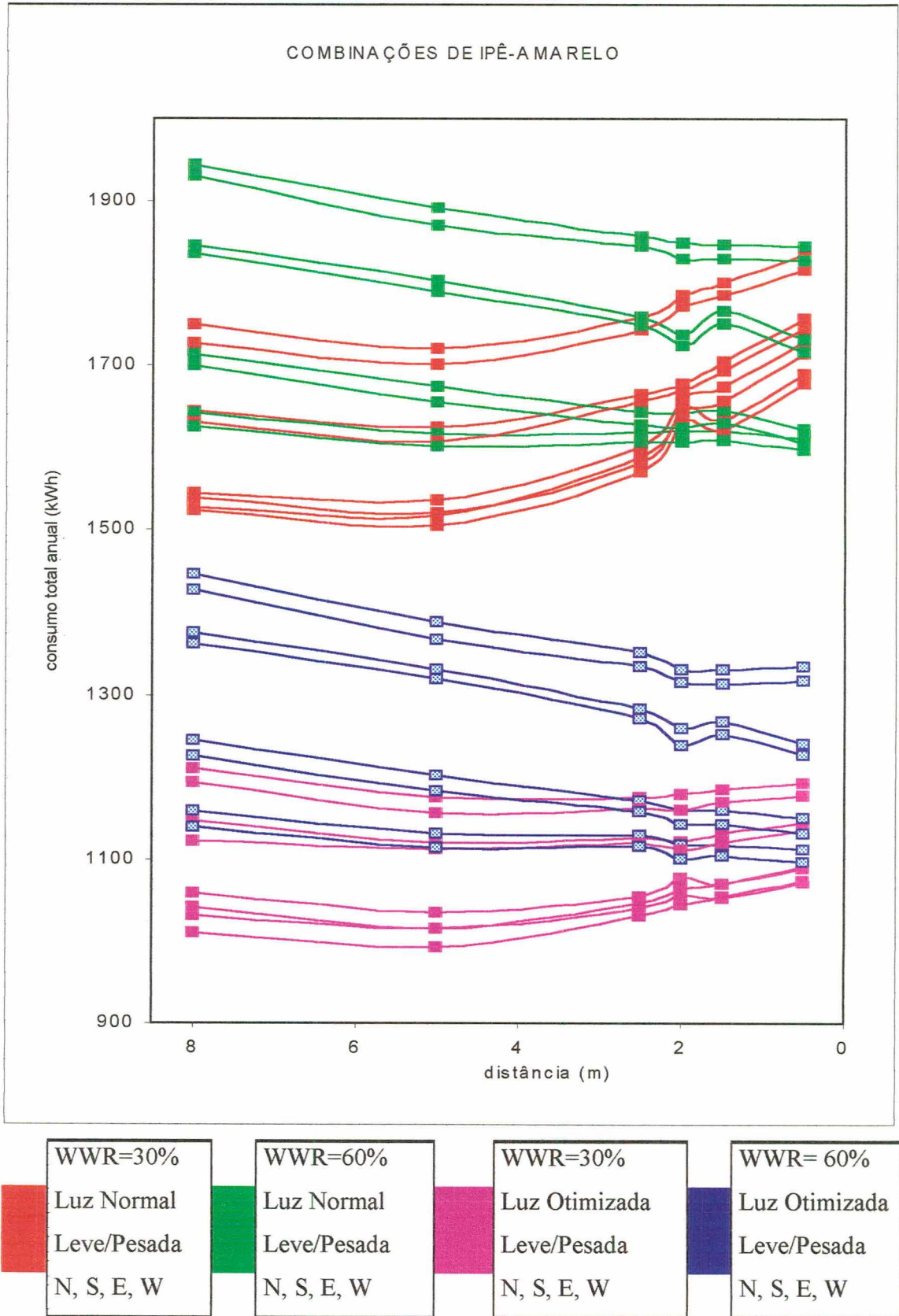


Figura 4.28 Combinações de consumo de E.E. global para Ipê Amarelo.

Na figura 4.25 para o Flamboyant as curvas de cor vermelha indicam a tendência de comportamento de consumo de E.E crescente com a aproximação da árvore ao edifício com janelas pequenas $WWR=30\%$ para todas as transparências arbóreas com paredes leves e pesadas, e luz normal, para todas as orientações. As curvas de cor verde indicam um desempenho de consumo menor e levemente decrescente para situação similar a anterior porém com luz normal e $WWR=60\%$. As curvas de cor lilás representam o desempenho crescente de consumo de E.E. com aproximação das árvores ao edifício para o caso de luz otimizada, paredes pesadas e leves, além de janelas pequenas com $WWR=30\%$ nas transparências de 3%, 13% e 17%. Porém esses valores de consumo são menores do que os anteriores. Finalmente, as curvas de cor azul apresentam um menor consumo dentre as outras com tendência decrescente no caso da aproximação da árvore ao edifício e correspondem à paredes de inércia térmica pesada e leve, com janelas grandes ($WWR=60\%$), porém com luz otimizada para todas as três transparências arbóreas adotadas. Com tal comportamento global o sombreamento por Flamboyant e, também na figura 4.26 para a Sibipiruna ficam diretamente condicionados pelo desempenho previsto, nos menores valores da iluminação artificial instalada.

Na figura 4.26 para as Sibipirunas as curvas de cor vermelha indicam a tendência de comportamento do consumo de E.E crescente com a aproximação da árvore ao edifício em salas com janelas pequenas $WWR=30\%$, com paredes leves e pesadas, e luz normal. As curvas de cor verde indicam um desempenho de consumo menor e decrescente com pequena variação com luz normal, para o caso de paredes com inércia térmica leve e pesada e com $WWR=60\%$. As curvas de cor lilás representam o desempenho crescente do consumo de E.E. com aproximação das árvores ao edifício para o caso de luz otimizada com paredes pesadas e leves e janelas pequenas ($WWR=30\%$) porém com valores de consumo menores nas Sibipirunas que nos Flamboyants conforme figura 4.25. Finalmente, as curvas de cor azul apresentam um menor consumo dentre as outras com tendência levemente decrescente no caso da aproximação da árvore ao edifício e correspondem a salas com parede de inércia térmica pesada e leve, com janelas grandes ($WWR=60\%$), porém com luz otimizada. Neste comportamento global o sombreamento por Sibipiruna fica diretamente condicionado pelo desempenho previsto no otimização da iluminação artificial da iluminação artificial.

Em termos comparativos a variação de consumo de E.E. para o Flamboyant tem variações quantitativas na faixa de 800 kWh a 2800 kWh, a Sibipiruna apresenta a variação menor de consumo de E.E. entre 900 kWh a 2300 kWh. Em todas as curvas na distância de 2,0m apresenta-se uma instabilidade de valores com picos de máximo e depressões de mínimo, devido provavelmente ao modelo de sombreamento adotado que baseia-se na geometria da insolação. Finalmente os resultados indicam para as árvores semi-caducifólias e perenes, a saber, o Flamboyant e a Sibipiruna, que apresentam tanto para luz normal quanto para luz otimizada, com janelas de WWR=30% em todas as orientações uma tendência de aumento de consumo de E.E. ao se aproximar a árvore do edifício, mostrando que quando a transparência das árvores é muito baixa e causam um comportamento de consumo de E.E. diferenciado no caso de iluminação artificial controlada por liga-desliga. Depreende-se dessa afirmação que as funções das janelas devem ser especializadas em iluminação e ventilação. A primeira mudando-se a tipologia do bloco para iluminação bilateral que também propiciaria ventilação cruzada

Os resultados de consumo de E.E. mensal juntamente com a transparência das quatro árvores estão nos Anexos: Flamboyant (Anexo VII, Figura VII.1 a VII.21), Sibipiruna (Anexo VIII, Figura VIII.1 a VIII.24), Ipê Roxo (Anexo IX, Figura IX.1 a IX.24) e Ipê Amarelo (Anexo X, Figura X.1 a X.24). Na figura 4.27 apresentam-se as combinações de Ipê Roxo de todas as simulações paramétricas, na qual as curvas de cor representativas do consumo de E.E. variam levemente decrescentes a medida que aproximam-se as árvores da sala. Na distância de 2,0m apresentam-se pequenos picos ou depressões no consumo. Todas as tendências de consumo são levemente decrescentes e estão definidas em dois blocos, de 1500kWh a 1900kWh situam-se as faixas de consumo referentes a luz normal, representadas em cor verde. Na faixa de 900kWh a 1400kWh situam-se as curvas de consumo referentes a adoção de iluminação otimizada, representadas na cor azul. A inércia térmica das paredes externas ocasionam pouca variação no perfil de comportamento sendo que as de maior inércia térmica consomem mais energia para climatização que as de inércia térmica leve, além disso a faixa de variação de consumo de E.E. é menor que em ambas as árvores anteriormente citadas, sendo que conforme a figura 4.27 o Ipê Roxo sofre pequena influência na variação da árvore ao edifício. Na figura 4.28 apresentam-se as combinações de Ipê Amarelo de todas as simulações paramétricas na qual as curvas representativas do consumo de E.E., em cor vermelha indicam um crescimento com aproximação da árvore

ao edifício com luz normal e $WWR=30\%$. Variam levemente decrescentes a medida que aproximam-se as árvores da sala como indica a cor verde para luz normal e $WWR=60\%$. Para a luz otimizada, o consumo de E.E. ao se aproximar do edifício apresenta-se crescente para a cor lilás que representa janelas pequenas de $WWR=30\%$. As curvas de cor azul indicam um decréscimo de consumo de E.E. na situação de luz otimizada e $WWR=60\%$. Na faixa de consumo de E.E. entre 1500kWh e 2000kWh situam-se as curvas de consumo referentes a luz normal. Na faixa de 900kWh a 1500kWh situam-se as curvas de consumo referentes a otimização da iluminação artificial. A inércia térmica das paredes externas causam pequena variação no perfil de comportamento sendo que as de maior inércia térmica consomem mais energia que as de inércia térmica leve, além disso a faixa de variação de consumo de E.E é menor que nas árvores caducifólias do que nas árvores de folhas perenes.

Partindo do senso comum, nos resultados apresentados nas figuras 4.25 e 4.26 nota-se um comportamento similar na variação no consumo de E.E. conforme a distância da árvore ao prédio. No caso dessas figuras que correspondem respectivamente ao Flamboyant, a Sibipiruna pode-se afirmar que o elemento diferenciador no desempenho energético deve-se principalmente a otimização do sistema de iluminação artificial, que formam blocos distintos com maior consumo no caso da luz normal consumindo mais energia e com a luz otimizada consumindo menos energia. Em cada bloco as árvores de folhas perenes (Flamboyant e Sibipiruna) apresentam tendência crescente de consumo de E.E. nas quatro orientações cardeais sendo que para $WWR=30\%$ (janelas pequenas o consumo é crescente com aproximação da árvore ao edifício), e $WWR=60\%$ a tendência é levemente decrescente. No caso de iluminação otimizada repete-se essa tendência com valores de consumo menores que as anteriores. A adoção de inércias térmicas leves e pesadas apresentam pouca influência devido a pequena dimensão do peitoril que acompanha o comportamento anteriormente descrito sendo que as paredes de inércia térmica leves consomem menos E.E que as pesadas pois para edificações condicionadas artificialmente o isolamento térmico é mais eficiente que a inércia térmica. Na figura 4.27 esta tendência modifica-se para o Ipê Roxo tendo comportamento diferenciado ou seja a variação de consumo de E.E. com a distância com a aproximação ao edifício. Esta variação indica que o desempenho energético é praticamente constante sendo dividida apenas em função da luz normal e otimizada que formam blocos distintos, ou seja os fatores diferenciadores são a

otimização da iluminação artificial que induz a um menor consumo que é a iluminação normal, além da influência que recebe da inércia a isolamento térmica do edifício, sendo que as de inércia pesada também consomem mais energia que as com isolamento térmica.

Na figura 4.28 que corresponde ao desempenho energético do Ipê Amarelo na aproximação da árvore ao edifício o comportamento é similar ao do Flamboyant e a Sibipiruna e a faixa de consumo de E.E é similar a do Ipê Roxo conforme figura 4.26 a Sibipiruna está acima deste consumo e os maiores valores ocorrem no Flamboyant da figura 4.25. Convém salientar que as afirmações acima descritas incluem árvores das quatro orientações cardeais (N, S, E e W) indicando que a proteção arbórea como agente sombreador induz a uma relativa independência da orientação.

4.4.3 Simulação Computacional paramétrica do consumo de energia elétrica em salas sombreadas por Flamboyant

Neste item apresentam-se os resultados e discussões para definição das tendências e verificação dos parâmetros variados que mais influem na conservação do consumo energético. Utilizou-se a simulação computacional paramétrica como implemento dessa análise. A análise dos resultados iniciar-se-á pela tipologia de paredes externas com inércia térmica leve e aberturas menores para os casos de proteção arbórea com Flamboyants, o caso base é sempre referente ao consumo de E.E sem proteção arbórea.

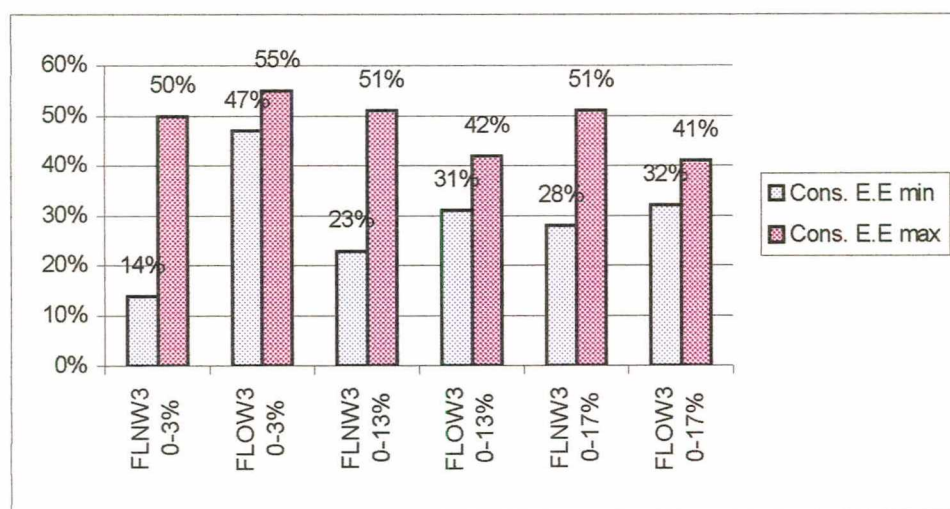


Figura 4.29 – Conservação de E.E para Flamboyant (F) com Luz Normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR = 30% (W30), paredes externas de inércia térmica leve, orientação Norte.

Para situação da figura 4.25 considerando-se a luz normal e a transparência do Flamboyant nos valores de 3%, 13%, 17% têm-se que:

Na fachada Norte o consumo anual de E.E é crescente com a aproximação do Flamboyant ao prédio nas três transparências da árvore (3%, 13%, 17%) com iluminação normal, inércia térmica leve e WWR = 30%, conforme observa-se nas figuras VII.1, VII.2 e VII.3 no Anexo VII.

A faixa correspondente a variação do consumo elétrico anual comporta-se inversamente às transparências das árvores. Para transparência de 3% a faixa de consumo varia entre 1629 a 2788,5 kWh/ano, para transparência de 13% varia de 1605 a 2490,5 kWh/ano e para transparência de 17% varia de 1605 a 2352,5 kWh/ano, por uso final da iluminação elétrica normal e do condicionamento de ar (resfriamento). Tal tendência deve-se ao fato de que a iluminação normal sendo controlada para o nível de 300 lux e utilizando-se as janelas pequenas (WWR = 30%), o sombreamento induz ao maior consumo na iluminação artificial acarretando um maior consumo global de energia elétrica devido a carga térmica excessiva da iluminação artificial.

Observa-se, na Figura 4.29, para iluminação otimizada, que a faixa de consumo elétrico anual comporta-se coerentemente com as transparências das árvores, cujos valores numéricos têm a seguinte amplitude 1017 a 863,5 kWh/ano com 3% de transparência, 1108 a 1336 kWh/ano na transparência de 13% e 1340 a 1130,5 kWh/ano para o caso de transparência de 17%, nas distâncias variando de 8,0m a 0,5m.

Na figura VII.2 no Anexo VII, observam-se pontos de mínimo no consumo de E.E. devido ao ar condicionado nos meses mais quentes, março e novembro caracterizando uma otimização. No caso da figura VII.3 no Anexo VII, o consumo de E.E. devido a iluminação artificial normal apresenta-se crescente com a aproximação das árvores ao prédio. Nas figuras VII.4, VII.5 e VII.6 no Anexo VII, observa-se que, há a tendência em todas as transparências, de apresentarem acréscimo no consumo global de E.E. com a aproximação da árvore ao edifício.

Nos resultados dos dois casos apresentados, nota-se que no consumo de E.E. despendido para operação de ar condicionado, apresentam-se pontos de mínimo nos meses mais quentes (março e novembro), próximos de 2,5m de distância da árvore ao edifício. No caso do consumo da iluminação artificial, há um crescimento do consumo de E.E. com a aproximação da árvore ao edifício, aumentando o sombreamento.

Continuando-se a análise para o caso das aberturas maiores cujo desempenho do consumo de E.E. é indicado na figura 4.30.

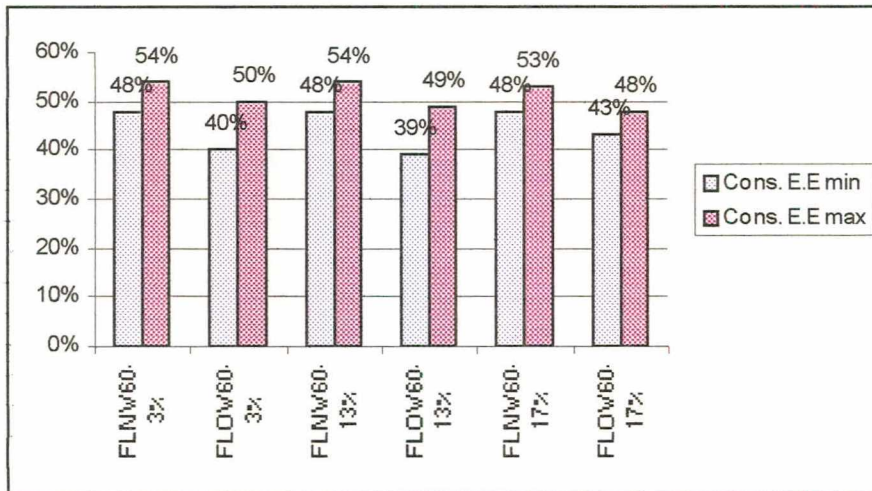


Figura 4.30 – Conservação de E E para Flamboyant (F) com luz normal (LN) e Luz Otimizada (LO) , WWR = 60% (W60), paredes externa de inércia térmica leve, orientação Norte.

Com WWR = 60% o dobro do citado anteriormente e mantidas as demais características, o comportamento do consumo de E.E diverge dos casos anteriores.

A proximidade da árvore ao edifício garante consumos de E.E totais anuais que apresentam um perfil decrescente no consumo de E.E. total para Luz Normal, conforme figura VII.7 no Anexo VII. Os consumos devidos ao condicionamento do ar são decrescentes conforme a distância menor da árvore em relação ao edifício e o consumo de E.E decorrente da iluminação artificial é crescente com a proximidade das árvores. A iluminação com Luz Otimizada é, também decrescente com a aproximação das árvores ao edifício.

Na Figura 4.31 apresenta-se uma tendência decrescente no consumo de E.E de Luz Otimizada decorrente da proximidade da árvore ao prédio, cujos valores numéricos para as transparências de 3%, 13% e 17% são, respectivamente, de 1088,5 a 1317 kWh/ano, 1108,5 a 1336 kWh/ano e 1130,5 a 1251 kWh/ano.

Para a iluminação normal, há uma tendência crescente do consumo de E.E, com a aproximação da árvore ao edifício, sendo que para as transparências arbóreas de 3%, 13% e 17%, respectivamente atingem os valores de 1585 a 1794 kWh/ano; 1617 a 1813 kWh/ano e 1621 a 1819 kWh/ano. Ressalta-se que a percentagem de variação do

consumo E.E., oscila conservando E.E. na faixa de 39% a 54%. Na figura VII.8 no Anexo VII, o consumo mensal de E.E para condicionamento artificial apresenta-se em todos os meses com valores decrescentes devidos à aproximação das árvores ao edifício. Para o consumo de E.E. mensal devido a iluminação artificial normal apresentam-se estáveis com a aproximação das árvores ao edifício, conforme figura VII.9 no Anexo VII.

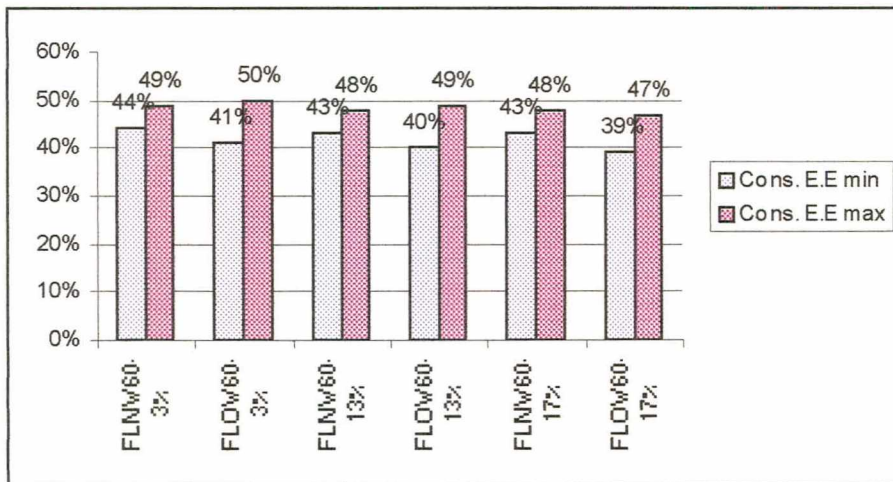


Figura 4.31 – Conservação de E.E para Flamboyant (F) com luz normal (LN) e Luz Otimizada (LO) , WWR = 60% (W60), paredes externa de inércia térmica leve, orientação Sul.

Na Figura 4.31 apresenta-se um contraste de resultados entre a luz normal e a otimizada. Sendo que para a luz normal há uma tendência decrescente de consumo de E.E com a aproximação da árvore ao prédio orientado a sul, conforme Figuras VII.10 a VII.12 no Anexo VII. Ocorre um decréscimo com o consumo de Luz Normal de E.E com a aproximação da árvore ao prédio cujos valores para as transparências de 3%, 13% e 17% são respectivamente de 1083,5 a 1129 kWh/ano, de 1198,5 a 1381 kWh/ano e 1623 a 1720,5 kWh/ano. A variação do consumo de E.E. em valores absolutos são grandes variando de 41% a 50%, porém a diferença entre ambos é pouco significativa. Para a iluminação normal, há uma tendência crescente do consumo de E.E, com a aproximação da árvore ao edifício, sendo que para as transparências arbóreas de 3%, 13% e 17%, respectivamente atingem os valores de 1129 a 1083,5 kWh/ano; 1089,5 a 1142 kWh/ano e 1097,5 a 1146 kWh/ano.

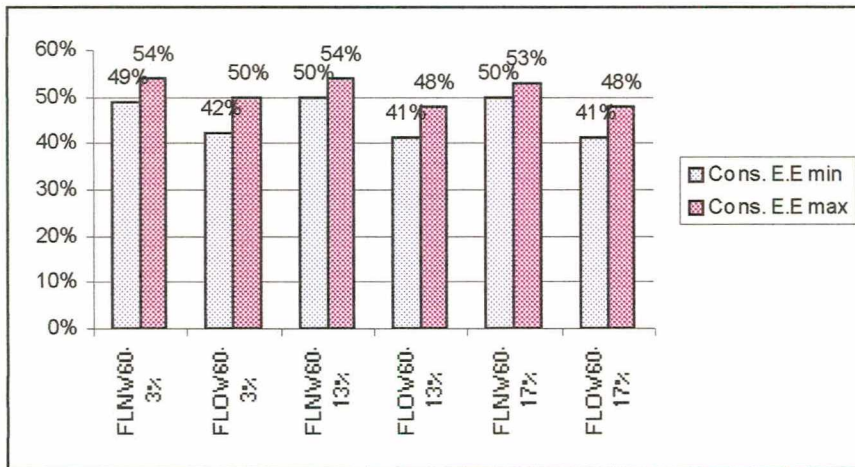


Figura 4.32 – Conservação de E.E para Flamboyant (F) com luz normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR = 60% (W60), paredes externa de inércia térmica leve, orientação Este.

Neste caso, da Figura 4.32, para Luz Normal apresenta-se uma tendência crescente no consumo de E.E decorrente da proximidade da árvore ao prédio cujos valores para as transparências de 3%, 13% e 17% são respectivamente de 1890 a 1690 kWh/ano de 1900 a 1700 kWh/ano e de 1900 a 1750 kWh/ano. Para Luz Otimizada apresenta-se uma tendência decrescente no consumo de E.E decorrente de proximidade da árvore ao prédio cujos valores para as transparências de 3%, 13% e 17% são respectivamente de 1701,5 a 1864 kWh/ano, de 1198,5 a 1381 kWh/ano de 1225,5 a 1394 kWh/ano.

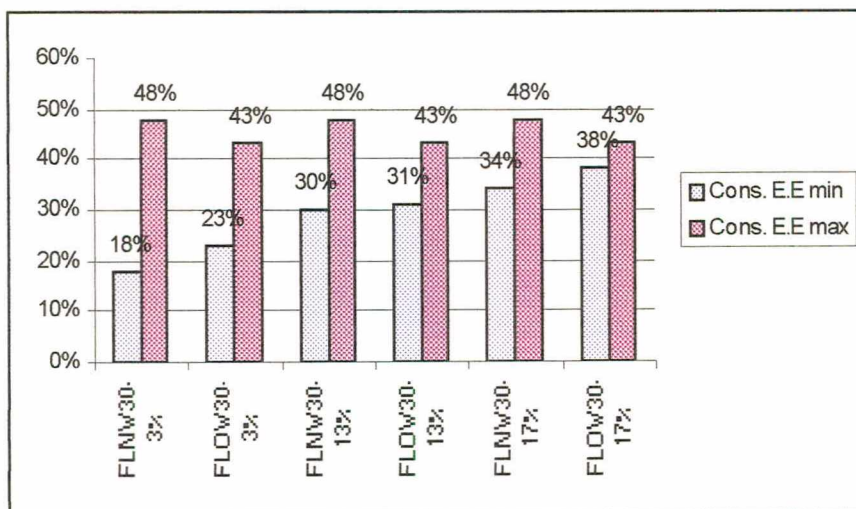


Figura 4.33 – Conservação E.E para Flamboyant (F) com luz normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR = 60% (W60), paredes externa de inércia térmica leve, orientação Oeste.

Na Figura 4.33 para Luz Normal apresenta-se uma tendência crescente no consumo de E.E decorrente da proximidade da árvore ao prédio cujos valores para as transparências de 3%, 13% e 17% são respectivamente de 1697 a 1530,5 kWh/ano, de 1680 a 1555,5 kWh/ano e 1910 a 1758,5 kWh/ano. Considerando a Luz Otimizada da Figura 4.33, nas transparência de 3%, 13% e 17% e orientação oeste, apresenta-se uma tendência decrescente no consumo de EE. decorrente da proximidade de árvore ao prédio cujos valores para as transparências de 3%, 13% e 17% são respectivamente de 1348 a 1157,5 kWh/ano, de 1381 a 1198,5 kWh/ano, de 1394 a 1225,5 kWh/ano.

A seguir analisam-se as janelas pequenas com WWR=30%.

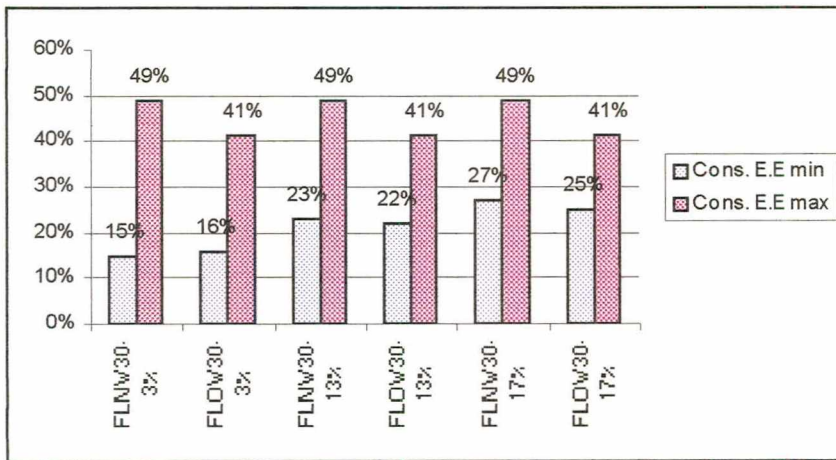


Figura 4.34 – Conservação de E.E para Flamboyant (F) com luz normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR = 30% (W30) paredes externa de inércia térmica leve, orientação Este.

Na fachada leste o consumo anual de E.E é crescente com a aproximação do Flamboyant ao prédio nas três transparências da árvore (3%, 13%, 17%) com iluminação artificial Normal, inércia Térmica leve e WWR = 30%, conforme indicado na Figura 4.34.

Na seqüência, observa-se que o consumo elétrico anual, comporta-se inversamente às transparências das árvores, cujos valores numéricos são para 3% de transparência são de 1743 a 2729,5 kWh/ano. No caso de transparência de 13% variam entre 1712 a 2337,5 kWh/ano e finalmente para transparência de 17% a faixa de variação é 1715 a 2181,5kWh/ano.

Para a Luz otimizada, com transparências de 3%, 13%, 17% orientação leste, respectivamente os consumos de E.E. são 1551 a 1542,5 kWh/ano; 1143 a 1375,5

kWh/ano e 1147 a 1328,5 kWh/ano. Observa-se que há uma tendência em todas as transparências de apresentarem decréscimo de consumo global de EE. com a aproximação da árvore ao edifício.

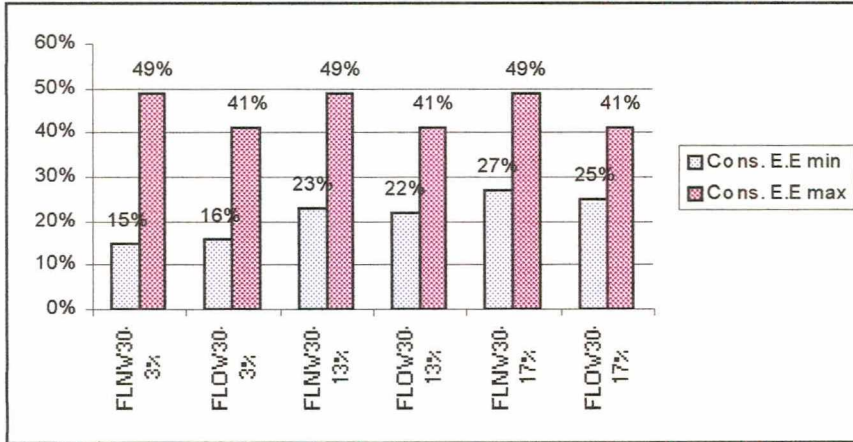


Figura 4.35 – Conservação de E.E para Flamboyant (F) com luz normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR = 30% (W30), paredes externa de inércia térmica leve, orientação Sul.

Conforme Figura 4.35, na fachada Sul o consumo anual de E.E é crescente com a aproximação do Flamboyant ao prédio nas três transparências da árvore (3%, 13%, 17%) com iluminação artificial Normal, inércia térmica leve e WWR = 30%.

Na seqüência observa-se que a faixa de consumo elétrico anual, para Luz Normal comporta-se inversamente as transparências das árvores variando nas transparências de 3%, 13%, 17%, respectivamente em 1580 a 2613,5 kWh/ano; 1583 a 2394,5 kWh/ano e 1583 a 2269,5 kWh/ano.

Na Figura 4.27 para o caso de Luz Otimizada, observa-se que há uma tendência em todas as transparências de apresentarem decréscimo de consumo global de E.E com a aproximação da árvore ao edifício.

Observa-se que a faixa de consumo elétrico anual comporta-se inversamente as transparências das árvores. Sendo para as transparências de 3%, 13% e 17%, respectivamente 1043 a 1483,5 kWh/ano; 1039 a 1394,5 kWh/ano e 1039 a 1332,5 kWh/ano.

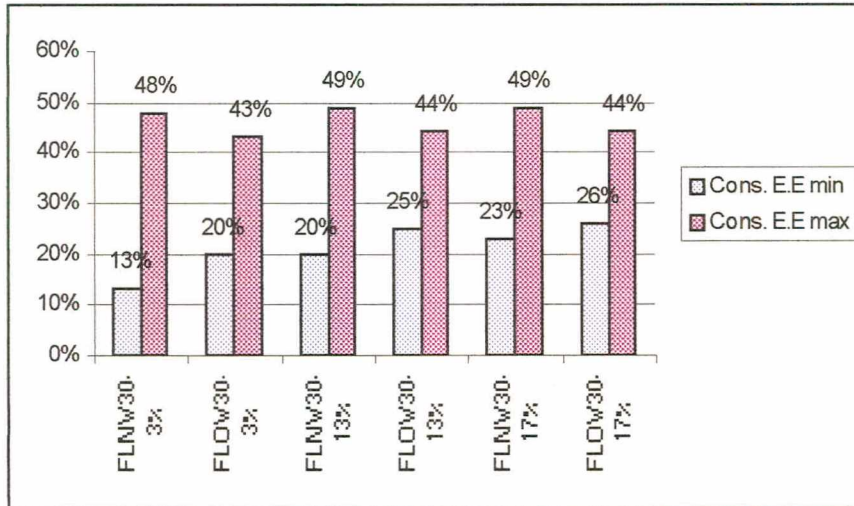


Figura 4.36 – Conservação de E.E para Flamboyant (F) com luz normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR = 30% (W 30), paredes externa de inércia térmica leve, orientação Oeste.

Conforme Figura 4.36, na fachada oeste o consumo anual de E.E é crescente com a aproximação do Flamboyant ao prédio nas três transparências da árvore (3%, 13%, 17%) com iluminação artificial normal, inércia térmica leve e WWR = 30%.

Observa-se que a faixa de consumo elétrico anual comporta-se inversamente às transparências das árvores. Sendo de 1643 a 2748,5 kWh/ano para transparência de 3%, de 1633 a 2453,5 kWh/ano para a transparência 13% e de 1700 a 2450 kWh/ano para transparência de 17%.

No caso de Luz Otimizada, com transparências arbóreas de 3%, 13%, 17%, na orientação oeste observa-se que há uma tendência em todas as transparências de apresentarem decréscimo do consumo global de EE. com a aproximação da árvore ao edifício. Observa-se que a faixa de consumo elétrico anual comporta-se inversamente às transparências das árvores, sendo que para 3% de transparência arbórea varia de 1060 a 1479,5 kWh/ano, para 13% varia de 1041 a 1391,5 kWh/ano e finalmente, para transparência de 17% varia de 1041 a 1362,5 kWh/ano.

Observa-se que no caso de janelas WWR = 60% não fica evidenciada a relação inversa entre transparência e consumo de EE. total como nas janelas WWR = 30%.

A seguir analisam-se os resultados dos casos em que a inércia térmica das paredes externas é pesada.

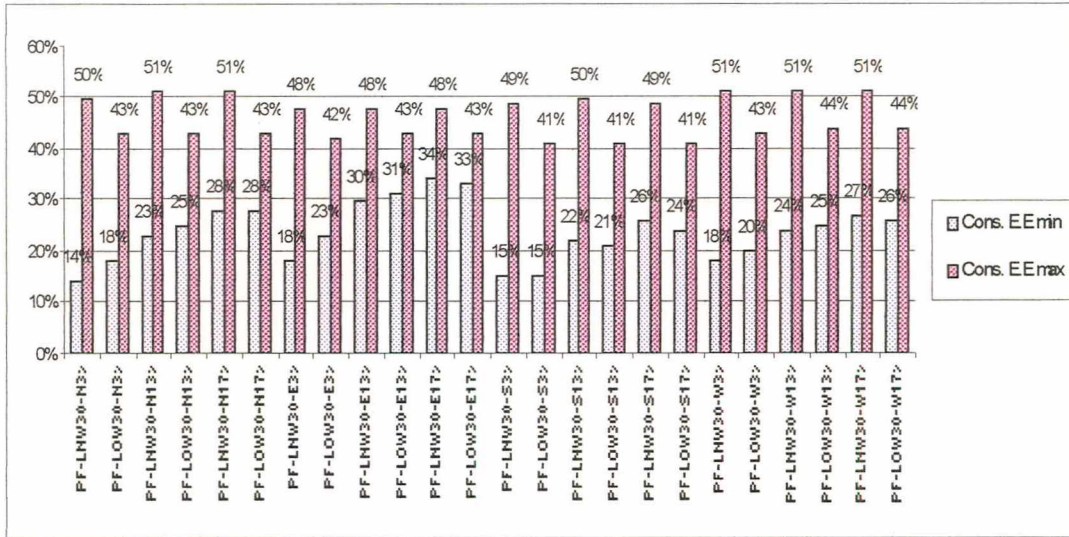


Figura 4.37 – Conservação E.E para Flamboyant (F) com luz normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR = 30%, paredes externas de inércia térmica pesada.

Para as transparências de 3%, 13% e 17% observa-se em todas as orientações cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste) há uma conservação de energia com valores absolutos altos variando de 14% a 51% no consumo de E.E. devido as paredes externas apresentarem: alta inércia térmica e janelas pequenas com WWR=30%.

Para o consumo de E.E devido ao ar condicionado nota-se na figura VII.14 no Anexo VII, que há uma tendência crescente em todos os meses do ano, diferenciando-se dos casos anteriores, pois trata-se da situação de paredes pesadas e iluminação artificial normal com janelas de WWR=30%.

Tal ocorrência deve-se ao fato de que a janela sendo pequena e o sombreamento arbóreo com baixa transparência (3%), o que acarreta alto consumo de E.E. devido a carga térmica oriunda da iluminação artificial com luz normal .

No caso da figura VII.15 no Anexo VII, para consumo de E.E. devido a iluminação artificial há a mesma tendência crescente, devido ao alto sombreamento (transparência arbórea de 3%) o que acarreta um desempenho similar ao caso anterior, porém estes valores absolutos são maiores que os anteriores. No caso da figura VII.16 no anexo VII, o consumo de E.E. é crescente com a aproximação da árvore ao edifício, pelas mesmas razões citadas anteriormente.

Nas demais figuras, como a VII.17 no anexo VII, o consumo de E.E. devido ao ar condicionado apresenta pontos de mínimo nos meses do segundo semestre em torno

de 2,0m a 2,5m de distância da árvore ao edifício, caracterizando pontos de otimização nesse consumo de E.E. Na figura VII.18 no Anexo VII, o consumo de E.E devido a iluminação é crescente em todos os meses conforme a aproximação da árvore ao edifício.

Nos casos seguintes os resultados analisados referem-se a janelas que correspondem a WWR=60%. As paredes apresentam inércia térmica pesada e a iluminação artificial refere-se tanto para luz normal quanto para luz otimizada, além de adotar-se as três transparências do Flamboyant (3%, 13%, 17%)

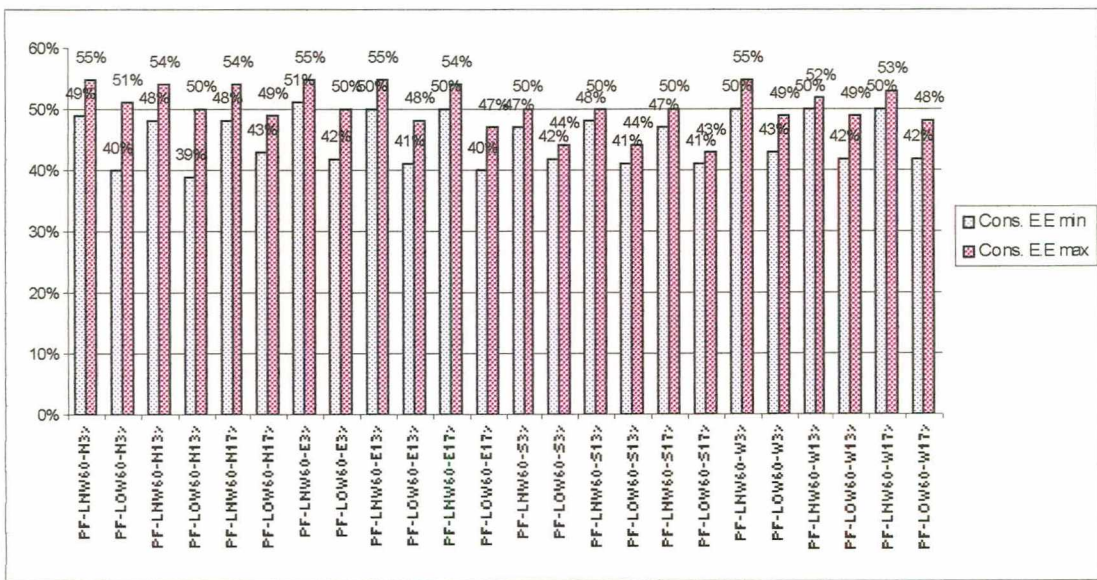


Figura 4.38 – Conservação de E.E para Flamboyant (F) com luz normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR = 60% (W60), paredes externa de inércia térmica pesada, orientação Norte.

Para as orientações Norte, Este e Oeste tanto para luz normal quanto para otimizada apresentam um ponto de mínimo no consumo de E.E nas distâncias das árvores ao edifício entre 2,0 e 2,5m conforme figuras VII.19 a VII.21 no Anexo VII.

A exceção de orientação Sul onde há uma tendência crescente no consumo de E.E anual devido a aproximação da árvore ao edifício cujos valores para as transparências de 3%, 13% e 17% e luz normal são de 1600 a 1750 kWh/ano, de 1606 a 1801 kWh/ano e de 1625 a 1687 kWh/ano e para a luz otimizada, são de 1100 a 1200 kWh/ano, de 1150 a 1200 kWh/ano e de 1100 a 1200 kWh/ano.

Na figura VII.20 no anexo VII, o consumo mensal de E.E. para condicionamento artificial é decrescente com a aproximação da árvore ao edifício e no consumo de E.E.

mensal devido a iluminação artificial normal é crescente com a aproximação da árvore ao edifício. Na Figura 4.38 que trata dos consumos de E.E. para sombreamento com Flamboyant, luz normal e otimizada, janelas com WWR=60% com paredes externas de inércia térmica pesada na orientação Norte apresentam conservação de energia que varia entre 39% a 55%.

A exceção ocorre na orientação Sul na qual há um acréscimo no consumo de E.E. devido a insidência anual de radiação difusa nesta latitude. Os limites desse acréscimo de consumo com a aproximação da árvore ao edifício varia de 41% a 50%. Como forma de visualização conjunta do desempenho por sombreamento por Flamboyants apresentam-se as figuras de XV.6 até XV.12 conforme Anexo XV com o intuito de identificar as conseqüências da simulação computacional paramétrica.

Na figura XV.1 conforme Anexo XV indica-se que a otimização da iluminação artificial induz a um menor consumo de E.E., no caso de janelas pequenas (WWR=30%) com paredes pesadas, há tendência de consumo crescente. A inércia térmica da vedação opaca das paredes externas influencia muito pouco, sendo que as paredes pesadas tem um consumo de E.E. levemente maior que as paredes leves.

Para as janelas de WWR=60% existe uma tendência de consumo praticamente constante com leve tendência decrescente. Finalmente há uma tendência de consumo de E.E. menor com o aumento da transparência das árvores, devido ao sistema de controle da iluminação artificial. Estas tendências correspondem a salas orientadas ao quadrante Norte.

No caso da figura XV.2 conforme anexo XV apresenta-se uma tendência de consumo constante de energia elétrica com a aproximação das árvores aos prédios com WWR=60% . A otimização da iluminação faz diminuir o consumo de E.E. de modo geral exceto para os casos limites de paredes pesadas, janelas pequenas e baixa transparência da árvore para a orientação leste. Na figura XV.3 conforme Anexo XV para o caso da orientação sul a tendência de desempenho é idêntica ao caso anterior. Na figura XV.4 conforme Anexo XV de salas na orientação oeste mantém-se a tendência dos casos anteriores, porém com valor absoluto de consumo de E.E. menor que as anteriores.

Na figura XV.4 conforme Anexo XV onde se apresentam as combinações das três transparências do Flamboyant para janelas grandes com WWR=60% em salas orientadas ao Norte há uma tendência decrescente de consumo com aproximação da

árvore ao edifício sendo que no caso da luz normal o consumo absoluto é maior que o caso da iluminação otimizada.

Dando continuidade, apresentam-se as combinações de Flamboyants nas três transparências (3%, 13% e 17%) com WWR=30% e orientação para o quadrante Norte na figura XV.6 conforme Anexo XV, na qual se visualiza graficamente uma tendência crescente no consumo de E.E. com aproximação da árvore ao edifício com janelas pequenas, sendo que as que apresentam iluminação normal tem um consumo maior que as que apresentam iluminação otimizada. No caso da iluminação otimizada a tendência geral também é de consumo crescente nas salas com paredes de inércia térmica pesada e decrescente nas salas de inércia térmica leve.

Nas combinações das três transparências de Flamboyants para salas com janelas grandes (WWR=60%) orientadas a Leste, conforme figura XV.5 do Anexo XV, apresenta-se desempenho e consumo de E.E. devidos aproximação da árvore ao prédio com tendência decrescente tanto para paredes de inércia térmica pesada quanto inércia leve. Sendo que as que possuem iluminação otimizada apresentam menor consumo absoluto que as de iluminação normal.

Nas combinações das três transparências de Flamboyants para salas com janelas pequenas (WWR=30%) orientadas a Leste, conforme figura XV.8 do Anexo XV, apresentam resultados de consumo de E.E. conforme aproximação das árvores ao prédio de maneira crescente. O fator que diferencia o maior consumo absoluto em relação ao menor consumo é o uso de iluminação normal e iluminação otimizada, sendo maior para o primeiro caso. Nas combinações das três transparências de Flamboyants para salas com janelas grandes (WWR=60%) orientadas a Sul, conforme figura XV.9 conforme Anexo XV, a sala apresenta consumo levemente crescente com luz normal e tem maior valor de consumo de E.E. que as salas onde se empregou iluminação otimizada. Nas combinações das três transparências de Flamboyants para salas com janelas pequenas (WWR=30%) orientadas a Sul, conforme figura XV.10 no Anexo XV, ambas as situações de luz normal e luz otimizada apresentam perfil de consumo de E.E. crescente tanto para luz normal quanto para luz otimizada, sendo maior o consumo no primeiro caso e menor no segundo caso. O fator diferenciador no consumo continua sendo o “retrofit” ou otimização no sistema da iluminação artificial.

Nas combinações das três transparências de Flamboyants para salas com janelas grandes (WWR=60%) orientadas a Oeste, conforme figura XV.11 no Anexo XV,

apresentam um perfil geral de consumo de E.E. decrescente com aproximação da árvore ao edifício. Os valores absolutos de consumo de E.E. continuam sendo maiores para luz normal e menores para luz otimizada.

Nas combinações das três transparências de Flamboyants para salas com janelas pequenas (WWR=30%) orientadas a Oeste, conforme figura XV.12 no Anexo XV, apresentam perfil crescente de consumo de E.E. com a aproximação da árvore ao prédio sendo que os maiores valores absolutos de consumo de E.E. dependem apenas do “retrofit” ou otimização no sistema da iluminação artificial no qual, o consumo da luz normal é maior que da luz otimizada.

4.4.4 Simulação Computacional Paramétrica do Consumo de Energia Elétrica em Salas Sombreadas por Sibipiruna.

Neste item, analisar-se-á o desempenho do modelo de sala sombreada com Sibipirunas, cujos resultados apresentam-se em forma gráfica e discursiva.

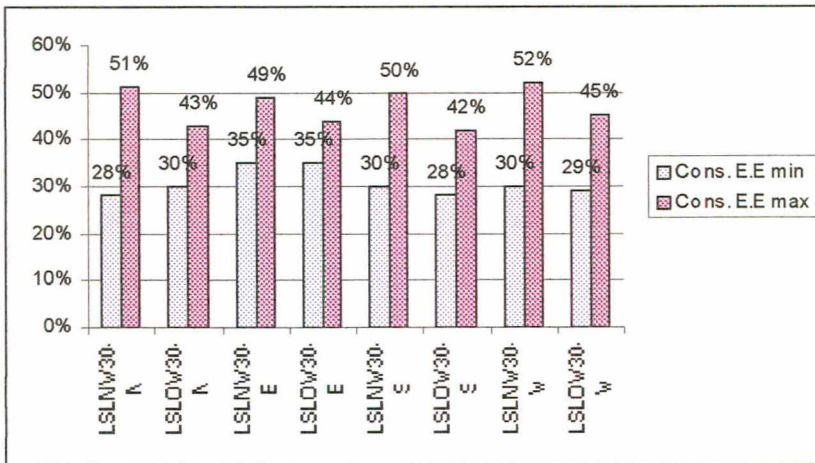


Figura 4.39 Conservação de E.E para Sibipiruna (S) com Luz Normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR=30% (W) externas de inércia térmica leve, (L) todas as orientações.

No caso de iluminação tanto normal quanto otimizada há uma tendência crescente de consumo de E.E. devido ao pequeno tamanho das janelas que requerem um período maior iluminação artificial aumentando a carga térmica e consequentemente o consumo devido ao condicionamento artificial de ar. Conforme figuras VIII.1 a VIII.6 no Anexo VIII, a variação ocorrida no consumo de E.E. está na faixa de 28% a 52%,

não sendo desconsideráveis e indicando um ponto de conflito na relação luz e calor no edifício.

Para as transparências de janelas com WWR=30% com luz normal indicam-se nos meses mais quentes pontos de mínimo no consumo de E.E. para ar condicionado, conforme figura VIII.2 no Anexo VIII. Para o caso de consumo de E.E. com iluminação nota-se uma tendência de crescimento com a proximidade da árvore ao edifício.

No caso de iluminação artificial otimizada há uma tendência crescente no consumo de E.E. devido as janelas serem pequenas o que induz a um maior consumo de E.E., indicado na figura VIII.4 no Anexo VIII. Para as figuras VIII.5 e VIII.6 no Anexo VIII, valem as mesmas discussões propostas para as correspondentes VIII.2 e VIII.3 no Anexo VIII.

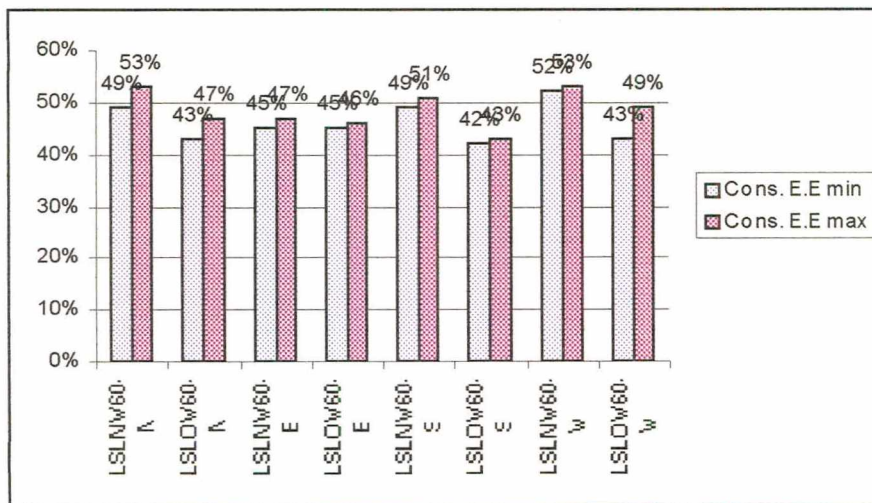


Figura 4.40 – Conservação de E.E para Sibipiruna (S) com Luz Normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR=60% (W6) externas de inércia térmica leve, (L) todas as orientações.

Na Figura 4.40 com exceção da orientação Sul o perfil de consumo de E.E. é decrescente. Para as demais orientações, em todas as transparências com WWR=60% tanto para luz normal quanto para luz otimizada, ao aproximar-se a árvore ao edifício indica-se um decréscimo no consumo de E.E. Os valores de consumo de E.E. para orientação Sul variam de 42% a 51%. Para as outras orientações a conservação de energia varia de 43% a 53%. A figura VIII.7 no Anexo VIII, apresenta um consumo de E.E. que indica um decréscimo leve com a proximidade da árvore ao edifício, por se tratar de orientação Leste ensolarada durante o ano todo pela manhã.

No caso da figura VIII.8 no Anexo VIII, nos meses mais quentes apresenta-se um ponto de consumo de E.E mínimo correspondente a uma distância ótima, para o ar condicionado, entre 1,5m e 2,0m. Na figura VIII.9 no Anexo VIII, em contrapartida para iluminação artificial normal há um crescimento gradativo para o consumo de E.E. conforme se aproxima a árvore do edifício.

Para o caso da figura VIII.10 no Anexo VIII, que corresponde a sala com WWR=60%, e orientação Leste, com luz otimizada nota-se um tendência de decréscimo do consumo de E.E. com a proximidade da árvore ao edifício, devido as dimensões da janela.

No consumo de E.E. para ar condicionado, também apresentam-se pontos de mínimo indicados na figura VIII.11 no Anexo VIII, definindo uma distância ótima entre a árvore e o edifício acerca de 1,5m e 2,0m. Quanto a iluminação indicada na figura VIII.12 no Anexo VIII, permanece-se com pequena variação de consumo de E.E em relação a distância ente a árvore e o edifício.

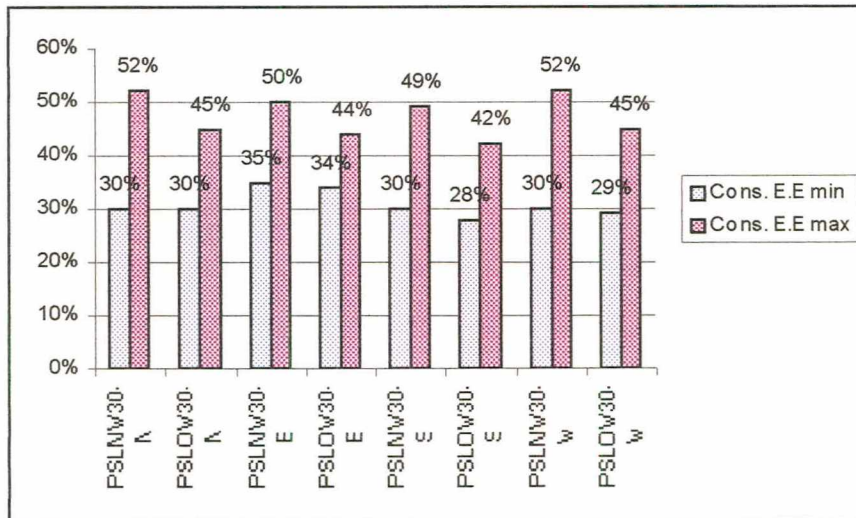


Figura 4.41 Conservação de E.E para Sibipiruna (A) com Luz Normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR=30% (W3) externas de inércia térmica pesada, (P) todas as orientações.

Conforme Figura 4.41, nota-se um acréscimo de consumo de E.E. que varia de 28% a 52%., para todas as orientações devido as janelas serem pequenas que com o sombreamento denso aumenta o consumo global de E.E., além do fato das paredes externas possuírem inércia térmica pesada.

Na figura VIII.13 no Anexo VIII, apresenta-se o consumo de E.E. que indica um acréscimo com a proximidade da árvore ao edifício, com orientação Leste, e paredes

externas de inércia térmica pesada. Na figura VIII.14 no Anexo VIII, apresentam-se pontos de consumo de E.E. mínimos, devidos a operação do ar condicionado nos meses mais quentes do período, na distância aproximadamente de 1,5m a 2,5m da árvore ao edifício. Na figura VIII.15 no Anexo VIII, em contrapartida, para iluminação artificial normal há um crescimento gradativo para o consumo de E.E. conforme se aproxima a árvore do edifício.

Na figura VIII.16 no Anexo VIII, apresenta-se o consumo de E.E. que indica um acréscimo com a proximidade da árvore ao edifício, orientado ao Norte, e com paredes externas de inércia térmica pesada. Na figura VIII.17 no Anexo VIII, apresentam-se pontos de consumo de E.E. mínimos, devidos a operação do ar condicionado no final do ano, na distância aproximadamente de 2,5m da árvore ao edifício. Na figura VIII.18 no Anexo VIII, em contrapartida, para iluminação artificial otimizada há um crescimento gradativo no consumo de E.E. conforme se aproxima a árvore do edifício.

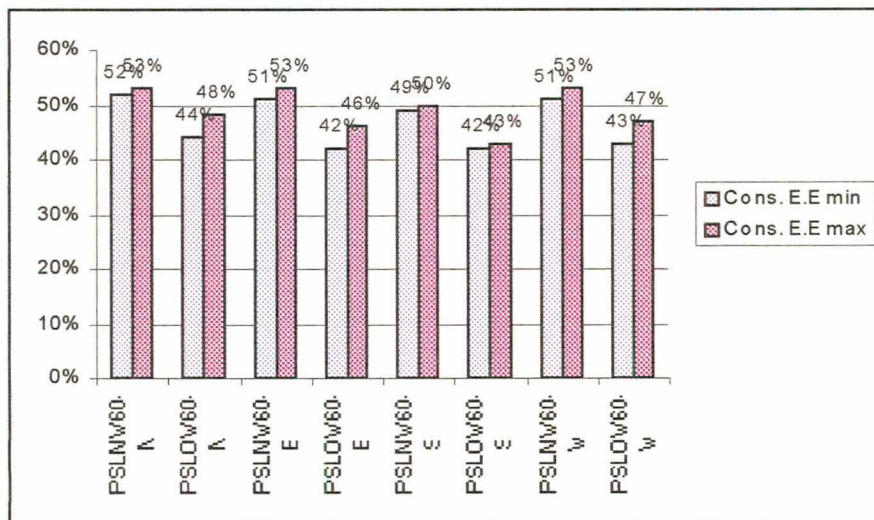


Figura 4.42 conservação de E.E para Sibipiruna (S) com Luz Normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR=60% (W6) externas de inércia térmica pesada, (P) todas as orientações.

Na Figura 4.42 apresentam-se para WWR=60%, com vedações de inércia térmica pesada em todas as orientações tanto para luz normal quanto para luz otimizada as variações de consumo de E.E. decrescentes, exceto no caso de iluminação normal na orientação Sul cujo consumo de E.E é crescente. Entretanto os valores dessa variação são de 42% a 53%.

Na figura VIII.19 no Anexo VIII, apresenta-se o consumo de E.E. que indica um decréscimo com a proximidade da árvore ao edifício, na orientação Leste, com paredes externas de inércia térmica pesada. Na figura VIII.20 no Anexo VIII, apresentam-se pontos de consumo de E.E. mínimos, devidos a operação do ar condicionado nos meses mais quentes do período, na distância aproximadamente de 2,5m da árvore ao edifício. Na figura VIII.21 no Anexo VIII, em contrapartida, para iluminação artificial normal há um crescimento gradativo para o consumo de E.E. conforme se aproxima a árvore ao edifício, exceto nos meses mais quentes. Na figura VIII.22 no Anexo VIII, apresenta-se um consumo de E.E. que indica um leve decréscimo com a proximidade da árvore ao edifício, orientado a Leste, com paredes externas de inércia térmica pesada.

Na figura VIII.23 no Anexo VIII, apresentam-se dois pontos de mínimo no consumo de E.E. para ar condicionado na distância da árvore ao edifício aproximadamente de 2,5m, nos meses mais quentes. Este caso corresponde a situação de inércia térmica pesada orientada a Leste com luz otimizada. Na figura VIII.24 no Anexo VIII, apresentam-se pontos de consumo de E.E. sem variação, devidos a iluminação artificial otimizada. Não se identifica a distância de pontos mínimos de consumo de E.E., com a variação da distância da árvore ao edifício.

Como forma de visualização conjunta do desempenho do sombreamento por Sibipirunas, apresentam-se figuras XV.13 a XV.16 conforme Anexo XV com o intuito de identificar as tendências da simulação computacional paramétrica.

Conforme a figura XV.13 conforme Anexo XV, para orientação Norte os valores absolutos de consumo de E.E. ao se aproximar a árvore ao edifício está condicionado ao fato da luz normal apresentar maiores valores de consumo que as curvas de luz otimizada. A inércia térmica pouco influi neste desempenho, sendo que as paredes leves e isoladas têm consumo levemente menor que as paredes pesadas e não isoladas. Em termos de $WWR=30\%$ há uma tendência crescente no consumo de E.E. ao aproximar-se a árvore ao edifício. Para o caso de luz normal com janelas grandes ($WWR=60\%$) há uma tendência decrescente no consumo de E.E. O mesmo ocorre no caso da luz otimizada, porém com valores absolutos menores que as anteriores.

Na figura XV.14 conforme Anexo XV, que corresponde às combinações de Sibipirunas para o quadrante Leste mantém-se as mesmas características do caso anterior, porém com valores absolutos menores no consumo de E.E.

Na figura XV.15 conforme Anexo XV, para orientação Sul a discussão dos resultados do perfil de consumo de E.E. é idêntica aos casos anteriores porém com valores absolutos menores.

Na figura XV.16 conforme Anexo XV, as curvas de consumo de E.E. para orientação Oeste são similares as da orientação Leste, porém com valores absolutos menores.

4.4.5 Simulação Computacional Paramétrica do Consumo de Energia Elétrica em Salas Sombreadas por Ipê Roxo

Neste item, analisar-se-á o desempenho do modelo de sala sombreada com Ipês Roxos, cujos resultados apresentam-se em forma gráfica e discursiva.

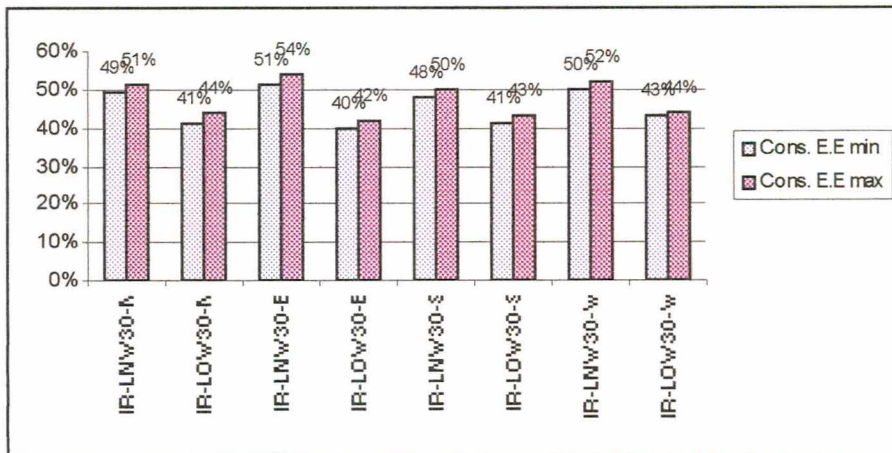


Figura 4.43 – conservação de E.E para Ipê Roxo (IR) com Luz Normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR = 30% (W30), paredes externas de inércia térmica leve, todas as orientações.

Para edificações leves, no caso de iluminação artificial Normal há uma tendência crescente no consumo de E.E devido ao pequeno tamanho das janelas que causam um período maior de consumo elétrico para iluminação aumentando a carga térmica o que origina, também um aumento no consumo de condicionamento de ar (resfriamento)

conforme figuras IX.1 a IX.3 no Anexo IX, embora esta variação possa ser considerada insignificamente variando de 41% a 54%.

Para todas as transparências (WWR = 30%) com Luz Otimizada e em todas as orientações há uma tendência decrescente para a iluminação artificial otimizada no consumo anual de E.E com a proximidade das árvores ao edifício conforme figuras IX.4 a IX.6 no Anexo IX. Apresentam-se valores de variações de consumo insignificante de 41% a 54%. Nesses casos citados identifica-se um conflito entre aspectos energéticos, lumínicos e térmicos, devidos às dimensões pequenas das janelas.

Na figura IX.2 no Anexo IX, o consumo de E.E. mantém-se praticamente constante a cada mês no que se refere aos valores despendidos com ar condicionado para luz normal e janela pequena (WWR=30%) na orientação Leste. Na figura IX.3 no Anexo IX, o consumo de E.E. devido a iluminação artificial com luz normal com janelas pequenas (WWR=30%) apresentam valores crescentes conforme a proximidade da árvore ao edifício.

Na figura IX.4 no anexo IX, o consumo de E.E. referente a ar condicionado para luz otimizada, janela com (WWR=30%), orientação Norte, apresenta-se decrescente com a proximidade da árvore ao edifício. Na figura IX.5 no Anexo IX, referente ao consumo de E.E. com luz artificial otimizada apresenta-se levemente crescente com a proximidade da árvore ao edifício, para orientação Norte.

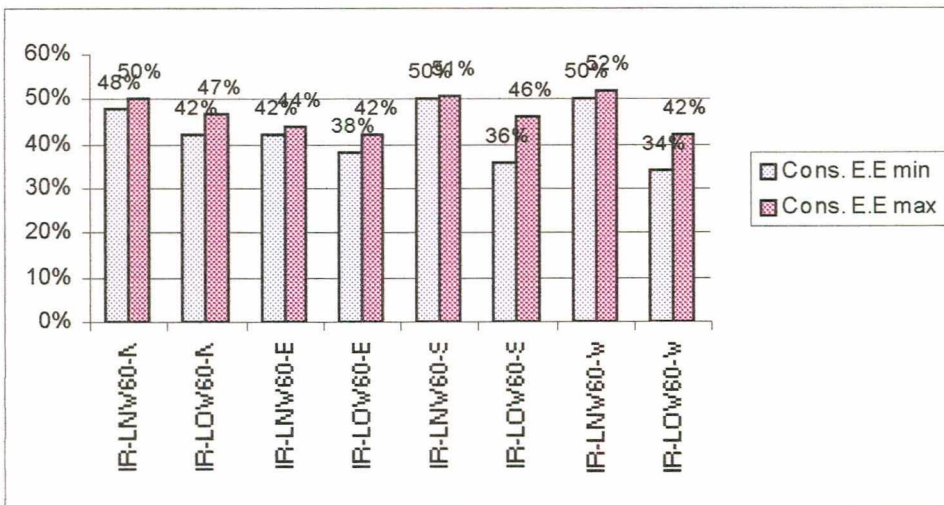


Figura 4.44 - Conservação de Ipê Roxo (IR) com Luz Normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR = 60% (W60), paredes externas de inércia térmica leve, todas as orientações.

Para todas as transparências arbóreas com WWR = 60% - tanto para luz normal quanto luz otimizada há uma tendência decrescente do consumo anual de E.E com a proximidade da árvore ao edifício, variando de 12% a 52%. Tal fato ressalta a influência do tamanho das janelas e o tipo de iluminação artificial adotados. Neste caso a proximidade da árvore é benéfica para a conservação de energia elétrica, embora com pequenas variações de consumo de E.E.

Na figura IX.8 no Anexo IX, com o consumo de E.E. para condicionamento artificial apresenta-se uma tendência decrescente com a aproximação da árvore ao edifício, para situação de luz normal e WWR=60% em salas orientadas ao Norte. Na figura IX.9 no Anexo IX, nessas mesmas condições o perfil de consumo de E.E. com a proximidade da árvore ao edifício apresenta tendência levemente crescente no primeiro semestre e constante no segundo semestre. No caso de consumo de E.E. para luz otimizada com a aproximação da árvore ao edifício apresenta-se uma tendência levemente decrescente conforme figura IX.6 no Anexo IX. Nas condições mencionadas anteriormente exceto a iluminação que passa a ser de luz otimizada mantém-se o mesmo perfil de desempenho conforme figuras IX.11 e IX.12 no Anexo IX.

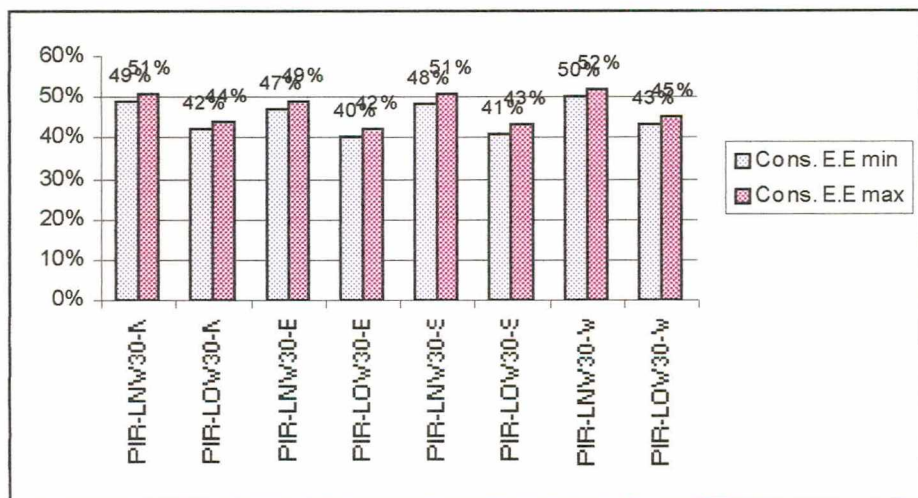


Figura 4.45 – Conservação de E.E para Ipê Roxo (IR) com Luz Normal (LN) e Luz Otimizada(LO), WWR = 30% (W30), paredes externas de inércia térmica pesada, todas as orientações.

Para todas as transparências arbóreas e edificações com WWR = 30%, Luz normal, inércia térmica pesada e em todas as orientações há uma tendência de

crescimento do consumo anual de E.E com a proximidade da árvore ao edifício conforme Figura 4.45 para luz normal há um crescimento variando de 47% a 52%, e no caso de luz otimizada há uma conservação de energia que varia de 40% a 45%, devido ao sistema de controle de iluminação artificial.

Nas figuras IX.14 a IX.15 no Anexo IX, para a luz normal WWR=30% orientadas ao Sul apresentam um consumo de E.E. aproximadamente constante para cada mês devido a operação do ar condicionado. No caso da iluminação o perfil de consumo é crescente no primeiro semestre e praticamente constante no segundo semestre, para luz otimizada e orientação Norte o consumo total é levemente decrescente conforme figura IX.16 no Anexo IX. Na figura IX.17 no Anexo IX, o consumo de E.E. para operação de ar condicionado é decrescente no primeiro semestre e crescente no segundo semestre. Na figura IX.18 no Anexo IX, o consumo de E.E. devido a iluminação artificial otimizada é crescente em março e praticamente constante no resto do ano.

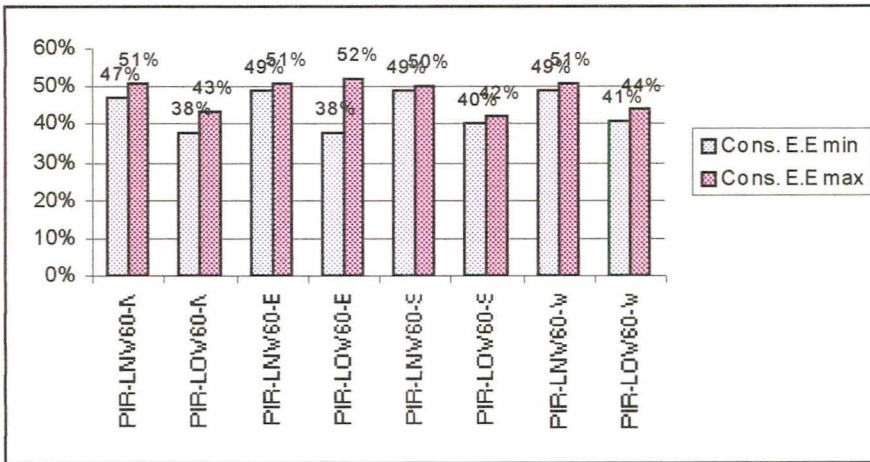


Figura 4.46 - Ipê Roxo (IR) com Luz Normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR = 60% (W60), paredes externas de inércia térmica pesada, todas as orientações.

Em todas as transparências do índice WWR = 60% tanto para luz normal quanto para luz otimizada o consumo anual de E.E decresce com a proximidade da árvore ao devido as janelas maiores sendo sombreadas, conforme figuras IX.19 a IX.24 no Anexo IX. As variações de consumo de E.E. são insignificantes, com valores de 38% a 51%.

Nas figuras IX.19 a IX.24, embora a inércia térmica seja leve e a iluminação normal com WWR=60% e orientação Norte o comportamento para o consumo de E.E.

total é decrescente e os consumos desagregados para o condicionamento artificial e para iluminação normal são idênticos ao caso anterior mencionado.

Como forma de visualização conjunta do desempenho por sombreamento com Ipê Roxo apresentam-se figuras XV.17 a XV.20 conforme Anexo XV, com o intuito de identificar as resultados da simulação computacional paramétrica.

A figura XV.17 conforme Anexo XV corresponde às combinações de consumo de E.E. em salas orientadas para Norte conforme aproximação das árvores ao edifício, da mesma forma que a figura anterior a inércia térmica tem pouca influência no consumo de E.E. sendo que o fator diferencial continua sendo o “*retrofit*” ou da otimização do sistema de iluminação artificial nas lâmpadas nas quais a luz normal consome mais energia do que a luz otimizada. As curvas indicam uma leve tendência decrescente de consumo de E.E. com aproximação da árvore ao edifício exceto no caso de WWR=30% nas condições de paredes leve e pesada que apresentam um perfil crescente de consumo global de E.E.

Na figura XV.18 conforme Anexo XV apresentam-se as combinações de consumo de E.E. em salas sombreadas por Ipê Roxo e orientadas a Leste. As curvas correspondentes à luz normal apresentam maior consumo que as com luz otimizada, no primeiro caso com leve tendência crescente ao se aproximar a árvore do edifício e no segundo caso de modo oposto, pequena tendência decrescente.

Na figura XV.19 conforme Anexo XV apresentam-se as combinações de consumo de E.E. em salas sombreadas por Ipê Roxo e orientadas ao quadrante Sul. A exceção da curva referente ao consumo de E.E. de WWR=60% e inércia térmica leve com luz otimizada, o comportamento é similar ao anterior, ou seja, o fator delimitante do consumo de E.E. é o fato das lâmpadas serem normais ou otimizadas, sendo que no primeiro caso o consumo é maior e no segundo caso o consumo é menor, porém a tendência de consumo é praticamente constante com a aproximação da árvore ao edifício.

Na figura XV.20 conforme Anexo XV apresentam-se as combinações de consumo de E.E. em salas sombreadas por Ipê Roxo e orientadas para o quadrante Oeste. A exceção das curvas referentes ao consumo de E.E. de salas com WWR=60% e inércia térmica leve com luz otimizada, o comportamento é similar ao anterior, ou seja, o fator delimitante do consumo de E.E. é o fato das lâmpadas serem normais ou otimizadas, sendo que no primeiro caso o consumo é maior e no segundo caso. Porém a

tendência de consumo é praticamente constante com a aproximação da árvore ao edifício.

4.4.6. Simulação Computacional Paramétrica do Consumo de Energia Elétrica em Salas Sombreadas por Ipê Amarelo

Neste item, analisar-se-á o desempenho do modelo de sala sombreada com Ipês Amarelos, cujos resultados apresentam-se em forma gráfica e discursiva.

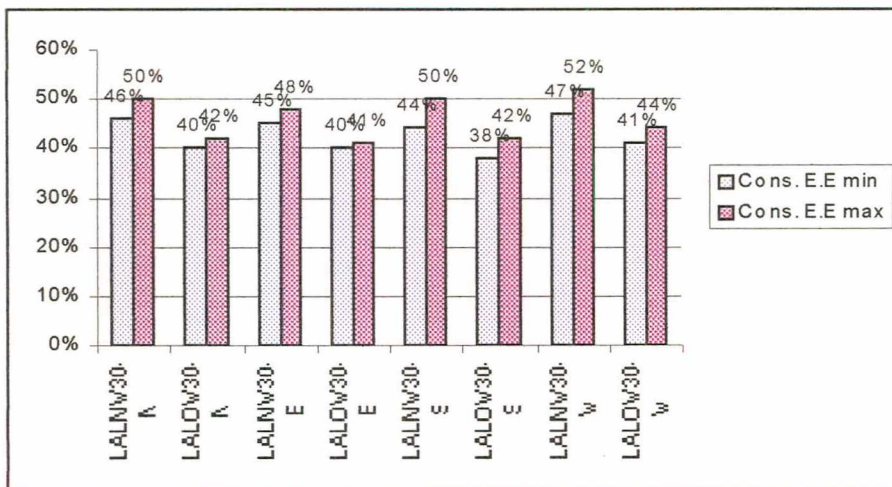


Figura 4.47 Conservação de E.E para Ipê Amarelo (A) com Luz Normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR=30% (W3) externas de inércia térmica leve, (L) todas as orientações.

No caso de iluminação artificial Normal há uma tendência crescente no consumo de E.E devido ao pequeno tamanho das janelas (WWR=30%) que causam uma quantidade maior de consumo elétrico para iluminação aumentando a carga térmica o que causa também um aumento no consumo de condicionamento de ar (resfriamento), embora esta variação possa ser considerada substancial com amplitude de 38% a 52%, conforme figura 4.47.

Para o consumo de E.E devido ao ar condicionado apresentam-se pontos de mínimo no mês de março e o consumo de E.E com iluminação artificial crescente no início do ano. Para todas as transparências e em salas com WWR = 30%, Luz Otimizada e em todas as orientações há uma tendência crescente para a iluminação artificial otimizada no consumo anual de E.E com a proximidade das árvores ao edifício conforme figuras X.1 a X.3 no Anexo X, que apresentam desempenho de consumo de

E.E similar ao caso anterior. Na Figura 4.47, para esse caso, apresentam-se valores de variações de consumo de 38% a 52%.

Nesses casos citados identifica-se um conflito entre aspectos energéticos lumínicos e térmicos devidos as dimensões pequenas nas janelas. Na figura X.4 no Anexo X, para o consumo anual não há praticamente variação com a distância da árvore. Na figura X.5 no Anexo X, o consumo de E.E. para o ar condicionado apresenta um perfil levemente decrescente. Na figura X.6 no Anexo X, para iluminação artificial otimizada apresenta-se um perfil de consumo crescente em março e praticamente constante durante o resto do ano.

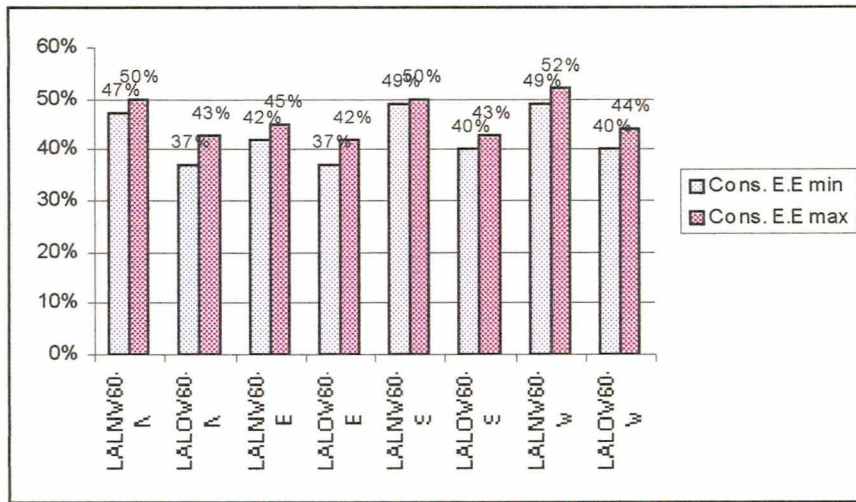


Figura 4.48 Conservação de E.E para Ipê Amarelo (A) com Luz Normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR=60% (W6) externas de inércia térmica leve, (L) todas as orientações.

Em todas as salas com transparências WWR = 60% com luz normal há uma tendência decrescente de consumo anual de E.E com a proximidade da árvore ao edifício, exceto para orientação Oeste com luz otimizada que na qual há um crescimento de consumo de 40% conforme Figura 4.48. Tal fato ressalta a influência do tamanho das janelas e o tipo de iluminação artificial adotados. Neste caso a proximidade da árvore é benéfica para a conservação de energia elétrica, embora com variações de consumo de E.E. relevantes que oscilam entre os valores de 37% a 44% para luz otimizada e valores de 42% a 52% para luz normal.

Para a figura X.7 no Anexo X, o consumo de E.E. anual apresenta perfil decrescente. A variação de consumo de E.E devido a iluminação artificial oscila entre crescente ou constante com aproximação da árvore ao edifício conforme indica a figura

X.9 no Anexo X. E no caso da climatização artificial a tendência do consumo de E.E. para o ar condicionado varia de decrescente a constante conforme a aproximação da árvore ao edifício, conforme figura X.8 no Anexo X. No mês de novembro apresenta um ponto de mínimo próximo a distância de 1,5m.

Para o consumo global de E.E. no caso de luz otimizada na figura X.10 no Anexo X, o perfil de consumo é levemente decrescente. Para a figuras X.11 no Anexo X, para a luz otimizada em todas as transparências em salas de WWR=60% nota-se que há uma tendência decrescente de consumo de E.E no primeiro semestre e inversamente no segundo. Para o caso do consumo de E.E. despendido na iluminação artificial otimizada nota-se uma tendência praticamente constante de valores durante todo o período analisado. Finalmente, no caso do consumo de E.E despendido para o condicionamento artificial, nota-se que há um ponto de mínimo no mês de novembro para a distância de 2,0m da árvore ao edifício.

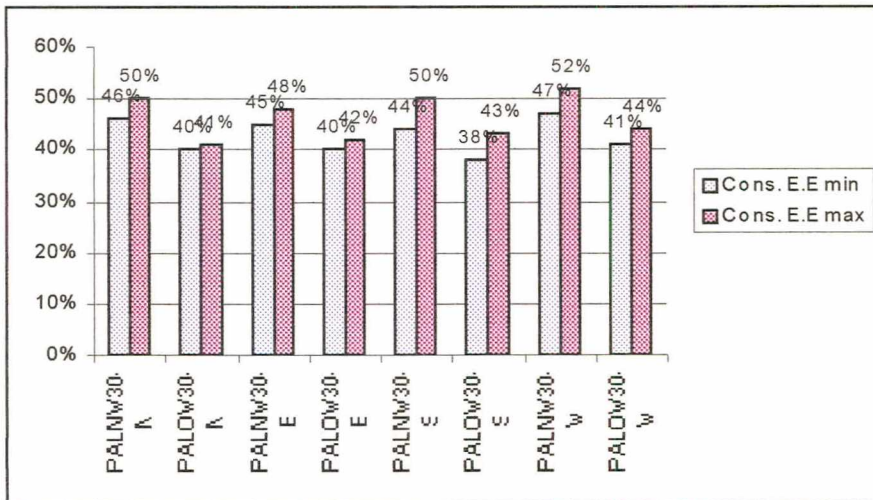


Figura 4.49 Conservação de E.E para Ipê Amarelo (A) com Luz Normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR=30% (W3) externas de inércia térmica pesada, (P) todas as orientações.

Para todas as transparências e em salas com WWR = 30%, com Luz normal e paredes pesadas, em todas as orientações há uma tendência de crescimento do consumo anual de E.E com a proximidade da árvore ao edifício, exceto no caso da luz normal na orientação Leste cujo valor de variação é 44% a 50% conforme Figura 4.49. Também há variação crescente oscilando para valores de luz normal de 44% a 52% e para luz otimizada com valores de 38% a 44%. Tal ocorrência deve-se ao fato das janelas serem pequenas induzindo ao maior consumo de E.E. para a climatização artificial que causa

aumento de consumo de E.E. no devido ao aumento de carga térmica para operação do ar condicionado. A variação de consumo de E.E devido a iluminação artificial oscila entre crescente ou constante com aproximação da árvore ao edifício conforme indica a figura X.15 no Anexo X. E no caso da climatização artificial a tendência de consumo de E.E. apresenta um valor de mínimo no mês de março na distância de 2,0m da árvore ao edifício. Nos demais meses a tendência é de consumos constante e decrescente, conforme figura X.14 no anexo X.

Na figura X.16 no anexo X, o consumo de E.E. é praticamente constante durante o ano oscilando entre valores de 1123 kWh/ano a 1136,5 kWh/ano .Para as figuras X.17 e X.18 no Anexo X, para a luz otimizada em todas as transparências de WWR=30% nota-se que há uma tendência levemente crescente de consumo de E.E. No caso do consumo de E.E. para iluminação artificial otimizada nota-se uma tendência crescente nos meses mais quentes e praticamente constante durante o restante do período analisado. Finalmente no caso do consumo de E.E despendido para o condicionamento artificial, nota-se que há uma tendência decrescente de consumo de E.E. durante todo o período analisado.

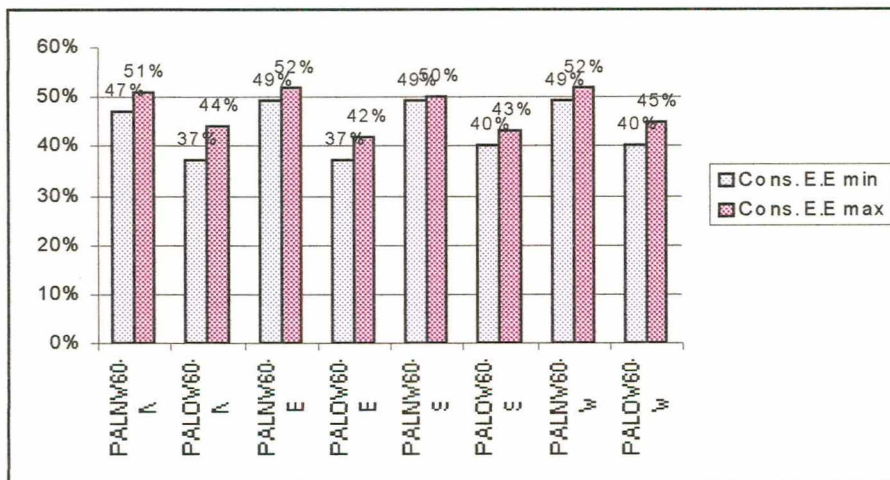


Figura 4.50 Conservação de E.E para Ipê Amarelo (A) com Luz Normal (LN) e Luz Otimizada (LO), WWR=60% (W6) externas de inércia térmica pesada, (P) todas as orientações.

Em todas as transparências, nas salas com WWR = 60% tanto para luz normal quanto para luz otimizada o consumo anual de E.E decresce com a proximidade da árvore ao edifício, devido as janelas maiores serem sombreadas, conforme figuras X.19 no Anexo X. As variações de consumo de E.E. conforme a Figura 4.50 são

relevantes variando de 37% a 52%. Para luz otimizada com valores variando de 37% a 45% e para luz normal a faixa de variação de consumo de E.E é de 47% a 52%.

A variação de consumo de E.E devido a iluminação artificial oscila entre crescente ou constante com a aproximação da árvore ao edifício, conforme indica a figura X.21 no Anexo X. E no caso da climatização artificial a tendência de consumo de E.E. apresenta-se com valores decrescentes no primeiro semestre. Nos demais meses a tendência de consumo é constante e decrescente, conforme figura X.20 no Anexo X.

Para a figura X. 20 no Anexo X, para a luz otimizada em todas as transparências nas salas de WWR=60% nota-se que há uma tendência levemente decrescente de consumo de E.E. No caso do consumo de E.E. para iluminação artificial otimizada nota-se uma tendência de valores constantes de consumo de E.E. com a proximidade da árvore ao edifício em todos os meses conforme figura X.24 no Anexo X. Finalmente no caso do consumo de E.E despendido para o condicionamento artificial, nota-se que há uma tendência decrescente de consumo de E.E. durante todo o período analisado exceto nos meses mais quentes (março e novembro) na distância de 2,0m da árvore ao edifício, onde apresentam-se pontos mínimos de consumo de E.E., conforme figura X.23 no Anexo X.

Como forma de visualização conjunta do desempenho por sombreamento com Ipê Amarelo apresentam-se figuras XV.21 a XV.24 conforme Anexo XV com o intuito de identificar as resultados da simulação computacional paramétrica.

Na figura XV.21 conforme Anexo XV corresponde as combinações de consumo de E.E. em salas orientadas para Norte conforme aproximação das árvores ao edifício, da mesma forma que a figura anterior a inércia térmica tem pouca influência no consumo de E.E. sendo que o fator diferencial continua sendo o “*retrofit*” ou a otimização de iluminação artificial nas lâmpadas nas quais a luz normal consome mais energia do que a luz otimizada. As curvas indicam uma leve tendência decrescente de consumo de E.E. com aproximação da árvore ao edifício exceto no caso de WWR=30% em ambos os casos leve e pesado, que apresentam um perfil crescente de consumo de E.E. Na figura XV.22 conforme Anexo XV apresentam as combinações de consumo de E.E. em salas sombreadas por Ipê Amarelo e orientadas a Leste.

As curvas correspondentes à luz normal apresentam maior consumo que as com luz otimizada. No caso de WWR=60% apresentam tendência levemente decrescente ao se aproximar a árvore do edifício e no caso de WWR=30% apresentam-se de modo

oposto pequena tendência crescente. Na figura XV.23 conforme Anexo XV apresentam-se as combinações de consumo de E.E em salas sombreadas por Ipê Amarelo e orientadas a quadrante Sul, a exceção da curva referente ao consumo de E.E. de WWR=60% e inércia térmica leve com luz otimizada cujo comportamento é similar ao anterior, ou seja, o fator limitante do consumo de E.E. é o fato das lâmpadas serem normais ou otimizadas.

Neste primeiro caso o consumo de E.E. é maior e no segundo caso o consumo é menor, porém a tendência de consumo é praticamente constante com a aproximação da árvore ao edifício. No caso de WWR=30% as tendências de consumo são crescentes tanto para luz normal quanto para luz otimizada. Na figura XV.24 conforme Anexo XV apresentam-se as combinações de consumo de E.E. em salas sombreadas por Ipê Amarelo e orientadas para o quadrante Oeste.

O fator delimitante do consumo de E.E. é o fato das lâmpadas serem normais ou otimizadas, sendo que no primeiro caso o consumo é maior e no segundo caso o consumo é menor. Para luz normal e otimizada em salas com inércias térmicas pesada ou leve o desempenho do consumo de E.E. varia apenas em função de WWR (Razão entre a área da janela e a da parede). Para WWR=60% a tendência de consumo é levemente decrescente e para WWR=30% é levemente crescente, com a aproximação da árvore ao edifício. A faixa de variação de consumo para luz normal oscila entre 1500 kWh/ano a 1700 kWh/ano e para a luz otimizada a faixa de 1150 kWh/ano a 1250 kWh/ano.

4.4.7 Simulação paramétrica dos casos com dimensionamento de ar condicionado para as quatro árvores

Tabela 4.18 - Variação de consumo de E.E para o ar condicionado, nos casos máximos e mínimos, com ocupação e sem ocupação.

Identificação	Cons. máx. s/ ocup. (kWh/ano)	Consumo máx. c/ ocup. (kWh/ano)	Cons. Mín. s/ ocup. (kWh/ano)	Cons. Mín. c/ ocup (kWh/ano)	Conservação de E.E c/ ocup. (%)	Conservação de E.E s/ ocup. (%)
Flamboyant	3417	4959	2980	3917	13%	23%
Sibiriruna	3417	4464	3229	3366	6%	25%
Ipê Roxo	3904	3953	3371	3353	14%	15%
Ipê Amarelo	3915	3948	3371	3357	14%	15%

Sendo que segundo a tabela 4.18 indica o maior consumo que no caso das simulações paramétricas que variam de 13% a 23% para sombreamento com Flamboyant; de 6% a 25% para sombreamento com Sibipiruna; de 14% a 15% para sombreamento com Ipê Roxo e de 14% a 15% para sombreamento com Ipê Amarelo.

Desta forma as árvores que mais influem na variação do consumo energético são respectivamente Flamboyant, Sibipiruna e finalmente os Ipês Amarelo e Roxo.

4.4.7.1 Discussão sobre os Conflitos e Compromissos entre a Luz e o Calor em salas de aula sombreadas

As medições termo-lumínicas nas estações climáticas de Verão e Inverno foram realizadas em períodos de exposição ao clima muito atípico. Entretanto, pode-se depreender dos seus resultados que ficam patentes os conflitos entre luz e calor, no caso real de ambientes construídos escolares sombreados por essências arbóreas: quanto mais sombreada a sala, menor a sua iluminância natural interna no plano de trabalho.

Pode-se, ainda, afirmar que o desempenho lumínico das salas não climatizadas artificialmente, analisado através do tratamento de imagens dos hemisférios externos, com os “softwares” IMAGO e ADOBE, comparativamente com a iluminância natural interna do tipo de medição VHP- Vertical Horizontal Próximo, apresenta uma correlação linear através de uma reta que passa pela origem das coordenadas com coeficiente de regressão linear de $r^2 = 0,87$ e $0,99$ para o Inverno.

Sobre os aspectos térmicos, os resultados das medições no local nas salas de aula foram processados através do “software” ANALISYS, com dados internos e externos, com o intuito de obter um critério de comparação entre o rigor da exposição externa e o desempenho interno. Os limites de conforto adotados foram os propostos por GIVONI (1991) que são muito semelhantes aos de AKUTSU e VITTORINO (1993). Neste caso, os resultados de Inverno foram mais robustos que os de Verão, obtidos pela razão entre o PMV_i e PMV_e .

Este indicador mostrou-se adequado para uma análise expedita do desempenho térmico de edificações não climatizadas naturalmente e possibilitou diagnosticar, definir e quantificar os conflitos (influência do sombreamento sobre o PMV) do sombreamento arbóreo nas salas não climatizadas artificialmente. Entretanto necessitam-se complementar os estudos acerca de definição das faixas adequadas de

desempenho térmico e luminoso para efeito de comparação entre os casos analisados. Tais acertivas indicam necessidade de realização de simulação computacional paramétrica, nas quais se obtém uma hierarquia dos parâmetros que influem no desempenho termo-luminoso dos edifícios.

Para obter os benefícios da arborização, sob os aspectos térmicos e luminoso, nestas condições, pode-se optar pela mudança do partido arquitetônico do edifício escolar, com a especialização das funções das janelas.

As janelas laterais sombreadas teriam a função de ventilação integração com interior e exterior das salas além de auxiliar na iluminação de forma secundária. As janelas na parede oposta auxiliariam na função de ventilação cruzada e iluminação natural. Esta é uma das sugestões possíveis de se utilizar no caso do partido arquitetônico adotado para o edifício.

Tal sugestão melhoraria até o desempenho acústico, pois as portas das salas poderiam manter-se fechadas e mesmo assim garantir-se-ia a ventilação natural cruzada e iluminação natural complementar que diminuiria o consumo de E.E. As árvores perenefólias (Sibipiruna) e semi-caducifólia (Flamboyant) tanto para iluminação normal e otimizada apresentam aumento de consumo elétrico com a aproximação das árvores às salas com WWR=30%, devido ao controle de iluminação que aumenta a potência para iluminação e conseqüentemente o valor da carga térmica interna, acarretando maior consumo de E.E. Para as salas com WWR=60%, há uma leve tendência de diminuição do consumo de E.E com a aproximação destes tipos de árvores às salas.

Outra opção de adotar-se o ângulo sólido (θ) das árvores em relação aos edifícios apresenta-se como alternativa para a distância entre eles (m), porém optou-se para este estudo apenas a distância por apresentar maior facilidade de simulação computacional paramétrica.

Para as árvores caducifólias (Ipê Roxo e Ipê Amarelo) percebe-se quantitativamente a distinção nos valores de consumo de E.E quando a iluminação é normal e otimizada, além de apresentarem pouca influência da distância das árvores às salas. Além disto, as árvores caducifólias apresentam faixas de valores de consumo de E.E menores que as não caducifólias, confirmando que estas árvores são mais recomendadas para este clima.

Isto implica adotar árvores Caducifólias e nativas para a situação específica da UEM – Universidade Estadual de Maringá. Há necessidade, também, de otimização do sistema de iluminação artificial para se garantir a iluminação natural com o valor de 300lux para salas de aula, que é uma ação com grande efetividade no sentido de conservação de E.E. a distância das árvores ao edifício especialmente para as árvores Caducifólias tem aspecto positivo no sentido de pequena influência no consumo de E.E.

Desta forma, o objetivo geral desta tese foi atingido através do diagnóstico, da definição e da quantificação dos conflitos e dos compromissos termo-lumínicos devidos ao sombreamento das salas de aula com a garantia do conforto térmico e desempenho lumínico, visando a conservação de E.E.

Os objetivos específicos foram garantidos pela adoção da simulação computacional paramétrica e pelo tratamento das imagens dos hemisférios externos, além do desenvolvimento de um aparato para medir a transparência das árvores e do conjunto de árvores das amostras escolhidas neste estudo.

No caso do comportamento específico através de modelos de salas climatizadas e iluminadas artificialmente utilizou-se a otimização do sistema de iluminação artificial e a simulação computacional paramétrica, que identifica os parâmetros mais sensíveis à variação, dentre eles, por ordem de efetividade:

- i) O “*retrofit*” ou de otimização do sistema de iluminação artificial abandonando as lâmpadas fluorescentes de 40 W e calhas brancas por lâmpadas de 32 W e calha de alumínio polido, que diminuíram a taxa de 13,9 W/m² para 6,7 W/m². Definiram nos gráficos de consumo de E.E blocos de curvas bem distintos entre si de acordo com a tipologia de transparência mensal das árvores;
- ii) Dentre outros fatores, a variação da distância entre as árvores e os modelos de sala. No caso de folhas caducas ou semi-caducas aumentam o consumo de E.E com a aproximação das árvores às salas devido à iluminação normal e às janelas pequenas com WWR=30%. No caso de luz otimizada e janelas grandes WWR=60%, há uma leve tendência de diminuição de consumo de E.E. No caso das árvores caducifólias há maior distinção entre as curvas de consumo de E.E para iluminação normal e otimizada;
- iii) A inércia térmica da parede leve e isolante, e da parede pesada influenciam muito pouco no desempenho termo-energético das salas. Com climatização

artificial a primeira têm consumo de E.E levemente menor que a segunda, pois as áreas dessas paredes são muito pequenas em relação às dimensões das janelas;

iv) As orientações das fachadas com janelas sombreadas por árvores fazem variar muito pouco o consumo de E.E, principalmente nas protegidas por árvores de menor transparência. O consumo de E.E anual total nas salas com luz normal é maior que os ambientes com luz otimizada. Para ambientes com luz normal a variação máxima anual corresponde de 3091 kWh na face Sul a 3782 kWh na face Leste, cuja variação percentual é de 18 %. Nos modelos de salas de aula com luz otimizada a variação máxima anual de consumo de E.E é de 1718 kWh na orientação Sul até 2299 kWh na face Leste, que corresponde a uma variação percentual de 25%;

v) As janelas com WWR=30% situadas em paredes de inércia térmica pesada com sombreamento arbóreo denso e controle de iluminação liga-desliga de 1/3 para 2/3 consomem mais E.E que as janelas de WWR=60% nas mesmas condições anteriores;

Capítulo 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Introdução.....	220
5.2 - Conclusões acerca das Medições Termo-Lumínicas no local, em Salas não Climatizadas.....	222
5.2.1. Estação Climática de Verão.....	222
5.2.2 Estação Climática de Inverno.....	224
5.2.3 Considerações Finais.....	225
5.3 Conclusões acerca da Transparência Média dos Exemplares Arbóreos.....	226
5.4 Conclusões das Medições Anuais da Transparência de um Exemplar de cada Espécie Arbórea através da Luminância.....	227
5.5 Conclusões Acerca da Simulação Computacional Paramétrica do Consumo Energético dos Modelos de Salas de Aula com o “Software” VisualDOE 2.6.....	228
5.5.1 Conclusões sobre o Sombreamento com Flamboyant.....	228
5.5.2. Conclusões sobre o Sombreamento com Sibipiruna.....	231
5.5.3 Conclusões sobre o Sombreamento com Ipê Roxo.....	232
5.5.4. Conclusões sobre o Sombreamento com Ipê Amarelo.....	235
5.5.5. Considerações finais acerca do Sombreamento Arbóreo sob a ótica da Análise Paramétrica.....	235
5.6 Contribuição esperada.....	237
5.7 Considerações Finais.....	238
5.7.1 Introdução.....	238
5.7.2. A Confirmação da Hipótese e Objetivos.....	241
5.8 Recomendações para Trabalhos Futuros.....	242

5.1 Introdução

Este capítulo, acerca das Conclusões e Recomendações está estruturado da mesma maneira e ordenado conforme o capítulo anterior: Resultados e Discussões. Tal procedimento facilita a compreensão de ambos.

Inicialmente, abordam-se as medições termo-lumínicas efetuadas no local para as estações climáticas de Verão e Inverno, incluindo-se os resultados do tratamento computacional das imagens dos hemisférios verticais externos e sua relação direta com a iluminância medida no centro da sala de aula, na altura do plano de trabalho.

Nesta etapa de análise, diagnosticam-se os conflitos entre luz e calor nas salas não climatizadas, com iluminação natural e sombreamento arbóreo, definindo-os e quantificando-os. Diagnosticou-se a interação entre as janelas, as paredes e o paisagismo. Os compromissos obtidos foram:

- a otimização do sistema de iluminação artificial;
- a distância ótima da árvore ao edifício;
- a dimensão da janela através do índice WWR (razão entre a área da janela e a da parede) e a sua especialização de funções;
- a transparência das árvores adotadas, cuja influência é mais nítida nas essências caducifólias do que nas essências perenes;
- as características térmicas do envoltório do edifício (isolamento e inércia térmica).

Tal conclusão confirma os objetivos gerais da tese, com relação ao sombreamento, que auxilia no desempenho térmico das salas, porém restringe a iluminação natural das salas.

Neste estágio das conclusões, faz-se necessário abordar os aspectos referentes às árvores para atingir os objetivos e confirmar a hipótese, visando a busca de compromissos entre luz e calor no ambiente construído escolar sujeito ao sombreamento arbóreo.

Na seqüência, analisam-se os casos de obtenção da Transparência Arbórea Média, através de uma amostra de três tipos de árvores (Flamboyant, Sibipiruna e Ipê Amarelo), deixando-se de efetuar este estudo para o Ipê Roxo pois, na amostra havia um único exemplar.

Analisa-se, também, o método de tratamento computacional das imagens comparativamente com a medição de Transparência das luminâncias arbóreas no local, com o auxílio do aparato construído para esta finalidade.

Os resultados foram bons considerando-se a tecnologia de medição simplificada. Sugerem-se melhorias tanto no aparato desenvolvido para a medição quanto na metodologia empregada. Porém, para a aplicação do sombreamento na simulação computacional pelo “*software*” VisualDOE 2.6, necessitaram-se de mais duas etapas complementares: a Transparência Mensal de um exemplar de cada espécime arbóreo, que foi feita por medição no local, e a compilação do TRY - “*Test Reference Year*” (Ano Climático de Referência) da localidade em estudo, obtido a partir de elementos de clima da ECPM/UEM.

Finalmente processou-se, no “*software*” VisualDOE 2.6, a simulação paramétrica para definir os parâmetros que mais influem nos conflitos ou nos compromissos entre luz e calor em modelos hipotéticos de salas condicionadas e iluminadas artificialmente, que possuem como única possibilidade de trocas de calor e passagem da iluminação natural, respectivamente: a parede e janela externas.

As simulações computacionais paramétricas foram efetuadas, para quatro tipos de árvores: Flamboyant (caducifólia tardia com baixa Transparência); Ipê Roxo (caducifólia com alta Transparência); Sibipiruna (Perenefólia com baixa Transparência) e Ipê Amarelo (Caducifólia com alta Transparência).

Neste estudo, avaliaram-se os parâmetros que mais influem no consumo e conservação de energia. Com tais resultados obtidos foi possível avaliar-se os conflitos e os compromissos entre luz e calor, simultaneamente analisados através do conforto térmico, eficiência luminosa e conservação de energia em salas de aula.

Os resultados induzem à necessidade de se especializarem as funções das janelas, dividindo-as em iluminação, ventilação e vista para o exterior.

5.2 - Conclusões acerca das Medições Termo-Lumínicas no local, em Salas não Climatizadas

5.2.1. Estação Climática de Verão

O clima durante 12 horas diárias consecutivas num período contínuo de 14 dias de medições das variáveis térmicas foi instável e atípico. Além disto, as medições lumínicas foram efetuadas com periodicidade semanal no local do ambiente construído (Blocos M05, D34, E46 e E34).

As medições de iluminância do hemisfério vertical externo, foram efetuadas em condições de nebulosidade variável e se comparadas com o tratamento computacional de imagens das árvores, fica patente uma situação de conflito entre a iluminação natural e o desempenho térmico do edifício.

Isto ocorre nos ambientes monitorados em orientações opostas, medidos simultaneamente, definindo que há uma relação inversa entre a obstrução do hemisfério vertical externo e a iluminação natural interna, quando se considera a medição da iluminância dos hemisférios verticais externos medidos e horizontalmente na altura do plano de trabalho de altura de 0,73m, no centro da sala, denominado de VHP-Vertical Horizontal Próximo.

Convém salientar que a absorvância das paredes e forros internos interferem consideravelmente nos resultados e que, mesmo assim, o tratamento estatístico dos dados, através de regressão linear apresentam resultados consistentes, variando o coeficiente de regressão linear de $r^2=0,70$ a $r^2=0,99$.

Observa-se que quando não há obstrução externa, a orientação influi no regime da iluminação interna no caso em que predomina a insolação direta. Em contrapartida quando há proteção arbórea, que atua como um difusor da iluminância externa, a orientação do edifício passa a influir menos na eficiência lumínica interna, conforme a proteção arbórea seja de baixa ou alta transparência.

Outro fator que, em ambas as situações citadas anteriormente, influi substancialmente no desempenho luminoso é o tamanho das janelas através do índice WWR - “*Window to Wall Ratio*” (porcentagem entre a área das janelas e a da parede).

Para se verificar a confiabilidade dos resultados das medições térmicas e das lumínicas, foram efetuadas regressões lineares com uma reta passando pela origem,

entre os coeficientes angulares das retas das iluminâncias diária e total. Também, o mesmo procedimento foi adotado para a regressão linear da eficiência de iluminação média e o coeficiente angular da reta do gráfico de iluminação total.

No tocante ao desempenho térmico das salas de aula, com dados medidos no local, adotando-se o índice de FANGER (1972) com limites de PMV de +0,82 e -0,82 correspondendo a PPD=20%, para se obter uma relação entre o clima externo e micro-clima interno, efetuou-se uma razão entre a somatória dos PMV internos e PMV externos, para determinar o afastamento ou a proximidade dos limites de conforto térmico.

A condição ideal de conforto térmico é quando o resultado dessa razão for zero. Ao se aproximar a razão do valor 1, o edifício não opõe resistência frente as condições climáticas externas. E quando a razão é maior que 1, o edifício tem um desempenho térmico pior que as condições climáticas externas.

Neste caso quando se analisam os dados apenas dos edifícios com sistema construtivo similar e aos pares de salas com orientações opostas (salas 205 e 206 dos Blocos E34 e E46), há resultados consistentes, indicando que quanto maior a obstrução arbórea há melhor desempenho térmico associado a um menor valor de integração numérica através da razão ΣPMV_i e ΣPMV_e , embora nestes casos apresentem-se os menores valores de iluminância horizontal interna.

Durante o período de Verão, adotando-se o critério de AKUTSU e VITTORINO (1993), para faixas de conforto térmico com valores de TBS – temperatura de bulbo seco - próximas às de GIVONI (1991) definidas para países em desenvolvimento, variando de 18° C a 29° C, ocorre a mesma situação, anteriormente citada de que: quanto mais densa a proteção arbórea melhor o desempenho térmico da sala atingindo índices de classificação do tipo B que são aceitáveis, mesmo que um dia, dos três dias monitorados, obtenha a classificação C.

Concluindo, pode-se afirmar que há uma situação de conflito entre aspectos térmicos e lumínicos no caso de iluminação lateral por janelas, ressaltando a relevância deste fato para a adoção dos sistemas de iluminação natural, suas tipologias e funções, para atingir um possível ponto de otimização.

5.2.2 Estação Climática de Inverno

A sistemática de medição no local, nesta estação foi diferente da estação de Verão. As medições termo-lumínicas das salas de aula foram executadas simultaneamente e no mesmo período de 12 horas diárias e durante 15 dias consecutivos, duas de cada vez, com a mesma orientação. Não se monitorou o Bloco D34 devido o péssimo desempenho apresentado no verão. As demais salas foram monitoradas, durante o período de 3 dias consecutivos, cada uma.

O clima de inverno, durante a monitoração, mostrou-se também, atípico e instável. Desta forma as medições termo-lumínicas, também foram efetuadas em condições reais de nebulosidade, inclusive para as medidas da iluminância do hemisfério vertical externo.

Para as medições do hemisfério vertical externo através da sua luminância, nesta estação climática, os valores obtidos conforme metodologia de VHP e FLD são diretamente dependentes do estado fenológico das 4 espécies arbóreas consideradas no estudo.

A iluminância interna é maior que na estação do verão, nas salas arborizadas (Blocos E34 e E46) exceto nas salas com WWR menor. Também, as árvores caducifólias permitem um acesso maior de iluminância no plano de trabalho, que no interior das salas obstruídas por árvores de folhas perenes.

O tratamento computacional das imagens do hemisfério vertical externo, nestas condições, para as árvores caducifólias adotadas nos Blocos E34 e E46 tem bom desempenho tanto no verão quanto no inverno.

O coeficiente angular das retas de regressão não se constitui em indicador robusto, considerando-se as condições atípicas e variáveis do clima no período de medições. Na análise da regressão linear quanto menor a obstrução, nas iluminâncias medidas, nota-se maior dispersão dos resultados devido a influência da insolação direta.

No caso de maior obstrução, há menor dispersão dos dados da regressão linear, obtendo-se uma correlação mais robusta, por uma reta que passa pela origem, com valores de regressão linear variando de $r^2=0,91$ a $r^2=0,97$.

A análise de confiabilidade dos resultados obtidos, quando processadas as regressões lineares, apresentam alto grau de correlação com $r^2=0,98$ e $r^2=0,99$, por uma reta passando pela origem.

O desempenho térmico, nesta estação de inverno, é melhor que no caso do verão, devido o clima atípico, que se apresentou quente. Por este fato as árvores de folhas perenes apresentam um melhor desempenho em relação às caducifólias.

Através da integração numérica de ΣPMV_i e ΣPMV_e , e da razão entre elas conclui-se que quanto mais protegida a sala, mais condição de frio se observa.

Identifica-se, também, a influência da dimensão das janelas, através do índice WWR - "*Window to Wall Ratio*" (razão entre a área da janela e a da parede), apresentando novamente um conflito com o sistema de janelas verticais e a proteção arbórea, em termos das condições térmicas e lumínicas, ressaltando a influência da tipologia e dimensões das janelas. Nota-se ainda que as paredes externas opacas com inércia térmica mais leve sofrem mais influência da proteção arbórea do que as de maior inércia térmica.

Destas conclusões, depreende-se que os pontos de conflito entre luz e calor nos ambientes não climatizados dependem da tipologia e dimensões de abertura vertical e em menor grau, da inércia térmica dos paramentos verticais externos.

Ressalta-se a importância da cobertura especialmente em edifícios térreos, que nos blocos arborizados foi bem solucionada, com isolamento térmico e telhamento de alumínio.

5.2.3 Considerações Finais

Para atingir os objetivos e visando a confirmação da hipótese, neste estágio da pesquisa, tornou-se necessário utilizar a simulação computacional paramétrica, para definir o consumo de E.E através de um modelo de sala de aula com penetração de luz e calor apenas pelos paramentos verticais externos e para tanto necessitou-se quantificar as características fenológicas das árvores e as suas respectivas transparências, descritas nos próximos itens.

5.3 Conclusões acerca da Transparência Média dos Exemplares Arbóreos

Para esta etapa, foi construído um aparato para medição da transparência das árvores através da luminância. A determinação da transparência das árvores efetuou-se pelo tratamento computacional das imagens obtidas com fotografias empregando-se lentes “*semi fish-eye*”. Três tipos de amostras de árvores foram monitoradas em períodos próximos das efemérides astronômicas dos solstícios de verão e inverno.

Na intercomparação dos dois procedimentos, nota-se a tendência, definida por regressão linear, do método de tratamento de imagens obter valores menores que os medidos devido aos problemas da reflexão da luz na copa da árvore, tanto no verão quanto no inverno. Há, exceção no verão, para as árvores de folhas perenes ou caducifólias tardias: Sibipiruna e Flamboyant, devido ao estado fenológico desses espécimes arbóreos, que nesta estação climática, estão com alta densidade foliar.

Esta intercomparação de métodos apresenta limitações pois as condições de nebulosidade não foram consideradas. Porém, o coeficiente angular das retas de regressão linear, nestas exceções, apresentam valores muito próximos da situação ideal de valor unitário, sendo que para o verão, o Flamboyant apresenta o valor de $a=1,04$ e a Sibipiruna $a=1,35$. Houve, então, a necessidade de obter dados de transparência considerando a nebulosidade, na situação céu encoberto com baixo turvamento, para haver condições experimentais mais adequadas.

Mesmo com a simplicidade de instrumentação que o método apresenta, pôde-se conseguir resultados robustos. Assim, os resultados obtidos podem ser considerados bastante adequados, apesar da amostra de exemplares arbóreos ser pequena e estar limitada a uma situação real dos blocos E34 e E46.

Resulta-se, também, que o método é passível de uso, podendo ser considerado como tecnologia apropriada, na falta de instrumentação com aquisição automática de dados. Como sugestão, para aprimoramento, têm-se que:

- i) A amostra deve ser maior e com exemplares arbóreos adultos situados em campo aberto, sem obstruções próximas;
- ii) O número de pontos medições da luminância por árvore seja maior que os três pontos adotados, devido a anisotropia das árvores. Estes pontos devem ser marcados para determinar com mais precisão o tratamento computacional das

imagens através de “*pixels*” brancos e pretos, possivelmente com uma régua retrátil Durkon e marca indelével na própria árvore,

- iii) O período de medições deve cobrir todas as variações do estado fenológico das árvores durante o período de um ano;
- iv) O aparato construído pode ser aprimorado, fixando-se no tripé fotográfico os seguintes instrumentos: Nível de bolha, transferidor para indicação da inclinação desejada, além de uma bússola para facilitar a indicação do azimute a ser utilizado;
- v) Adotar um tripé para a câmera fotográfica, com as sugestões propostas anteriormente;
- vi) Garantir medições considerando a nebulosidade, adotando-se dias com céu encoberto (nebulosidade maior de 9 décimos de céu) e com baixo turvamento, que evitam interferência da reflexão da luz solar direta nas copas das árvores.

5.4 Conclusões das Medições Anuais da Transparência de um Exemplar de cada Espécie Arbórea através da Luminância

Nesta etapa da pesquisa, considerando-se as recomendações do item anterior, foram efetuadas apenas as medições das transparências arbóreas pela medição no local da transparência de um exemplar de cada uma das 4 árvores, individualmente.

Os resultados obtidos com periodicidade mensal, durante um ano, apresentam-se consistentes pois foram efetuados mais 3 meses de medições para verificar a confiabilidade. Os desvios absolutos foram todos abaixo de 6,7%.

A transparência média mensal para as árvores de folhas perenes (Sibipiruna) e de folhas semi caducifólias (Flamboyant) apresentam valores baixos que para primeira árvore oscilam entre 5,5% e 55,6%, e para a segunda árvore variam entre 3,1% a 21,1%. Na seqüência, as árvores caducifólias (Ipê Roxo e Ipê Amarelo) apresentam valores altos de transparência média especialmente nos meses de inverno, variando, para a primeira árvore os valores médios entre 12,1% e 86%, para a segunda árvore os valores oscilam entre 7,1% e 91,9%.

Os resultados assim obtidos são necessários, com valores de transparência, obtidos com medições mensais, para entrada de dados no “*software*” VisualDOE 2.6.

5.5 Conclusões Acerca da Simulação Computacional Paramétrica do Consumo Energético dos Modelos de Salas de Aula com o “*Software*” VisualDOE 2.6

Nesta etapa da pesquisa, efetuou-se a simulação computacional paramétrica de modelos de sala de aula sombreadas por Flamboyants, Ipês Roxos e Ipês Amarelos, e Sibipirunas.

As conclusões apresentam-se por tipo de árvore e em cada uma delas, analisam-se os desempenhos energéticos por orientação das paredes externas com inércias térmicas leves ou pesadas e WWR=30% ou WWR=60%. As cores internas e externas, nas salas, foram consideradas em todos os casos como claras ($\alpha=0,20$).

5.5.1 Conclusões sobre o Sombreamento com Flamboyant

Neste tipo de árvore, como a sua transparência mantém-se baixa durante todo o ano, adotaram-se para a análise apenas três transparências: 3%, 13% e 17%.

Na orientação Norte com paredes externas de inércia térmica leve e janelas grandes (WWR=60%) para a iluminação normal o consumo de E.E mensal apresenta pontos de mínimo, conforme figuras VII.2, VII.5, no Anexo VII.

Nas mesmas condições para a iluminação otimizada a tendência de consumo de E.E decresce com aproximação da árvore ao edifício. Estas duas assertivas são válidas para ambientes condicionados artificialmente e para iluminação artificial com controle de liga-desliga de 1/3 e 2/3.

Nas mesmas condições anteriores, o fato da iluminação artificial ser otimizada, o perfil de consumo de E.E é decrescente com a aproximação da árvore ao edifício.

Tais ocorrências são devidas ao sistema liga-desliga da iluminação artificial, já que as transparências arbóreas são baixas, a janela é grande e as paredes são leves.

No caso de paredes de inércia térmica pesada e as demais condições similares às anteriores tanto quando a iluminação artificial é normal quanto otimizada, o desempenho energético apresenta pontos de mínimo, nos resultados mensais provavelmente pelo fato

das janelas possuírem maior WWR=60%, de maneira menos intensa que no caso anterior, conforme o Anexo VII.

Nas janelas maiores, com orientação Norte há uma conservação de energia de 39% a 54%, em termos anuais para luz normal ou otimizada..

Mudando a tipologia de janela WWR=30%, portanto pequenas, com as paredes externas de inércia térmica leve ou pesada, a iluminação artificial normal ou otimizada apresentam crescimento no consumo de E.E com a aproximação da árvore à sala. Tal fato decorre do tamanho da janela que faz o liga-desliga da iluminação utilizar mais potência e torná-la uma fonte interna de calor que aumenta o consumo com o condicionamento artificial. Para o caso da luz normal há uma redução no consumo de E.E variando de 14% a 51% e para luz otimizada há uma redução no consumo de E.E variando de 31% a 55%.

Para orientação Sul das paredes externas, com inércia térmica leve ou pesada, janelas de WWR=30% e WWR=60%, com iluminação artificial normal ou otimizada a tendência de consumo de E.E com a aproximação da árvore a sala é sempre crescente. Exceto para a parede de inércia térmica leve com janela grande e iluminação artificial otimizada que muda a tendência de consumo energético para decrescente com a aproximação da árvore do prédio. No caso de luz otimizada e WWR=60% há uma redução no consumo de energia , variando de 16% a 41%.

Esta tendência pode ser explicada pelo fato de que, nesta orientação não incide insolação direta durante o ano todo, na latitude do Trópico de Capricórnio, exceto no início da manhã e no final da tarde. Desta forma o aumento da obstrução arbórea induz a um maior consumo elétrico com o condicionamento e a iluminação artificial, devido ao aumento da potência das lâmpadas que tornam-se fontes internas de calor mais intensas. A exceção mencionada ocorre devido ao fato de que, em ambientes climatizados artificialmente as paredes mais indicadas são as mais isolantes associadas ao fato de que a iluminação artificial é otimizada. Sendo que para WWR=30% há aumento no consumo de 15% a 49% para luz normal e paredes de inércia térmica leve.

Na orientação Leste os modelos de salas com janelas pequenas (WWR=30%) tanto para paredes de inércia térmica leve ou pesada, como para iluminação artificial otimizada ou normal, a aproximação da árvore ao edifício acarreta uma tendência crescente no consumo de E.E. Esta tendência pode ser oriunda do aumento das fontes de

calor, devidas ao acréscimo na potência variável da iluminação artificial e pelas janelas pequenas.

Para os modelos de salas com paredes de inércia térmica leve, tanto para iluminação normal quanto para a otimizada, com janelas grandes ($WWR=60\%$) há uma tendência decrescente no consumo de E.E com a aproximação da árvore a sala. Tal ocorrência pode ser creditada à janela e à parede externa orientadas a Este, uma fachada com muita insolação e na qual o sombreamento é eficaz. Para $WWR=60\%$, luz normal ou otimizada a conservação de energia varia de 39% a 50%.

Finalmente, há ocorrência de um ponto de mínimo no perfil de consumo de E.E, nos modelos de salas de alta inércia térmica com janelas grandes ($WWR=60\%$), tanto para iluminação artificial normal quanto para a otimizada, conforme Anexo VII. Tal ocorrência pode ser causada pela alta inércia térmica da parede, orientada para Este, um ponto cardinal muito ensolarado durante todo o ano, que é a condição ideal para esta solução construtiva. Assim, a partir de um determinado ponto o sombreamento passa a ser uma solução não adequada.

Na orientação Oeste, para as mesmas soluções construtivas, tipos de iluminação artificial, ocorrem os mesmos perfis de consumo de E.E., confirmado que o fator condicionante é a alta insolação incidente, identicamente para as orientações Este e Oeste. Com $WWR=60\%$, e paredes leves e isolantes, a conservação de energia tanto para iluminação normal quanto para otimizada, ocorre conservação de E.E. de 41% a 53% para a primeira orientação e de 41% a 54% para a segunda orientação.

Para as salas com $WWR=30\%$, tanto para iluminação normal quanto para otimizada há uma conservação no consumo de E.E. que varia de 13% a 49%, com a aproximação da árvore ao edifício. Esta condição agrava-se no caso de $WWR=30\%$ e paredes leves e isolantes, aumentando o consumo de E.E. entre 20% a 44%.

Pode-se resumir em 4 tendências, para os Flamboyants, nos casos de simulação computacional paramétrica:

- i) Há uma tendência em que apresenta consumo de E.E. crescente com a aproximação da árvore ao edifício (distância ótima 6m) no caso de janelas pequenas ($WWR=30\%$), paredes de inércia térmica leve ou pesada, com luz normal, nas quais os parâmetros que mais influem são: proximidade da árvore ao

prédio; o tamanho da janela e a iluminação artificial normal, cujos valores de consumo de E.E. são os maiores de todos;

ii) Da mesma forma, com valores menores, os parâmetros condicionantes para este perfil de condicionamento são: iluminação artificial otimizada; tamanho de janela (WWR=30%) e proximidade da árvore ao edifício;

iii) Para o caso de perfil de consumo levemente decrescente, os parâmetros que mais influenciam este desempenho, são: luz normal e WWR=60% e para os valores menores mantém o desempenho levemente decrescente com a aproximação da árvore ao edifício, (distância ótima 2m).

iv) O Flamboyant apresenta um desempenho desfavorável no caso de aproximação da árvore ao edifício e devido a sua baixa transparência pode induzir a um consumo maior de E.E por iluminação nas salas de aula climatizadas. Mesmo sendo semi- caducifólia na época da queda das folhas a densidade dos galhos e das vagens faz com que ela sombreie com baixa transparência durante o ano todo.

5.5.2. Conclusões sobre o Sombreamento com Sibipiruna

Para situação de modelo de sala sombreado por Sibipiruna com WWR=30% e inércia térmica leve, apresenta-se uma conservação de consumo de E.E. entre 28% a 52%, em todas as orientações. Isto, representa o desempenho de janelas pequenas. As demais características de desempenho são similares às do Flamboyant, pois tratam-se de árvores com baixa transparência.

Para o caso de WWR=60%, paredes leves, a faixa de variação da conservação de E.E., oscila para luz normal entre 45% e 53%, para luz otimizada varia entre 42% e 49%. Exceto no quadrante Sul no qual o consumo de E.E aumenta entre 42% e 51%, podendo-se considerar constante a variação.

Para a situação de WWR=30% e paredes externas com inércia térmica leve, há uma conservação no consumo de E.E. que varia de 28% a 52%, causado pelas dimensões de janela pequena. Para situação de parede de inércia pesada e WWR=30%,

na qual ocorre uma conservação no consumo de E.E, que varia de 28% a 52%, também causada pela pequena dimensão da janela.

Para a condição de WWR=60% e paredes de inércia térmica pesada, as faixas de variação do consumo de E.E, indicam conservação de energia de 49% a 53% para luz normal, exceto no quadrante Sul que ocorre aumento de E.E. de 1% para a luz otimizada a conservação de energia varia de 42% a 48%.

Pode-se resumir as tendências obtidas pela simulação computacional paramétrica das Sibipirunas de maneira similar ao caso do Flamboyant. Com WWR=30% a tendência geral de desempenho de consumo de E.E, apresenta-se em duas situações: para luz otimizada e luz normal, nota-se uma diferença quantitativa de valores. Para a primeira o valor de consumo embora crescente é menor que o da segunda situação.

Para as situações de WWR=60% a tendência de variação do consumo de E.E é levemente decrescente para ambos os casos de luz otimizada ou normal, no qual a primeira situação tem valores menores que a segunda.

Para as demais orientações em relação aos pontos cardeais, a tendência repete-se como no caso geral. As conclusões do Flamboyant podem ser considerados semelhantes para a Sibipiruna, embora os valores numéricos de consumo de E.E sejam diferentes. São maiores no Flamboyant do que na Sibipiruna, em função da primeira ter menor transparência que a segunda.

A Sibipiruna tendo folhas perenes apresenta baixa transparência durante o ano todo o que prejudica a iluminação natural durante o período de verão e inverno, tornando-a não recomendada para sombreamento de salas de aula, tanto no caso da UEM quanto em outras salas de aula de primeiro e segundo grau, na mesma localidade.

Os parâmetros que condicionaram o consumo de E.E, neste caso, são o “retrofit” ou otimização do sistema de iluminação artificial nas lâmpadas e o controle liga-desliga de 1/3 e 2/3. São os mais eficientes, e melhorados pelas cores claras no interior e exterior da sala, com $\alpha=0,20$.

5.5.3 Conclusões sobre o Sombreamento com Ipê Roxo

Para paredes pesadas e WWR=60%, em todas as orientações há consumos de E.E. que variam de 38% a 51%, conforme indicados graficamente no capítulo anterior.

Também, para $WWR=30\%$ e paredes de inércia térmica pesada, para todas as orientações ocorre uma conservação no consumo de E.E que varia de 40% a 52%.

As tendências do perfil de consumo de E.E são idênticas para todas as orientações cardeais. Tal ocorrência pode ser oriunda do fato que a transparência do Ipê Roxo é maior que o do Flamboyant, obstruindo menos a incidência da insolação e funcionando como difusora e não como obstrução.

Desta maneira, pode-se concluir que em modelos de sala com janelas pequenas ($WWR=30\%$), inércia térmica leve, com iluminação artificial normal há um padrão de consumo de E.E crescente variando de 40% a 54% com a proximidade da árvore à sala. De modo oposto para a iluminação artificial otimizada o perfil de consumo é decrescente com a aproximação da árvore à sala, variando de 40% a 44%. Em ambos os casos anteriores, pode-se afirmar que o desempenho do comportamento de consumo de E.E é praticamente constante.

Além disto, pode-se explicar esta tendência pelo aumento da fonte de calor interna, devido ao aumento de potência da iluminação liga-desliga, quando do tipo de iluminação artificial normal. Tal tendência não acontece com a iluminação otimizada.

O mesmo padrão de consumo de E.E, citado anteriormente, ocorre para o sistema construtivo de inércia térmica pesada, pelas mesmas razões já expostas anteriormente.

Para os demais sistemas construtivos, inércia térmica leve ou pesada, com janelas grandes ($WWR=60\%$), tanto para iluminação artificial normal quanto para a otimizada, o padrão de consumo de E.E é decrescente. Este fato pode estar ocorrendo devido a proteção arbórea do Ipê Roxo, que atua como difusora da insolação incidente.

Assim os valores de conservação de energia variam de 40% a 52%, podendo considerar-se constante o seu desempenho. O parâmetro que mais influencia no desempenho de consumo de E.E pode ser considerado o $WWR=30\%$, sendo que para luz otimizada varia de 40% a 44% e para luz normal oscila entre 48% a 54%, e no caso de $WWR=60\%$ há conservação de E.E variando de 12% a 52%.

Pode-se resumir as tendências obtidas pela simulação computacional paramétrica dos Ipês Roxos, através das combinações de consumo global de E.E, que se apresentam em curvas praticamente constantes e paralelas.

O parâmetro que indica maior diferenciação de consumo de E.E. é o “retrofit” ou otimização do sistema de iluminação artificial, e o WWR (razão entre a área da janela e a da parede) sendo que o consumo anual para luz normal varia de 25,0 kWh/m² ano a 33,3 kWh/m² ano, correspondendo uma faixa de variação de 25% e para a luz otimizada varia de 16,7 kWh/m² ano a 23,3 kWh/m² ano, que corresponde a uma faixa de variação de 28,5%.

Para a orientação Norte apresenta-se a mesma tendência dos parâmetros anteriormente citados no desempenho da tendência de consumo de E.E cujo valor maior de consumo é com luz normal e o menor é com luz otimizada.

No primeiro caso varia o consumo de E.E de 26,6 kWh/m² ano a 30,0 kWh/m² ano, que corresponde a uma faixa de variação de consumo de 11,1%, no segundo caso oscila entre 16,3 kWh/m² ano e 22,5 kWh/m² ano, que corresponde a uma faixa de variação de 27,4%. O consumo de E.E para a inércia dos paramentos verticais opacos pesados apresenta uma curva paralela com consumo levemente superior ao do caso das paredes externas leves.

Para a orientação Leste ocorre o mesmo comportamento, variando o consumo de E.E, maior que no caso anterior, entre 25,8 kWh/m² ano até 33,3 kWh/m² ano, que corresponde a uma faixa de variação de 22,5% para WWR=60% com iluminação artificial normal. Para WWR=30% o consumo de E.E varia de 20,0 kWh/m² ano a 23,3 kWh/m² ano, que corresponde a uma faixa de variação de 14,3% com iluminação artificial otimizada. Neste ponto devido a grande intensidade de insolação do quadrante Leste, os maiores consumos ocorrem para WWR=60%, sombreado por árvores caducifólias.

Para o quadrante Sul a faixa de variação do consumo de E.E é menor que a anterior (E). Varia de 25,0 kWh/m² ano a 28,3 kWh/m² ano, que corresponde a uma faixa de variação de 11,8% para os casos de WWR=60% e luz normal. Para luz otimizada há variação de 16,7 kWh/m² ano a 17,5 kWh/m² ano, que corresponde a uma faixa de variação de 4,8%. Para o quadrante Oeste, a faixa de valores de consumo aproxima-se do caso do quadrante Sul, numa faixa de variação de 5%.

5.5.4. Conclusões sobre o Sombreamento com Ipê Amarelo.

Para a condição do modelo de sala sombreada por Ipê Amarelo, com WWR=30% e inércia térmica leve, há uma conservação no consumo de E.E, em todas as orientações variando de 38% a 52%. Tal comportamento decorre da dimensão pequena de janela.

Na situação de WWR=60% e inércia térmica leve, para todas as orientações o perfil de conservação de energia elétrica oscila entre 37% a 52%, com exceção da conservação no consumo de E.E, na direção oeste para luz otimizada. No caso da janela ser pequena WWR=30%, e a inércia térmica pesada, há uma conservação no consumo de E.E. que varia de 38% a 52%, devido ao tamanho da janela e o tipo de vedação externa.

Para situações de janela grande WWR=60% e inércia térmica pesada, há uma conservação de energia que varia de 47% a 52% para luz normal e 37% a 45% para luz otimizada. Tal comportamento justifica-se pela dimensão da janela associada à cor clara do modelo de sala ($\alpha=0,20$), além do controle de iluminação artificial adotado.

Pode-se resumir as tendências obtidas pela simulação computacional paramétrica dos Ipês Amarelos, de modo similar ao caso dos Ipês Roxos, nos quais há dois blocos de curvas apresentados na figura 4.27, sendo os que mais consomem energia elétrica são aqueles com luz normal, numa faixa de variação de 25,0 kWh/m² ano a 31,7 kWh/m² ano que corresponde a uma faixa de variação de 30% e o outro refere-se à luz otimizada, que oscila numa faixa de 15,8 kWh/m² ano a 22,5 kWh/m² ano, que corresponde a uma faixa de variação de 29,6%, consumindo quantitativamente menos E.E. As curvas afunilam-se ao aproximarem-se as copas das árvores na distância de 0,5m ao edifício identificando-se 2 subgrupos em cada bloco de curvas de consumo: crescente e decrescente em cada bloco. Porém a tendência de variação do consumo de E.E., não é muito significativa.

5.5.5. Considerações finais acerca do Sombreamento Arbóreo sob a ótica da Análise Paramétrica

Os parâmetros variados nesta simulação computacional paramétrica que mais induzem a variações no perfil de desempenho de comportamento no consumo de E.E. são por ordem de importância:

- i) A adoção de controle de iluminação artificial em sistema de controle liga-desliga e a adoção de lâmpadas fluorescentes de baixo consumo, além de associadas às cores claras do edifício;
- ii) A variação da distância da árvore ao edifício ou o grau de obstrução, que origina desempenhos de consumo de E.E. oriundos de simulação paramétrica diferenciadas por árvore e determinando uma distância ótima para cada uma delas;
- iii) O tipo, a transparência ou o grau de obstrução da árvore adotada; caducifólia ou não caducifólia;
- iv) As dimensões das janelas variando de WWR=30% e WWR=60%, que induzem quando sombreadas, a um perfil de consumo de E.E. crescente ou decrescente conforme o tipo e a distância da árvore ao edifício;
- v) A orientação do edifício, em relação aos quatro pontos cardeais;
- vi) A inércia térmica das paredes externas e a sua isolação térmica.

Além disso, menciona-se a eficiência de cada uma das árvores adotadas, salientando-se de antemão que as árvores caducifólias são mais indicadas para climas compostos como os da localidade em pauta.

As variações de consumo de E.E. são condicionantes para a escolha das árvores mais eficientes a fim de sombrear o modelo de sala de aula adotado com área interna de 60 m²:

- i) IPÊ AMARELO - com variações extremas de consumo de E.E. de 16,7 kWh/ m² ano a 31,7 kWh/ m² ano (47,4%);
- ii) IPÊ ROXO - com variações extremas de consumo de E.E. de 16,7 kWh/ m² ano a 33,3 kWh/ m² ano (50%);
- iii) SIBIPIRUNA - com variações extremas de consumo de E.E. de 16,7 kWh/ m² ano a 38,3 kWh/ m² ano (56,5%);
- iv) FLAMBOYANT - com variações extremas de consumo de E.E. de 13,3 kWh/ m² ano a 46,7 kWh/ m² ano (71,4%).

Os valores indicados acima correspondem aos maiores valores de conservação de energia elétrica para cada tipo de árvore independentemente do sistema construtivo do edifício.

De acordo com as simulações computacionais paramétricas deve-se:

- i) Evitar sombreamento na orientação Sul - porque na maioria dos casos apresenta padrão crescente de consumo de E.E com a aproximação da árvore à sala;
- ii) Para orientação Norte, utilizar os casos de paredes com inércia térmica leve, que apresentaram pontos de mínimo no perfil de consumo mensal de E.E com iluminação normal e condicionamento artificiais;
- iii) Para as orientações Oeste e Este, adotar os sistemas construtivos constituídos por paredes de inércia térmica pesada, tanto no caso de iluminação artificial normal quanto na iluminação otimizada, pois apresentaram um ponto de mínimo no perfil de consumo de E.E.



5.6 Contribuição esperada

Espera-se com este trabalho, ampliar as possibilidades de incrementos na qualidade dos ambientes termo-lumínicos de escolas. Fornecendo através de medição no local, da definição de uma metodologia para definição de iluminação em ambientes obstruídos e de uma discussão dos compromissos e conflitos ente as variáveis intervenientes e a conservação de energia.

Além disso pode-se fornecer elementos para direcionar, primeiramente a continuidade de ocupação do câmpus-sede da UEM, bem como estabelecer um procedimento para outras situações de referência similares. Também, pode-se com o aparato construído e a metodologia proposta efetuar um levantamento de várias espécies arbóreas, elaborando-se uma base de dados de transparências de outras árvores nativas ou exóticas.

5.7 Considerações Finais

5.7.1 Introdução

Em termos de temperaturas, na estação climática de verão, houve uma marcha horária atípica na qual, em que pesem, as estratégias arquitetônicas ou paisagísticas de proteção solar, o rigor térmico do período impediu uma completa situação conservativa em termos passivos.

No caso do inverno que se mostrou atípico (mais quente que o normal), pode-se notar mais claramente a influência da proteção arbórea, mesmo porque o monitoramento foi feito em salas de mesma orientação, com diferentes densidades de proteção arbórea. Desta forma o conflito não é só relativo aos aspectos termo-lumínicos, como também, realçam-se nos aspectos térmicos. Entretanto, convém salientar que a estratégia de uso do paisagismo é útil, minorando a agressividade térmica do clima. Existem diversas possibilidades de uso paisagismo como controle térmico.

Sobre os aspectos lumínicos, a análise das fotos hemisféricas foi completada quantitativamente através do tratamento de imagens pela binarização em tons de branco e preto nas imagens digitalizadas, com os “softwares” ADOBE e IMAGO, mostrando-se uma alternativa consistente para obtenção de Transparência das Árvores e de hemisférios verticais externos.

A respeito da análise do índice de Iluminação natural VHP-Vertical Horizontal Próximo, necessita-se ainda de um maior aprofundamento no controle das medições conforme a nebulosidade e na instrumentação utilizada que integra todas as componentes lumínicas diretas, difusas e refletidas. As medições efetuadas em condições de nebulosidade adequada (9 a 10 décimos de céu e baixo turvamento) mensalmente, durante o período de um ano e três meses garantiram resultados mais robustos e com menos interferência do clima.

As seguintes conclusões podem se formuladas em função das pesquisas já realizadas:

- i) A orientação das edificações sem proteção solar, quer sejam arquitetônicas ou arbóreas, é importante para a ação conservativa em termos térmicos e lumínicos, especialmente em situação real do hemisfério celeste com nebulosidade variável;

- ii) a ação conservativa, por meios passivos tem limitações frente ao rigor climático a que se sujeitam as edificações;
- iii) A proteção arbórea mais indicada, para o caso de climas compostos, como o do objeto desta pesquisa, deve ser caducifólia para que o seu efeito seja considerável no aspecto de variação pelo efeito da sazonalidade;
- iv) Embora o sistema construtivo seja fundamental para ações conservativas passivas nos aspectos térmicos, o paisagismo pode ser um valioso auxiliar, no desempenho global do sistema edifício e entorno imediato com outras estratégias além do sombreamento;
- v) Apesar da conclusão anterior, há um nítido confronto entre os desempenhos térmicos e lumínicos e conseqüentemente na conservação de energia. Tais conflitos podem ser minimizados com a arborização e com a especialização das funções dos elementos arquitetônicos de iluminação natural. Além da integração interior-exterior, deve-se especializar as funções de iluminação natural, ventilação natural, e sistemas de proteção solar arquitetônicos;
- vi) A associação do sistema de iluminação artificial fluorescente de baixo consumo, com a proteção arbórea, especialmente as árvores caducifólias, indicam possibilidades de um melhor desempenho termo-luminoso energeticamente conservativo. A adoção do sistema liga-desliga 1/3 e 2/3, mantendo-se as demais soluções, indica que essa otimização tecnológica atinge, também, a otimização e a conservação energética;
- vii) Além da sistemática de se avaliar o desempenho térmico através das exigências do usuário, pode-se estabelecer critérios através da especificação dos valores das características termo-físicas de elementos, componentes e sistemas construtivos de acordo com o rigor de exposição climática, senão para obter uma situação satisfatória, que ao menos minimize a necessidade de condicionamento e iluminação artificiais;

viii) O índice analisado FLD e VHP, demonstrou um alto grau de correlação com a iluminância externa vertical e a interna horizontal, pois integrou todas as variáveis lumínicas numa só medição. Devido a essa característica necessita-se uma forma de análise dos valores obtidos em situações diversas, com nebulosidade variável, na qual há variações luminância de abóbada celeste tanto em azimute quanto em altura;

ix) O tratamento computacional das imagens hemisféricas verticais externas das salas monitoradas através da binarização em tons de branco e preto, para efeito de comparação com as medições de luminância das árvores apresentadas nesta Tese, apresentou resultados consistentes. A análise das fotos hemisféricas foi quantificada através de tratamento de imagens por via computacional, para validar as conclusões a respeito da obstrução física dos hemisférios verticais, e das essências arbóreas estudadas, com os “*softwares*” ADOBE e IMAGO. A utilização do aparato para medição das luminâncias das árvores estudadas, com uma medição mensal em dia nublado, durante um ano, com a condição de alta nebulosidade e baixo turvamento, apresentou resultados mais robustos que sem este controle. Este controle confirma-se com a determinação da incerteza do método, na qual foram efetuados monitoramentos por mais 3 meses, a fim de comparação com as medidas anteriores. A comparação entre os dois métodos mostrou-se consistente;

x) As simulações do consumo de energia elétrica para a iluminação em conjunto com as estratégias de paisagismo para comparar esse mesmo consumo com o condicionamento artificial sem as estratégias de paisagismo, foi um implemento útil para a análise paramétrica das variáveis do estudo em pauta. Tal procedimento necessitou do programa computacional VisualDOE 2.6, que também avalia o desempenho lumínico, além do térmico e da estimativa de consumo de E.E. Estes procedimentos auxiliaram na determinação e análise dos conflitos e compromissos entre o ambiente térmico e lumínico no objeto desta pesquisa, de forma consistente.

5.7.2. A Confirmação da Hipótese e Objetivos

Com tais argumentos, pode-se afirmar que o Objetivo Geral foi atendido se considerar que foram efetuados: o diagnóstico, a definição e quantificação dos conflitos decorrentes da arborização em relação ao desempenho termo-luminoso nos ambientes internos escolares.

Os compromissos diagnosticados são dependentes dos sistemas de iluminação natural constituídos apenas pelas janelas laterais, e da sua especialização de funções: contato com o exterior, ventilação. Para iluminação natural deve-se especializar ou optar por elementos de iluminação natural bilateral ou zenital, além do que pode-se alterar o partido arquitetônico aqui analisado para possibilitar esses benefícios.

Acerca dos Objetivos Específicos pode-se afirmar que, sobre os aspectos térmicos e do sombreamento, adotados na simulação computacional paramétrica, estiveram limitados para a iluminação em 300 lux e para o conforto térmico na faixa de temperaturas definida por GIVONI (1991).

Os conflitos aparecem, também, na simulação computacional paramétrica através da quantificação dos valores de consumo de E.E, apresentados no Capítulo anterior, para as quatro árvores adotadas.

A hipótese geral foi atendida pois:

- i) Adotando-se o sistema de controle do sistema de iluminação artificial pelo mecanismo de liga-desliga de 1/3 e 2/3 das luminárias fluorescentes, otimiza-se o uso da iluminação artificial com a contribuição da iluminação natural para manter o nível de iluminação em 300 lux, indicados para salas de aula;
- ii) A otimização do sistema de iluminação artificial, conforme o tipo de obstrução arbórea através da simulação computacional com tipologias de luminárias e lâmpadas associadas à iluminação natural, induzem a um menor consumo de E.E, mantendo-se o limite mínimo de 300 lux de iluminação;
- iii) Como complemento adicional, a utilização de iluminação bilateral pode melhorar a qualidade de distribuição luminosa nos ambientes de salas de aula aumentando a ação de conservação de E.E;
- iv) A simulação computacional paramétrica com as essências arbóreas caducifólias otimiza o desempenho térmico e o sistema de controle liga-desliga

mantém o valor de 300 lux para salas de aula juntamente com as estratégias citadas anteriormente, pois a interferência da proximidade da árvore ao edifício é menos rigorosa que no caso das árvores de folhas perenes;

v) Os parâmetros variados na simulação computacional paramétrica de maior sensibilidade são:

- a otimização do sistema de iluminação artificial;
- a distância da árvore ao edifício, ou seu ângulo de obstrução;
- a dimensão da janela através do índice WWR (razão entre a área da janela e a da parede);
- a transparência das árvores adotadas, cuja influência é mais nítida nas essências caducifólias do que nas essências perenes.

5.8 Recomendações para Trabalhos Futuros

Completar a determinação da transparência média mensal durante o período de um ano para cada uma das dezenove essências arbóreas mais comuns na cidade de Maringá e na UEM. Para tanto deve-se montar um banco de dados destes valores com a metodologia e a instrumentação propostas nessa tese, especialmente utilizando-se de fotos e do tratamento computacional de imagens.

Montar um banco de dados de TRY (Ano Climático de Referência) de outros "campi" da UEM para a finalidade de processamento do "software" visualDOE 2.6 para situações de referência de outras localidades.

Aplicar os resultados obtidos nesta tese para salas de aula de primeiro e segundo graus, com as alterações tecnológicas no sistema de iluminação artificial além das demais proposições desta Tese, ou sejam, as transparências das essências arbóreas estudadas ou daquelas ainda não pesquisadas; além de tipologias diversas de janelas com funções de iluminação e ventilação naturais, bem como sistemas diferentes de condicionamento artificial.

Como continuidade da pesquisa em pauta propõe-se a medição das variáveis que sofrem influência do sombreamento arbóreo: sendo uma sala com um tipo de sombreamento e outra sala sem sombreamento, mas na mesma orientação para se avaliar

no mesmo prédio, com mesmo sistema construtivo, a variação de consumo de E.E de cada sala.

Neste caso seriam necessários instrumentos registradores das variações de consumo de E.E. e desempenho térmico, para obter-se um resultado consistente em termos experimentais.

Nesta mesma linha de avaliação, pode-se testar outros componentes de projeto paisagístico que influem no consumo de E.E, tais como vegetação trepadeira (heras) sobre as paredes externas, vegetação rasteira no entorno da edificação, arbustos ou cercas vivas até a altura do peitoril da janela e telhados planos cobertos por vegetação rasteira. Modificação do albedo do envoltório e da superfície contígua ao edifício. Tais situações deveriam ser analisadas em edifícios cujo maior componente de consumo de E.E. ocorra com o condicionamento artificial de ar.

Tais proposições decorrem da necessidade de se conhecer as influências da vegetação em áreas contíguas ao edifício, embora já tenham sido estudadas em outras situações de referência. Para as nossas condições climáticas, tipologias de edificações, e espécimes vegetais diferentes, ainda não foram testadas estas estratégias de conservação de E.E.

Para esta finalidade necessita-se conhecer e adotar uma metodologia e equipamentos que possibilitem a intercomparação entre cada caso de simulação ou medição no local, tendo como referência a sistemática adotada nesta tese.

Considerando a extensão do território nacional e os diversos tipos de clima e de árvores nativas, pode-se estender este monitoramento ou a simulação computacional para cada uma dessas situações de referência.

A metodologia desenvolvida nesta tese, o aparato de medição construído e a simulação computacional paramétrica podem ser estendidos para aplicação em outras tipologias de construção, tais como a residencial e a comercial. Além de, determinar nestes casos, o conflito termo-luminoso com sombreamento arbóreo e de outras tipologias de paisagismo, buscando achar um ponto de equilíbrio, determinando os compromissos com a conservação de E.E.

Sob o ponto de vista das medições experimentais, abrem-se diversas possibilidades de estudo através de modelos em escala natural. Os protótipos podem ser construídos com diversas tipologias construtivas, adequadas aos diversos climas de

inúmeras localidades existentes no território nacional. Além de possibilitar comparações de desempenho termo-luminoso e consumo de E.E, com e sem tratamento paisagístico, o procedimento metodológico nestes experimentos pode ser efetuado através de monitoramento no local. Os dados assim obtidos podem ser comparados com os resultados de simulação com o programa computacional VisualDOE 2.6, ou outros similares.

Neste mesmo contexto, podem ser testadas, tanto diversas tipologias de iluminação artificial, quanto várias tipologias e dimensões de janelas ou outros componentes de iluminação natural, a fim de comparar o seu desempenho com e sem a ação do paisagismo. Convém salientar que a especialização das janelas para as funções de iluminação e ventilação naturais, além da vista exterior, são estudos futuros, sugeridos nesta Tese.

Sob o ponto de vista dos mecanismos ativos de condicionamento artificial, podem ser elaborados experimentos que avaliem os seus desempenhos, por medição no local, através do consumo de E.E. decorrente da influência de várias estratégias conservativas de paisagismo, indicadas para diversas condicionantes climáticas externas.

De uma forma mais abrangente, algumas diretrizes para novos estudos são:

- i)** Superfícies claras e árvores - as árvores resfriam o ar pelo sombreamento e pela evapo-transpiração, mas refletem apenas de 20% a 25% da radiação solar incidente. Necessitam-se mais estudos acerca da combinação ótima de superfícies claras e arborização;
- ii)** Conservação energética direta e indireta - atualmente, conhece-se o fenômeno da conservação energética devido aos efeitos diretos (sombreamento, quebra-ventos, albedo). Para os efeitos indiretos, há a necessidade de modelação físico-matemática;
- iii)** Dentre o sombreamento arbóreo, a arborização urbana, os parques, as árvores da zona rural, as árvores situadas no lote conservam mais energia no resfriamento por sombreamento das edificações, reduzem a poluição atmosférica através da absorção do CO₂ e contribuem para minimizar o fenômeno da “Ilha de Calor”, pela evapo-transpiração. Nas ruas, rodovias e parques, as árvores auxiliam a combater o fenômeno das “Ilhas de Calor”, mas a sua eficiência é a metade dos casos anteriores. Na zona rural, as árvores não

conservam energia, mas absorvem CO₂ da atmosfera. Ainda há necessidade de estudos econômicos destes tipos de árvores em vários climas, escalas espaciais e outras localidades;

- iv) Elaboração de um manual para mitigação da “Ilha de Calor” - urge a necessidade deste tipo de divulgação, para uma correta implementação de ações conservativas no consumo de energia;
- v) Demonstração e monitoramento - na seqüência, a próxima prioridade é demonstrar a efetividade econômica do efeito do sombreamento e das pinturas claras em edificações submetidas a várias condições climáticas em diversas localidades.

Finalmente, sob o ponto de vista da modelagem físico-matemático, considerando a complexidade da situação de referência, os fenômenos mais difíceis para simular, e que podem ser pesquisados futuramente, parecem ser:

- a heterogeneidade óptica característica das plantas, que inclui a fração de luz que penetra, reflete, ou é absorvida pela planta. Estes fenômenos afetam o ganho direto de radiação solar;
- o micro-clima estabelecido na área entre as superfícies do edifício e as plantas adjacentes: o sombreamento causado pela vegetação, a umidade oriunda da evapotranspiração, as pontes térmicas estabelecidas entre ela e o solo podem criar um micro-clima no entorno imediato do edifício e podem diminuir a temperatura e aumentar a umidade relativa do ar. Esses micro-climas podem forçar a diminuição das temperaturas superficiais do edifício, induzir a trocas de calor por convecção e proteger a massa térmica do edifício;
- as reduções na infiltração causadas por quebra-ventos vegetais: o paisagismo cria uma barreira ao vento e assim reduz as diferenças de pressão do ar sobre as superfícies do edifício. Efeitos específicos são determinados pela configuração do paisagismo e a velocidade e direção dos ventos.

Isto posto, depreende-se que existem inúmeras situações de referência e modelos físico-matemáticos não definidos, nem pesquisados acerca do tema desta Tese. Alguns deles foram especificados neste item e podem ser utilizados para pesquisas futuras: tanto de medição, quanto de simulação computacional e definição de modelos físicos a serem pesquisados.

Capítulo 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBARI, H. Cool Construction Materials Offer Energy Savings and Help Reduce Smog. **ASTM - Standardization News**. p. 32-37, november 1995.
- AKBARI, H. Heat Islands, White Surfaces, Urban Trees: Impact on Heating and Cooling Energy Use and the Urban Environment. In: ENHANCING ELECTRICITY'S VALUE TO SOCIETY, 1990, Toronto. **Proceedings**. Toronto: Canadian Electrical Association, 1990. p.865-882.
- AKBARI, H.; ROSENFELD, A. H.; TAHA, H. Cooling Urban Heat Islands. In: THE 4TH URBAN FORESTRY CONFERENCE, 1989, St Louis. **Proceedings**, 1989, p. 50-57.
- AKBARI, H.; BRETZ, S. E.; HANFORD, J. W.; KURN, D. M.; FISHMAN, B. L.; TAHA, H. **Monitoring Peak Power and Cooling Savings of Shade Trees and White Surfaces in the Sacramento Municipal Utility District (SMUD) Service Area: Data Analysis, Simulations, and Results**. Sacramento: LBL/UC, 146p., 1993. (Publicação LBL 34411).
- AKBARI, H.; BRETZ, S. E.; KURN, D. M.; HANFORD, J. **Peak Power and Cooling Energy Savings of High Albedo Roofs**. **Energy and Buildings**. V. 25, p. 117-126.. 1997.
- AKBARI, H.; DAVIS, S.; DORSANO, S.; HUANG, J.; WINNET, S. (Eds). **Cooling our Communities: A Guidebook on Tree Planting and Light - Colored Surfacing**. Berkeley: Lawrence Berkeley Laboratory, 1992. 219p. (Publicação LBL - 31587).

- AKBARI, H.; HUANG, J.; MARTIEN, P.; ROSENFELD, A.; TAHA, H. **The Impact of Summer Heat Island on Cooling Energy Consumption and CO₂ Emissions**. Berkeley: UC, 1988. P5.11-5.23. (Publicação LBL 25179).
- AKBARI, H.; KURN, D. M.; BRETZ, S. E.; HANFORD, J. W. Peak Power and Cooling Energy Savings of Shade Trees. **Energy and Buildings**. V, 25, p.139-148, 1997.
- AKBARI, H.; ROSENFELD, A. H. **On California's Energy Conservation Potential: Economic Savings and Air Pollution Reduction**. In: Comments for a California Hearing on 1990 Conservation Report, 1990. Sacramento: UC, 1990, 19p.
- AKBARI, H.; ROSENFELD, A. H.; TAHA, H. **Summer Heat Islands, Urban Trees, and White Surfaces**. Berkeley: UCLA, 1990, 8p. (Publicação LBL 28308).
- AKBARI, H.; ROSENFELD, A. H.; TAHA, H.; GARTLAND, L. M. **Mitigation of Summer Heat Island to Save Electricity and Reduce Smog**. Berkeley: UC, p.1-5. 1996 (Publicação LBL - 37789).
- AKBARI, H.; ROSENFELD, A. Urban Tree and White Surface for Saving Energy and Reducing Atmospheric Pollution. **Energy and Buildings** Berkeley: UC, p. 1-11, 1989.
- AKBARI, H.; ROSENFELD, A. **White Surfaces and Urban Trees for Mitigation of Summer Heat Islands: Setting up Priorities**. Berkeley: UC: LBL, p.1-9. 1989.
- AKBARI, H.; TAHA, H. The Impact of Trees and White Surfaces on Residential Heating and Cooling Energy Use in Four Canadian Cities. **Energy**. v. 17, n.1, p.141-149, 1992.

AKBARI, H.; TAHA, H.; MARTIEN, P.; ROSENFELD, A. **The Impact of Summer Heat Island on Residential Cooling Energy Consumption**. Berkeley: UC, 1987. 18p. (Publicação LBL - 24348).

AKUTSU, M.; SATO, N. M. N.; PEDROSO, N. G. **Desempenho Térmico de Edificações Habitacionais e Escolares: Manual de Procedimentos para Avaliação**. São Paulo : IPT. 74 p. (Publicação IPT 1732), 1987.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Critério para a Definição de Níveis de Desempenho Térmico de Educação. In: II. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO; ANTAC, Gramado, **Anais...** p. 69-74, 1993.

ALUCCI, M. P. **Conforto Térmico, Conforto Luminoso e Conservação de Energia Elétrica: Procedimentos para Desenvolvimento e Avaliação de Projeto de Edificações**. São Paulo : FAUUSP, 1992. 225 p. Tese (Doutorado em Arquitetura) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade de São Paulo.

ALVAREZ, A. C. A. Procedimentos para Análise e Avaliação da Iluminação em Ambientes Escolares. In: VI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Rio de Janeiro, **Anais...** p. 587-592, 1995.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE and AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal Environment Conditions for Human occupancy**. ANSI/ASHRAE 55-1981.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE AND AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal Environment Conditions for Human occupancy**. ANSI/ASHRAE 55-1992..

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Handbook of Fundamentals**. New York: ASHRAE. Cap 8. p 8.1-8.42, 1981
- ANDERSON, M. Interpreting the Fraction of Solar Radiation Available in Forest. **Agricultural Meteorology**. V.7, p.19-28, 1970.
- ARAUJO, E. H. S. de.; MARTINS, T. L. F.; ARAUJO, V. M. D, Avaliação de Desempenho Térmico dos Setores de Aulas do Câmpus da UFRN. In: III ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Gramado, **Anais...** p.293-298, 1995.
- ASSIS, E. S. Avaliação da Influência do Uso e Ocupação do Solo Urbano sobre a Formação da Ilha de Calor na Cidade de Belo Horizonte-MG. In: I ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO; ANTAC, Gramado, **Anais...** p.53-58, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 5413 - **Illuminância de Interiores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- BALDOCCHI, D.; HUTCHISON, B.; DETLEF, M.; McMILLEN, R. Seasonal Variations in the Radiation Regime within an Oak-Hickory Forest. **Agricultural and Forest Meteorology**. V.33, p.177-191, 1984.
- BALDOCHI, D.; HUTCHISON, B.; DETLEF, M.; McMILLEN, R. Seasonal Variation on the Statistics Photosynthetically Active Radiation in a Oak-Hickory Forest. **Agricultural and Forest Meteorology**. V.36, p. 343-361, 1986.
- BANSAL, N. K.; GARG, S. N.; KOTHARY, S. Effect of Exterior Surface Color on the Thermal Performance of Buildings. **Building and Environment**, V.27, n.1, p. 31-37, 1992.

- BANSAL, N. K.; GARG, S. N.; KOTHARY, S. Effect of Exterior Surface Color on the Thermal Performance of Buildings. **Building and Environment**, V. 27, n. 1, p. 31-37, 1992.
- BARBOSA, M. J. **Uma Metodologia para Especificar e Avaliar o Desempenho Térmico em Edificações Residenciais Unifamiliares**. Florianópolis: EPS:UFSC, Tese Doutorado, 189p. 1995.
- BARRIE, J.; GREATORREX-DAVIS, J. N.; PARSELL, R. J.; MARS, R. H. A Semi-Automated Method for Analyzing Hemispherical Photographs and the Assessment of Woodland Shade. **Biological Conservation**. V.54, p. 327-334., 1990.
- BERDAHL, P.; BRETZ, S. E. Preliminary Survey of the Solar Reflectance of Cool Roofing Materials. **Energy and Buildings**. V.25, p.149-158. 1997.
- BERDAHL, P.; BRETZ, S. **Spectral Solar Reflectance of Various Roof Materials**. In: COOL BUILDING AND PAVING MATERIALS WORKSHOP, 1994, Ghathersburg. **Proceedings** n. p. 11p., 1994.
- BERNATZKY, A. The Contribution of Trees and Green Spaces to a Town Climate. **Energy and Buildings**. V.5, p. 1-10, 1982
- BITAN, A. The Methodology of Applied Climatology in Planning and Building. **Energy and Buildings**. V.11, p. 1-10, 1988.
- BOEMECKE, A. M. da S.; ARRUDA, A. L. V.; SCHULLER, A.; SABALSAGARAY, B. S.; POUHEY, M. T.; SCHIMITT, N. I. M. Análise de Desempenho Térmico de Protótipo Escolar em Argamassa Armada. In: III ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Gramado, **Anais...** p.287-292, 1995.

- BOGO, A. **Análise do Desempenho Térmico e Verificação do Potencial de uso da Iluminação Natural para Edificações Escolares**. Florianópolis: UFSC, 1996. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.
- BOGO, A.; PIETROBON, C. E.; BARBOSA, M. J.; GOULART, S.; PITTA, T. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico**. Florianópolis: NPC: UFSC, 1994. 80p.
- BRETZ, S. E.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A. **Practical Issues for Using Solar-Reflective Materials to Mitigation Urban Heat Island**. Berkeley: LBL: UC, p.1-17, January 1997. (Publicação LBL-38170).
- BRETZ, S. E.; AKBARI, H. Long - Term Performance of High - Albedo Roof Coating. **Energy and Buildings**. V25, p. 159-167. 1997.
- BUENO, C. L.; LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F. Caracterização das Espécies Arbóreas e sua Contribuição para o Conforto Térmico Urbano do Sub-Distrito de Barão Geraldo, Campinas. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Salvador, **Anais...** p.93-96, 1997.
- CANTÓN, M. A. **Quantification del Efecto de Arbolado en Tramas Urbanas- Primeiros Resultados de la Aplicación de un Modelo de Calculo Analitico - Computacional**. Mendoza; LAVHV: CRICYT, 9p., 1995. (Comunicação Privada).
- CANTÓN, M. A.; CORTEGOSO, J. L.; ROSA, C. de Solar Permeability of Urban Trees in Cities of Western Argentina. **Energy and Buildings**. V.20, p.210-230, 1994.
- CARVALHO, M. L. A. M. Análise Topo e Microclimática do Sítio de Projeto. In: I ENCONTRO DE PROFESSORES DE CONFORTO AMBIENTAL - NE. João Pessoa: UFPA, **Anais...**, p.10-17, 1992.

- CARVALHO, M. L. A. M. de Impacto do Ambiente Construído sobre o Clima. In: II ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Florianópolis, **Anais...**p.233-238, 1993.
- CERUTTI, A. C. de. **Bloqueo de la Radiacion Solar através de la Copa de Especies Caducifolias**. Mendoza: Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda: Centro Regional de Investigaciones Cientificas y Tecnológicas, 5p., 1995. (Comunicação Privada).
- CHEN, A. site <http://www.@.LBL.gov>
- CORBELLA, O. D.; YANNAS, S. Posto 3 Copacabana Rio de Janeiro. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Salvador, **Anais...** p. 118-123, 1997.
- DeWALLE, D. R Manipulating Urban Vegetation for Residential Energy Conservation. In: NATIONAL URBAN FORESTRY CONFERENCE. **Proceedings...**, v.1, p.267-283, 1980.
- DeWALLE, D. R.; HEISLER, G. M. Windbreaks Effects on Air Infiltration and Space Heating in a Mobile Home. **Energy and Buildings**. v.5, p.279-288, 1983.
- DUARTE, D. H. S. A Reposição do Verde em Áreas Urbanas: Desmistificação e Proposição de Alternativas para o Caso de Cuiabá. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO : ANTAC, Salvador, **Anais...** p.87-92, 1997.
- ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO EPUSP. **Anais do Simpósio Nacional de Conservação de Energia nas Edificações**, 199p, 1989

- EVANS, B. H. **Energy Conservation with Natural Air Through Windows.** Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University. p.64-650, 1994. (Relatório Interno DE-79-5 n.2).
- EVANS, B. H. **Energy Conservation with Natural Air Flow Trough Windows.** Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, p.641-650, n.2, 1989 (Publicação DE-79-5).
- FANGER, P. O. **Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering.** New York, McGraw-Hill: 244p. 1972.
- FEDERER, C.A. Solar Radiation Absorption by Leafless Hardwood Forests. **Agricultural Meteorology.** V.9, p.3-20, 1971/1972.
- FERRI, M. G.; MENEZES, N. L. de; MONTEIRO, W. R. **Glossário Ilustrado de Botânica.** São Paulo: Nobel, 197p., 1981.
- FEUSTEL, H.; ALMEIDA, A. de; BLUMSTEN, C. Alternatives to compressor cooling in residences. **Energy Buildings**, v. 18, p.269-286, 1992.
- FITCH, J. M. American Building: **The Environmental Forces that shape it.** 2 ed. v.2, New York, Schoken Books. 349p.1972.
- FONTES, M. S. G. de C.; MATTOS, A. Investigação Climática em Áreas de Fundo de Vale, na Cidade de São Carlos/ SP. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO; ANTAC, Salvador, **Anais...** p. 81-86, 1997.
- FROTA, A. B. **Conforto Termo-higrométrico, Homem e Ambiente.** São Paulo: FAUUSP. 69 p. 1979. (mimeo).

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 2 ed. São Paulo: Nobel, 243 p. 1995

FUNDAÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. **Vegetação e Paisagismo: Especificações da Edificação Escolar de Primeiro Grau**. São Paulo: FDE, 143p. 1990.

FUNDO DE CONSTRUÇÃO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - FUNUSP. **Procedimentos Gerais de Projeto**. São Paulo USP. 187p, 1991.

GAMA, R. **Glossário**. São Paulo: FAUUSP, 180p., 1982.

GANDEMER J.; GUYOT, A. **La Protection Contre le Vent.: aerodynamic des brise-vent et conseils pratiques**. Paris: CSTB, 130 p. 1981B.

GANDEMER, J.; GUYOT, A. **Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bati**. Paris: CSTB 132p, 1981A

GARDENER, J.; SYDNOR, T. D. Preliminary Studies in Photographic Determination of Tree Shade Capacities. **Hort Science**. V.22, n.1, p. 145- 148, 1987.

GARDENER; J.; SYDNOR, T. D. Interception of Summer and Winter Insulation by Five Shade Tree Species. **Journal of American Society of Horticultural Science**. V.4, n.109, p. 448-450, 1984.

GAY, L. W.; KNOERR, K. R.; BRATEN, M. O. Solar Radiation on Floor of a Pine Plantation. **Agricultural Meteorology**. V.8, p. 39-50, 1977.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma Metodologia para Retrofit em Sistemas de Iluminação: Estudo de Caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. Florianópolis: UFSC, Dissertação de Mestrado: ECV, 246p, 1997.

GIVONI, B. Impact of Planted Areas on Urban Environmental Quality: A Review. **Atmospheric Environment**. London: V.25H, n.1, p. 289-299, 1991.

GOULART, S.; BARBOSA, M. J.; PIETROBON, C. E.; BOGO, A.; PITTA, T.; **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico**. Relatório Interno n. 02/94, Núcleo de Pesquisa em Construção, UFSC, Florianópolis, SC, 1994.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliações Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. Florianópolis: NPC/UFSC, 345p. 1997.

GRAEFF, E. **O Edifício**. São Paulo: Projeto; 1980.

GREY, G. W. ; DENEKE, F. **Urban Forestry**, New York: Wiley, 1978.

HACKENBERG, A. M.; MATTOS, A. Diferenças Climáticas na Cidade de Joinville. In: II ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Florianópolis, **Anais...** p.217-226, 1993.

HALVORSON, J. **Vine Canopy Effects on Wall Surface Temperature and Energy Fluxes**. Pullman: Washington, 1994. Master Thesis, Washington State University.

HARAZONO, Y.; TERAOKA, S.; NAKASE, I.; IKEDA, H. Effects of Rooftop Vegetation Using Artificial Substrates on Urban Climate and the Thermal Load of Buildings. **Energy and Buildings** v.15, n.16, p.435-442, 1990/1991.

HEISLER, G. M. Trees Modify Metropolitan Climate and Noise. **Journal of Arboriculture**, v.3, p.201-207, 1977.

HOLM, D. Thermal Improvement by Means of Leaf Cover on External Walls: A Simulation Model. **Energy and Buildings**. v. 14, p. 19-30, 1989.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação Natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 776p., 1975.

HOYANO, A. Climatological Uses of Plants for Solar Control and Effects on the Thermal Environment of a Building. **Energy and Buildings**, n.11, p.181-189, 1988.

HUANG, J.; DAVIS, S.; AKBARI, H. **A Guide-Book for the Control of Summer Heat Islands**. Berkeley: UCLA, 1990. 11p. (Publicação LBL - 29224).

HUANG, Y. J.; AKBARI, H.; TAHA, H. The Wind-Shielding and Shading Effects of Trees on Residential Heating and Cooling Requirements. Berkeley: UC, 24p., 1990. (Publicação LBL-24131).

HUANG, Y. J.; AKBARI, H.; TAHA, H.; ROSENFELD, A. The Potential of Vegetation in Reducing Summer Cooling Loads in Residential Buildings. **Journal of Climate and Applied Meteorology**. v.26, p. 1203-1116, 1987.

HUTCHISON, B. A.; MATT, D. R. The Distribution of Solar Radiation within a Deciduous Forest. **Ecological Monographs**, V.47, p. 185-207, 1977.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas Climáticas Básicas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 38p. 1978.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Guidance on the Preparation of standards in Building**. London: ISO, 1970. (Draft Proposal - ISO/DP 6241).

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION - ISO 7726 - 1985 (E). **Thermal Environment Instruments and Methods for Measuring Physical Quantities**. TC 159. GENEVA: ISO, 41p. 1985.

- INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION- ISO 7730 - 1984 - E.
Moderate Thermal environments - Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort. GENEVA : ISO, 19P. 1984.
- JABARDO, J. M. S. **Conforto Térmico.** São Paulo: IPT. 21p. 1984 (Comunicação Técnica n.348)
- JANUZZI, G. M.; SCHIPPER, L. **The Structure of Electricity in the Brazilian Household Sector.** In: Energy Policy. Butterworth-Heinemann, November 1991, p.879-891.
- KEEBLE, E. J.; COLLINS, M. REYSER, J. The Potential of Land-use and Development Control to Help Achieved Favorable Microclimates around Buildings: an European Review. **Energy and Buildings.** v. 15-16, p. 823-836, 1990/91.
- KEMPTON, W.; LUTZENHEIZER, L. Introduction. **Energy and Buildings,** V.18, p. 171-176,1992.
- KUSUDA, T NBSLD: **The Computer Program for Heating and Cooling Loads in Buildings.** Washington: National Bureau of Standards. 393p. (Building Science Series, n.69)
- LAKSO, A. N. Characterizing Apple Tree Canopies by Fisheye Photography. **Horticulture Science.** V.11, n.4, p.404-405, 1976.
- LAMBERTS, R. **Eficiência Energética em Edificações Usando Simulação - PROCEL:** UFSC, Rio de Janeiro, 57p, 1996 (minicurso).
- LAMBERTS, R. Electricity Efficiency in Commercial and Public Buildings, **Energy Initiative,** v.2, n.6, p.49-52, 1996.

- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 192p. 1997.
- LAMBERTS, R.; LOMARDO, L. L. B.; AGUIAR, J. C.; THOMÉ, M. R. V. **Eficiência Energética em Edificações : Estado da Arte**. Rio de Janeiro: PROCEL, 1996.
- LAUMANNNS, H. Planning of New Settlements and Climate. **Energy and Buildings**. V.4, p. 77-83, 1982.
- LIM, B. B. P. Energy Conservation in Buildings and the Indoor Environment: A Review. **Architectural Science Review**. V. 26, n. 1, p. 6-12, 1983.
- LITTLEFAIR, P. J. **Predicting Hourly Internal Daylight Illuminances for Dynamic Building Energy Modeling**. London: BRE, 1989. 43p. (Technical Note 8911).
- LIU, B. H. Y.; JORDAN, R. C. The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation. **Solar Energy**, v.5, n.3, p.1-19, 1960.
- LOFTNESS, V.; MILL, P. Evaluation of Energy and Passive Solar Performance must be Set within Total Building Performance Criteria. In: THE 10th TRIENNIAL CONGRESS... CIB, Washington DC, **Proceedings.**, p. 3260-3269, 1986.
- LOMBARDO, M. A. **A Ilha de Calor na Metrópole**. São Paulo: HUCITEC, 182 P 1985.
- LOMBARDO, M. A. O Clima e a Cidade. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Salvador, **Anais...** p. 59-62, 1997.
- LOVE, J. A.; NAVAB, M. The Vertical-to-Horizontal Illuminance Ratio: A New Indicator of Daylighting Performance. **Journal of the Illuminating Engineering Society**. V.23, n.2, p.50-61, 1993.

- MAHAJAN, K. C.; SRIVASTAVA, P. K. Impact of Maternal Substitution in Unit Packaging on Energy and Other Resources. **Energy Management**. p. 13-18. July/Sept-1991.
- MAKHZOUMI, J.; JAFF, A. Application of Trellises in Retrofitting Buildings in Hot Dry Climates. In: III INTERNATIONAL CONFERENCE ON BUILDING ENERGY MANAGEMENT, Lausanne: École Polytechnique Federale de Lausanne. **Proceedings...** 1987.
- MANTTINGLY, G. E.; HARRJE, D. T.; HEISLER G. M. **The Effectiveness of an Evergreen Windbreak for Reducing Residential Energy Consumption**. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University. n.2, p. 428-44, 1979. (Publicação DE-79-1).
- MASCARÓ, L. Morfologia Urbana e Ambiência dos Edifícios. In: II ENCONTRO DE PROFESSORES DE CONFORTO AMBIENTAL - NE. João Pessoa: UFPA, **Anais...** p.45-55, 1994.
- MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. E.; BRUGALLI, T. A.; PADILHA, M. V. M. Consumo Energético de Edifícios Universitários: O caso da UFRGS. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Salvador, **Anais...** p.359-363, 1997.
- MASCARÓ, L. **Ambiência Urbana**. Porto Alegre: Sagra: DC Luzzato, 199 p. 1996.
- MASCARÓ, L. E. R. de; MASCARÓ, J. L.; DEXHEIMER, L.; GIMENES, V. L.; ANDRADE, F. A. F.; DUTRA, G. das N. A.; PADILHA, M. V. M.; ANZOLCH, R. Consumo Energético dos Edifícios Universitários e seu Desempenho visando o seu uso Racional: O Caso da UFRGS, In: III ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Gramado, **Anais...** p 771, 1995.

- MATTINGLY, G. E.; HARRJE, D. T.; HEISLER, G. M. **The Effectiveness of an Evergreen Windbreak for Reducing Residential Energy Consumption.** Berkeley: UC, p.428-444, 1994. (Relatório Interno: D-E-79-1):
- McPHERSON, E. G. ; HERRINGTON, L. P.; HEISLER, G. M. Impacts of Vegetation on Residential Heating and Cooling. **Energy and Buildings.** v.12, p.41-51, 1988.
- McPHERSON, E. G. Functions of Buffer Plantings in Urban Environments. **Agriculture, Ecosystems and Environments.** V. 22/23, p. 281-298,1988.
- McPHERSON, E. G.; ROWNTREE, R. A. Geometric Solids for Simulation of Tree Crowns. **Landscaping and Urban Planning.** V.15, p. 79-83, 1988.
- McPHERSON, E. G.; SIMPSON, J. R.; LIVINGSTON, M. Effects of three Landscaping Treatments on Residential Energy and Water Use, In: Tucson Arizona. **Energy and Buildings.** V.13, p.127-138, 1989.
- McPHERSON, E.; HERRINGTON, L.; HEISLER, G. Impacts of Vegetation on Residential Heating and cooling. **Energy and Buildings** v.12, p.41-51, 1988.
- McPHERSON, E.; SIMPSON, J.; LIVINGSTON, M. Effects of Three Landscaping on Residential Energy and Water Use in Tucson-Arizona. **Energy and Building,** v.13, p.127-138, 1989.
- MEIER, A. FRISEN, J. Strategic Planting. **Energy Auditor and Retrofitter.** v. 4, n.4, p. 6-12, July/ August 1987.
- MEIER, A. K. Measured Cooling Savings from Vegetative Landscaping. In: VINE, E.; CRAWLLEY, D.; CENTOELELA, P. (Eds). **Energy Efficiency and the Environment: Forging the Link.** Washington: ACEE,. 417 p.1991, p.321-334.

- MILANO, M. S. **Avaliação Quali-Quantitativa e Manejo da Arborização Urbana: Exemplo de Maringá-Pr.** Curitiba: UFPR, 1988. 120p. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal; Universidade Federal do Paraná.
- MILLER, J. G. Living Systems: Basic Concepts. **Behavioral Science**, v.10, p.193-237, 1965.
- MINISTÉRIO DAS MINAS DE ENERGIA. **Balço Energético Nacional**, Brasília, 1992.
- MOFFAT, N. S. **Energy and Environmental Landscaping**, AFCESA: MAJCOM, 1995.
- MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. 181p.. Tese de Livre Docência, 1976.
- MYNENI, R. B.; IMPENS,I. A Procedural Approach for Studying the Radiation Regime of Infinite and Truncated Foliage Spaces. **Agricultural and Forest Meteorology**. V.33, p.323-337, 1985.
- NAYAK, J. K.; SRIVASTAVA, A.; SINGH, U.; SODHA, M. S. The Relative Performance of Different Approaches to the Passive Cooling of Roofs. **Building and Environment**. V.17, n.2, p.145-161, 1982.
- NERY, J.; FREIRE, T.; CARVALHO, M. L. C.; FREIRE, M.; ANDRADE, T.; AEVEDO, H.; PIZZARO, E. Primeira Aproximação para Estudo de Clima Urbano em Salvador. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Salvador, **Anais..** p. 124-128, 1997.
- OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Meuthuen, 208 p. 1978.

- OLGYAY, V.; OLGAY, A. **Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. Princeton, University Press, 190p. 1963.
- OLIVEIRA, P. M. P. **A Cidade Apropriada ao Clima: a Forma Urbana como Instrumento de Controle do Clima Urbano**. Brasília: Departamento de Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. 134p. Dissertação de Mestrado, 1985.
- PARKER, D. S.; STEPHEN Jr, F. B. Roof Solar Reflectance and Cooling Energy Use: Field Research Results from Florida. **Energy and Buildings**. v.25, p.105-115.. 1997.
- PARKER, J. H. Landscaping to Reduce the Energy Used in Cooling Buildings. **Journal of Forestry**. p.82-84, 1983.
- PARKER, J. H. Research. **Landscape Architecture**. p. 89-90, 1982.
- PARKER, J. H. **The Impact of Vegetation on Air Conditioning, Consumption, LBL: UC, Berkeley** p. 46-52, 1989. (Relatório Interno LBL 27872).
- PARKER, J. H. The use of Shrubs in Conservation Plantings. **Landscape Journal** v.6, p.132-139, 1987.
- PARKER, J. H. **Uses of Landscaping for Energy Conservation**. Miami: Department of Physical Science: Florida International University, 17p. January, 1981.
- PEDROSO, N. G. Clima, Meio Ambiente e Edificação. São Paulo: **A Construção: Região São Paulo**. Edição Especial. v.3, p.73-76, 1986.
- PEREIRA, F. O. R. **Iluminação Natural no Ambiente Construído**. Gramado, In: III ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, 57p, 1995 (Minicurso).

PEREIRA, F. U. R.; CLARO, A. **Controle da Obstrução Solar e Abóbada Celeste.** UFSC; Porto Alegre, 66p. 1993. (Relatório Interno).

PIETROBON, C. E. **Um Processo Sistemático para o Projeto Arquitetônico Bioclimático: O Caso de Maringá-PR.** São Carlos: EESC: USP, 1990. v.2. Dissertação de Mestrado.(Tecnologia da Arquitetura).Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos.

PIETROBON, C. E.; LAMBERTS.; PEREIRA, F. O. R, Simulação Computacional do Consumo Elétrico Final em Edificações Escolares Climatizadas e suas variações com elementos Arquitetônicos e Paisagísticos de proteção Solar. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Salvador, **Anais...**, p.364-370, 1997 A.

PIETROBON, C. E.; LAMBERTS.; PEREIRA, F. O. R, Luz e Calor em Ambiente Construído Escolar não Climatizado e o Sombreamento Arbóreo: ou Compromisso com a Conservação de Energia. In: I ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS: ANTAC, Canela, **Anais...**, p.189-195, 1997.

PIETROBON, C. E.; TOLEDO, L. M. A. de; BARBOSA, M. J. **Proposta de Metodologia para Avaliar o Perfil de Consumo de Energia Elétrica em Edificações.** Florianópolis: NPC/UFSC, 1994, 67p. (Trabalho apresentado ao NPC-UFSC)

POUEY, M. T. F.; SATTLER, M. A.; SCHNEIDER, P. S. Coberturas Verdes: Análise de Desempenho Térmico. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Florianópolis: ANTAC: UFSC, **Anais...**p.473-481, 1998.

- REAGAN, J. A.; ACKLAM, D. M. Solar Reflectivity of Common Building Materials and its Influence on the Roof Heat Gain of Typical Southwestern U.S.A. Residences. **Energy and Buildings**. V.2, p. 237-2488, 1979.
- REIFSNYDER, W. E.; FURNIVAL, G. M.; HOROWITZ, J. L. Spatial and Temporal Distribution of Solar Radiation Beneath Forest Canopies. **Agricultural Meteorology**. V.9, p. 21-37, 1971/1972.
- ROBINETTE, G. **Plant, People and Environmental Quality**. Washington, D: Department of the Interior: National Park Service, 186 p. 1972.
- ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. Brasília: Departamento de Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. 134p. Dissertação de Mestrado, 1985.
- ROMÉRO, M. de A. **Método de Avaliação do Potencial de Conservação de Energia Elétrica em Campi Universitários: O Caso da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira**. São Paulo: FAUUSP, 1994. V.1. Tese de Doutorado (Estruturas Ambientais Urbanas). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura - Universidade de São Paulo.
- RORIZ, M.; BASSO, A. **ARQUITROP: Manual do Usuário**. São Carlos: UFSCAr. 37 p.1991
- ROSA, C. de A.; PATTINI, A. E.; BASO, M.; FERNANDES, J. C.; MITCHEL, J. Ambiente Termo-luminico en Escuelas Primárias de Oeste Argentino, Realidad Actual y Oportunidades de mejoramento: Analisis de un caso Tipico. In: III ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Gramado, **Anais...** p 487-492, 1995.

- ROSENFELD, A. H.; AKBARI, H.; BRETZ, S.; FISHMAN, B. R.; KURN, D. M.; SAILOR, D.; TAHA, H. Mitigation of Urban Heat Islands: Materials, Utility Programs, Updates. **Energy and Buildings**. v22, p.255-260, 1995.
- ROSENFELD, A. H.; ROMM, J. J.; AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. G. **Policies to reduce Heat Islands: Magnitudes of Benefits and Incentives to Achieve Them**. Berkeley: UC, p. 1-14, 1996. (Publicação LBL-38679).
- ROSENFELD, A. H.; ROMM, J.; AKBARI, H.; POMERANTZ, M. **Heat Island Mitigation: Magnitudes of Benefits and Discussion of Sponsors**. Berkeley: UC, p. 1-25. 1996. (Publicação LBL-38667).
- ROSENFELD, E.; DISCOLI, C.; SAN JUAN, G.; CZAJKOSKY, F.; FERREYRO, C. Mejoramiento de La Eficiencia Energetica y Habitabilidad de dos Edificios Escolares. In: III ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Gramado, **Anais...** p.433-438, 1995.
- SALMINEN, R.; NILSON, T.; HARI, P.; KAIPAINEN, L.; ROSS, J. A Comparison of Different Methods for Measuring the Canopy Light Regime. **Journal of Applied Ecology**. V.20, p.897-904, 1983.
- SAN JUAN, G. A.; ROSENFELD, E. El Diseño Bioclimático de Edificios de uso Descontínuo in Educacion. In: III ENCONTRO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Gramado: ANTAC, **Anais...** p. 365-370, 1995.
- SANTANA, A. M. S. ; LOMBARDO, M. de O Desenho e a Climatologia em Fortaleza. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Salvador, **Anais...** p.140-146, 1997.
- SANTOS, J. W. M. C.; RIBEIRO. A. G. A. A Definição de Ambientes Microclimáticos na Cidade de Maringá-PR. In: III ENESMA. Londrina: UEL, **Anais...**, p.553-560. 1991.

- SANTOS, J. W. M. C.; TARIFA, J. R. O Clima Urbano de Maringá-PR: Investigações Preliminares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGICA GEOGRÁFICA. Rio Claro: UNESP: IBGE, **Anais...**, p.38. 1992.
- SATTLER, M. A. **Computer-Based Techniques for the Thermal Analysis of Low Cost Housing in Brazil, Incorporating the use of Shading by Trees**. Sheffield: University of Sheffield, 1987. V.1, 95p. Thesis (Faculty of Architectural Science) Department of Building Science, University of Sheffield.
- SATTLER, M. A., Medições de Campo da Transmissão de Radiação Solar Através de Árvores. In: II ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1993. Florianópolis: ANTAC/UFSC. **Anais**. p.93-96, 1993.
- SCARAZZATO, P. S. **Investigação Sobre Critérios para Determinação e Medição dos Níveis de Conforto Térmico**. São Paulo: USP, 1988. 163p. Dissertação (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo: FAUUSP).
- SILVA, A. C. S. B.; GIRALT, R. P. Determinação do Nível Ofuscante para o Protótipo da Escola Felipe de Oliveira. In: III ENCONTRO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Gramado: ANTAC, **Anais...** p.559-564, 1995.
- SIMPSON, J. R. McPHERSON, E. G. The Effects of Roof Albedo Modification on Cooling Loads of Scale Model Residences in Tucson - Arizona. **Energy and Buildings**. v.25, p.127-137. 1997.
- SIMPSON, J. R. Simulating Effects of Turf Landscaping on Building Energy Use. In: VINE, E.; CRAWLEY, D.; CENTOELELA, P. (Eds). **Energy Efficiency and the Environment: Forging the Link**. Washington: ACEE, 417p. p. 335-347, 1991.
- SOUZA, L. C. L. de Identificação de Ilhas de Calor através da Interpretação de Imagem de Satélite. In: II ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Florianópolis **Anais...** p.227-232, 1993.

- SOUZA, L. C. L. de.; MATTOS, A. Ilha de calor e Geometria Urbana na Cidade São Carlos/SP. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Salvador, **Anais...** p.97-101, 1997.
- SOUZA, M. B. de S. **Impacto da Luz Natural no Consumo de Energia Elétrica em um Edifício de Escritórios em Florianópolis**. Florianópolis: UFSC, 1995. 191p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- SOUZA, R.; MITIDIERI FILHO, V. Avaliação do Desempenho de Sistemas Construtivos Destinados à Habitação Popular: Conceituação e Metodologia. **A Construção: Região São Paulo**, Edição Especial V.3, p.59-62, 1986.
- STATHOPOULOS, T.; CHIOVITTI, D.; DODARO, L. Wind Shielding of Trees on Low Buildings. **Building and Environment**, v. 29, n.2, p.141-150, 1994.
- SUMAN, B. M. ; SAXENA, B. K. Role of Roof Treatment in Thermal Design of Buildings. **Architectural Science Review**. v. 35, p. 111-114, 1992.
- TAHA, H. Modeling Impacts of Increased Urban Vegetation on Ozone Air Quality in the South Coast Air Basin. **Atmospheric Environment**. v.30, n.20, p.3423-3430. 1996.
- TAHA, H. T.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A. **Vegetation Canopy Micro-Climates: A Field Project in Davis, California**: LBL, 1989 (Relatório Interno LBL 24593).
- TAHA, H.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A.; HUANG, J. Residential Cooling Loads and the Urban Heat Island: The Effects of Albedo. **Building and Environment**. V.23, n.4, p. 271-283, 1988.

- TAHA, H.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A. Heat Island and Oasis Effect of Vegetable Canopies: Micro-Meteorological Field-Measurements. **Theoretical Applied Climatology**. V.44, p.1233-138, 1991.
- TBL-TABLECURVE: **Curve Fitting Software** . Jandel Scientific, 1993.
- TERJUNG, W. H.; LOVE, S. S. F. Potential Solar Radiation on Plant Shapes. **International Journal of Biometeorology**. V.16, n.1, p. 25-43, 1972.
- TOLEDO, L. M. A. de. **Uso de Energia Elétrica em Edifícios Públicos e Comerciais de Florianópolis**. Florianópolis: UFSC, 1995. 121p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- TORRANCE, V. B. Buildings as Climate Modifiers. **Energy and Buildings**. v.15-16, p. 907-913, 1990/91.
- TREGENZA, P. R. The Daylight Factor and Actual Illuminance Ratios. **Lighting, Research and Technology**. V.12, n.2, p.64-68, 1980.
- VILLAS BOAS, M. **Índices de Conforto Térmico**. In: Curso de Especialização por Tutoria a Distância: Controle do Ambiente em Arquitetura. Módulo 10. Brasília : CAPES ,1983. p.5-9 (mimeo).
- WAGAR, J. A. Using Vegetation to Control Sunlight and shade on Windows. **Landscape Journal**. v.3, n.1, p.24-35, 1984.
- WAGAR, J. A.; HEISLER, G. M. Rating Winter Crown Density of Deciduous Trees: A Photographic Procedure. **Landscape Journal**. V.5; n.1, p.9-19, 1986.
- WATSON, D. **Energy Conservation through Building Design**. New York: McGraw-Hill, 305 p. 1978.

- WATSON, D., LABS, K. **Climatic Design: Energy Efficient Building: Principles and Practices**, New York: McGraw Hill, 1983.
- WEIGARTNER, G. dos S. **Análise do Efeito Termo-luminoso do Sombreamento da Arborização Urbana de Porto Alegre-RS**. Porto Alegre: UFRS, 1984. Dissertação de Mestrado em Arquitetura: Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 182p., 1994.
- WHITFIELD, D. W. A.; MEHLENBACHER, L. A., LABINE, C. Solar Radiation Attenuation in a Hillside Jack Pine Forest. **Canadian Journal of Botany**. V.60, p.1913-1922, 1982.
- WILKINSON, D. M. Can Photographic Methods be Used for Measuring the Light Attenuation Characteristics of Trees in Leaf? **Landscape and Urban Planning**. V.20, p.347-349, 1991.
- WILKINSON, D. M.; YATES, D.; Mc DENNAN; G. T. Light Attenuation Characteristics of Seven Common British Trees. **Arboricultural Journal**. V.15, p. 37-44, 1991.
- WILMERS, F. Effects of Vegetation on Urban Climate and Buildings. **Energy and Buildings**. v.15-16, p.507-514, 1990/91.
- WILMERS, F. Green for Melioration of Urban Climate. **Energy and Buildings**. V.11, p. 289-299, 1988.
- YANNAS, S. Education Buildings in Europe. In: III ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ANTAC, Gramado, **Anais...** p, 49-69, 1995.
- YATES, D.; McKENNAN, G. Solar Architecture and Light Attenuation by Trees: Conflict or Compromise? **Arboricultural Journal**. V.13, p.7-16. 1989.

ZANETTO, J. The Location and Selection of Trees for Solar Neighborhoods. *Landscape Architecture*. p. 514-519, 1978.