

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO CONSUMO ELÉTRICO FINAL EM EDIFÍCIOS ESCOLARES CLIMATIZADOS E SUAS VARIAÇÕES COM ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS E PAISAGÍSTICOS DE PROTEÇÃO SOLAR

Cláudio Emanuel Pietrobon, M.Arq. (DEC/UEM).
Roberto Lamberts, PhD (NPC/UFSC)
Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD (LABCON/UFSC)
Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Engenharia Civil
Av. Colombo, 5790 - Bloco 12 - Câmpus Universitário
CEP 87020-900 MARINGÁ - PR - BR
Fone: (044) 261-4322 FAX: (044) 222-27-54
Email: carmen@cybertelecom.com.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta a simulação computacional do consumo final de energia elétrica em prédios escolares condicionados com proteções solares arquitetônicas e paisagísticas por árvores, utilizando-se o *software* visualDOE 2.5 e o *TRY-Test Reference Year* elaborado para a cidade de Maringá. Apresenta, ainda, instrumentação alternativa para a obtenção do índice de transparência mensal durante 12 meses, das árvores: Flamboyant, Ipê Amarelo, Ipê Roxo e Sibipiruna. A transparência das árvores foi obtida por medição da luminância anterior e posterior às árvores com o aparato desenvolvido. Baseia-se em um exame de caso para algumas salas de aula da Universidade Estadual de Maringá-PR, por medições *in loco* e simulação computacional.

ABSTRACT

This work presents the end use of electric energy consumption, by computer simulation, in conditioned school buildings with architectonic and landscaping protections by trees against solar radiation. It uses the software visualDOE 2.5 and the TRY-Test Reference Year, that was made for the town of Maringá-PR-BR. Also, it presents an alternative instrumentation, made to obtain monthly transparence index during 12 months, of the following trees: *Delonix regia*, *Tabebuia crysotrica*, *Tabebuia avellanadae* and *Caesalpinea peltophoroides*. it is a case examination for classrooms of the State University of Maringá-PR-BR, by *in loco* experimentation and computer simulation.

INTRODUÇÃO

As simulações computacionais de consumo energético mais recomendadas são as efetuadas com dados horários de elementos climatológicos, durante o período de um ano. O desenvolvimento de *softwares* com diversas modelações físico-matemáticas tem sido constante desde a crise do petróleo na década de 70. Os *softwares* deste tipo mais usuais são : DOE2.1E, BLAST, ESP-r e TRANSYS. O *software* visualDOE 2.5 é uma versão comercial do DOE2.1E para PC's, com *interface* mais amigável com o usuário . Foi programado em linguagem visualBASIC, através do método dos fatores de resposta térmica.

O presente exame de caso trata-se de edifícios de salas de aula da UEM, situadas em Maringá-PR, e a análise restringe-se a cada sala de aula individualmente. A BD de elementos de clima é horária e composta para a obtenção do TRY- *TEST REFERENCE YEAR* conforme a ASHRAE (1985). Analisa-se a variação do consumo de energia elétrica com amostra de 4 edifícios em sistemas construtivos diversos, nos quais se adotaram como estratégias de proteção solar : Beirais (0,70m) no bloco M05 e (1,85m) nos blocos E34 e E46, tratamento com cor branca no telhamento e arborização com quatro essências, a saber, Flamboyant, Sibipiruna, Ipê Amarelo e Ipê Roxo. Propõe-se um método experimental alternativo para a obtenção do índice de transparência das árvores citadas na amostra, medidas mensalmente pela luminância em um período consecutivo de 12 meses. Os resultados de tal tipo de exame de caso, obtidos da bibliografia, indicam uma substancial economia energética para os países do hemisfério norte, devido principalmente ao sistema construtivo e à grande obstrução paisagística. Pretende-se, com o presente artigo obter dados comparativos para a nossa realidade de ambiente construído e tipologias construtivas convencionais em nosso país, além de determinar quantitativamente dados para as árvores mais comuns no câmpus universitário da UEM. A medição executou-se *in loco* , por instrumentação alternativa e simplificada, pela medição da luminância, nas posições anterior e posterior a um exemplar de cada árvore. Os resultados obtidos na conservação energética são menores que os encontrados na bibliografia devido principalmente aos sistemas construtivos mais leves nas edificações estrangeiras e à vasta proteção paisagística.. No caso do tratamento branco no telhamento, os resultados são mais significativos em média, por se tratarem de edifícios térreos ou por situarem-se no último pavimento, em relação às outras estratégias, para os edifícios do presente exame de caso.

BREVE REVISÃO DA LITERATURA

No *Review paper* de MEIER (1991), apresentam-se os trabalhos de PARKER, HOYANO, McPHERSON, HORAZONO e HALVORSON, cujas metodologias de experimentação são diferentes, o que impossibilita uma intercomparação mais robusta dos resultados. Apresentam-se graficamente esses resultados na figura 2.1, onde se mostra 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 Pensilvania Central com clima Temperado, atingindo o valor de redução de 80%. Para as localidades de "Miami e Palm Beach", de clima Quente e Úmido, com a aplicação de árvores e arbustos na primeira cidade apresentam-se os valores de 58% e 24% em diferentes monitoramentos. Para a segunda localidade, também com clima Quente e Úmido atinge-se o valor de redução de 34%. E no clima desértico de "Tucson" com a aplicação de arbustos e gramado, chega-se aos respectivos valores de 27% e 25%. Estes dados foram obtidos de medições *in loco*.

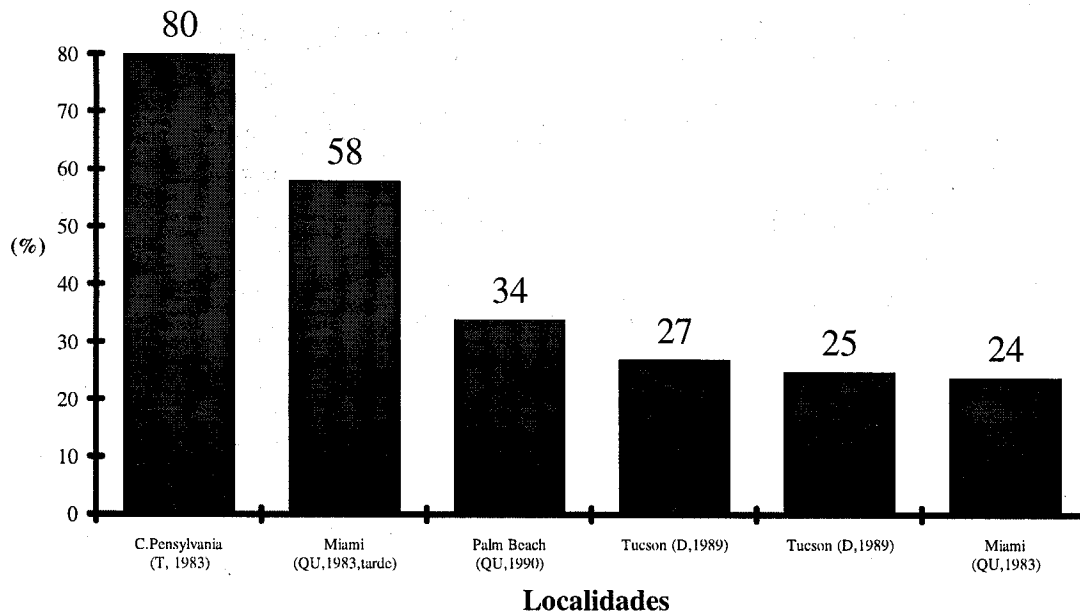


FIGURA 2.1 Economia de Energia Elétrica na Operação de Ar Condicionado

Onde:

Central Pensylvania (Temperado, 1983): floresta-80%;

Miami (Quente Úmido, 1983, tarde): arbustos e árvores-58%;

Palm Beach (Quente Úmido, 1990): arbustos e árvores-34%;

Tucson (Desértico, 1989): arbustos-27%;

Tucson (Desértico, 1989): gramado-25%;

Miami (Quente Úmido, 1983): arbustos e árvores-24%.

MATERIAIS , MÉTODOS E RESULTADOS.

Apresenta-se na Tabela 3.1 as características termo-físicas dos quatro edifícios escolhidos para monitoração. Sendo classificados como de inércia térmica leve o E34 e E46, média o M05 e pesada o D34.

Tabela 3.1 Propriedades Termo-Físicas da Amostra das Edificações

Bloco	Vedação	Externa	Área de Vent. de Portas	Área de Vent. de Janelas	U	Cobertura	Dens. Sup.
Variável	U (W/m ² K)	Dens. Sup. (kg/m ²)	(m ²)	(m ²)	(W/m ² K)	α Absortância	(kg/m ²)
M05	2,100	110	2,10	2,52	1,432	0,80 ou 0,20	142
D34	1,267	96	2,10	1,35	1,572	0,85 ou 0,20	250
E46	1,334	56	2,42	2,40	0,792	0,65 ou 0,20	51
E34	1,334	56	2,42	2,40	0,792	0,65 ou 0,20	51

Estes dados foram obtidos pelo processamento do *software* ARQUITROP de RORIZ e BASSO (1991), e por levantamento de campo para as grandezas geométricas. Os equipamentos para a medição de luminâncias apresentam-se na figura 3.1. O aparato construído para esta finalidade, constitui-se de um tubo de PVC rígido, para instalações telefônicas, na cor preta com diâmetro de 100 mm, com um tampão de PVC para esgoto, pintado de preto fosco com um

orifício para introduzir os sensores dos luxímetros. Este conjunto, através de um suporte metálico com rosca é fixado em um tripé topográfico. O aparato possibilita movimentos em altura e em azimute. Apenas o aparato com diâmetro de 100 mm foi utilizado e possui uma abertura com ângulo de $19,56^\circ$, na extremidade oposta ao sensor do luxímetro. Como complemento foram utilizados trena topográfica, dois luxímetros para medidas simultâneas da luminância anterior e posterior à árvore, clinômetro para medição da altura e bússola para medição do azimute. Durante 12 meses do ano, foram efetuadas medidas com nebulosidade de 9 a 10 décimos de céu. Por esse motivo não foi possível escolher a data e o horário das medições. A altura e o azimute de leitura foram mantidos os mesmos, em três pontos verticais eqüidistantes para cada árvore. Os resultados de transparência arbórea apresentam-se nas figuras 3.2 a 3.4, com as mínimas e máximas medidas e as médias das três medidas.

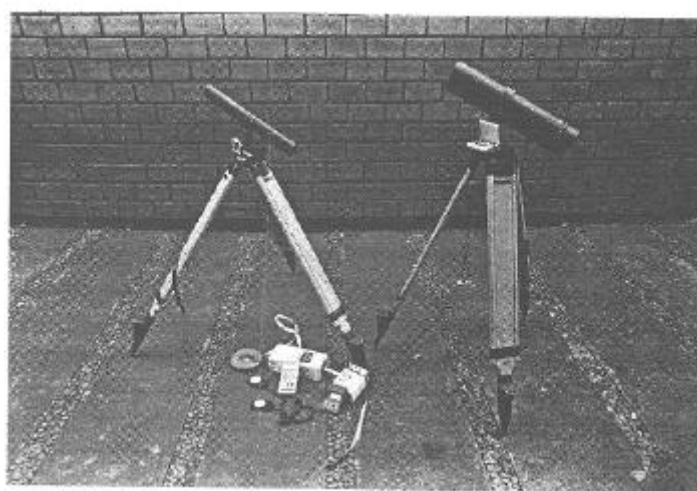


Figura 3.1 Aparato construído e equipamentos utilizados.

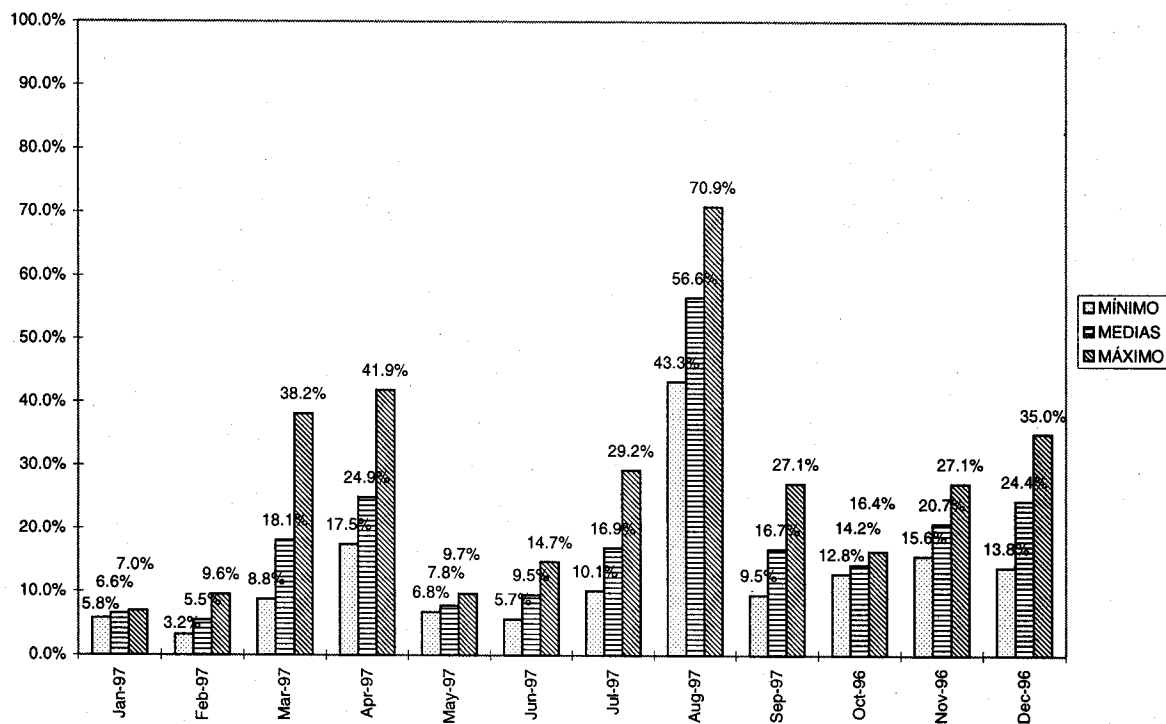


FIGURA 3.2 Transparências mínima, média e máxima das Sibipirunas

Neste caso das transparências das árvores, pode-se perceber claramente o perfil quase retilíneo das árvores de folhagem perene (Sibipiruna) na figura 3.2, exceto para o mês de agosto. Na figura 3.3, apresenta-se o perfil irregular das caducifólias tardias (Flamboyant). Na figura 3.4 identifica-se o perfil senoidal das caducifólias (Ipês).

Nestas figuras, apresentam-se os valores mínimos e máximos das medições e a média das 3 medições, para avaliar a variabilidade das medidas experimentais *in loco*, levando em conta a anisotropia das copas das árvores.

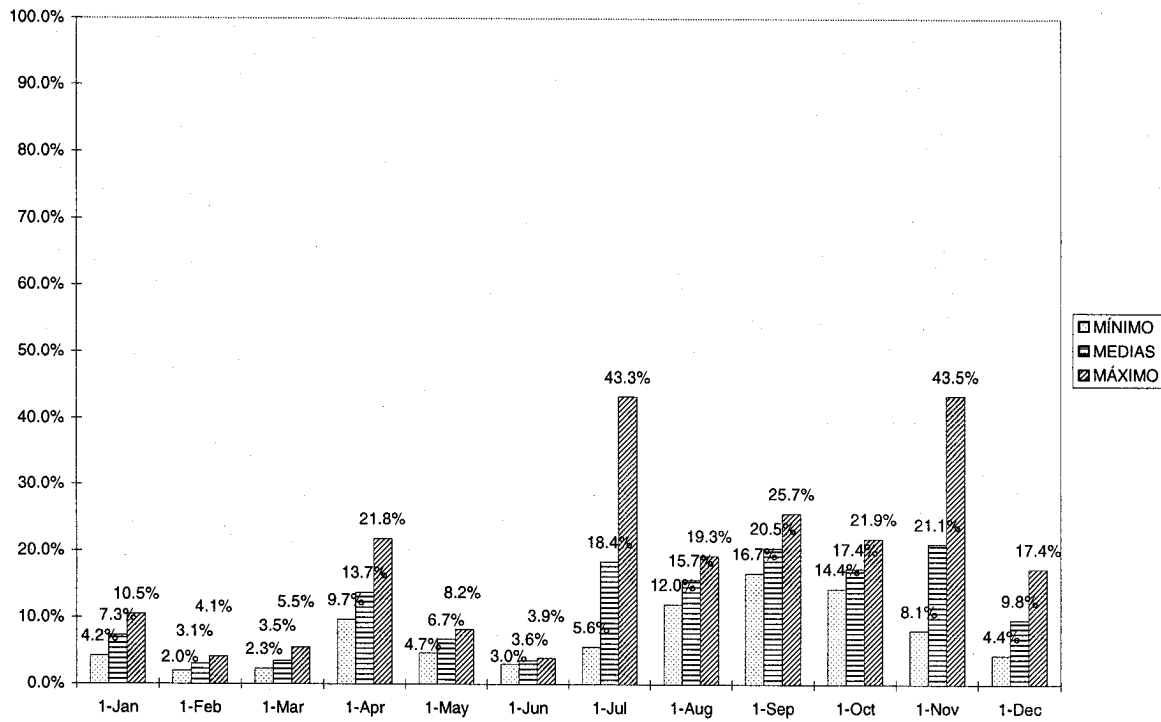


FIGURA 3.3 Transparência, mínima, média e máxima dos Flamboyants

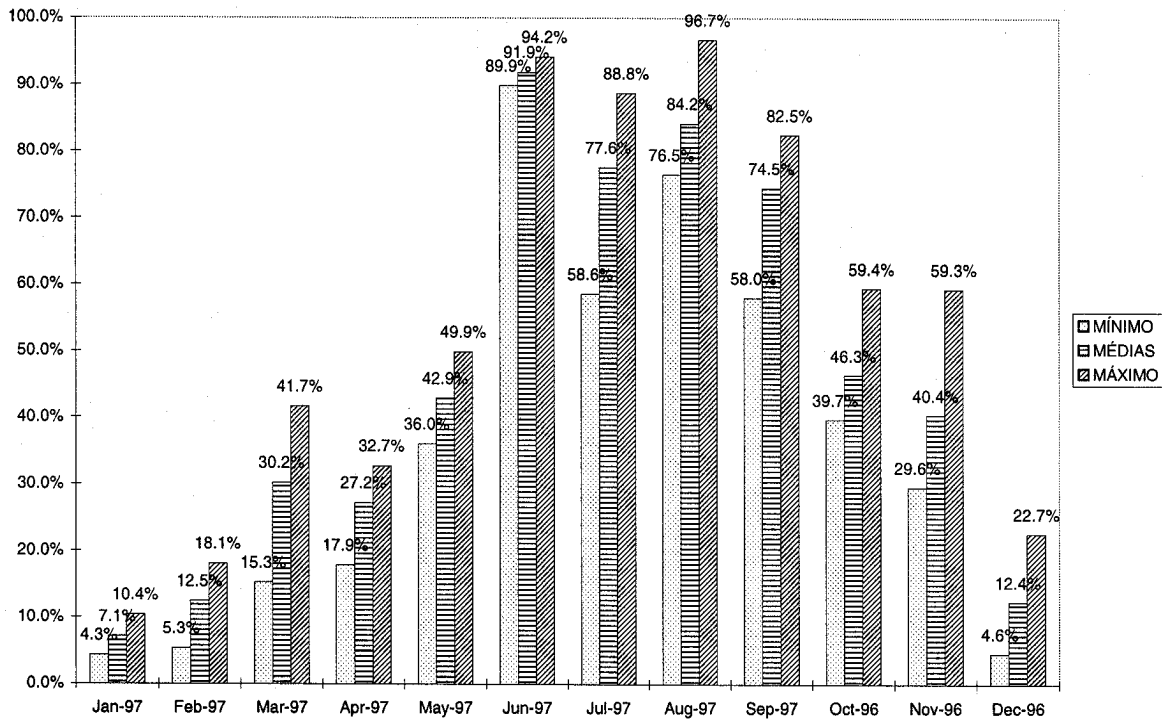
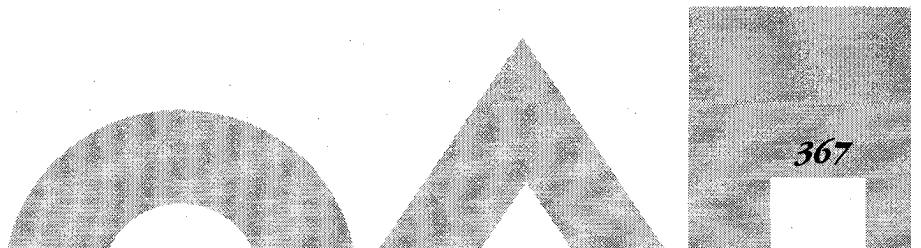


Figura 3.4 Transparência mínima, média e máxima do Ipê Amarelo

Deixa-se de apresentar os resultados do Ipê Roxo, por existir um único exemplar no local de medição. Na seqüência apresentam-se os resumos dos resultados da simulação computacional e as suas comparações. Os resultados de conservação energética são inferiores aos da literatura e os elementos de proteção arquitetônicos são mais eficientes que os arbóreos. Vários fatores induzem a isto: sistemas construtivos diversos, baixa densidade de cobertura arbórea, sem qualquer outra estratégia de proteção paisagística. Além disto, como os edifícios são térreos ou no último pavimento o tratamento na cor branca no telhado foi mais eficiente em média.



RESULTADOS E DISCUSSÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

O processamento do *software* visualDOE, foi baseado em um caso real, considerando-se desde as condições climáticas (TRY), edifícios e materiais de construção nacionais, *schedulles* de ocupação e sombreamento reais. As árvores foram consideradas planas e retangulares, através de sua seção longitudinal, medidas segundo MILANO (1988). Utiliza-se o consumo anual por unidade de área construída, com climatização, iluminação artificial e ocupação com a taxa de 1,5 m² de área por pessoa, em cada sala. A conservação de energia elétrica, em forma percentual, baseia-se na relação entre as estratégias de sombreamento adotadas e o caso inicial sem proteção. No caso de telhamento normal, a economia de consumo devida aos beirais pequenos (0,70m) e grandes (1,85m) apresentam valores de 0,93% a 2,41%, exceto para as salas 2 e 6 do bloco E46, no quadrante W, com os valores, respectivamente, de 4,26% e 5,28%. Na face W a economia deve-se à densa cobertura arbórea nestas últimas salas citadas. No caso da proteção por árvores a economia no consumo é menor que as anteriores, exceto para a orientação W. Os valores de conservação devido à arborização variam de 0,53% a 2,14% e, no quadrante W, os valores são 4,43% e 6,44%.

Desta forma, depreende-se que as orientações mais problemáticas, mas bem sombreadas, a exemplo da W, apresentam maior conservação de energia elétrica que as demais, mesmo assim, os valores obtidos estão muito aquém da literatura estrangeira. Pode-se justificar tal fato, primeiramente, pelo sistema construtivo nacional ter inércia térmica mais pesada que os definidos nos experimentos do exterior do país. Outro fator a ser considerado é que a única estratégia paisagística adotada no presente trabalho é com essências arbóreas, ao contrário da literatura que apresenta outras, inclusive arbustos, grama e maior concentração de árvores, sem preocupação com a iluminação natural, fator ambiental muito importante em edifícios escolares.

De forma sintética os resultados baseados na situação real do exame de caso, com as estratégias de sombreamento, apresentam-se na Figura 4.1. Os blocos M05 e D34, respectivamente, apresentam menores valores de consumo, embora sem proteção arbórea. No primeiro caso, devido à orientação das fachadas maiores para os quadrantes N - S e menor WWR-*Window Wall Ratio*. No segundo caso, no bloco D34 há inércia térmica pesada e os seus valores de consumo são da mesma ordem de grandeza dos blocos E34 e E46 (leves e sombreados). Variam de 112,60 kWh/m².ano a 116,60 kWh/m².ano.

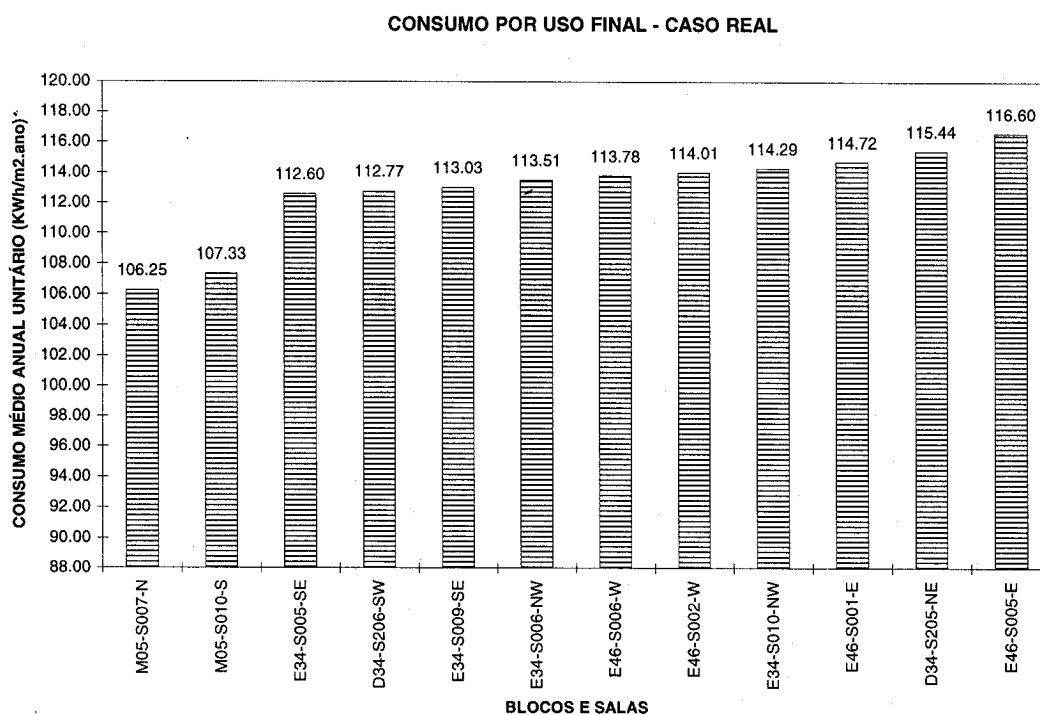


Figura 4.1 Consumo médio anual por unidade de área -Caso real com as estratégias de sombreamento

Apresenta-se, na Figura 4.2 o efeito do tratamento na cor branca em telhados, sobrepondo-se às estratégias de sombreamento anteriores. Neste caso os efeitos, da conservação são maiores que no caso anterior, especialmente nos telhados mais pesados do bloco M05 e D34, cujos valores são de 95,29 kWh/m².ano. a 103,94 kWh/m².ano. Nos demais blocos E34 e E46 os valores são de mesma ordem de grandeza variando de 104,33 kWh/m².ano a 108,08 kWh/m².ano. A conservação de energia elétrica, em forma percentual, baseia-se na relação entre as estratégias de sombreamento adotadas e o caso inicial sem proteção. No caso de telhamento branco, a economia de consumo devida aos beirais pequenos (0,70m) e grandes (1,85m) apresentam valores de 0,56% a 2,69%, exceto para as salas 2 e 6 do bloco E46, no quadrante W, com os valores, respectivamente, de 4,59% e 5,69%. Tal economia deve-se à densa cobertura arbórea nestas últimas salas citadas. No caso da proteção por árvores a economia no consumo é menor que as anteriores, exceto para a orientação W. Os valores de conservação devida à arborização variam de 0,45% a 2,18% e, no quadrante W, os valores são 4,08% e 6,20%. Os resultados virtuais por uso final de energia elétrica, com as estratégias de sombreamento e telhamento branco, estão na Figura 4.2.

CONSUMO POR USO FINAL - CASO TELHADO BRANCO INCLUINDO AS OUTRAS ESTRATÉGIAS

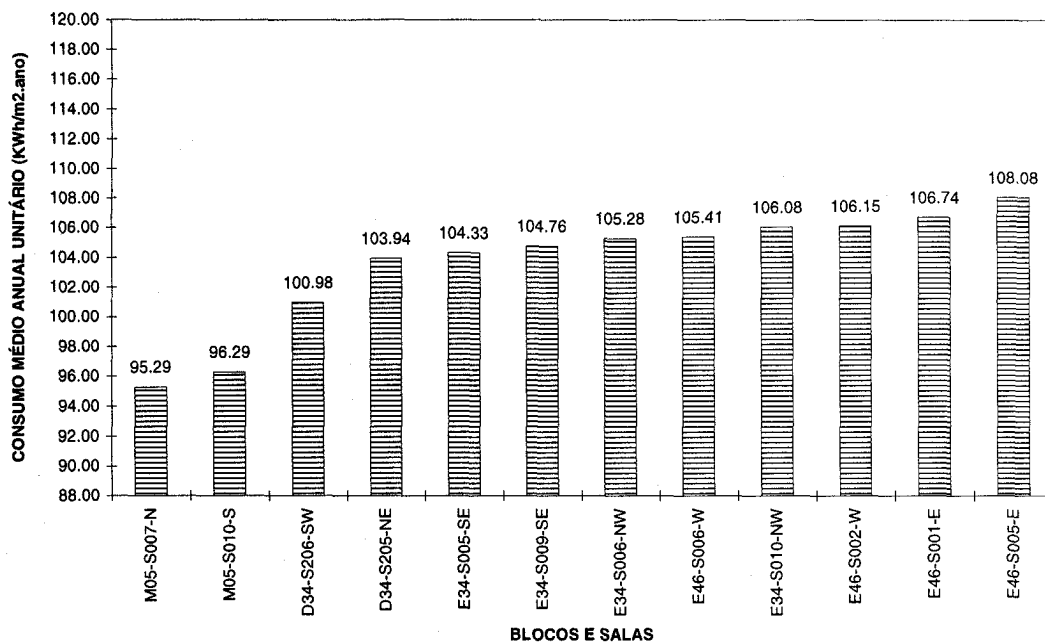


Figura 4.2 Consumo médio anual por unidade de área, com a estratégia de telhado branco.

Os valores da figura 4.2, são, inferiores aos da figura 4.1, indicando que para edifícios térreos ou ambientes contíguos à cobertura, a pintura branca no telhado é uma estratégia muito eficaz. Onde isto ocorre com mais intensidade é nos edifícios de média e pesada inércia térmica (M05 e D34), que possuem pouca proteção solar arquitetônica e nenhuma proteção arbórea. Os blocos M05 e D34, respectivamente, apresentam menores valores de consumo. No primeiro caso, devido à orientação das fachadas maiores para os quadrantes N - S e com menor índice de WWR-*Window Wall Ratio*. No segundo caso, no bloco D34 há inércia térmica pesada e os seus valores de consumo são da mesma ordem de grandeza dos blocos E34 e E46 (leves e sombreados). Variam de 104,33 kWh/m².ano a 108,08 kWh/m².ano. Segundo GHISI (1997), o consumo médio de energia elétrica para escolas norte-americanas é 94,56 kWh/m².ano e para a UFSC é 79,26 kWh/m².ano. Os valores obtidos por simulação computacional, neste artigo, apresentam-se maiores que as referências da literatura estrangeira, por tratar-se apenas de ambientes climatizados artificialmente em três turnos. Os dados citados por GHISI (1997), são médias de várias tipologias de edifícios, nem sempre climatizados artificialmente.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para a conservação de energia podem ser considerados muito inferiores aos da literatura estrangeira. Como já foi mencionado, pelo sistema construtivo nacional ser mais pesado e possuir maior inércia térmica, cobertura arbórea menos densa, além de que na *schedule* dos prédios foram considerados três turnos de funcionamento: manhã, tarde e noite, para o aparelho de condicionamento artificial do tipo de parede, além da iluminação artificial fluorescente com potência de 640W e 400W para os reatores eletromecânicos, com média de iluminação de 17,30 W/m². Considerou-se cada sala com 40 alunos. Os resultados indicam que a estratégia proteção por beirais e as suas dimensões indicam um potencial de conservação maior que a proteção arbórea neste exame de caso, exceto nas faces orientadas a W, onde a dimensão e densidade de obstrução é muito grande, com 3 Flamboyants adultos e sobrepostos entre si. Mesmo assim a metodologia e instrumentação utilizadas, apesar de simplificadas, constituem-se em um procedimento útil para a proposição inicial de avaliação da conservação de energia elétrica nas escolas nacionais

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE (1985). *Weather Data and Design Conditions*. IN: ASHRAE Handbook- Fundamentals, New York, chapter 24
- GHISI, E. (1997) *Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina*. Florianópolis: UFSC, 1997. Dissertação de Mestrado.246p.
- MILANO, M.S. (1988) *Avaliação Quali-Quantitativa e Manejo da Arborização Urbana: Exemplo de Maringá-PR*. Curitiba: UFPR, 1988. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. 120p.
- VisualDOE 2.5 *Program documentaion*.. ELEY ASSOCIATES, november, 1996.