



ESTIMATIVA DE DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL DA ABÓBADA CALESTE TÍPICA DAS ZONAS BIOCLIMÁTICAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Gianni Maria Machado Cornacchia (1); Roberta Vieira Gonçalves de Souza (2)

(1) Universidade Federal de Minas Gerais, R. Paraíba, 697 – Funcionários, BH/MG 30.130-140,
Telefone: +31 3269 1851, fax: +31 3269 1822

E-mail: giannicornacchia@gmail.com.br (2) E-mail: roberta@arq.ufmg.br

RESUMO

Este trabalho é parte de um convênio da UFMG, CEFET-MG e PUC-MINAS com a Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG para a abordagem integrada da eficiência energética e energias renováveis no Estado de Minas Gerais. Este é um amplo projeto que tem como objetivo alcançar uma melhoria da eficiência energética no que tange aos processos, equipamentos e consumo, englobando o planejamento sistêmico das edificações como base para a integração entre os projetos arquitetônicos e de utilidades, incorporando também as energias renováveis neste processo. Este projeto é subdividido em cinco sub-projetos. Este estudo de Disponibilidade de Luz Natural para o estado de Minas Gerais se insere no sub-projeto 1 - “Habitação Eficiente”.

O objetivo principal do presente trabalho, desenvolvido em nível de Iniciação Científica foi determinar céus de projeto para o Estado de Minas Gerais. Para tal foi feita uma análise do comportamento de modelos matemáticos para o cálculo de iluminâncias difusas para condições de céu claro, intermediário e encoberto. Estes modelos forneceram resultados significativamente diferentes para céu claro, o que faz com que a adoção final de um ou outro deva ser embasada em avaliação com dados medidos. Medições realizadas pela Estação de Medição de Iluminação Natural de Belo Horizonte, EMIN-BH, serão usadas para validar estes modelos.

ABSTRACT

This work is part of a research project established between UFMG, CEFET-MG and PUC-MINAS with CEMIG to promote studies of an integrated approach of energy efficiency and renewable energies in the State of Minas Gerais. This is a project that aims to promote an evolution in the efficient energy use in processes, equipments and consumption, involving the systemic planning of buildings as a basis to the integration of architectonic and facility design incorporating the use of renewable energy in this process. This project is divided in 5 sub-stages. The study of daylight availability in Minas Gerais is part of the sub-stage 1 – “Efficient Dwelling”.

The purpose of the present work, developed in a undergraduate scholarship is to determine “design skies” to be used in the State of Minas Gerais. In order to accomplish the established goals, an analysis of two diffuse illuminance models performance for clear, intermediate and overcast sky conditions was carried out. These two models presented results significantly different under clear sky conditions, which makes that the final adoption of one or the other model should be based in a validation with measured data. Illuminance measurements actually being made by the Daylight Measurement Station of Belo Horizonte, EMIN, BH, will be use to this purpose.

1. INTRODUÇÃO

Segundo os pesquisadores da educação ambiental, existe uma enorme necessidade de mudança de comportamento da sociedade de um modo geral, no sentido de eliminar o desperdício de nossas vidas.

Primeiramente para haver mudança temos que mudar nossas atitudes, nossos hábitos, para que o comportamento, que é associado a grupos sociais se consolide. A mudança de hábitos acontece a partir da informação que adquirimos, de forma construtiva, e que nos insere no contexto da nova situação (SANTOS, 2001).

Essa mudança de hábitos deve ocorrer em todos os setores da sociedade e dos meios produtivos. No setor da construção civil, a concepção de edifícios voltada que leve em consideração aspectos específicos como as questões de conforto e de eficiência energética, ou seja, o desenvolvimento de projetos arquitetônicos integrados e sustentáveis, garantirá um melhor desempenho ambiental da edificação como um todo, com menor impacto no meio e menor consumo de energia operante.

A iluminação natural é uma importante fonte alternativa de energia disponível na natureza e sem representar custos adicionais. Infelizmente na literatura encontra-se em maior quantidade informações sobre os aspectos térmicos da radiação solar que sobre os aspectos luminosos, já firmava Mascaró em 1978. Esta realidade mantém-se nos dias de hoje apesar de iniciativas isoladas no sentido de implementar estações de Medição de Iluminação Natural em Florianópolis e Belo Horizonte (SOUZA, 2004).

Segundo Souza (2004) o uso da luz natural no projeto arquitetônico permanece, ainda hoje, relativamente pouco elaborado e intuitivo. O fato de a tecnologia em iluminação natural ser assunto recente no ensino de arquitetura e do urbanismo no Brasil, pode explicar, em parte, a não incorporação das técnicas de utilização de iluminação natural pelos profissionais que atuam no setor da concepção de projeto e construção das edificações. A falta de aplicação prática dos conceitos desenvolvidos na área é patente em todo o país, havendo ainda poucos exemplos isolados, e ainda talvez, não totalmente consciente ou intencionalmente desenvolvidos com o propósito explícito de promover o uso de iluminação natural para a obtenção de uma maior qualidade visual e uma maior eficiência energética na edificação pela substituição da iluminação elétrica ou minimização de seu uso. A autora coloca ainda que é necessário um maior desenvolvimento em termos de conhecimento dos principais aspectos do uso da iluminação natural, na qual se destaca a necessidade da realização de medições de iluminâncias externas e avaliação da distribuição de luminâncias de céu, proposição de normalização, desenvolvimento de modelagem matemática adequada e implementação de códigos computacionais.

No intuito de suprir, pelo menos parcialmente esta lacuna, desenvolve-se o projeto “Abordagem Integrada da Eficiência Energética a Energias Renováveis – P&D-016” numa parceria entre UFMG, CEFET-MG, PUC-MG e CEMIG, (convênio CEMIG 4020-000010) que tem como objetivo alcançar uma melhoria da eficiência energética no que tange aos processos, equipamentos e consumos, englobando o planejamento sistêmico das edificações como base para a integração entre os projetos arquitetônicos e de utilidades, incorporando também as energias renováveis neste processo. Este projeto é subdividido em cinco sub-projetos. Este estudo de Disponibilidade de Luz Natural para o estado de Minas Gerais se insere no sub-projeto 1 “Habitação Eficiente”.

Acredita-se que depois de finalizada essa análise será possível a confecção de um mapa de disponibilidade de luz natural para todo o Estado, que possa caracterizar as diferenças regionais existentes. Este trabalho tem como principal motivador o fornecimento de dados que favoreçam uma maior eficiência energética das edificações através do aproveitamento dos recursos naturais, neste caso a iluminação natural.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Gerar uma metodologia de incorporação de informações dos aspectos luminosos e climáticos no projeto de edificações a partir da configuração de céus de projeto para o estado de Minas Gerais.

2.2 Objetivos Específicos

- Selecionar modelos matemáticos para a descrição da iluminância de céu no estado de Minas Gerais
- Análise do comportamento dos modelos selecionados em função da condição de céu, e da variação de latitude e de longitude.
- Adotar uma classificação de zonas climáticas para o Estado de Minas Gerais para as quais será caracterizado um céu de projeto.
- Gerar gráficos de distribuição de luminâncias para as regiões selecionadas.

- Comparar os resultados obtidos, verificando-se o comportamento dos modelos matemáticos.

3. RELEVÂNCIA

3.1 Disponibilidade de luz Natural

Vários fatores determinam a penetração de luz natural no interior dos ambientes tais como a profundidade do espaço, o tamanho e localização das aberturas, as refletâncias das superfícies internas e externas, etc. Mas o fator mais significativo é a quantidade de luz natural disponível no ambiente externo. Há pouco tempo havia escassas informações desta disponibilidade de luz natural no mundo. Eram feitas em muitos casos previsões da conversão de dados de radiação solar em iluminâncias, através de “coeficientes de eficácia luminosa” pouco precisos. (NE`EMAN, 1998).

Pereira, em 1995, colocava que quando se trata da disponibilidade de luz natural no Brasil, existia uma deficiência muito grande no que se refere a dados climáticos aplicados ao projeto do ambiente construído. Apesar da implantação de duas estações de medição de iluminação natural no Brasil, esta situação basicamente não se alterou nestes últimos 10 anos.

A forma mais direta de estimativa de dados de luz natural continua sendo o uso da eficácia luminosa do fluxo radiante, ou seja, energia solar. O problema é que a maioria das estações meteorológicas nem sequer medem a radiação global horizontal. Este panorama começa a ser alterado pela implantação de projetos como o da rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE (INPE, 2005) que conta hoje com 26 estações medindo dados de radiação solar. Mas esta é uma rede ainda incipiente e dados de longo prazo não estão disponíveis.

A existência de dados medidos de radiação solar permitiria não só a determinação de iluminâncias externas a partir do uso de modelos de eficácia luminosa, mas também uma determinação mais precisa das condições de céu predominantes em determinada região, através do cálculo de índices de claridade, ϵ' e índices de brilho, Δ .

A inexistência destes dados faz com tenhamos que nos basear ainda hoje, na maior parte do território nacional, em modelos matemáticos desenvolvidos para outras regiões do planeta, cujas condições climáticas podem não corresponder às brasileiras. E pior, que as condições típicas de céu de uma determinada região sejam determinadas basicamente pelos dados de nebulosidade, tão imprecisos em sua aferição.

Minas Gerais não se difere do padrão nacional apesar de possuir hoje e segunda estação de Medição de Iluminação Natural instalada no país, em Belo Horizonte. As demais regiões do Estado contam com estações meteorológicas (quando contam!) que em sua maioria não medem nem sequer dados de radiação solar, o que faz com que a determinação de frequência de tipos de céu deva ser feita baseada em dados de nebulosidade e que a determinação de dados de iluminância deva se basear em modelos matemáticos estrangeiros.

4. METODOLOGIA

A metodologia consiste basicamente na definição de dias luminosos típicos e na geração de valores de iluminâncias difusas correspondentes a estes dias típicos através da aplicação dos modelos selecionados e a análise dos resultados fornecidos por estes de forma a cumprir as etapas descritas nos objetivos específicos.

5. SELEÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS

Definiu-se trabalhar com dois modelos matemáticos diferentes para a descrição de iluminância difusa. A luz solar direta foi excluída num primeiro momento do estudo, uma vez que sua maneira de incidência, nível de iluminação e influência na distribuição de luz do ambiente são completamente distintas das proporcionadas pela luz difusa. Considera-se que a incidência de luz solar direta deve ser evitada em planos de trabalho e sua eliminação consiste num problema de geometria solar, mais que de iluminação natural. Crê-se, ainda, que a qualidade de iluminação natural de um ambiente possa ser “plenamente” verificada pela distribuição dos níveis de luz natural difusa, tanto em termos de distribuição quanto de níveis de iluminação obtidos (SOUZA, 2004).

Há na literatura uma série de modelos de iluminância difusa externa relativos à disponibilidade de luz natural, considerando diferentes condições de céu. O presente estudo avalia especificamente os

modelos propostos pela *Illuminating Engineering Society of North America*, IESNA (2000), e por Luis Robledo (1998), para verificar o fenômeno de iluminância difusa para dados obtidos de forma empírica.

5.1 Modelo da IESNA

Adotou-se este modelo em função de sua ampla utilização no Brasil, divulgada através do programa DLN desenvolvido por Scarazzato (1995). O autor considera que, embora os modelos matemáticos para o cálculo de iluminâncias sejam distintos em sua forma matemática, as curvas médias resultantes do cálculo de iluminâncias fornecidas por estes modelos se mostravam similares entre si, permitindo assim a derivação de algoritmos universalmente aplicáveis.

Esse modelo é função do seno da altura solar (α), e é representado pelas seguintes equações de iluminância difusa (E_d) para as condições de céu claro, E_{dcl} , encoberto, E_{den} e intermediário, E_{di} :

$$E_{dCL}=0,8 + 15,5 \operatorname{sen}\alpha^{0,5} \quad [\text{Eq. 01}]$$

$$E_{dEN}=0,3 + 45,0 \operatorname{sen}\alpha^1 \quad [\text{Eq. 02}]$$

$$E_{di} = 0,3 + 21,0 \operatorname{sen}\alpha^1 \quad [\text{Eq. 03}]$$

Scarazzato (1995), ainda afirmava que no Brasil não existem informações confiáveis, isto é, medições e registros sistematizados, sobre a disponibilidade de luz natural, nem sobre as características de luminosidade e nebulosidade predominante numa dada localidade. Diante desse fato, propõe a adoção do conceito de Dia Luminoso Típico de Projeto, para a predição da disponibilidade de luz natural em planos horizontais, para condições de céu claro, encoberto e parcialmente encoberto. Este Dia Luminoso Típico é calculado usando-se o modelo de iluminância da IESNA, e representa o dia de luminosidade média para cada período considerado.

Apesar da recente instalação de estações de Medição de Iluminação Natural no Brasil, esta ainda é uma realidade presente na maior parte do território brasileiro e o uso de modelos e de uma conceituação para a definição de céus de projeto, mostra-se bastante válida.

5.2 Modelo de Robledo

Robledo e Soler (2001) desenvolveram um modelo de iluminância difusa de forma para todo tipo de céu que tem como parâmetros de entrada a altura solar α , e o índice de brilho, Δ . A iluminância pode ser obtida a partir da seguinte expressão matemática, genérica para todo tipo de céu:

$$E_d = A \cdot \operatorname{sen}\alpha^B \cdot \Delta^C \quad (\text{klux}) \quad [\text{Eq. 04}]$$

Para o estabelecimento de iluminâncias típicas para as condições de céu claro, E_{dcl} , a equação pode ser reduzida para (ROBLEDO, 1998):

$$E_{dcl} = 17,45 \cdot \operatorname{sen}\alpha^{0,610} \quad (\text{klux}) \quad [\text{Eq. 05}]$$

Para céus encobertos, E_{den} , e intermediários, E_{di} , adota-se uma equação única para todo tipo de céu, com diferentes índices de brilho: $\Delta = 0,1$ para céu encoberto e $\Delta = 0,25$ para céu intermediário:

$$E_d = 112,9 \cdot \operatorname{sen}\alpha^{0,942} \cdot (\Delta)^{0,733} \quad (\text{klux}) \quad [\text{Eq. 07}]$$

O modelo de Robledo foi adotado nesta pesquisa pelo fato de ter sido ele o que mostrou melhor aderência entre os modelos analisados por Souza (2004) quando seu resultado foi comparado a dados medidos em Florianópolis. A vantagem deste modelo é sua coerência do ponto de vista da descrição do comportamento físico do fenômeno, diferentemente dos outros modelos para cálculos de iluminância que representam regressões de dados medidos a curvas polinomiais.

O objetivo é verificar se há mesmo uma similitude nas curvas de distribuição de iluminâncias como sugerido por Scarazzato (1995).

6. RESULTADOS

6.1 Zoneamento bioclimático e céu de projeto

Nas avaliações iniciais, foi usado o programa DLN (modelo IESNA) para a obtenção de iluminâncias em dias típicos de verão e inverno para diversas localidades do Estado de Minas Gerais. Foram selecionadas cidades nos extremos Norte, Sul, Leste e Oeste do Estado, de forma a testar-se a variação dos valores obtidos. Tal procedimento foi adotado na tentativa de verificar a possibilidade de propor-se um céu de projeto único que pudesse ser usado para todos os municípios do Estado. Os valores não mostraram variação longitudinal, como esperado, uma vez que o modelo da IESNA assim como outros modelos são baseados na altura solar e esta varia basicamente com a latitude.

No entanto, como se verificaram diferenças superiores a 20% nos valores de iluminâncias fornecidos pelo modelos, em determinados horários sob uma mesma condição de céu para diferentes latitudes no Estado, decidiu-se por trabalhar com mais de uma zona para a determinação de iluminâncias típicas no Estado. Foi adotada a partir de então, uma divisão do território em zonas bioclimáticas desenvolvida por Barros (2003) apresentada, na Figura 1.

Este zoneamento bioclimático foi feito a partir de metodologia desenvolvida por BARROS (2003) na qual são consideradas zonas aquelas em que se possa adotar recomendações para projeto uniformes a partir da aplicação das Tabelas de Mahoney. Estas recomendações são relativas à planta de situação, ao espaçamento entre as construções, à circulação de ar, à dimensão, posicionamento e necessidade de proteção das aberturas, e à inércia térmica de paredes, pisos e cobertura.

As cidades selecionadas para o cálculo do céu de projeto de cada zona bioclimática representam o mais aproximadamente possível o centro geométrico desta zona. Foram selecionadas apenas cidades que possuíssem estações climatológicas. São elas: Belo Horizonte (zona 1, lat: $-19,56^{\circ}$), Paracatu, Araçuaí e Uberaba (zona 2 – lat: $-17,22^{\circ}$, $-16,85^{\circ}$ e $-19,75^{\circ}$), Montes Claros (zona 3, lat: $-16,43^{\circ}$), Governador Valadares e Bambuí (zona 4, lats: $-18,51^{\circ}$ e $-20,00^{\circ}$), Pedra Azul (zona 5, lat: $-16,00^{\circ}$) e Teófilo Otoni (zona 6, lat: $-17,51^{\circ}$).

A condição de céu ser usada como céu típico de projeto para cada época do ano, será relativa à nebulosidade. Será considerada a presença predominante de céus claros quando a nebulosidade, medida em décimos de céu, for inferior a 2 no período. Para céu encoberto, considerar-se-á nebulosidades superiores a 8 e para as demais condições de nebulosidade será adotado o céu intermediário, como céu típico do período considerado.

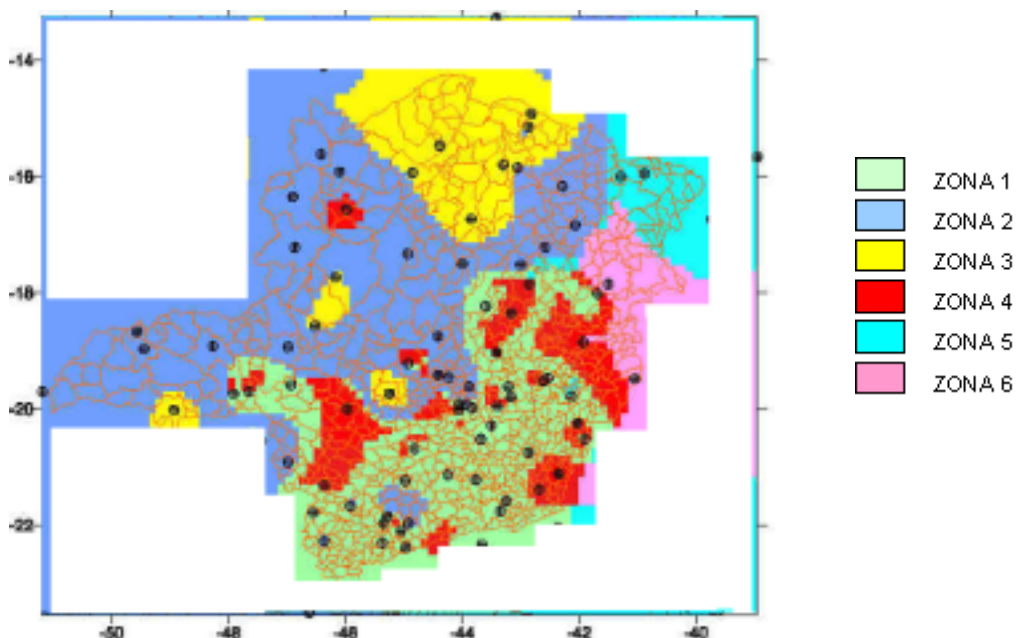


Figura 1- Zonas bioclimáticas do Estado de Minas Gerais propostas por BARROS (2003).

6.2 Cálculo de iluminâncias típicas

O conceito de Dia Luminoso Típico apresentado por Paulo Scarazzato (1995) considera como dia típico de um determinado período, o dia que represente a média das iluminâncias registradas neste

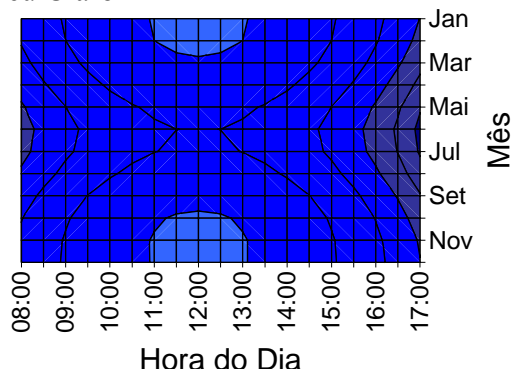
período. Este conceito foi usado no presente trabalho de uma forma simplificada. Adotou-se como Dia Luminoso Típico de cada mês (ou período considerado) o dia cujo valor da altura solar ao meio-dia fosse aquele mais próximo da média das alturas solares ao meio-dia deste período. Verificou-se que ao adotar este procedimento, os dias luminosos típicos encontrados seriam os mesmos ou seriam dias bem próximos (dia imediatamente anterior ou dia imediatamente posterior) aos dias calculados como sendo os dias luminosos típicos pelo programa DLN, desenvolvido pelo autor.

A decisão por utilizar esta simplificação deu-se pela facilidade de trabalhar-se com este procedimento em planilhas eletrônicas.

Desta forma obtiveram-se valores horários de iluminância difusa para os dias luminosos típicos (abordagem simplificada) de cada um dos meses do ano, para os três tipos de céu aqui considerados: claro, encoberto e intermediário. Estes valores foram representados em gráficos de curvas de iso-iluminâncias. Na Figura 2 são apresentados, como exemplo dos resultados obtidos os gráficos de curvas de iso-iluminância obtidos para a cidade de Belo Horizonte.

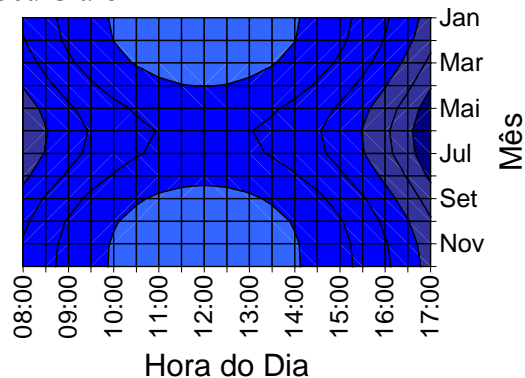
Modelo da IES

Céu Claro

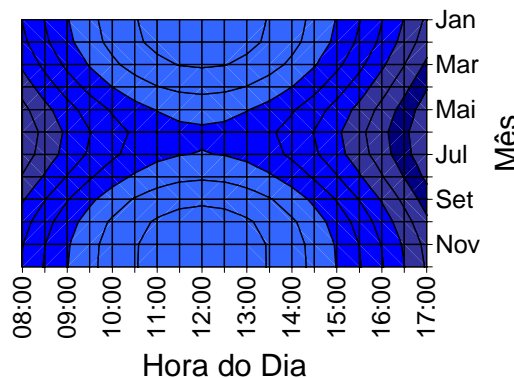


Modelo de Robledo

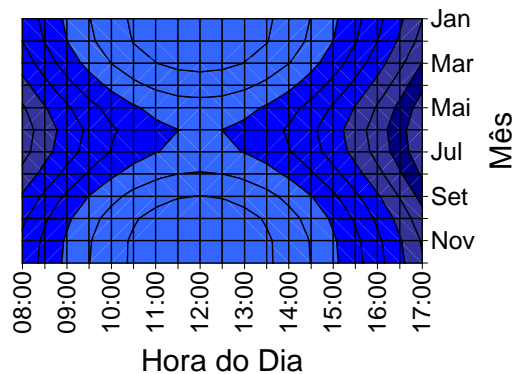
Céu Claro



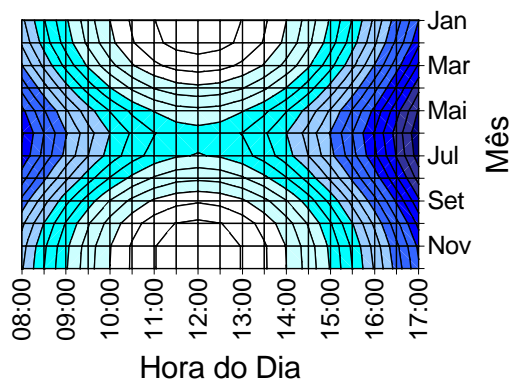
Céu Encoberto



Céu Encoberto



Céu Parcialmente Encoberto



Céu Parcialmente Encoberto

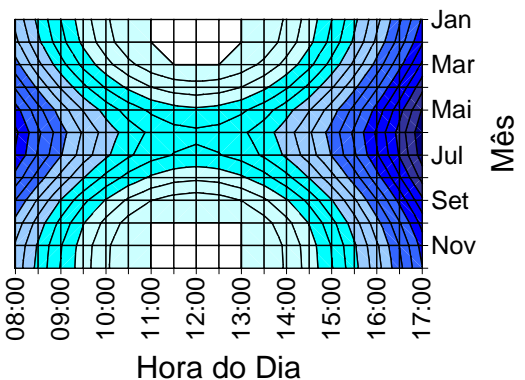


Figura 2 – Iluminâncias típicas para Belo Horizonte

Verifica-se que para céu claro que, em Belo Horizonte, o modelo de Robledo tende a fornecer valores mais elevados para E_{dcl} , especialmente por volta de meio dia no verão, fornecendo variações mais acentuadas entre os valores calculados para os horários extremos do dia e o meio-dia. Para este tipo de céu as diferenças entre os resultados fornecidos por um e outro modelo podem chegar a 26%, nos horários extremos do dia (começo da manhã e fim da tarde), no inverno, diminuindo para 2% ao meio-dia. Nos meses de verão esta diferença cai para aproximadamente 8%, nos horários extremos do dia, mantendo-se relativamente constante ao longo de todo o dia.

Com relação ao céu encoberto, nota-se que os modelos fornecem resultados bastante mais próximos entre si, com o modelo de Robledo fornecendo ainda uma variação mais acentuada entre a iluminâncias diárias do que o modelo da IESNA, especialmente nos meses de inverno. As diferenças máximas entre as iluminâncias fornecidas são sempre inferiores a 6%.

O mesmo pode ser verificado na predição de iluminâncias para céu encoberto, em que os modelos apresentam uma diferença máxima de 7% entre os valores calculados. Nota-se que de fato, visualmente, os gráficos gerados a partir da aplicação dos modelos da IESNA e de Robledo e que representam as curvas de iso-iluminâncias para a condição de céu parcialmente encoberto, são bastante semelhantes entre si.

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A primeira etapa deste trabalho consistiu em verificar a possibilidade de estabelecer-se um conjunto único de iluminâncias difusas capaz de representar luminosidades de céu para todo o Estado de Minas Gerais. Neste caso, apenas seria variada a recomendação da condição de céu a ser usada para cada época do ano em cada região selecionada, em função de dados de nebulosidade média para o período. Foram analisados para tal os valores de iluminância difusa fornecidos pelo programa DLN (modelo de iluminância difusa da IESNA) nos dias típicos de verão e inverno para algumas cidades de localização extrema no Estado: ao norte Montes Claros, ao sul São Lourenço, a oeste Uberaba e a leste Governador Valadares. Através do software DLN foi possível perceber que o modelo proposto pela Norma IES é sensível a mudanças na latitude apresentando variações nos valores calculados entre as cidades ao norte e ao sul (aproximadamente 10° de variação latitudinal) superiores a 20% em determinados horários e condições de céu. Por outro lado, e como esperado o modelo mostrou-se insensível com relação à variação longitudinal.

Diante deste quadro, decidiu-se trabalhar com variados conjuntos de luminâncias, que representassem o centro das zonas bioclimáticas propostas por BARROS (2003) para o Estado, num estudo que faz parte deste mesmo projeto.

Resolvida esta questão, analisou-se o comportamento dos modelos da IESNA (1990) e de Robledo (ROBLEDO 1998 e ROBLEDO 2004). Esta comparação visou analisar se realmente, como sugerido por Scarazzato (1995), os modelos matemáticos para cálculo de iluminâncias, apesar serem representados por equações distintas, apresentam resultados semelhantes no comportamento médio das curvas de iluminâncias fornecidas. Verificou-se que esta afirmação mostrou-se válida para os dois modelos estudados quando se trata de condições de céu encoberto ou parcialmente encoberto. No entanto, quando a condição de céu claro é analisada, este comportamento médio já apresenta diferenças mais acentuadas entre um modelo e outro. Neste caso, adotar-se um modelo ou outro, leva a diferenças mais significativas.

Temos ainda que no caso do modelo de Robledo as iluminâncias finais obtidas irão depender grandemente da adoção de um determinado índice de brilho, Δ . Neste trabalho foram adotados para céu encoberto um baixo índice de brilho, igual a 1,0 (considerando-se então abóbadas escuras), para céu claro, $\Delta = 0,12$ e céu parcialmente encoberto, $\Delta = 0,25$ (estes foram os valores médios encontrados pela segunda autora para céus intermediários em Florianópolis, no período de 2002 e 2003).

A seleção final de um modelo ou outro deverá ser baseada na comparação com dados medidos pela Estação de Medição de Iluminação Natural de Belo Horizonte, EMIN-BH, em fase de tratamento. Esta será a próxima etapa deste trabalho.

8. CONCLUSÃO

Mascaró em 1978 já entendia que a disponibilidade de luz natural será ligada às características da abóbada celeste do lugar a qual, em função da latitude e nebulosidade local, caracteriza a fonte de luz natural no tocante à variação e potência. Estas características estão intimamente associadas a pluviosidade (presença de nuvens), trajetória anual do sol (produzindo uma determinada carga térmico-luminosa) e aos ventos dominantes (entre outras opções ajudarão a manter o céu limpo ou não).

Para Valko (1980), apenas medidas sistemáticas precisas podem conduzir a uma determinação de luminosidades típicas para determinada localidade. Ele afirma que até mesmo uma atmosfera livre de nuvens pode atenuar de maneira considerável o fluxo de radiação, devido à presença de partículas de pó, neblina e vapor d'água, presentes na atmosfera. Ou seja, a gama de variação de intensidade de radiação (e luz) depende das variações de turvamento do ar e da precipitação pluviométrica. Sob de céu encoberto, tem-se ainda que a regularidade dos padrões de radiação difusa é perturbada pela distribuição irregular de brilho, devido a diferenciações na estrutura e no tipo de nuvens.

Mas a inexistência de dados medidos no Estado de Minas Gerais não deve impedir que se possa trabalhar com o problema da predição de luz em ambientes internos. Para tal se faz necessário a adoção de modelos matemáticos desenvolvidos para outras localidades e a verificação de sua adequação para a região. Este estudo pretendeu fazer uma primeira aproximação ao problema, verificando se, como afirma Scarazzato (1995), a adoção de um modelo ou outro não acarretaria em diferenças significativas na predição de iluminâncias externas.

Neste trabalho analisou-se então o comportamento de dois modelos matemáticos para o cálculo de iluminâncias difusas: o modelo da IESNA (2000) e o modelo de Robledo (1998). Verificou-se que, ao contrário do que predica o autor, as diferenças podem ser significativas quando trata-se da condição de céu claro, para determinadas épocas do ano e horas do dia.

Assim somente com dados medidos será possível validar e apontar no futuro qual o modelo será mais indicado para a predição de iluminâncias no Estado. Medições realizadas pela Estação de Medição de Iluminação Natural de Belo Horizonte, EMIN –BH, em fase de tratamento de dados, serão utilizadas neste processo. Uma vez de posse destes dados, será possível uma escolha mais embasada do modelo matemático a se adotar e por fim será possível a confecção do mapa de disponibilidade de luz para todo o Estado, caracterizando as diferenças regionais existentes.

Os resultados deste projeto poderão vir a aperfeiçoar a legislação construtiva da região, bem como o planejamento de ações estratégicas para a efficientização energética no parque edificado do Estado de Minas Gerais.

9. AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não seria possível sem o fomento da Companhia Energética de Minas Gerais, CEMIG, realizado através do convênio 4020-000010, coordenado pelas Eng. PhD. Antonia Sonia Alves Cardoso Diniz (CEMIG) e Profa. Dra. Eleonora Sad de Assis (UFMG).

Gostariamos ainda de agradecer o apoio instrumental e de infra-estrutura do Laboratório de Conforto Ambiental, LABCON/UFMG e os dados fornecidos pelo Grupo de Estudos em Energia, GREEN/PUC-MINAS através do Prof. Willi Barros.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, Willi (2003) *Estudo de zoneamento bioclimático para o estado de minas gerais com base nas tabelas de Mahoney - considerações sobre a metodologia e resultados preliminares*, VII encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, ANTAC, Curitiba.

IESNA, “Lighting Handbook – reference and application”, Illuminating Engineering Society of North America, 9th Edition, New York, 1990.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2005) <http://tucupi.cptec.inpe.br/~sonda/>

MASCARÓ, L. R. de. (1978) *Luz, Clima e Arquitetura*. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo.

NE’EMAN, E., (1998) *Daylight availability database for energy efficient integration with electric light*, Journal of Illuminating Engineering Society, Summer, pp 59-66.

- ROBLEDO, L. (1998) “Modelización de la iluminación natural y de la radiación solar en superficies de diversas orientaciones e inclinadas en Madrid”, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Madrid.
- ROBLEDO, L.; SOLER, A. (2001) “Estimative of direct illuminance on a horizontal surface for clear and intermediate skies”. *Renewable Energy* (19), Elsevier Science Ltd. , Great Britain. pp 55-60.
- SANTOS, A. H. M.(2001) *Conservação de Energia*. Escola Federal de Engenharia de Itajubá.
- SACARAZZATO, P. S. (1995) *O conceito do Dia de Projeto Aplicado à Iluminação Natural. Dados referenciais para localidades brasileiras*, Tese de doutorado, USP, São Paulo.
- SOUZA, R. V. G.; PEREIRA, F. O. R. (2004) *Primeira estação de medição de iluminação natural em território Brasileiro: análise dos dados dos dois primeiros anos de funcionamento*, *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 79-94.
- PEREIRA, F. O. R. (1995). *Iluminação natural na ambiente construído*. Apostila do curso ministrado durante o III Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC. Gramado.
- VALKO, P. (1980) “Some empirical properties of solar radiation and related parameters”, in *An Introduction of Meteorological Measurement and Data Handling for Solar Energy Applications*, cap 8, Departamet of Energy Research, Washington.