

Nota-se que desde o tempo da colonização brasileira que existe a preocupação com aberturas zenitais para garantir a iluminação natural. Contudo, a correta utilização dos recursos passivos, como o efeito da insolação, do sombreamento, da evaporação da água, da variação de temperatura entre o dia e a noite e da ventilação natural, são as verdadeiras credenciais da arquitetura, que além de lhe conferirem valor, as deixam mais bela.

Nas grandes cidades do Brasil, a luz natural zenital é utilizada para enriquecimento da qualidade ambiental de espaços semi ou inteiramente enterrados, como estações de metrô e galerias, conforme exemplo na Figura 16. Nestes contextos, a luz é o principal agente de comunicação entre o interior e exterior, localizando as pessoas no tempo e no espaço, e sendo propiciada por sistemas zenitais que se concentram normalmente nos pontos de acesso, circulação e transição entre os diferentes ambientes.



FIGURA 16 – A luz é o principal agente de comunicação entre o interior e exterior, localizando as pessoas no tempo e no espaço (Vianna & Gonçalves, 2001).

3.4 -Tipologias de aberturas zenitais

As características descritas abaixo, para cada uma das tipologias zenitais, são direcionadas para ambientes que têm o caráter produtivo-laborativo e buscam obedecer aos critérios de desempenho mencionados a seguir:

3.4.1- Shed

Shed é uma tipologia de abertura zenital para iluminação e ventilação que se desenvolve em linhas transversais de uma cobertura. Esta cobertura tem duas inclinações, sendo uma opaca e outra dotada de caixilho e elemento transparente.

Este tipo de abertura zenital tem uso bastante difundido em pavilhões industriais, sendo inclusive responsável pelo desenho representativo de construções industriais em desenho esquemático.

O elemento zenital tipo “shed” terá melhor desempenho quando orientado a Sul para latitudes compreendidas entre 24° e 32°, no caso do Brasil. Nesta condição, fornecerá iluminação unilateral difusa durante a maior parte do ano, com exceção no período de meados de dezembro a início de janeiro, nas primeiras horas da manhã e últimas horas da tarde, evitando, portanto, na maior parte do ano, o ofuscamento aos usuários provocado pela incidência da luz solar direta no plano de trabalho (Figura 17). Mesmo para o referido período de incidência direta, a penetração do sol será mínima por causa dos grandes ângulos de incidência dos raios solares,

praticamente tangentes à superfície iluminante, aumentando desta forma a reflexão dos raios solares (Vianna & Gonçalves, 2001).

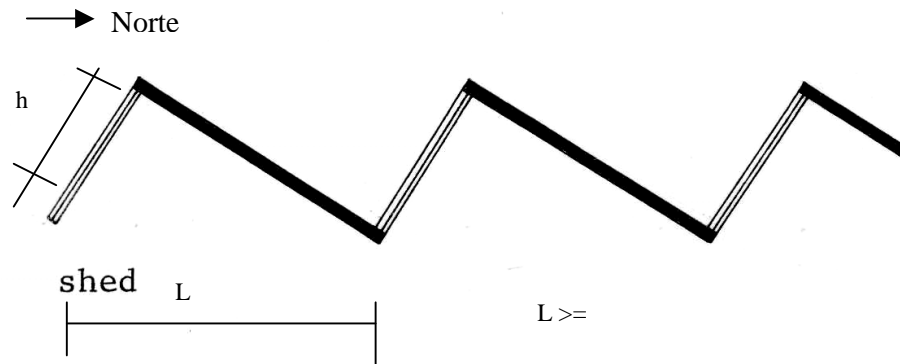


FIGURA 17 – Demonstração de um shed, área iluminante voltada para o sul. (Vianna & Gonçalves, 2001).

Souza (1997), menciona que para as latitudes compreendidas entre 0° e 24° S, a orientação dos sheds para sul não usufruirá a vantagem de apenas captar luz difusa. Desta maneira, para qualquer orientação que eles tiverem, dever-se-á tomar as devidas precauções para proteção contra a luz solar direta (por exemplo, por meio de quebra-sóis corretamente projetados ou, então, por meio da escolha de vidros difusores)

Segundo Vianna & Gonçalves (2001, p. 177), “os elementos zenitais tipo “shed” fornecem uma iluminação em torno de três quartos do valor obtido com a mesma superfície iluminante localizada continuamente sobre um teto horizontal.” O elemento zenital tipo shed – com superfícies iluminantes verticais – necessita menor manutenção quando comparado a outros tipos de aberturas com superfícies iluminantes inclinadas ou horizontais, já que as superfícies

verticais estão menos expostas à sujeira (retirada pela água da chuva). Para manutenção das superfícies interiores e exteriores, deve-se prever acessos (por exemplo, passarelas) projetados para este fim.

As figuras 18 A e 18B apresentam exemplos de aberturas tipo shed:

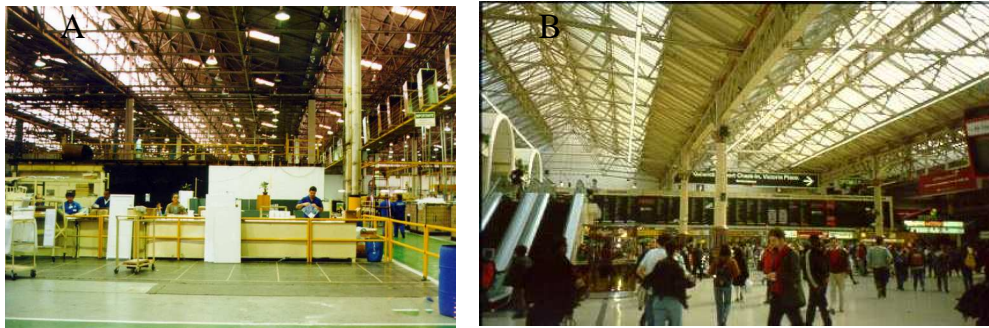


FIGURA 18 – Sheds: A: Galpão industrial em São Paulo; B: Victória Station, em Londres (Vianna & Gonçalves, 2001).

3.4.1.2- Lanternim

Mascaró *apud* Vianna & Gonçalves (2001, p. 178), definem “lanternim como uma elevação coberta da porção mais elevada da cobertura, apresentando aberturas laterais nas faces opostas permitindo iluminação zenital e ventilação”. Além disso, com a superfície iluminante vertical equivalente a de um teto de dupla inclinação, proporciona entre a metade e a terça parte da iluminação obtida com esses elementos. O elemento zenital tipo “lanternim” caracteriza-se por duas faces opostas e iluminantes, conforme mostrado na Figura 19.



FIGURA 19 – Lanternim - Escola primária, Londres (Vianna & Gonçalves)

Conforme Lamberts et all (1977), considerando-se os aspectos de lanternins lumínicos e térmicos, para climas quentes como os do Brasil, a melhor orientação para as áreas iluminantes é a N-S, sendo que para a face Sul valem as observações feitas para a tipologia shed e para a face Norte é essencial o tratamento da insolação. Uma solução pode ser a colocação de quebra-sol com eficiência de controle da radiação para os períodos quentes associada à utilização de vidros difusores para se evitar o ofuscamento e, ao mesmo tempo, propiciar os ganhos de calor nos períodos frios. Evidentemente, uma definição mais precisa sobre a melhor solução dependerá de uma análise mais detalhada para cada caso de projeto.

3.4.1.3- Clarabóia/Domus e Cúpulas

Vianna e Gonçalves (2001, p. 180) conceituam a “clarabóia como uma abertura situada numa cobertura plana ou inclinada que permite a entrada zenital de luz natural e pode permitir também ventilação”.

Um aspecto importante da utilização desses elementos zenitais é a maior dificuldade de sombreamento. Para solução do problema térmico, uma das alternativas é a colocação de elemento de sombreamento sobre a cobertura (como, por exemplo, grelhas metálicas difusoras), o que reduz consideravelmente a iluminação interna.

Vianna e Gonçalves (2001, p. 180) frisam:

Que as clarabóias, os domus e as cúpulas requerem maior manutenção devido à posição mais horizontal das superfícies iluminantes. Os elementos “teto de dupla inclinação” e “domus” não devem ser utilizados no Brasil com áreas maiores que 10% que a projeção da área da cobertura (ou piso).

Quanto aos aspectos de manutenção, os elementos zenitais com superfícies iluminantes horizontais apresentam uma maior dificuldade de limpeza em relação aos elementos com superfícies verticais. Quanto maior a dimensão do elemento horizontal, maior a dificuldade.

As figuras 20, 21 e 22 apresentam exemplos de coberturas com clarabóia, domus e cúpulas, respectivamente.



FIGURA 20 – Clarabóias (Vianna & Gonçalves, 2001).

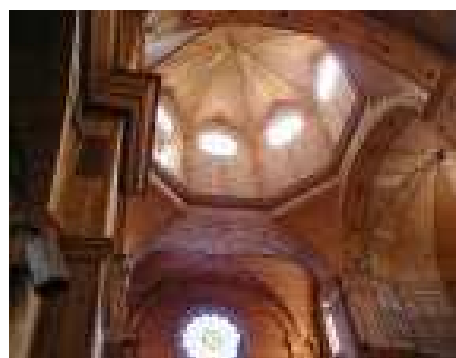
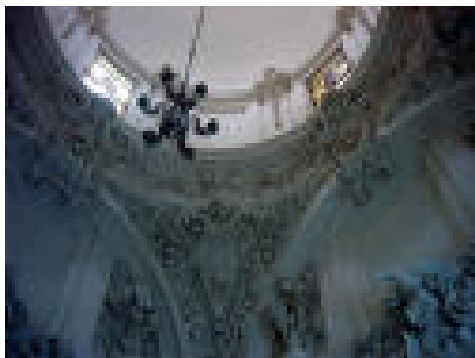
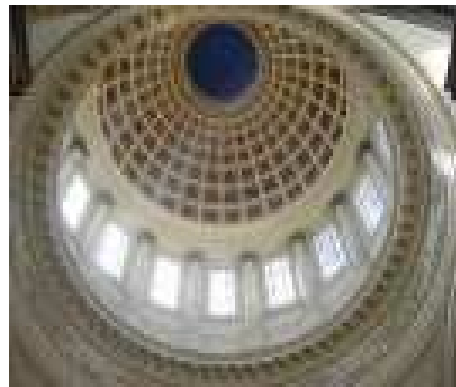


FIGURA 21 – Cúpulas (Vianna & Gonçalves, 2001).



FIGURA 22 – Domus (Standstead Airport, Londres)

3.4.1.4- Dutos de luz

De acordo com Vianna & Gonçalves (2001, p. 182) “duto é um espaço luminoso interno não habitável especialmente projetado para conduzir a luz direta do sol ou difusa do céu para ambientes internos sem acesso direto ao exterior, sendo suas superfícies feitas de materiais com elevada reflexão”.

No sistema de dutos de luz, a luz do sol é coletada por espelhos ou lentes e levada através de várias reflexões ao longo de canais verticais (dutos), até áreas de pavimentos inferiores onde o acesso de luz por meio de fachadas ou cobertura é difícil ou inexistente. Para eficiência luminotécnica deste sistema é importante o tratamento das faces internas do duto em cores claras, maximizando as reflexões da luz natural até a chegada ao ambiente ao qual ela se destina (Vianna & Gonçalves, 2001).

Esse mecanismo, funcionando satisfatoriamente para a reflexão

da luz difusa, demonstra um efeito ainda mais eficiente quando se tratando da luz direta, que pode ser captada na extremidade superior do duto. Dessa maneira, áreas que nunca receberiam a luz natural, poderiam ser servidas não somente de luz, mas também, de raios solares.

3.4.1.5- Átrio

De acordo com Pereira (1995, p. 127) “átrio é o espaço luminoso interno envolvido lateralmente pelas paredes da edificação e coberto com materiais transparentes ou translúcidos que admitem luz aos ambientes internos da edificação ligados ao átrio por componentes de passagem”. O átrio conduz a iluminação para os espaços adjacentes, sendo possível controlá-la antes que incida nos elementos de passagem de luz, tais como as janelas (Figura 23).

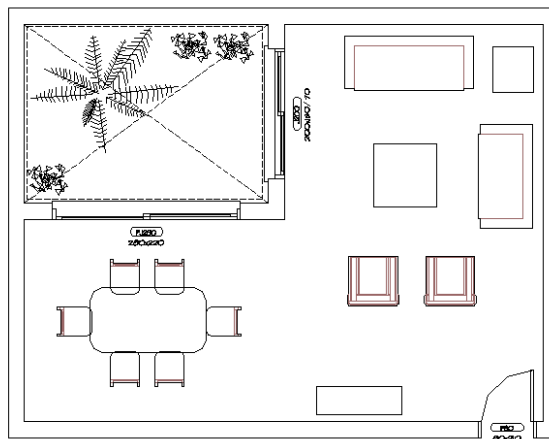


FIGURA 23 – Exemplo de iluminação através do átrio.

Para isto, Pereira (1995) frisa que devem ser levadas em

consideração quatro variáveis, independentes entre si, que exercem influência nos níveis finais de iluminação dos espaços adjacentes:

- A geometria do átrio;
- A refletividade das superfícies do átrio;
- A transmitância da cobertura;
- As características dos espaços adjacentes.

As características ambientais das salas iluminadas por um átrio sofrem modificações de acordo com a condição da atmosfera sob a abóbada celeste. Em um dia de céu claro, os níveis de iluminação são muito altos em alguns pontos, o que gera contrastes de luz e sombra. Isto acontece porque a luz proveniente do Sol incide diretamente em algumas áreas das superfícies do átrio, enquanto outras ficam sombreadas. Mas a componente refletida da luz do sol que incide nas paredes torna-se uma importante fonte de luz refletida para os espaços adjacentes.

3.5 - Modelos preditivos de disponibilidade da luz natural

Os diferentes métodos para cálculo de disponibilidade de luz natural em ambientes internos buscam definir um coeficiente de correlação entre a luz externa disponível e a luz interna correspondente. Dessa maneira, observa-se a importância dos modelos preditivos de luz externa disponível.

A disponibilidade de luz natural pode ser conseguida de duas maneiras: ou através de medições, ou mediante a adoção de algum

modelo preditivo suficientemente confiável. Naturalmente cada uma delas oferece vantagens e desvantagens.

Scarazzato (1995) diz que nos casos das medições, a principal vantagem é a confiabilidade absoluta dos dados registrados, desde que reflitam um período suficientemente longo para evitar atipicidades sazonais ou anuais, Nesta hipótese, é obvio prever-se toda a infraestrutura laboratorial necessária, tanto no concernente aos recursos humanos como nos de insumos em geral.

Quanto da adoção de modelos preditivos esse mesmo autor cita que a adoção de algum modelo preditivo existente, uma vez configurado, tem a vantagem de não depender de infraestrutura laboratorial e, desde que suficientemente abrangente, pode ser utilizado para localidades distintas. Como desvantagem, os dados tabulados normalmente são fruto de alguma interação estatística, aplicável como referencial de projeto, mas não necessariamente uma média ou moda de valores efetivamente medidos para uma localidade específica.

Sobre uma base conceitual de modelo preditivo, Scarazzato (1995, p. 84) define: “modelo preditivo da disponibilidade de luz natural é aquele segundo o qual a iluminância em qualquer plano, a qualquer hora do dia, pode ser determinada, com base em dados climáticos medidos ou utilizados como referência para estimar as condições atmosféricas de uma dada localidade”.

Existem vários modelos preditivos da disponibilidade de luz natural, exteriormente às edificações, os quais Scarazzato (1995), descreve:

1. **Modelo CIE:** desenvolvido em *Bureau Central de la CIE*, Paris, 1970. Trata-se de um modelo preditivo bastante simplificado, proposto pela Comissão Internacional de Iluminação que subsidia o projeto da iluminação natural dos interiores dos ambientes construídos dentro de certas limitações assumidas, como por exemplo, em salas de formato simples. Traz referências as iluminâncias exteriores para céu encoberto padrão CIE para várias latitudes, em substituição ao antigo conceito de adotar-se como referência um céu com iluminância padrão de 5.000 lux. Na parte II da referida publicação são descritos outros 58 modelos preditivos desenvolvidos em várias partes do mundo, nenhum deles considerando céu parcialmente nublado.

2. **Modelo Preditivo de Dogniaux:** desenvolvido em 1967. O primeiro dos principais modelos preditivos da iluminância. Leva em conta a iluminância solar extraterrestre, o coeficiente de extinção atmosférica, a massa de ar óptica e fator de turvação do ar. Embora tenha sido aprovado pelo Comitê de luz natural da CIE, nunca se tornou uma recomendação oficial daquela entidade. Seu grande mérito está no fato de estabelecer as bases para que se estime as iluminâncias exteriores para planos horizontais, em regime horário (Scarazzato,1995).

3. **Modelo Preditivo de Gillette:** desenvolvido em 1983 no NBS – *National Bureau of Standards*, nos Estados Unidos, com suporte do Department of Energy e do National Fenestration Council. Embora o modelo se aplique somente a planos horizontais, leva em consideração

os efeitos da cobertura de nuvens em céus claros, sobre a iluminância direta e difusa.

4. **Modelo Preditivo de Robbins-Hunter:** desenvolvido em 1983 no Solar Energy Research Institute para o Department of Energy, com o objetivo de gerar dados horários e mensais sobre a disponibilidade de luz natural, sob a forma de tabelas para uso em análises manuais ou via computadores. Destina-se a computar dados da iluminância externa às edificações, tanto em planos horizontais como em verticais com qualquer orientação e trabalha com as seguintes variáveis: localização geográfica, nebulosidade, clareza do céu, turvação, altitude em relação ao nível do mar e uma série de constantes mensais de iluminância extraterrestres. Embora considere a nebulosidade do céu, a mesma está correlacionada mais a aspectos sazonais que à tipologia do clima luminoso. O modelo, embora aparentemente seja muito bom, foi montado para as condições locais de cidades dos Estados Unidos, o que vale dizer que sua apropriação para localidades brasileiras, por exemplo, só se tornaria possível mediante adaptações pertinentes às nossas condições atmosféricas, como por exemplo, massa de ar óptica e turvação.

5. **IESNA - Illuminating Engineering Society of North América:**

Os modelos acima citados apresentavam, cada um deles, peculiaridades e distorções que não atendiam ao objetivo de qualidade esperada. O modelo recomendado oficialmente pela IES Illuminating Engineer-ing Society of North América, para a predição da disponibilidade de luz natural é o resultado de uma exaustiva

pesquisa levada a cabo por dois de seus comitês: o de luz natural e o de procedimentos de cálculo.

Diz-se exaustiva a pesquisa porque é o resultado de um estudo profundo de modelos sobre a disponibilidade de luz natural desenvolvidos em várias partes do mundo num período de 60 anos, ou seja, entre as décadas de 1920 e 1980, na qual os pesquisadores concluíram que as medições que foram feitas de iluminação, em localidades distintas, sempre resultavam em curvas bastante similares, o que motivou a buscarem os algoritmos que possibilitassem a derivação de um modelo universalmente aplicável (Lamberts, 1975).

Uma vez definidos os algoritmos e testada a sua operacionalidade, o trabalho foi submetido à apreciação do Conselho Diretor do IES, que o aprovou em 5 de dezembro de 1983 (Allucci, 1988).

3.6. Caracterização “*In Situ*” da luz natural interior

O estabelecimento de uma metodologia de caracterização "*in situ*" das condições de iluminação natural no interior dos edifícios, com base em critérios objetivos, é da maior importância, não só para uma correta avaliação de desempenho em termos de iluminação natural à "*posteriori*", constituindo uma poderosa ferramenta de aprendizagem e de demonstração de boas e más soluções, como também, permite o desenvolvimento de técnicas de projeto mais adequadas à realidade do ambiente a edificar (Frota, 2001).

O desempenho dos sistemas de iluminação natural pode ser avaliado de modo objetivo e/ou subjetivo. Todavia, apenas através de

observações e medições “*in situ*” é possível avaliar e detectar certos aspectos da iluminação natural que são difíceis de prever apenas mediante o uso de ferramentas de simulação, tais como: o desempenho óptico final exato dos sistemas; a restituição do espaço interior; a qualidade das vistas; a dinâmica da iluminação natural; e, acima de tudo, a impressão global que o visitante ocasional ou o ocupante permanente têm do espaço. Mediante medições “*in situ*” adequadas é possível caracterizar o desempenho dos vários sistemas de iluminação natural, ao mesmo tempo em que é possível identificar a adequabilidade ou não de determinados sistemas e soluções para determinado tipo de edifícios (Frota, 2001).

Baker & Steemers (1993) organizam de forma sistemática os procedimentos de caracterização “*in situ*”, de modo a extrair-se informação relevante dos edifícios relativamente ao desempenho dos seus sistemas de iluminação natural. Para isso, é necessário um conjunto mínimo de procedimentos de monitorização, mediante os quais seja possível dar a resposta às questões: o que medir? Como medir? Esses procedimentos são constituídos por um conjunto de medições e observações, e pela sua análise posterior.

Basicamente, os procedimentos de caracterização “*in situ*” devem incluir:

- a) Caracterização geométrica (do edifício, dos compartimentos, dos vãos envidraçados, etc.)
- b) Caracterização dos materiais (medição das reflectâncias dos materiais opacos e das transmitâncias das superfícies transparentes e/ou translúcidas);

- c) Medição de fatores de luz do dia (sob condições de céu encoberto padrão);
- d) Medição de iluminâncias em pontos representativos dos espaços (sob condições de céu limpo);
- e) Avaliação dos fluxos luminosos através das aberturas (sob condições de céu encoberto padrão e limpo);
- f) Avaliação do conforto visual mediante medição das luminâncias no campo de visão dos ocupantes; avaliação de reflexões veladas e do encadeamento (sob condições de céu encoberto padrão e limpo);
- g) Determinação dos padrões de penetração solar nos espaços interiores;
- h) Caracterização do desempenho dos dispositivos de sombreamento;
- i) Caracterização do desempenho energético do edifício;
- j) Registro de comentários dos ocupantes relativamente às suas condições de iluminação e conforto.

De um modo geral estes procedimentos podem ser reprodutíveis, todavia, podem existir erros se algumas das medições forem efetuadas em situações climáticas não-padronizadas, ou seja, se não forem efetuadas sob condições de nebulosidade traduzíveis por um céu encoberto padrão.

A caracterização sob condições de céu limpo deve ser efetuada tendo em consideração os seguintes procedimentos adicionais: avaliação fotográfica de eventuais fenômenos de encadeamento direto ou por reflexão; avaliação fotográfica da penetração solar em três

períodos anuais (no Solstício de Inverno, num Equinócio e no Solstício de Verão); medição simultânea de iluminâncias interiores e exteriores (nos Solstícios e num Equinócio), com e sem dispositivos de sombreamento, em três períodos do dia, sendo um deles obrigatoriamente ao meio-dia solar e os restantes em dois períodos simétricos em relação ao meio-dia solar e caracterização do desempenho e eficácia dos dispositivos de sombreamento.

Com a organização destes dados para procedimentos de monitorização, Frota (2001) pretende que a avaliação de desempenho de iluminação natural permita uma caracterização útil, objetiva e sempre que possível quantitativa. Diz ainda que é um desafio a necessidade de se estabelecerem procedimentos, medições e cálculos relativamente simples, a partir dos quais se possam retirar conclusões válidas.

3.7 – Métodos existentes para previsão de luz natural em pontos internos à edificação

Hopkinson et all (1975), descreve um procedimento de cálculo para a determinação da quantidade de luz natural incidente em um ponto interno num plano horizontal através de aberturas na edificação. Princípio básico: O desempenho de uma fonte de luz de grande superfície, como a abóbada celeste, para a qual a lei do inverso do quadrado da distância não é aplicável, não pode ser definido pela curva polar de sua intensidade luminosa.

A superfície precisa ser subdividida em pequenas zonas, para as

quais a concentração de fluxo emitido numa dada direção é denominado de luminância – L . A iluminação produzida por uma fonte de pequena superfície é independente da distância da fonte e depende somente da luminância e do ângulo sólido coberto pela mesma (Lamberts, 1997).

Assim, no caso de edificações, a iluminação produzida pelo céu visto através de aberturas é independente da distância da fonte, neste caso a abóbada celeste (ou o céu); ela é completamente definida pela direção e luminância de cada zona do céu e pelo ângulo sólido abrangido. Para o cálculo da iluminação produzida num ponto P por uma abertura, produz-se a projeção radial da abertura sobre uma hemisfera de raio unitário centrada em P e obtém-se dS , um elemento da hemisfera. Em P a área dS vai cobrir o mesmo ângulo sólido que a abertura (Mascaró, 1983).

A possibilidade de prever os níveis de iluminação em pontos internos de uma edificação, ainda em fase de projeto, coloca no profissional arquiteto uma responsabilidade muito maior em relação às decisões propostas na definição dos espaços.

Em contrapartida, são ferramentas que permitem uma maior qualificação e domínio dos resultados propostos.

Os níveis de iluminação natural e a sua distribuição no interior dos compartimentos tem como pressuposto fundamental a satisfação das exigências do conforto visual dos ocupantes.

A iluminação natural disponível no interior dos edifícios, está dependente da disponibilidade da luz exterior. Os níveis de iluminação natural no interior dependem das condições de

nebulosidade do céu, do período do dia e do ano, das características geométricas do edifício e dos compartimentos, das dimensões e das características espectro fotométricas dos vãos envidraçados, do grau de obstruções exteriores, e ainda das características reflectométricas dos materiais superficiais interiores (Frota, 2001).

As condições de iluminação natural de um espaço podem ser caracterizadas pelas iluminâncias produzidas pela luz natural, que, no entanto, diferem de ponto para ponto, dependem da posição do plano que é iluminado e variam no tempo de acordo com as condições exteriores de nebulosidade e com a posição do sol (Frota, 2001).

Alternativamente pode optar-se pela caracterização de um espaço mediante os valores das iluminâncias em determinados pontos de referência, que se consideram ser representativos de todo o espaço.

Os métodos existentes para previsão de luz natural em pontos internos à edificação tem o objetivo de estabelecer parâmetros para análise desta iluminação e todos os fatores que estão relacionados a sua previsão e quantificação.

3.7.1 Fator de Luz do Dia F.L.D.

O Fator de luz do Dia (FLD) é o parâmetro de uso mais generalizado na caracterização e quantificação das condições de iluminação dos edifícios. O FLD num determinado ponto de um plano, define-se como sendo o quociente (expresso em percentagem) entre a iluminância num dado ponto de um plano no interior de um compartimento devido a um céu com uma distribuição de luminâncias

conhecidas e, a iluminância exterior simultânea sobre plano horizontal proveniente de um hemisfério desobstruído desse céu. A contribuição da luz direta do sol para ambas as iluminâncias é excluída.

Geralmente assume-se que a distribuição de iluminâncias do céu considerado é a de um Céu Encoberto Padrão da CIE. O FLD é expresso em porcentagem e é calculado mediante a expressão seguinte:

$$\text{FLD}(\%) = \frac{E_{\text{int}}}{E_{\text{ext}}} \times 100\%$$

Em que E_{int} é a iluminância num ponto de um plano no interior do compartimento e E_{ext} é a iluminância global exterior devida a um hemisfério de céu desobstruído.

Segundo Frota (2001) o conceito de FLD apresenta uma vantagem importante sobre outras formas de caracterização da iluminação natural (IN) no interior dos edifícios. Ele traduz a eficácia de um determinado compartimento como instalação de IN, com meio de penetração no compartimento da luz do dia exterior disponível. De fato, as condições exteriores podem variar, mas o FLD permanece constante, visto que a disponibilidade de luz interior se modifica simultaneamente consoante as alterações exteriores. Assim, para as condições de céu encoberto, o FLD é considerado para um determinado espaço, constituindo um parâmetro característico desse espaço, nas piores condições de IN.

Teoricamente, o conceito de FLD pode ser aplicado sob quaisquer condições de nebulosidade, todavia, a sua

representatividade, enquanto parâmetro característico, restringe-se às condições de nebulosidade traduzidas pelo céu encoberto padrão da CIE, cuja distribuição teórica de iluminâncias apenas traduz com rigor as condições de céus completamente encobertos por nuvens densas e escuras.

Nas regiões em que as condições de céus não encobertos são predominantes, o FLD, por si só, não permite uma caracterização de iluminação natural completa e satisfatória do ambiente interior. Ele pode ser utilizado no estabelecimento de critérios de condições mínimas de IN mas revela-se insuficiente na caracterização das condições de IN médias ao longo do ano. Conseqüentemente, uma adequada caracterização dos espaços iluminados naturalmente, deverá também incluir os efeitos da luz direta do Sol, tanto em termos dos níveis de iluminação como satisfação das exigências do conforto visual (Frota, 2001).

No trabalho aqui desenvolvido, para o cálculo de iluminação natural através de uma abertura zenital, considerando o tipo de insolação na região em estudo, é importante que não seja considerado somente o céu encoberto, mas todos os tipos de céus (encoberto, parcialmente encoberto e céu claro).

3.7.2- C. L. D- Coeficiente de Luz do Dia

O método mais utilizado para cálculo da iluminação dos pontos internos é o Coeficiente de Luz do Dia, o qual, sob determinadas condições de luz exterior difusa, relaciona a iluminância de um ponto

qualquer no interior de um ambiente com a de um ponto externo em um plano horizontal, sem obstáculos.

Esse método é baseado na consideração dos vários caminhos através dos quais a luz natural pode alcançar um ponto no interior de uma edificação.

De acordo com Vianna & Gonçalves (2001) distinguem-se três caminhos básicos resultantes da divisão do fluxo luminoso admitido em três componentes:

- a) CC – Componente do Céu; luz que alcança um ponto do ambiente interno proveniente diretamente do céu;
- b) CRE – Componente Refletida Externa: luz difusa do céu e direta do sol que alcança um ponto do ambiente interno após ter refletido em uma superfície externa;
- c) CRI – componente Refletida Interna: luz que alcança um ponto do ambiente interno somente após ter sofrido uma ou mais reflexões nas superfícies internas.

A Figura 24 demonstra as diversas formas de a luz chegar até um ponto no interior do ambiente.

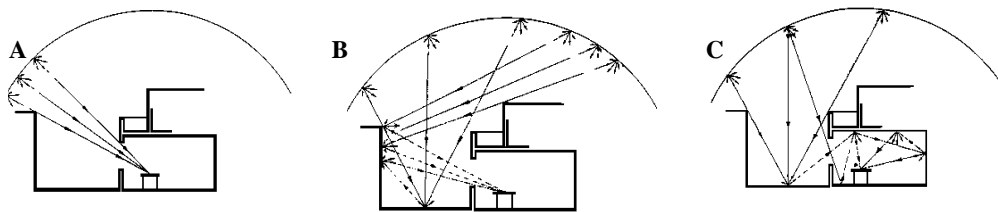


FIGURA 24 - Fluxo luminoso: A: CC – Componente do Céu; B: CRE – Componente Refletida Externa; C: CRI- Componente Refletida Internamente.

Assim temos o seguinte valor de CLD:

$$CLD = T_v \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot (CC + CRE + CRI)$$

Sendo: T_v = Transmitância da luz visível

K_1 = Fator de redução devido aos elementos opacos.

K_2 = Fator de redução devido à manutenção (limpeza)

Complementando, estes coeficientes consideram:

K_1 = Fator de caixilho: em que é retirada a área de superfície opaca da esquadria da janela da área total da abertura.

K_2 = Fator de manutenção: em que é considerada a obstrução à luz causada pelo envelhecimento do material de vedação e pela acumulação de poeira.

T_v = Fator de transparência: referente ao coeficiente de transmissão luminosa dos materiais translúcidos e transparentes.

A contribuição devido à luz direta do sol não é levada em consideração no cálculo dos índices de CLD e CLN. Isso se deve ao alto grau de complexidade e imprevisibilidade da quantificação da luz direta. Mais que isso, os efeitos do atributo da luz direta, como ganhos de calor, degradação dos materiais e ofuscamento, devem ser considerados separadamente.

A diferenciação básica entre os conceitos de Fator de Luz do Dia e Coeficiente de Luz do Dia está na definição de tipos de céu dotados para os cálculos de disponibilidade de luz natural em cada um dos dois índices. No primeiro caso, FLD é considerado o céu com distribuição de luminâncias uniformemente constante com relação ao azimute, ou seja, céus uniformes e encobertos.

Nos cálculos de CLD, é introduzido a componente de céu com

variações de intensidade ao longo da abóbada, comuns ao tipo parcialmente encoberto.

3.7.3- Coeficiente de Luz do Dia Relativa - C. L. D. R

O método CLD, no seu cálculo da componente celeste, considera toda a abóbada celeste como homogênea em se tratando da quantidade de luz que contribui. Baseado na observação de que esta distribuição de luminâncias não é homogênea e que esta quantificação varia consideravelmente, dependendo da região observada, o estudo evoluiu para o CLDR.

Este método baseia-se no uso, no seu cálculo, de diagramas que representam a projeção estereográfica da abóbada celeste. Cada zona apresenta numericamente sua contribuição relativa para a iluminância no plano horizontal desobstruído, em função da altitude do sol.

Para se fazer a determinação da quantidade de luz incidente em um ambiente através de uma abertura, usa-se uma carta de trajetórias solares aparentes, um diagrama de obstruções e as tabelas de distribuição de luminâncias, que devem estar em mesma escala e utilizar o mesmo sistema de projeção.

A Figura 25 representa as trajetórias aparentes do sol e a projeção estereográfica com os valores de contribuição relativa para determinada posição do sol.

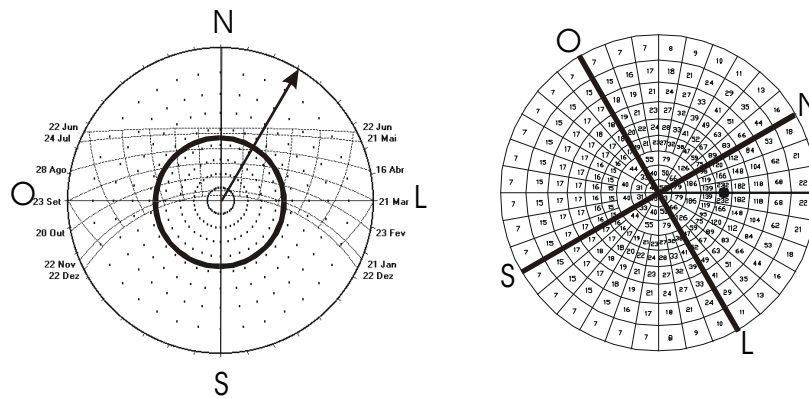


FIGURA 25 – Localização do azimute do sol no CLDR (ABNT, 1997)

Sobre põe-se a máscara construída sobre o CLDR, de forma que a abertura fique orientada adequadamente a partir do Norte já marcado como mostra a figura 26:

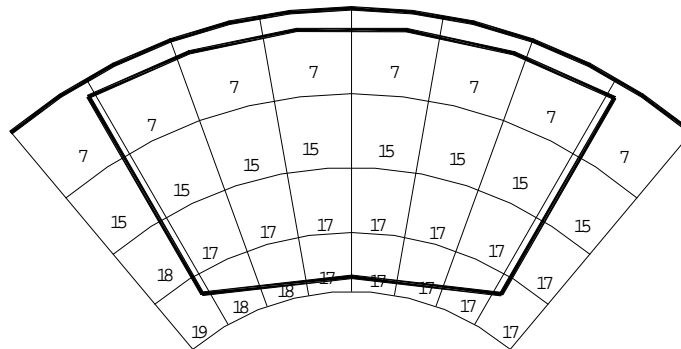


FIGURA 26 – Superposição da máscara de obstrução sobre o CLDR.

Procede-se a soma dos valores internos à máscara de obstrução – as subdivisões do diagrama que forem cortadas pelas linhas das máscaras serão consideradas proporcionalmente à divisão como pode ser visto na figura 26.

3.7.4- C. L. D. R-com consideração do ângulo de incidência

A luz proveniente da abóbada celeste, para chegar ao interior dos ambientes através de aberturas zenitais, passa pelos elementos transparentes usado como vedação.

Cada elemento transparente tem um coeficiente de transmitância da luz visível próprio. Este coeficiente sempre considerou a transmitância para um ângulo de incidência (T_v) normal.

O ângulo de incidência da luz tem ângulo variável e também um T_v variável dependendo deste ângulo (Santos, 2002).

A consideração do ângulo de incidência vai ser mais significativo, quanto maior for o ângulo, pois até aproximadamente 50° a T_v varia muito lentamente, conforme observa-se nas figuras 27, 28 e 29 do item 3.8.

3.8 Influência do Ângulo de Incidência na Transmitância da Luz Visível (T_v) de Elementos Transparentes

Embora os projetistas tenham uma grande preocupação na determinação da posição correta do sol para o projeto arquitetônico e a literatura cite a importância do ângulo de incidência da radiação solar no que se refere ao conforto visual e térmico, esse fato é normalmente negligenciado nos procedimentos normais de cálculo de luz natural e carga térmica.

O cálculo dos ganhos de luz natural através de superfícies transparentes, em determinado instante envolve basicamente três variáveis: a intensidade do espectro visível da radiação solar incidente; o ângulo de incidência da radiação e a Transmitância da Luz Visível (T_v) do elemento transparente para o ângulo de incidência no instante considerado.

Pfrommer et al (1995) cita que os produtores de vidros somente fornecem dados para incidência normal, sendo que o uso desses valores no cálculo da transferência de radiação, para ângulos de incidência até 50° , resultam valores coerentes. No entanto, a partir desse ângulo fornecem apenas uma aproximação grosseira.

A diversidade de produtos disponíveis no mercado dificulta a execução de ensaios a ângulos variados para todos os tipos existentes.

Santos (2002), realizou ensaios com 60 tipos de elementos transparentes, utilizando-se de um espectrofotômetro, para obtenção das suas características óticas para ângulos variados de incidência. O resultado dessa pesquisa pode ser observado nas figuras 27 e 28, para os vidros comuns e policarbonatos. Esses materiais foram utilizados nos ensaios práticos desse trabalho.

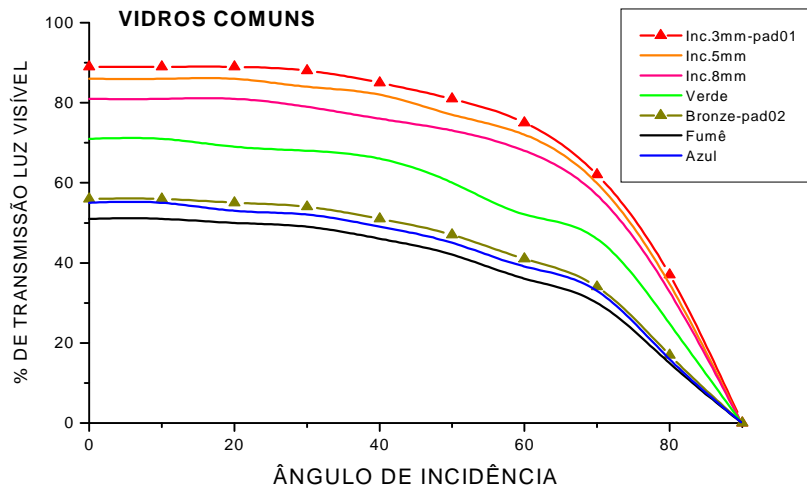


FIGURA 27 - Transmitância no visível de vidros comuns em relação ao ângulo de incidência (SANTOS, 2002).

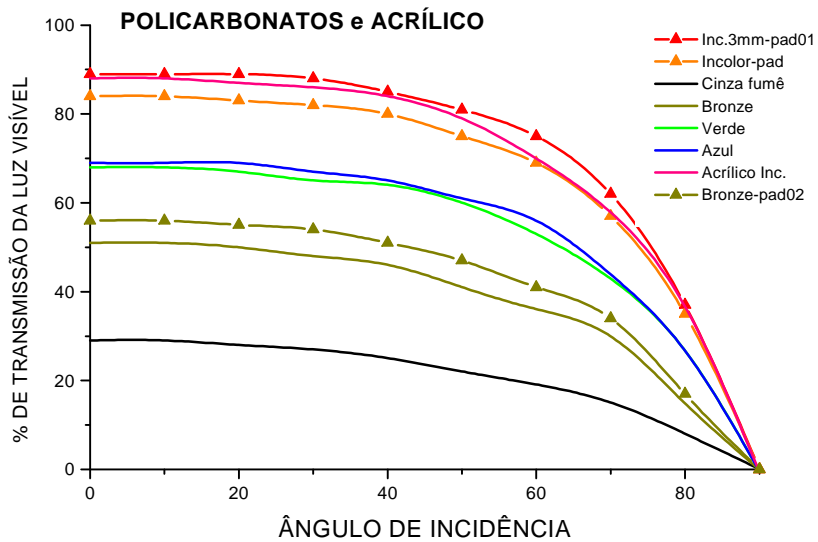


FIGURA 28 - Transmitância no visível de policarbonatos e acrílicos em relação ao ângulo de incidência (SANTOS, 2002).

A partir dos resultados desses ensaios, foram definidos sete (7) grupos de materiais com um padrão similar de comportamento da variação de T_v com o ângulo de incidência:

Grupo 1A: Vidro comum incolor, laminado refletivo prata, refletivo pirolítico prata, películas comuns, policarbonatos incolor, verde e azul e acrílico incolor.

Grupo 1B: Vidros comuns coloridos, refletivos pirolíticos verde, bronze e cinza, e policarbonatos bronze e cinza-fumê.

Grupo 2A: Vidros laminados com alta T_v , incolor, verde e azul-claro.

Grupo 2B: Demais vidros laminados.

Grupo 3: Vidros refletivos a vácuo Cebrace e laminados refletivos Cebrace.

Grupo 4: Vidros refletivos a vácuo Guardian.

Grupo 5: Películas refletivas.

O padrão de variação de T_v dos diferentes grupos pode ser observado na Figura 29. Esse padrão de variação é uma média do comportamento dos diversos elementos de cada grupo, que define um material hipotético, através do qual pode ser calculada a disponibilidade de luz natural ao longo de um período de tempo, com a consideração da T_v para o ângulo de incidência da luz visível a cada instante.

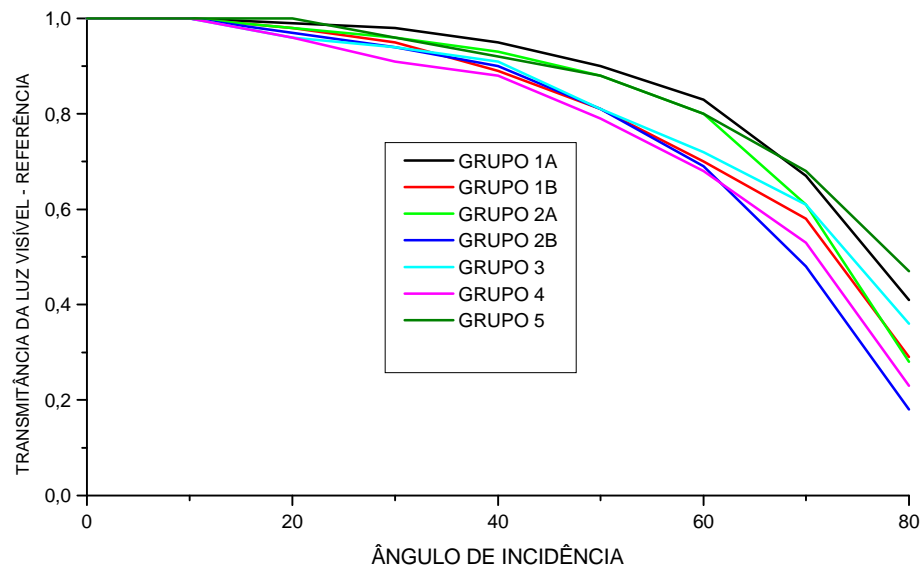


FIGURA 29 - Variação da transmitância da luz visível dos materiais de referência com o ângulo de incidência (SANTOS, 2002).

O cálculo de T_v para o elemento hipotético de referência de cada grupo, considerando qualquer ângulo de incidência (α), pode ser realizado pela seguinte fórmula:

$$T_v = (\text{Cosseno } \alpha)^P \quad \text{e} \quad P = P_1 \cdot \alpha^{P_2}$$

Os parâmetros P_1 e P_2 são tabelados de acordo com o grupo de materiais e estão demonstrados conforme tabela 3:

TABELA 3 - Os parâmetros P_1 e P_2

GRUPO	P1	P2
1A	0,243	2,216
1B	0,515	0,568
2A	0,357	1,553
2B	0,552	1,072
3	0,459	0,719
4	0,549	0,375
5	0,324	0,856

FONTE: Santos (2002).

Dessa forma, podem ser calculados os ganhos de luz natural através do material transparente de referência. Para o cálculo dos ganhos através de um material qualquer é feita a correção pelo Coeficiente de Admissão de Luz (CAL), que é definido como a relação entre a T_v para incidência normal para um material qualquer e para o material de referência. Essa relação se mantém para todos os ângulos devido à similaridade de variação da T_v dos materiais do grupo com o ângulo de incidência

A Tabela 4 apresenta valores de CAL para os materiais transparentes utilizados nesse trabalho:

TABELA 4 - Coeficiente de Admissão de Luz (CAL) de materiais transparentes

TIPO DE MATERIAL	COEFICIENTE DE ADMISSÃO DE LUZ (CAL)
Vidro Incolor 5 mm	0,87
Vidro Bronze 5 mm	0,57
Policarbonato Incolor 5 mm	0,84
Policarbonato Bronze 5 mm	0,51
Policarbonato Cinza-fumê 5 mm	0,28

FONTE: Santos (2002)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Medições

4.1.1 Condições Gerais para realização das medições

Para complementar os objetivos deste trabalho foram realizadas medições de disponibilidade de luz natural proveniente da abóbada celeste, ou seja (CC). Estes dados reais foram medidos para permitir um estudo comparativo entre valores obtidos através dos métodos matemáticos apresentados.

A primeira decisão a ser tomada envolveu a busca de informações sobre o ambiente das medições, verificando a possibilidade de uso de modelo reduzido de estudo.

Os modelos em escala são ferramentas de projeto que podem ser utilizados para avaliação de vários aspectos do projeto do edifício, como a sua forma, orientação, fachada e, principalmente, para o estudo da iluminação natural nos espaços internos, visto que considerações a respeito da iluminação de ambientes constituem a medida mais efetiva no controle das qualidades visuais destes ambientes.

Ao contrário de outros casos, nos quais o comportamento do fenômeno físico (transmitância térmica, tensões estruturais, fluxo de ar, etc) sofre distorções pelo efeito da escala, o modelo para

iluminação não requer compensações em função da escala. Como o comprimento de onda da luz visível é extremamente reduzido em comparação ao tamanho dos modelos em escala, um modelo arquitetônico que represente com fidelidade um espaço real, exposto às mesmas condições de céu e mantendo a mesma geometria e as mesmas características das superfícies, apresenta um padrão de distribuição da iluminação interna idêntica (ABNT, 1997).

Portanto, como a luz não sofre distorções, as medições, neste caso, têm como objetivo avaliar as condições de iluminação do ambiente ainda em fase de projeto através da execução de maquetes, permitindo a adoção de sistemas de aberturas mais eficientes e de uma melhor orientação dos componentes construtivos.

O Manual da Iluminação Natural – 2 (ABNT, 1997) estabelece que, ao utilizar-se o modelo em escala reduzida, é recomendado:

- a) Construir modelos em escala não menor do que 1:50;
 - b) Garantir que todas as superfícies estejam presentes (modelos seccionados não são adequados);
 - c) Adequar as refletividades das superfícies e representar o mais corretamente possível as refletividades das superfícies reais;
 - d) Evitar modelos mal executados em que ocorra vazamento de luz em suas juntas;
 - e) Garantir que as obstruções externas apresentem tamanhos e refletividades corretas;
 - f) Modelar adequadamente os detalhes das aberturas;
 - g) Planejar com antecedência as posições das medições.
- Sobre os equipamentos a serem utilizados existem várias

recomendações de utilização para garantir a precisão e a continuidade das medições, as seguintes recomendações, relativas aos instrumentos, devem ser observadas, de acordo com esse mesmo manual:

- a) Calibrar periodicamente;
- b) Evitar choques de qualquer natureza;
- c) Não expor às intempéries e aos limites de umidade e temperatura recomendados pelo fabricante;
- d) Guardar os instrumentos em seus estojos, após a utilização, certificando-se que estejam desligados e sem bateria.
- e) Dimensão dos Sensores - como as medições internas de luz são pontuais, a norma recomenda que, para modelos arquitetônicos em escala reduzida, não se utilize sensores maiores do que $0,03 \text{ m}^2$ na escala do modelo. Para sensores circulares, o seu diâmetro não deve ser superior a 20 cm na escala do modelo.

O sensor do aparelho utilizado tem 0,025 m de diâmetro, o que representa na escala 1:5 (escala da maquete) um valor de diâmetro igual a 0,125m. Sendo constatado, portanto que, o aparelho utilizado atende de maneira satisfatória as exigências da norma.

Foi elaborado um projeto e executada uma maquete representativa de um ambiente com largura 4,00 m; comprimento 6,00 m e pé direito de 3,00 m. Foi considerado o fundo como sendo a altura da base de trabalho considerada a 0,75m. Foi adotada uma abertura zenital de 1,00m x 2,00m, com duas possibilidades de posicionamento, uma centralizada e outra lateralizada, permitindo maior diversidade de ângulos de incidência nos pontos estudados.

A maquete foi projetada desmontável, o que possibilitou o

transporte da mesma de Cruz Alta para Santa Maria e para Santa Cruz do Sul, nas respectivas Universidades, para análise e testes junto ao orientador e alunos dos laboratórios de conforto. Esta condição também foi necessária no momento de transportá-la para o local escolhido para realizar as medições.

Uma outra decisão importante foi a realização das medidas pelo horário verdadeiro do sol, e não pelo horário do relógio. Dessa maneira o horário foi corrigido em 1:30 horas sendo descontado os 30 minutos de diferença devido a diferença de meridiano entre a hora oficial do Brasil e Cruz Alta 53,60w. Assim, por exemplo, uma medida realizada às 9.30 hs equivale a 8:00 hs no horário verdadeiro do sol.

4.1.2- Equipamentos e Materiais

4.1.2.1- Equipamentos

a) Maquete

- Material: madeira (mdf 18 mm);
- Dimensões internas de 1,20 x 0,80 x 0,45 m–Repres.6,00 x 4,00 x (3,00 – 0,75)=2,25 (esc. 1:5);
- Pintura interna com tinta fosca preta, para eliminar o CRI;
- Desmontável, com presilhas metálicas de fixação em todos os cantos (a);
- Aberturas superiores (2) com tampas removíveis (b);
- Abertura para suporte do equipamento interno dotado de espuma flexível que impede a entrada de luz (c);

- Suporte para o equipamento interno dotado de parafuso superior para fixar equipamento e parafuso inferior para facilitar localização com precisão dos pontos internos (d);
- Reentrâncias na base (interna) em pontos previamente estabelecidos para o posicionamento do aparelho no total de 9 posições.

A figura 30 apresenta um esquema da maquete projetada e a figura 31 a maquete real utilizada.

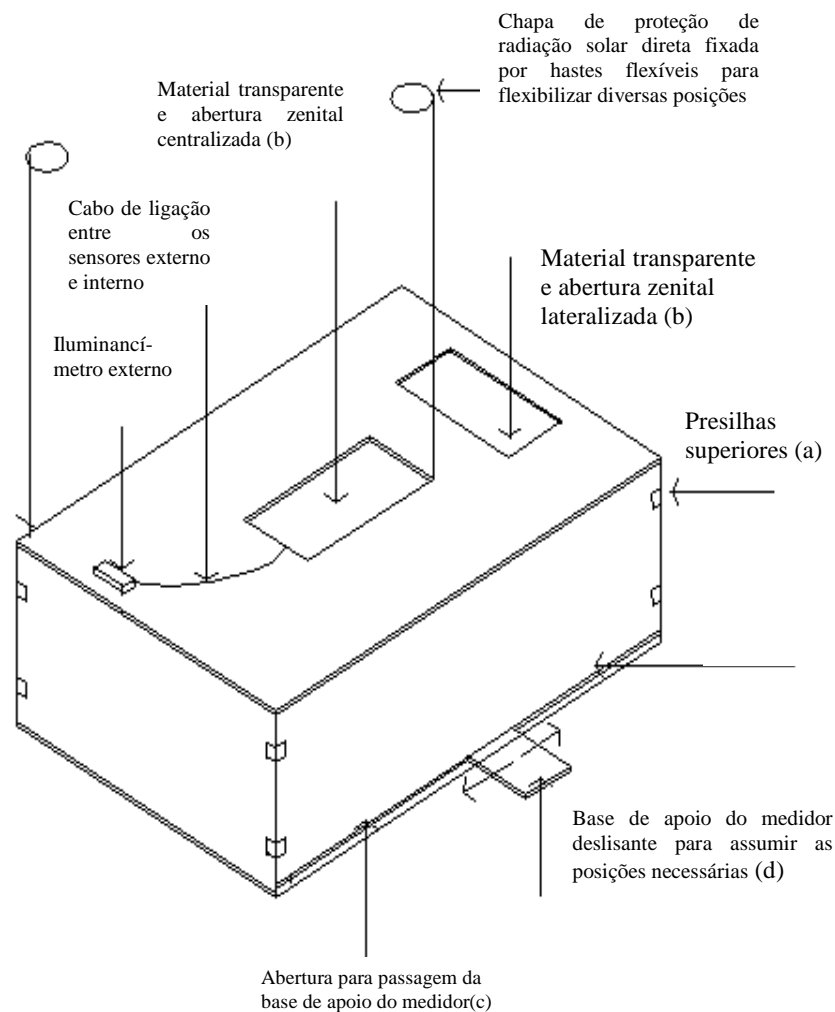


FIGURA 30 – Projeto da Maquete

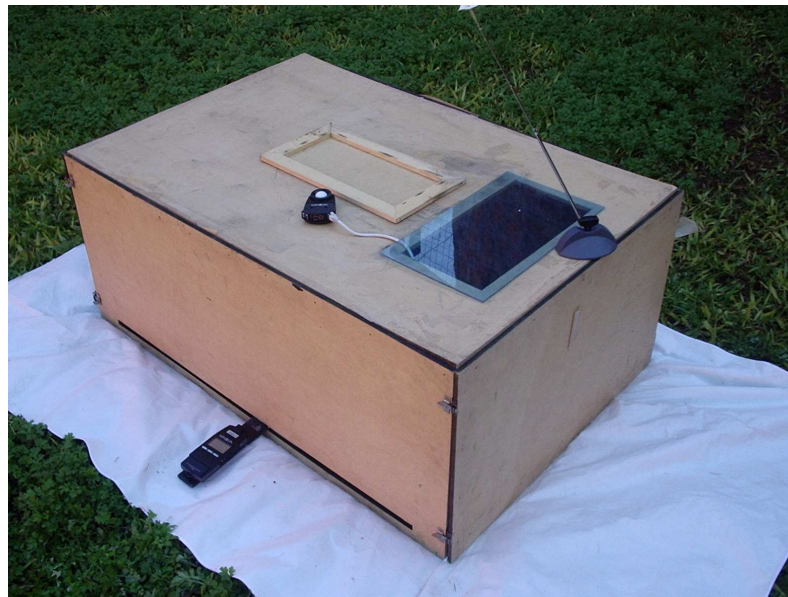


FIGURA 31 – Modelo reduzido utilizado para os ensaios

b) Bússola – necessária para o posicionamento da maquete no Norte Geográfico a partir da localização do Norte Magnético;

c) Luxímetro – Foram utilizados 2 aparelhos T-10, marca Minolta, conectados em série para fornecimento de medidas simultâneas de iluminância nos sensores localizados dentro e fora da maquete. Os aparelhos foram emprestados pela UNICRUZ – Universidade de Cruz Alta, e pela UNISC- Universidade de Santa Cruz do Sul, conforme figura 32 e 33;

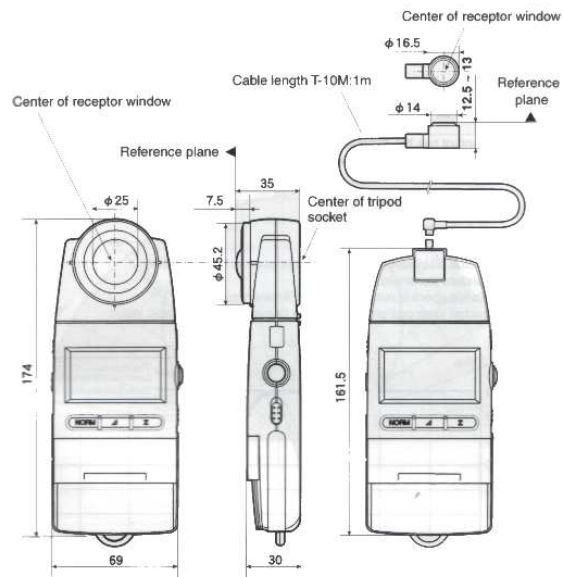


FIGURA 32- Esquema demonstrativo do luxímetro T-10

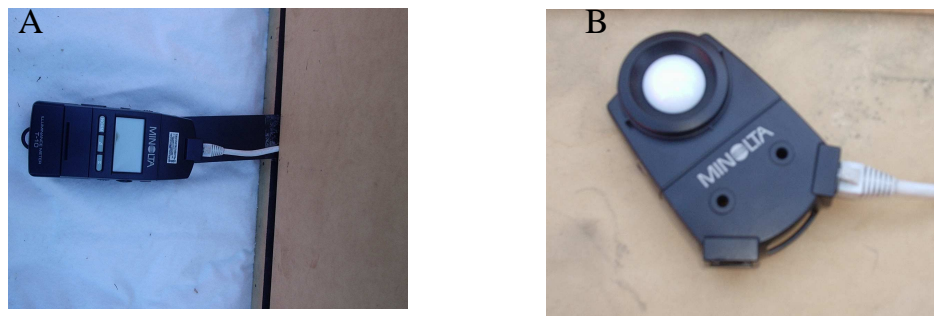


FIGURA 33- Luxímetro utilizado T-10 e sensor acoplado (B)

- d) Estabilizador – Usado para estabilizar a tensão na rede e transformar 220 volt em 110 volt;
- e) Transformador – Necessário para transformar 125 v para 9 v;
- f) Cabo de extensão – Os aparelhos de medição, individualmente funcionam com bateria. No caso de medição simultânea com dois aparelhos e se necessário o uso de energia elétrica.

g) Relógio – O início das medições eram realizadas a cada hora. Alternando-se abertura zenital centralizada e abertura zenital lateralizada. O tempo médio para a realização das medições com os sete materiais transparentes e sem o elemento transparente, nos nove (9) pontos internos, foi de 15 minutos;

h) Antenas – Antenas retrateis duas (2) dotadas de suporte e anteparo para bloquear luz direta do sol com diâmetro de 3 cm;

i) termômetro – para as medições de temperatura, a fim de observar os limites de temperatura recomendados pelo fabricante do equipamento.

4.1.2.2- Materiais

a) Materiais transparentes

Os vidros utilizados para as medições já foram estudados quanto ao seu coeficiente de transmitância da luz visível para ângulos variados (item 3.8).

Desta forma, foram utilizados estes dados para o estudo comparativo da influência do ângulo de incidência da luz no coeficiente de transmitância. Quanto ao fator de manutenção (K1), com o objetivo de desconsiderá-lo, tomou-se o cuidado de manter sempre limpos os materiais transparentes (vidros e policarbonatos) a serem utilizados nas medições. A cada intervalo de medições eram limpos cuidadosamente. Os vidros foram conseguidos junto às vidraçarias e o policarbonato junto os representantes do produto, com amostras de 0,25 x 0,45 cm.

- Vidro incolor 5 mm;
 - Vidro fume 5 mm;
 - Vidro bronze 5 mm;
 - Vidro reflexivo bronze claro CEBRACE;
 - Policarbonato Lexan XL –10 Cristal;
 - Policarbonato Lexan XL –10 Azul;
 - Policarbonato Lexan XL –10 Bronze;
- b) Quadros impressos para anotações dos dados (na tabela 5 como exemplo)

TABELA 5 – Quadro para notações de dados das medições (Office 98 - Excel)

Data: Hora: Abertura: Céu:									
Valor iluminância nos Diversos Pontos									
MATERIAL	PTO 01	PTO 02	PTO 03	PTO 04	PTO 05	PTO 06	PTO 07	PTO 08	PTO 09
Sem vidro Ext. medida									
Ext. média									
Sem vidro Interno									
Vidro Incolor 5 mm									
Vidro Bronze 5 mm									
Vidro Reflexivo 5 mm									
Policarbonato Incolor									
Policarbonato Fume									
Policarbonato Bronze									

- c) Lapiseira e borracha;
- d) Fita adesiva – Para fixação dos cabos nos elementos móveis da maquete e para fixar a lona preta quando foi necessário.

4.1.3- Metodologia

4.1.3.1 Considerações

Na fórmula existente para o cálculo de luz natural o resultado é o somatório da Componente Celeste (CC), Componente de Reflexão Interna (CRI), componente de Reflexão Externa (CRE). Existem ainda componentes que contribuem no resultado final como o K_c = fator de caixilho (considera a área de superfície total da abertura, subtraída da área opaca da esquadria, ou seja, representa a área efetiva da janela); K_T = coeficiente de transmitância do material de vedação da abertura e o K_1 = fator de manutenção.

Embora, segundo Vianna & Gonçalves (2001), na iluminação zenital não havendo obstruções a CRE seja nula e CRI seja desprezível sobre um plano de trabalho horizontal, neste trabalho foi criada uma situação de maneira que os componentes de reflexão interna (CRI) e a componente de reflexão externa (CRE) fossem nulos. Dessa maneira a única parcela a ser analisada é a Componente Celeste (CC). Para isso vários cuidados foram tomados, tanto na confecção da maquete quanto ao posicionamento da mesma, conforme o que segue especificado nos itens a seguir.

4.1.3.2 Detalhes da Maquete

Para eliminação do CRI, toda a superfície interna da maquete foi pintada com tinta preta fosca bem como foi usada espuma preta para fechamento do vão, de modo a não haver reflexão de luz interna.

Os encaixes dos componentes da maquete estavam sempre bem

ajustados e protegidos para impedir qualquer entrada de luz que não fosse pela abertura zenital considerada.

Os sensores dos luxímetros interno e externo foram protegidos da luz solar direta por meio de anteparos compostos por antena e placa opaca fixada na extremidade desta antena e era posicionada de forma a placa de proteção ter a sua sombra projetada sobre o sensor. Como a placa e o sensor apresentavam diâmetros iguais, isto proporcionava que somente a luz do sol, e não da abóbada, ficasse bloqueada. A demonstração pode ser vista na Figura 34.

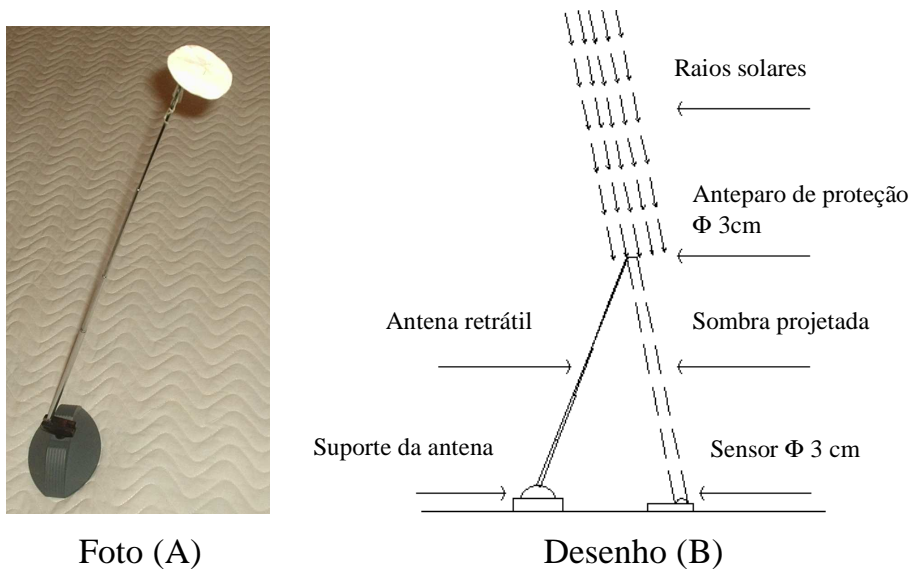
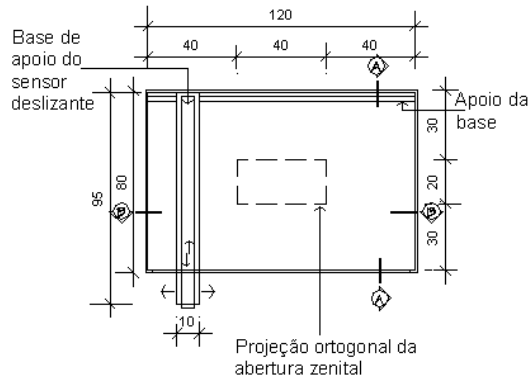
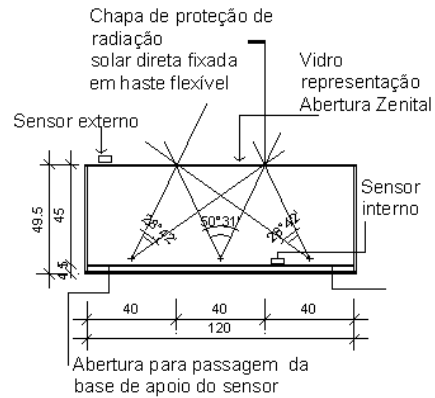


FIGURA 34- Anteparo de proteção solar direta – Foto (A), Desenho (B)

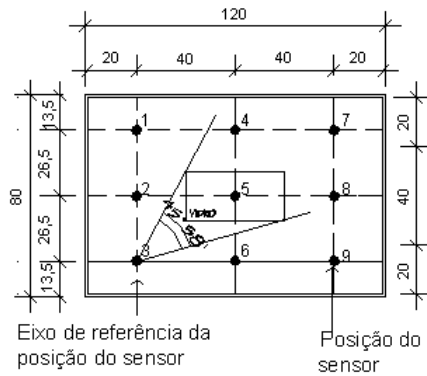
As figuras 35 e 36 representam em planta baixa, vistas laterais, cortes longitudinais e transversais, as dimensões lineares e angulares, relacionando o ponto considerado e a abertura zenital estudada.



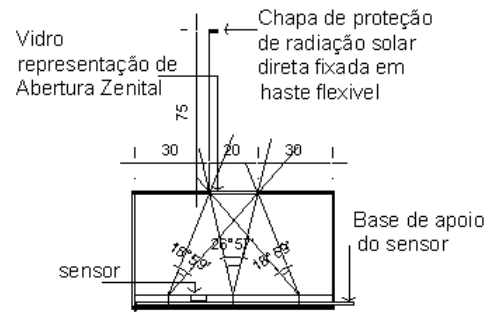
VISTA SUPERIOR



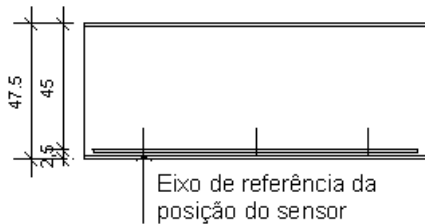
CORTE LONGITUDINAL



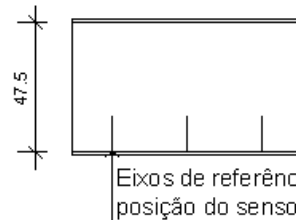
PLANTA BAIXA



CORTE TRANSVERSAL

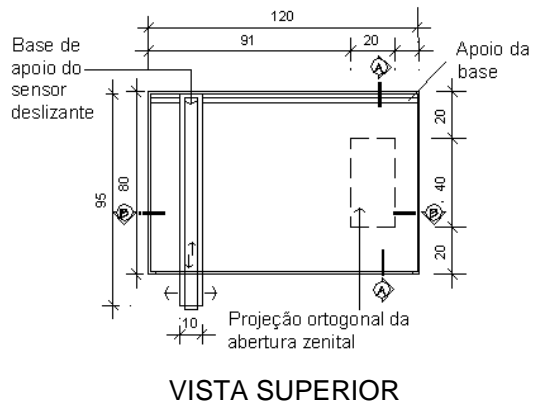


VISTA EXTERNA LONGITUDINAL

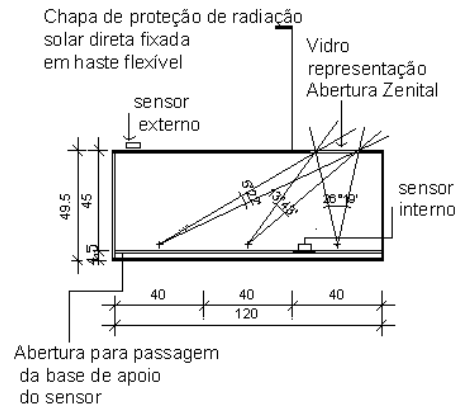


VISTA EXTERNA TRANSVERSAL

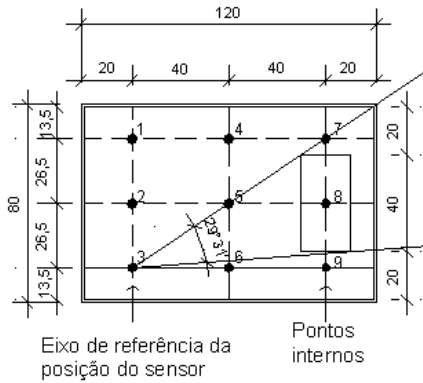
FIGURA 35 – Projeto da maquete com posição dos pontos internos e abertura zenital lateralizada



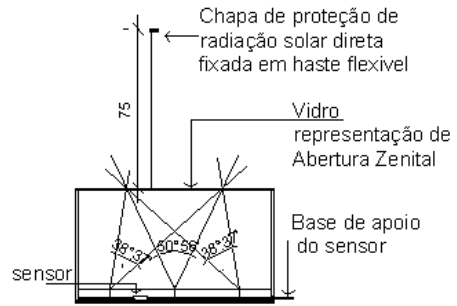
VISTA SUPERIOR



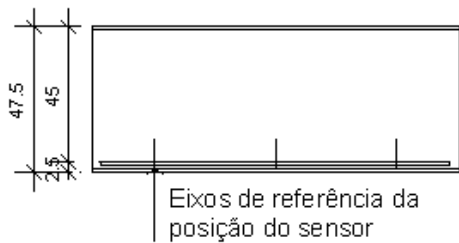
CORTE LONGITUDINAL



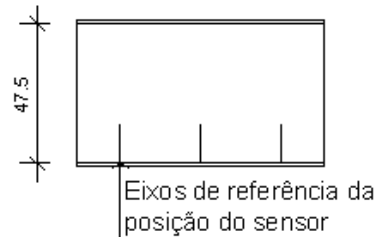
PLANTA BAIXA



CORTE TRANSVERSAL



VISTA EXTERNA LONGITUDINAL



VISTA EXTERNA TRANSVERSAL

FIGURA 36 – Projeto da maquete com posição dos pontos internos e abertura zenital lateralizada

4.1.3.3- Posição da Maquete

A escolha do local para o posicionamento da maquete obedeceu ao condicionante de ser um local onde se pudesse avistar a abóbada celeste completamente desobstruída de qualquer anteparo. A escolha foi um prédio de 10 pavimentos localizado na Rua Pinheiro Machado, no centro de Cruz Alta, em área alta. O local e a posição escolhida para a maquete atendem de maneira satisfatória aos requisitos estabelecidos.

Foram feitas medições em dias representativos dos 3 tipos de céu considerados, como segue:

- a) Céu Limpo,
- b) Céu Parcialmente Encoberto
- c) Céu Encoberto

Em cada tipo de céu foram realizadas 864 medições internas e externas, resultado dos nove (9) posicionamentos internos, dos materiais analisados, das duas (2) posições da abertura zenital e das diversas horas medidas. As medições foram realizadas a cada hora nas aberturas centralizadas e lateralizada, alternadamente, sendo nas horas 8, 10, 12, 14, 16, 16:30hs na abertura zenital centralizada e nas horas 9,11,13, 15, 17, 17:30hs na abertura zenital lateralizada .