



**AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE
ILUMINAÇÃO NATURAL ATRAVÉS DE
ABERTURAS ZENITAIS**

por

Márcia Susana Stürmer de Andrade

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

PPGEC

Santa Maria, RS, Brasil

2004

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil na Área de
Conforto Ambiental**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE CÁLCULOS DE
ILUMINAÇÃO NATURAL ATRAVÉS DE
ABERTURAS ZENITAIS**

elaborada por

Márcia Susana Stürmer de Andrade

como requisito parcial para
obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Joaquim César Pizzutti dos Santos (orientador)

Prof^ª. Dr^ª. Renata Faccin

Prof^ª. Dr^ª. Dinara Xavier da Paixão

Santa Maria, 17 de dezembro de 2004

“A Arquitetura é
uma construção poética da luz
onde esta revela
a poesia do espaço ao Homem.”
(Octávio Paz)

À minha mãe,
o seu exemplo sempre
me inspirou a lutar,
Ao Júlio, o seu amor me dá
confiança e estímulo.
Aos meus filhos
a alegria e a fé.

AGRADECIMENTOS

A Deus por iluminar minha caminhada.

A minha família pelo amor, companheirismo, carinho, compreensão, coragem em todos os momentos.

Ao professor Dr. Joaquim César Pizzutti dos Santos, pela orientação qualificada, dedicação e atenção desprendidas para a realização deste trabalho.

A professora Dr^a. Renata Faccin, pela valorosa colaboração e orientação ao desenvolvimento do trabalho.

A minha amiga e colega Fabiane Van Hass Malheiros, pelo companheirismo e amizade ao longo desta trajetória.

A Universidade de Cruz Alta (UNICRUZ) por ser o estímulo para esta caminhada e pelo uso dos Equipamentos do Laboratório de Conforto Ambiental.

A Universidade de Santa Cruz (UNISC) pela colaboração no empréstimo de equipamento de medição usados na pesquisa.

As minhas amigas e colaboradoras do escritório, Simone, Andréia, Sandra e Ana Paula, que não poupam esforços para contribuir e auxiliar nos pequenos “grandes” detalhes.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e de Produção, pelo conhecimento e qualidade oferecidos nas aulas.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
SUMÁRIO	vii
RESUMO	xi
ABSTRACT	Erro! Indicador não definido.
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xvii
LISTA DE APÊNDICES.....	xxii
LISTA DE ABREVIATURAS	xxiii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xxiv
1- INTRODUÇÃO	1
2- OBJETIVOS.....	4
2.1 - Objetivo Geral.....	4
2.2- Objetivos Específicos.....	4
3- REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1- Luz natural e o homem – condições de conforto.....	5
3.1.1- Luz e visão.....	10
3.1.2- Grandezas relativas à percepção visual e fotométrica relacionados à iluminação natural.....	14
3.1.2.1- Iluminância.....	14

3.1.2.2- Luminância.....	18
3.2- Luz natural e eficiência energética.....	19
3.2.1- Disponibilidade da luz natural.....	25
3.2.2- Radiação solar.....	30
3.2.3- Desempenho luminotécnico para iluminação das áreas internas das edificações.....	31
3.2.3.1- Iluminação lateral.....	33
3.2.3.2- Iluminação Zenital.....	36
3.3- A luz na arquitetura e as tendências mundiais.....	44
3.3.1- Iluminação Zenital no Mundo.....	48
3.3.2- Iluminação Zenital no Brasil.....	52
3.4 -Tipologias de aberturas zenitais.....	55
3.4.1- Shed.....	55
3.4.1.2- Lanternim.....	57
3.4.1.3- Clarabóia/Domus e Cúpulas.....	59
3.4.1.4- Dutos de luz.....	61
3.4.1.5- Átrio.....	62
3.5 - Modelos preditivos de disponibilidade da luz natural.....	63
3.6- Caracterização “ In Situ” da luz natural interior.....	67
3.7- Métodos existentes para previsão de luz natural em pontos internos à edificação.....	70
3.7.1- F.L.D - Fator de Luz do Dia	72
3.7.2- C. L. D-Coeficiente de Luz do Dia	74
3.7.3- C.L.D. R-Coeficiente de Luz do Dia Relativa -(M2).....	77
3.7.4- C. L. D. R- com consideração do ângulo de incidência.....	79

3.8- Influência do ângulo de incidência na transmitância da luz visível (Tv) de elementos transparentes.....	79
4- MATERIAIS E MÉTODOS	85
4.1- Medições.....	85
4.1.1- Condições Gerais para realização das medições.....	85
4.1.2- Equipamentos e Materiais.....	88
4.1.2.1- Equipamentos.....	88
4.1.2.2- Materiais.....	92
4.1.3- Metodologia.....	94
4.1.3.1- Considerações.....	94
4.1.3.2- Detalhes da Maquete.....	94
4.1.3.3- Posição da Maquete.....	98
4.1.3.4- Procedimentos na medição.....	101
4.2- Métodos Computacionais de Cálculo do C.L.D.....	104
4.2.1- Cálculo pelo método do Coeficiente de Luz do Dia C.L.D.....	112
4.2.2- Método do Coeficiente de Luz do Dia Relativa C.L.D.R.....	113
4.2.3- Método ClDr com Ângulo de Incidência C.L.D.R.A.....	114
5- RESULTADOS.....	115
5.1- Resultados das Medições.....	115
5.2- Resultado do Procedimento Computacional.....	117
6- ANÁLISE DOS RESULTADOS	124

6.1- Comparação entre os diferentes métodos de cálculo e as medições.....	124
6.1.1- Considerações Gerais para os três pontos (02, 05, 08).....	140
6.2 Influência da Consideração do Ângulo de Incidência.....	141
6.3 – Diferenças de iluminância pelo emprego de diferentes métodos de cálculo.....	148
6.3.1 - Diferença de Iluminância média entre os métodos M_1 e M_3	149
6.3.1.1 - Considerações das diferenças de iluminância entre os métodos M_1 e M_3	151
6.3.2 - Diferença de Iluminância média entre os métodos M_2 e M_3	152
6.3.2.1 - Considerações das diferenças de iluminância entre os métodos M_2 e M_3	154
CONCLUSÃO.....	155
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	158
APÊNDICES.....	162

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE CÁLCULOS DE ILUMINAÇÃO NATURAL ATRAVÉS DE ABERTURAS ZENITAIS

AUTORA: MÁRCIA SUSANA STÜRMER DE ANDRADE
ORIENTADOR: DR. JOAQUIM CÉSAR PIZZUTTI DOS SANTOS
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 17 de dezembro de 2004.

Este trabalho analisa e avalia os resultados dos diferentes métodos de cálculo de previsão de iluminação natural em relação a valores de medições através de uma abertura zenital e demonstra a metodologia adotada no uso de maquetes de estudo para a realização destas medições. Na análise comparativa destes resultados fica validado os melhoramentos e contribuições propostas para os métodos do CLD – Coeficiente de Luz do dia. O trabalho apresenta ainda um estudo da iluminação natural e aberturas zenitais.

ABSTRACT

Master Degree Dissertation
Civil Engineering Post Graduation Program
Federal University of Santa Maria-Brazil

ASSESSMENT OF NATURAL ILLUMINATION CALCULUS METHODS THROUGH ZENITHAL OPENINGS

AUTHOR: MÁRCIA SUSANA STÜRMER OF ANDRADE
ADVISOR: DR. JOAQUIM CÉSAR PIZZUTTI DOS SANTOS
It dates and Local of the Defense: Saint Maria,2004-12-17

This paper analyzes and evaluates the different results of calculus methods of natural illumination forecast in relation to measurement values through a zenithal opening and shows the adopted methodology when using small study models for carrying out such measurements. The comparative analysis of these results shows it validates the improvements and contributions proposed to the methods of the Daylight Coefficient (DC). The paper also presents a study on natural illumination and zenithal openings. Key words: calculus methods, zenithal openings, illumination, daylight coefficient.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Iluminância para cada grupo de tarefas visuais.....	17
TABELA 2 - Eficácia luminosa de diversas fontes de luz.....	24
TABELA 3 - Os parâmetros P1 e P2.....	84
TABELA 4 - Coeficiente de Admissão de luz (CAL) de materiais transparentes.....	84
TABELA 5 - Quadro para notações de dados das medições.....	93
TABELA 6 - CLD das medições “in situ”.....	115
TABELA 7- Resultados pelos 3 métodos de cálculo e medições reais - Abertura Zenital Lateralizada – Vidro Bronze – Céu Claro, Parcialmente Encoberto e Céu Enco- berto.....	118
TABELA 8- Resultados pelos 3 métodos de cálculo e medições reais - Abertura Zenital Lateralizada – Vidro Incolor – Céu Claro, Parcialmente Encoberto e Céu Encoberto.....	119
TABELA 9- Resultados pelos 3 métodos de cálculo e medições reais - Abertura Zenital Lateralizada – Policarbonato Bronze – Céu Claro, Parcialmente Encoberto e Céu Encoberto.....	120
TABELA 10- Resultados pelos 3 métodos de cálculo e medições reais - Abertura Zenital Lateralizada – Policarbonato Incolor– Céu Claro, Parcialmente Encoberto e Céu	

Encoberto.....	121
TABELA 11- Resultados pelos 3 métodos de cálculo e medições reais - Abertura Zenital Lateralizada – policarbonato Fumê– Céu Claro, Parcialmente Encoberto e Céu Encoberto.....	122
TABELA 12- Resultados pelos 3 métodos de cálculo e medições reais - Abertura Zenital Lateralizada – Vidro Reflexivo –Céu Claro, Parcialmente Encoberto e Céu Encoberto.....	123
TABELA 13- Desvio entre os diferentes métodos de cálculo (M_1 , M_2 e M_3) e os valores medidos (M_4) – Abertura Zenital Lateralizada - Ponto 02 – Céu Claro.....	125
TABELA 14- Desvio existente entre os diferentes métodos de cálculo (M_1 , M_2 e M_3) e os valores medidos (M_4). Abertura Zenital lateralizada Ponto 02-Céu Parcialmente.Encoberto.....	126
TABELA 15- Desvio existente entre os diferentes métodos de cálculo (M_1 , M_2 e M_3) e os valores medidos (M_4) - Abertura Zenital Lateralizada - Ponto 02 – Céu Encoberto.....	127
TABELA 16- Desvio existente entre os diferentes métodos de cálculo (M_1 , M_2 e M_3) e os valores medidos (M_4) - Abertura zenital lateralizada - Ponto 05 – céu Claro.....	130

TABELA 17- Desvio existente entre os diferentes métodos de cálculo (M1, M2 e M3) e os valores medidos (M4) - Abertura Zenital Lateralizada Ponto 05-Céu Parcialmente Encoberto.....	131
TABELA 18- Desvio existente entre os diferentes métodos de cálculo (M1, M2 e M3) e os valores medidos (M4) - Abertura Zenital Lateralizada - Ponto 05 – Céu Encoberto.....	132
Tabela 19- Desvio existente entre os diferentes métodos de cálculo (M1, M2 e M3) e os valores medidos (M4). Abertura Zenital Lateralizada – Ponto 08 – Céu Claro.....	135
Tabela 20- Desvio existente entre os diferentes métodos de cálculo (M1, M2 e M3) e os valores medidos (M4) Abertura Zenital Lateralizada Ponto 08-Céu Parcialmente Encoberto.....	136
TABELA 21- Desvio existente entre os diferentes métodos de cálculo (M ₁ , M ₂ e M ₃) e os valores medidos (M ₄). Abertura Zenital Lateralizada – Ponto 08 – Céu Encoberto.....	137
TABELA 22 - Desvio entre os métodos de cálculo M ₂ e M ₃ – Abertura Zenital Lateralizada Pontos 02, 05 e 08 – Céu Claro.....	142
TABELA 23- Desvio entre os métodos de cálculo M2 e M3- Abertura Zenital Lateralizada pontos 02, 05 e 08-Céu Parcialmente Encoberto.....	143

TABELA 24- Desvio entre os métodos de cálculo M2/M3- Abertura Zenital Lateralizada pontos 02, 05 e 08 -Céu Encoberto.....	144
TABELA 25- Diferença de iluminância e diferença relativa de iluminância entre M1 e M3- vidro incolor.....	149
TABELA 26- Diferença de iluminância e diferença relativa de iluminância entre M2 e M3- vidro incolor.....	152

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Ângulos para estudo de insolação: “h” – altura do sol; “a” - azimute da fachada.....	27
FIGURA 2 - Decomposição da radiação solar.....	31
FIGURA 3 – Exemplos de Iluminação Zenital.....	36
FIGURA 4 - O que a iluminação lateral “vê”.....	37
FIGURA 5 - O que a iluminação zenital “vê”.....	38
FIGURA 6 – Exemplo de Teto com dupla inclinação - Mercado Municipal São Paulo, SP.....	40
FIGURA 7 – Iluminação Zenital com dificuldades de acesso.....	41
FIGURA 8 – Exemplo de iluminação zenital com proteção da radiação solar direta.....	43
FIGURA 9 – Exemplos arquitetônico do passado: A:Vaticano; B: Pantheon, Roma.....	46
FIGURA 10 – A: Transforma-se com a trajetória do sol; B: sob a luz, sombra e meia-sombra.....	48
FIGURA 11- Obras européias: Galeria Vittorio Emanuele, Milão, Itália.....	49
FIGURA 12- National Gallery of Canada, em Ottawa, em Ontário.....	50
FIGURA 13 – Vista da fachada oeste da Cafeteria do St. Göran Hospital, em Estocolmo.....	51

FIGURA 14 - Pinacoteca do Estado de São Paulo - A: frente; B: abertura interna.....	53
FIGURA 15 – Universidades: A: Universidade Ritter dos Reis, RS; B: Universidade de Arquitetura da USP Arqto. Villanova Artigas, 1970.....	53
FIGURA 16 – A luz é o principal agente de comunicação entre o interior e exterior, localizando as pessoas no tempo e no espaço.....	54
FIGURA 17 – Demonstração de um shed, área iluminante voltada para o sul.....	56
FIGURA 18 – Sheds: A: Galpão industriais em São Paulo; B: Victória Station, em Londres.....	57
FIGURA 19 – Lanternim - Escola primária, Londres.....	58
FIGURA 20 – Clarabóia.....	60
FIGURA 21 – Cúpula.....	60
FIGURA 22 – Domus (Standstead Airport, Londres).....	61
FIGURA 23 – Exemplo de iluminação através do átrio.....	62
FIGURA 24 - Fluxo luminoso: A: CC – componente do céu; B: CRE – componente Refletida Externa; C: CRI- Componente Refletida Interna.....	75
FIGURA 25 – Localização do azimute do sol no CLDR.....	78
FIGURA 26 – Superposição da máscara de obstrução sobre o C.L.D.R.....	78
FIGURA 27 - Transmitância no visível de vidros comuns em relação ao ângulo de incidência.....	81

FIGURA 28 - Transmitância no visível de policarbonatos e acrílico em relação ao ângulo de incidência.....	81
FIGURA 29 - Variação da transmitância da luz visível dos materiais de referência com o ângulo de incidência.....	83
FIGURA 30 – Projeto da maquete.....	89
FIGURA 31– Modelo reduzido utilizado para os ensaios	90
FIGURA 32– Esquema demonstrativo do luxímetro T-10.....	91
FIGURA 33 – Luxímetro utilizado T-10 e sensor acoplado (B).....	91
FIGURA 34- Anteparo de proteção solar diteta – foto (A) desenho (B).....	95
FIGURA 35– Projeto da maquete com posições dos pontos internos e da abertura zenital centralizada.....	96
FIGURA 36 – Projeto da maquete com posições dos pontos internos e da abertura zenital centralizada.....	97
FIGURA 37 – Céu parcialmente encoberto.....	99
FIGURA 38 – Céu claro.....	99
FIGURA 39 – Céu encoberto.....	99
FIGURA 40 – Vistas do local no ponto de posicionamento da maquete (norte-sul, leste-oeste).....	100
FIGURA 41 – Localização da maquete.....	101
FIGURA 42 – Posição no momento da leitura.....	102
FIGURA 43 – Posição no momento do intervalo entre as Medições.....	102
FIGURA 44 – Exemplo de divisão da abóbada celeste em retalhos (parcelas) de 10 em 10 graus.....	105

FIGURA 45 – Definição das medidas e geometria do ambiente em estudo.....	106
FIGURA 46 – Áreas da abóbada celeste visualizada a partir dos pontos internos através da abertura zenital lateralizada.....	107
FIGURA 47 – Representação da distribuição de iluminâncias do Céu para o dia 28/10/2003. Cruz Alta – RS. Céu Limpo – limpidez 8/8.....	108
FIGURA 48 – Representação da distribuição de iluminâncias do Céu para o dia 29/11/2003. Cruz Alta – RS. Céu Parcialmente nublado – limpidez 6/8.....	109
FIGURA 49 – Representação da distribuição de iluminância do céu para o dia 13/12/2003. Cruz Alta – RS. Céu encoberto limpidez 8/8.....	110
FIGURA 50– Escala de cores da distribuição de luminâncias.....	111
FIGURA 51 – Gráficos da média dos valores de desvio entre os diferentes métodos e as medições <i>in situ</i> – Abertura Zenital Lateralizada – Ponto 02.....	128
FIGURA 52 – Área do céu vista pelo ponto 02.....	129
FIGURA 53 – Gráficos da média dos valores de desvio entre os diferentes métodos e as medições <i>in situ</i> – Abertura Zenital Lateralizada – Ponto 05.....	133
FIGURA 54 – Parcela vista do céu pelo ponto 05.....	134
FIGURA 55 – Gráficos da média dos valores de desvio entre os diferentes métodos e as medições <i>in situ</i> –	

Abertura Zenital Lateralizada – Ponto 08.....	138
FIGURA 56 – Área visualizada da abóbada celeste pelo ponto 08.....	139
FIGURA 57 – Gráficos representativos do desvio existente entre os métodos M_2 e M_3 , considerando as médias entre os diferentes materiais transparentes, nos pontos 02, 05 e 08, nos 03 tipos de céu.....	145
FIGURA 58 – Corte Longitudinal da Maquete e Ângulos de Incidência – Ponto 08.....	146
FIGURA 59 – Corte Longitudinal da Maquete e Ângulos de Incidência – Ponto 05.....	147
FIGURA 60 – Corte Longitudinal da Maquete e Ângulos de Incidência – Ponto 02.....	147
FIGURA 61 – A – Gráfico da diferença de iluminância entre os métodos M_1 e M_3 e B – Gráficos da diferença de iluminância entre M_1 e M_3	150
FIGURA 62 – A – Gráfico da diferença de iluminância entre os métodos M_2 e M_3 e B – Gráficos da diferença de iluminância entre M_2 e M_3	153

LISTA DE APÊNDICES

ANEXO A-Tabelas de Levantamento de Dados das Medições – Abertura Zenital Centralizada.....	163
ANEXO B-Tabelas de Levantamento de Dados das Medições – Abertura Zenital Lateralizada	178
ANEXO C-Tabelas de Valores de CLD Calculados a partir das Medições In Situ.....	193
ANEXO D-Tabelas de Valores de CLD Calculados apartir das Medições In Situ.....	208

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de normas Técnicas

C. L. D- Coeficiente de Luz do Dia

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

C.L.D.R.A – Coeficiente de Luz do Dia Relativa + ângulo de Incidência

CC- Componente Celeste

CRE - Componente Refletido Externamente

CRI- Componente de Reflexão Interna

FLD- Fator de luz do Dia

Fc – Foot candle

GCS- Ganho de Calor Solar

GRIN - Ganhos de Referência da Iluminação Natural

I – Intensidade luminosa

Lx - Lux

IN- iluminação natural

NBS - National Bureau of Standards

UNICRUZ – Universidade de Cruz Alta

UNISC- Universidade de Santa Cruz do Sul

K1- Fator de redução devido aos elementos opacos

Tv -Transmitância da luz visível

K2- Fator de redução devida à manutenção (limpeza)

LISTA DE SÍMBOLOS

A_p - é a área da parede

A_v - Área útil do envidraçado

E - iluminância

K_1 - Fator de redução devido aos elementos opacos.

K_2 - Fator de redução devido à manutenção (limpeza)

L - luminância

lx - lux

S - área da superfície.

T_v - transmitância da luz visível

X - azimuth solar

Y - altitude solar

Φ_v - fluxo luminoso que atinge a superfície

cd - candela

1- INTRODUÇÃO

O tema Iluminação Zenital sempre exerceu em mim um fascínio, um interesse todo especial. Não sei se é a luz do dia em si ou a forma como ela invade e interpreta os espaços arquitetônicos. Sempre observei o quanto essa relação iluminação x ambiente, dependendo de como ela acontece, tem resultados com maior ou menor conforto, seja ele visual, térmico ou de percepção.

Como tudo o que gostamos desperta nosso interesse, desenvolver este trabalho parece oportuno, somado ainda a atualidade e relevância de qualquer assunto que combine com uso racional e inteligente de recursos naturais, eficiência energética de edificações e o conforto ambiental gerado pela correta interpretação arquitetônica dos elementos da natureza, no nosso caso, a Luz Natural.

Neste sentido o trabalho busca informações do uso de iluminação zenital nas edificações e identifica como de grande importância o seu correto dimensionamento.

Este dimensionamento passa pelos métodos existentes de cálculo de luz natural em pontos internos da edificação. Estes métodos apresentam pontos básicos em comum e características diferentes oriundas de melhoramentos em relação ao método original o CLD (Coeficiente de Luz do Dia).

Para fazer uma análise da eficiência e confiabilidade destes métodos e ainda estabelecer um comparativo entre os mesmos, foram

realizadas medições *in situ*. Estas medições obedeceram a critérios estabelecidos pela NB 5413 abril/92.

O trabalho apresenta os resultados dos cálculos pelos métodos computacionais em tabelas, acrescidas dos valores das medições. Através da análise de gráficos interpretativos e comparativos, pudemos chegar a diversas observações e conclusões sobre a confiabilidade destes métodos e a pertinência dos melhoramentos ocorridos nos métodos mais recentemente propostos.

A estrutura da dissertação se dá através de capítulos, como segue:

O presente capítulo I descreve a introdução do trabalho, onde relata o porque da escolha do tema, sua pertinência e as etapas do estudo.

No capítulo II são apresentados os objetivos do trabalho.

O capítulo III desenvolve a revisão bibliográfica com a apresentação dos conceitos e dados ilustrativos do assunto.

O capítulo IV apresenta os materiais e métodos, demonstrando os critérios e os resultados dos métodos computacionais de previsão de iluminação em pontos internos de uma edificação. Mostra, ainda, como foram realizadas as medições reais.

O capítulo V apresenta os resultados através de tabelas com os valores calculados e medidos.

No capítulo VI é feita a análise dos resultados visando a comparação entre os diversos métodos e valores medidos e as observações inerentes a esta análise.

O capítulo VII mostra as considerações finais, através das conclusões.

No capítulo VIII estão apresentados as referências bibliográficas do presente trabalho.

Os Apêndices são compostos das tabelas de todos os dados medidos na maquete de estudo.

2 - OBJETIVOS

2.1 - Objetivo Geral

Analisar e avaliar a precisão no emprego dos diferentes métodos de cálculo de previsão de iluminação natural zenital.

2.2 Objetivos Específicos

- Aprofundar conhecimentos das questões relacionadas ao uso da iluminação natural através de aberturas zenitais, no que tange a quantificação da luz disponível através de formulações numéricas e medições “*in situ*”.
- Apresentar valores de iluminância de medições de luz natural, realizadas em modelo reduzido, obedecendo a critérios estabelecidos pelas normas vigentes.
- Mostrar os resultados pelos diferentes métodos de cálculo e fazer uma análise comparativa dos mesmos com as medições, evidenciando a influência do ângulo de incidência, da posição do sol em relação ao ponto (horário da medição) e dos diferentes tipos de céu.

3- REVISÃO DE LITERATURA

3.1- Luz natural e o homem – condições de conforto

Na Antigüidade, a questão relacionada com a luz foi se aprimorando e adquirindo um novo significado, onde as áreas iluminadas brilhantemente correspondiam a locais especiais que apresentavam conotações históricas e de grandiosidade.

A luz recebida do sol é a fonte de luz natural fundamental, mas é a luz do sol difundida na atmosfera que, como luz do céu, serve de fonte primária na iluminação natural de interiores, e o sol é fonte de energia renovável e uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentar os desafios do novo milênio. A energia solar é abundante e permanente, renovável a cada dia, não polui e nem prejudica o ecossistema.

De acordo com Vianna & Gonçalves (2001) o homem é um ser totalmente dependente da luz, pois cerca de 70% da percepção humana é visual. Ela faz parte de sua vida do seu dia-a-dia, do seu modo de habitar. Desde que nasce, o homem está sendo submetido ao ritmo da natureza, da existência da noite e do dia, elementos que são condições necessárias para que ele se sinta pertencente ao próprio tempo.

Ao longo da história, a luz natural sempre teve um papel importante na arquitetura, do ponto de vista estético e simbólico, e em

relação ao conforto e à iluminação funcional. A busca da iluminação natural foi incrementada durante a Revolução Industrial, através das inovações tecnológicas, como por exemplo, as novas técnicas para a produção de vidro. As implicações arquitetônicas da utilização da luz natural nos edifícios sempre foram, além disso, uma fonte de inspiração para os projetistas. Neste sentido a iluminação natural sempre fez parte, ainda que implicitamente, do processo de projeto (Baker et all, 1993).

A luz natural produz uma variabilidade muito sutil que proporciona ambientes mais agradáveis, comparativamente à “monotonia” dos ambientes determinada por alguns projetos de iluminação artificial. Também ajuda a criar melhores condições de trabalho porque promove a percepção dos objetos pela cor e contraste naturais. A presença da luz natural pode trazer uma sensação de bem-estar e consciência de um ambiente mais amplo no qual o homem vive(Baker et all, 1993).

A qualidade da luz natural, sem dúvida, é a principal razão para justificar o seu uso no interior dos edifícios, pois sendo uma combinação entre a luz do sol e a luz do céu, é a única fonte de luz que responde de forma completa às exigências do sistema visual humano.

Quanto à preferência pela luz natural, vários estudos foram desenvolvidos. Todos eles demonstram que a maioria das pessoas, conscientes ou não da qualidade da luz natural, dão preferência a ela, e não a iluminação artificial.

Segundo Scarazzato (1995, p.10), a luz natural também ajuda a criar a sensação de espacialidade dos ambientes. “A presença da luz natural e da insolação num cômodo cria variedade e altera as características visuais do mesmo ao propiciar mudanças cromáticas, de contraste e de luz. Tal fato gera um dinamismo do espaço arquitetônico”.

Nesta mesma direção de pensamento, Lamberts et all (1997) colocam que a variabilidade da luz natural permite ao homem a percepção espaço-temporal do lugar onde se encontra, e que o jogo de intensidades diferenciadas de luz, sombras e de reprodução das cores constitui informações espaço-temporais que a luz natural fornece ao homem, fundamentais ao funcionamento do seu relógio biológico.

Após este conjunto variado de informações que colocam a iluminação natural como energeticamente eficiente, luz com mais qualidade e que agrega uma série de vantagens quanto ao seu uso, percebe-se o porquê da preferência do homem na escolha da iluminação natural frente a artificial.

Kholer comenta que:

O homem como um ser predominantemente visual é mais fortemente afetado pela luz do que por qualquer outra sensação. (...) Forma e cor determinam a percepção do entorno físico através dos olhos, e nos dão uma mais clara e vívida impressão do espaço do que os sentidos tácteis, auditivos e olfativos.

Pode-se entender através do pensamento, que com a luz cria-se o espaço através da relação fundamental entre a luz, sombra e cor. A função do ambiente é também um dos fatores mais importantes para a determinação da relação entre espaço, luz e arquitetura.

A arquitetura como realização das necessidades e dos desejos do homem sempre trouxe dentro de si a preocupação com a luz, com o possibilitar ao homem que cria aquilo que lhe é fundamental: a concretização de seus próprios sentimentos através do espaço-luz. A arquitetura antes de tudo é síntese. Caracteriza-se também por ser reflexo imediato das forças da sociedade, como por exemplo, a cultura, a técnica, a política, a economia. Enquanto arte manifesta-se através da forma-espaço concebida como expressão mais verdadeira do espírito humano, que se configura pelo tratamento da luz, da sua cor, da cor da forma, dos vazios coloridos (Viana & Gonçalves, 2001).

O arquiteto projeta para o homem e, portanto, deve ter como seu objetivo maior o bem estar dos indivíduos, no seu sentido mais amplo, ou seja, atingir o conforto psico-físico e social daqueles que usam o espaço que propõe. É o único profissional que trabalha com o vazio – o espaço. Segundo Vianna & Gonçalves (2001, p. 86) “muitas vezes o homem reage, se não independente da vontade do arquiteto e urbanista, pelo menos de uma forma distinta da que eles prevêm”.

A arquitetura é fruto de todo um contexto social, econômico político, cultural e geo-climático por que passa uma determinada sociedade. Além disso, tem como centro de preocupações o homem, seja no seu conceito de ser individual ou considerado como ser essencialmente social (Lamberts et all, 1997).

As questões relacionadas a habitabilidade dos espaços, especificamente aquelas referentes às condições do conforto luminoso, higro-térmico, acústico e de ventilação natural são fundamentais para uma atividade que pretende colocar a satisfação do homem como seu principal objetivo. Mascaró (1983, p. 49) frisa que “a qualidade do espaço é medida pela sua temperatura, sua iluminação, seu ambiente, e o modo pelo qual o espaço é servido de luz, ar e som devem se incorporado ao conceito de espaço em si”.

Quando se trata da arquitetura e conforto do espaço onde se convive, todas as condições térmicas, lumínicas e acústicas, influenciam no bem estar das pessoas, quer estejam elas em ambientes residenciais, escolares, comerciais ou outros.

De acordo com Vianna & Gonçalves (2001, p. 83):

O conforto é a função da relação que o homem estabelece com seu meio ambiente, relação esta que é dependente daquilo que o meio possibilita ao indivíduo em termos de luz, som, calor, uso do espaço e das experiências próprias de cada pessoa, experiência, que por sua vez vão orientar suas respostas aos estímulos recebidos, suas necessidades e aspirações.

Segundo os mesmos autores as bases das relações entre homem/ambiente residem no campo da psicofisiologia, orientando o arquiteto com relação aos principais problemas da percepção humana para estabelecer estabilidade e possibilitar as respostas mais adequadas através da intervenção no meio ambiente.

Apesar da grande importância que tem o conforto para a

arquitetura, e dentro dele os aspectos ligados à percepção das exigências humanas, nota-se que muito pouca atenção tem sido dada a eles, principalmente aos aspectos psicofísicos sensoriais.

Pode-se dizer que os fatores mais importantes e que afetam o padrão de conforto térmico visual de um determinado ambiente relaciona-se com a radiação solar, a temperatura e a umidade do ar, a temperatura radiante média das paredes e tetos, o movimento do ar, e ainda a quantidade geral de luz e sua distribuição dentro do campo de visão.

3.1.1- Luz e visão

O funcionamento básico do olho humano normal consiste em formar a imagem de um objeto sobre a retina, independente da distância que esse objeto esteja do observador. Isto só é possível pela ação dos músculos ciliares que, alterando a curvatura do cristalino, modificam a distância focal.

De acordo com a observação de Pereira (1995) para se ver com maior nitidez a imagem de um objeto, tem-se que olhá-lo de tal maneira que os raios luminosos procedentes dele converjam exatamente sobre a retina, a qual se adapta para a percepção de pequenos detalhes e cores de uma pequena parte do campo visual, ou seja, uma palavra na página de um livro a uma distância normal de leitura mais ou menos 40 cm.

Algumas propriedades do olho contribuem para sensações luminosas e visuais. Essas propriedades vão aparecendo à medida que

examina-se situações reais e usuais, culminando com a caracterização óptica dos diferentes meios materiais, com base nos fenômenos de interação deles com a luz.

Acuidade Visual: A informação visual, cuja finalidade é capacitar o indivíduo para relacionar-se dentro da zona em que exerce suas atividades, tem importância primordial na formação sensorial, ou seja, na percepção por parte do trabalhador dos sinais de trabalho. Portanto, o conforto visual é o principal determinante da necessidade de iluminação em um ambiente de trabalho.

Lamberts et all (1997, p.44) como: “a existência de um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidentes”.

Entende-se que acuidade é a capacidade visual de discriminar pequenos detalhes. Ela depende de muitos fatores, sendo os dois mais importantes, a iluminação e o tempo de exposição. Dentro dos níveis de iluminação normalmente encontrados, acuidade visual varia linearmente com o aumento logarítmico da intensidade luminosa.

Acomodação: Capacidade que o olho tem de ajustar-se às diferentes distâncias dos objetos e obter desta forma uma imagem nítida na retina. Este ajuste efetua-se variando a curvatura do cristalino e com ele a distância focal por contração ou distensão dos músculos ciliares. Essa propriedade, denominada acomodação visual, possibilita focalizar objetos localizados a diferentes distâncias. O cristalino funciona como uma lente flexível e transparente, que serve para tornar

as imagens nítidas (Brito, 2000).

Adaptação: A característica dominante da visão humana é a adaptação. É a capacidade que o olho tem de ajustar-se automaticamente às diferentes luminâncias dos objetos. Isso acontece através da abertura e fechamento da pupila (Vianna & Gonçalves, 2001). A adaptação da pupila com os diversos graus de luminosidade, por sua vez, está em função dos diferentes comprimentos de onda da radiação, isto é, com as cores (Costa, 1982).

Vianna & Gonçalves (2001, p. 93) abordam que a adaptação do olho à luz e às cores é um processo fisiológico altamente complexo. “O que se vê depende não somente da quantidade física da luz ou da cor presente, mas também do estado dos olhos na hora da visão e da quantidade de experiência visual que nós temos que lançar mão para nos ajustar no nosso julgamento”.

Ao passar de um espaço para outro com diferentes níveis de iluminância, haverá uma adaptação da pupila para cada ambiente que, quando contrastada, pode vir a provocar fadiga visual pelo esforço do olho humano.

Contraste: O contraste é definido por Lamberts et all (1997, p. 46) “como a diferença entre o brilho de um objeto e a luminância do entorno imediato deste objeto”. A sensibilidade ao contraste melhora com o aumento da luminância. Uma aplicação importante da sensibilidade ao contraste é a iluminação de sinalização de emergência tipo saída.

Mascaró (1983, p. 1) entende contraste como “uma avaliação subjetiva em aparência de duas partes de um campo de visão, vistas simultaneamente ou sucessivamente. Também baseia-se na diferença entre a aparência visual de um objeto e aquele do fundo imediato.” Em sentido perceptivo, é a avaliação da diferença de aspecto de duas ou mais partes do campo observado, justapostos no espaço ou no tempo, de onde se pode ter o “contraste de luminância”, o “contraste de claridade”, o “contraste de cor”.

Ofuscamento: O ofuscamento é percebido quando lâmpadas, luminárias, janelas ou outras áreas são claras demais comparadas com a luminosidade geral do interior (Jannuzzi, 1992). Nesses casos, certos detalhes não podem ser percebidos por falta de iluminação, ou por excesso de brilho. Isto ocorre quando o processo de adaptação do olho não se faz de forma conveniente, em virtude das diferenças de brilho entre a fonte e fundo ou entre o objeto e seu entorno.

Quando o processo de adaptação não transcorre normalmente, devido a uma variação muito grande ou rápida da iluminação, experimenta-se uma perturbação, desconforto ou até perda da visibilidade, que é chamada de ofuscamento. De acordo com Lambert et all (1997) o ofuscamento pode ocorrer devido a dois efeitos distintos:

- **Contraste:** caso a proporção entre as luminâncias de objetos do campo visual seja maior que 10:1

- **Saturação:** o olho é saturado com a luz em excesso; esta saturação ocorre normalmente quando a luminância média excede 25.000 cd/m^2

Os ofuscamentos podem ser classificados como desconfortáveis ou perturbadores e inabilitadores. Os primeiros não impedem necessariamente o desenvolvimento da tarefa visual. São atribuídos à tendência do olho de se fixar em objetos ou pontos brilhantes dentro do campo visual (fontes de luz ou reflexos intensos em superfícies muito polidas). O ofuscamento inabilitador impede o desenvolvimento da tarefa visual, o que pode ser muito perigoso em certas circunstâncias.

3.1.2- Grandezas relativas à percepção visual e fotométrica relacionados à iluminação natural

3.1.2.1- Iluminância

De acordo com Rozenberg (1998, p. 34) a “iluminância é o fluxo luminoso que incide sobre uma superfície situada a uma certa distância da fonte luminosa. Também define a quantidade de luz que incide numa superfície”. O olho humano tem uma capacidade muito grande de adaptação às condições de iluminação existentes. Isso pode ser notado através da percepção frente a condições tão extremas de luz, como o sol direto e à noite.

Associação Brasileira de Normas Técnicas trata basicamente dos níveis de iluminância mínimos e médios para as diferentes tarefas visuais. Além disso, destaca a iluminância (E) como a relação entre a

quantidade de fluxo luminoso que incide sobre uma superfície e a área desta. Sua unidade é o lux (símbolo:lx).

Assim:

$$\text{Lux} = \frac{\text{lumem}}{\text{m}^2}$$

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Φ = fluxo luminoso que atinge a superfície;

S = área da superfície.

A iluminância E é expressa em lux (lx) sendo uma relação entre a intensidade luminosa e o inverso do quadrado da distância

$$E = \frac{I}{d^2}$$

Lamberts et all (1997) relaciona os requisitos necessários para a ocorrência tranqüila do processo visual (visão), como seguem: iluminância suficiente; boa distribuição de iluminâncias; ausência de ofuscamento; contrastes adequados (proporção de luminâncias) e o bom padrão e direção de sombras. Os níveis de E são obtidos empiricamente através de testes que relacionam o desempenho da tarefa visual com suas variações, estabelece como condições gerais principais:

- A iluminação deve ser medida no campo de trabalho. Quando este não for definido, entende-se como o nível do referente a um plano horizontal a 0.75 m do piso.

- No caso em que seja necessária uma elevada iluminância em um limitado campo de trabalho, este pode ser conseguido com iluminação suplementar.
- A iluminância no restante do ambiente não deve ser inferior a 1/10 do valor adotado para o campo de trabalho, mesmo que a iluminância recomendada para o restante do ambiente seja menor.

A medição de iluminâncias verticais interiores é também importante para avaliar a uniformidade da distribuição de iluminâncias no campo de visão dos observadores. A correta interpretação dos resultados de tais medições pode conduzir ao estabelecimento de uma escala de capacidade de um sistema de iluminação natural de atenuar o encadeamento. Tais medições devem ser efetuadas sob condições de céu encoberto, e ajustadas para uma iluminância exterior de referência.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), fixa as iluminâncias mínimas a serem atingidas em função do tipo de tarefa visual. Na tabela 1, descreve a classificação do nível de iluminação:

TABELA 1 - Iluminância para cada grupo de tarefas visuais

FAIXA	ILUMINÂNCIA	TIPO DE ATIVIDADE
A. Iluminação geral para áreas usadas interrompamente ou com tarefas visuais simples	De 20 a 50	Área pública com arredores escuros
	De 50 a 100	Orientação simples para permanência curta
	De 100 a 200	Recintos não usados para trabalho contínuo, depósito
B. Iluminação geral para área de trabalho	De 200 a 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria
	De 500 a 1.000	Tarefa com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinarias, escritórios.
	De 1.000 a 5.000	Tarefa com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C. Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	De 2.000 a 5.000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônicas de tamanho pequeno.
	De 5.000 a 10.000	Tarefas visuais muito exatas montagem de microeletrônica.
	De 10.000 a 20.000	Tarefas visuais muito especiais

FONTE: ABNT (1997).

A norma também apresenta procedimento para determinação da iluminância conveniente segundo a idade, a velocidade e precisão necessárias para a realização da tarefa e também da refletância do fundo da tarefa visual.

3.1.2.2- Luminância

Na concepção de Rozenberg (1998, p. 38) “a luminância se refere a uma intensidade luminosa que atinge o observador e que pode ser proveniente da reflexão de uma superfície, ou de uma fonte de luz, ou ainda simplesmente de um feixe de luz no espaço”. Também é dada como a relação entre a intensidade na direção considerada e a área aparente da superfície real ou imaginária de onde provém o fluxo luminoso. É importante que se lembre do fato de que os raios luminosos não são visíveis, as sensações de luminosidade são decorrentes da reflexão desses raios por uma superfície.

Uma vez que os objetos possuem diferentes capacidades de reflexão da luz, fica compreendido que uma certa iluminância pode gerar diferentes luminâncias. Vale lembrar que o coeficiente de reflexão é a relação entre o fluxo luminoso incidente e o refletido pela superfície. Esse coeficiente varia de acordo com a cor e a textura do material, (Vianna & Gonçalves, 2001).

Uma boa distribuição de luminância não é sinônima de uniformidade. O contraste e o padrão de sombras devem ser adequados à tarefa visual. Além disso, o emprego preferencial de luz natural permite às pessoas maior tolerância à variação do nível de iluminação (Rozenberg, 1998).

Assim, a caracterização do ambiente luminoso interior poderá ser efetuada mediante a medição criteriosa de luminâncias em direções relevantes para o ocupante, em particular em edifícios onde os ocupantes desempenhem tarefas visuais de caráter contínuo e em

postos de trabalho fixos. Em localizações de referência, deverão ser efetuadas medições de luminâncias em 5 ou 6 direções de visão típicas (para o ocupante) simultaneamente com a iluminância horizontal global exterior, avaliam Akutsu & Vittorino (1992). Os valores medidos das luminâncias poderão assim ser normalizados para um céu encoberto padrão de referência. Os pontos de medição devem situar-se no próprio objeto da tarefa visual, nas áreas circundantes do campo de visão, e em superfícies remotas.

3.2- Luz natural e eficiência energética

A luz natural que é admitida no interior das edificações consiste em luz proveniente diretamente do sol, luz difundida na atmosfera (abóbada celeste) e luz refletida do entorno.

O uso da luz natural em combinação com a artificial em edifícios não-residenciais pode alcançar, mediante a garantia do controle eficiente do sistema e na especificação de suas instalações, economias de 30% a 70%. Em residências o potencial de economia é menor, porém, um bom aproveitamento em geral da luz diurna e dos raios solares diretos exerce um importante e positivo impacto na qualidade dos espaços e na vida dos usuários. Projetos desenvolvidos que considerem a busca da luz natural chegam a alcançar a iluminância requisitada nos interiores de 80% a 90% das horas diurnas do ano, economizando consideráveis quantidades de energia elétrica (Vianna & Gonçalves, 2001).

A luz natural sempre foi a principal fonte de iluminação na

arquitetura. Entretanto, após a descoberta da eletricidade e a invenção da lâmpada por Thomas Edison a iluminação artificial se tornou cada vez mais inseparável da edificação. Sem ela não seriam possíveis os edifícios de grande área construída e muitos pavimentos onde a luz natural não consegue vencer a profundidade em planta para iluminar alguns ambientes interiores (Lamberts et all, 1997).

Os sistemas de luz artificial são agentes consideráveis no consumo total de energia das edificações, principalmente em edifícios não residenciais. Estudos simulados em três cidades de climas distintos (Atenas, Londres e Copenhague), para espaços de escritório de 54 m², indicaram que, em todos os casos, o sistema de luz artificial contribui em 50% do consumo total de energia elétrica. Em cidades de clima frio, edifícios de plantas profundas, com áreas extensas e fora do alcance da luz natural, podem ter um consumo energético para iluminação artificial maior que o referente ao aquecimento nos meses de inverno.

O potencial de economia pelo uso da luz natural é diretamente determinado pelos fatores de localização geográfica, clima, entorno, uso e características físicas do projeto. Quanto mais alta a latitude da cidade, menor a quantidade e qualidade da luz disponível, na mesma medida em que aumentam as necessidades de aquecimento (Hopkinson et all, 1966).

Na concepção de Lamberts et all (1997, p. 14) “a eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor

consumo de energia”.

De acordo com Jannuzzi (1992) as pessoas preferem ambientes com luz natural, e para isso, são projetados edifícios que fazem aproveitamento da luz natural. Mas, mesmo assim, parte do sistema de iluminação artificial fica em uso contínuo durante períodos em que a luz natural fornece os níveis de iluminância satisfatórios para o desenvolvimento das atividades.

Para um uso eficiente de energia e para uma iluminação de alta qualidade no ambiente de trabalho, a iluminação artificial e a natural devem ser complementares. O uso da luz natural com bons controles do sistema de iluminação artificial pode conduzir a uma significativa economia de energia elétrica com benefícios para a sociedade e para os usuários da edificação.

Segundo Souza (1995) a luz natural entrando no espaço carrega junto com ela um ganho de calor solar que em alguns casos é maior que a redução obtida pelo desligamento das lâmpadas.

Romero (1997) frisa que a metade da energia consumida na Europa e nos Estados Unidos é destinada aos edifícios. Em São Paulo, 40% do consumo de energia elétrica acontece dentro de quatro paredes. Conseqüentemente, esses índices podem ser drasticamente reduzidos com a diminuição da dependência dos sistemas artificiais de climatização e iluminação.

Vianna & Gonçalves (2001) comentam que pesquisadores observaram em países de clima quente como o Brasil, nos edifícios de uso público (escolas principalmente), que a preocupação com o super aquecimento (devido a ganhos de radiação solar direta) tem levado ao uso de proteções solares super dimensionadas. O resultado é o

bloqueio da quantidade de luz natural requisitada para o cumprimento de tarefas, o uso permanente dos sistemas artificiais de iluminação e o conseqüente aquecimento e gasto de energia desnecessário.

Vianna & Gonçalves (2001, p. 190) relatam:

Não existem muitos exemplos de edifícios não-residenciais onde a luz natural substitua por completo os sistemas de luz artificial. Porém, da mesma maneira, existem poucas tipologias de edificação onde a luz natural não possa ter uma contribuição substancial. Em hospitais, cerca de 20% a 30% da eletricidade usada pode ser atribuída à iluminação artificial; em fábricas, 15%; e em escolas, de 10% a 15%. Um hospital ou uma fábrica consomem enormes quantidades de energia em atividades como aquecimento, esterilização e funcionamento de máquinas, fazendo dos valores de 15% a 30% atribuíveis à iluminação uma economia interessante no consumo e custos totais da edificação.

De acordo com os mesmos autores, o estudo da iluminação zenital requer a revisão de conceitos envolvidos no tema iluminação natural e diversas abordagens que enfocam a eficiência energética na arquitetura e o conforto térmico e lumínico.

Compete aos arquitetos e engenheiros projetar de forma consciente e responsável a fim de propor soluções de edifícios energeticamente eficientes. Visto que, a radiação solar é a principal fonte de energia no planeta. Tanto como fonte de calor quanto como fonte de luz, o sol é um elemento de extrema importância no estudo da eficiência energética na arquitetura.

Na concepção de Lamberts et all (1997) é possível tirar partido ou evitar a luz e o calor solar em uma edificação, e o critério mais sábio para definir o que fazer é ter como premissas básicas o conforto térmico e visual dos ocupantes e a economia de energia.

A luz solar direta ilumina uma superfície normal com 60.000 a 100.000 lux. Pereira (1995) diz que este valor é muito intenso para ser usado sobre o plano de trabalho e que por este motivo muitos projetistas preferem excluir completamente a luz direta do sol no interior. Devido a sua característica, como aquecimento solar passivo, a radiação solar direta é muitas vezes considerada indesejável para a iluminação pela sua componente térmica.

Um projeto integrado de iluminação natural e artificial, que leva em consideração a disponibilidade de luz diurna, própria do clima local, permite reduzir consideravelmente o consumo de energia. Tanto o ambiente natural como o construído, podem favorecer ou criar dificuldades ao desempenho da iluminação natural e artificial dos edifícios. Sobre as dificuldades, Mascaró (1983, p.48) afirma:

Ambientes sem obstruções permitem o aproveitamento total da disponibilidade de luz natural, mas podem causar cargas termoluminosas indesejáveis. Um bom projeto de iluminação deve levar em conta não apenas as necessidades de iluminação, mas também a carga térmica decorrente das soluções adotadas de forma a minimizar o consumo de energia com condicionamento ambiental.

Essas questões relacionam a importância de um correto dimensionamento das aberturas para iluminação natural, principalmente as zenitais. Não haveria o menor sentido os arquitetos projetarem uma abertura para aproveitamento da luz natural economizando com isso energia elétrica com a iluminação artificial se, por estas aberturas entrar tanto calor que necessitará aumentar excessivamente o consumo com o resfriamento deste ambiente.

Lamberts et all (1997) descrevem valores correspondentes a eficácia luminosa das fontes de luz através da tabela 2:

TABELA 2 - Eficácia luminosa de diversas fontes de luz

DESCRIÇÃO	lm/w
Céu claro	150 lm/w
Céu médio	125 lm/w
Sol - altitude 7,5°	90 lm/w
Sol - altitude média	100 lm/w
Sol - altitude 25°	117 lm/w
Global/Média Sol e Céu	115 lm/w
Lâmpadas:	
Incandescente	5 a 30 lm/w
Fluorescente	20 a 100 lm/w
Sódio alta pressão	45 a 110 lm/w

FONTE: Lamberts et all (1997)

Observa-se que a luz natural direta introduz menor quantidade de calor por lúmem para o interior de um edifício que a maioria das lâmpadas. Isto mostra que a luz natural pode ser uma estratégia atrativa para diminuir a carga de resfriamento necessária em edifícios por causa da iluminação artificial, assumindo-se que pode ser distribuída e largamente utilizada para este fim (Hopkinson et all, 1975).

Conforme Lamberts et all (1997, p. 75):

Para aumentar a eficiência energética e a qualidade dos ambientes em uma edificação, deve-se pensar na complementaridade que existe entre a luz artificial e a luz natural. O projetista precisa considerar a integração entre os dois tipos de fonte de luz e, para isso, é fundamental o conhecimento básico tanto da luz natural quanto dos tipos de equipamentos de iluminação a serem utilizados na arquitetura.

De acordo com o mesmo autor, uma das principais decisões do projeto de iluminação é a definição dos sistemas artificial e natural. Cada componente desses sistemas (lâmpadas, luminárias, reatores, sistemas de controle, janelas entre outros), tem desempenho e qualidades diferentes, que dependem do tipo de tecnologia empregada na sua fabricação.

A eficiência do sistema de iluminação artificial adotado no projeto depende do desempenho particular de todos os elementos envolvidos, bem como da integração feita com o sistema de iluminação natural.

3.2.1- Disponibilidade da luz natural

A disponibilidade de luz natural é a quantidade de luz em um determinado local, em função de suas características geográficas e climáticas, que se pode dispor por um certo período de tempo. Dados

e técnicas para a estimativa das condições de disponibilidade de luz natural são importantes para a avaliação do desempenho final de um projeto em termos de conforto visual e consumo de energia. Isto se refere à maneira como varia a quantidade de luz durante o dia, e épocas do ano e quanto dura essa iluminação ao longo do dia e os motivos pelos quais as localidades dispõem de mais ou menos luz, face aos parâmetros que influem no cálculo da disponibilidade da luz natural.

Vianna & Gonçalves (2001, p. 14) citam:

Os principais fatores de determinação da disponibilidade da luz natural podem ser definidos como a sazonalidade, que de acordo com o movimento do sol estabelece variações de luminosidade natural, variando com a época do ano e a hora do dia, o clima, como o principal agente definidor dos tipos de céu, a qualidade do ar, características físicas e geográficas, que lidam com dados de latitude, continentalidade e altitude, entre outros, e a orientação e configuração morfológica do entorno construído, caso existente.

A disponibilidade de luz natural está relacionada com a posição da terra em relação ao sol, sua trajetória e na localização da área a ser estudada por suas latitude e longitude.

No movimento de translação, a terra percorre sua trajetória elíptica em um plano inclinado de $23^{\circ}27'$ em relação ao plano do equador. É este ângulo que define a posição dos trópicos e isto faz com que os dois hemisférios terrestres recebam quantidades distintas

de radiação solar ao longo do ano, caracterizando as estações pelos solstícios de verão e de inverno e pelos equinócios de primavera e de outono.

O sol libera uma quantidade aproximada de seis bilhões de lumens para cada metro quadrado de sua superfície. Deste valor, cerca de 134 000 Lux alcançam a atmosfera externa da terra, onde são absorvidos perto de 20% desta luz e refletidos 25% de volta ao espaço. Uma parte dos 55% restantes chega à superfície da terra diretamente em forma de feixe de raios paralelos, que é chamada luz direta, conforme a figura 1 (Hertzberger, 1996).

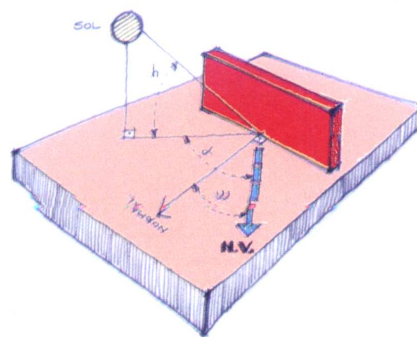


FIGURA 1 – Ângulos para estudo de insolação: “h” – altura do sol; “a”- azimute da fachada.

Outra fração é difundida pelas camadas da atmosfera, nuvens e outros elementos com a própria combinação do ar, compondo então a luz difusa. Pelo fato da luz difusa ser emitida pelo céu em todas as direções, é caracterizada neste componente uma iluminância primordialmente homogênea da luz natural. O conceito de componentes de luz diurna explica a possibilidade de existência de luz sem a presença direta dos raios solares, ampliando as chances de se projetar com a luz natural, sem riscos de ter aquecimento desvantajosos (Hopkinson, 1975).

A luz solar direta ilumina uma superfície normal com 60.000 a 100.000 lux. Em relação à luz difusa, esta é consideravelmente mais baixa que a resultante da luz solar direta, variando entre 5.000 e 20.000 lux para céu encoberto (Lamberts et al, 1997).

Tanto a luz direta como a luz difusa compõe a luz natural diurna. Para efeito de simplificação de conceitos e cálculos, o céu estabelecido para os estudos de trajetória do sol é considerado como sendo uma grande luminária em forma de meia esfera que é chamada de abóbada celeste.

A posição do sol na abóbada celeste pode ser definida por dois ângulos: o azimute, que define a posição da projeção do raio em relação ao norte verdadeiro ou geográfico, e a altura do sol em relação à linha do horizonte (Vianna & Gonçalves, 2001). Esses ângulos variam de acordo com a hora do dia e período do ano.

Quanto menor a altitude solar, mais longo é o trajeto da radiação, através da atmosfera e, em consequência, chega menos radiação à superfície terrestre. Esse fenômeno é conhecido como dissipação atmosférica, ou seja, a absorção da radiação solar pelo ozônio, vapores e partículas contidas na atmosfera (Lamberts et al, 1997).

Para se poder prever e calcular o aproveitamento da iluminação natural em um projeto é necessário conhecer-se o comportamento da fonte luminosa, o sol e o céu. Em geral, três variações de céu reais são considerados: abóbada celeste encoberta, clara e parcialmente encoberta. Segundo Frota (2001) *condições de céu* é a aparência da abóbada celeste quando vista por um observador situado na superfície terrestre, que está relacionada à distribuição espacial da sua emissão

de luz:

Céu claro: Condição na qual dada a inexistência de nuvens e baixa nebulosidade, as reduzidas dimensões das partículas de água fazem com que apenas os baixos comprimentos de onda, ou seja, a porção azul do espectro emirjam em direção à superfície da terra, conferindo a cor azul, característica do céu (Vianna e Gonçalves, 2001).

O céu é considerado claro quando a abóbada celeste apresenta-se azul e sem nuvens. O dia apresenta-se com muitos contrastes de luz e sombra. A presença pontual da luz do Sol faz com que a iluminação ao longo do dia seja variável, tanto na distribuição quanto na intensidade. Sob estas condições as superfícies que refletem a luz do sol tornam-se importantes fontes secundárias de luz natural, já que a luz do Sol é muito forte para ser usada diretamente sobre uma área de trabalho (Moore, 1991).

Céu encoberto: Condição de céu na qual as nuvens preenchem toda a superfície da abóbada celeste. O céu encoberto caracteriza-se por esconder o sol e difundir a luz proveniente dele, através das nuvens. A abóbada apresenta-se como uma fonte de iluminação, na cor cinza claro e brilhante. A intensidade de luz é três vezes maior na área do Zênite, em relação à área do horizonte. Esta distribuição permanece constante ao longo do dia, porém a iluminância absoluta do céu varia com a altitude do Sol, (o céu encoberto é mais brilhante ao meio-dia) (Moore, 1991).

Céu parcialmente encoberto ou intermediário: Condição de céu na qual a luminância de um dado elemento será definida para uma

dada posição do sol sob uma condição climática intermediária que ocorre entre os céus padronizados como céu claro e totalmente encoberto.

A abóbada parcialmente nublada é uma combinação de céu claro, de fundo, com nuvens sobrepostas nele. A dificuldade neste tipo de céu é padronizar a intensidade de sua luminância, pois esta varia ao longo das horas, podendo apresentar-se muito diferente de um dia para o outro, dependendo da quantidade de nuvens formadas na atmosfera (Moore, 1991).

3.2.2- Radiação solar

Radiação solar e luz do dia são essenciais à vida na terra. Assim, é importante entender as físicas de radiação solar e luz do dia e, em particular, determinar a quantidade de energia interceptada pela superfície da terra (Frota 2001).

Para a arquitetura, a radiação solar se torna uma das variáveis de maior impacto, já que vai determinar o quanto será necessário se proteger ou se expor às condições naturais do tempo (figura 2).

Vianna & Gonçalves (2001, p. 12) comentam:

“A radiação solar é a causa de todos os fenômenos climáticos e tem efeito decisivo na vida das pessoas. Sua força efetiva é determinada pela energia radiante do sol, radiação pela superfície da terra e perda de energia pela evaporação e radiação atmosférica, que compreendem o balanço térmico

da Terra”.

A enorme carga térmica incidente sobre a cobertura de um edifício, própria das regiões tropicais e sub-tropicais, deve ser levada em consideração no projeto de iluminação zenital, sendo necessário limitar a superfície a valores que não comprometam o desempenho térmico do ambiente, conforme figura 2.

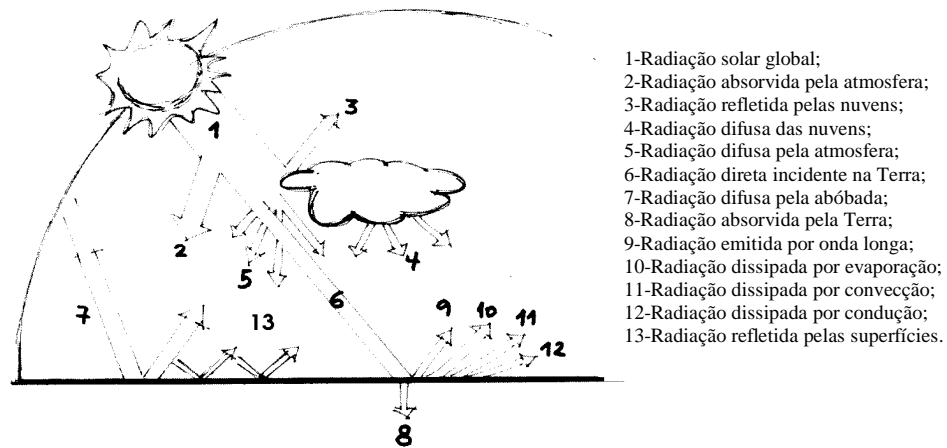


FIGURA 2: Decomposição da radiação solar (Lamberts, 1997)

3.2.3- Desempenho luminotécnico para iluminação das áreas internas das edificações

A magnitude e distribuição da luz no ambiente interno depende de um conjunto de variáveis, tais como: da disponibilidade da luz natural (a quantidade e a distribuição variam com as condições atmosféricas locais), de obstruções externas, do tamanho, orientação, posição e detalhes de projeto das aberturas, das características óticas dos envidraçados, do tamanho e geometria do ambiente e das refletividades das superfícies internas.

Um bom projeto de iluminação natural tira proveito e controla a luz disponível, maximizando suas vantagens e reduzindo suas desvantagens. As decisões mais críticas, a este respeito, são tomadas nas etapas iniciais de projeto.

É sempre desejável que a consideração arquitetônica sobre o uso da luz natural ocorra durante os primeiros estágios do projeto - organograma e estudo preliminar. Quando isto acontece, as ponderações técnicas sobre o sistema de iluminação natural começam a predominar a medida em que o projeto final se desenvolve. A transformação dos conceitos de iluminação natural em sistemas de iluminação natural se dá, então, na fase final do estudo preliminar. Os detalhes precisos sobre como os vários sistemas se integram, como são dimensionados, e quais suas características de desempenho, somente podem ser determinados à medida que o edifício adquira sua forma final no projeto e, tanto a arquitetura como os sistemas de engenharia, ou projetos complementares, estejam integrados na definição como um todo, tanto do ponto de vista construtivo como econômico (Souza, 1997).

A postura acima descrita, durante o desenvolvimento do projeto do edifício, estabelece um método que considera o desenho e a análise da iluminação natural como parâmetros do projeto - método este que é simplesmente uma revisão sobre os muitos passos necessários para incluir o uso da luz natural no interior dos ambientes construídos. Compete, porém, a cada profissional desenvolver um processo individualizado e aproveitável que permita as ponderações mais adequadas a cada caso, o que faz concluir que, assim como ocorre

com os demais parâmetros que compõem um projeto, também no caso da iluminação natural não há apenas uma abordagem ou resposta correta.

Também o arquiteto tem que se preocupar com relação as iluminações laterais, visto que as mesmas refletem melhor a luz que entra lateralmente nos espaços internos.

3.2.3.1- Iluminação lateral

Uma das mais marcantes características da iluminação lateral é sua desuniformidade em termos de distribuição pelo local. Nos ambientes iluminados lateralmente, o nível de iluminância diminui rapidamente com o aumento da distância da janela. Vianna & Gonçalves (2001) consideram a profundidade de eficiência da penetração da luz como dependente da relação da altura do piso e a parte superior da abertura é igual a aproximadamente 1,5 a 2 vezes esta altura.

A conveniência desta proporção deve ser verificada em função do tipo e função do espaço a ser projetado, uma vez que, por exemplo, para locais de trabalho, tanto os níveis de iluminâncias mínimos quanto a uniformidade da distribuição de luz são critérios essenciais de desempenho luminoso. Por outro lado, ambientes que não tem o caráter laborativo (por exemplo, ambientes de estar, circulação) já admitem níveis de iluminâncias bem inferiores sem a exigência da uniformidade (Pereira, 1995).

Desta maneira, percebe-se que a iluminação unilateral (em apenas uma das fachadas) pode ser facilmente aplicada no segundo caso. Em edifícios iluminados lateralmente, as janelas governam o total da luz diurna. Quanto maior a área envidraçada, maior a quantidade de luz admitida, mas a quantidade de luz recebida em um ponto de referência dependerá não somente do tamanho, como também da situação da janela em relação a este ponto.

Vianna & Gonçalves (2001) comentam que a luz natural resultante internamente aos espaços e proveniente de aberturas laterais depende do somatório das contribuições de três variáveis, a saber:

- da quantidade de luz proveniente da abóbada celeste (denominada nos métodos de cálculo como CC. — Componente Celeste);
- da quantidade de luz proveniente das reflexões de obstruções externas (denominada nos métodos de cálculo como C.R.E. — Componente de Reflexão Externa);
- da quantidade de luz proveniente das reflexões das superfícies internas - paredes, piso e teto (denominada nos métodos de cálculo como C.R.I.- Componente de Reflexão Interna);

A Componente Celeste - C.C. depende: da latitude do lugar, da época do ano, da hora do dia, da orientação da fachada que contém a abertura, do tipo de céu (encoberto, claro e parcialmente coberto) e, finalmente, da área de céu visualizada por um determinado ponto em questão (obviamente dependente do ângulo sólido a partir deste ponto).

A C.R.E. - depende: do tamanho, posição e distância da

obstrução (portanto, da área de obstrução visualizada a partir de um determinado ponto de interesse) e de sua capacidade de reflexão da luz dada por sua (s) cor (es) e textura (s).

A C.R.I. - depende: das áreas das superfícies internas com suas respectivas cores e texturas, sendo o teto a principal superfície de reflexão e o piso a menos significativa, exatamente por suas posições relativas ao plano de trabalho ou de interesse.

Obviamente, a relação de contribuição de luz dessas três variáveis depende da localização do ponto “P” no interior do espaço, uma vez que, dependendo do lugar onde estiver, pode-se visualizar mais ou menos a abóbada celeste assim como as obstruções externas.

A iluminação que vai de uma fonte pontual até uma superfície plana varia inversamente ao quadrado da distância entre a fonte e o ponto. Se considerar, por exemplo, o nível de iluminação necessário para uma tarefa visual a ser realizada sobre um plano horizontal, situação típica da maioria dos locais, pode-se observar que quanto maior a altura da janela sobre este plano de referência maior será a C.C. obtida, mantendo-se iguais as outras C. R. E. e C. R. I. Esta mesma área de vidro colocada no teto, sobre o ponto de referência, contribuirá com mais luz do que se colocasse à mesma distância do plano de trabalho, mas em posição vertical (Vianna & Gonçalves, 2001).

Souza (1997) menciona que para uma análise completa da iluminância no ambiente construído, deve-se verificar a variação e distribuição de iluminância através das curvas isolux, a iluminância sobre a superfície total de trabalho e a uniformidade de iluminância

sobre as superfícies de trabalho e seu entorno próximo. Conhecendo-se a variação da iluminação natural com o afastamento da janela, percebe-se que um nível médio de iluminação pode não representar adequadamente a iluminância do espaço interno, indicando as partes do ambiente onde se fará necessário o uso de iluminação artificial para suprir as necessidades mínimas.

3.2.3.2- Iluminação Zenital

Iluminação natural zenital tem como uma de suas principais características uma maior uniformidade de distribuição da luz em relação à iluminação lateral, uma vez que, em geral, as aberturas estão uniformemente distribuídas pela área de cobertura e tem suas projeções paralelas ao plano de utilização ou de trabalho (Ottoni, 1990), conforme demonstra a figura 3.



FIGURA 3 – Exemplos de Iluminação Zenital (Vianna & Gonçalves, 2001)

Outra característica relevante de distinção entre a iluminação zenital e a lateral é a obtenção pela primeira de maiores níveis de iluminância sobre o plano de trabalho, devido ao fato de que, em geral, a iluminação zenital conta com o dobro de área iluminante de céu em relação às aberturas laterais (com exceção da tipologia de sheds verticais), conforme observa-se nas figuras 4 e 5.

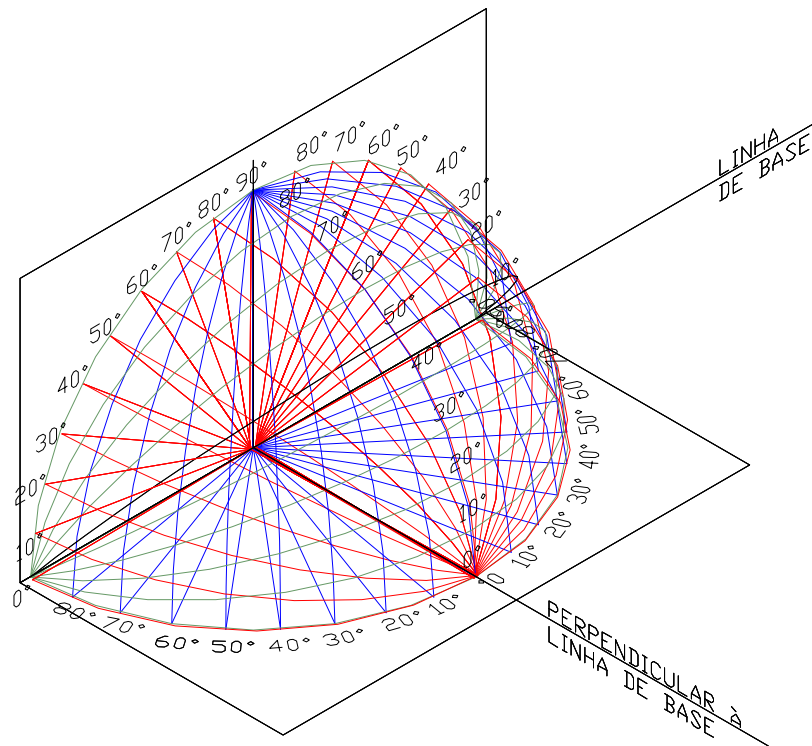


FIGURA 4 - O que a iluminação lateral "vê" (Vianna & Gonçalves, 2001).

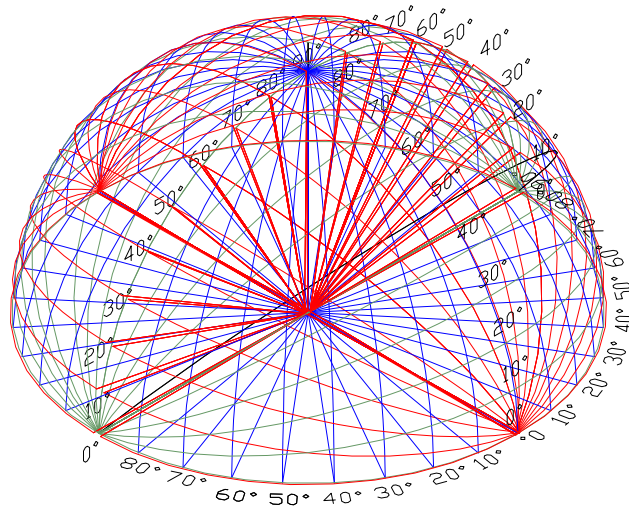


FIGURA 5 - O que a iluminação zenital “vê” (Vianna & Gonçalves, 2001).

Com relação a espaços de grandes dimensões, inclusive em altura, a utilização da luz natural zenital é a estratégia de projeto mais adequada, por serem estas áreas normalmente destinadas a funções produtivas, laborativas, que exigem boa uniformidade e quantidade de luz, como, por exemplo, as atividades industriais.

Na concepção de Vianna & Gonçalves (2001, p. 171):

“A iluminação zenital foi e ainda é muito utilizada ao longo da história da Arquitetura em grandes espaços e átrios, mais com a função de circulação, estar, lazer e cultura, sendo que, nestes casos, os aspectos de uniformidade e quantidade de luz não são os fatores mais determinantes na escolha desta estratégia, mas sim os efeitos da luz como instrumento fundamental da criação e valorização do espaço, principalmente em seu aspectos de monumentalidade.”

Os diferentes tipos de elementos zenitais podem ser comparados entre si, tanto no aspecto referente ao nível de iluminância, como no da uniformidade de iluminação que eles fornecem ao plano de trabalho e também por características de manutenção e custo.

Conforme Ottoni (1990), no uso da iluminação zenital deve-se ter os seguintes cuidados principais:

- Do ponto de vista luminotécnico: não incidência direta de radiação solar no plano de trabalho para evitar-se contrastes excessivos e ofuscamento.
- Do ponto de vista térmico e considerando-se as características dos principais climas brasileiros: não entrada de radiação solar direta no ambiente nos períodos quentes do ano.

Mascaró *apud* Vianna & Gonçalves (2001, p. 179) comenta que o teto de dupla inclinação, conforme exemplo na Figura 6, possui quase a mesma eficiência de um teto horizontal com superfícies envidraçadas, em termos do fluxo luminoso utilizável sobre o plano de trabalho para uma mesma superfície iluminante zenital, sendo que, ambos devem ser utilizados com muito critério e cuidado, em função da maior vulnerabilidade que apresentam do ponto de vista térmico. Não se pode esquecer que um nível maior de iluminância (lux) pode significar maior ganho de calor e, portanto, problemas térmicos, maior desconforto para o usuário, incremento do uso do ar-condicionado e, conseqüentemente, maior consumo de energia.



FIGURA 6 – Exemplo de Teto com dupla inclinação - Mercado Municipal São Paulo, SP (Vianna & Gonçalves, 2001).

Quando se utiliza a luz diurna zenitalmente, especialmente em locais grandes, pode-se adotar valores médios de iluminância ao invés de mínimos, em consequência de uma maior uniformidade obtida sobre o plano de trabalho.

Quando optamos pelo uso de aberturas zenitais para iluminação e ventilação temos uma diversidade de alternativas possíveis de serem adotadas: sheds, clarabóias, dutos, entre outras, conforme apresentado no item 3.4.

As características inerentes a cada tipologia vão estar relacionadas com o modo que a luz natural entra nos ambientes. Com isso vem uma série de providências ou cuidados que devemos tomar para obtermos desta opção o melhor proveito e benefícios.

Para os arquitetos, talvez a principal característica buscada com o uso das aberturas zenitais seja a de que esta solução confere aos ambientes uma atmosfera especial, de grandiosidade e valorização dos

ambientes.

Segundo Cabús (1997), a iluminação zenital fornece, em geral, uma maior uniformidade na distribuição da luz sobre o campo de trabalho, quando comparada a sistemas laterais com mesma área de abertura. Além disso, sua capacidade em captar a radiação luminosa, quer do Sol, quer da abóbada celeste é outro aspecto a ser ressaltado. No entanto, não fornece uma visão do entorno, necessidade básica na grande maioria dos ambientes. Somado a essa questão, outro problema dos zenitais é a limitação do seu uso a edificações de um pavimento ou ambientes de cobertura, com exceção dos dutos de luz.

Vianna & Gonçalves (2001), comentam que a iluminação zenital tem um custo mais alto para sua colocação e apresenta maior necessidade e dificuldade de manutenção, pela maior dificuldade ao acesso às mesmas (Figura 7). Além disso, existe uma maior dificuldade para a localização dos elementos de controle, proteção solar e ventilação.



FIGURA 7 – Iluminação Zenital com dificuldades de acesso (Tinerari.2004).

De acordo com Vianna & Gonçalves (2001), a poeira acumulada

nas superfícies iluminantes no teto e nas paredes do local, reduz a transmitância e refletância dessas superfícies. A influência dessa redução no cálculo da iluminância depende das medidas do ambiente em questão e do sistema de iluminação natural: lateral ou zenital.

Dessa maneira, no projeto de aberturas zenitais é importante estabelecer um plano de manutenção das superfícies iluminantes e prever elementos construtivos, como acesso à cobertura e áreas de circulação, para proceder a limpeza e reposição dos elementos construtivos.

As aberturas zenitais que fornecem luz refletida são usadas geralmente para se obter iluminâncias discretas e reduzir a carga térmica. Precisam de manutenção permanente nas superfícies refletoras para conservar a iluminância programada. Quando se deseja manter o caráter do local durante a noite é preciso usar iluminação artificial indireta, também de baixo rendimento.

O principal controle nas aberturas zenitais deve ser dos ganhos térmicos, uma vez que na radiação solar a luz visível é apenas uma componente, sendo o calor dos raios solares não desejável na maioria dos ambientes em várias épocas do ano. É conveniente realizar o balanço energético-econômico das alternativas consideradas para tomar decisões de projeto.

Uma das patologias decorrentes dos erros de projeto da esquadria de iluminação zenital, é pouca inclinação dos elementos transparentes ocasionando o acúmulo de sujeira sobre eles em que a chuva não consegue levar. A sujeira também pode acumular-se quando as extremidades das superfícies transparentes não estiverem livres.

Outra patologia muito comum é a condensação da umidade do ar quente e úmido (interno) que ao encontrar a superfície do vidro esfria, condensa e goteja.

Fazendo uma análise entre as vantagens e desvantagens ao se adotar as aberturas zenitais como solução de projetos, percebe-se que as vantagens são grandes e insubstituíveis, e as desvantagens apresentadas poderão ser solucionadas através de estratégias de projeto.

A proteção da radiação solar direta para os ambientes internos, seja pela escolha da orientação solar (no caso do shed) ou interna (difusores), evita os inconvenientes oriundos da maior parte da componente térmica. Um exemplo de solução aparece na Figura 8.

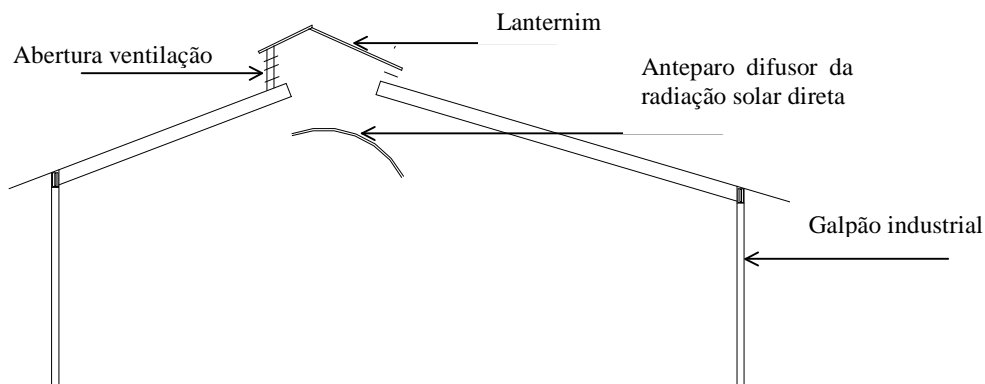


FIGURA 8 – Exemplo de iluminação zenital com proteção da radiação solar direta

No desenho da esquadria, dispondo as superfícies transparentes com inclinação adequada, com as extremidades livres, a maior parte da sujeira será levada pelas chuvas. A condensação poderá ser evitada

dotando-se a esquadria de ventilação cruzada, através de venezianas fixas nas duas laterais.

Quanto à manutenção, o acesso à cobertura poderá ser facilitado por escada tipo marinheiro, que também servirá para o acesso à caixa d'água, presente em todas as coberturas das edificações.

Sendo a iluminação zenital uma solução que concentra grandes vantagens sobre alguns aspectos e desvantagens sobre outros, é de suma importância um cuidado especial no seu dimensionamento e no seu projeto, a fim de que, quando adotado este sistema de iluminação, realmente se chegue a uma otimização e ganhos em relação ao conforto térmico e lumínico.

Existem algumas estratégias em relação ao dimensionamento correto, mas requer do projetista um grande número de informações que vão permitir que ele consiga a correta proporção entre luz x calor. Este dimensionamento está relacionado às necessidades internas, as condições ambientais, às características do material transparente, entre outras.

3.3- A luz na arquitetura e as tendências mundiais

O uso da luz na Arquitetura tem a dupla função de trazer poesia e boa funcionalidade aos edifícios, tendo esta última se tornado importante com o crescimento das funções impostas pela sociedade moderna do século XX – edifícios complexos, de grandes dimensões e múltiplas funções (Mascaró, 1983).

Desde os modelos mais clássicos, a luz tem sido distribuída ao longo dos interiores, a fim de permitir visão clara e nítida das dimensões espaciais, fornecendo assim as informações básicas a respeito dos ambientes que nos rodeiam. Contudo as pessoas precisam mais que razão e lógica para se sentirem inseridas no espaço e experimentarem sensações de bem estar. O papel da luz traz modulação de formas, beleza e sensualidade, e proporciona encantamento à Arquitetura construída.

Kholer *apud* Vianna e Gonçalves (2001, p. 27) diz que “o homem como um ser predominantemente visual é mais fortemente afetado pela luz do que por qualquer outra sensação. A forma e cor determinam a percepção do entorno físico através da visão e nos dão uma mais clara e vívida impressão do espaço que o senso tátil, auditivo e olfativo” A arquitetura como realização das necessidades e desejos do homem sempre trouxe dentro de si a preocupação com a luz, com o possibilitar ao homem que cria aquilo que lhe é fundamental: a concretização de seus próprios sentimentos através do espaço-luz.

Pereira (1995) argumenta que as mais eloqüentes criações da história da arquitetura não demonstram uma preocupação óbvia com a precisão visual e a clareza formal. A idéia era fazer dos espaços idealizados, canais para a intensificação do emocional, sentimentos de valorização da vida humana, suas crenças e origens. Simples exemplos de culturas arquitetônicas vernaculares demonstram com clareza o poder de criação da luz.

A arquitetura, enquanto arte, manifesta-se através da forma-

espaço concebida como expressão mais verdadeira do espírito humano, que se configura pelo tratamento da luz, da sua cor, da cor da forma, dos vazios coloridos, no passado, encontram-se exemplos que são importantes até hoje, pois mostram a relação fundamental entre forma e clima e, portanto, do tratamento da luz como elemento criador do espaço, conforme demonstra as Figuras 9A e 9B.

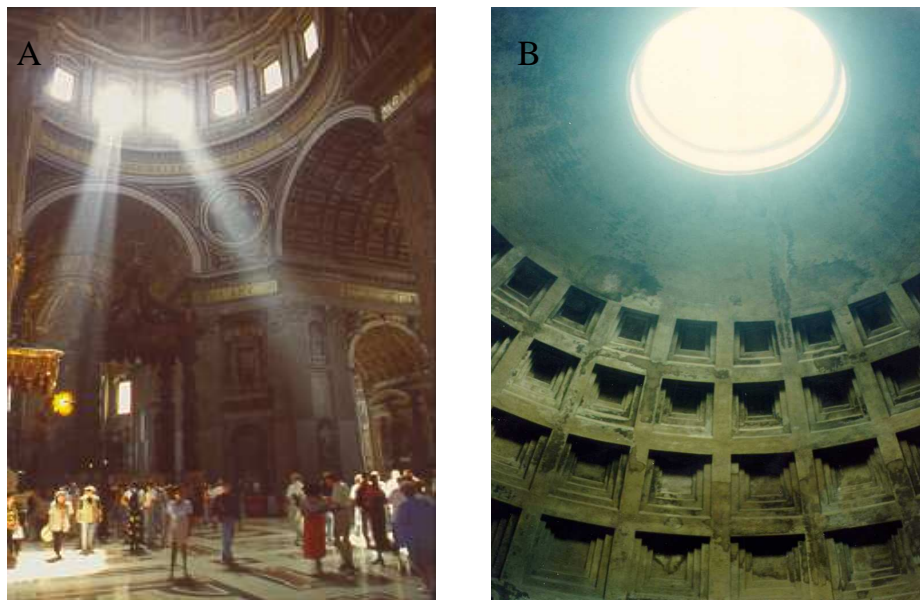


FIGURA 9 – Exemplos arquitetônico do passado: 9A:Vaticano; 9B: Pantheon, Roma (Vianna & Gonçalves, 2001).

A arquitetura clássica, de clima quente-seco, trata a luz como se fosse algo precioso e ao mesmo tempo perigoso. As formas simples e maciças denotam um clima violento, de altas temperaturas e com um excesso de claridade proveniente do céu.

De acordo Vianna & Gonçalves (2001, p. 41):

Olhando para o passado, nos tempos áureos de construção da Grécia antiga, a luz tinha uma forte relação com o mundo espiritual. No grande

Pantheon, uma das obras mais impressionantes de toda a história da arquitetura, o espaço fechado por suas dimensões, forma e tratamento de superfície, celebra a dimensão temporal, as estações do ano e o próprio Clima. Desta maneira, o Pantheon, um templo para as atividades sociais do mundo antigo, faz a metáfora do paraíso.

As catedrais góticas eram entendidas como o lugar ideal, espaços públicos de representação intensificada e abstrata de força divina. Como resultado o próprio interior fechado, exaltado pelo efeito da luz natural e privado da visão do exterior, proporcionava a abstração da elevação a Deus.

Segundo Lamberts et all (1997) o Barroco explorou muito a luz natural para elevar a sensibilidade do espaço interior aplicando dutos de luz em paredes e coberturas de grande espessura. O movimento moderno deu continuidade ao forte compromisso da Arquitetura com a abstração. O espaço fechado interiorizado da história foi desmaterializado com a dissolução das barreiras físicas e visuais entre interior e exterior.

Souza (1997) menciona que o sol, enquanto fonte de luz, torna-se o próprio símbolo e sinônimo dela. A luz é marcante, violenta, constante. É a luz quente, e não a luz da abóbada fria, difusa, próprias de climas frios. Sob elas as formas se caracterizam pelo jogo mutável de luz e sombra, e as delicadas inscrições feitas em suas paredes só são passíveis de uma leitura exatamente porque, antes de tudo, existem filetes de sombra, traços que dependem de Sol para existirem. Não contribuem para a concepção da forma-volume, mas para o

tratamento da superfície detalhe.

O todo se transforma com a trajetória do sol; sob a luz, sombra e meia-sombra se caracterizam em arquitetura coerente. Da uniformidade dos materiais e cor única (quase sempre clara) se faz majestosa, imponente, retrato de uma época onde era símbolo marcante do poder e da crença (Figuras 10A e 10B).

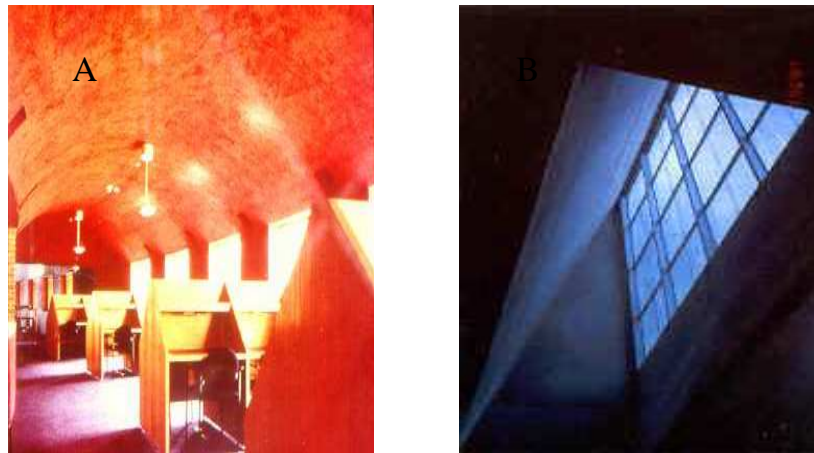


FIGURA 10 – A: Transforma-se com a trajetória do sol; B: sob a luz, sombra e meia-sombra (Vianna & Gonçalves, 2001).

3.3.1- Iluminação Zenital no Mundo

Na metade do século XIX, na Inglaterra, foi construída a primeira edificação em ferro fundido e vidro, denominada Palácio de Cristal (Joseph Paxton 1850 – 1851). Esta evolução possibilitou uma maior ousadia nos projetos que visavam o uso da luz natural, inclusive o desenvolvimento de coberturas envidraçadas, como cúpulas e domos transparentes (Souza, 1997).

As galerias comerciais, templos, museus e igrejas européias do século XIX são as primeiras manifestações arquitetônicas comerciais

que, utilizando-se da iluminação natural através de suas coberturas de vidro, levaram a rua para dentro dos prédios. O seu objetivo era proporcionar aos clientes segurança e ao mesmo tempo contato com o meio externo. Ainda no século XIX, aparecem prédios residenciais nos quais os espaços de circulação entre os apartamentos e os andares, foram projetados para receber o máximo de luz natural do exterior (Figura 11).



FIGURA 11- Obras européias: Galeria Vittorio Emanuele, Milão, Itália (Vianna & Gonçalves, 2001).

Segundo Cabús (1997), a iluminação zenital fornece, em geral, uma maior uniformidade na distribuição da luz sobre o campo de trabalho, quando comparada a sistemas laterais com mesma área de abertura. Além disso, sua capacidade em captar a radiação luminosa, quer do Sol, quer da abóbada celeste, é outro aspecto a ser ressaltado. No entanto, não fornece uma visão do entorno, necessidade básica na grande maioria dos ambientes (Scarazzato, 1995).

Somado a essa questão, outro problema dos zenitais é a limitação do seu uso a edificações de um pavimento ou ambientes de cobertura. A iluminação natural obtida através das clarabóias no nível do telhado deve ser canalizada até a abertura no teto do recinto iluminado. As inter-reflexões entre as paredes laterais de um poço de luz de clarabóia absorvem luz e diminuem a transmissão do total de luz natural ao recinto. Scarazzato (1995) comenta que a eficiência do poço em transmitir a luz natural é uma função da refletância de suas paredes e do seu formato e, por isso, que poços profundos e estreitos são menos eficientes.

Se bem executado esse sistema pode proporcionar iluminação aceitável mesmo em uma situação de céu encoberto e sem a necessidade de lâmpadas elétricas, conforme figura 12.

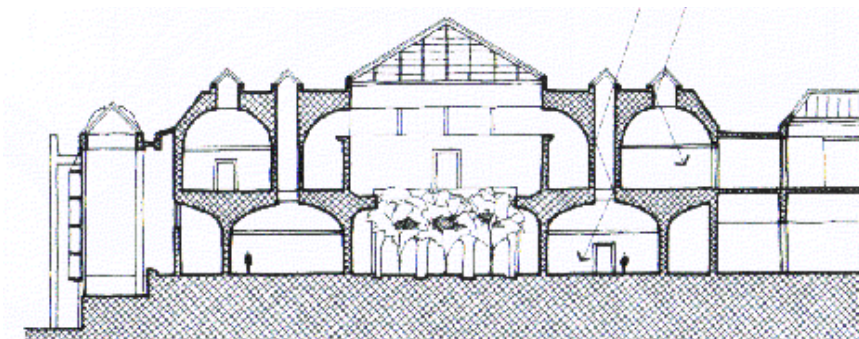


FIGURA 12- *National Gallery of Canada*, em Ottawa, em Ontário (Scarazzato, 1995).

Segundo Cabús, (1997) para aumentar a penetração do sol do inverno sueco, com pequeno ângulo de inclinação, Ralph Erskine usou três refletores de metal instalados sobre o telhado e fixados com suportes compostos de treliças espaciais para refletir para baixo o sol, através de clarabóias lineares voltadas para o sul, na *Cafeteria do St. Göran Hospital*, em Estocolmo (figura 13). Os refletores possuem *design* complexo e facetado com nove planos diversos, para coletar o sol proveniente de uma variedade de direções. Eles foram pintados de branco brilhosos e possuem rasgos para reduzir o empuxo dos ventos.

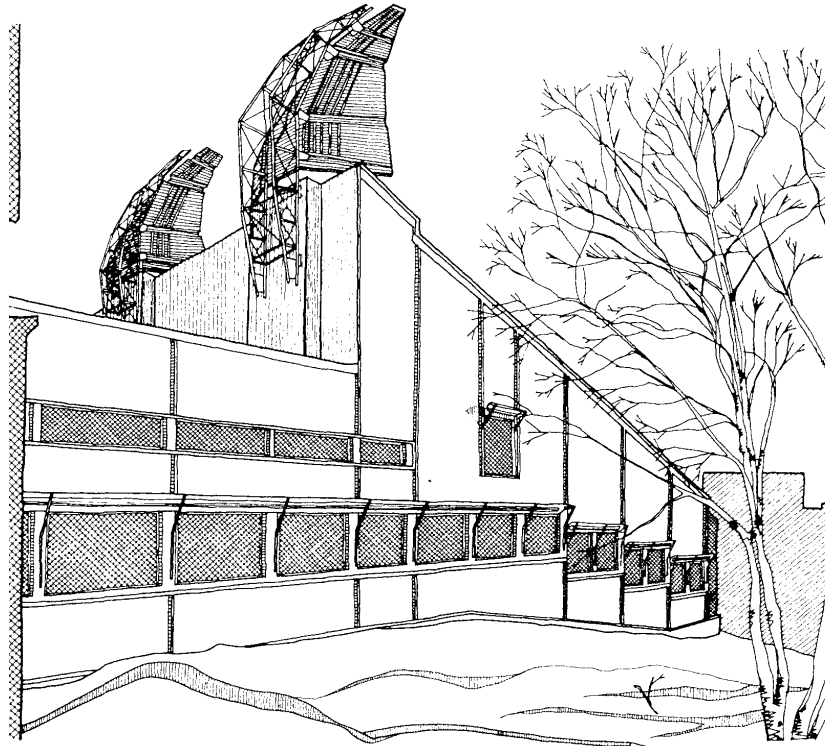


FIGURA 13 – Vista da fachada oeste da Cafeteria do St. Göran Hospital, em Estocolmo (Scarazzato, 1995).

No auditório principal do Instituto de Tecnologia, em Otaniemi, na Finlândia, Aalto usou cores claras nos refletores acústicos e superfícies superiores do teto para refletir e difundir completamente a luz zenital através do espaço do auditório. Cores claras nas superfícies próximas às vidraças de iluminação natural e nos painéis das janelas também reduzem o ofuscamento (Fleig *apud* Scarazzato, 1995).

Pode-se dizer que os diferentes tipos de elementos zenitais podem ser comparados entre si, tanto no aspecto referente ao nível de iluminância, na uniformidade de iluminação que eles fornecem ao plano de trabalho e, também, por características de manutenção e custo.

3.3.2- Iluminação Zenital no Brasil

Provavelmente, o período mais interessante para constatar o uso da iluminação zenital e analisar a história é entre os séculos XVII e XVIII, referente ao período de Revolução Industrial na Europa, durante os quais se deu particular qualidade à iluminação mediante o estudo refinado dos detalhes. A repercussão no Brasil foi tardia, acontecendo, principalmente durante o século XIX (Vianna & Gonçalves, 2001).

Para os brasileiros, a demanda por uma iluminação natural mais eficiente atrelou-se ao desenvolvimento econômico e social ocorrido no século XIX e que trouxe consigo novos tipos de edifício tais como: escolas, hospitais e fábricas e até o setor de serviços, nos quais a diferença mais significativa desde o ponto de vista da iluminação é

que eles tinham grandes locais em que muita gente necessitava realizar tarefas visuais simultaneamente, o que até então quase não ocorria (figuras 14 e 15). Isto vai tornar-se cada vez mais evidente no século XX, principalmente no pós segunda Grande Guerra (Vianna & Gonçalves, 2001).

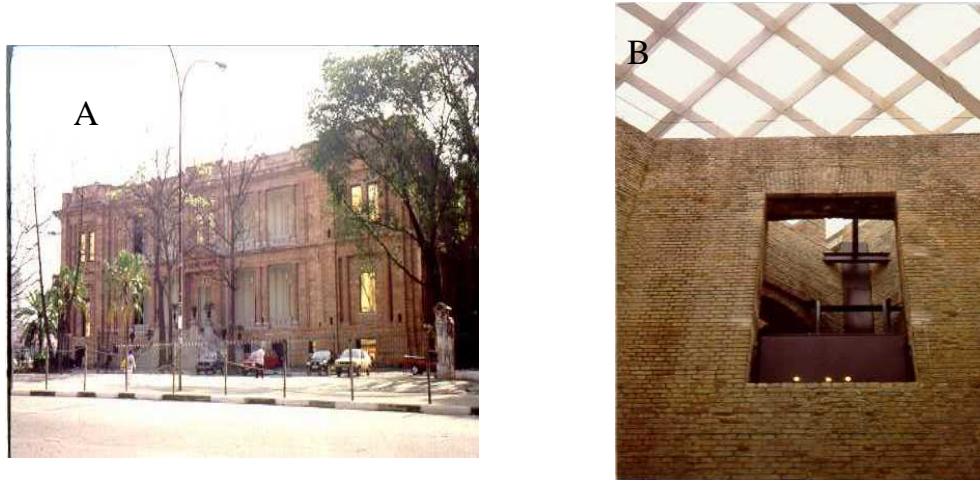


FIGURA 14 - Pinacoteca do Estado de São Paulo - A: frente; B: abertura interna (Vianna & Gonçalves, 2001).

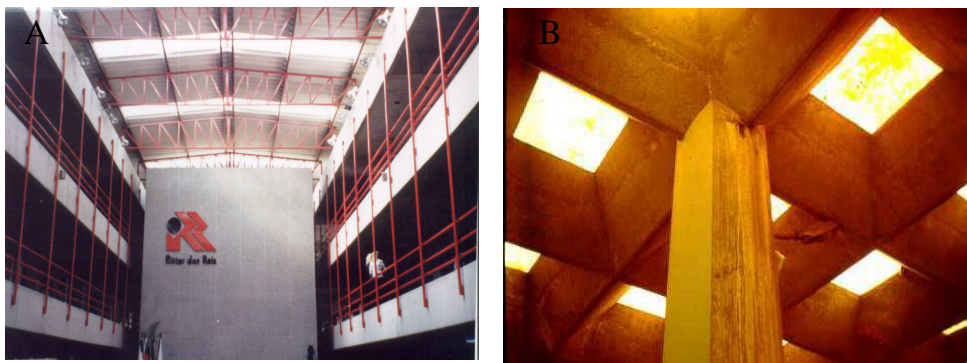


FIGURA 15 – Universidades: A: Universidade Ritter dos Reis, RS; B: Universidade de Arquitetura da USP Arqto. Villanova Artigas, 1970 (Vianna & Gonçalves, 2001).