
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO
DEHA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LUMINOSO DE
DUTO DE LUZ**

Estudo da implementação em ambientes padrões de
habitações populares em três latitudes

Francisco Javier Ibarra Soto

**MACEIÓ
2010**

Francisco Javier Ibarra Soto

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LUMINOSO
DE DUTO DE LUZ**

**Estudo da implementação em ambientes padrões de
habitações populares em três latitudes**

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de
Alagoas, como requisito final para a obtenção do grau
de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Carvalho Cabús

**MACEIÓ
2010**

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

- I12a Ibarra Soto, Francisco Javier.
Avaliação do desempenho luminoso de duto de luz : estudo da implantação em ambientes padrões de habitações populares em três latitudes / Francisco Javier Ibarra Soto, 2010.
142 f. : il., color.
- Orientador: Ricardo Carvalho Cabús.
Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2010.
- Bibliografia: f. 114-117.
Apêndices: f. 118-127.
Anexos: f. 128-142.
1. Iluminação natural – Simulação por computador. 2. Habitação popular.
3. Duto de luz. 4. Desempenho luminoso. I. Título.

CDU: 728.1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO
DEHA

Francisco Javier Ibarra Soto

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LUMINOSO DE DUTO DE
LUZ**

**Estudo da implementação em ambientes padrões de habitações
populares em três latitudes**

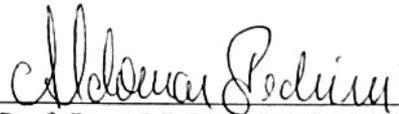
Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de
Alagoas, como requisito final para a obtenção do grau
de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Aprovada em

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. RICARDO CARVALHO CABÚS
Centro de Tecnologia – UFAL



Prof. Dr. ALDOMAR PEDRINI
Departamento de Arquitetura e Urbanismo – UFRN



Prof. Dra. GIANNA MELO BARBIRATO
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Dr. LEONARDO SALAZAR BITTENCOURT
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL

AGRADECIMENTOS.

A Deus, que me deu o presente da vida.

Aos meus pais, que me fazem feliz.

À Amaya, que me completa e faz da minha vida uma aventura bonita e cheia de alegria.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), pela bolsa de estudos que possibilitou o desenvolvimento desta dissertação.

Ao professor Dr. Ricardo Cabús, pelo convite, que deu início a uma das experiências mais inesquecíveis da minha vida.

À Banca Examinadora, pelas contribuições ao aprimoramento da dissertação.

Ao Ricardinho e Louise pela ajuda, apoio e momentos cheios de amizade pura.

Ao André, Chuchu, Adriana e Mara pela amizade e boa companhia.

Aos professores do DEHA, Leonardo, Gianna, Regina, Verônica e Geraldo pelas excelentes aulas, além da disponibilidade e generosidade demonstradas em inúmeras ocasiões.

RESUMO

As configurações espaciais das autoconstruções ou favelas podem originar ambientes com escasso ou nulo nível de iluminação natural, situação que pode gerar uma deterioração na qualidade ambiental e na qualidade de vida de seus moradores. Esta pesquisa tem como objetivo analisar, por meio de simulações computacionais, o desempenho luminoso do duto de luz, isto com o objetivo de avaliar uma possível implementação e adequação desse tipo de sistema em espaços residenciais de habitações populares em diversas localizações geográficas. O ambiente padrão utilizado é gerado a partir de referentes de modelos já coletados por meio de pesquisas em favelas ou autoconstruções, realizadas em dois campos (Brasil e Chile). São definidas duas etapas principais de análise: a primeira tem como propósito determinar as iluminâncias captadas e disponibilizadas pelo duto de luz ao longo do dia; e a segunda, analisar a distribuição dessas no plano determinado no ambiente. Resultados acima de 50 lx para dutos com refletância 0.7 e acima de 100lx para dutos com refletância 0.94, mostram um desempenho do sistema que pode contribuir e complementar os níveis de iluminâncias médias nos ambientes, para o bom desenvolvimento de atividades domésticas. Esta pesquisa representa uma contribuição para melhorar a qualidade de vida de o grupo da população mais carente através da utilização de um sistema de iluminação natural, de desenho simples, que utiliza uma fonte de energia inesgotável e econômica, a solar.

Palavras-chave: Iluminação natural, duto de luz; habitação popular; simulação computacional; desempenho luminoso.

ABSTRACT

The spatial configurations of the squatter cities often provide the living environment with little or no daylighting. The consequence is the deterioration in both the physical space and the quality of life for those who inhabit these structures. The main objective of the present research is to analyze the daylight performance of a lightpipe through computer simulations. Its goal is to evaluate the possible implementation of this type of lighting system in housing projects for different geographical regions. The base case model used here has been chosen from referential data collected during field housing research projects in both Brazil and Chile. The analysis was divided in two stages; firstly to determine the amount of light captured, conducted and realised through and from the lightpipe. Secondly, analyse the light distribution in the plane of study. Thereafter, the results show a working system that could contribute to increased the level of light inside dwellings allowing for a more productive development of domestic activities. Finally, this research project therefore intend to contribute and encourage the use of simple design daylight systems using economic and renewable energies, daylight, in order to improve life quality for the most vulnerable population.

Key-words: daylight, lightpipe, squatter city, computer simulation, daylight performance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Configuração espacial, favela Novo Horizonte, Maceió-Brasil (a); configuração espacial autoconstrução Osorno-Chile (b).....	13
Figura 02: Pátio de luz em construção da Era Minóica	19
Figura 03: Esquemas dos dutos de iluminação e ventilação em pirâmide de Egito (a); vista interior (b)	20
Figura 04: Iluminação zenital Panteón de Roma	21
Figura 05: Iluminação zenital no bazar no Isfahan, Pérsia (a); iluminação zenital Catedral do Toledo, Espanha (b); iluminação zenital Royal Opera Arcade, Inglaterra (c).....	22
Figura 06: Vista exterior domo parlamento alemão (a); vista interior tipo domo (b).....	23
Figura 07: Clarabóia inclinada (a); clarabóia vertical (b).....	24
Figura 08: Iluminação zenital tipo teto curvo transparente (a); iluminação zenital tipo teto (b).....	24
Figura 09: Iluminação zenital tipo monitor.....	25
Figura 10: Iluminação zenital tipo dente de serra.....	26
Figura 11: Vista externa iluminação zenital tipo lanternim (a); vista interior iluminação zenital tipo lanternim (b).....	27
Figura 12: Ilustração esquemática do funcionamento do duto de luz por meio da reflexão interna da luz natural.....	35
Figura 13: Sistema de duto de luz de comprimento 36m, implementado num edifício de escritório, E.E.U.U.....	35
Figura 14: Vista exterior de duto de luz simples, implementado numa habitação (a); vista interior do espaço residencial com saída de duto de luz simples (b).....	36
Figura 15: Configuração horizontal para duto de luz, implementado num prédio comercial...36	
Figura 16: Cinco métodos utilizados para transmissão de luz natural através de dutos verticais: duto lente simples (a), duto lente colimado (b), duto superfície de alta refletância (c), duto com superfície prismáticas (d), conjunto de fibra óptica (e).....	37
Figura 17: Componentes padrões de um canal de luz.....	37
Figura 18: Coletor simples domo acrílico (a); coletor com “ligh scoop” (b).....	39
Figura 19: Canal reto (a); canal com cotovelos (b).....	39
Figura 20: Emissor fecho de luz direta (a); emissor de luz indireta para rebote no teto(b).....	40
Figura 21: Conjunto de dutos de luz implementados em habitação unifamiliar, província de Mendoza, Argentina (a); detalhe do coletor (b).....	42
Figura 22: Esquema de corte de duto de luz e suas reflexões internas para diversos ângulos solares.....	51
Figura 23: Esquema de fonte pontual de luz e relação geométrica para a iluminação no plano de trabalho.....	53
Figura 24: Esquema duto de luz integrado com mecanismos de ventilação.....	58
Figura 25: Esquemas de distribuição das iluminâncias segundo o tipo de luz natural: luz direta (a); luz difusa (b).....	62

Figura 26: Interior habitação popular Maceió-Brasil (a) Planta padrão: 1. quarto 2. sala jantar, 3. cozinha, 4. banheiro (b).....	69
Figura 27: Imagem interior habitação popular Osorno- Chile (a) Planta padrão: 1. quarto, 2.sala jantar, 3. cozinha, 4. banheiro (b).....	70
Figura 28: Visualização da sala padrão.....	71
Figura 29: Carta solar latitude 0°, Equador.....	74
Figura 30: Corte (a) e planta esquemática (b) do duto latitude 0°.....	75
Figura 31: Carta solar latitude 23° 26`Sul, Trópico Capricórnio.....	75
Figura 32: Corte duto padrão (a) planta esquemática do duto latitude 23°. 5 (b).....	76
Figura 33: Carta solar latitude 45°Sul.....	77
Figura 34: Corte duto padrão (a) planta esquemática do duto latitude 45° (b).....	78
Figura 35: Cortes e plantas esquemáticas do ambiente padrão para as 3 latitudes simuladas.....	80
Figura 36: Telha do programa Troplx Versão 3.0.....	81
Figura 37: Esquemas de ambiente padrão e pontos de análise.....	83
Figura 38: Tabelas com valores de iluminância geradas pelo programa Troplux.....	84
Figura 39: Localização no plano de trabalho dos pontos de analise e projeção do duto segundo latitude.....	90
Figura40: Localização dos pontos que compõem os eixos característicos para análise.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Eficácia luminosa da radiação solar e alguns tipos de lâmpadas.....	32
Tabela 02: Características de alguns tipos de materiais.....	38
Tabela 03: Iluminâncias medidas para diversas cores e suas reflexões.....	53
Tabela 04: Iluminâncias para diversas distâncias (d) entre a projeção do ponto central do emissor no plano de trabalho e um ponto do ambiente analisado. Kew, Inglaterra, 01/07, 10h.....	54
Tabela 05: Refletâncias dos materiais empregados no modelo.....	72
Tabela 06: Refletâncias dos materiais empregados no duto.....	72
Tabela 07: Transmitância do material empregado no coletor e emissor.....	73
Tabela 08. Ambientes e inclinação dos dutos propostos para análise.....	79
Tabela 09: Iluminância segundo o horário para do ponto p01, simulado sob condições de céu 10 na latitude 0° no dia 22/03.....	85
Tabela 10: Comparação entre modelos simulados na latitude 0° no dia 22/03.....	85
Tabela 11: Comparação das horas úteis dos sistemas simulados nas latitudes 0°, -23° e -45°, para céu encoberto (CIE 5) e refletância 0.94.....	88
Tabela 12: Comparação das horas úteis dos sistemas simulados nas latitudes 0°, -23° e -45°, para céu encoberto (CIE 5) e refletância 0,7.....	89

Tabela 13: Decréscimo percentual das iluminâncias médias do duto com refletância 0,7 em relação com duto com refletância 0,94 para latitudes 0°, -23° e -45°, céu encoberto (CIE 5).....	90
Tabela 14: Número de horas úteis para cada ponto do plano de trabalho, no junho (22/06) e dezembro (22/12), céu encoberto (CIE 5).....	91
Tabela 15: Médias das iluminâncias dos pontos simplificados, nos modelos simulados sob condições de céu encoberto (CIE 5) nos meses de junho (22/06) e dezembro (22/12).....	93
Tabela 16: Variações percentuais das iluminâncias para pontos simplificados pa, pc em relação ao ponto pb, e pa',pc' em relação ao ponto pb'. Modelos simulados sob condições de céu encoberto (CIE 5), no junho (22/06) e dezembro (22/12).....	95
Tabela 17: Comparação das horas úteis dos sistemas simulados nas latitudes 0°, -23° e -45°, para céu parcialmente nublado (CIE 10) e refletância 0.94.....	96
Tabela 18: Comparação das horas úteis dos sistemas simulados nas latitudes 0°, -23° e -45°, para céu parcialmente nublado (CIE 10) e refletância 0,7.....	97
Tabela 19: Decréscimo percentual das iluminâncias médias do duto com refletância 0,7 em relação ao duto com refletância 0,94 para latitudes 0°, -23° e -45°, para céu parcialmente nublado (CIE 10).....	98
Tabela 20: Número de horas úteis para cada ponto do plano de trabalho, em junho (22/06) e dezembro (22/12) para céu parcialmente nublado (CIE 10).....	99
Tabela 21: Médias das iluminâncias dos pontos simplificados, nos modelos simulados sob condições de céu parcialmente nublado (CIE 10) nos meses de junho (22/06) e dezembro (22/12).....	100
Tabela 22: Variações percentuais entre pa, pc e pb, pa',pc' e pb' nos modelos simulados sob condições de céu parcialmente nublado (CIE 10) nos meses de junho (22/06) e dezembro (22/12).....	101
Tabela 23: Comparação das horas úteis dos sistemas simulados nas latitudes 0°, -23° e -45°, para céu claro (CIE 15) e refletância 0.94.....	102
Tabela 24: Comparação das horas úteis dos sistemas simulados nas latitudes 0°, -23° e -45°, para céu claro (CIE 15) e refletância 0.7.....	103
Tabela 25: Decréscimo percentual das iluminâncias médias do duto com refletância 0,7 em relação ao duto com refletância 0,94 para latitudes 0°, -23° e -45°, céu claro (CIE15).....	104
Tabela 26: Número de horas úteis para cada ponto do plano de trabalho, em junho (22/06) e dezembro (22/12), céu claro (CIE 15).....	104
Tabela 27: Médias das iluminâncias dos pontos simplificados, nos modelos simulados sob condições de céu claro (CIE 15) nos meses de junho (22/06) e dezembro (22/12).....	106
Tabela 28: Variações percentuais entre pa, pc e pb, pa',pc' e pb' nos modelos simulados sob condições de céu claro (CIE 15) nos meses de junho (22/06) e dezembro (22/12).....	107

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Mapeamento dos níveis de Iluminâncias e sua distribuição.....	49
Gráfico 02: Fator de penetração de luz do dia (DPF) para duto de 0.42m diâmetro e 1,2m comprimento em função de altura solar e tipo de céu (kt).....	52
Gráfico 03: Efeito da proporção geométrica entre o diâmetro e o comprimento do duto para fator de penetração de luz do dia (DPF) para duto sem cotovelo de 0.42m diâmetro e 1.2m comprimento.....	55
Gráfico 04: Comparação para fator de penetração de luz de dia entre duto sem cotovelo, e com a utilização de um, dois, três e quatro cotovelos em diversos tipos de céus (kt).....	55
Gráfico 05: Comparação entre as iluminâncias externas e internas medidas, para dois tipos de emissores.....	56
Gráfico 06: Características do vidro utilizado nas simulações.....	73
Gráfico 07: Corte esquemático da distribuição das iluminâncias por pontos simplificados (lx), nos eixos A-A` e B-B` no junho (22/06).....	93
Gráfico 08: Corte esquemático da distribuição das iluminâncias por pontos simplificados (lx), nos eixos A-A` e B-B` no dezembro (22/12).....	94
Gráfico 09: Corte esquemático da distribuição das iluminâncias por pontos simplificados, nos eixos A-A` e B-B` em junho (22/06).....	100
Gráfico 10: Corte esquemático da distribuição das iluminâncias por pontos simplificados, nos eixos A-A` e B-B` em dezembro (22/12).....	101
Gráfico 11: Corte esquemático da distribuição das iluminâncias por pontos simplificados, nos eixos A-A` e B-B` em junho (22/06).....	106
Gráfico 12: Corte esquemático da distribuição das iluminâncias por pontos simplificados, nos eixos A-A` e B-B` em dezembro (22/12).....	106

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

LISTA DE GRÁFICOS

SUMARIO

INTRODUÇÃO.....	12
CONTEXTO.....	12
OBJETIVOS.....	16
OBJETIVO GERAL.....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
1.1 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL ZENITAL.....	17
1.1.1 BREVE HISTÓRICO DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL ZENITAL.....	19
1.1.2 TIPOS DE ILUMINAÇÃO ZENITAL.....	22
1.1.2.1 Tetos Transparentes.....	22
1.1.2.2 Domos.....	23
1.1.2.3 Clarabóias.....	24
1.1.2.4 Monitor.....	25
1.1.2.5 Dente-de-Serra.....	26
1.1.2.6 Lanternim.....	27
1.1.3 CONSIDERAÇÕES INICIAIS DA ILUMINAÇÃO NATURAL ZENITAL.....	28
1.1.4 DESEMPENHO LUMINOSO.....	29
1.1.5 DESEMPENHO TÉRMICO.....	31
1.2 SISTEMAS AVANÇADOS PARA A UTILIZAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL.....	32
1.2.1 O DUTO DE LUZ.....	34
1.2.1.1 Componentes de um Duto de Luz.....	37
1.2.1.1.1 Sistemas de Coleta).....	38
1.2.1.1.2 Sistema de Transmissão da Luz.....	39
1.2.1.1.3 Sistema de Emissão.....	40
1.3 BREVE HISTÓRICO DO USO DE DUTO DE LUZ EM EDIFICAÇÕES.....	41
1.4 MÉTODOS DE MODELAGEM E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DUTOS DE LUZ.....	43
1.4.1 APRESENTAÇÃO CRONOLÓGICA DE ALGUMAS METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DUTOS DE LUZ.....	44
1.5 VARIÁVEIS PARA O ESTUDO DO DESEMPENHO DO DUTO DE LUZ.....	51
1.5.1 TIPO DE CÉU E ALTURA SOLAR.....	51
1.5.2 REFLETÂNCIAS DOS MATERIAIS INTERNOS DO AMBIENTE.....	52
1.5.3 A DISTÂNCIA DO EMISSOR AO PONTO DE MEDIÇÃO.....	53
1.5.4 DIÂMETRO E COMPRIMENTO DO DUTO.....	54
1.5.5 O EFEITO DA UTILIZAÇÃO DE COTOVELO.....	55
1.5.6 O EFEITO DO TIPO DE EMISSOR.....	56
1.6 DESEMPENHO TÉRMICO DO DUTO DE LUZ.....	57
1.7 DESEMPENHO LUMINOSO DO DUTO DE LUZ.....	59
1.7.1 DISTRIBUIÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS.....	61
1.8 FERRAMENTAS PARA AVALIAÇÃO DA LUZ NATURAL.....	62
1.8.1 MODELOS EM ESCALA REDUZIDA.....	64
1.8.2 FERRAMENTAS SIMPLIFICADAS.....	65
1.8.3 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS.....	65

2. METODOLOGIA	67
2.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DOS AMBIENTES PADRÕES	67
2.1.1 AMBIENTES PADRÕES EM HABITAÇÕES POPULARES - MACEIÓ, BRASIL.....	67
2.1.2 AMBIENTES PADRÕES EM HABITAÇÕES POPULARES – CHILE.....	68
2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES	68
2.2.1 DIMENSÕES.....	69
2.2.1.1 Sala.....	69
2.2.1.2 Dutos.....	71
2.2.2 REFLETÂNCIAS E TRANSMITÂNCIA ADOTADAS NO MODELO DE SIMULAÇÃO.....	71
2.2.2.1 Entorno.....	71
2.2.2.2 Sala.....	72
2.2.2.3 Duto.....	72
2.2.3 CONFIGURAÇÃO DOS DUTOS.....	73
2.2.3.1 Latitude 0° (Equador).....	74
2.2.3.2 Latitude 23°26' (Trópico de Capricórnio).....	75
2.2.3.3 Latitude 45°.....	77
2.3 MODELOS DE SIMULAÇÃO	79
2.4 SIMULAÇÕES	81
2.4.1 SELEÇÃO DA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO.....	81
2.4.2 PARÂMETROS DAS SIMULAÇÕES.....	82
2.4.2.1 Hora e Data.....	82
2.4.2.2 Tipo de Céu.....	82
2.4.2.3 Orientação.....	83
2.4.2.4 Pontos de Análise.....	83
3. RESULTADOS E ANÁLISE	84
3.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	84
3.2 RESULTADOS E ANÁLISES	86
3.2.1 MODELOS SIMULADOS SOB CONDIÇÕES DE CÉU ENCOBERTO (CIE5).	87
3.2.1.1 Distribuição das Horas Úteis segundo Refletância e Dia Analisado.....	87
3.2.1.1.1 Duto com refletância 0,94.....	88
3.2.1.1.2 Duto com refletância 0,7.....	89
3.2.1.2 Variação Percentual das Iluminâncias Médias, segundo Refletâncias do Duto para Céu Encoberto (CIE 5).....	89
3.2.1.3 Distribuição de Horas Úteis no Plano de Trabalho.....	90
3.2.1.4 Distribuição nos Eixos do Ambiente.....	92
3.2.2 MODELOS SIMULADOS SOB CONDIÇÕES DE CÉU PARCIALMENTE NUBLADO (CIE 10).	96
3.2.2.1 Distribuição das Horas Úteis segundo Refletância e Dia analisado.....	96
3.2.2.1.1 Coeficiente de reflexão 0.94.....	96
3.2.2.1.2 Coeficiente de reflexão 0.7.....	97
3.2.2.2 Variação Percentual das Iluminâncias Médias, segundo Refletâncias do Duto para Céu Parcialmente Nublado (CIE 10).	98
3.2.2.3 Distribuição de Horas Úteis no Plano de Trabalho.....	99
3.2.2.4 Distribuição nos Eixos Característicos do Ambiente.....	100
3.2.3 MODELOS SIMULADOS SOB CONDIÇÕES DE CÉU CLARO (CIE 15).	102
3.2.3.1 Distribuição das Horas Úteis segundo Refletância e Dia analisado.....	102
3.2.3.1.1 Coeficiente de reflexão 0,94.....	102
3.2.3.1.2 Coeficiente de reflexão 0.7.....	103
3.2.3.2 Variação Percentual das Iluminâncias Médias, segundo Refletâncias do Duto para Céu Claro (CIE15).....	104
3.2.3.3 Distribuição no Plano de Trabalho.....	104
3.2.3.4 Distribuição nos Eixos Característicos do Ambiente.....	106
4. CONCLUSÕES	108
A) DISTRIBUIÇÃO HORÁRIA E DESEMPENHO SEGUNDO DIA ANALISADO.....	108
B) VARIAÇÃO DE DESEMPENHO LUMINOSO SEGUNDO COEFICIENTE DE REFLETIVIDADE DO SISTEMA.....	109
C) DISTRIBUIÇÃO DE ILUMINÂNCIAS NO PLANO DE TRABALHO.....	109
D) DISTRIBUIÇÃO DE ILUMINÂNCIAS NOS EIXOS CARACTERÍSTICOS DA SALA.....	110
5 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	112
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	113
7. BIBLIOGRAFIA	114

APÊNDICE A- RESUMO DE TABELAS DE ILUMINÂNCIAS.	118
ANEXO A – TABELA COM PERCENTAGEM DE PESSOAS QUE MODIFICOU OU TERIAM INTENÇÕES DE MODIFICAR E AMPLIAR AS HABITAÇÕES POPULARES ENTREGUE PELO GOVERNO.....	128
ANEXO B – PERCENTAGEM QUE APRESENTA PROBLEMAS NO RELATIVO DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, SEGUNDO SEUS PROPRIETÁRIOS (MINVU, 2002).....	130
ANEXO C – EXEMPLOS DO LEVANTAMENTO DAS TIPOLOGIAS DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NO CHILE E POPULARES NO MACEIÓ/BRASIL.	132
ANEXO D - NBR 5413/1992 ILUMINÂNCIA DE INTERIORES.	141

INTRODUÇÃO

Contexto

Estima-se que na América Latina aproximadamente 30% da população reside em favelas (COSTA, 2006).

Segundo Maricato (2001) a favela ou autoconstrução é um fenômeno crescente nas cidades, apresentando-se como um possível campo de estudo para propor pesquisas que gerem melhorias qualitativas desses espaços, ademais de motivo de desenvolvimento de legislação¹ específica para estas configurações urbanas, por parte dos governos dos países referenciados para o desenvolvimento desta pesquisa, Brasil e Chile.

Um dado importante é que o Banco Mundial recomenda aos países pobres que procurem promover tais melhorias e regularizar a posse da terra pelos ocupantes, em vez de erradicar as favelas, pois isso custaria 15 vezes mais (COSTA, 2006).

Sendo a favela no Brasil um fenômeno evidente na cidade, no caso específico de Chile esta configuração urbana apresenta-se de um modo diferente. Uma porcentagem importante de moradores consultados num estudo de satisfação habitacional realizado pelo MINVU, Ministério de Vivenda e Urbanismo do Chile, modificou ou teriam intenções de modificar e ampliar as habitações populares entregues pelo governo (ver AnexoA). Estas transformações são construídas “espontaneamente” e sem assessoria técnica, sendo desenvolvidas pela

¹ No Brasil a lei nº. 10.257 de 10 de julho de 2001- Estatuto da Cidade – vem regulamentar os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988. O artigo 183 fixou que “tudo aquele que possuir como sua, área urbana de ate duzentos e cinquenta metros quadrados, por cinco anos, ininterruptamente e sem oposição, utilizando-a para sua moradia ou de sua família, adquirirá o seu domínio, desde que não seja proprietário de outro imóvel urbano ou rural” Este artigo abriu a possibilidade de regularização de extensas áreas de nossas cidades ocupadas por favelas, vilas, alagados ou invasões, bem como loteamentos clandestinos espalhados pelas periferias urbanas, transpondo estas formas de moradia para a cidade denomina formal (OLIVEIRA et al., 2001). Mediante a lei Nº. 19.583 renovadas por meio da lei Nº. 19.727 no ano 2002 e atualizada através da lei 20.251 do ano 2008, chamada “lei do mono II” promulgada pelo governo do Chile, foi facilitada para os proprietários uma regularização geral de construções feitas de modo informal.

necessidade de satisfazer demandas de conforto e espaço, que no desenho dos modelos habitacionais originais não são alcançados.

Segundo Ducci (1997) este crescimento tem o aspecto geral de uma “favela” completamente precária.

A favela, ou habitação autoconstruída, apresenta características espaciais particulares como: alta densidade de ocupação do solo, progressiva subdivisão de lotes em proporções lineares e predominância de casas geminadas estreitas (CORDEIRO, ZSUCS, 2003) (ver Figura 01).



(a)



(b)

Figura 01: Configuração espacial, favela Novo Horizonte, Maceió-Brasil (a); configuração espacial autoconstrução Osorno-Chile (b).

Fonte: Arquivo pessoal do autor (a, b).

Uma possível consequência, ao gerar uma configuração espacial com as características anteriormente descritas, é a diminuição da iluminação natural disponível nos ambientes residenciais, produto da diminuição das áreas de captação e visão da luz proveniente da abóbada celeste e do sol, com a consequente deterioração na qualidade ambiental e conforto visual do usuário.

Como exemplo desta situação, nas duas pesquisas utilizadas neste estudo, para a geração do ambiente padrão, são identificadas deficiências de iluminação natural nas habitações.

No caso de Maceió-Brasil, latitude 09°55' S, a tipologia “porta e janela” representa 82% do total dos casos estudados na favela Loteamento Novo Horizonte, apresentando ambientes isolados no seu interior e sem aberturas para o exterior.

No caso do Chile, localizado entre as latitudes 17° e 56° Sul, uma média de 13,7% dos beneficiados com soluções habitacionais entregue pelo governo, denunciam problemas de iluminação natural em suas habitações, e 6,9 % assinalam problemas muito graves no mesmo item (MINVU, 2002) (ver Anexo B).

Justificativa

Os casos apresentados no ponto anterior apresentam problemáticas de conforto ambientais, presentes em localizações geográficas diversas e num nicho da população que requer soluções de fácil e econômica implementação.

Em ambientes onde o acesso a níveis de luz natural, captados por meio de sistemas de iluminação laterais, é pouco ou nulo, a utilização de luz artificial vem se transformar no sistema geralmente utilizado pela população. Isso com o propósito de satisfazer à demanda por conforto desconsiderando o potencial dos sistemas alternativos de iluminação natural por falta de informação e assessoria técnica, a difícil implementação e os custos desses sistemas.

A radiação luminosa direta ou refletida no céu é uma fonte inesgotável e democrática de luz que, bem planejada e utilizada, pode se transformar num agente de salubridade, bem-estar e poupança econômica para os moradores e o Estado.

Segundo Milanez (1967) uma fonte de iluminação natural pode gerar condições de ambientes saudáveis, na medida em que sua presença pode diminuir ou eliminar vírus e bactérias, o crescimento de colônias de fungos e germes que, desenvolvidos, apresentam-se como mofo, evitando deste modo doenças que podem ser geradas por estes agentes além de evidenciar o estado de limpeza de um ambiente, indicando a presença de poeira ou sujeira.

As fontes de iluminação natural também podem ser utilizadas como sistemas de ventilação passiva, permitindo uma taxa de renovação de ar adequada, evitando a permanência de odores desagradáveis ou agentes geradores de doenças no ambiente.

Uma fonte de iluminação natural também pode influenciar a saúde psicobiológica das pessoas, por meio da variabilidade e o aspecto que possui, influenciando nos ritmos biológicos e no metabolismo, além de efeitos no estado do humor (WEBB, 2006; FONSECA et al, 2005; MURGUIA e SAN MARTIN, 2002; BAKER e STEEMERS, 2002; MILANEZ, 1967).

Por outro lado, “na perspectiva de um desenvolvimento sustentável observa-se que o modelo energético, para esta sustentabilidade, deve contemplar dois aspectos importantes: uso racional dos combustíveis que se esgotam (os não renováveis) e substituição evolutiva destes por energéticos do tipo renovável. Neste ponto é onde a energia solar tem uma fundamentação política e tecnológica para contribuir de modo decisivo o logro de um bom desenvolvimento presente e futuro” (SERRANO, 1991).

Nesse sentido os governos de Brasil e Chile vêm implementando programas² de eficiência energética (EE) com o fim de gerar na população a consciência da importância da boa utilização dos recursos naturais renováveis e fontes eficientes de energia, além de boas práticas na construção civil para a economia desta.

Esta pesquisa, enfocada no estudo do desempenho luminoso do duto de luz, adaptado segundo contextos de localização geográfica e limitados recursos econômicos, vem-se transformar numa contribuição, tendo como propósito a utilização da luz natural, fonte inesgotável e gratuita de energia, para uma possível melhoria na qualidade de vida de um grupo específico da população — moradores de favelas.

² <http://www.programapaiseficienciaenergetica.cl/>
<http://www.eletrabras.com/elb/procel/main.asp>

Objetivos

Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a capacidade de admissão e distribuição de luz natural por meio de dutos de luz com o fim de gerar ambientes em habitações populares bem iluminados.

Objetivos específicos

- Propor critérios de projeto para dutos em três latitudes 0°, 23° Sul e 45° Sul.
- Avaliar a capacidade do duto de luz para fornecer iluminâncias suficientes nos ambiente nos dias e horários propostos.
- Avaliar a incidência das refletâncias dos materiais que compõem o duto, no resultado final do desempenho.
- Avaliar a influência da configuração do duto na distribuição das iluminâncias no plano de trabalho.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção é apresentada uma revisão bibliográfica, que tem como finalidade introduzir a problemática da iluminação natural zenital e o processo de desenvolvimento técnico até nossa época. É feita uma breve descrição dos sistemas tradicionais que permitem esse tipo de iluminação e os efeitos e considerações gerais em relação à sua utilização no ambiente habitado. Logo após, serão expostos e definidos conceitualmente os sistemas de iluminação avançados, com a finalidade de contextualizar o tema associado à pesquisa: o duto de luz. São especificados os componentes deste sistema de iluminação, assim como as variáveis relacionadas com seu desempenho. Finaliza-se com uma revisão bibliográfica cronológica de pesquisas relacionadas aos métodos de modelagem e avaliação do desempenho luminoso dos dutos de luz, para logo serem apresentadas algumas considerações relativas ao comportamento luminoso e térmico do sistema.

1.1 Sistemas de Iluminação Natural Zenital

Os sistemas de iluminação zenitais localizam-se nos planos horizontais ou de coberturas das edificações. São normalmente utilizados em casos em que o uso das aberturas laterais não é possível ou inadequada, ou em locais onde se pretende obter uma iluminação mais uniforme. Estes sistemas permitem a entrada da luz da abóbada celeste, podendo proteger o espaço interior da radiação solar direta por meio de elementos que podem redirecioná-la, transmiti-la ou bloqueá-la (LEDER e PEREIRA, 1999).

As aberturas zenitais podem se constituir como parte do repertório arquitetônico do projeto, enriquecendo a espacialidade interior e sua percepção, por meio da luz captada e incorporada no espaço. Também podem ser utilizados como sistemas de climatização passiva,

sendo associados mecanismos que permitam a ventilação ou aquecimento do ambiente, por meio de fenômenos de convecção e efeito estufa (SARMIENTO, 1999; SERRA, 1998).

Existem diversas razões para se utilizar a iluminação zenital: uma delas é a liberdade de colocar a fonte de luz natural na posição exata onde é desejada, em concordância com as atividades realizadas no recinto.

A iluminação natural zenital é útil principalmente nos ambientes onde as paredes são como áreas de trabalho, tipologias de construções muito profundas, ambientes onde a segurança é procurada mediante o fechamento das superfícies laterais ou a visão do entorno direto é indesejada (ROBBINS, 1986; LYNES, 1968).

Deve-se destacar também que este é um sistema de maior facilidade de integração com sistemas de iluminação artificiais, pois a luz entra no espaço vindo do forro em ambos os casos (LEDER e PEREIRA, 1999).

Porém a iluminação zenital tem um custo inicial mais alto que as laterais e apresentam maiores dificuldades para sua limpeza e para a localização dos elementos de controle, proteção solar e ventilação, além da dificuldade do controle das infiltrações das chuvas (ROBBINS, 1986; MASCARÓ, 1983).

Por outro lado, os sistemas de iluminação zenitais compostos por superfícies horizontais precisam maior manutenção que os sistemas de superfícies verticais já que é gerada uma rápida diminuição nos níveis de transmissão de radiação solar, causado principalmente pelo acúmulo de poeira. Este fator pode diminuir com a inclinação da superfície, permitindo sua limpeza por meio das chuvas que escorrem por elas (TREGENZA e LOE, 1998; PUPPO e PUPPO, 1972).

1.1.1 Breve Histórico dos Sistemas de Iluminação Natural Zenital

A iluminação natural zenital apresenta referenciais históricos em projetos arquitetônicos monumentais e pequenas obras de arquitetura espontânea ou residencial.

São encontrados no transcurso da história diversos exemplos da incorporação destes sistemas ou elementos construtivos, os quais responderiam a requerimentos culturais, programa arquitetônico e clima de cada lugar.

Com respeito à condicionante climática, é interessante destacar que já nas construções da história antiga da civilização, além do propósito de introduzir luz natural ao interior dos ambientes, as aberturas zenitais levavam em consideração outras variáveis que podem afetar a salubridade e conforto dos usuários.

Um exemplo disto é que, na ilha Creta no ano 2000 a.C, as construções da era Minóica (ver Figura 02) apresentavam canos de chaminé nas habitações, corredores, vestibulos e escadas para sua iluminação e ventilação (MACARÓ, 1983).

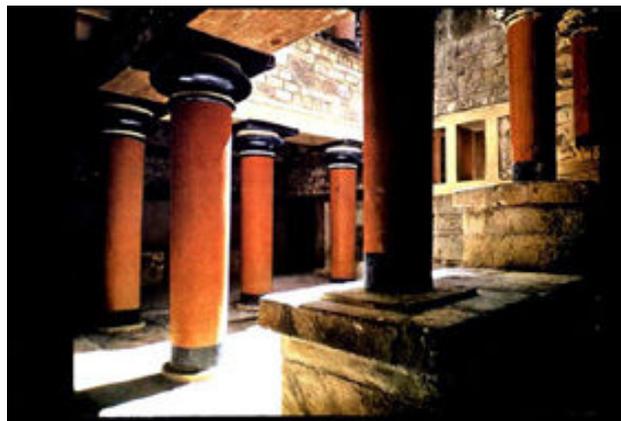


Figura 02: Pátio de luz em construção da Era Minóica.

Fonte: <http://www.upv.es/claraboya/report/minos.htm>.

Outra evidência da utilização de sistemas de iluminação zenital pode ser encontrada na grande pirâmide do grupo de Giza, construída pela civilização egípcia (ver Figura 03).

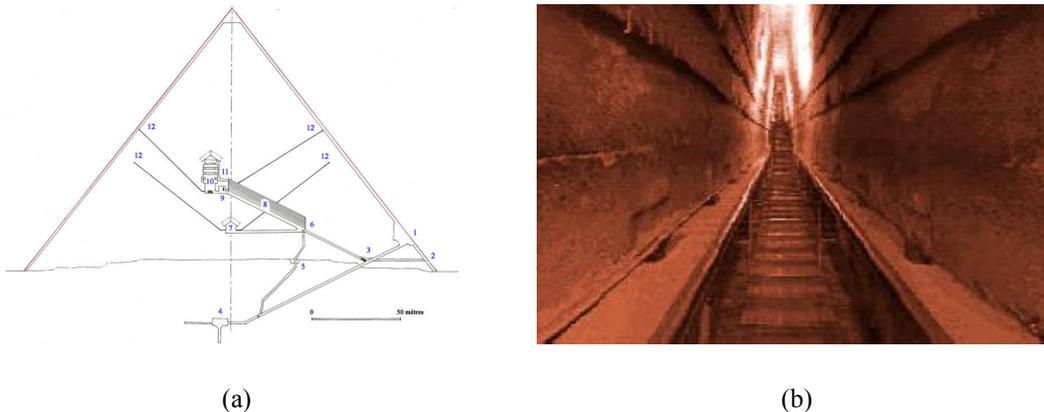


Figura 03: Esquemas dos dutos de iluminação e ventilação em pirâmide de Egito (a); vista interior (b).
 Fonte: [http://es.wikipedia.org/wiki/Image: Kheops-coupe.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Image:Kheops-coupe.jpg) (a); <http://www.geocities.com/TheTropics/7210/pyramid.htm> (b).

Esta consiste num sistema de iluminação natural e ventilação, formado por dutos. “A razão destes não é conhecida com certeza, podem ter sido projetados para ventilar as câmaras internas ou mesmo por motivos religiosos” (EDWARD apud PEREIRA, 1995). Esta última hipótese fundamenta-se em que a orientação desta abertura tem relação direta com a trajetória solar específica nessa latitude, fazendo com que os raios solares ao meio-dia do mês de janeiro, penetrem diretamente no centro da pirâmide.

Outro exemplo do uso da iluminação zenital nas antigas civilizações é a utilizada no Panteón do Roma, cuja cúpula de diâmetro maior que a de São Pedro é construída em concreto com uma abertura central por onde a luz solar penetra, projetando-se no seu interior como um feixe de luz concentrado, que se desloca com o passar das horas (MASCARÓ, 1983; LYNES, 1968). Mediante a luz inserida no interior da edificação, são ressaltadas e mostradas as proporções monumentais e o caráter da obra de arquitetura (ver Figura 04).



Figura 04: Iluminação zenital Panteón de Roma.
Fonte: www.daniel.prado.name/Varios-Viajes.asp?art=151.

Lam (1986) menciona que os sistemas zenitais utilizados nas circulações do bazar no Isfahan na Pérsia (atualmente Irã) são adequados para o clima quente-seco, incorporando além de iluminação natural, sistemas de ventilação passiva; refrescando as temperaturas dos ambientes nas circulações interiores (ver Figura 05-a).

Segundo Pereira (1993) no século XVII na Espanha, na construção da Catedral do Toledo (1721-32) foi utilizada uma pequena abertura posicionada fora de visão, que redireciona e espalha a luz solar para iluminar um grupo de esculturas situadas na sua parte inferior (ver Figura 05-b).

No ano 1790 foi construído o Royal Opera Arcade, na Inglaterra, uma rua comercial coberta, onde a luz natural penetra na edificação através de domos circulares de vidro (MASCARÓ, 1983) (Ver Figura 05-c).

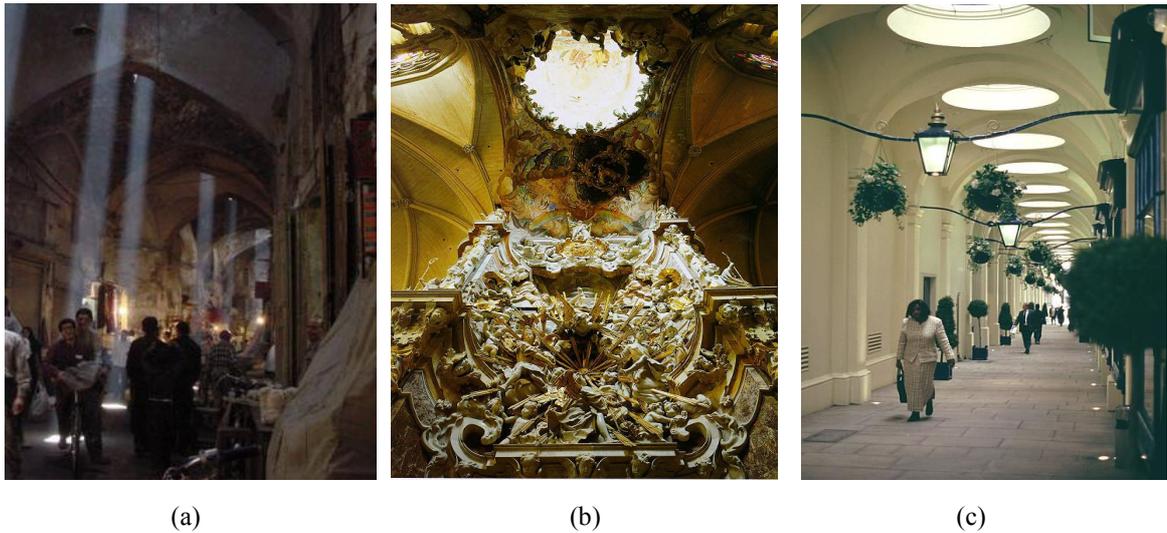


Figura 05: Iluminação zenital no bazar no Isfahan, Pérsia (a); iluminação zenital Catedral do Toledo, Espanha (b); iluminação zenital Royal Opera Arcade, Inglaterra (c).
 Fontes: www.traveladventures.org/.../esfahanbazaar5.jpg (a), faculty-staff.ou.edu/.../transparenteToledo.jpe (b), www.bluffton.edu (c).

1.1.2 Tipos de Iluminação Zenital

Os sistemas de iluminação natural zenital podem ser projetados em diversas escalas. Podem se constituir como espaços abertos à abóbada celeste, mediante a disposição volumétrica das edificações que o compõem. Exemplo destes são os átrios, pátios de luz e poços de luz, ou como sistemas zenitais integrados ao desenho volumétrico dos projetos.

Os sistemas de iluminação natural zenital integrado podem-se classificar em dois grupos principais de acordo com a orientação das superfícies de captação que os compõem, sendo estas predominantemente horizontais ou verticais.

Alguns destes sistemas de iluminação zenital são:

2.1.2.1 Tetos Transparentes

Estes são elementos que ocupam uma porção do telhado no ambiente (ver Figura 06). São construídos de materiais transparentes ou translúcidos, sendo horizontais ou inclinados. Geralmente são constituídos por placas finas que não apresentam índices de resistência

térmica relevantes. Isto pode gerar dois problemas: aquecimento ou esfriamento excessivo do ambiente. O primeiro, decorrente da excessiva radiação solar captada; o segundo, do traspasso ao exterior de possíveis ganhos térmicos, gerados no ambiente interior através de fontes de energia calóricas internas.

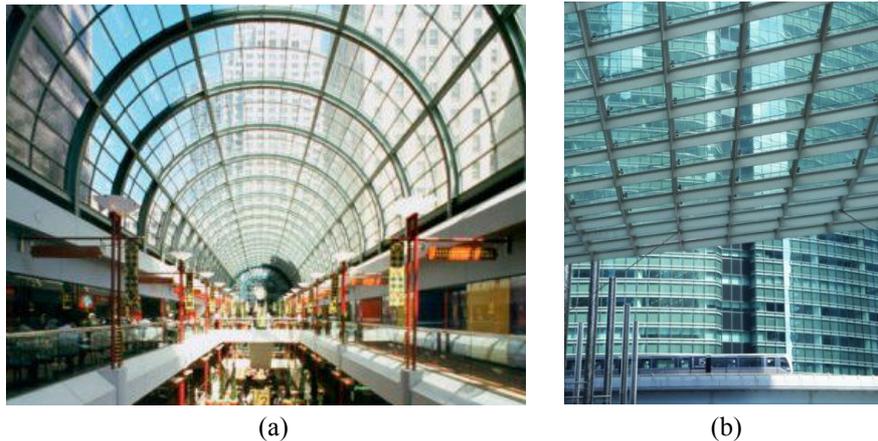


Figura 06: Iluminação zenital tipo teto curvo transparente (a); iluminação zenital tipo teto (b).

Fonte: <http://legacycreative.gettyimages.com> (a,b).

Além disso, estes sistemas podem apresentar maior dificuldade para o controle da radiação solar, conseqüentemente do brilho e desconforto para o usuário (SOLANO, 1999).

Lam (1986) recomenda que em pontos geográficos equatoriais, devido aos altos níveis de radiação solar, estas aberturas não sejam maiores que um 1% da área do piso enquanto que Solano (1999) não recomenda sua utilização no Brasil em áreas maiores que 10% da do solo.

1.1.2.2 Domos

Os domos são aberturas predominantemente horizontais, compostas por materiais translúcidos, parcialmente opacos ou perfurados (ver Figura 07). Apresentam qualidades similares aos tetos transparentes quanto a sua utilização, dimensionamento, manutenção e cuidados.



(a)

(b)

Figura 07: Vista exterior domo parlamento alemão (a); vista interior tipo domo (b).
 Fontes: <http://www.flickr.com/photos/mistca/61275068/> (a), <http://www.flickr.com/photos/tamiam/28649223/> (b).

No período de verão, quando os ângulos das alturas solares são maiores, existe um aumento da incidência de radiação solar direta neste tipo de sistema com aberturas e superfícies predominantemente horizontais, podendo gerar efeitos indesejados nos aspectos térmicos do ambiente e desconforto visual para o usuário, se esses não forem planejados com mecanismos de controle e proteção.

1.1.2.3 Clarabóias

Clarabóias são elementos verticais ou inclinados, que de modo geral trabalham com a captação e redirecionamento da radiação solar (CABÚS, 1997) (Ver Figura 08).



(a)

(b)

Figura 08: Clarabóia inclinada (a); clarabóia vertical (b).
 Fontes: <http://legacycreative.gettyimages.com/> (a), Baker e Steemers(2002) (b).

O melhor desempenho desses elementos é encontrado em edifícios de um pavimento e baixa altura. Nesse sentido, todos os sistemas de iluminação considerados como pontos zenitais, podem ser mais adequados para edifícios com até dois andares, em que as distâncias percorridas por luz captada são pequenas, entre 2,4 m e 6,0 m.

As clarabóias orientadas ao Sul ou Norte, segundo o hemisfério, podem evitar o aquecimento e o ofuscamento excessivo no verão (SARMIENTO, 1999; LAM, 1986; ROBBINS, 1986).

1.1.2.4 Monitor

Um monitor é uma seção elevada do telhado. Consiste de uma cumeeira com aberturas verticais, sendo geralmente seu comprimento semelhante ao do ambiente interno (CABÚS, 1997) (Ver Figura 09).



Figura 09: Iluminação zenital tipo monitor.

Fonte: <http://legacycreative.gettyimages.com>.

Do mesmo modo que a clarabóia é preferível que a orientação da abertura deste sistema seja projetada segundo a latitude e o hemisfério (Norte ou Sul) para proteger de modo simples, da incidência de radiação solar direta.

Os monitores têm como objetivo elevar os níveis de iluminação natural por meio da captação e reflexão da luz, proveniente da abóbada celeste, no teto das construções, podendo

conjugar aspectos luminosos e térmicos, dependendo das necessidades programáticas e do clima onde for implementado.

Existem ao menos duas estratégias de inserção relacionadas à orientação das aberturas destes sistemas, sendo nomeadas celas de sol e celas de luz. Nas celas de sol, a abertura é direcionada para a captação de radiação solar direta. Esta estratégia pode ser adequada para latitudes subtropicais, principalmente em climas frios onde, além das necessidades da iluminação natural, o aumento da temperatura em um ambiente, por meio da radiação do sol, pode ser desejado. Ao contrario, as celas de luz são orientadas para evitar ao máximo a captação de radiação solar direta, utilizando iluminação natural do tipo difusa, tentando amenizar os possíveis efeitos térmicos no ambiente (LAM, 1986).

1.1.2.5 Dente-de-Serra

É um sistema de aberturas zenitais, paralelas e sucessivas, verticais ou inclinadas com cobertura inclinada na orientação oposta, com o fim de dirigir a luz ao interior do ambiente (CABÚS, 1997) (Ver Figura 10).

Figura 10: Iluminação zenital tipo dente de serra.

Fonte: www.flickr.com/photos/tirralirra/.



Este tipo de sistema é utilizado para captação de iluminação preferentemente difusa para amplos espaços com grandes vãos, coletivos ou industriais. Apresentam geralmente distribuição de iluminâncias uniforme nas áreas servidas com pequenas variações nos padrões de brilho.

Segundo seja sua orientação, estes podem ser protegidos mediante protetores solares como beirais no período de verão, e permitir o ingresso da radiação solar no inverno, quando os ângulos de incidência solar o permitem (BAKER, STEEMERS, 2002).

Existe uma configuração diferente, composta por duas superfícies de aberturas opostas nomeadas dente de serra de duas direções (ROBBINS, 1986).

1.1.2.6 Lanternim

Apresenta-se como um elemento relevante na configuração volumétrica do telhado projetado, geralmente na parte mais elevada. Consiste numa elevação deste, com aberturas verticais para a entrada de luz (ver Figura 11).



(a)



(b)

Figura 11: Vista externa iluminação zenital tipo lanternim (a); vista interior iluminação zenital tipo lanternim (b).

Fonte: http://www.flickr.com/photos/eli_k_hayasaka/306735074/ (a), http://www.flickr.com/photos/eli_k_hayasaka/127145271/ (b).

1.1.3 Considerações Iniciais da Iluminação Natural Zenital

Segundo Baker e Steemers (2002) muitos dos problemas apresentados na distribuição da luz em um ambiente deve-se à utilização de luz lateral, estes podem ser melhorados ou evitados com a utilização de luz zenital.

Uma das características principais deste tipo de iluminação é sua distribuição uniforme no espaço, geralmente por meio da utilização da componente difusa da luz natural, evitando assim o contraste excessivo das iluminâncias no ambiente (SARMIENTO, 1999; SERRA, 1998; LEDER e PEREIRA, 1995; ROBBINS, 1986; PUPPO e PUPPO, 1972).

A utilização destes sistemas pode ser uma boa opção para espaços onde são desenvolvidas tarefas que precisam de acuidade na observação de objetos ou figuras, como os encontrados em processos industriais ou leitura, já que estes têm a vantagem de proporcionar uma iluminação com pouca variação, pelo fato de ficar facilmente fora do campo visual dos usuários. No caso das escolas, e sala de exposição em galerias de arte, pode-se precisar de iluminação complementar que de maior variabilidade à possível “monotonia” da iluminação no ambiente.

Com a utilização de sistemas de iluminação natural zenital, o maior ganho de iluminâncias geralmente é encontrado nas áreas imediatas, embaixo da abertura ao ambiente exterior. Este padrão pode ser alterado pelo ingresso e incidência da radiação solar direta em outras áreas do ambiente, se a configuração geométrica do sistema o permitir. Isto pode ser gerado pela variabilidade da trajetória solar própria de cada latitude, pelas características locais do céu ou por meio da intersecção e redistribuição da luz direta, provocado por elementos protetores ou refletivos, incorporados no espaço ou nas mesmas aberturas zenitais (ROBBINS, 1986; MASCARÓ, 1985).

Os sistemas de iluminação natural zenital podem gerar níveis de contraste de luz excessivo num ambiente, sendo isto consequência da redução do ângulo de visão da abertura zenital, gerado pela diminuição ou aumento da distância entre o ponto de observação e o nível dessa. Recomenda-se, nesses casos, a utilização de cores brilhantes na área circundante da abertura e nos elementos estruturais que a compõem, para que aquele seja diminuído.

1.1.4 Desempenho Luminoso

Por outro lado, os sistemas de iluminação natural zenitais apresentam uma maior eficiência luminosa com uma menor área de abertura, sendo esta geralmente suficiente para o ambiente, sem necessidade de complementar com aberturas laterais (LEDER e PEREIRA, 1999; LAM, 1986; PUPPO e PUPPO, 1972).

Segundo Robbins (1986) os ângulos da superfície captadora que compõem esses tipos de sistema são fatores relevantes no resultado da captação e distribuição das iluminâncias no ambiente.

Deve-se considerar as diferenças nos ganhos de iluminâncias dos sistemas de iluminação zenital, quando esses são compostos por superfícies horizontais ou verticais.

Como exemplo, Mascaró (apud VIANNA, 2004) acrescenta o seguinte exemplo:

- Uma cobertura de inclinação dupla, que contém as superfícies iluminantes, possui quase a mesma eficiência de uma horizontal, em termos de fluxo luminoso utilizável sobre o plano de trabalho para uma mesma superfície.
- O lanternim, com superfície vertical iluminante equivalente ao anterior, proporciona a metade e a terça parte da iluminação obtida com elementos zenitais de superfície horizontal ou pouco inclinada.

Nesse sentido, os sistemas zenitais compostos por superfícies horizontais, na mesma proporção de verticais, podem “ver” ou captar de modo direto uma maior porção da abóbada celeste e a radiação solar que esta confere.

Segundo Baker e Steemers (2002) quando maior o ângulo da altura solar, existirá uma maior incidência de radiação nas aberturas zenitais e níveis de luz natural disponível, seja esta difusa ou direta.

O desempenho dos sistemas de iluminação natural zenital, em condições de céu claro, dependerá fortemente da trajetória solar e dos ângulos de incidência direta da radiação sobre a superfície de captação. As aberturas horizontais mostram-se mais eficientes para regiões equatoriais, em relação à captação de radiação solar. Nessa latitude são encontrados ângulos maiores de altura solar e conseqüentemente uma maior incidência nas superfícies que a compõem. De modo contrário, a eficiência das aberturas zenitais podem ser menores em localidades encontradas em latitudes subtropicais, posto que os ângulos de altura solar sejam menores, e os raios solares atinjam com uma menor incidência nas superfícies de captação.

Uma das recomendações a respeito desta condicionante é que em climas temperados se incline e oriente a abertura direto ao Norte ou Sul, segundo o hemisfério, num ângulo de 60°, com o propósito de diminuir as diferenças no desempenho do sistema. Deste modo, a iluminação do ambiente pode atingir níveis de iluminação similares no inverno e verão, ao meio-dia (LAM, 1986). Além do ângulo adotado pelas superfícies das aberturas horizontais, os níveis de captação de iluminâncias estão sujeitos a outras variáveis na configuração dos sistemas como: comprimento e largura das aberturas, distanciamento desde a abertura ao plano de trabalho, altura e ângulo de inclinação de seus componentes verticais (ROBBINS, 1986).

1.1.5 Desempenho Térmico

Um dos aspectos levantados por Moore (1985) sobre iluminação natural, é que o elevado índice da radiação solar, captado nas superfícies horizontais dos sistemas de iluminação zenital, pode gerar um aquecimento excessivo dos ambientes onde aquelas se encontram. Nesse sentido, a iluminação zenital natural tem como desafio encontrar a melhor relação possível entre os níveis de iluminação captada e os ganhos térmicos gerados.

Pelo mesmo motivo, cada sistema de iluminação zenital natural deve procurar definir as características e necessidades de iluminação próprias de cada projeto; entendendo as relações entre os requerimentos do conforto ambiental (térmico/luminoso) e as atividades desenvolvidas no ambiente, em uma latitude, clima e micro clima no qual esteja inserido (LAM, 1986).

Um dos principais desafios para o projetista é gerado a partir da dificuldade de controlar o aspecto térmico, quando é utilizado um sistema de iluminação zenital. Geralmente no período de verão, quando ocorrem as máximas temperaturas, pode ser admitida pela abertura, se esta não for protegida, os maiores níveis de radiação direta e refletida; trazendo como consequência o aquecimento indesejado do ambiente para essa época do ano. No inverno, essa relação se apresenta de modo inverso (ROBBINS, 1986). Mascaró (1983) aponta para a enorme carga térmica existente sobre as coberturas do edifício, próprias das regiões tropicais e subtropicais, que devem ser levadas em consideração no projeto de iluminação zenital. Nesse sentido, Cabús e Pereira (1997) enfatizam a importância do correto dimensionamento das aberturas, com vistas a se obter a quantidade de luz necessária, sem ganho extra de calor.

A proporção do ganho de calor nas edificações, produto da radiação solar direta ou difusa do céu será menor por lúmen, às geradas pelos sistemas de iluminação artificial disponíveis no mercado; mostrando uma maior eficácia (BAKERS E STEEMERS, 2002; PEREIRA, 1993) (Ver Tabela 01).

Tabela 01: Eficácia luminosa da radiação solar e alguns tipos de lâmpadas.

	EFICÁCIA LUMINOSA (lm/W)
Radiação solar	
Sol direto (alt.solar 60°)	90-115
Global com céu claro.	95-125
Difusa com céu claro.	100-145
Céu encoberto.	100-130
Lâmpadas	
Filamento GLS e refletor.	12
Filamento Alógeno.	15-25
Fluorescentes	60-90
Fluorescentes compactas	45-90
Sódio baixa pressão	100-185
Sódio alta pressão	60-100
Mercúrio alta pressão	40-60

Fontes: Pereira (1993); Baker e Steemers (2002).

1.2 Sistemas Avançados para a Utilização de Iluminação Natural

No constante desenvolvimento tecnológico, assim como no aprofundamento das pesquisas na área de iluminação, novos sistemas vêm sendo estudados para o aproveitamento da luz natural nos ambientes. Segundo Literfair (1989) os sistemas avançados de iluminação baseiam seu funcionamento em dois conceitos principais: primeiro, aproveitar o potencial luminoso do brilho da luz do sol; e segundo, a possibilidade de redirecionar o fluxo luminoso de acordo com a necessidade do ambiente. Esses sistemas possibilitam otimizar a quantidade e a distribuição de luz natural em um espaço, além de permitir o controle da incidência direta da radiação solar e os possíveis problemas que podem ser gerados nos aspectos de conforto térmico-luminoso do usuário (GARROCHO e AMORIN, 2005; PHILLIPS, 2002).

Para esse propósito, Bakers e Steemers (2002) indicam que as aberturas da envolvente de edificações necessitam de dispositivos ópticos adicionais. O resultado da combinação destes elementos é freqüentemente denominado como “avançado” ou “inovativo”, denotando o recente desenvolvimento tecnológico nesta área, incorporando novos materiais e produtos ao repertório de soluções utilizadas pelos projetistas.

As pesquisas e o desenvolvimento tecnológico destes sistemas são enfocados ao menos em três grupos: elementos refletores e prateleiras de luz; elementos integrados nas janelas e dutos de luz — o foco principal desta pesquisa. Suas respectivas denominações correspondem principalmente a suas características geométricas, sendo possível que alguns desses sistemas não se qualifiquem de modo exato nestas categorias (BAKER E STEEMERS, 2002; PEREIRA, 1993; LITTERFAIR, 1989).

Vários são os sistemas descritos, mas nenhum deles corresponde de forma universal e genérica aos possíveis requerimentos ambientais. Por isto, cada sistema avançado de iluminação deve ser desenhado e planejado segundo as condições específicas de cada projeto, sejam elas econômicas, físicas, funcionais ou climáticas.

Baker e Steemers (2002) informam que a utilização desse tipo de sistemas pode ser apropriada nos seguintes casos:

- Quando o entorno da construção obstrui a visão do céu, o sistema pode ser desenhado para coletar a luz proveniente das áreas sem obstrução; podendo deste modo redirecioná-la ao interior do ambiente.
- Quando o ambiente é demasiado profundo para gerar com sistemas de aberturas convencionais, como janelas, iluminâncias adequadas e uniformes para as tarefas desenvolvidas pelos usuários, os sistemas avançados de iluminação podem redirecionar parte do fluxo luminoso proveniente de zonas localizadas fora do campo de visão direta destas aberturas; podendo melhorar sua quantidade e distribuição.
- Em climas ensolarados, eles podem ser utilizados para limitar a incidência direta de luz solar ou redirecioná-la mais profundamente ao interior do ambiente.
- Em ambientes onde seja necessário um maior controle da iluminação como museus, escritórios, bibliotecas, os sistemas avançados de iluminação natural podem ser

utilizados com o propósito de diminuir possíveis ofuscamentos e evitar a entrada de luz solar direta.

Outro ponto importante de ressaltar é que, com a finalidade de satisfazer às demandas por iluminação, tanto em reformas de prédios antigos quanto configurações urbanas onde este fator é deficiente, sistemas avançados estão sendo utilizados como elementos plásticos na concepção arquitetônica de novos projetos, tendo importantes resultados qualitativos nos aspectos formal e ambiental, assim como nos quantitativos, no relativo aos níveis de desempenho desses e a conseqüente diminuição do consumo de energia elétrica nas edificações.

1.2.1 O Duto de Luz

O duto de luz é um sistema avançado de iluminação, que permite dirigir ou redirecionar a luz do dia ao interior dos ambientes.

Esse se encontra classificado como um sistema avançado de iluminação zenital, o qual capta a luz natural proveniente da abóbada celeste através de um coletor na parte superior, transportando-a por uma série de reflexões especulares e difusas através de um canal, até atingir o nível do teto (JENKINS e MUNNER, 2003) (Ver Figura 12).

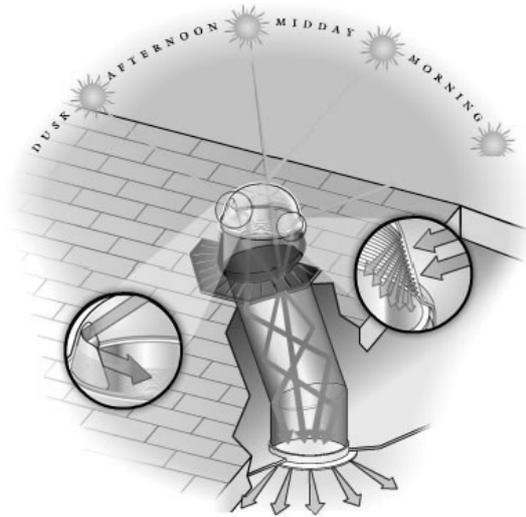
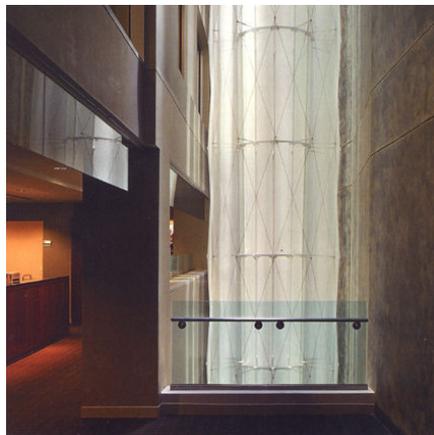


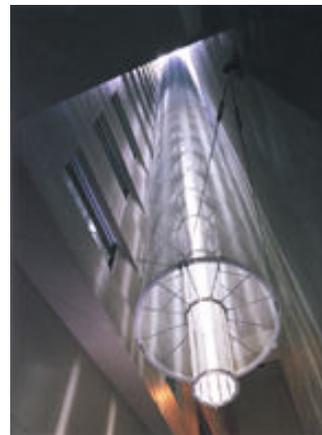
Figura 12: Ilustração esquemática do funcionamento do duto de luz por meio da reflexão interna da luz natural.

Fonte: <http://jcwinnie.biz/wordpress/imageSnag/solatube.jpg>.

Os dutos ou canais de luz foram provavelmente introduzidos nas edificações numa tentativa, por parte dos projetistas e engenheiros, de controlar a distribuição da luz natural em função de algumas necessidades específicas, além de trazer luz natural até áreas sem acesso direto a ela (PEREIRA, 1993). Esse sistema pode ser altamente sofisticado e custoso, composto de múltiplos elementos e complexos materiais, a fim de melhorar seu desempenho (ver Figura 13) ou ser construído com elementos simples e de fácil implementação (ver Figura 14).



(b)



(a)

Figura 13: Sistema de duto de luz de comprimento 36m, implementado num edifício de escritório, E.E.U.U (a); vista inferior (b). Fonte: carpenterlowings.com (a, b).



Figura 14: Vista exterior de duto de luz simples, implementado numa habitação (a); vista interior do espaço residencial com saída de duto de luz simples (b).

Fonte: <http://www.lunatubsolar.com/index.asp?web=obras> (a, b).

Os sistemas mais sofisticados podem atravessar uma longa distância, seja horizontal (ver Figura 15) ou vertical dentro de uma edificação, onde cada andar pode ser alimentado com uma parte da componente da luz natural, mediante elementos altamente refletivos ou condutores (ver Figura 16). Os mais simples podem ser estruturas tubulares vazadas, as quais alimentam diretamente os ambientes situados abaixo de sua posição (PEREIRA, 1993).

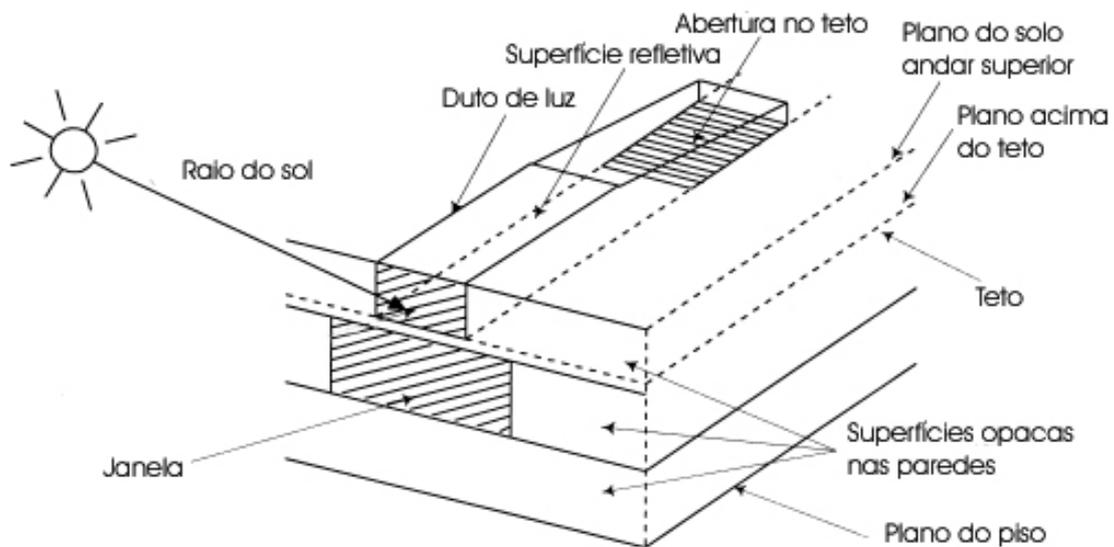


Figura 15: Configuração horizontal para duto de luz, implementado num prédio comercial.

Fonte: Surapong et al (2002).

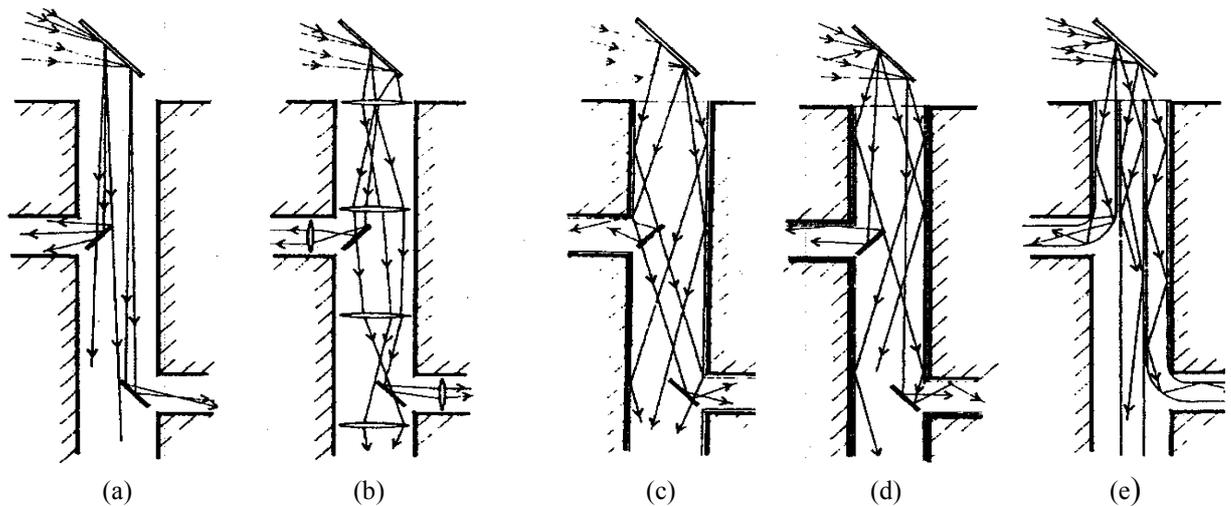


Figura 16: Cinco métodos utilizados para transmissão de luz natural através de dutos verticais: duto lente simples (a), duto lente colimado (b), duto superfície de alta refletância (c), duto com superfície prismáticas (d), conjunto de fibra óptica (e).

Fonte: Baker e Stemmers (2002) (a, b, c, d, e).

1.2.1.1 Componentes de um Duto de Luz

Segundo Leder e Pereira (1999) os dutos de luz sempre são constituídos por, pelo menos, três partes fundamentais (ver Figura 17):

1. Sistemas de coleta da luz;
2. Sistema de transmissão e distribuição da luz;
3. Sistema de emissão de luz.

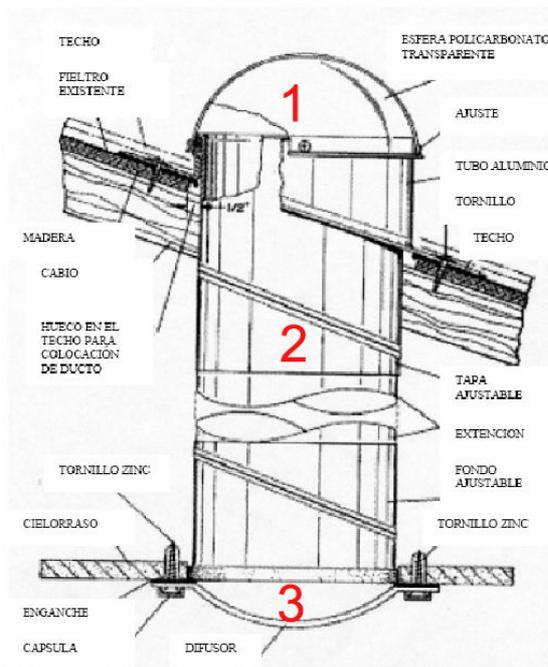


Figura 17: Componentes

padrões de um canal de luz.

Fonte: Paroncini et all (2007).

1.2.1.1.1 Sistemas de Coleta: Nos modelos mais simples, este é composto geralmente por placas ou domos de material quase transparente (ver Figura 18-a), comumente de policarbonato, com uma redução média na transmitância de luz de 10% (ver Tabela 02). Outros materiais também podem ser utilizados, como o acrílico, sendo seu fator de transmitância menor ainda. (PARONCINI et al, 2007).

Tabela 02: Características de alguns tipos de materiais.

Material	Transmitância	Refletância
Vidro claro 6 mm	0.89	0.08
Acrílico claro 6mm	0.92	0.08
Acrílico branco difuso 6 mm	0.17-0.72	(*)
Policarbonato claro	0.83	(*)

Fontes: Baker e Steemers (2002).* Não são indicados valores de refletâncias pelo autor.

Os coletores também atuam como elementos de proteção dos fatores ambientais externos, tais como: poeira, chuva e neve. Nos mais sofisticados, são integrados sistemas de espelhos ou lentes, montados em sistemas automáticos de rastreamento do sol. Assim como também podem ser inseridos pequenos elementos ópticos refletivos, com a finalidade de captar e conduzir os raios incidentes da luz do sol em ângulos menores nos horários do início e final do dia (FERNÁNDEZ, 2002) (Ver Figura 18-b).

Carter (2002) aponta que, ao incorporar esse tipo de elemento no coletor, é possível aumentar os níveis de luz captada e transmitida pelos dutos, mas devem ser utilizados preferentemente em lugares com céu tipo claro, evitando assim, sua utilização em condições de céu encoberto, em virtude de o efeito ser contrário.



Figura 18: Coletor simples domo acrílico (a); coletor com “light scoop” (b).
 Fonte: Paroncini et al (2007) (a), <http://www.espaciosolar.com/fotografias.html#> (b).

1.2.1.1.2 Sistema de Transmissão da Luz: Geralmente são constituídos por uma estrutura tubular composta por materiais altamente refletivos, como alumínio ou superfícies espelhadas, materiais opacos cobertos de um filme refletivo ou elementos maciços como o acrílico.

Existem no mercado, filmes com níveis de refletividade de até 99%, que poderiam aumentar a eficiência desses sistemas (JENKINS et al, 2004).

Os dutos podem ser retos ou incorporar cotovelos para seu passo através de estruturas ou qualquer tipo de instalações que se encontrem na área do teto (ver Figura 19).

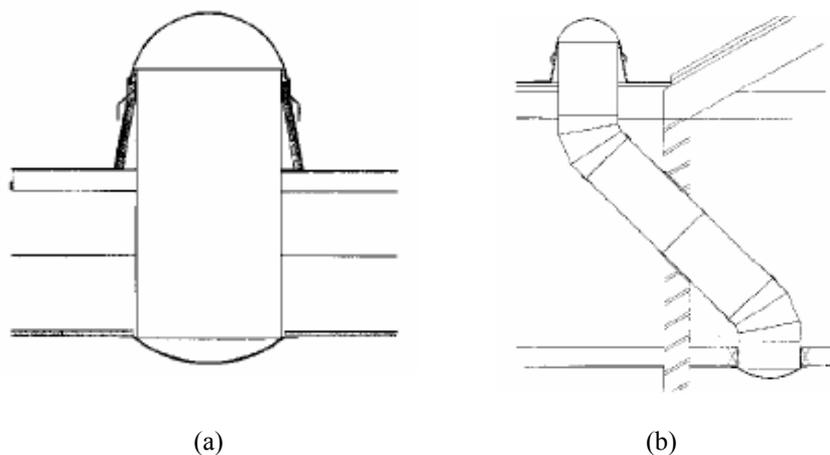


Figura 19: Canal reto (a); canal com cotovelos (b).
 Fonte: Jenkins e Munner (2003) (a, b).

1.2.1.1.3 *Sistema de Emissão*: A luz coletada e transmitida finalmente é entregue ao ambiente, mediante um elemento que pode ser chamado de “luminária solar”.

As características qualitativas e quantitativas da luz no interior dos ambientes dependem fortemente dessa parte do sistema.

Ao considerar o emissor similar a uma luminária alimentada por iluminação elétrica, a qualidade da iluminação pode ser desenhada de diversos modos: direta, parcialmente direta, difusa, parcialmente indireta ou totalmente indireta (PEREIRA, 1993).

Nesse sentido na pesquisa desenvolvida por Ngai (apud PEREIRA, 1993), dois tipos de sistemas de emissão de luz são apresentados: um composto por uma lente côncava, para espalhar o fecho de luz de modo direto no ambiente; outro através da reflexão da luz sobre o teto de modo indireto, por meio da incorporação de espelhos (ver Figura 20).

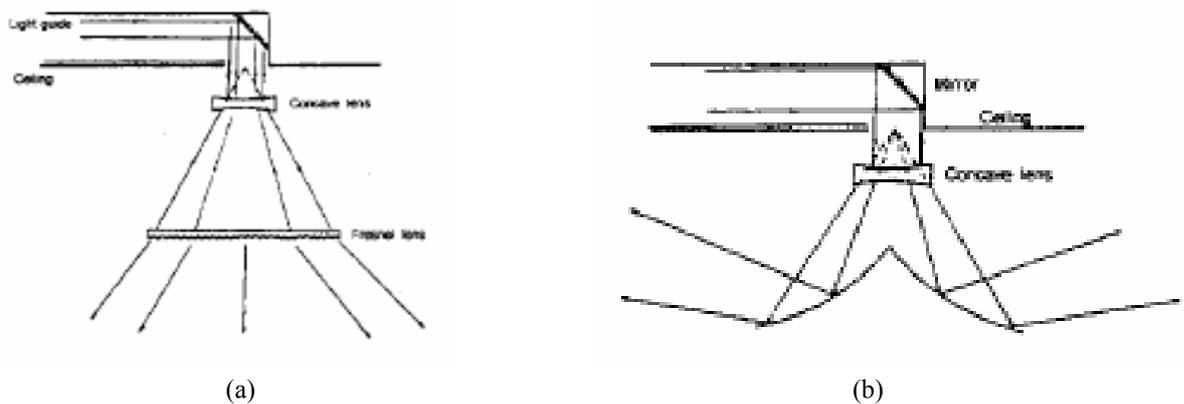


Figura 20: Emissor fecho de luz direta (a); emissor de luz indireta para rebote no teto(b).

Fonte: Pereira (1995).

Podem-se utilizar emissores simples de materiais difusos, com a finalidade de diminuir as variações na distribuição da luz natural em céus do tipo claro ou parcialmente encoberto, porém se deve considerar uma diminuição na eficiência luminosa do sistema.

1.3 Breve Histórico do Uso de Duto de Luz em Edificações

As primeiras pesquisas sobre duto de luz foram desenvolvidas no final da década dos anos setenta, nos Estados Unidos. Os pesquisadores fundamentam seu interesse na possibilidade da utilização da componente direta da iluminação natural nesse tipo de sistema, já que esta evidencia uma alta eficácia luminosa com um menor ganho térmico, se comparada com a luz artificial. No entanto, a massificação do seu uso em habitações viu-se limitado pelos seguintes fatores:

- Sua constante manutenção com o fim de manter os níveis de eficiência;
- Os baixos índices de eficiência dos coletores e condutores, no caso de sua implementação em climas com céu encoberto, onde a componente de luz natural difusa é predominante;
- Seu investimento relativamente alto.

Atualmente, os dutos de luz vêm sendo utilizados com maior frequência nos países desenvolvidos como Austrália, Estados Unidos e Canadá, porém em número menor na Inglaterra, país onde o tipo de céu predominante é o encoberto e os níveis de desempenho do sistema podem ser menores.

Um grupo importante de empresas vende os dutos de luz, com uma crescente demanda. Algumas das razões são o aumento de seu desempenho gerado pelo desenvolvimento tecnológico de seus componentes; o aumento dos níveis de refletâncias dos materiais; a paulatina baixa nos custos econômicos, e a simplificação dos métodos de implementação (BAKER e STEEMERS, 2004; SHAO et al, 1997; SWIFT e SMITH, 1994).

Como exemplo disso, na pesquisa desenvolvida por Pattini et al (2003), foram projetados, construídos e implementados dutos de luz, com materiais disponíveis no mercado

argentino, ao custo de US44, 1/6 do valor médio comercial para a um modelo de mesmas dimensões (ver Figura 21).



Figura 21: Conjunto de dutos de luz implementados em habitação unifamiliar, província de Mendoza, Argentina (a); detalhe do coletor (b).

Fonte: Pattini et al.(2003).

Na mesma pesquisa, segundo as simulações computacionais feitas para um duto de 1,00 m de comprimento e 0,2 m. de diâmetro, os resultados obtidos para os valores de iluminâncias ao meio-dia são entre os 130 e 387 lx, para os meses de março, junho e dezembro, valores dentro dos recomendados pelas normas da ABNT (1992) de iluminância de ambientes; para realização de atividades domésticas (ver Anexo D).

Por outra parte existe um crescente desenvolvimento de pesquisas destes sistemas avançados, em latitudes onde os tipos de céu claro ou parcialmente encoberto são os predominantes. A utilização e contribuição da componente direta da radiação solar presente nesse tipos de céu permitiria uma possível melhoria no seu desempenho.

1.4 Métodos de Modelagem e Avaliação do Desempenho de Dutos de Luz

As diferenças de critérios para poder identificar as variáveis que afetam o desempenho luminoso do duto de luz, e indicar os resultados por meio de valores quantitativos confiáveis, apresenta-se como uma dificuldade para se estabelecer um método de modelagem e avaliação, que seja eficiente em qualquer condição geográfico-climática em que aquele seja utilizado.

Como exemplo dessa situação, os estudos de Zhang et al. (2000) concluem que a configuração geométrica do duto, além da altura solar e o tipo de céu, têm um significativo efeito nos valores alcançados no desempenho dos sistemas. Além disso, Edmons (apud SHAO,1997) assinala que estudos desenvolvidos na Austrália indicam que os resultados dependem fortemente da posição do sol e do desenho do difusor.

Uma série de estudos e pesquisas relacionadas a métodos de modelação e avaliação desses sistemas vêm sendo desenvolvidos e acrescentados constantemente. Na maioria dos estudos de dutos de luz aqui apresentados, o cálculo de valores de iluminância e sua distribuição em ambientes simulados ou reais são obtidos a partir da utilização da componente de luz natural difusa, proveniente da abóbada celeste e das nuvens (condição típica de céus encobertos). Essa situação se apresenta como uma possível contradição e despropósito, posto que pressupõe que o maior desempenho desse sistema seria nas localidades onde se apresentam altos níveis da componente direta da luz do sol, encontrados numa maior quantidade em céus de tipo claro ou parcialmente encoberto.

Alguns desses métodos precisam de um elevado número de informações, além de necessitarem de numerosos e extensos passos ou de tempo para serem efetuados. Outros resultam da simplificação das variáveis relacionadas — como a eliminação da componente de luz direta no ambiente a ser estudado. Essa simplificação justifica-se em função das constantes variações nas características desse tipo de luz no decorrer do dia, segundo a

latitude e características do céu, presente numa determinada localização geográfica, sendo difícil prever seu comportamento e posterior aplicação como variável quantificável.

Os métodos podem ser fundamentados em aproximações empíricas e teóricas, ou na utilização de ambas. A complementação dessas duas entradas às pesquisas é uma condição relevante para fazer a validação de cada uma delas, e garantir que essas sejam efetivadas, ao menos com as mesmas condições com que os sistemas foram estudados.

1.4.1 Apresentação Cronológica de algumas Metodologias de Avaliação do Desempenho de Dutos de Luz

Zastraw e Whitter (apud SWIFT e SMITH, 1995) propõem um modelo teórico, extremamente simplificado, para prever a transmitância de um duto, qualquer que seja sua seção, mediante a equação 01.

$$T=R^{l \tan \theta / d_{eff}} \quad [\text{Eq. 01}]$$

Em que **R** é a refletância dos materiais que compõem o duto, **l** seu comprimento, **θ** o ângulo de incidência da radiação com respeito ao eixo do sistema, e **$d_{eff} = \pi d/4$** o diâmetro efetivo do duto.

Baseando-se na pesquisa anterior, o trabalho de Swift e Smith (1995) propõe realizar a validação da aproximação teórica, por meio de uma experimentação empírica para a avaliação das transmitâncias em dutos de seção circular, mediante um método de raio ótico. Resultando num aperfeiçoamento da equação integral, em que são envolvidas além das variáveis anteriormente nomeadas, a proporção geométrica do duto e alguns fatores de correção.

Os aspectos relacionados à configuração do duto de luz são mencionados como uma variável que condiciona a capacidade do sistema de prover altas transmissões de radiação em algumas direções, segundo o ângulo de incidência daquela. Assim também como uma desvantagem, já que outras direções ficam fora do ângulo de aceitação do sistema coletor, que

nas configurações mais simples são pequenas aberturas pontuais de posição fixa e limitado cone de aceitação. Ademais, o trabalho de Swift e Smith (1995) coloca especial atenção no tipo de materiais utilizados na construção do duto, sendo este o fator chave nas propriedades de cor e temperatura da luz emitida.

Na série de pesquisas desenvolvidas por Zhang et al. (2000; 2001) são consideradas, além de condições de configuração do sistema e o ambiente no qual esteja inserido, variáveis ambientais externas como a trajetória solar e as características de céu.

O método está baseado numa serie de medições do fator de luz do dia (DF) tomadas num tempo prolongado sob diversas condições de céus e em dutos de diferentes comprimentos e áreas; permitindo realizar uma validação do modelo teórico proposto e a extrapolação dos resultados, para dutos de outros formatos. Porém os autores da pesquisa, acima citada, enfatizam que a maior confiabilidade deste método se encontra em dutos com as dimensões já estudadas.

É definida por esses autores uma equação para o cálculo do fator de penetração da luz do dia (DPF) que é análogo ao fator de luz do dia (DF) utilizado na avaliação para janelas verticais, sob condições de céu nublado. No DPF é considerado o potencial de captação da iluminação global direta ou indireta, posto que o coletor localiza-se geralmente no plano horizontal ou inclinado na parte mais alta da construção.

Neste método é considerada a opção de cálculo do DPF para duas tipologias de duto, reto (S- DPF) e com a utilização de cotovelo (E-DPF) sendo definida a equação gerada para o duto reto por variáveis como: k_t que corresponde ao tipo de céu, α , o ângulo de altura solar, ρ o fator de refletância do duto, A_p a proporção geométrica entre diâmetro e comprimento do duto, R o diâmetro do duto, V a distância vertical entre o difusor e o ponto de interesse e D a distância direta entre o difusor e o ponto no plano de trabalho estudado.

Na equação proposta para o modelo de duto com cotovelos é utilizado um fator de perda de energia ocasionada pela implantação de cotovelos com ângulos de 30°, sendo estes os de maior uso em dutos de luz.

Uma vez determinado o fator de penetração de luz do dia, este se pode relacionar às iluminâncias externas e obter os resultados de iluminâncias internas num ponto específico do ambiente (ver Eq.02).

$$E \text{ interna } (x,y,z) = \text{DPF}(x,y,z) \times E \text{ externa} \quad [\text{Eq. 02}]$$

Em que **DPF**(*x,y,z*) é o coeficiente de penetração de luz natural, calculado para um ponto do ambiente — **E externa**: a iluminância externa, e **E interna** (*x,y,z*): o resultado do valor da iluminância interna para um ponto do ambiente.

Os estudos antes apresentados foram avaliados e validados mediante medições empíricas, as quais foram comparadas com resultados obtidos em cada um dos métodos teóricos, mostrando níveis aceitáveis de variação.

Laouadi (2001) apresenta um modelo teórico que tem como suporte o programa computacional o *Skyvision*. Este calcula as características ópticas de sistemas zenitais de iluminação por meio da aplicação do método do raio traçado. Este programa é desenvolvido e validado a partir da comparação de medições de desempenho, realizadas sob condições padronizadas, simuladas, ou dinâmicas reais de céus. O programa *Skyvision*, permite a modelagem e avaliação de sistemas avançados de iluminação natural, colocando principal atenção nos dutos de luz, em que uma série de características dos elementos que compõem o sistema, tamanho, matérias do coletor e emissor etc, além de fatores ambientais, são inseridos para obter o resultado da iluminância média num ambiente determinado.

Esta informação pode ser utilizada na avaliação dos níveis necessários de iluminação artificial, complementar num ambiente, para atingir o valor desejado segundo a tarefa e

necessidade do usuário. Porém a falta de informação na distribuição das iluminâncias pode-se transformar em dificuldade no momento de definir as características e posições das luminárias que podem complementar possíveis deficiências de iluminação natural.

Como continuação da pesquisa anterior, Laouadi (2005) apresenta um trabalho que tem como finalidade mostrar os resultados de desempenho para modelos de dutos de luz comercialmente disponíveis. Os resultados são obtidos por meio do mesmo programa computacional, quantificando a transmissão e absorção da radiação solar dos sistemas de iluminação natural zenital, e permite aos projetistas a seleção de um sistema de iluminação eficiente, que permita uma adequada quantidade e distribuição de iluminâncias, considerando esta vez a variável térmica no ambiente.

Carter (2002) desenvolveu um método de avaliação do desempenho desses sistemas a partir de medições empíricas da intensidade do fluxo luminoso, emitido por dutos de luz com características de comprimentos e diâmetros padrões. Estas medidas foram feitas em Liverpool, Inglaterra.

Medido o fluxo luminoso, este deve ser associado a outro método para definir sua distribuição na área do plano de trabalho estudado. Alguns dos métodos propostos são: o cálculo ponto a ponto (baseado na lei do cosseno) o método do lúmen e simulações computacionais.

O método proposto apresenta limitações na sua aplicação, assim como na análise posterior de resultados em configurações de dutos com formatos e materialidade diferentes aos utilizados nos modelos, porém permite a predição de desempenho de um amplo número de configurações de sistemas. Outra limitação, segundo os autores, é a condição de céu no qual esse método foi validado: nesse caso o encoberto, em que a iluminação difusa é predominante.

Jenkins e Munner (2003) propõem um método teórico, validado por meio da comparação, entre os resultados de uma série de medições dos níveis de transmitância do sistema, feitas em diversas localidades da Inglaterra, considerando diversos comprimentos e um mesmo tamanho de raio, e os resultados obtidos no modelo teórico proposto.

Dois são os passos no modelo teórico de estudo: o primeiro tem como finalidade determinar o fluxo luminoso ou quantidade de luz disponibilizada pela área emissora do duto; o segundo, determinar a distribuição das iluminâncias aportadas ao ambiente interior pelo sistema. Nesse modelo de estudo, não são considerados a altura solar, orientação de duto, condições de céu e reflexões dos materiais do ambiente estudado, limitando-se a uma simplificação das variáveis envolvidas. Os resultados obtidos são baseados só nas proporções geométricas do duto e do ambiente. Segundo os autores, isso se justifica, posto que nenhum ambiente de estudo, por mais sofisticado o método utilizado, pode ser modelado com exatidão.

Quanto aos resultados, obtidos no método para avaliação da distribuição das iluminâncias, os autores apontam que a maior correspondência entre valores calculados e os medidos de modo empírico é encontrada sob condições de iluminância externa menores do que 40.000 lx, iluminância típica presente em céus de condição encobertos, que permitem uma distribuição de maior uniformidade.

Esses valores e sua respectiva posição no plano estudado são apresentados num formato gráfico colorido (ver Gráfico 01). Além disso, são inclusas informações do valor médio das iluminâncias calculadas, e valor médio obtido do FLD (Fator de Luz de Dia).



Gráfico 01: Mapeamento dos níveis de Iluminâncias e sua distribuição.

Fonte: Jenkins e Munner (2003).

Jenkins et al. (2004) propõem modelos teóricos para o cálculo do fluxo luminoso e da distribuição das iluminâncias, geradas por sistemas de dutos de luz retos e com curvaturas. Além de considerarem variáveis os níveis de transmitância dos materiais empregados no coletor e no difusor do sistema.

Como exemplo e visualização das variáveis consideradas, a equação proposta para dutos retos é:

$$\Phi = 0.82 E_{\text{ex}} e^{-0.11A} \pi r^2 \quad [\text{Eq. 03}]$$

Esta equação foi validada por meio de medições empíricas, sendo alguns valores considerados no modelo: **95%** de refletâncias do material que compõe o canal (feito de folhas de alumínio polidas), **0,82** o valor da transmitância média resultante entre o coletor e o emissor, E_{ex} corresponde ao valor da iluminância externa ao ambiente, $e^{-0.11A}$ é uma variável relacionada com o fator da reflexão interna do duto e suas possíveis perdas a partir do número de reflexões da luz no decorrer deste, geradas pela proporção geométrica entre o comprimento e o diâmetro do duto, e por ultimo, r corresponde ao raio do duto.

Feito o cálculo do fluxo, é possível estimar a distribuição da luz em qualquer posição ou ponto na área servida embaixo do emissor, por meio da lei geométrica do cosseno do ângulo (ver Figura 23), mediante a equação:

$$E_{in} = 0.494 \Phi (\cos^4 \theta / V^2) \quad [\text{Eq. 04}]$$

A iluminância num ponto do ambiente é calculada por meio dos seguintes fatores: **0.494** é o valor resultante de relações geométricas específicas dos dutos utilizados neste modelo, coletados e calculados mediante medições empíricas anteriores a este estudo; Φ é o fluxo luminoso emitido da fonte ou emissor; θ é o ângulo formado entre a linha vertical ao plano e a linha formada entre o emissor e o ponto de medição, e V a distância vertical desde o emissor ao plano de trabalho. No caso do duto com curvatura, é adicionada a variável do ângulo dos cotovelos inseridos, para o cálculo de fluxo luminoso na equação 02, sendo relevante seu número; desconsiderando a posição daqueles no sistema.

Da mesma forma é adicionada esta variável na equação 03, para o cálculo do nível de iluminância em qualquer ponto do plano estudado.

Mignozzi (*apud* JENKINS e MUNEER, 2004) desenvolve uma série de tabelas com valores de desempenho, permitindo ao projetista definir diversas variáveis na configuração dos dutos de luz como o tamanho do sistema, a forma do coletor e o comprimento do canal. Os valores referentes foram obtidos mediante medições em loco e simulações matemáticas, isolando fatores variáveis — como são a transmitâncias dos materiais que compõem os canais, transmitâncias do coletor e emissor, etc.

Swift et al.(2008) propõe um modelo teórico para o cálculo de transmitância e padrão de distribuição das iluminâncias, para dutos de seção retangular. Os resultados, calculados e medidos empiricamente, apresentam uma boa correspondência, permitindo validar o método proposto.

1.5 Variáveis para o Estudo do Desempenho do Duto de Luz

Na pesquisa desenvolvida por Zhang e Munner (2001) são definidos ao menos dois grupos de fatores que influenciam o desempenho da transmitância do duto de luz, sendo o primeiro fatores ambientais como o tipo de céu, altura solar e refletâncias do ambiente estudado. O segundo, as relações geométricas e características do sistema no ambiente como distancia desde o difusor ao ponto de medição, seção e comprimento do duto, número e ângulos dos cotovelos e tipo de difusor.

1.5.1 Tipo de Céu e Altura Solar

Se o ângulo da altura solar aumenta, conseqüentemente o número de reflexões internas da luz captada diminui, resultando num melhor desempenho da transmitância de luz do duto (ZHANG et al. 2002; LAOUADI, 2005) (Ver Figura 22).

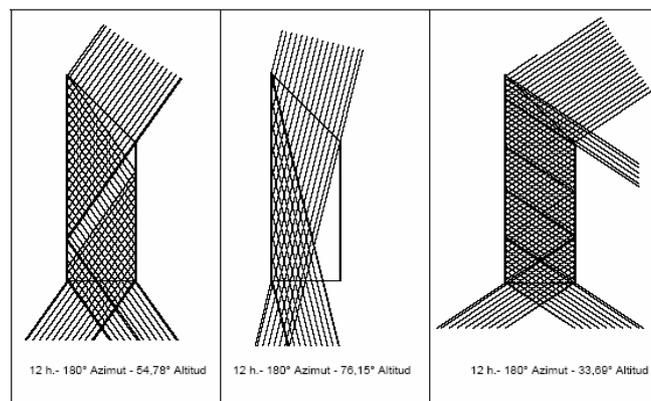


Figura 22: Esquema de corte de duto de luz e suas reflexões internas para diversos ângulos solares.

Fonte: Pattini et al (2003).

Essa tendência aumenta, quando esse é utilizado em lugares com céus de tipo claro, onde a componente de luz solar direta atinge as superfícies que o compõem e interage mediante reflexões predominantemente especulares, aumentando seu desempenho (ver Gráfico 02).

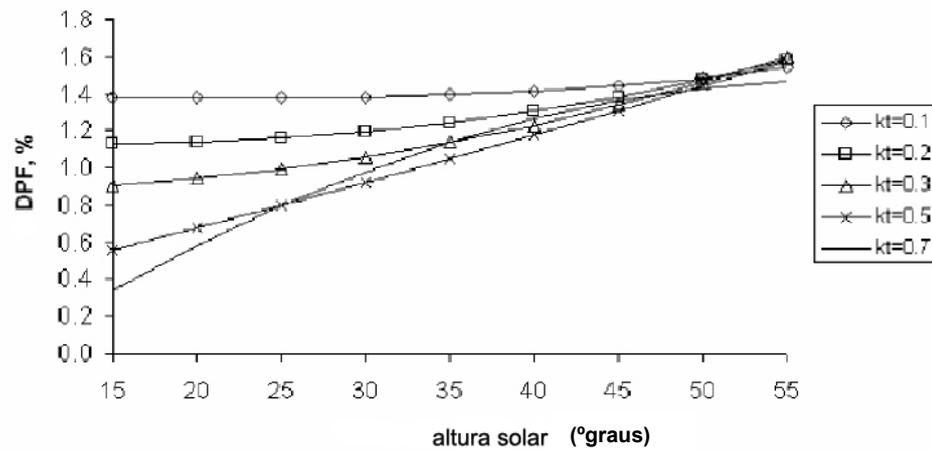


Gráfico 02: Fator de penetração de luz do dia (DPF) para duto de 0,42m diâmetro e 1,2m comprimento em função de altura solar e tipo de céu (kt).

Fonte: Zhang et all (2002).

1.5.2 Refletâncias dos Materiais Internos do Ambiente

Em relação à contribuição das refletâncias dos materiais utilizados no interior do ambiente, existem diferenças que podem ser significativas no momento da avaliação luminosa do sistema. Segundo Zhang et al (2001) atinge-se um valor máximo de até 5% no total das iluminâncias medidas no ambiente. Por outro lado, na pesquisa desenvolvida por Shao et al. (1997) foram observadas relações, entre valores médios de iluminâncias internas versus as iluminâncias externas, de até 15% para a cor branca e 3% para superfícies de cor preto, podendo gerar diferenças importantes no desempenho final do sistema, tornando-se um fator interessante no momento de planejar as características dos cores e materiais que compõem o ambiente (ver Tabela 03).

Tabela 03: Iluminâncias medidas para diversas cores e suas reflexões.

Superfície Interna	Iluminância Externa (lx)	Iluminância Interna (lx)	Interna/Externa Relação
BRANCO Média	12000	1600	13%
	11500	1700	15%
	11500	1600	14%
	11667	1633	14%
PRETO Média	16000	600	4%
	12000	600	5%
	19000	580	3%
	15667	593	4%
CINZA Média	13800	750	5%
	14000	740	5%
	14000	730	5%
	13933	740	5%

Fonte: Shao et al. (1997)

1.5.3 A Distância do Emissor ao Ponto de Medição

O desempenho variará, dependendo da relação entre a distância vertical V , gerada entre o ponto centrado no eixo do emissor do duto e o ponto O , situado no plano de trabalho; a distância direta D , gerada entre o ponto centrado no eixo do emissor do duto ao ponto de medição P , e o ângulo θ , gerado entre estas duas linhas (ver Figura 23).

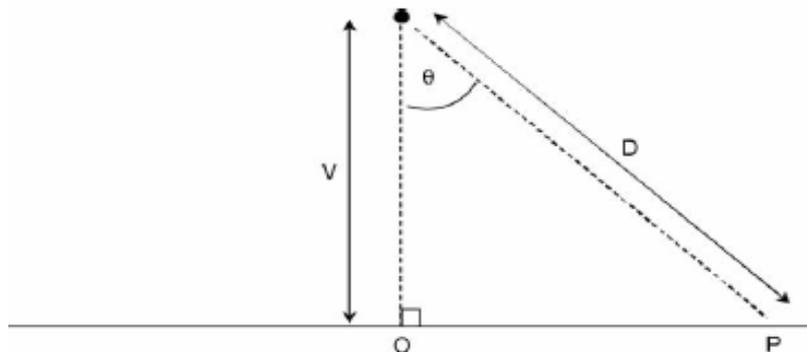


Figura 23: Esquema de fonte pontual de luz e relação geométrica para a iluminação no plano de trabalho.

Fonte: Jenkins et all (2004).

Do total de fluxo luminoso emitido pelo duto só uma parte deste atingirá o ponto **P**, localizado no plano de trabalho, a partir da relação geométrica de cosseno do ângulo gerado (ver Figura 23 e Tabela 04).

Tabela 04: Iluminâncias para diversas distâncias (d) entre a projeção do ponto central do emissor no plano de trabalho e um ponto do ambiente analisado. Kew, Inglaterra, 01/07, 10h.

Comprimento	Tipo de céu	Iluminâncias internas alcançadas numa distância horizontal d^* para dutos de luz de diâmetro ϕ , lux.											
		$\phi = 210\text{mm}$			$\phi = 330\text{mm}$			$\phi = 420\text{mm}$			$\phi = 530\text{mm}$		
		$d = 0\text{m}$	$d = 1\text{m}$	$d = 2\text{m}$	$d = 0\text{m}$	$d = 1\text{m}$	$d = 2\text{m}$	$d = 0\text{m}$	$d = 1\text{m}$	$d = 2\text{m}$	$d = 0\text{m}$	$d = 1\text{m}$	$d = 2\text{m}$
600 mm	Claro	140	100	50	425	295	140	740	515	245	1250	870	415
	Parc. Encoberto	80	60	30	245	170	85	430	300	145	725	505	240
	Encoberto	45	30	15	125	90	45	220	155	75	370	260	125
1200 mm	Claro	80	55	30	295	205	100	555	385	185	995	695	330
	Parc. Encoberto	45	35	15	170	120	60	320	225	110	575	400	190
	Encoberto	25	20	10	90	60	30	165	115	55	295	205	100
1800 mm	Claro	45	30	15	205	140	70	415	290	140	790	550	265
	Parc. Encoberto	25	20	10	120	85	40	240	170	80	460	320	155
	Encoberto	15	10	5	60	45	20	125	85	40	235	165	80
2400 mm	Claro	25	20	10	140	100	50	310	220	105	630	440	210
	Parc. Encoberto	15	10	5	80	60	30	180	125	60	365	255	120
	Encoberto	10	5	5	45	30	15	95	65	30	185	130	65
3000 mm	Claro	15	10	5	100	70	35	235	165	80	500	350	165
	Parc. Encoberto	10	5	5	60	40	20	135	95	45	290	205	100
	Encoberto	5	5	5	30	20	10	70	50	25	150	105	50
3600 mm	Claro	10	5	5	70	50	25	175	125	60	400	280	135
	Parc. Encoberto	5	5	5	40	30	15	100	70	35	230	160	80
	Encoberto	5	5	5	20	15	10	55	40	20	120	85	40

Tipo de céu	Iluminância global horizontal	Índice de clareza do céu, k_c
Claro	88 klux	0.7
Parc. Encoberto	50 klux	0.4
Encoberto	25 klux	0.2

d^* = A distancia entre a projeção do centro do emissor no plano de trabalho ate o ponto de avaliação.

Fonte: Zhang et all. (2002).

1.5.4 Diâmetro e Comprimento do Duto

Para qualquer ângulo de altura solar e tipo de céu, o diâmetro do duto afetará seus níveis de transmitância, já que esse se encontra relacionado diretamente com a área de captação da luz natural. Por outro lado, a proporção geométrica entre o diâmetro e o comprimento do duto e sua relação com ângulos da altura solar afetará o desempenho luminoso do sistema (ver Gráfico 03).

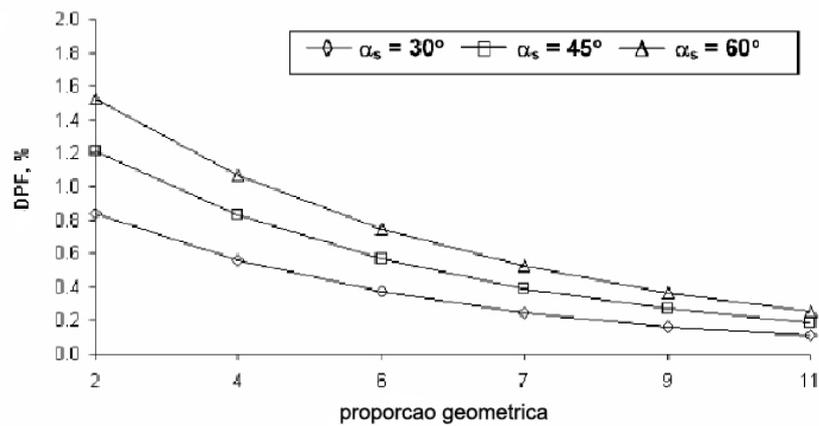


Gráfico 03: Efeito da proporção geométrica entre o comprimento e o diâmetro do duto para fator de penetração de luz do dia (DPF) para duto sem cotovelo de 0.42m diâmetro e 1.2m comprimento.

Fonte: Zhang et all (2002).

1.5.5 O Efeito da Utilização de Cotovelos³

O cotovelo é uma peça de conexão entre dois canos posicionados em diferentes ângulos. A utilização destes elementos gera um fator de perda nas iluminâncias finais emitidas, isto é produto dos ângulos gerados e o aumento das reflexões do fluxo luminoso no decorrer ao interior do duto (ver Gráfico 04).

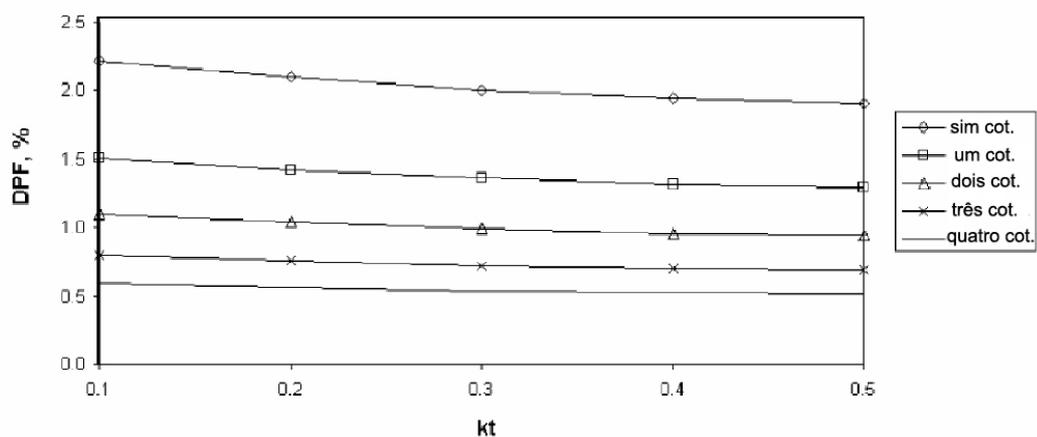


Gráfico 04: Comparação para fator de penetração de luz de dia entre duto sem cotovelo, e com a utilização de um, dois, três e quatro cotovelos em diversos tipos de céus (kt).

Fonte: Zhang et all (2002).

1.5.6 O Efeito do Tipo de Emissor

Na pesquisa desenvolvida por Zhang e Munner (2001), foram usados modelos de emissor para dutos de luz do tipo reto e domo, sendo realizadas medições empíricas e teóricas de iluminâncias internas no ambiente estudado, tendo como resultado diferenças entre eles de até 2,9 vezes, para o desempenho na transmitância do sistema em relação às iluminâncias externas (ver Gráfico 05).

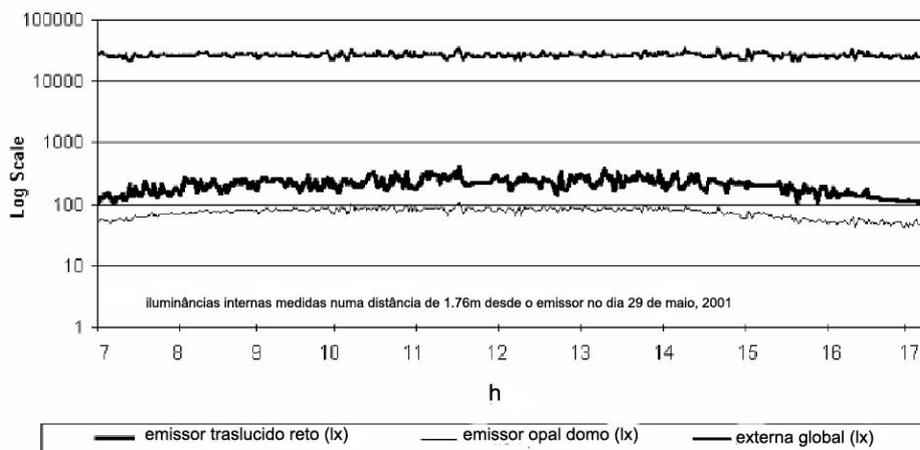


Gráfico 05: Comparação entre as iluminâncias externas e internas medidas, para dois tipos de emissores.

Fonte: Zhang et all (2001).

O tipo de material utilizado no emissor determina resultados diversos na transmitância e distribuição da luz no ambiente. Segundo Laouadi (2005) um material translúcido gera um bom desempenho na difusão da luz no ambiente, porém uma diminuição na transmitância do sistema. Por outra parte, um material transparente permite uma eficiente transmitância da luz, porém precisa usualmente de lentes para melhorar sua distribuição.

Além dos fatores nomeados anteriormente, existem outros relevantes que são necessários levar em consideração no momento de planejar o sistema do canal de luz. Os aspectos qualitativos e subjetivos do ambiente visual, relacionados com a preferência dos usuários, são fatores que ainda precisam ser pesquisados de modo mais profuso; para poder ser inseridos de modo sistematizado na avaliação do desempenho global desses sistemas.

1.6 Desempenho Térmico do Duto de Luz

Segundo Pereira (1995) estima-se que a quantidade de luz contida em 1m² de luz do sol poderia garantir, caso fosse uniformemente distribuída, em torno de 500 lx de iluminação sobre uma área de 200m². Isso evidencia o potencial de conteúdo energético (luz e calor) da radiação solar, que geralmente não é considerada durante o processo de concepção do projeto de iluminação num ambiente, em função de garantir o controle sobre os possíveis efeitos adversos que a radiação direta solar pode gerar como ofuscamento, deterioração de materiais e desconforto térmico. Nesse sentido, a principal vantagem da utilização do duto de luz, é empregar o potencial da radiação solar e proporcionar luz em quantidade adequada, com uma mínima carga térmica, que obrigue a utilização de sistemas de aquecimento ou refrigeração, segundo seja a necessidade gerada.

Segundo Shao et al (1997) os ganhos térmicos gerados pela radiação do sol, numa área iluminada por um sistema de duto de luz, serão menores que os obtidos por outro tipo de iluminação zenital, ou mesmo por uma janela, posto que evita a entrada direta da radiação solar no ambiente, aspecto relevante para o projeto de ambientes termicamente confortáveis, principalmente em climas quentes.

Nesse mesmo sentido, para esse tipo de clima, a ventilação natural pode ser parte das estratégias bioclimáticas adotadas para o desenho de construções, apresentando-se o duto de luz como um potencial mecanismo de iluminação e ventilação passiva.

Oliveira et al (2001) constatou, mediante simulação computacional, que um sistema formado por dois dutos concêntricos que geram um canal pelo qual se movimentaria o ar, (movimentação possível entre ambientes com diferença de temperatura e por conseguinte de pressão entre o ar interior e o ar exterior); mostra resultados positivamente significativos no relativo à renovação do ar e, conseqüentemente, remoção de temperatura do ambiente estudado (ver Figura 24).

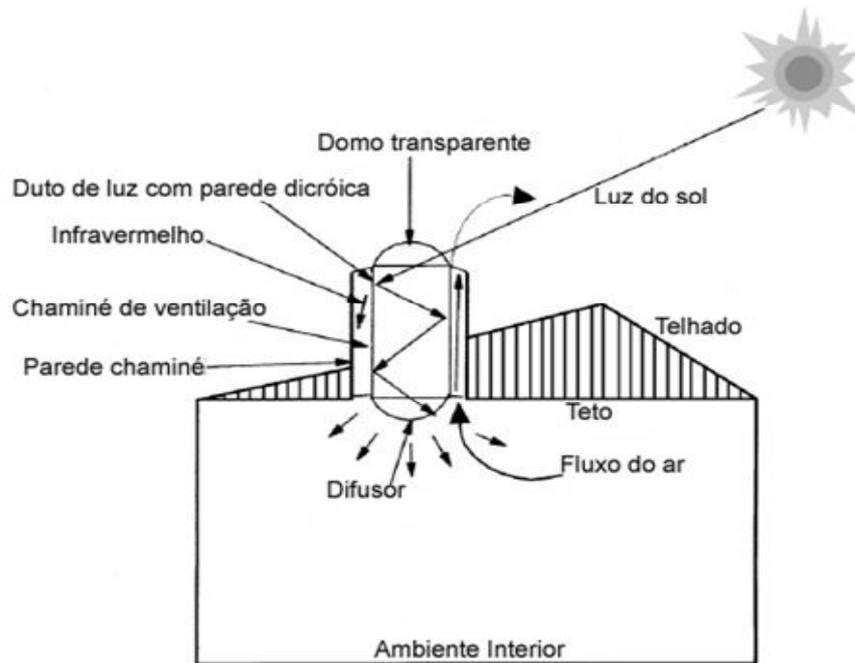


Figura 24: Esquema duto de luz integrado com mecanismos de ventilação.

Fonte: Elmualim A. et al (1999).

Carter (2002) aponta que os valores dos resultados da resistência térmica do duto de luz podem ser similares aos obtidos a partir do uso de sistemas de vidro duplo em aberturas zenitais.

1.7 Desempenho Luminoso do Duto de Luz

Quantificações de desempenho luminoso do duto de luz são obtidos em diversas pesquisas, mediante medições empíricas ou teóricas. Esses valores são específicos para diversas configurações de dutos e ambientes padrões, inseridos em determinados tipos de climas, localizações geográficas e um tempo determinado.

Valores em tamanho e refletâncias, adotados nessas medições e avaliações, são os encontrados em dutos típicos utilizados em ambientes residenciais disponíveis no mercado, com valores para diâmetros dos dutos entre 0,2 m até 0,55 m e comprimentos entre 0,6 m e 1 m, além de refletâncias dos materiais que compõem o canal de até 99% (PARONCINI et al., 2007; LAOUADI, 2005).

Padrões de desempenho do duto de luz são definidos mediante medição e cálculo de desempenho, obtidos mediante comparação entre as iluminâncias medidas no exterior e no interior do ambiente. Esses valores podem ser calculados como gerais médios, ou para um ponto específico do ambiente estudado.

As porcentagens típicas medidas variam entre 0,3% e 1%. Estes não podem ser considerados valores que possam ser adotados de modo universal, mas se podem tornar dados de referência, no momento de planejar ou considerar a utilização desses sistemas como fontes de iluminação para locais inseridos em latitudes e características climáticas similares (PARONCINI et al., 2007).

Segundo Baker e Steemers (2002), em medições feitas na Inglaterra, uma superfície coletora de 1m^2 produz até 300 lx de iluminância, sobre uma área de 65m^2 , imediatamente abaixo da saída do sistema, demonstrando uma eficiência de 20 %, na relação entre valores medidos das iluminâncias internas e externas ao recinto, para o tamanho do sistema e condições específicas do ambiente.

Resultados mais modestos são apresentados por Shao et al. (1997) — para medições feitas também na Inglaterra ao meio-dia, no mês de novembro, num modelo de 70 cm x 70 cm x 50 cm, com superfícies brancas altamente refletivas e utilizando um duto de luz de 330 mm de diâmetro e 1,2 m de comprimento, mostram diferenças importantes nos valores de desempenho, considerando iluminâncias médias externas de 11.500 lx, para céu encoberto, e 30.000 lx, para céu claro. Jenkins e Munner (2005) estabelecem o valor padrão de iluminâncias para céus encobertos como ≤ 40.000 lx

Os valores obtidos por Shao et al. (1997), da relação média entre as iluminâncias externas e internas, são de 14% (1610 lx) para céu do tipo encoberto e 7% (2100 lx) para céu do tipo claro.

Segundo Shao et al (1997), estas diferenças seriam consequência duma maior captação das iluminâncias distribuídas de modo homogêneo na abóbada celeste no período do inverno. No caso de céu claro, os ângulos da trajetória solar e a incidência na área de captação do duto, da radiação direta, são menores na mesma época do ano; diminuindo seu desempenho.

O ganho de 1610 lx sob condições de céu encoberto, num modelo de área 16 vezes maior que do ambiente estudado, poderia gerar uma iluminância média de 100 lx Este valor poderia corresponder a uma economia de até 30% da utilização de energia elétrica, segundo as necessidades específicas do ambiente e a tarefa a desenvolver (350-500 lx).

Segundo Jenkins e Munner (2003), o aumento dos níveis de iluminação natural pode gerar uma diminuição da utilização de luz artificial, por meio de uma escala adequada de intensidades nas luminárias, que complementem a luz natural ou a diminuição de sua utilização no transcurso do dia.

1.7.1 Distribuição das Iluminâncias

Segundo Swift e Smith (1995), a diferença na escolha das características dos materiais que compõem o canal e o emissor (claro ou difuso) pode ter como resultado diferenças no espectro de luz entregue ao ambiente e o desempenho segundo o tipo de céu no qual esse seja implementado.

Para dutos com emissores transparentes, utilizados sob condições de céus claros ou parcialmente encoberto, podem-se gerar grandes variações na distribuição da luz no ambiente, pela incidência nele, da radiação solar direta que é coletada e conduzida pelo canal de modo aleatório. Essa situação pode-se encontrar com maior frequência em dutos, onde a proporção entre o comprimento e área de captação é menor, apresentando uma visão direta de uma porção de céu, em que pode-se encontrar posicionado o sol, gerando áreas fortemente iluminadas no plano estudado, com possíveis conseqüências no conforto do usuário (KOCIFAJ, 2009).

Para céus encobertos, o tipo de radiação solar captada é difusa, sendo esta conduzida com um padrão de distribuição relativamente uniforme.

Numa simplificação gráfica do fenômeno, a Figura 25 mostra os possíveis padrões de distribuição. Na Figura 25-a, mostra-se que a radiação direta gera no ponto **a** o máximo nível de iluminância, porém nos pontos **b** e **c**, esses níveis podem ser bem menores. Na Figura 25-b, em condições de céu encoberto o tipo de radiação solar é do tipo difusa, gerando uma distribuição relativamente isotrópica das iluminâncias.

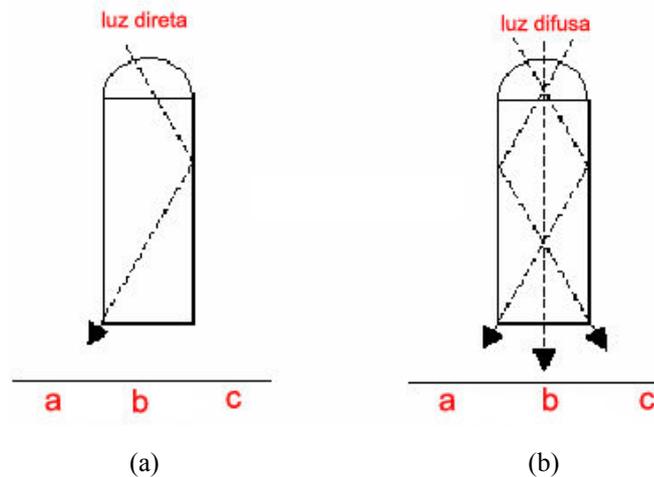


Figura 25: Esquemas de distribuição das iluminâncias segundo o tipo de luz natural: luz direta (a); luz difusa (b).
 Fonte: Jenkins e Munner (2003).

1.8 Ferramentas para Avaliação da Luz Natural

Diversas ferramentas são utilizadas para a avaliação da disponibilidade e comportamento da iluminação natural no ambiente construído, sendo essas escolhidas segundo a complexidade do modelo, precisão dos resultados requeridos, os recursos econômicos e o tempo disponível para esse processo.

Segundo Bakers e Steemers (2002) os objetivos principais dessas ferramentas podem ser classificados nos seguintes pontos principais:

- Predizer os níveis de iluminação natural do tipo difusa num ambiente.
- Analisar o acesso de iluminação solar num ambiente inserido num entorno.
- Calcular o ofuscamento gerado por fontes de luz natural
- Predizer o desempenho de dispositivos de sombreamento.
- Predizer o desempenho de novos sistemas de iluminação natural e o controle de insolação dos espaços.
- Predizer a economia de energia gerada pelo uso de iluminação natural.
- Analisar a eficiência dos sistemas de iluminação e controle de luz natural.

- Visualizar o desempenho das propostas de projeto, geradas para a utilização de luz natural nos ambientes.

Essas ferramentas podem aportar informação das características quantitativa ou qualitativa da iluminação natural no ambiente estudado, em diversos estágios do projeto; permitindo determinar estratégias para o melhoramento das características luminosas num recinto pré- existente ou o planejamento e a eficiência dessas no momento da concepção do projeto.

Para esse propósito, é crucial uma boa definição das variáveis que determinaram e afetaram o comportamento da luz no ambiente estudado, principalmente no relativo à trajetória e qualidade desta. Algumas das variáveis envolvidas são: as proporções e características geométricas do modelo; materiais empregados nas superfícies que compõem o ambiente e as condições do entorno, onde aquele será avaliado, como o tipo de céu e volumetria do entorno.

Para viabilizar a utilização dessas ferramentas, é necessário fazer uma redução e simplificação das variáveis antes mencionadas e uma idealização das características do comportamento da luz nos ambientes. Algumas simplificações e idealizações são baseadas numa adoção de valores estatísticos médios, que não logram representar a complexidade da variabilidade permanente da luz natural no ambiente. Nesse sentido, o bom critério na adoção de estratégias de projeto para a utilização desse recurso e a experiência do projetista/arquiteto, será determinante para uma boa utilização da informação e dos resultados obtidos por meio dessas ferramentas.

São definidos ao menos três grupos de ferramentas para avaliação fotométrica; estas são: a utilização de modelos físicos em escala, as ferramentas simplificadas e modelação e simulação computacional do ambiente.

1.8.1 Modelos em Escala Reduzida

Os modelos físicos em escala são ferramentas largamente utilizadas por projetistas/arquitetos, e permitem realizar trocas em seus componentes com relativa facilidade, porém a utilização de modelagem computacional permite uma maior rapidez e geração de modelos para estudo e análise. (PHILLIPS, 2004)

Os modelos físicos podem ser avaliados sob condições de céu natural ou mais comumente sob condições de céu artificial, por razões de padronização e controle dos aspectos da variabilidade do comportamento e intensidade da luz solar (BAKERS E STEEMERS, 2002). Nesse sentido, precisa-se de uma leitura do modelo em condições ambientais, naturais ou artificiais, o mais parecido possível, para o qual está sendo desenvolvido o projeto (LAM, 1986).

Nos céus do tipo artificial devem-se considerar possíveis limitações técnicas para uma boa representação das condições de luz solar, presentes no ambiente natural. Por outra parte, o céu artificial diminui a riqueza e a variabilidade deste.

A adequada representação no modelo, das características dos materiais, como cores e níveis de reflexão além das proporções de tamanho entre seus componentes, permite uma maior aproximação aos valores de iluminação natural existente no ambiente representado. Os tipos de detalhamento na modelagem corresponderam à precisão do estudo.

Hopkinsons et al. (1975) menciona que “um modelo reduzido, completamente detalhado, do interior de um edifício, tem uma real semelhança fotométrica com o ambiente e permite fazer um estudo rigoroso dos aspectos fotométricos da iluminação”. Além disso, a natureza de onda curta e a velocidade da luz visível, permitem a observação da distribuição da luz no modelo que não precisa de um fator de correção nos resultados obtidos e observados. (LAM, 1986; MOORE, 1985).

1.8.2 Ferramentas Simplificadas

As ferramentas simplificadas são todas aquelas que não precisam da utilização do computador para ser utilizadas no estudo da luz natural num ambiente. Estas estão baseadas em métodos de cálculo numérico, uso de tabelas, e outras em métodos gráficos (BAKERS E STEEMERS, 2002; OLIGAY, 1957).

Cabús (1987) menciona que são ferramentas adequadas para o cálculo da componente direta de radiação solar, porém apresentam alguma dificuldade quanto à avaliação da sua componente indireta. Por outro lado, normalmente são obtidos resultados aproximados, que para estudos que precisam de uma maior precisão, essas ferramentas podem incorrer em um erro significativo.

Numa etapa primária de desenvolvimento do projeto, a utilização dessas ferramentas pode ser adequada, porque são de fácil uso para o projetista e proporcionam informação que revela o efeito relativo de diversos parâmetros do ambiente. O que pode ajudar no processo de desenho da envolvente e na escolha do sistema e da dimensão de aberturas para uma melhor utilização da luz natural (TREGENZA e LOE, 1998; MOORE, 1985).

1.8.3 Ferramentas Computacionais

Os códigos computacionais são ferramentas de avaliação baseada no processo de modelagem abstrata do ambiente real. Utiliza equações matemáticas para simular o comportamento físico da luz no ambiente, além de um banco de dados com diversas informações auxiliares como dados climáticos, para uma melhor caracterização do ambiente estudado (CABÚS, 1987).

Segundo Bakers e Steemers (2002) a complexidade do comportamento da luz natural existente nos ambientes e a precisão nos cálculos requeridos evidenciam que é lógica e conveniente a utilização das ferramentas computacionais como meio de estudo e análise.

Porém, Tregenza e Loe (1998) mencionam que a inerente exatidão desses métodos não é de tudo clara, posto que isto dependerá do grau de rigorosidade, ao serem introduzidas as variáveis no programa computacional.

Algumas dessas ferramentas permitem uma rápida modificação das variáveis do modelo, e gerar em um menor tempo um número maior de resultados. Alguns dos produtos gerados são mapas gráficos com informação de resultados da distribuição e níveis de iluminâncias disponíveis no ambiente estudado, além de visualizações gráficas tridimensionais, que podem ser utilizadas como instrumentos de avaliação das possibilidades das características qualitativas da luz no espaço, segundo, por exemplo, os elementos e tipos de superfícies utilizados e orientação do modelo ou o tipo de céu.

Os programas existentes no mercado como LESO DIAL, PASSPORT LIGHT, SUPERLIGHT, ADELIN, RADIANCE e GENELX permitem a avaliação das condições de iluminação em modelos, sob condições de céu claro ou encoberto (BAKERS E STEEMERS, 2002).

Pesquisadores têm desenvolvido softwares que permitem a simulação de modelos sob condições de céu variáveis, permitindo integrar maior complexidade na simulação e a análise da incidência da luz natural em ambientes inseridos em climas com esse tipo de céu (CABÚS, 2005).

2. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os processos metodológicos e os critérios adotados para a elaboração desta pesquisa.

A metodologia utilizada tem como objetivo realizar uma análise comparativa do desempenho luminoso de duto de luz, simulado num ambiente padrão de habitação popular, para três latitudes diferentes, através dos resultados obtidos no processo de simulação computacional proposto.

Na primeira parte desta seção, são apresentadas as fontes de informação utilizadas na caracterização do ambiente, sendo definida a sala padrão, além das características particulares dos dutos e as variáveis de entorno adotadas para o estudo.

Em seguida é descrito o programa utilizado para a etapa de simulações computacionais, sendo finalmente definidos os parâmetros adotados para esse processo para assim avaliar os níveis de iluminâncias obtidos.

2.1 Levantamento de Dados dos Ambientes Padrões

Foram utilizadas duas referências bibliográficas para determinar o modelo padrão de habitação popular com a finalidade de simular o potencial do duto de luz como fonte luminosa para essa tipologia de ambientes.

2.1.1 Ambientes Padrões em habitações populares - Maceió, Brasil

Entre os anos de 1999 e 2001, foi empreendida pelo Grupo de Estudos de Problemas Urbanos (GEPUR), na UFAL (Universidade Federal de Alagoas), uma pesquisa de iniciação científica intitulada “Habitação popular em Maceió”. Nela foram desenvolvidos um

aprofundamento⁴ e um estudo da favela Loteamento Novo Horizonte⁵ a fim de “identificar e compreender o espaço urbano produzido pela população de baixa renda, bem como as tipologias arquitetônicas decorrentes desse tipo de implantação” (CORDEIRO E SZUCS, 2003).

Um dos passos metodológicos utilizados na pesquisa foi o desenvolvimento de um levantamento fotográfico e planimétrico (ver Anexo C) das construções existentes numa zona relevante da favela utilizada no estudo.

2.1.2 Ambientes padrões em habitações populares – Chile

No ano de 1994, a DITEC, Direção Técnica do Ministério de Habitação e Urbanismo do Chile, realizou um levantamento fotográfico e planimétrico (ver Anexo C) com a finalidade de obter informação sobre as modificações realizadas pelos moradores nas soluções habitacionais entregues pelo governo ao longo do país.

2.2 Caracterização dos Ambientes

Para atingir o objetivo desta pesquisa - a avaliação do desempenho luminoso de dutos de luz, utilizados num ambiente padrão de habitação popular em três latitudes -, é definida uma única sala padrão de dimensões e índices de reflexão constantes para todas as simulações. Na definição da configuração dos dutos, foram utilizados dois critérios: o emprego de dimensões de diâmetro e comprimento padrões, que permitem sua utilização em

⁴ Este aprofundamento é apresentado através de dois trabalhos. Quanto ao primeiro, “A qualidade funcional da habitação popular na favela ‘Loteamento’ Novo Horizonte”, trata-se de um trabalho final de graduação desenvolvido por Adriane Sales Cordeiro, Mestre pela UFSC, arquiteta e urbanista pela UFAL. Já o segundo, “Avaliação funcional de habitações auto-construídas – Um estudo de caso em Maceió – Al”, tem a mesma autoria e colaboração de Caroline Szücs, arquiteta e urbanista, Doutora pela Université de Metz e Ecole d’Architecture de Nancy, França.

ambientes residenciais e, além disso, garantir a proteção da incidência de radiação solar direta no interior do ambiente da totalidade dos modelos analisados, através da configuração particular do duto, para as três latitudes estudadas (ponto 2.2.3).

2.2.1 Dimensões

2.2.1.1 Sala

Algumas das condicionantes para o dimensionamento de ambientes de residências populares que podem ser observadas nos casos de estudos referidos são a escassa disponibilidade de área por lotes e de recursos econômicos para construção além da possibilidade de instalação de mobiliário padrão no interior destes.

Numa leitura simplificada, no levantamento desenvolvido em Maceió, Brasil, pode ser observado que a frente típica das habitações populares tem uma dimensão aproximada de 5,00m, sendo o comprimento da habitação dividido em duas áreas de aproximadamente 2,50 m cada uma. Na primeira área são desenvolvidas as atividades sociais: sala de jantar, sala de estar, cozinha, e na segunda são colocados os quartos e o banheiro (ver Figura 26).

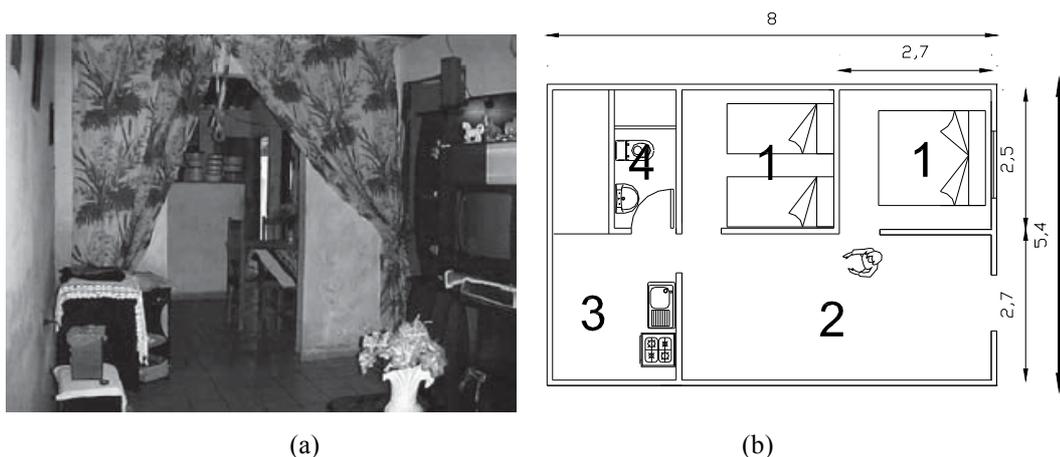


Figura 26: Interior habitação popular Maceió-Brasil (a) Planta padrão: 1. quarto 2. sala jantar, 3. cozinha, 4. banheiro (b)

Fontes: Cordeiro e Szűcs (2003) (a), arquivo pessoal do autor (b).

⁵ A definição da favela “Loteamento” Novo Horizonte como campo de estudo foi norteada por uma série de critérios estabelecidos pelo grupo de pesquisa, dentro dos quais se encontra que se trata de uma área consolidada no tecido urbano, com no mínimo dez anos de ocupação.

No caso do Chile, levou-se em consideração o tamanho padrão do terreno, 7,00 m x 14,00 m, observando-se que os espaços construídos pelos moradores têm como dimensão padrão aproximadamente 2,50 m na largura e na frente (ver Figura 27).

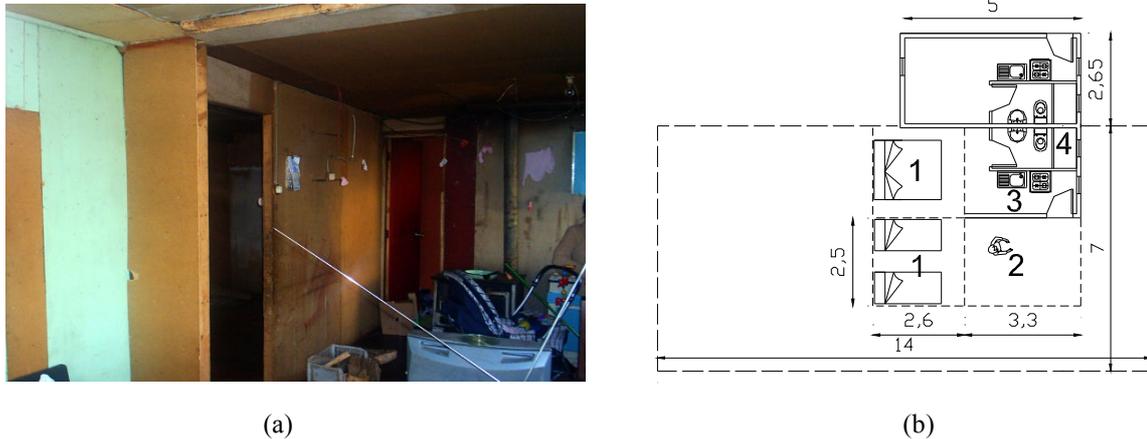


Figura 27: Imagem interior habitação popular Osorno- Chile (a) Planta padrão: 1. quarto, 2.sala jantar, 3. cozinha, 4. banheiro (b)

Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Por não existir informação nos levantamentos das dimensões dos pés-direitos das edificações tomadas como referência para esta pesquisa, estas são definidas pelos códigos de Edificação da cidade de Maceió-AL, Lei nº 5354/2004 (MACEIÓ, 2004), e pela Ordenança Geral de Urbanismo e Construção do Chile, ano 2007, Título 4, Cap. 1, artigo 4.1.1. No caso de Maceió, 2,5 m é a altura mínima estabelecida para ambientes residenciais. No caso do Chile, esta medida é definida como 2,4 m.

Com o propósito de simplificar a análise e homologar os modelos para o estudo comparativo do desempenho luminoso do duto, a sala padrão é definida com um cubo, medindo 2,5 m de cada lado (ver Figura 28).

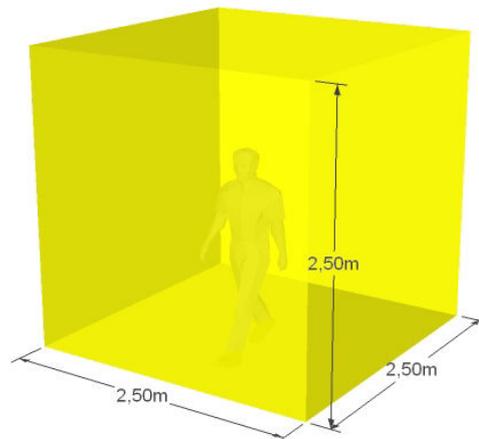


Figura 28: Visualização da sala padrão.

2.2.1.2 Dutos

O diâmetro do duto é definido com uma dimensão de 0,25 m para todos os modelos, uma das medidas padrões empregadas amplamente por pesquisadores, além de ser um diâmetro recomendado por algumas empresas⁶ que os comercializam para serem utilizados em ambientes residenciais. Por sua vez, e atendendo a necessidade de proteger o interior do ambiente da radiação solar direta, é definido, segundo metodologia proposta no item 3.2.3, 1,00 m como comprimento do canal para todos os ambientes.

2.2.2 Refletâncias e Transmitância Adotadas no Modelo de Simulação

2.2.2.1 Entorno

É adotado para todas as simulações um único valor de 0,2 para refletância média, típica para entorno do tipo urbano e regiões ensolaradas (MASCARO, 1983; TREGENZA e LOE, 1998; BAKER, STEEMERS, 2002).

⁶ www.solarbright.com, <http://www.sunscope.com>

2.2.2.2 Sala

Com o fim de facilitar a análise são empregados, para todas as simulações, materiais existentes no mercado e de baixo custo (ver Tabela 05).

Tabela 05: Refletâncias dos materiais empregados no modelo.

Superfícies	Materiais	Refletâncias Difusas
Piso	Cimento.	0,45
Teto	Pintura branca sobre superfície gesso.	0,80
Paredes	Pintura branca opaca sobre tijolo.	0,70

Fonte : Baker e Steemers (2002).

2.2.2.3 Duto

Os materiais utilizados na modelação do canal do duto e suas respectivas refletâncias especulares são definidos com a finalidade de fazer uma análise da influência desta variável nos resultados finais do desempenho luminoso do sistema (ver Tabela 06).

Tabela 06: Refletâncias dos materiais empregados no duto.

Material	Nomenclatura	Refletância Especular
Alumínio comum polido	R1	0,70
Lâmina aluminizada	R2	0,94

Fonte : Baker e Steemers (2002).

Os planos utilizados para o coletor e emissor são modelados como vidro simples transparente de 6 mm (ver Gráfico 06) (ver Tabela 07).

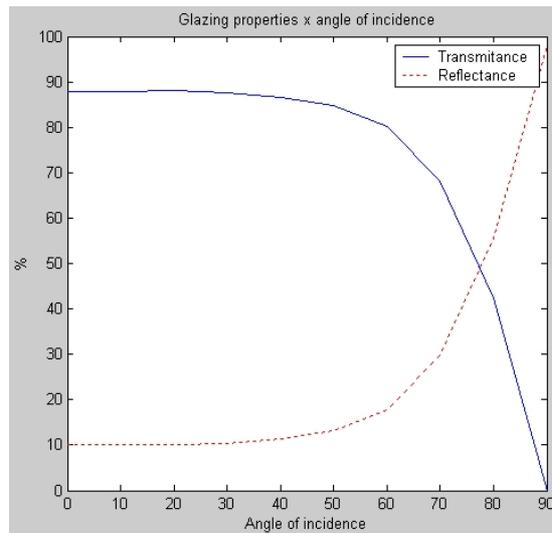


Gráfico 06: Características do vidro utilizado nas simulações.

Fonte: Cabús (2006).

Tabela 07: Transmitância do material empregado no coletor e emissor.

Material	Transmitância Regular
Vidro simples transparente 6 mm.	0,88

Fonte : Baker e Steemers (2002).

2.2.3 Configuração dos Dutos

Uma vez definido o diâmetro padrão do sistema, é desenvolvido um estudo das cartas solares para a definição de seu comprimento. Esse processo foi realizado para as três latitudes utilizadas nesta pesquisa: latitude 0° (Equador), latitude -23°26' (Trópico de Capricórnio), latitude -45°, localização geográfica até onde podem ser encontrados assentamentos urbanos no hemisfério Sul.

Para uma simplificação da análise, é adotado por meio do estudo dos arranjos planimétricos o mesmo comprimento para todos os dutos, porém com distinta inclinação; isso com a finalidade de evitar a incidência de radiação solar direta no interior do ambiente, controlando assim o possível efeito de desconforto térmico e visual nos usuários.

O ângulo de inclinação do canal é definido pelas trajetórias solares nas três latitudes, como é mostrado a seguir.

2.2.3.1 Latitude 0° (Equador)

Para a latitude 0°, é definida a seguinte carta solar:

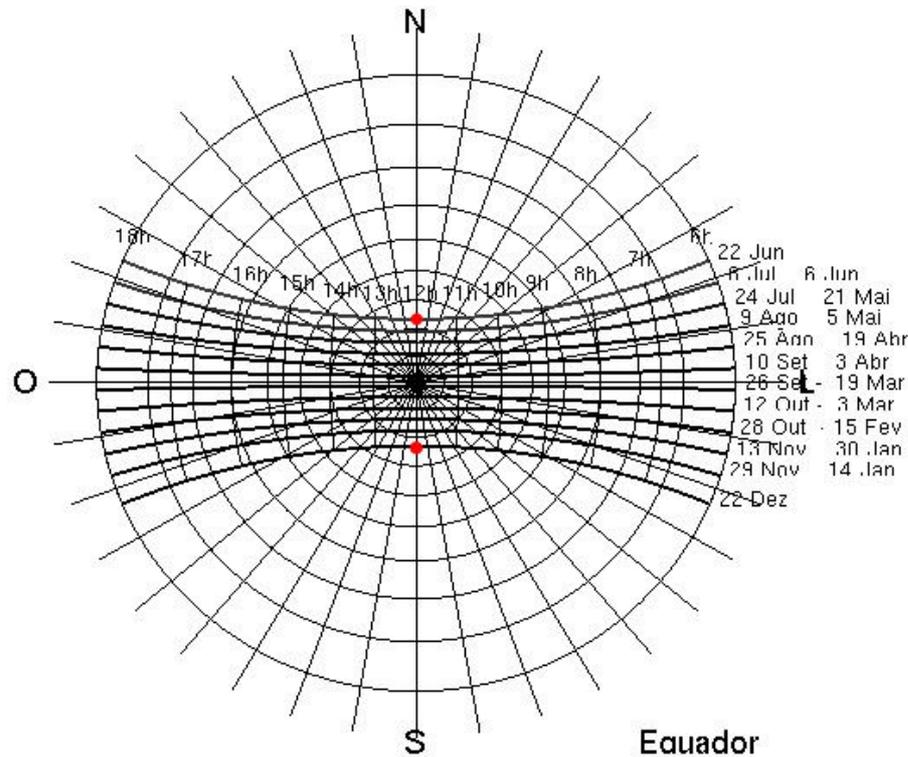


Figura 29: Carta solar latitude 0°, Equador.

Como pode ser observado na Figura 29, nessa latitude são observadas trajetórias solares simétricas nos dois hemisférios, sendo 67° a altura solar mínima ao meio-dia, nos meses de junho e dezembro, na direção Norte e Sul respectivamente.

Assim é possível definir, através do arranjo planimétrico (ver Figura 30), a inclinação do eixo do duto num ângulo de 39°, orientado ao Sul (ou Norte, segundo o hemisfério), garantindo a proteção da incidência de radiação solar direta no interior do ambiente para todos os dias e horários simulados.

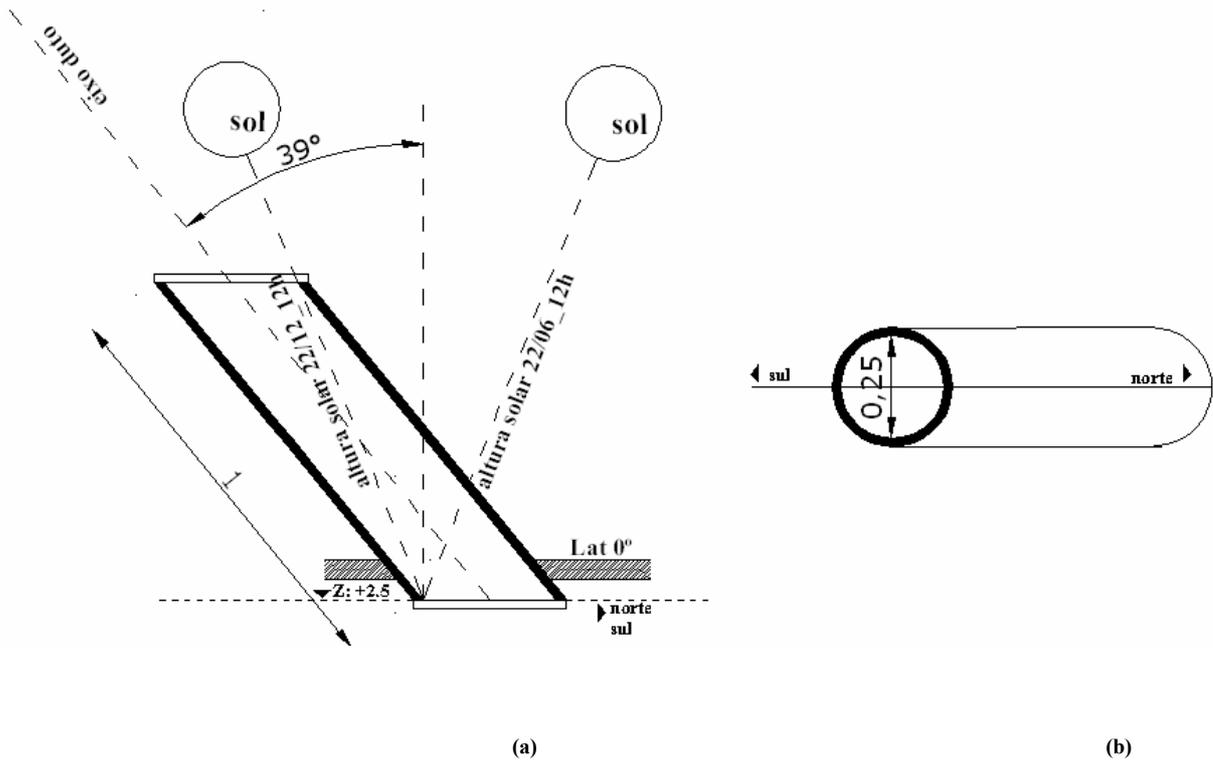


Figura 30: Corte (a) e planta esquemática (b) do duto latitude 0°.

2.2.3.2 Latitude 23°26' (Trópico de Capricórnio)

Para a latitude 23° 26', é definida a seguinte carta solar:

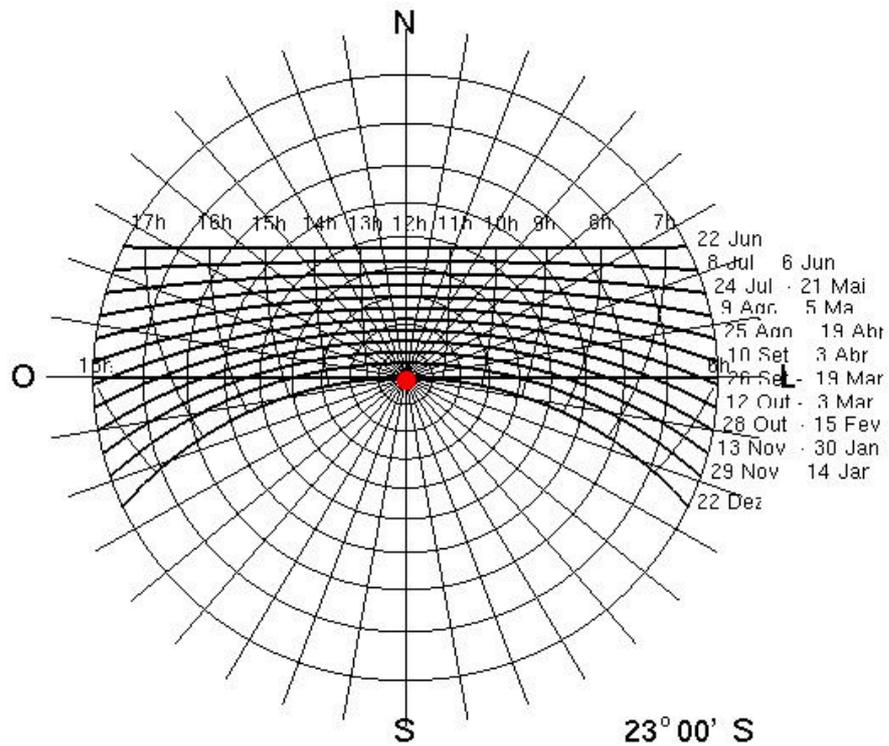


Figura 31: Carta solar latitude 23° 26' Sul, Trópico Capricórnio.

Como pode ser observada na Figura 31, a trajetória solar apresenta ângulos de inclinação de até 90° ao meio-dia, dificultando a proteção do ambiente. Para isso é proposta como estratégia, segundo o estudo do arranjo planimétrico, a inclinação do eixo do duto em 15° na direção Sul (ou Norte, segundo o hemisfério), gerando assim com o menor ângulo de inclinação requerido a proteção do ambiente em todos os dias e horários do ano.

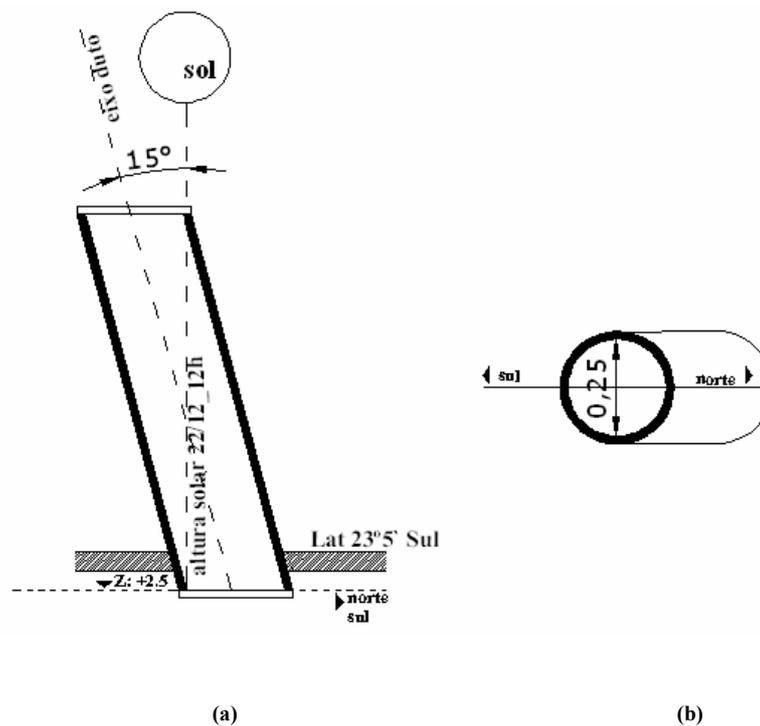


Figura 32: Corte duto padrão (a) planta esquemática do duto latitude $23^\circ. 5$ (b).

2.2.3.3 Latitude 45°

Na latitude 45° Sul, é definida a seguinte carta solar:

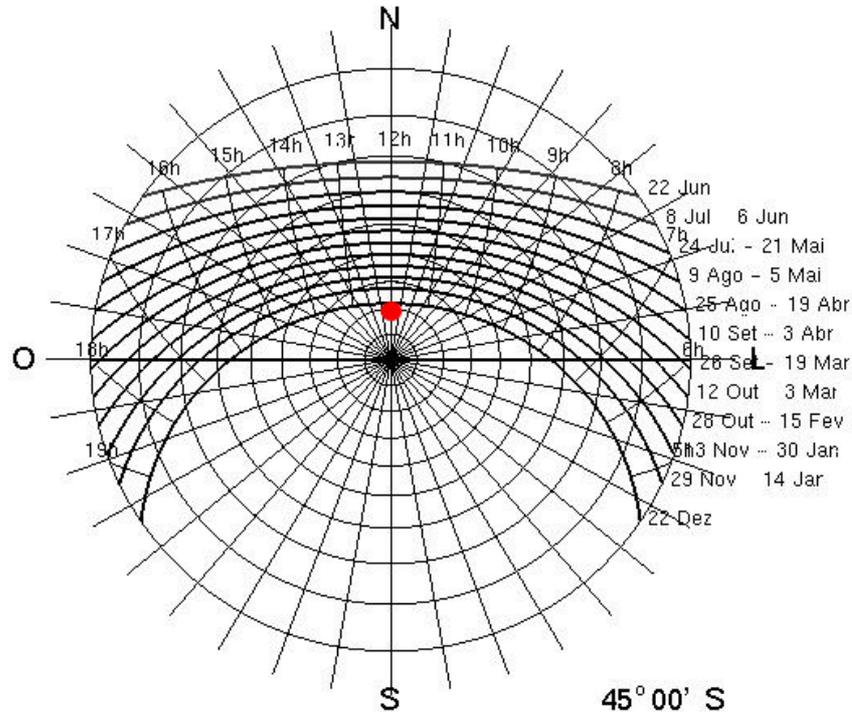


Figura 33: Carta solar latitude 45°Sul.

Como pode ser observada na Figura 33 e 34, a trajetória solar apresenta ângulos de inclinação de até 70° ao meio-dia. Adotando o mesmo comprimento dos modelos anteriores, fica garantida em todos os horários e dias do ano a proteção do ambiente da radiação solar direta, não sendo necessária a inclinação do sistema.

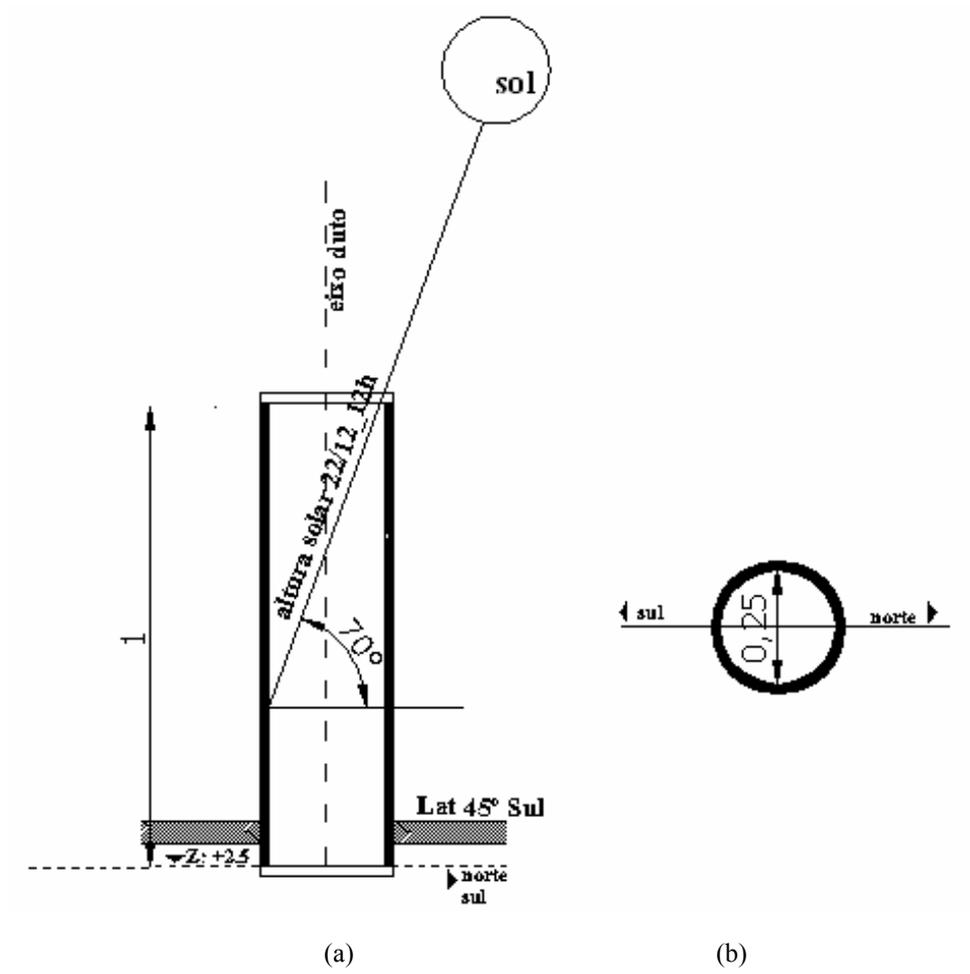
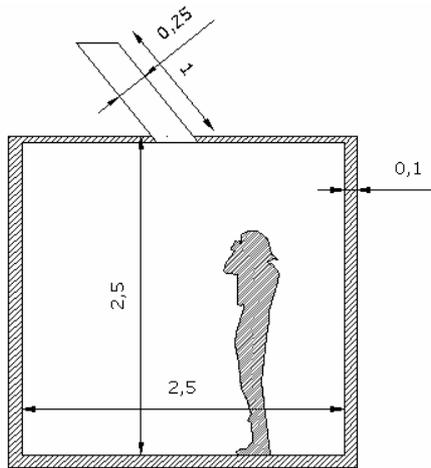
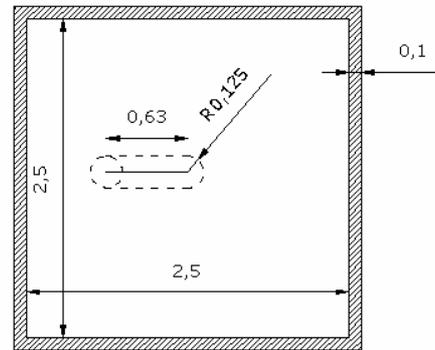


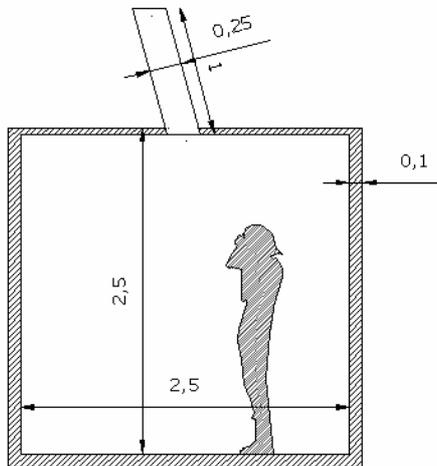
Figura 34: Corte duto padrão (a) planta esquemática do duto latitude 45° (b).



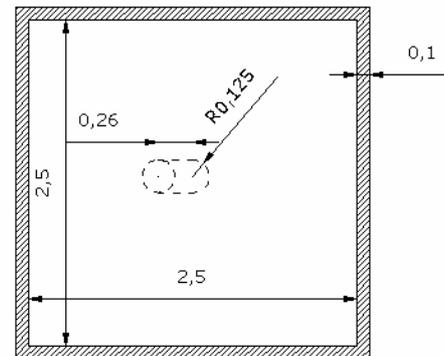
Corte Ambiente 0°



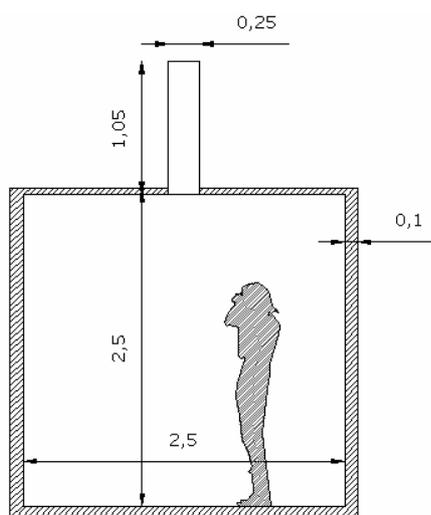
Planta Ambiente 0°



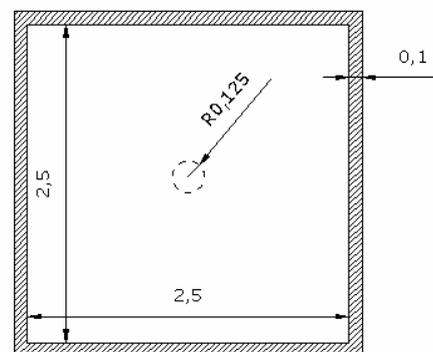
Corte Ambiente 23° 26' Sul



Planta Ambiente 23° 26' Sul



Corte Ambiente 45° Sul



Planta Ambiente 45° Sul

Figura 35: Cortes e plantas esquemáticas do ambiente padrão para as 3 latitudes simuladas.

Fonte: Arquivo pessoal do autor.

2.4 Simulações

2.4.1 Seleção da Ferramenta de Simulação

Para a comparação de desempenho luminoso entre os modelos estabelecidos, é proposto o estudo dos valores de iluminâncias por pontos e médias, localizadas no interior dos ambientes. Para isso, a simulação computacional é o método de processamento empregado, já que permite economizar o tempo utilizado para a geração de numerosos modelos físicos, além de permitir uma maior precisão e rapidez na obtenção e manipulação de valores de iluminâncias. Além disso, atingindo alguns dos objetivos desta pesquisa, permite o trabalho com diversas latitudes e tipos de céus, mediante a configuração rápida destas variáveis.

TropLux é um programa de simulação computacional que permite a avaliação de iluminação natural (ver Figura 36). Foi desenvolvido pelo Prof. Dr. Ricardo Cabús, como parte de seu trabalho final de doutorado na Universidade de Sheffield, Inglaterra, supervisionado pelo Prof. Peter Tregenza.



Figura 36: Telha do programa Troplx Versão 3.0

Segundo Cabús (2005), este programa propõe-se a simular o desempenho da iluminação natural, com particular atenção para as características climáticas e arquitetônicas de zonas tropicais. Esta característica apresenta-se como uma vantagem, já que permite a simulação

dos ambientes sob condições de céus com variada distribuição de iluminâncias, adotando padrões definidos pela CIE (Comissão Internacional da Iluminação).

O programa facilita a configuração de valores de refletâncias e características dos materiais utilizados nas superfícies do quarto e do duto, sejam estas especulares ou difusas, além das características de transmitância dos materiais que compõem os planos coletor e difusor do sistema.

2.4.2 Parâmetros das Simulações

2.4.2.1 Hora e Data

Foram realizadas, para todos os modelos, simulações no período entre 07h e 17h, hora solar, nos solstícios de inverno e verão (22/06, 22/12), além do equinócio de outono (22/03) - datas correspondentes ao hemisfério Sul -, com a finalidade de determinar a eficácia do sistema ao longo do ano.

2.4.2.2 Tipo de Céu

A escolha do tipo de céu para a avaliação de iluminação natural dá-se em função da relação entre a distribuição de iluminâncias nos céus locais e as distribuições destas em céus padrões, apresentadas pela CIE (Comissão Internacional de Iluminação). Nesta pesquisa não é possível definir as características particulares de céus, posto que os modelos localizam-se segundo latitude sem posição geográfica específica. Segundo Cabús (2002), a eleição e a combinação de três tipos de céus segundo os padrões da CIE, é suficiente para definir as condições de luz natural num clima. A melhor combinação segundo o mesmo autor, serão para céu encoberto (CIE Céu 5), céu parcialmente nublado (CIE Céu 10) e céu claro (CIE Céu 14). Porém, “a escolha de um céu diferente num mesmo subgrupo, não geraria uma diferença significativa nos resultados obtidos” (CABÚS, 2002).

Portanto, para esta pesquisa foram selecionados os céus 5, 10 e 15 segundo padrões da CIE, o que permitirá agrupar os resultados para sua comparação, isolando a variável do tipo de céu, e determinar os efeitos do resto das demais variáveis propostas, na quantidade de horas úteis dos dutos e o padrão de distribuição delas no ambiente.

2.4.2.3 Orientação

Todos os modelos foram configurados evitando a incidência de radiação solar direta no interior do ambiente. Para isso, nos modelos simulados na latitude 0° e 23° , seus dutos são orientados ao Sul, não precisando de inclinação na latitude 45° , segundo o exposto no item 2.2.3.

2.4.2.4 Pontos de Análise

Para a análise do desempenho dos sistemas, é definida uma malha de 9 pontos localizada à altura do plano de trabalho de 0,75m para todos os ambientes nas coordenadas indicadas na Figura 37.

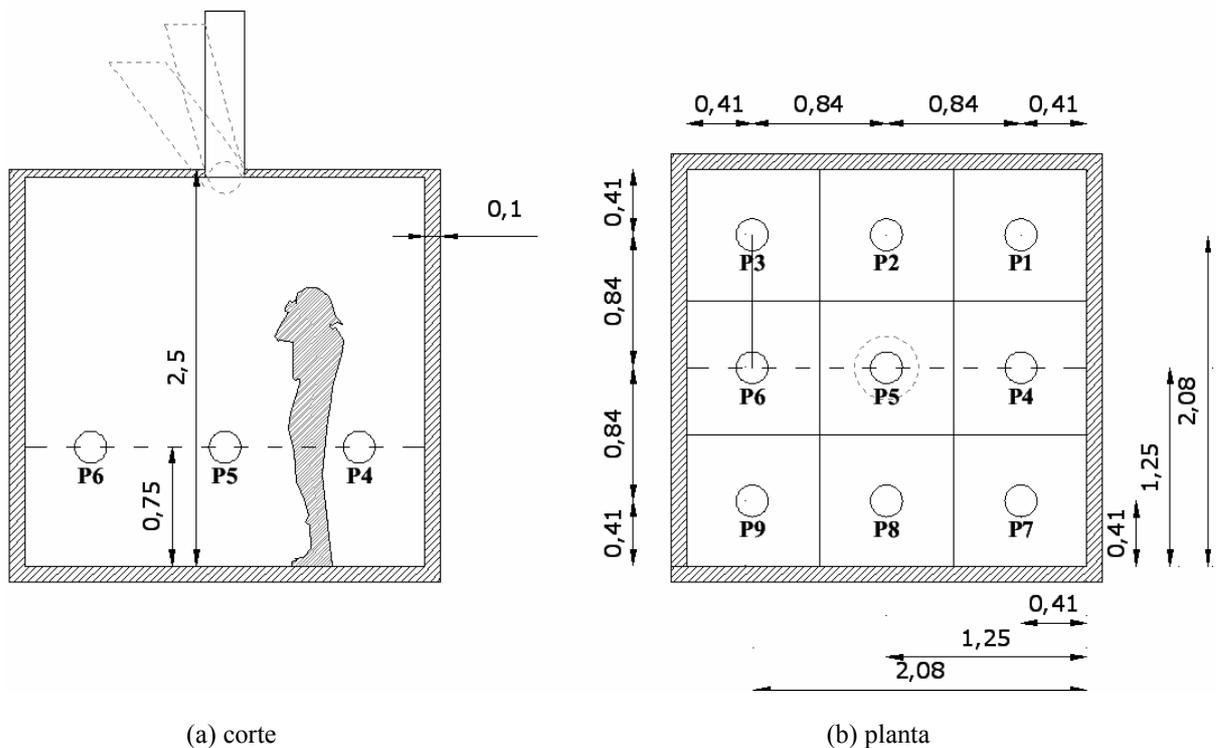


Figura 37: Esquemas de ambiente padrão e pontos de análise
Fonte: Arquivo pessoal do autor.

3. RESULTADOS E ANÁLISE

3.1 Apresentação dos Resultados

Nesta subseção são apresentadas as formas como os resultados são processados e expostos, por meio de uma série de tabelas e gráficos.

Os resultados foram obtidos através do processo de simulação computacional. O programa Troplux apresenta, sob a forma de tabelas, os valores de iluminâncias para todos os pontos processados no ambiente, segundo a configuração de sua posição relativa na sala, a orientação do modelo, o dia, o horário e o padrão de céu, segundo a Figura 38.

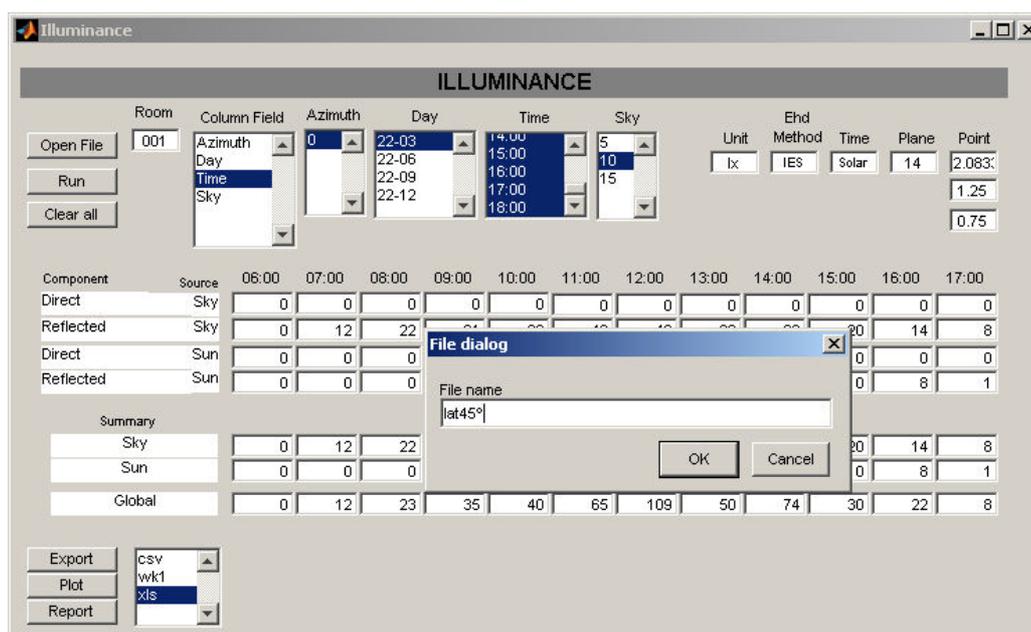


Figura 38: Tabelas com valores de iluminância geradas pelo programa Troplux

Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Esses valores foram assim exportados à plataforma Microsoft Excel 2003, sendo elaboradas 324 tabelas (ver Tabela 09) que mostram os valores de iluminâncias fornecidos por cada uma das componentes da radiação e o global observado em cada horário. Isso permite

confirmar a ausência da componente direita na totalidade dos pontos simulados, condição exposta na metodologia.

Tabela 09: Iluminância segundo o horário para do ponto p01, simulado sob condições de céu 10 na latitude 0° no dia 22/03.

0° 0.94
céu 10_março

P01	DIRECT SKY	REFLECTED SKY	DIRECT SUN	REFLECTED SUN	SKY	SUN	GLOBAL
6:00	0	1	0	0	1	0	1
7:00	0	48	0	0	48	0	48
8:00	0	96	0	1	96	1	97
9:00	0	132	0	16	132	16	148
10:00	0	155	0	20	155	20	176
11:00	0	161	0	68	161	68	229
12:00	0	142	0	108	142	108	250
13:00	0	115	0	75	115	75	190
14:00	0	90	0	69	90	69	159
15:00	0	68	0	57	68	57	125
16:00	0	48	0	76	48	76	124
17:00	0	26	0	24	26	24	50
18:00	0	1	0	0	1	0	1

Essa série de tabelas subsidiou a posterior manipulação e o agrupamento de dados para a elaboração de gráficos e tabelas que pudessem ser analisados.

Numa primeira etapa, os dados de iluminâncias foram agrupados por pontos correlativos, segundo a latitude, o tipo de céu, o dia, e as horas (ver Tabela 10 e Apêndice A).

Tabela 10: Comparação de iluminâncias entre modelos simulados na latitude 0° no dia 22/03.

Latitude 0°_Ceú 5_22 Março																						
R 0.7												R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	8	5	2	12	8	3	7	5	2	6	7h	18	20	11	23	26	14	18	19	12	18	
8h	14	10	4	23	15	5	14	9	4	11	8h	33	38	21	43	50	26	34	36	22	34	
9h	20	13	6	32	21	7	19	13	6	15	9h	47	53	30	60	69	37	48	51	31	47	
10h	24	16	8	39	26	8	24	16	8	19	10h	57	65	37	74	85	45	59	62	37	58	
11h	27	18	8	43	28	9	26	18	8	21	11h	64	73	41	82	94	50	65	69	41	64	
12h	28	19	9	45	29	10	27	18	9	22	12h	66	75	42	85	98	52	67	72	43	67	
13h	27	18	8	43	28	9	26	18	8	21	13h	64	73	41	82	94	50	65	69	41	64	
14h	24	16	8	39	26	8	24	16	8	19	14h	57	65	37	74	85	45	59	62	37	58	
15h	20	13	6	32	21	7	19	13	6	15	15h	47	53	30	60	69	37	48	51	31	47	
16h	14	10	4	23	15	5	14	9	4	11	16h	33	38	21	43	50	26	34	36	22	34	
17h	8	5	2	12	8	3	7	5	2	6	17h	18	20	11	23	26	14	18	19	12	18	
média P	20	13	6	31	20	7	19	13	6	15	média P	46	52	29	59	68	36	47	50	30	46	
horas úteis	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9		horas úteis	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9		
<50	11	11	11	11	11	11	11	11	11		<50	6	4	11	4	4	8	6	4	11		
50 - 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0		50 - 99	5	7	0	7	7	3	5	7	0		
>100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		>100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Essa forma de agrupar os dados permite comparar o desempenho dos sistemas propostos, por meio das iluminâncias observadas para cada ponto nos horários e dias estabelecidos, ocupando uma série de tabelas e ferramentas gráficas segundo os critérios de análise apresentados a seguir.

3.2 Resultados e Análises

Esta seção apresenta os principais resultados obtidos através do processo de simulação computacional no programa TropLux, bem como a discussão e a análise destes.

Para uma melhor apresentação dos resultados e uma análise das variáveis propostas no desempenho geral do sistema, os dados são agrupados segundo o tipo de céu onde estes foram simulados.

Inicialmente, são mostrados os resultados de desempenho segundo os dias de análise e a distribuição horária para cada latitude. Assim apresenta-se a quantidade de horas úteis segundo as iluminâncias médias observadas nos pontos. Logo, indica-se a variação do desempenho relativo segundo as refletâncias propostas para os sistemas de iluminação (0,7 e 0,94).

Em seguida, são apresentadas, através de gráficos, as horas úteis segundo faixas de iluminâncias e sua distribuição geral no plano de trabalho.

Finalmente, por meio da relação entre as iluminâncias médias, são elaborados gráficos para uma análise simplificada da distribuição de iluminâncias segundo as seções definidas para o ambiente.

3.2.1 Modelos Simulados sob Condições de Céu Encoberto (CIE5).

3.2.1.1 Distribuição das Horas Úteis segundo Refletância e Dia Analisado

Como parâmetro para a análise do desempenho dos dutos e a pertinência dos resultados obtidos em relação ao objetivo proposto nesta pesquisa – avaliar condições de iluminação natural nos ambientes, fornecidas por sistemas de dutos de luz, que permitam o desenvolvimento de atividades domésticas simples -, são consultadas referências como a NBR 5413 do ano 1992, na qual são indicados os níveis de iluminâncias médias para ambientes residenciais (esta norma esta definida para o uso de fontes artificiais de iluminação e é adotada nesta pesquisa na ausência de uma para iluminação natural) .

Segundo a NBR 5413, para a adoção desses parâmetros, devem ser consideradas variáveis como a idade do usuário, o tipo de atividade desenvolvido por este no ambiente, e os fatores de refletâncias dos materiais que compõem o plano do ambiente, localizado no ângulo de visão do usuário que realiza a tarefa. A norma indica que, para a iluminação geral de ambientes residenciais como salas de estar, cozinhas, dormitórios e banheiros, devem-se adotar iluminâncias médias com valores entre os 100 e 200 lx.

Para a elaboração de atividades mais específicas nesses mesmos ambientes, os valores recomendados encontram-se entre 200 e 500 lx, e para atividades de maior precisão como bordado, leitura e escrita, os valores de iluminâncias médias indicados são maiores, sendo estes no intervalo de 300 e 750 lx (Ver Anexo D).

Por outro lado, TREGENZA (1998) ressalta que valores de 50 lx permitem um reconhecimento geral do espaço onde a percepção dos detalhes não é importante.

Logo, os valores recomendados pelo mesmo autor em espaços onde seja necessário o reconhecimento de detalhes, num período reduzido de tempo, encontram-se na faixa de 100lx.

Para atividades como leitura, é recomendado o valor de 300 lx.

Portanto, segundo as referências citadas acima, para esta primeira etapa as iluminâncias médias observadas no plano de trabalho, são agrupadas em três categorias: a primeira delas, com valores nos pontos analisados menores que 50 lx; a segunda, com valores entre 50 e 100 lx (reconhecimento geral do espaço), e a terceira com valores superiores aos 100lx (reconhecimento de detalhes para desenvolvimento de tarefas num período reduzido de tempo).

Desse modo será indicada a quantidade de horas úteis dos sistemas propostos segundo faixa de valores, para assim avaliar e comparar o desempenho dos dutos.

3.2.1.1.1 Duto com refletância 0,94

Tabela 11. Comparação das horas úteis dos sistemas simulados nas latitudes 0°, -23° e -45°, para céu encoberto (CIE 5) e refletância 0.94.

CÉU 5_0.94													horas úteis			média dia
modelo	data	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	<50	50 - 99	>100	
0° R 0.94	22/03	18	34	47	58	64	67	64	58	47	34	18	6	5	0	46
	22/06	17	31	44	53	59	61	59	53	44	31	17	6	5	0	43
	22/12	17	31	44	53	59	61	59	53	44	31	17	6	5	0	43
23° R 0.94	22/03	16	30	42	51	57	59	57	51	42	30	16	6	5	0	41
	22/06	5	18	29	37	42	44	42	37	29	18	5	11	0	0	28
	22/12	25	38	49	57	63	64	63	57	49	38	25	6	5	0	48
45° R 0.94	22/03	12	23	32	39	43	45	43	39	32	23	12	11	0	0	31
	22/06	0	4	12	18	22	24	22	18	12	4	0	11	0	0	12
	22/12	29	38	47	53	57	58	57	53	47	38	29	6	5	0	46

Legenda:  abaixo 50 lx  entre 50 e 99 lx  acima 100 lx

- A Tabela 11 apresenta que para dutos com refletância 0,94, só são observados valores de iluminâncias médias úteis entre 50 e 99lx
- Em geral, a totalidade dos modelos simulados atingiu valores superiores ao mínimo, considerado para esta pesquisa 50lx. O modelo simulado na latitude 0° apresenta o melhor desempenho no tocante à quantidade de horas úteis do sistema nos três dias analisados.

- Não são observadas horas úteis no mês de junho para os modelos de latitude 23° e 45°. Neste último, tampouco são observadas no mês de março.
- O intervalo de tempo entre 10h e 14h concentra o total das horas úteis, em todos os modelos, representando 45% do horário total proposto.

3.2.1.1.2 *Duto com refletância 0,7*

Na Tabela 12, só são observados valores de iluminâncias médias menores que o mínimo, 50lx, não sendo observadas horas úteis para nenhum dos modelos simulados.

Tabela 12. Comparação das horas úteis dos sistemas simulados nas latitudes 0°, -23° e -45°, para céu encoberto (CIE 5) e refletância 0,7.

CÉU 5_0.7													horas úteis			média dia
modelo	data	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	<50	50 - 99	>100	
0° R 0.94	22/03	6	11	15	19	21	22	21	19	15	11	6	11	0	0	15
	22/06	6	11	15	18	20	21	20	18	15	11	6	11	0	0	14
	22/12	5	10	14	17	19	20	19	17	14	10	5	11	0	0	14
23° R 0.94	22/03	6	12	16	20	22	23	22	20	16	12	6	11	0	0	16
	22/06	2	7	11	14	16	17	16	14	11	7	2	11	0	0	11
	22/12	9	14	18	22	24	24	24	22	18	14	9	11	0	0	18
45° R 0.94	22/03	5	9	13	16	18	18	18	16	13	9	5	11	0	0	13
	22/06	0	1	5	7	9	10	9	7	5	1	0	11	0	0	5
	22/12	12	16	19	22	23	24	23	22	19	16	12	11	0	0	19

Legenda:  abaixo 50 lx  entre 50 e 99 lx  acima 100 lx

4.2.1.2 *Variação Percentual das Iluminâncias Médias, segundo Refletâncias do Duto para Céu Encoberto (CIE 5)*

Para comparar os desempenhos entre sistemas com distintas refletâncias (0,7 e 0,94), é elaborada uma tabela onde é indicada, de forma simplificada, a média das iluminâncias observadas no plano de trabalho e a variação percentual entre elas, segundo latitude e dia.

Tabela 13. Decréscimo percentual das iluminâncias médias do duto com refletância 0,7 em relação com duto com refletância 0,94 para latitudes 0°, -23° e -45°, céu encoberto (CIE 5).

		CÉU 5			
		média dia 0.94	média dia 0.7	%	média %
0°	22/03	46	15	67,7	67
	22/06	43	14	66,1	
	22/12	43	14	67,7	
23°	22/03	41	16	61,3	62
	22/06	28	11	62,0	
	22/12	48	18	62,0	
45°	22/03	31	13	59,1	59
	22/06	12	5	59,1	
	22/12	46	19	59,1	

No caso dos modelos simulados sob condições de céu encoberto (CIE 5), a menor variação entre dutos é observada na latitude 45°, com um decréscimo médio de 59,1% , e a maior, na latitude 0° com 67%.

3.2.1.3 Distribuição de Horas Úteis no Plano de Trabalho

Foram elaboradas tabelas com a mesma distribuição dos pontos no plano de trabalho (ver Figura 39), indicando a quantidade de horas úteis segundo a faixa de iluminâncias médias observadas (ver Tabela 14). Esses valores foram agrupados segundo os dias 22/06 e 22/12, as refletâncias dos dutos e as latitudes analisadas. A posição dos valores na tabela correspondem à mesma posição destes no ambiente, indicando números de horas, menores que 50lx, entre 50 e 100 lx e acima de 100lx.

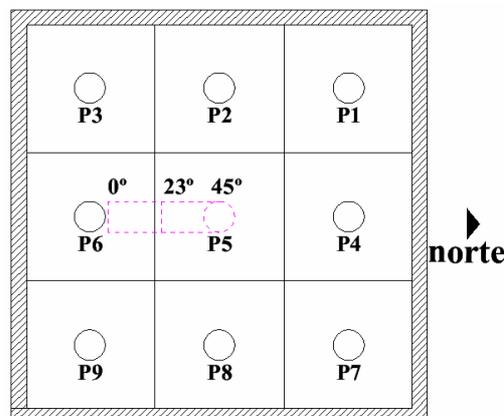


Figura 39: Localização no plano de trabalho dos pontos de análise e linhas de projeção do duto segundo latitude.

Tabela 14: Número de horas úteis para cada ponto do plano de trabalho, no junho (22/06) e dezembro (22/12), céu encoberto (CIE 5).

		CÉU 5																							
		0.7 junho				0.94 junho				0.7 dezembro				0.94 dezembro											
0°		11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0			
		11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0			
		11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0			
23°		11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	10	1	0	4	7	0	8	3	0
		11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	6	5	0	2	9	0	4	7	0
		11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	4	7	0	6	5	0
45°		11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	6	5	0	10	1	0
		11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	4	7	0	2	9	0	6	5	0
		11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	10	1	0	6	5	0	11	0	0

Legenda: abaixo 50 lx entre 50 e 99 lx acima 100 lx

No caso dos modelos simulados sob condições de céu encoberto (CIE5), a totalidade de horas úteis apresenta-se na faixa entre 50 e 100lx, sendo só observadas nos modelos com refletância 0,94.

No caso do modelo 0°R 0,94, a distribuição e a quantidade de horas úteis são iguais para ambos os meses, com valores máximos no centro-norte da sala num período de tempo de até 7 horas úteis, com 63,6% do total do horário analisado.

Já no caso de 23°R 0,94 mostram-se apenas 5 horas úteis (45,4%) no ponto do centro da sala para junho (22/06). Em dezembro (22/12), este incremento é observado quase na totalidade dos pontos analisados, principalmente na área centro-norte da sala com até 9 horas úteis (81,8%). Finalmente, no modelo 45°R 0,94 para o mesmo dia (22/12), existe uma pequena redução das horas úteis nos pontos de análise. No relativo à distribuição, existe uma menor diferença de horas úteis entre as áreas Norte e Sul do ambiente. Neste modelo não foi necessária a inclinação do sistema, direcionando o fluxo luminoso ao centro do ambiente.

Frente à ausência da componente do sol (refletida ou direta) nesse padrão de céu, a componente do céu transforma-se na única fonte de luz que interage com o sistema. A

distribuição das iluminâncias no ambiente é observada do modo previsto. Quase todos os pontos sob a saída do sistema apresentam o maior número de horas úteis. Por sua vez, a maior inclinação do eixo do duto (segundo latitude), permitirá a visualização de uma parte da abóbada celeste e o direcionamento do fluxo luminoso na área Norte do ambiente, aumentando o número de horas úteis nessa área.

3.2.1.4 Distribuição nos Eixos do Ambiente

Para melhor entender as mudanças nos padrões de distribuição das iluminâncias e a contribuição, nesse parâmetro de análise, de variáveis como a inclinação dos dutos segundo a latitude e suas refletâncias internas, é proposta a elaboração de tabelas e gráficos esquemáticos em ambos os eixos. Para isso, foi realizada uma simplificação dos dados, através do cálculo das médias de iluminâncias por pontos de forma simplificada, segundo os seguintes esquemas e equações (ver Figura 40).

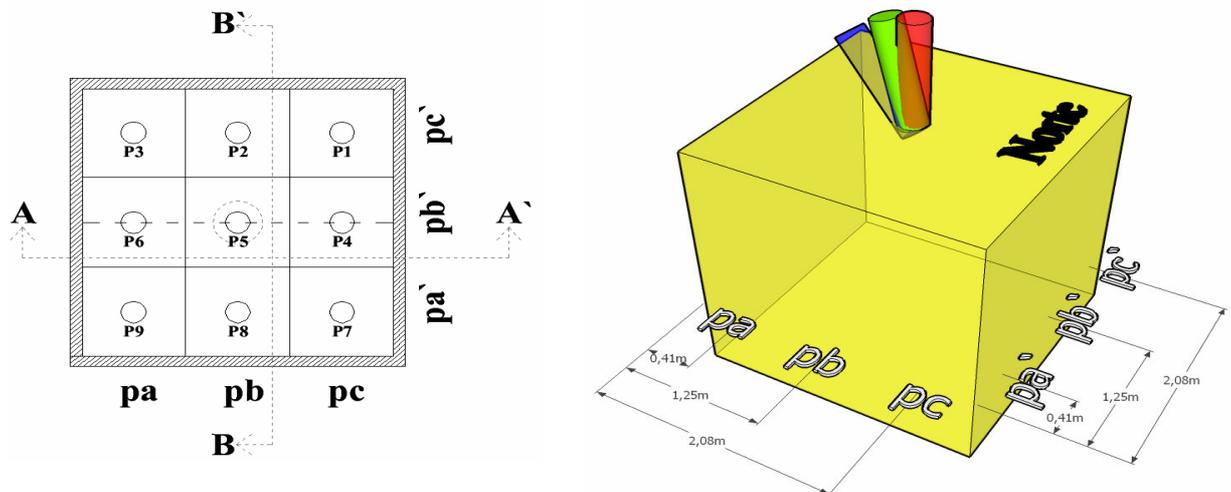


Figura40: Localização dos pontos que compõem os eixos característicos para análise.

$$Pa = (P3 + P6 + P9) / 3$$

$$Pb = (P2 + P5 + P8) / 3$$

$$Pc = (P1 + P4 + P7) / 3$$

$$Pa' = (P9 + P8 + P7) / 3$$

$$Pb' = (P6 + P5 + P4) / 3$$

$$Pc' = (P3 + P2 + P1) / 3$$

Tabela 15: Médias das iluminâncias dos pontos simplificados, nos modelos simulados sob condições de céu encoberto (CIE 5) nos meses de junho (22/06) e dezembro (22/12).

CÉU 5													
Junho 22_06							Dezembro 22_12						
latitude 0°		latitude 23°		latitude 45°			latitude 0°		latitude 23°		latitude 45°		
0°R0.7	0°R0.94	23°R0.7	23°R0.94	45°R0.7	45°R0.94		0°R0.7	0°R0.94	23°R0.7	23°R0.94	45°R0.7	45°R0.94	
pa	8	29	6	23	4	12	pa	6	29	10	40	16	44
pb	14	52	14	34	7	14	pb	14	52	24	58	26	52
pc	21	46	12	26	4	11	pc	21	46	20	45	15	41
	0°R0.7	0°R0.94	23°R0.7	23°R0.94	45°R0.7	45°R0.94		0°R0.7	0°R0.94	23°R0.7	23°R0.94	45°R0.7	45°R0.94
pa`	14	39	9	25	4	11	pa`	12	39	15	43	15	42
pb`	18	50	15	33	7	14	pb`	18	50	25	56	27	54
pc`	12	39	8	25	4	11	pc`	12	39	15	44	15	42

Segundo a Tabela 15, foram realizados os seguintes gráficos, representando a variação das iluminâncias no eixo A-A` (pa,pb,pc), Norte -Sul , paralelo à inclinação do duto, e B-B` (pa`,pb`,pc`) no eixo Leste –Oeste.

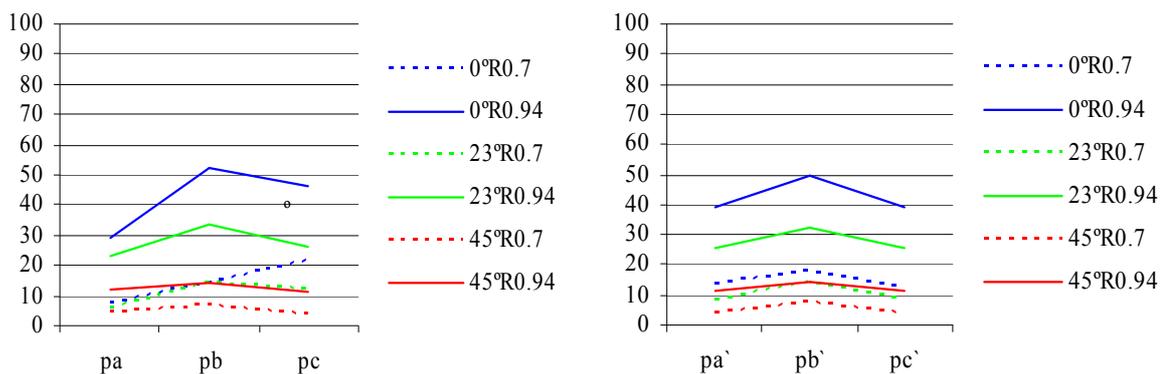


Gráfico 07: Corte esquemático da distribuição das iluminâncias por pontos simplificados (lx), nos eixos A-A` e B-B` em junho (22/06).

A partir do Gráfico 07, no eixo A-A`, notou-se um evidente aumento das iluminâncias no ponto **pc** em relação ao ponto **pa** nos modelos para latitude 0° e 23°, gerando uma assimetria na distribuição destas no ambiente. No eixo B-B` observa-se uma relativa simetria na variação luminosa.

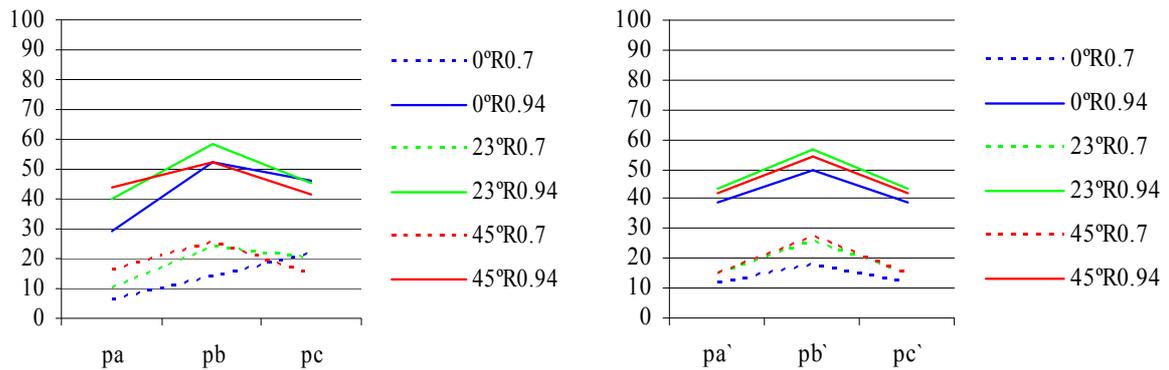


Gráfico 08: Corte esquemático da distribuição das iluminâncias por pontos simplificados (lx), nos eixos A-A' e B-B' em dezembro (22/12).

Para o mês de dezembro (22/12), em relação ao gráfico de junho (22/06) observa-se um aumento nos níveis de iluminâncias médias no ponto **pc**, para os modelos que apresentam dutos inclinados, 0° e 23°. No eixo B-B', novamente observa-se relativa simetria entre os valores dos pontos pa'-pc'.

Em quase todos os modelos, o maior valor médio de iluminância localiza-se no ponto central dos eixos (Gráficos 07 e 08). Só no modelo 0°R0.7 para o mês de junho (22/06), as iluminâncias no ponto **pc** mostram um valor menor, o que poderia indicar que o ganho gerado pela visão direta da abóbada celeste neste ponto, é maior que o mínimo ganho gerado no ponto do centro da sala, pela reflexão do fluxo luminoso do duto.

A NBR 5413 no ponto 4.3 indica que a “iluminância no restante do ambiente não deve ser inferior a 1/10 da adotada para o campo de trabalho, mesmo que haja recomendação para valor menor”. Isso indica que no interior de qualquer ambiente não são recomendadas diferenças entre iluminâncias pontuais num campo de visão superiores a 10 vezes, ou equivalente a acréscimos de até 900% ou decréscimos de até 90% entre elas, prevenindo, dessa forma, possíveis problemas como o deslumbramento ou estresse fisiológico do sistema ocular pela constante acomodação frente a uma exagerada variabilidade luminosa no ambiente.

Para incrementar a análise da distribuição das iluminâncias e verificar os padrões de conforto indicados pela norma NBR 5413, é elaborada a Tabela 16, que indica a variação percentual das iluminâncias médias por pontos, das seções do ambiente.

Tabela 16: Variações percentuais das iluminâncias para pontos simplificados pa, pc em relação ao ponto pb, e pa', pc' em relação ao ponto pb'. Modelos simulados sob condições de céu encoberto (CIE 5), no junho (22/06) e dezembro (22/12).

CÉU 5													
Junho 22_06							Dezembro 22_12						
latitude 0°		latitude 23°		latitude 45°			latitude 0°		latitude 23°		latitude 45°		
	R0.7	R0.94	R0.7	R0.94	R0.7	R0.94		R0.7	R0.94	R0.7	R0.94	R0.7	R0.94
pa	-59,2	-43,9	-57,2	-31,7	-37,2	-16,4	pa	-59,2	-43,9	-57,2	-31,7	-37,2	-16,4
pc	50,5	-10,8	-16,0	-22,0	-42,7	-20,8	pc	50,5	-10,8	-16,0	-22,0	-42,7	-20,8
pa'	-35,8	-22,4	-41,7	-22,9	-45,3	-22,7	pa'	-35,8	-22,4	-41,7	-22,9	-45,3	-22,7
pc'	-33,7	-21,9	-42,2	-22,6	-45,4	-22,5	pc'	-33,7	-21,9	-42,2	-22,6	-45,4	-22,5

A máxima variação observada é o decréscimo de 59,2% para o modelo 0°R.7, e a menor de 10,8% para o modelo 0°R0.94, não superando as variações percentuais recomendadas. Variações positivas de até 50,5 % são observadas nos modelos para latitude 0° e refletância 0.7, pelos motivos indicados no ponto 3.2.1.4.

3.2.2 Modelos Simulados sob Condições de Céu Parcialmente Nublado (CIE 10).

3.2.2.1 Distribuição das Horas Úteis segundo Refletância e Dia analisado

3.2.2.1.1 Coeficiente de reflexão 0.94

Tabela 17. Comparação das horas úteis dos sistemas simulados nas latitudes 0°, -23° e -45°, para céu parcialmente nublado (CIE 10) e refletância 0.94.

CÉU 10_0.94													horas úteis			média dia
modelo	data	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	<50	50 - 99	>100	
0° R 0.94	22/03	35	88	138	196	260	344	324	215	142	93	35	2	2	7	170
	22/06	29	59	102	217	176	266	184	135	100	60	30	2	3	6	123
	22/12	35	86	216	241	333	484	323	320	166	97	37	2	2	7	212
23° R 0.94	22/03	27	61	124	235	179	215	173	190	120	61	27	2	2	7	128
	22/06	7	28	54	69	93	103	94	69	53	29	7	4	6	1	55
	22/12	48	93	170	455	369	586	298	485	165	95	48	2	2	7	256
45° R 0.94	22/03	20	40	68	107	127	125	121	104	68	40	20	4	2	5	76
	22/06	0	5	19	31	39	42	39	31	19	5	0	11	0	0	21
	22/12	60	100	137	165	271	584	287	169	141	103	60	0	2	9	189

Legenda:  abaixo 50 lx  entre 50 e 99 lx  acima 100 lx

De modo geral, a totalidade dos modelos simulados atingiu valores superiores ao mínimo considerado para esta pesquisa, 50lx, predominando valores acima dos 100lx.

O modelo simulado na latitude 0° apresenta a maior quantidade de horas úteis em relação ao restante dos modelos no mês de junho (22/06), com um 81,1% da totalidade do horário analisado.

Menor quantidade de horas úteis é observada no mesmo mês, 22/06 para o modelo 23°R0.94, com 7 horas (63,6%), e no modelo 45°R0.94 com ausência de horas úteis no mesmo dia.

Horas úteis podem ser observadas nas três latitudes, predominantemente entre as 08h e 16h, sendo 11 horas úteis o máximo número observado no modelo 45°R0.94, para o dia 22/12. Por outra lado, para o modelo 0°R0.94 mostra 9 horas úteis (81,81%) na totalidade dos dias analisados, sendo o modelo com melhor desempenho ao longo do ano.

3.2.2.1.2 *Coeficiente de reflexão 0.7*

Tabela 18. Comparação das horas úteis dos sistemas simulados nas latitudes 0°, -23° e -45°, para céu parcialmente nublado (CIE 10) e refletância 0,7.

CÉU 10_0.7												horas úteis			média dia	
modelo	data	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	<50	50 - 99		>100
0° R 0.94	22/03	10	20	34	48	76	127	83	49	34	21	10	8	2	1	47
	22/06	8	16	25	38	37	49	38	32	25	17	9	11	0	0	27
	22/12	11	29	67	97	135	251	125	143	70	30	11	4	3	4	88
23° R 0.94	22/03	9	18	33	78	58	71	61	58	32	18	9	6	5	0	40
	22/06	2	9	16	20	26	27	26	21	16	9	2	11	0	0	16
	22/12	14	26	54	205	201	280	129	90	50	27	15	5	2	4	99
45° R 0.94	22/03	7	14	22	34	39	43	39	34	22	14	7	11	0	0	25
	22/06	0	2	7	11	14	15	14	11	7	2	0	11	0	0	7
	22/12	20	34	43	62	130	304	118	63	45	34	20	6	2	3	79

Legenda: abaixo 50 lx entre 50 e 99 lx acima 100 lx

Em relação ao modelo anterior, pode-se observar uma considerável diminuição da quantidade de horas úteis na totalidade dos modelos, apresentando valores acima dos 100lx, só nas horas próximas ao do meio dia.

Em junho (22/06), não são observadas horas úteis em nenhum dos modelos, sendo o 45°R.0.7 o que apresenta a menor quantidade total de horas úteis, com ausência delas no mês de março (22/03) e junho (22/06). Existe uma redução do horário útil, concentrando valores de iluminâncias médias superiores aos 50lx, num menor período de tempo. Para o modelo 0°R0,7, no mês de março (22/03) está entre as 11h e 13h, (27,27%). Por sua vez, no mesmo modelo, o máximo período é de 6 horas úteis, 54,54%, entre as 09h e 14h no mês de dezembro (22/12).

3.2.2.2 Variação Percentual das Iluminâncias Médias, segundo Refletâncias do Duto para Céu Parcialmente Nublado (CIE 10).

Tabela 19. Decréscimo percentual das iluminâncias médias do duto com refletância 0,7 em relação ao duto com refletância 0,94 para latitudes 0°, -23° e -45°, para céu parcialmente nublado (CIE 10).

		CÉU 10			
		média dia 0.94	média dia 0.7	%	média %
0°	22/03	170	47	72,6	70
	22/06	123	27	78,3	
	22/12	212	88	58,5	
23°	22/03	128	40	68,5	67
	22/06	55	16	71,0	
	22/12	256	99	61,2	
45°	22/03	76	25	67,3	63
	22/06	21	7	64,8	
	22/12	189	79	58,0	

No caso dos modelos simulados sob condições de céu parcialmente coberto (CIE10), o menor decréscimo de desempenho é observado na latitude 45°, com 58% em dezembro (22/12), e o maior, na latitude 0° em junho (22/06), com 78,3%.

A menor variação entre sistemas, é observado em dezembro (22/12) para todos os modelos analisados. Cabe lembrar que a uma maior altura solar, menor será a quantidade de reflexões do fluxo luminoso no interior do duto.

3.2.2.3 Distribuição de Horas Úteis no Plano de Trabalho.

Tabela 20: Número de horas úteis para cada ponto do plano de trabalho, em junho (22/06) e dezembro (22/12) para céu parcialmente nublado (CIE 10).

		CÉU 10																																		
		0.7 junho				0.94 junho				0.7 dezembro				0.94 dezembro																						
0°	11	0	0	11	0	0	11	0	0	4	1	6	2	3	6	3	2	6	9	2	0	4	6	1	4	2	5	2	4	5	2	0	9	2	2	7
	10	0	1	11	0	0	6	5	0	2	4	5	2	2	7	2	4	5	9	2	0	4	3	4	4	2	5	2	3	6	0	2	9	2	2	7
	10	1	0	11	0	0	11	0	0	4	1	6	2	3	6	2	4	5	9	2	0	4	5	2	4	3	4	2	4	5	2	2	7	2	2	7
23°	11	0	0	11	0	0	11	0	0	5	5	1	4	5	2	6	5	0	10	1	0	11	0	0	4	5	2	2	2	7	1	3	7	2	2	7
	11	0	0	11	0	0	11	0	0	4	5	2	4	4	3	4	6	1	5	6	0	4	2	5	4	2	5	0	3	8	0	2	9	2	2	7
	11	0	0	11	0	0	11	0	0	5	5	1	4	6	1	6	5	0	8	3	0	4	5	2	4	6	1	2	2	7	0	3	8	2	2	7
45°	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	7	4	0	6	3	2	10	1	0	0	4	7	0	3	8	0	3	8
	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	10	1	0	11	0	0	5	3	3	2	4	5	6	2	3	0	3	8	0	2	9	0	2	9
	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	9	2	0	6	2	3	8	3	0	0	4	7	0	2	9	0	4	7

Legenda: abaixo 50 lx entre 50 e 99 lx acima 100 lx

Observam-se horas úteis para todos os modelos com refletâncias 0,94, em ambos os dias. Nos modelos com refletância 0,7 em junho (22/06) observam-se horas úteis só no modelo 0° e em dezembro (22/12) para as três latitudes simuladas.

Nos modelos para latitude 0° a distribuição de horas úteis uma vez mais é influenciada pela configuração do duto, observando-se maior quantidade de horas úteis na zona do Centro e Norte da sala. Em dezembro (22/12) para o modelo 0°R0.94, este incremento observa-se nas na faixa de horas úteis superior a 100lx.

Os resultados obtidos nos modelos para latitude 23° e refletância 0,7, mostram novamente um incremento das horas úteis na área Centro-Norte da sala. Já para o modelo com refletância 0,94, este padrão de distribuição muda em ambos os dias analisados (22/06 e 22/12). Isso poderia se explicar pela probabilidade de uma menor perda da componente refletida do sol, gerada pelas reflexões internas em dutos com refletância 0,94, incorporando os ganhos do fluxo luminoso ao interior do ambiente de forma mais heterogênea além de um menor ângulo de inclinação e direcionamento do duto .

Finalmente para modelos simulados na latitude 45° e refletância 0,7, observa-se um aumento de horas úteis no centro da sala em dezembro (22/12). Para o mesmo dia e duto com refletância 0,94 são observadas 11 horas úteis (100%) na totalidade dos pontos analisados, enquanto no mês de junho só se observa uma hora útil no centro do ambiente.

3.2.2.4 Distribuição nos Eixos Característicos do Ambiente

Tabela 21: Médias das iluminâncias dos pontos simplificados, nos modelos simulados sob condições de céu parcialmente nublado (CIE 10) nos meses de junho (22/06) e dezembro (22/12).

		CÉU 10													
		Junho 22_06						Dezembro 22_12							
		latitude 0°		latitude 23°		latitude 45°		latitude 0°		latitude 23°		latitude 45°			
		0°R0.7	0°R0.94	23°R0.7	23°R0.94	45°R0.7	45°R0.94	0°R0.7	0°R0.94	23°R0.7	23°R0.94	45°R0.7	45°R0.94		
pa		19	161	12	56	7	21	pa		29	97	37	118	71	181
pb		27	119	20	61	9	23	pb		71	219	141	401	99	211
pc		34	90	16	48	6	20	pc		164	321	119	248	67	175
		0°R0.7	0°R0.94	23°R0.7	23°R0.94	45°R0.7	45°R0.94			0°R0.7	0°R0.94	23°R0.7	23°R0.94	45°R0.7	45°R0.94
pa`		24	127	14	52	6	19	pa`		65	178	85	211	73	135
pb`		33	139	21	61	10	23	pb`		110	248	163	328	118	253
pc`		23	104	13	52	6	20	pc`		89	211	49	228	47	179

Segundo a Tabela 21, foram realizados os seguintes gráficos, representando a variação das iluminâncias nas seções A-A` (pa, pb, pc) e B-B` (pa`, pb`, pc`).

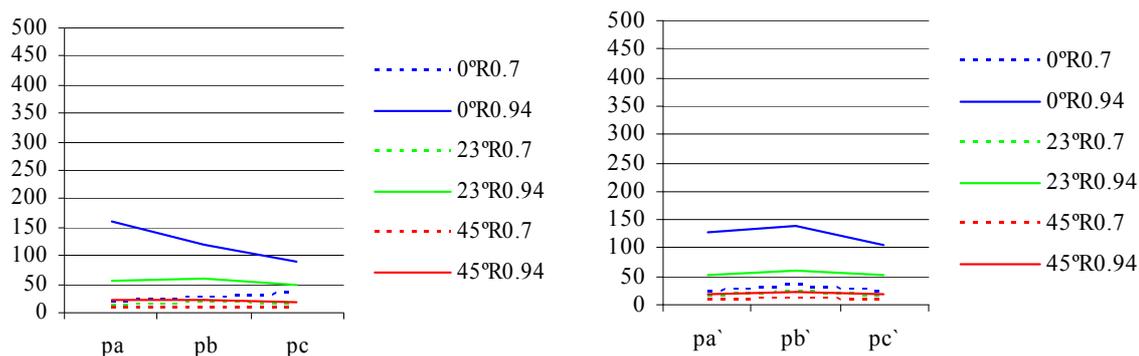


Gráfico 09: Corte esquemático da distribuição das iluminâncias por pontos simplificados, nos eixos A-A` e B-B` em junho (22/06).

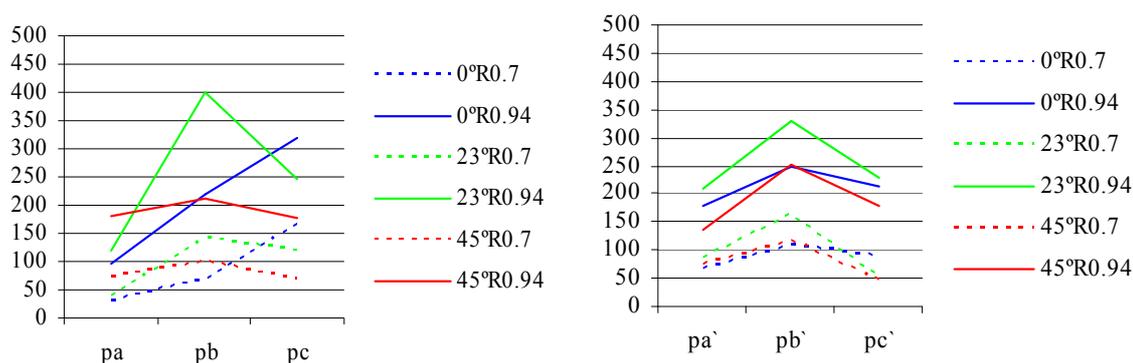


Gráfico 10: Corte esquemático da distribuição das iluminâncias por pontos simplificados, nos eixos A-A' e B-B' em dezembro (22/12).

No eixo A-A' (pa-pb-pc), é observada uma relativa simetria nos níveis de iluminâncias médias entre os pontos **pa** e **pc**, no mês de junho (Gráfico 9). As múltiplas inter-reflexões geradas pela inclinação do duto e a altura solar neste mês provocaram uma saída mais homogênea do fluxo de luz no ambiente. Por sua vez, no mês de dezembro, uma maior altura solar diminuirá o número destas, sendo o fluxo direcionado na orientação do eixo de inclinação do sistema, aumentando os níveis de luz na área Norte, comparada à área Sul. Nos modelos para latitude 0° este incremento será ainda maior, superando inclusive a iluminância média do ponto central do eixo.

No eixo B-B', observa-se maior simetria entre os valores de iluminâncias dos pontos **pa'**-**pc'** para ambos os meses. Os maiores valores médios de iluminâncias localizam-se no ponto central dos eixos (Gráficos 09 e 10).

Tabela 22: Variações percentuais entre pa, pc e pb , pa',pc' e pb' nos modelos simulados sob condições de céu parcialmente nublado (CIE 10) nos meses de junho (22/06) e dezembro (22/12).

		CÉU 10												
		Junho 22_06						Dezembro 22_12						
		latitude 0°		latitude 23°		latitude 45°		latitude 0°		latitude 23°		latitude 45°		
		R0.7	R0.94	R0.7	R0.94	R0.7	R0.94	R0.7	R0.94	R0.7	R0.94	R0.7	R0.94	
pa		-28,3	35,4	-42,0	-7,4	-27,2	-8,6	pa	-58,8	-55,9	-73,8	-70,5	-27,8	-14,4
pc		25,1	-24,3	-18,3	-20,8	-32,6	-12,4	pc	130,9	46,3	-16,0	-38,2	-31,9	-17,1
pa'		-27,1	-8,2	-33,8	-14,3	-34,0	-16,2	pa'	-40,9	-28,1	-47,9	-35,6	-38,2	-46,7
pc'		-31,9	-24,8	-35,5	-13,7	-39,4	-12,1	pc'	-19,8	-14,7	-70,1	-30,6	-59,9	-29,3

A máxima variação positiva observada localiza-se no mês de dezembro (22/12), sendo 130,9% para o modelo 0°R0.7, e o maior decréscimo (73%) no mesmo mês para o modelo 23°R0.7 (ver Tabela 22).

3.2.3 Modelos Simulados sob Condições de Céu Claro (CIE 15).

3.2.3.1 Distribuição das Horas Úteis segundo Refletância e Dia analisado

3.2.3.1.1 Coefficiente de reflexão 0,94.

Tabela 23. Comparação das horas úteis dos sistemas simulados nas latitudes 0°, -23° e -45°, para céu claro (CIE 15) e refletância 0.94.

CÉU 15_0.94													horas úteis			média dia
modelo	data	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	<50	50 - 99	>100	
0° R 0.94	22/03	29	104	136	194	278	418	398	229	144	119	27	2	0	9	189
	22/06	20	39	92	290	170	330	184	114	83	41	23	4	2	5	126
	22/12	37	177	336	274	371	686	401	465	336	154	56	1	1	9	299
23° R 0.94	22/03	22	57	153	330	175	231	162	235	141	57	21	2	2	7	144
	22/06	7	19	50	46	82	94	84	45	44	20	8	7	4	0	45
	22/12	36	82	190	694	472	860	344	753	160	83	35	2	2	7	337
45° R 0.94	22/03	15	26	64	124	140	124	125	116	65	28	14	4	2	5	76
	22/06	1	7	14	22	28	31	27	24	15	7	1	11	0	0	16
	22/12	63	110	138	154	332	916	363	162	147	118	61	0	2	9	233

Legenda:  abaixo 50 lx  entre 50 e 99 lx  acima 100 lx

A Tabela 23 mostra que a totalidade dos modelos simulados atingiu valores superiores ao mínimo considerado para esta pesquisa, 50lx, sendo novamente o modelo na latitude 0° o que apresenta a maior quantidade de horas úteis

Iluminâncias superiores aos 100 lx podem ser observadas predominantemente entre 10h e 14h (45% do total das horas analisadas), sendo o modelo 0°R0.94 o que concentra o maior número de horas com estes valores.

A altura solar uma vez mais aparece como uma variável determinante no desempenho final do sistema, sendo o dia 22/12 para todas as latitudes o que tem a maior quantidade de horas úteis, e o mês de junho o pior (22/06).

3.2.3.1.2 Coefficiente de reflexão 0.7.

Tabela 24. Comparação das horas úteis dos sistemas simulados nas latitudes 0°, -23° e -45°, para céu claro (CIE 15) e refletância 0.7.

CÉU 15_0.7													horas úteis			média dia
modelo	data	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	<50	50 - 99	>100	
0° 0.94	R 22/03	6	13	24	36	76	164	88	34	21	13	8	8	2	1	44
	22/06	5	9	16	31	20	41	22	17	14	10	6	11	0	0	17
	22/12	10	41	102	135	188	401	168	232	108	43	11	4	0	7	131
23° 0.94	R 22/03	5	8	27	106	50	71	54	61	25	9	5	7	3	1	38
	22/06	2	5	9	7	13	14	13	8	8	5	2	11	0	0	8
	22/12	9	18	63	341	306	438	168	314	54	20	9	4	2	5	158
45° 0.94	R 22/03	4	6	12	31	29	34	29	30	14	6	4	11	0	0	18
	22/06	0	2	4	5	7	8	7	5	4	2	0	11	0	0	4
	22/12	12	25	27	47	169	495	144	46	29	25	12	8	0	3	93

Legenda:  abaixo 50 lx  entre 50 e 99 lx  acima 100 lx

Em relação ao modelo com refletância do duto 0.94, observa-se na Tabela 24 uma diminuição do horário útil do sistema para todas as latitudes onde estes foram simulados. Iluminâncias superiores aos 50lx são observadas num período máximo de tempo, entre 09h e 15h, representando 54% do total do horário analisado.

O modelo simulado na latitude 45° apresenta o pior desempenho, sendo somente observados níveis de iluminâncias úteis no período de 11h e 13h no mês de dezembro. Os restantes dias simulados nesta latitude não apresentam iluminâncias médias superiores ao mínimo.

Os modelos na latitude 0° e 23° apresentam similar desempenho entre eles, com iluminâncias superiores ao mínimo nos meses de março e dezembro e ausência destas no mês de junho.

3.2.3.2 Variação Percentual das Iluminâncias Médias, segundo Refletâncias do Duto para Céu Claro (CIE15).

Tabela 25. Decréscimo percentual das iluminâncias médias do duto com refletância 0,7 em relação ao duto com refletância 0,94 para latitudes 0°, -23° e -45°, céu claro (CIE15).

		CÉU 15			
		média dia 0.94	média dia 0.7	%	média %
0°	22/03	189	44	76,7	73
	22/06	126	17	86,2	
	22/12	299	131	56,3	
23°	22/03	144	38	73,4	70
	22/06	45	8	82,8	
	22/12	337	158	53,1	
45°	22/03	76	18	76,2	70
	22/06	16	4	74,1	
	22/12	233	93	59,9	

No caso dos modelos simulados sob condições de céu tipo 15, a menor variação média de desempenho entre sistemas de dutos com refletâncias 0,7 e 0,94 é observada na latitude 45° e 23°, (70%), e a maior na latitude 0° (73%).

Do mesmo modo que os modelos simulados sob condições de céu 10, o melhor desempenho ou a menor variação entre sistemas, é observado em dezembro (22/12), em todas as latitudes simuladas (ver Tabela 25).

3.2.3.3 Distribuição no Plano de Trabalho.

Tabela 26: Número de horas úteis para cada ponto do plano de trabalho, em junho (22/06) e dezembro (22/12), céu claro (CIE 15).

		CÉU 15																																		
		0.7 junho				0.94 junho				0.7 dezembro				0.94 dezembro																						
0°	11	0	0	11	0	0	11	0	0	4	3	4	4	2	5	5	5	1	7	4	0	4	3	4	5	1	5	1	4	6	1	1	9	2	1	8
	10	0	1	11	0	0	11	0	0	3	4	4	4	4	3	4	4	3	7	4	0	2	4	5	5	2	4	1	3	7	1	1	9	2	2	7
	10	0	1	11	0	0	11	0	0	4	3	4	4	3	4	5	5	1	7	3	1	4	3	4	4	3	4	2	3	6	2	0	9	2	2	7
23°	11	0	0	11	0	0	11	0	0	5	5	1	7	3	1	8	3	0	9	2	0	5	5	1	4	5	2	2	2	7	2	2	7	2	2	7
	11	0	0	11	0	0	11	0	0	6	3	2	7	3	1	8	3	0	4	7	0	5	3	3	4	4	3	0	3	8	2	2	7	2	2	7
	11	0	0	11	0	0	11	0	0	5	5	1	7	4	0	9	2	0	6	5	0	5	3	3	4	6	1	5	5	1	2	1	8	2	2	7
45°	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	8	3	0	7	2	2	10	1	0	0	6	5	0	3	8	0	2	9
	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	10	1	0	11	0	0	7	1	3	6	5	0	7	1	3	0	3	8	0	3	8	0	2	9
	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0	8	0	3	11	0	0	1	4	6	0	2	9	0	5	6

Observam-se horas úteis para todos os modelos com refletâncias 0,94, em ambos os dias. Nos modelos com refletância 0,7 observam-se horas úteis só em dezembro para as três latitudes simuladas.

Neste padrão de céu, a maior contribuição de iluminâncias provém da componente direta do sol, sendo determinante na distribuição das horas úteis no ambiente a altura solar a partir da qual o fluxo luminoso interage com o sistema e a configuração do duto.

No mês de junho observa-se uma heterogênea distribuição das iluminâncias no plano de trabalho, sendo localizadas áreas com maior quantidade de horas úteis na zona Sul da sala (modelos 0° e 23°). As numerosas reflexões do fluxo luminoso no interior do sistema poderiam gerar esses padrões de distribuição.

Por sua vez, no mês de dezembro o fluxo luminoso procede de uma altura solar que permitirá diminuir ao mínimo a incidência da reflexão interna no padrão de distribuição das iluminâncias, sendo observado, para quase todos os modelos, que a maior quantidade de horas úteis é localizada na área Centro-Norte do ambiente (na direção da inclinação do sistema). Este padrão só muda no modelo 45°R0.7, onde o comprimento de 1,0 m padronizado para todos modelos, nesta latitude geraria um maior quantidade de reflexões internas nesse mês (Figura 34).

3.2.3.4 Distribuição nos Eixos Característicos do Ambiente

Tabela 27: Médias das iluminâncias dos pontos simplificados, nos modelos simulados sob condições de céu claro (CIE 15) nos meses de junho (22/06) e dezembro (22/12).

CÉU 15													
Junho 22_06							Dezembro 22_12						
latitude 0°		latitude 23°		latitude 45°			latitude 0°		latitude 23°		latitude 45°		
0°R0.7	0°R0.94	23°R0.7	23°R0.94	45°R0.7	45°R0.94	0°R0.7	0°R0.94	23°R0.7	23°R0.94	45°R0.7	45°R0.94		
pa	22	231	8	53	4	16	pa	40	111	40	92	85	223
pb	14	86	9	45	5	17	pb	105	311	272	585	116	257
pc	15	61	7	38	4	15	pc	247	476	162	335	80	220
	0°R0.7	0°R0.94	23°R0.7	23°R0.94	45°R0.7	45°R0.94		0°R0.7	0°R0.94	23°R0.7	23°R0.94	45°R0.7	45°R0.94
pa'	18	146	7	44	4	15	pa'	94	250	119	262	83	143
pb'	21	136	10	48	5	17	pb'	156	332	226	440	148	333
pc'	14	97	7	44	3	16	pc'	142	316	130	309	49	223

Segundo a Tabela 27, foram realizados os seguintes gráficos, representando a variação das iluminâncias nas seções A-A' (pa,pb,pc) e B-B' (pa',pb',pc').

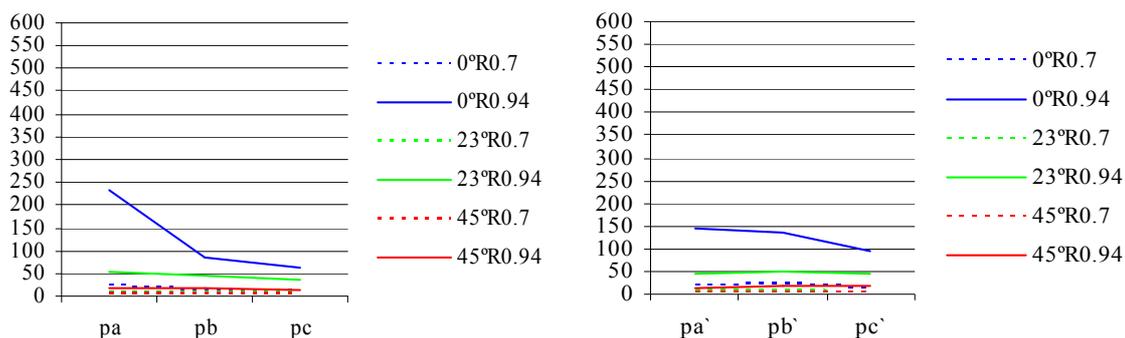


Gráfico 11: Corte esquemático da distribuição das iluminâncias por pontos simplificados, nos eixos A-A' e B-B' em junho (22/06).

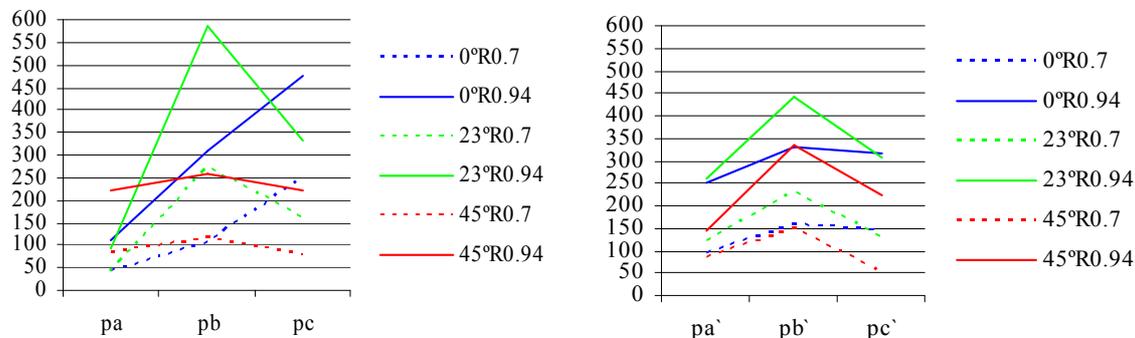


Gráfico 12: Corte esquemático da distribuição das iluminâncias por pontos simplificados, nos eixos A-A' e B-B' em dezembro (22/12).

Similar comportamento ao dos modelos simulados sob condições de céu 10 pode-se observar nos gráficos 11 e 12, existindo um aumento das iluminâncias médias por ponto simplificado em ambos os dias analisados.

Isso implicaria um aumento nas diferenças observadas entre os pontos analisados para ambas as seções de estudo. Porém essas diferenças não superam as referidas nesta pesquisa.

Tabela 28: Variações percentuais entre pa, pc e pb , pa`,pc` e pb` nos modelos simulados sob condições de céu claro (CIE 15) nos meses de junho (22/06) e dezembro (22/12).

CÉU 15													
	Junho 22_06							Dezembro 22_12					
	latitude 0°		latitude 23°		latitude 45°			latitude 0°		latitude 23°		latitude 45°	
	R0.7	R0.94	R0.7	R0.94	R0.7	R0.94		R0.7	R0.94	R0.7	R0.94	R0.7	R0.94
pa	58,0	170,0	-15,2	17,1	-14,1	-9,4	pa	-61,7	-64,2	-85,4	-84,3	-26,7	-13,5
pc	8,7	-28,2	-23,8	-17,0	-20,0	-11,1	pc	135,4	53,0	-40,4	-42,8	-30,6	-14,7
pa`	-13,2	6,8	-27,2	-9,4	-19,7	-15,6	pa`	-39,5	-24,7	-47,1	-40,4	-43,4	-57,0
pc`	-34,2	-29,1	-30,2	-9,4	-33,7	-6,8	pc`	-8,7	-5,0	-42,5	-29,9	-66,5	-33,0

O máximo decréscimo observado localiza-se no mês de dezembro (22/12), 85,4% para o modelo 23°R0.7, e o máximo acréscimo de 170% , no mês de junho (22/06) para o modelo 0°R0.94 (Tabela28).

4. CONCLUSÕES

A seguinte seção apresenta as principais conclusões obtidas através do trabalho de análise comparativo do desempenho luminoso dos modelos propostos nesta pesquisa.

A estrutura da apresentação das conclusões dá-se por meio da relação destas com os a estrutura de apresentação dos resultados.

- a) Distribuição horária das iluminâncias e desempenho segundo dia analisado.
- b) Variação de desempenho luminoso segundo coeficiente de refletividade do sistema.
- c) Distribuição de iluminâncias no plano de trabalho.
- d) Distribuição de iluminâncias nos eixos característicos da sala.

a) Distribuição Horária e Desempenho segundo Dia Analisado.

Pode-se concluir que os modelos analisados atingem um número maior de horas úteis na medida em que esses são simulados mais próximos do Equador, assim como nos horários mais próximos do meio dia.

Os modelos simulados na latitude 0° apresentam os melhores desempenhos para todas as condições de céu e refletâncias propostas, com valores de iluminâncias predominantemente no intervalo entre os 100 e 200 lx. Por sua vez o pior desempenho é observado para os modelos simulados na latitude 45° .

É observado nas primeiras etapas de análise que entre os dias simulados os que apresentam um menor desempenho luminoso é o solstício de inverno (22/06) para todas as latitudes e condições de céu, com exceção do modelo simulado na latitude 0° e céu coberto. Neste modelo são observados valores similares no solstício de inverno e verão (22/06, 22/12), resultados que confirma a importância da latitude e a consequente trajetória solar, além do padrão de distribuição de iluminâncias na abobada celeste, resultante do tipo de céu adotado.

Corroborando o que foi anteriormente sinalado, pode se concluir que o tipo de céu adotado nas simulações determina o intervalo de tempo em que o sistema conferirá iluminâncias suficientes no ambiente.

Para modelos simulados sob condições de céu encoberto (CIE5), estas contribuições limitam-se no melhor dos casos a um 38% do total do horário simulado, tendo um aumento de até um 100% para modelos sob condições de céu parcialmente nublado (CIE10) e claro (CIE15).

b) Variação de Desempenho Luminoso segundo Coeficiente de Refletividade do Sistema

As maiores variações médias de desempenhos entre sistemas com refletâncias, ocorreram nos modelos de latitude 0° e céu claro (CIE15), alcançando uma diferença de até um 73% (Tabela 26). Isso condiz com a configuração dos dutos nas simulações e a conseqüente incidência no aumento do número de reflexões internas no sistema, nos meses em que a altura solar é menor e a inclinação do duto é contrária em relação com a trajetória solar. A refletância do material da superfície interna do duto gera perdas de forma exponencial, sendo muito maior aquelas geradas nos modelos com refletância 0,7.

Reafirmando a análise anterior, o coeficiente de céu determina a maior ou menor variação de desempenhos, observando-se que naqueles em que a componente direta do Sol interage de forma predominante com o sistema através de reflexões internas - céu parcialmente nublado (CIE10) e céu claro (CIE15) as variações serão maiores.

c) Distribuição de Iluminâncias no Plano de Trabalho

Quanto à distribuição das horas úteis no plano de trabalho analisado, verifica-se mais uma vez, que a presença da componente solar direta - própria dos tipos de céus adotados -

interagindo com o sistema de iluminação, determinará o padrão de distribuição das iluminâncias no ambiente. Naqueles modelos simulados sob condições de céu encoberto (CIE5), e na ausência total desta componente, a distribuição ocorre do modo esperado, situando os maiores valores de iluminância imediatamente abaixo da saída do sistema, e os menores nos extremos da sala. Logo, nos modelos simulados sob condições de céu parcialmente nublado (CIE10) e claro (CIE15), esse padrão de distribuição muda, apresentando uma distribuição heterogênea em junho e com um padrão de maior direcionamento em dezembro, data na qual o fluxo luminoso ingressa quase sem interagir com o sistema no ângulo e na direção com que foi configurado o canal.

d) Distribuição de Iluminâncias nos Eixos Característicos da Sala

A distribuição nos eixos característicos apresenta uma tendência similar ao padrão de distribuição das iluminâncias no plano de trabalho, apresentando um maior direcionamento em dezembro (22/12).

A variação de iluminância média entre pontos que compõem os eixos, não superam em nenhum dos modelos uma variação negativa superior ao 90% e positiva superior ao 900%, percentagem máxima adotada como parâmetro de análise.

Segundo os pontos desenvolvidos anteriormente, é fatível concluir que:

- O desenho e a inclinação propostos para os dutos de luz, funcionam do modo previsto, excluindo a incidência da radiação solar no interior do ambiente que pode gerar uma grande variação na distribuição das iluminâncias com conseqüências negativas no conforto visual e térmico dos usuários. A inclinação proposta gera, porém, uma grande diminuição do potencial luminoso de até um 73%, do duto de luz com refletância 0,7 em relação ao duto com refletância 0.94, pelo aumento das reflexões internas no sistema.

- Valores acima dos indicados pela norma para iluminação de ambientes referida nesta pesquisa são atingidos quase na totalidade dos modelos propostos, sendo os melhores desempenhos nos modelos simulados nas latitudes mais próximas do Equador (maiores alturas solares e índices de radiação). São observados em dutos com refletância 0,94 valores acima dos 100 lx, predominantemente. Já nos modelos com índice de reflexão 0,7, os valores situam-se abaixo dos 100lx, mostrando-se deficitário sob condições de céu encoberto (CIE5). A utilização em dutos de luz de materiais alternativos e de baixo custo (refletância 0,7), segundo o que foi observado nesta pesquisa, mostra um desempenho modesto, limitando-se seu uso a condições de céu parcialmente nublado e claro. Além disso, um grande período do ano fica sob os níveis mínimos sugeridos de iluminâncias para ambientes de habitações.

- Os modelos em que foram observados níveis suficientes de iluminância média para a realização de atividades domésticas permitem supor uma economia mínima de 38% no relativo ao custo econômico da energia utilizada em iluminação artificial para os dias analisados além duma possível melhora na qualidade ambiental das habitações populares para a população de baixa renda.

5 Limitações do Trabalho

Algumas limitações são:

- Segundo as características dos sistemas simulados e o objetivo proposto (iluminação natural e mínima inversão econômica), não foram simulados elementos anexos que permitissem melhorar o desempenho em modelos em que a proteção do ambiente da incidência de radiação solar direta determina a inclinação do eixo do sistema.
- Optou-se por uma redução de pontos no ambiente a serem analisados a fim de otimizar os tempos de processamento e leitura de resultados. Isso poderia diminuir a possibilidade de pesquisar mais detalhadamente fenômenos luminosos decorrentes sobretudo da interação da radiação solar direta com o sistema.
- Não foi avaliado o efeito de possíveis obstruções externas ao ambiente, próprias de assentamentos urbanos o que poderia gerar acréscimos ou decréscimos dos valores de iluminâncias obtidos nesta pesquisa.
- Não foi avaliada a diminuição no desempenho gerada pelo acúmulo de pó nas superfícies vidradas horizontais (catadores do sistema de iluminação).
- Só foi considerado um índice de reflexão para o entorno, sendo desconsideradas as diferenças culturais relativas ao uso de cores e materiais utilizados nas edificações próprias de assentamentos em diversas latitudes.

6 Sugestões para Trabalhos Futuros

A partir das conclusões assinaladas e das limitações de trabalho declaradas, são sugeridas as seguintes questões para um futuro trabalho:

- Estudo da incidência do índice de reflexão do entorno, adotando-se padrões de cores e materiais característicos das localidades.
- Estudos do efeito dos coeficientes de reflexão interna, gerando variações nos coeficientes de parede, piso e principalmente teto.
- Realização de um estudo econômico visando analisar a redução de custos decorrente da menor utilização de energia elétrica em consequência da utilização dos dutos.
- O efeito térmico nos ambientes gerado pela utilização de dutos de luz e a incidência de radiação solar direta.
- Estudo de sistemas de iluminação avançados de baixo custo em climas tropicais associados a sistemas de ventilação passiva.

7. BIBLIOGRAFIA

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Iluminação de interiores** (NBR 5413) ABR 1992. ABNT, 1992.
- BAKER, Nick; STEEMERS, Koen. **Daylight Design of Buildings: A Handbook for Architects and Engineers**. London: James & James, 2002.
- CABÚS, Ricardo. **Análise do desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital em função da distribuição de iluminâncias**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.
- CABÚS, Ricardo C.; PEREIRA, F. O. R. **Avaliação através de método gráfico da distribuição de iluminâncias em ambientes**. IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Salvador., 1997, p. 328-332.
- CABÚS, Ricardo C. **Tropical daylighting: predicting sky types and interior illuminance in north-east Brazil**. (PhD). Architecture, University of Sheffield, Sheffield, 2002.
- CABÚS, Ricardo C. **Validação do programa TropLux**. Anais ENCAC-ELECAC, Maceió, 2005.
- _____. **TropLux – Manual do Usuário**. 4a ed. Maceió: Grilu, 2006.
- _____. **Software: TropLux, versão 3.04beta**. Maceió: Grillu. 2007.
- _____. **Software: TropSolar, versão 3.05**. Maceió: Grilu, 2007.
- CARTER, DJ. **The measured and predicted performances of passive solar light-pipe systems**. Light Research Technology, nº 34, 1, 2002. pág.39–52.
- CORDEIRO A.; SZÜCS C. **Avaliação Funcional de Habitações Autoconstruídas – Um Estudo de Caso em Maceió – Al**. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo. Belo Horizonte, v. 10, n. 11, p. 57-78, dez. 2003.
- CORDEIRO A. **A qualidade funcional da habitação popular na favela “Loteamento Novo Horizonte”**. Universidade Federal de Alagoas, CTEC, Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Trabalho final de Graduação. Maceió, 2002.
- COSTA, Antonio Luiz M. C. **Planeta Favela**. Revista Carta Capital, p. 11-15, 10 Maio 2006.
- DUCCI, María Elena. **Chile: El lado oscuro de una política de vivienda exitosa**. Revista EURE, vol. XXIII, nº69. Santiago de Chile: Julio, 1997.
- ELMUALIM, A A., SMITH S., RIFFAT S. B., SHAO L. **Evaluation of dichroic material for enhancing light pipe/natural ventilation and daylighting in an integrated system**. Institute of Building Technology. University of Nottingham, School of the Built Environment, Nottingham NG7 2RD, UK Accepted 28 February 1999. **Applied Energy** nº62 p.253-266, 1999.

- FERNÁNDEZ, María Victoria; EVANS, John Martín. **Sistemas innovativos para el direccionamiento de luz natural películas holográficas y lumiductos.** ASADES, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 6, nº 2, 2002. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.
- GARROCHO, J.; AMORIM, C. **Sistemas e tecnologias para uso da luz natural em aberturas zenitais.** Anais ENCAC-ELACAC, 2005.
- HOPKINSON, R.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação Natural.** London: William Heinemann Ltda, 1975.
- JENKINS, D.; MUNEER, T. Light-pipe prediction methods. **Applied Energy**, nº 79, 2004. pág.77–86.
- JENKINS, D.; MUNEER, T. **Modelling light-pipe performances – a natural daylighting solution.** Building and Environment, nº 38, 2003. pág. 965 – 972.
- JENKINS, D.; MUNEER, T.; KUBIE, J. **A design tool for predicting the performances of light pipes.** Energy and Buildings, nº 36, 2004. pág. 1163–1176.
- JENKINS, D.; ZHANG, X.; MUNEER, T. **Formulation of semi-empirical models for predicting the illuminance of light pipes.** Energy Conversion and Management, nº 46, 2005, p. 2288–2300.
- KOCIFAJ M. **Analytical solution for daylight transmission via hollow light pipes with a transparent glazing.** Solar Energy Volume 83, Issue 2, February 2009, Pages 186-192
- LAM, William M. C. **Sunlighting as a formgiver for architecture.** New York, USA: VNR Comp., 1986.
- LAOUADI, A.; ATIF, M.R. **Prediction models of optical characteristics for domed skylights under standard and real sky conditions.** A version of this paper is published in / Une version de ce document se trouve dans : 7th International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, Brazil, August 13-15, 2001, pág.1101-1108
- LAOUADI, A. **Design insights on tubular skylights.** Lighting, v. 25, no. 1, 2005. pág. 38-41.
- LEDER, S.; PEREIRA, F. O. R. **Elementos de controle da luz solar direta: análise do desempenho em aberturas zenitais.** In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de conforto no ambiente construído. Anais do IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de conforto no ambiente construído. Fortaleza, CE, 8p. 1999.
- LYNES, J. A. **Principles of natural lighting.** London: Elsevier Publishing Company LTD, 1968, 207p.
- MASCARÓ, Lúcia R. D. **Luz, clima e arquitetura.** São Paulo: Nobel, 1983.

- MASCARÓ, Lúcia R. D. **Energia na Edificação, estratégia para minimizar o consumo.** São Paulo, 1985.
- MARICATO, E. **Na periferia do mundo globalizado.** In: MARICATO, E. Brasil, cidades alternativas para a crise urbana. Petrópolis: Vozes, 2001, p. 15-45.
- MILANEZ, Álvaro. **A higiene na habitação.** Rio de Janeiro, 1967, p.27-42.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO, División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional. **Sistema Medición Satisfacción Beneficiarios Vivienda Básica: Síntesis Del Informe De Consultoría INVI – FAU – UCH.** Santiago de Chile, 2002, p. 208.
- MOORE, Fuller. **Concepts and practice or architectural daylighting.** New York: VNR Comp., 1985.
- MURGUIA, SAN MARTIN. **Efectos no Ópticos de la Luz Sobre el Ser Humano.** Revista Luces CEI, 2002.
- OLGAY; OLGAY. **Solar control and shading devices.** Princeton University, USA.1957.
- OLIVEIRA, A.; SILVA, A.; CLITO, A.; SZABOLCS, V. **Experimental and numerical analysis of natural ventilation with combined light/vent pipes.** Applied Termal Engeeniring, nº 21, 2001, p. 1925-1936.
- OGUC. **Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones 2007.** Artículo 5.1.11, Capitulo 1. Ministerio de Vivienda e Urbanismo. Chile. Disponível em <<http://www.minvu.cl>>. Acesso em: 29 de março de 2007.
- PARONCINI, M.; CALCAGNI, B.; CORVARO, F. **Monitoring of a light-pipe system. Dipartimento di Energetica, Universita Politecnica delle Marche, Ancona, Italia.** Solar Energy, Volume 81, Issue 9, September 2007, Pages 1180-1186, 2007.
- PATTINI, A.; MITCHELL, J.; FERRÓN, L. **Diseño de lumiductos de bajo costo para vivienda bioclimática unifamiliar.** Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 7, Nº 1, 2003. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.
- PEREIRA, FERNANDO O. R. **Luz solar direta: tecnologia para melhoria do ambiente lumínico e economia de energia da edificação.** In: II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1993, Florianópolis. Anais do II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Florianópolis: ANTAC: ABERGO: SOBRAC, 1993, p. 257-267.
- PHILLIPS, Derek. **Daylighting: Natural Light in Architecture.** Oxford: Architectural Press, 2004.
- PREFEITURA DA CIDADE DE MACEIÓ. **Código de Edificações da cidade de Maceió-AL, Lei nº 5354, 16 de janeiro de 2004.** Institui o Código de Edificações de Maceió compreendendo os objetivos, diretrizes e demais disposições desta Lei. Plano Diretor de Maceió. Maceió, 2004.

- PUPPO, Ernesto; PUPPO, Giorgio Alberto. **Acondicionamiento natural y arquitectura, ecología en arquitectura**. Barcelona: Marcombo S.A., 1972.
- ROBBINS, Claude L. **Daylighting: design and analysis**. New York: Van Nostrand Reinhold C.L, 1986.
- SARMIENTO, Pedro. **Energía Solar en Arquitectura y Construcción**. Viña del Mar: INGESOL Ltda., 1999.
- SERRA, Rafael. **Daylighting**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Chapter 6, vol. 2, 1998. p. 115-155.
- SERRANO P. ARTESOL. **Energía Solar Para Todos**. Con-Con, 1991, 145p.
- SHAO, L.; RIFFAT, S. B.; HICKS, W.; YOHANNES, I. **A Study of Performance of Light Pipes Under Cloudy and Sunny Conditions in the UK**. Institute of Building Technology, University of Nottingham, Nottingham NG7 2RD. Right Light, nº4, UK.1997.
- SURAPONG CH., SIRIWAT CH., LIU R. **Daylighting Through Light Pipes in the Tropics**. Energy Program, Asian Institute of Technology, G.P.O. Box 4, Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand. Solar Energy, Vol. 69, No. 4, pp. 331–341, 2000
- SWIFT PD.; SMITH G.B. **Cylindrical mirror light pipes**. Solar Energy Materials and Solar Cells, nº36, 1994, p. 159-168.
- SWIFT PD.; LAWLOR R.; SMITH G.B.; GENTLE A. **Rectangular-section mirror light pipes**. Solar Energy Materials and Solar Cells, nº 92, 2008, p. 969– 975.
- TREGENZA P. LOE D. **The design of lighting**. 1998.
- VIANNA, Nelson Solano; GONÇALVES, Joana Carla S. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Geros Arquitetura Ltda, 2004.
- WEBB, A. **Considerations for lighting in the built environment: Non visual effects of light**. Energy and Buildings, nº 38, 2006, p.721–727.
- ZHANG X, MUNEEER T. **A mathematical model for the performance of light-pipes**. Lighting Res Technol, 2000; 32: p. 141-146.
- ZHANG, X.; MUNEEER, T. **A design guide for performance assessment of solar light-pipe**. Light. Research Technology, nº 34,2, 2002, p.149–69.

APÊNDICE A- RESUMO DE TABELAS DE ILUMINÂNCIAS.

Tabelas 31: Valores de iluminâncias médias/ por pontos e horas úteis para modelos latitude 0° e céu parcialmente nublado (CIE10).

Latitude 0°_ Céu 10_ 22 Março																					
R 0.7											R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	13	10	5	18	14	5	12	9	4	10	7h	32	40	27	36	49	34	31	37	25	35
8h	25	19	15	36	28	12	23	18	9	20	8h	72	82	130	76	105	116	68	79	62	88
9h	40	34	17	56	43	31	36	36	14	34	9h	116	172	137	123	174	173	107	156	83	138
10h	61	58	26	77	65	28	53	48	20	48	10h	169	271	145	202	238	157	170	286	124	196
11h	77	67	33	113	103	40	80	122	49	76	11h	217	257	136	209	418	162	234	516	191	260
12h	87	94	32	120	529	32	87	109	48	127	12h	249	352	149	282	1158	177	240	356	131	344
13h	67	279	29	99	76	31	72	67	26	83	13h	205	1261	136	225	293	159	179	295	166	324
14h	52	53	27	75	63	56	54	41	19	49	14h	143	259	230	180	241	364	163	219	131	215
15h	39	33	15	56	48	23	42	30	20	34	15h	110	151	84	121	197	175	118	164	161	142
16h	24	18	9	36	30	12	26	19	16	21	16h	64	86	58	77	112	139	70	90	145	93
17h	13	9	4	18	15	5	13	9	5	10	17h	30	39	26	38	50	34	33	39	26	35
média P	45	61	19	64	92	25	45	46	21	47	média P	128	270	114	143	276	154	128	203	113	170
<50	6	6	11	4	6	10	6	8	11			2	2	2	2	1	2	2	2	2	
50 - 99	5	4	0	5	3	1	5	1	0			2	2	2	2	1	0	2	2	2	
>100	0	1	0	2	2	0	0	2	0			7	7	7	7	9	9	7	7	7	

Latitude 0°_ Céu 10_ 21 Junho																					
R 0.7											R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	11	8	4	16	12	4	10	7	4	8	7h	26	34	22	32	41	27	26	31	21	29
8h	20	15	9	29	23	8	20	14	8	16	8h	51	69	48	61	80	58	56	61	43	59
9h	38	22	12	41	32	14	30	23	15	25	9h	110	105	79	97	118	96	81	95	136	102
10h	36	29	15	54	41	25	33	28	80	38	10h	102	148	107	128	153	148	106	124	933	217
11h	42	37	18	60	45	20	40	33	34	37	11h	123	192	110	159	186	162	122	168	365	176
12h	44	39	20	62	48	130	41	38	18	49	12h	129	198	126	170	217	1088	130	171	162	266
13h	41	35	33	62	49	22	42	38	19	38	13h	117	170	389	160	197	190	127	190	119	184
14h	35	40	15	54	44	17	36	31	15	32	14h	105	191	148	116	161	111	99	172	114	135
15h	29	22	14	42	33	15	38	23	12	25	15h	77	96	122	95	131	82	107	102	84	100
16h	20	15	7	31	23	9	21	16	10	17	16h	50	68	45	65	83	58	56	64	49	60
17h	10	8	4	16	12	5	11	8	4	9	17h	26	33	22	32	42	29	27	32	22	30
média P	30	25	14	42	33	24	29	24	20	27	média P	83	119	111	101	128	186	85	110	186	123
<50	11	11	11	6	11	10	11	11	10			3	2	4	2	2	2	2	2	4	
50 - 99	0	0	0	5	0	0	0	0	1			2	3	1	4	2	4	4	3	1	
>100	0	0	0	0	0	1	0	0	0			6	6	6	5	7	5	5	6	6	

Latitude 0°_ Céu 10_ 21 Dezembro																					
R 0.7											R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	14	11	6	19	15	5	12	9	4	11	7h	34	43	26	38	51	33	32	37	23	35
8h	31	31	12	44	42	13	27	51	11	29	8h	77	129	60	85	140	70	73	79	58	86
9h	54	188	22	70	123	21	60	41	21	67	9h	157	636	96	163	392	108	160	155	81	216
10h	135	68	45	254	97	45	134	56	43	97	10h	209	233	113	549	262	154	243	284	118	241
11h	547	67	39	167	97	48	126	71	55	135	11h	985	231	140	330	259	171	224	511	142	333
12h	152	91	67	1413	142	68	149	105	70	251	12h	271	273	169	2336	314	193	302	353	143	484
13h	114	96	55	176	87	50	416	88	46	125	13h	246	227	121	273	296	159	1150	293	140	323
14h	743	51	38	119	127	33	91	54	35	143	14h	1362	189	101	240	330	121	210	218	109	320
15h	55	42	21	80	132	21	59	197	22	70	15h	142	162	89	182	408	93	160	163	91	166
16h	30	62	10	44	42	12	33	26	12	30	16h	82	213	56	91	139	67	81	90	54	97
17h	13	10	5	20	16	6	14	10	5	11	17h	32	41	27	39	52	41	35	39	26	37
média P	172	65	29	219	83	29	102	65	29	88	média P	327	216	91	393	240	110	243	202	90	212
<50	4	4	9	4	4	9	4	4	9			2	2	2	2	0	2	2	2	2	
50 - 99	2	6	2	2	3	2	3	5	2			2	0	4	2	2	3	2	2	4	
>100	5	1	0	5	4	0	4	2	0			7	9	5	7	9	6	7	7	5	

Tabelas 32: Valores de iluminâncias médias / por pontos para modelos latitude 0° e céu claro (CIE15).

Latitude 0° Céu 15 22 Março																					
R 0.7											R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	7	7	6	9	10	4	6	5	3	6	7h	20	31	44	23	32	37	19	33	26	29
8h	11	11	23	16	13	13	12	10	5	13	8h	62	51	297	49	74	211	56	62	69	104
9h	21	26	15	27	20	46	19	36	10	24	9h	93	180	187	85	128	243	77	165	70	136
10h	43	54	25	38	44	29	33	45	17	36	10h	148	294	152	179	180	155	150	364	126	194
11h	59	58	33	82	102	46	69	172	65	76	11h	205	219	117	143	476	143	231	742	230	278
12h	71	110	31	83	872	28	76	140	61	164	12h	249	397	143	256	1806	163	227	414	107	418
13h	39	464	28	53	49	27	48	62	22	88	13h	179	2125	129	167	239	136	124	309	173	398
14h	25	51	30	32	32	82	25	21	12	34	14h	100	298	341	129	167	571	125	205	129	229
15h	22	25	12	24	24	27	21	17	21	21	15h	88	139	74	71	164	251	87	172	250	144
16h	10	9	6	15	15	12	13	10	27	13	16h	44	67	58	46	84	287	48	90	349	119
17h	20	6	3	8	9	4	9	6	6	8	17h	17	26	22	27	35	32	21	31	29	27
média P	30	75	19	35	108	29	30	48	23	44	média P	110	348	142	107	308	203	106	235	142	189
<50	9	6	11	8	9	10	9	8	9			3	2	2	4	2	2	3	2	2	
50 - 99	2	3	0	3	0	1	2	1	2			4	2	2	2	2	0	3	2	2	
>100	0	2	0	0	2	0	0	2	0			4	7	7	5	7	9	5	7	7	

Latitude 0° Céu 15 21 Junho																					
R 0.7											R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	5	5	3	11	6	2	4	4	3	5	7h	15	25	15	24	25	22	15	20	15	20
8h	9	6	8	10	12	5	13	7	6	9	8h	27	44	41	32	44	50	45	37	35	39
9h	35	9	6	14	14	11	18	16	16	16	9h	128	65	65	68	64	92	53	61	229	92
10h	14	12	9	22	18	29	12	15	151	31	10h	62	106	86	88	85	164	68	77	1875	290
11h	19	22	13	21	16	12	17	17	46	20	11h	83	161	82	120	117	161	78	131	598	170
12h	18	24	16	21	19	223	15	22	11	41	12h	87	167	117	131	163	1927	83	118	179	330
13h	16	20	43	25	21	17	19	24	14	22	13h	70	132	650	119	135	215	84	164	87	184
14h	11	39	10	21	21	9	13	16	8	17	14h	68	214	203	59	93	81	49	167	94	114
15h	13	11	14	16	13	12	33	11	8	14	15h	45	55	196	57	84	54	112	67	77	83
16h	10	8	4	19	10	7	12	12	11	10	16h	25	47	41	42	45	49	37	39	47	41
17h	5	4	5	11	9	4	6	6	5	6	17h	19	23	25	20	28	37	17	23	20	23
média P	14	15	12	17	14	30	15	14	25	17	média P	57	94	138	69	80	259	58	82	296	126
<50	11	11	11	11	11	10	11	11	10			5	4	4	4	4	3	5	4	4	
50 - 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0			5	2	3	4	4	4	5	3	3	
>100	0	0	0	0	0	1	0	0	1			1	5	4	3	3	4	1	4	4	

Latitude 0° Céu 15 21 Dezembro																					
R 0.7											R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	11	14	9	13	12	7	9	8	4	10	7h	32	50	34	31	46	42	30	42	25	37
8h	27	50	15	37	59	16	22	131	16	41	8h	67	220	85	69	192	79	69	728	82	177
9h	44	416	28	45	213	24	73	46	27	102	9h	176	1371	118	163	665	117	202	130	85	336
10h	182	84	68	388	102	65	196	63	65	135	10h	204	261	117	888	218	177	295	173	132	274
11h	971	68	46	147	89	62	149	81	79	188	11h	1700	217	150	325	184	187	195	226	157	371
12h	185	113	97	2515	173	97	185	142	104	401	12h	283	291	200	4135	289	219	337	265	152	686
13h	117	129	78	161	72	67	718	113	60	168	13h	248	217	116	202	269	164	2027	211	152	401
14h	1488	48	53	95	171	40	88	56	46	232	14h	2690	172	97	217	385	110	204	203	110	465
15h	53	46	27	66	236	25	53	441	28	108	15h	163	171	105	202	715	83	177	1298	110	336
16h	29	166	11	33	56	14	31	33	17	43	16h	105	536	74	83	189	78	78	180	66	154
17h	9	9	9	14	15	17	11	11	8	11	17h	38	45	67	30	55	151	33	45	37	56
média P	283	104	40	319	109	39	140	102	41	131	média P	519	323	106	577	292	128	332	318	101	299
<50	5	4	7	5	2	7	4	4	7			2	1	1	2	1	1	2	2	2	
50 - 99	1	3	4	2	4	4	3	3	3			1	1	4	2	1	3	2	0	3	
>100	5	4	0	4	5	0	4	4	1			8	9	6	7	9	7	7	9	6	

Tabelas 31: Valores de iluminâncias médias / por pontos e horas úteis para modelos latitude 23° e céu parcialmente nublado (CIE10).

Latitude 23° Céu 10 22 Março																						
R 0.7												R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h	
7h	8	9	5	12	15	8	8	9	5	9	7h	23	29	24	26	34	30	23	28	24	27	
8h	16	19	11	24	29	16	15	17	11	18	8h	54	64	62	55	74	68	50	63	57	61	
9h	26	32	43	38	50	27	26	30	23	33	9h	90	110	243	99	146	118	88	115	111	124	
10h	49	54	101	59	70	247	43	48	30	78	10h	150	158	429	140	171	690	115	149	111	235	
11h	57	61	36	76	91	46	60	50	45	58	11h	174	233	136	216	198	170	168	164	155	179	
12h	60	70	49	84	90	144	52	56	36	71	12h	163	202	154	181	210	486	172	184	180	215	
13h	63	54	41	86	94	45	62	60	39	61	13h	154	162	146	181	221	152	159	232	149	173	
14h	44	41	119	63	73	56	39	53	31	58	14h	144	143	376	136	170	252	151	169	171	190	
15h	27	28	20	38	51	27	28	33	39	32	15h	90	101	108	101	130	109	93	114	232	120	
16h	16	17	12	25	30	16	17	20	11	18	16h	53	59	61	58	76	70	55	64	54	61	
17h	8	9	5	12	15	8	8	10	5	9	17h	23	28	26	27	34	29	24	30	23	27	
média P	34	36	40	47	55	58	33	35	25	40	média P	102	117	160	111	133	198	100	119	115	128	
<50	8	7	9	6	5	8	8	7	11			2	2	2	2	2	2	3	2	2		
50 - 99	3	4	0	5	6	1	3	4	0			4	2	2	3	2	2	3	2	2		
>100	0	0	2	0	0	2	0	0	0			5	7	7	6	7	7	5	7	7		

Latitude 23° Céu 10 21 Junho																						
R 0.7												R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h	
7h	2	2	1	3	4	2	2	2	1	2	7h	6	7	6	7	9	8	6	7	6	7	
8h	8	10	6	13	16	8	8	9	6	9	8h	24	30	27	28	36	31	24	30	25	28	
9h	14	18	10	22	28	13	14	16	11	16	9h	43	60	50	52	65	61	44	61	51	54	
10h	18	22	13	28	34	17	18	21	12	20	10h	58	73	69	67	82	77	54	73	67	69	
11h	22	28	16	34	44	21	22	27	21	26	11h	71	97	93	96	119	103	77	95	89	93	
12h	22	28	17	35	44	26	23	29	20	27	12h	76	107	104	103	118	119	82	94	119	103	
13h	22	27	16	35	42	24	22	26	18	26	13h	75	110	92	99	103	100	70	102	94	94	
14h	18	20	13	28	35	18	19	22	13	21	14h	58	70	69	69	88	71	58	72	66	69	
15h	14	16	10	21	27	14	14	17	10	16	15h	44	54	52	52	64	57	47	56	48	53	
16h	8	9	6	13	16	8	9	10	6	9	16h	25	29	27	29	36	31	24	32	25	29	
17h	2	2	1	3	4	2	2	3	1	2	17h	6	7	7	7	9	8	6	8	6	7	
média P	14	17	10	21	27	14	14	17	11	16	média P	44	59	54	55	66	60	45	57	54	55	
<50	11	11	11	11	11	11	11	11	11			6	4	5	4	4	4	6	4	5		
50 - 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0			5	5	5	6	4	5	5	6	5		
>100	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	2	1	1	3	2	0	1	1		

Latitude 23° Céu 10 21 Dezembro																						
R 0.7												R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h	
7h	15	2	9	21	26	14	13	16	9	14	7h	41	51	46	46	59	56	40	50	42	48	
8h	27	10	17	38	45	27	24	26	18	26	8h	85	97	94	83	110	111	82	89	87	93	
9h	64	18	32	74	73	52	57	81	34	54	9h	176	162	125	132	172	178	174	293	113	170	
10h	353	22	35	106	115	57	68	1039	45	205	10h	838	196	132	208	223	180	183	2011	128	455	
11h	93	28	65	998	299	68	92	101	69	201	11h	166	227	158	1516	543	172	188	210	141	369	
12h	73	28	48	265	1826	63	85	81	53	280	12h	160	208	126	491	3605	164	172	221	126	586	
13h	295	27	44	319	208	58	71	94	48	129	13h	664	179	131	485	538	163	161	231	128	298	
14h	69	20	39	103	117	54	280	84	39	90	14h	182	2287	136	220	235	164	809	211	123	485	
15h	51	16	31	67	78	47	54	54	53	50	15h	157	178	114	151	191	166	178	171	182	165	
16h	26	9	17	39	47	27	27	33	19	27	16h	79	90	94	91	114	96	88	108	91	95	
17h	14	2	10	22	26	14	16	18	9	15	17h	40	50	44	47	59	55	45	53	41	48	
média P	98	17	32	187	260	44	72	148	36	99	média P	235	339	109	315	532	137	193	332	109	256	
<50	4	11	10	4	4	5	4	4	8			2	1	2	2	0	0	2	0	2		
50 - 99	5	0	1	2	2	6	6	5	3			2	3	2	2	2	3	2	3	2		
>100	2	0	0	5	5	0	1	2	0			7	7	7	7	9	8	7	8	7		

Tabelas 31: Valores de iluminâncias médias / por pontos e horas úteis para modelos latitude 23° e céu claro (CIE15).

Latitude 23° Céu 15 22 Março																					
R 0.7											R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	5	6	4	8	8	5	4	6	4	5	7h	23	24	18	18	21	20	17	24	29	22
8h	7	9	7	11	12	9	6	7	8	8	8h	59	52	76	42	57	66	41	60	62	57
9h	16	18	76	19	29	20	17	20	26	27	9h	93	97	471	91	159	120	84	123	139	153
10h	50	48	181	41	42	479	40	43	31	106	10h	177	141	764	129	137	1295	97	137	95	330
11h	56	48	37	57	62	41	60	32	53	50	11h	194	256	114	242	142	158	175	130	161	175
12h	57	63	61	65	49	229	40	39	34	71	12h	163	183	144	156	148	760	171	157	200	231
13h	68	42	48	75	65	40	62	48	40	54	13h	155	127	137	166	187	123	156	261	149	162
14h	40	29	220	46	48	67	28	43	32	61	14h	164	129	651	112	133	358	172	169	225	235
15h	18	17	18	17	29	20	19	20	67	25	15h	92	92	121	89	118	104	93	106	453	141
16h	8	8	10	12	13	10	8	9	7	9	16h	53	45	66	44	65	77	53	50	59	57
17h	4	5	3	7	8	7	6	6	3	5	17h	19	23	23	20	28	23	15	22	18	21
média P	30	27	60	33	33	84	26	25	28	38	média P	108	106	235	101	109	282	98	113	145	144
<50	7	10	7	8	9	8	9	11	9			2	3	2	4	2	2	3	3	2	
50 - 99	4	1	2	3	2	1	2	0	2			4	3	2	2	2	2	4	1	3	
>100	0	0	2	0	0	2	0	0	0			5	5	7	5	7	7	4	7	6	

Latitude 23° Céu 15 21 Junho																					
R 0.7											R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	2	2	1	3	3	2	2	2	1	2	7h	6	8	7	7	9	9	6	7	7	7
8h	4	4	3	5	9	7	3	4	3	5	8h	17	17	24	15	20	23	15	18	19	19
9h	6	12	6	12	17	6	6	6	9	9	9h	34	59	44	45	45	68	34	67	56	50
10h	6	8	5	9	11	6	6	7	5	7	10h	41	42	55	41	40	63	26	48	56	46
11h	9	15	10	13	20	11	9	13	20	13	11h	54	76	89	89	100	101	63	76	86	82
12h	9	13	11	13	14	22	10	15	17	14	12h	58	93	108	95	86	130	69	63	148	94
13h	9	16	9	15	15	18	9	11	13	13	13h	64	115	89	95	61	92	47	92	97	84
14h	7	7	8	9	12	10	7	8	6	8	14h	40	42	56	43	54	43	36	39	54	45
15h	6	8	8	8	11	10	6	8	6	8	15h	37	41	50	41	43	48	44	42	47	44
16h	5	4	3	5	7	6	4	5	3	5	16h	22	17	17	20	22	23	14	26	17	20
17h	2	2	2	3	4	2	2	2	1	2	17h	7	8	8	7	9	9	6	8	7	8
média P	6	8	6	9	11	9	6	7	8	8	média P	35	47	50	45	44	55	33	44	54	45
<50	11	11	11	11	11	11	11	11	11			8	7	5	8	7	6	9	7	5	
50 - 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0			3	3	5	3	3	3	2	4	5	
>100	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	1	1	0	1	2	0	0	1	

Latitude 23° Céu 15 21 Dezembro																					
R 0.7											R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	7	8	6	12	11	10	7	11	6	9	7h	29	40	47	35	38	51	31	44	7	36
8h	19	17	14	24	22	21	18	15	16	18	8h	91	82	112	66	84	116	87	76	19	82
9h	80	47	36	72	44	61	70	116	39	63	9h	234	151	126	111	135	197	231	467	56	190
10h	628	68	32	98	84	57	68	1978	53	341	10h	1482	142	111	200	152	160	184	3762	56	694
11h	98	95	84	1726	387	72	99	106	91	306	11h	125	179	143	2579	676	132	165	164	86	472
12h	58	89	51	337	3141	61	80	61	60	438	12h	109	148	81	632	6211	116	127	171	148	860
13h	474	79	46	452	214	54	57	83	53	168	13h	1054	116	94	645	663	121	112	190	97	344
14h	66	1901	42	85	84	54	480	71	41	314	14h	183	4311	116	211	173	140	1413	173	54	753
15h	53	70	34	51	51	51	52	41	82	54	15h	194	210	101	143	174	186	221	167	47	160
16h	20	17	15	23	25	25	16	23	19	20	16h	78	80	113	79	94	87	87	111	17	83
17h	8	7	9	11	12	11	11	10	6	9	17h	33	43	34	31	36	58	38	39	7	35
média P	137	218	33	263	371	43	87	229	42	158	média P	328	500	98	430	767	124	245	488	54	337
<50	4	5	9	4	5	4	4	5	6			2	2	2	2	2	0	2	2	5	
50 - 99	5	5	2	4	3	7	6	3	5			2	2	2	2	2	3	2	1	5	
>100	2	1	0	3	3	0	1	3	0			7	7	7	7	7	8	7	8	1	

Tabelas 33: Valores de iluminâncias médias / por pontos e horas úteis para modelos latitude 45° e céu encoberto (CIE5).

Latitude 45° Céu 5 22 Março																					
R 0.7												R 0.94									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	3	5	3	5	10	6	3	5	3	5	7h	11	13	10	13	16	14	10	13	11	12
8h	6	10	6	9	19	12	6	9	6	9	8h	20	24	19	23	30	27	19	24	20	23
9h	9	13	9	13	27	16	9	13	9	13	9h	28	33	26	33	43	37	26	33	28	32
10h	10	16	10	16	33	20	11	16	10	16	10h	34	41	32	40	52	45	32	40	34	39
11h	12	18	12	18	36	22	12	18	12	18	11h	37	45	35	44	58	50	35	45	38	43
12h	12	19	12	18	37	23	13	18	12	18	12h	39	47	37	46	60	52	37	46	39	45
13h	12	18	12	18	36	22	12	18	12	18	13h	37	45	35	44	58	50	35	45	38	43
14h	10	16	10	16	33	20	11	16	10	16	14h	34	41	32	40	52	45	32	40	34	39
15h	9	13	9	13	27	16	9	13	9	13	15h	28	33	26	33	43	37	26	33	28	32
16h	6	10	6	9	19	12	6	9	6	9	16h	20	24	19	23	30	27	19	24	20	23
17h	3	5	3	5	10	6	3	5	3	5	17h	11	13	10	13	16	14	10	13	11	12
média P	8	13	8	13	26	16	9	13	8	13	média P	27	33	26	32	42	36	25	32	27	31
<50	11	11	11	11	11	11	11	11	11			11	11	11	11	6	8	11	11	11	
50 - 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	5	3	0	0	0	
>100	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Latitude 45° Céu 5 21 Junho																					
R 0.7												R 0.94									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8h	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1	8h	3	4	3	4	5	4	3	4	3	4
9h	3	5	3	5	10	6	3	5	3	5	9h	10	12	10	12	16	14	10	12	10	12
10h	5	8	5	7	15	9	5	8	5	7	10h	16	19	15	19	24	21	15	19	16	18
11h	6	9	6	9	19	11	6	9	6	9	11h	19	23	18	23	30	26	18	23	19	22
12h	6	10	6	10	20	12	7	10	6	10	12h	20	25	19	24	32	28	19	24	21	24
13h	6	9	6	9	19	11	6	9	6	9	13h	19	23	18	23	30	26	18	23	19	22
14h	5	8	5	7	15	9	5	8	5	7	14h	16	19	15	19	24	21	15	19	16	18
15h	3	5	3	5	10	6	3	5	3	5	15h	10	12	10	12	16	14	10	12	10	12
16h	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1	16h	3	4	3	4	5	4	3	4	3	4
17h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
média P	3	5	3	5	10	6	3	5	3	5	média P	11	13	10	13	16	14	10	13	11	12
<50	11	11	11	11	11	11	11	11	11			11	11	11	11	11	11	11	11	11	
50 - 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	
>100	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Latitude 45° Céu 5 21 Dezembro																					
R 0.7												R 0.94									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	8	12	8	12	24	15	8	12	8	12	7h	25	30	23	29	38	33	23	30	25	29
8h	10	16	10	16	32	20	11	16	10	16	8h	33	40	31	39	51	45	31	40	33	38
9h	13	20	13	19	39	24	13	19	13	19	9h	40	49	38	48	62	54	38	48	41	47
10h	14	22	14	22	44	27	15	22	14	22	10h	46	55	43	54	71	62	43	55	46	53
11h	15	24	15	23	48	29	16	23	15	23	11h	49	60	47	58	76	67	47	59	50	57
12h	16	25	16	24	49	30	16	24	16	24	12h	51	61	48	60	78	68	48	60	51	58
13h	15	24	15	23	48	29	16	23	15	23	13h	49	60	47	58	76	67	47	59	50	57
14h	14	22	14	22	44	27	15	22	14	22	14h	46	55	43	54	71	62	43	55	46	53
15h	13	20	13	19	39	24	13	19	13	19	15h	40	49	38	48	62	54	38	48	41	47
16h	10	16	10	16	32	20	11	16	10	16	16h	33	40	31	39	51	45	31	40	33	38
17h	8	12	8	12	24	15	8	12	8	12	17h	25	30	23	29	38	33	23	30	25	29
média P	12	19	12	19	39	23	13	19	12	19	média P	40	48	38	47	61	54	38	48	40	46
<50	11	11	11	11	11	11	11	11	11			10	6	11	6	2	4	11	6	10	
50 - 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0			1	5	0	5	9	7	0	5	1	
>100	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabelas 31: Valores de iluminâncias médias/ por pontos e horas úteis para modelos latitude 45° e céu parcialmente nublado (CIE10).

Latitude 45° Céu 10 22 Março																						
R 0.7												R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	5	7	5	7	13	8	5	7	5	7	7h	19	21	18	20	23	22	18	20	18	20	
8h	11	14	9	14	24	15	11	14	10	14	8h	38	42	34	41	47	43	35	40	36	40	
9h	16	22	16	24	37	24	17	22	16	22	9h	61	74	61	72	77	69	63	70	62	68	
10h	23	36	28	36	53	37	27	37	31	34	10h	106	110	101	109	115	110	91	108	111	107	
11h	28	36	29	40	62	43	34	41	34	39	11h	117	136	129	111	149	144	97	129	128	127	
12h	31	44	28	44	67	49	39	47	37	43	12h	136	141	112	141	145	134	100	104	113	125	
13h	28	35	31	39	62	45	32	44	33	39	13h	101	125	104	117	136	153	118	112	122	121	
14h	24	32	30	37	54	43	26	35	28	34	14h	92	128	89	94	112	120	81	111	108	104	
15h	15	22	17	23	38	28	16	23	17	22	15h	66	68	59	65	81	82	59	66	67	68	
16h	9	14	11	13	24	19	10	14	11	14	16h	38	40	38	37	47	48	35	40	37	40	
17h	5	7	5	7	13	9	5	7	5	7	17h	18	20	18	19	24	23	17	20	19	20	
média P	18	24	19	26	41	29	20	27	21	25	média P	72	82	69	75	87	86	65	75	75	76	
<50	11	11	11	11	6	11	11	11	11			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
50 - 99	0	0	0	0	5	0	0	0	0			3	2	3	3	2	2	5	2	2		
>100	0	0	0	0	0	0	0	0	0			4	5	4	4	5	5	2	5	5		

Latitude 45° Céu 10 21 Junho																						
R 0.7												R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8h	1	2	1	2	3	2	1	2	1	2	8h	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5
9h	5	7	5	7	12	8	5	7	5	7	9h	18	20	17	19	23	21	17	19	18	19	19
10h	8	10	8	11	19	13	9	11	8	11	10h	29	33	28	31	37	34	27	30	28	31	31
11h	10	13	10	14	24	16	11	14	11	14	11h	40	40	35	39	47	42	34	38	36	39	39
12h	11	14	10	15	26	18	12	15	12	15	12h	41	44	37	41	53	47	37	40	39	42	42
13h	10	13	10	14	24	17	11	14	12	14	13h	37	41	35	38	47	44	33	37	36	39	39
14h	8	10	8	11	19	14	8	11	9	11	14h	30	32	28	30	37	36	27	30	29	31	31
15h	5	7	5	7	12	9	5	7	5	7	15h	18	20	17	19	23	22	17	19	18	19	19
16h	1	2	1	2	3	2	1	2	1	2	16h	5	5	5	5	6	6	4	5	5	5	5
17h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
média P	5	7	5	7	13	9	6	8	6	7	média P	20	22	19	21	25	23	18	20	20	21	21
<50	11	11	11	11	11	11	11	11	11			11	11	11	11	10	11	11	11	11	11	11
50 - 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
>100	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Latitude 45° Céu 10 21 Dezembro																						
R 0.7												R 0.94										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h
7h	15	21	14	20	33	24	17	19	15	20	7h	58	64	54	65	72	62	55	60	51	60	60
8h	27	34	27	35	55	33	31	35	26	34	8h	115	96	93	116	104	95	85	102	97	100	100
9h	34	43	32	46	71	50	36	43	34	43	9h	123	128	121	130	169	155	141	140	125	137	137
10h	46	62	53	64	107	61	47	56	63	62	10h	155	169	159	166	188	170	140	179	161	165	165
11h	48	194	50	153	132	240	54	251	48	130	11h	145	404	129	357	218	578	130	349	127	271	271
12h	46	92	57	764	148	734	53	794	50	304	12h	144	1476	129	1415	210	1410	126	195	152	584	584
13h	45	157	55	189	130	177	48	208	50	118	13h	142	508	131	489	222	424	134	409	125	287	287
14h	54	57	48	55	103	79	63	64	43	63	14h	186	178	139	162	196	181	158	162	163	169	169
15h	32	44	38	41	72	62	32	46	37	45	15h	120	131	136	139	158	154	124	154	154	141	141
16h	23	32	27	33	51	47	26	37	27	34	16h	95	111	91	108	110	132	89	109	85	103	103
17h	13	21	16	19	33	26	14	19	16	20	17h	53	63	53	56	68	70	55	61	57	60	60
média P	35	69	38	129	85	139	38	143	37	79	média P	122	303	112	291	156	312	112	175	118	189	189
<50	10	6	7	6	2	5	8	6	9			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50 - 99	1	3	4	2	4	3	3	2	2			3	3	4	2	2	3	4	2	4		
>100	0	2	0	3	5	3	0	3	0			8	8	7	9	9	8	7	9	7		

Tabelas 31: Valores de iluminâncias médias/ por ponto e horas úteis para modelos latitude 45° e céu claro (CIE15)

Latitude 45° Céu 15 22 Março																						
R 0.7										R 0.94												
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h	
7h	3	4	3	4	6	5	3	4	3	4	7h	15	14	16	15	18	14	15	14	14	15	
8h	6	7	4	7	10	6	6	6	5	6	8h	30	28	21	25	30	27	21	27	21	26	
9h	9	12	12	16	16	12	11	12	11	12	9h	51	74	64	73	65	56	64	69	57	64	
10h	18	36	33	33	30	29	23	35	40	31	10h	132	121	129	123	113	119	102	128	147	124	
11h	24	26	27	30	33	28	31	32	33	29	11h	125	148	165	96	159	162	92	151	158	140	
12h	27	42	20	35	37	34	38	41	36	34	12h	154	147	109	160	134	120	93	85	114	124	
13h	25	23	29	29	32	27	28	37	30	29	13h	87	125	100	117	126	174	145	110	145	125	
14h	24	26	35	39	33	35	23	30	25	30	14h	96	171	91	96	104	128	78	138	139	116	
15h	10	14	11	20	19	15	10	14	10	14	15h	72	58	51	61	75	82	57	59	73	65	
16h	4	6	5	6	9	10	5	6	6	6	16h	30	23	35	20	29	36	29	26	26	28	
17h	3	4	4	4	6	6	3	4	4	4	17h	13	14	13	14	17	16	13	14	14	14	
média P	14	18	17	20	21	19	16	20	18	18	média P	73	84	72	73	79	85	64	75	83	76	
<50	11	11	11	11	11	11	11	11	11			4	4	4	4	4	4	4	4	4		
50 - 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0			4	2	3	4	2	2	5	3	2		
>100	0	0	0	0	0	0	0	0	0			3	5	4	3	5	5	2	4	5		

Latitude 45° Céu 15 21 Junho																						
R 0.7										R 0.94												
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h	
7h	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	7h	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	
8h	2	2	1	2	3	2	2	2	2	2	8h	7	7	6	7	8	8	6	7	7	7	
9h	3	4	3	4	7	4	4	4	3	4	9h	14	16	12	13	15	15	12	16	15	14	
10h	4	5	4	6	8	6	5	5	4	5	10h	22	24	27	20	26	22	19	21	19	22	
11h	6	5	5	6	11	7	8	7	9	7	11h	45	24	25	27	35	23	23	28	24	28	
12h	7	8	5	8	11	10	6	7	7	8	12h	33	29	21	27	51	34	29	26	29	31	
13h	6	6	5	7	9	8	6	7	10	7	13h	25	28	26	23	38	30	22	22	28	27	
14h	4	5	4	5	8	6	4	7	5	5	14h	25	23	22	20	27	30	20	21	26	24	
15h	3	4	3	4	7	5	5	4	4	4	15h	17	18	13	12	19	15	13	14	13	15	
16h	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	16h	7	7	7	6	8	8	6	7	7	7	
17h	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	17h	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	
média P	3	4	3	4	6	5	4	4	4	4	média P	18	16	15	15	21	17	14	15	15	16	
<50	11	11	11	11	11	11	11	11	11			11	11	11	11	10	11	11	11	11		
50 - 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	1	0	0	0	0		
>100	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Latitude 45° Céu 15 21 Dezembro																						
R 0.7										R 0.94												
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	média h	
7h	12	17	11	11	15	21	3	11	3	12	7h	66	71	62	72	80	59	58	58	43	63	
8h	26	29	33	29	39	24	6	34	4	25	8h	158	89	116	141	90	86	82	108	117	110	
9h	26	29	30	33	36	39	11	28	11	27	9h	121	106	132	109	172	172	160	139	132	138	
10h	42	52	63	51	72	42	23	36	38	47	10h	154	143	177	138	148	151	129	178	170	154	
11h	42	298	48	210	85	370	31	400	33	169	11h	115	566	95	482	158	902	99	484	84	332	
12h	39	97	58	1371	99	1294	38	1423	35	495	12h	106	2595	88	2490	120	2451	90	180	129	916	
13h	40	227	55	287	81	232	28	314	29	144	13h	111	773	94	755	164	579	109	602	80	363	
14h	64	42	46	44	63	56	23	50	25	46	14h	222	165	126	156	164	135	175	144	169	162	
15h	30	31	33	31	37	44	10	33	10	29	15h	120	116	155	155	146	133	141	172	186	147	
16h	23	24	25	32	28	43	5	37	5	25	16h	112	135	100	140	103	161	107	130	77	118	
17h	9	17	13	15	17	16	3	12	3	12	17h	52	70	52	54	60	69	67	63	61	61	
média P	32	78	38	192	52	198	16	216	18	93	média P	121	439	109	427	128	445	111	205	114	233	
<50	10	7	8	7	6	7	11	8	11			0	0	0	0	0	0	0	0	1		
50 - 99	1	2	3	1	5	1	0	0	0			2	3	6	2	3	3	5	2	4		
>100	0	2	0	3	0	3	0	3	0			9	8	5	9	8	8	6	9	6		

ANEXO A – TABELA COM PERCENTAGEM DE PESSOAS QUE MODIFICOU OU TERIAM INTENÇÕES DE MODIFICAR E AMPLIAR AS HABITAÇÕES POPULARES ENTREGUE PELO GOVERNO.
MINVU (2002)

Tabla 1: Porcentaje de personas que modificó ou teriam intenções de modificar e ampliar as habitações populares entregue pelo Gobierno MINVU (2002).

	Región											Total		
	I región	II región	III región	IV región	V región	VI región	VII región	VIII región	IX región	X región	XI región		R.M.	
P19.1 Mención Ampliaciones % C	52,00%	77,50%	70,40%	75,90%	60,60%	64,90%	58,50%	20,20%	48,10%	57,90%	77,60%	76,20%	73,20%	61,40%
P19.2 Mención Subdivisiones de recinto al interior de la vivienda % C	5,40%	17,80%	0,00%	1,80%	14,20%	9,30%	6,90%	10,30%	14,80%	15,80%	3,10%	12,40%	4,90%	9,60%
P19.3 Mención Cambio de uso de recinto al interior de la vivienda % C	12,60%	20,90%	10,20%	2,70%	5,30%	7,20%	8,80%	4,00%	25,00%	7,70%	8,20%	7,60%	4,00%	9,40%
P19.4 Mención Arreglo de instalaciones eléctricas % C	0,00%	4,70%	0,00%	0,00%	4,00%	6,70%	6,90%	14,30%	5,60%	6,00%	5,10%	7,60%	2,70%	5,50%
P19.5 Mención Arreglo de instalaciones sanitarias % C	8,10%	13,20%	14,80%	3,60%	18,60%	17,50%	17,10%	37,20%	16,20%	7,70%	15,30%	10,60%	21,40%	17,00%
P19.6 Mención Revestimiento de pisos % C	7,20%	11,60%	9,30%	6,30%	14,60%	21,60%	16,60%	13,00%	12,50%	9,30%	6,10%	5,70%	9,40%	12,00%
P19.7 Mención Revestimiento de muros % C	8,10%	3,90%	9,30%	11,60%	12,40%	17,00%	19,40%	25,60%	20,80%	18,00%	20,40%	16,20%	9,80%	15,60%
P19.8 Mención Cambio de ventanas y/o puertas % C	1,80%	3,10%	4,60%	6,30%	15,00%	14,40%	21,70%	27,80%	11,60%	37,70%	8,20%	14,30%	10,70%	15,40%
P19.9 Mención Hacer portón % C	2,70%	1,60%	8,30%	8,00%	6,60%	1,60%	4,10%	1,80%	3,20%	0,50%	7,10%	10,60%	1,80%	3,90%
P19.10 Mención Cambiar la ubicación del baño % C	55,90%	11,60%	63,70%	31,30%	16,50%	24,20%	13,40%	38,10%	26,90%	11,50%	13,30%	20,00%	30,40%	25,60%
P19.11 Mención Otro cambio % C	10,81%	7,75%	9,26%	24,11%	9,29%	3,61%	10,14%	0,90%	4,17%	7,10%	20,41%	6,67%	11,61%	8,67%
N Total	111	126	108	112	226	194	217	223	216	183	98	105	224	2145

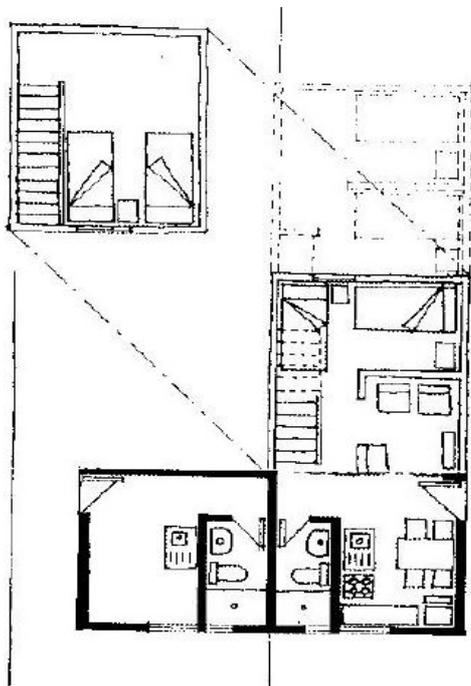
ANEXO B – PERCENTAGEM QUE APRESENTA PROBLEMAS NO RELATIVO DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, SEGUNDO SEUS PROPRIETÁRIOS (MINVU, 2002).

Tabula 1: Porcentagem que apresenta problemas no relativo da iluminação natural habitação de interesse social, segundo seus proprietários.

	Región													Total	
	I región	II región	III región	IV región	V región	VI región	VII región	VIII región	IX región	X región	XI región	XII región	R.M.		
P20.1 Lluvia goteras	% con problema	20,70%	28,20%	35,40%	63,20%	70,00%	78,60%	78,50%	92,70%	82,10%	83,10%	95,90%	74,50%	61,20%	67,90%
	% con problema atarax / muy atarax	7,21%	13,18%	14,81%	25,00%	38,94%	52,06%	61,61%	64,13%	45,37%	51,91%	21,43%	38,10%	34,58%	39,33%
P20.2 Estructura y materiales de construcción	% con problema	29,70%	23,10%	28,10%	34,00%	34,10%	40,60%	40,50%	54,60%	53,30%	57,30%	21,70%	34,30%	29,70%	39,70%
	% con problema atarax / muy atarax	19,82%	8,53%	13,89%	19,64%	22,57%	25,26%	23,96%	35,87%	30,09%	34,97%	13,27%	20,00%	21,43%	23,00%
P20.3 Instalaciones (cañerías, artefactos, llaves, desagües, etc)	% con problema	33,30%	35,40%	27,10%	43,40%	48,40%	44,40%	39,00%	55,50%	54,70%	53,40%	42,40%	42,20%	51,10%	46,00%
	% con problema atarax / muy atarax	25,23%	19,38%	9,26%	17,86%	32,30%	24,23%	22,12%	33,63%	31,48%	32,24%	26,53%	21,90%	33,48%	28,89%
P20.4 Aislación acústica	% con problema	93,70%	58,20%	59,40%	58,50%	73,60%	65,80%	65,40%	79,40%	84,00%	58,40%	77,20%	70,60%	77,60%	71,70%
	% con problema atarax / muy atarax	77,48%	27,13%	30,56%	45,54%	53,10%	38,56%	41,01%	50,67%	65,28%	36,61%	55,10%	42,86%	48,66%	47,44%
P20.5 Aislación térmica	% con problema	14,40%	15,50%	20,80%	28,30%	29,10%	41,70%	25,90%	39,00%	35,80%	40,40%	29,30%	34,30%	44,30%	32,70%
	% con problema atarax / muy atarax	6,31%	5,43%	10,19%	7,14%	16,37%	20,10%	11,98%	16,14%	19,44%	16,94%	16,33%	13,33%	26,54%	15,52%
P20.6 Terminaciones	% con problema	59,50%	35,40%	41,70%	45,30%	46,40%	41,70%	42,90%	70,20%	52,40%	79,80%	46,70%	65,70%	59,00%	53,20%
	% con problema atarax / muy atarax	33,33%	17,05%	17,59%	20,54%	28,76%	23,20%	23,96%	47,98%	29,63%	46,45%	29,59%	30,45%	31,70%	30,34%
P20.7 Iluminación natural	% con problema	6,30%	5,50%	24,00%	10,40%	7,70%	14,40%	4,40%	10,60%	7,50%	23,00%	19,60%	37,30%	20,50%	13,70%
	% con problema atarax / muy atarax	2,70%	2,33%	8,33%	7,14%	3,98%	7,73%	2,76%	5,38%	2,78%	10,38%	11,22%	17,14%	12,95%	6,90%
P20.8 Ventilación	% con problema	38,70%	22,70%	36,50%	46,20%	31,40%	25,10%	32,70%	59,60%	46,70%	33,70%	30,40%	32,40%	48,90%	38,50%
	% con problema atarax / muy atarax	22,52%	10,08%	26,85%	31,25%	19,47%	12,89%	20,74%	39,91%	25,00%	18,58%	17,35%	16,19%	37,50%	23,81%
P20.9 Tamaño de los recintos	% con problema	55,40%	55,50%	56,30%	62,30%	41,80%	49,20%	47,30%	64,20%	67,50%	43,30%	54,30%	65,70%	61,20%	56,80%
	% con problema atarax / muy atarax	73,87%	32,56%	38,99%	42,96%	23,45%	28,35%	26,73%	40,36%	42,59%	25,68%	36,73%	43,81%	43,30%	36,72%
P20.10 Instalaciones eléctricas	% con problema	32,40%	25,40%	34,40%	30,20%	36,80%	29,90%	22,00%	50,00%	44,80%	40,40%	39,10%	24,50%	37,00%	35,50%
	% con problema atarax / muy atarax	25,23%	12,40%	21,30%	18,75%	20,35%	15,46%	10,60%	32,29%	30,56%	26,23%	28,57%	18,10%	28,15%	22,51%
N Total	111	129	108	112	226	194	217	223	216	183	98	105	224	2146	

**ANEXO C – EXEMPLOS DO LEVANTAMENTO DAS TIPOLOGIAS DE
HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NO CHILE E POPULARES NO
MACEIÓ/BRASIL.**

Conjunto habitacional El Porvenir, El Porvenir, VIII Región.



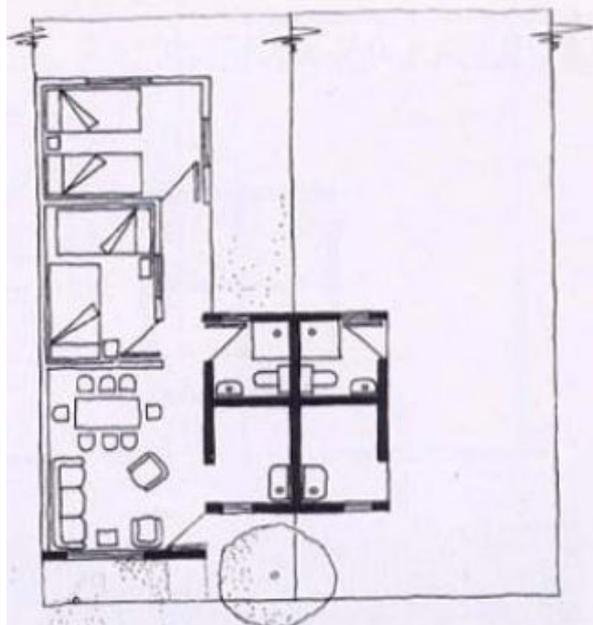
Planimetría soluções habitacionais, Conjunto habitacional El Porvenir, El Porvenir, VIII Región.

Conjunto habitacional El Porvenir, El Porvenir, VIII Región.



Conjunto habitacional El Porvenir, El Porvenir, VIII Región.

Conjunto habitacional Oscar Bonilla, Antofagasta, II Región.



Planimetría soluções habitacionais, Oscar Bonilla,
Antofagasta, II Región.

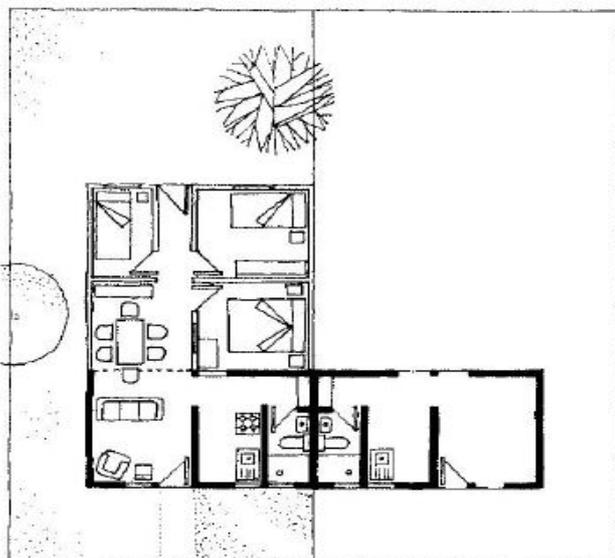


Conjunto habitacional Oscar Bonilla, Antofagasta, II Región.



Conjunto habitacional Oscar Bonilla, Antofagasta, II Región.

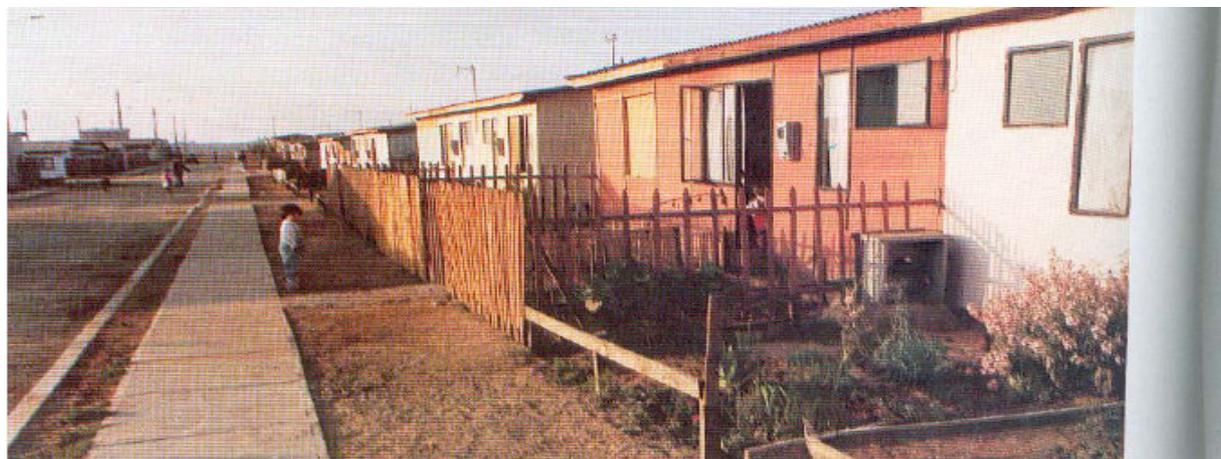
Conjunto habitacional Tierras Blancas, Coquimbo, IV Región.



Planimetría soluções habitacionais, Tierras Blancas, Coquimbo, IV Región.

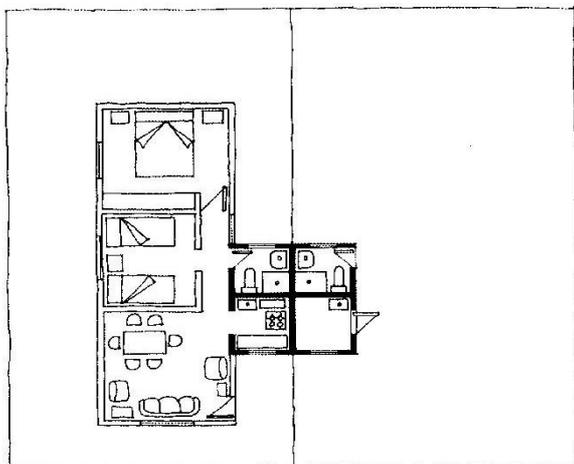


Conjunto habitacional Tierras Blancas, Coquimbo, IV Región.



Conjunto habitacional Tierras Blancas, Coquimbo, IV Región.

Conjunto habitacional Eusebio Lillo, Punta Arenas, XII Región



Planimetría soluções habitacionais, Conjunto habitacional Eusebio Lillo, Punta Arenas, XII Región

Conjunto habitacional Eusebio Lillo, Punta Arenas, XII Región



Conjunto habitacional Eusebio Lillo, Punta Arenas, XII Región

“Loteamento” Novo Horizonte, casa 30



Foto 7. Sala de estar e jantar.
Fonte: CORDEIRO, arquivo pessoal; 2002.



Foto 6. Fachada Casa 30

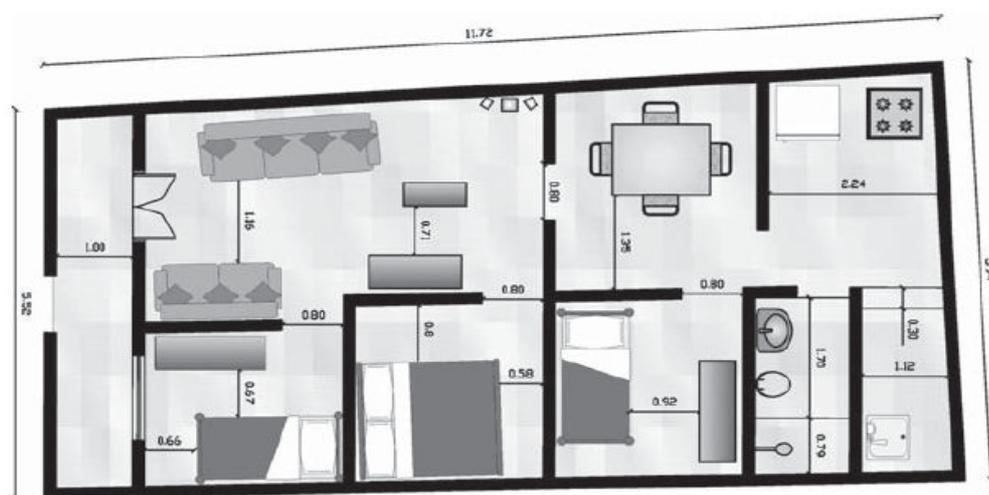


Figura 3. Layout Casa 30.

“Loteamento” Novo Horizonte, casa 24



Fachada Casa 24.



Cozinha Casa 24

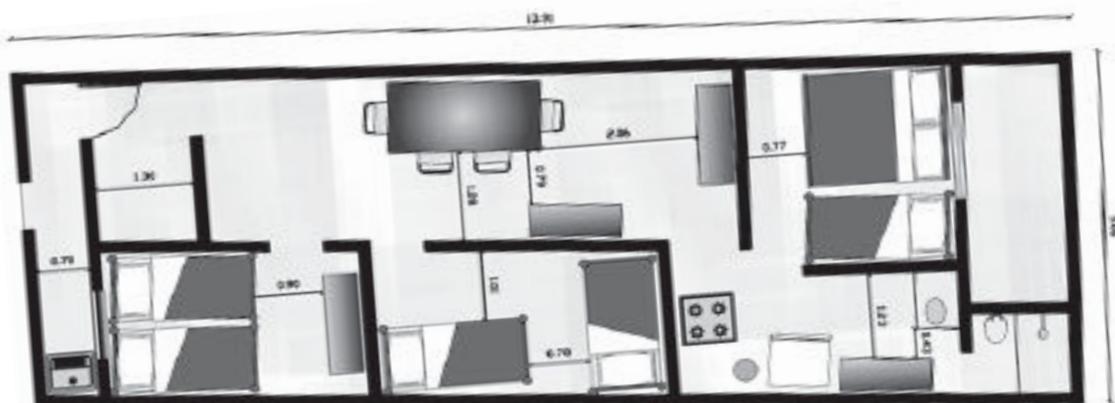


Layout Casa 24A e 24 B.

“Loteamento” Novo Horizonte, casa 14

Fachada Casa 14.

Dormitório para 6 pessoas Casa 14



Layout Casa 14.

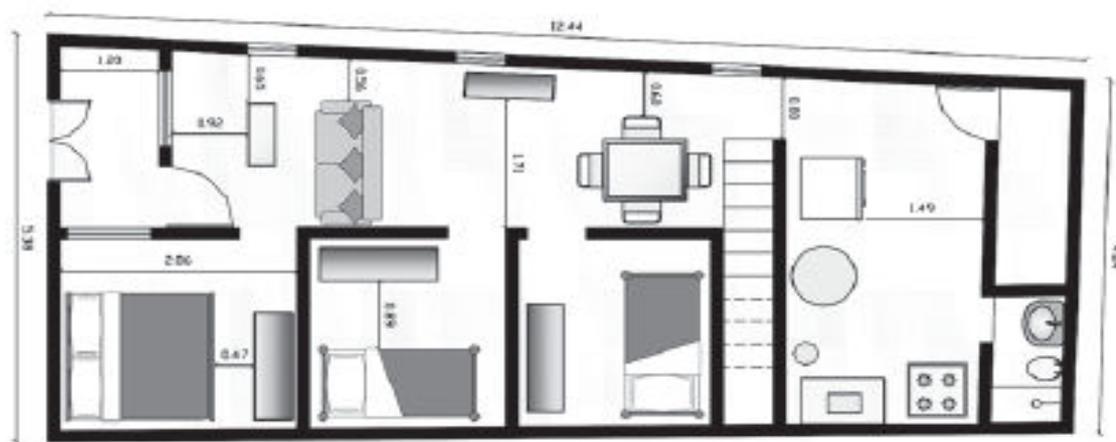
“Loteamento” Novo Horizonte, casa 25



Fachada Casa 25.



Sala de estar/jantar, Casa 25



Layout Casa 25.

ANEXO D - NBR 5413/1992 ILUMINÂNCIA DE INTERIORES.

NBR 5413/1992 Iluminância de interiores. Pág.11	
5.3.65 Residências	
- salas de estar:	
. geral	100 - 150 - 200
. local (leitura, escrita, bordado,etc.)	300 - 500 - 750
- cozinhas:	
. geral	100 - 150 - 200
. local (fogão, pia, mesa)	200 - 300 - 500
- quartos de dormir:	
. Geral	100 - 150 - 200
. local (espelho, penteadeira, cama)	200 - 300 - 500
- hall, escadas, despensas, garagens:	
. geral	75 - 100 - 150
. local	200 - 300 - 500
- banheiros:	
. geral	100 - 150 - 200
. local (espelhos)	200 - 300 - 500