

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE DO USO DA LUZ NATURAL EM SALAS DE
AULA: ESTUDO DE CASO EM ARACAJU-SE**

Amanda Fontes Aragão Dias

MACEIÓ

2011

Amanda Fontes Aragão Dias

**ANÁLISE DO USO DA LUZ NATURAL EM SALAS DE
AULA: ESTUDO DE CASO EM ARACAJU-SE**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da 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

2011

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto

D541a Dias, Amanda Fontes Aragão.
 Análise do uso da luz natural em salas de aula: estudo de caso em Aracaju-
 SE / Amanda Fontes Aragão Dias. – 2011.
 140 f. : il : fots., mapas, grafs., tabs.

Orientador: Ricardo Carvalho Cabús
Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço
Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e
Urbanismo. Maceió, 2011.

Bibliografia: f. 115-123.
Apêndices: p. 124-140

1. Iluminação natural - Sala de aula – Aracaju (SE). 3. Simulação computa-
cional – Luz natural. 4. Troplux (Programa de computador). 5. Desempenho
luminoso. I. Título.

CDU: 727.1

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


Amanda Fontes Aragão Dias

**ANÁLISE DO USO DA LUZ NATURAL EM SALAS DE AULA:
ESTUDO DE CASO EM ARACAJU-SE**


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

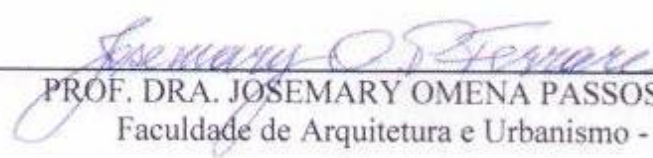
BANCA EXAMINADORA



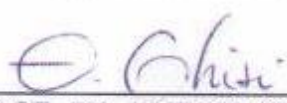
PROF. DR. RICARDO CARVALHO CABÚS
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL



PROF. DRA. GIANNA MELO BARBIRATO
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL



PROF. DRA. JOSEMARY OMENA PASSOS FERRARE
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL



PROF. DR. ENEDIR GHISI
Departamento de Engenharia Civil - UFSC

Dedico essa dissertação em especial ao meu esposo, grande mentor dessa conquista, e à minha mãe pelo apoio incondicional em todas as fases da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Ricardo Cabús, pelo apoio e orientações fundamentais e indispensáveis à conclusão desse trabalho.

Aos professores da banca examinadora, pelas necessárias contribuições ao aprimoramento e conclusão dessa dissertação.

Ao GRILU e todos os seus integrantes que cooperaram de alguma forma para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos professores e colegas do Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado (DEHA) da Universidade Federal de Alagoas, pelos conhecimentos adquiridos e compartilhados no decorrer do curso, fundamentais ao desenvolvimento dessa dissertação.

Ao meu esposo Lucas, por fazer parte da minha vida, por ter me orientado a encontrar meu verdadeiro caminho profissional e por todo amor, carinho, atenção, paciência, compreensão e companheirismo.

À minha mãe Dora, por todo o amor, carinho, incentivo e apoio que sempre me guiaram e serviram de base a todos os meus passos.

A todos os amigos que participaram direta ou indiretamente dessa jornada e que sempre estiveram torcendo pela minha felicidade.

RESUMO

O uso da luz natural traz diversas vantagens, dentre as quais destacam-se uma melhor qualidade da iluminação, benefícios psicofisiológicos e o contato com o meio exterior. Além disso, reduz o uso dos sistemas de iluminação artificial, contribuindo com o recente interesse pela eficiência energética. Mas, apesar da disponibilidade de luz natural existente no Brasil, especialmente na sua região Nordeste, e da existência de ferramentas de simulação computacional da luz natural, a preocupação com a sua otimização dificilmente faz parte da fase inicial de projeto das edificações. É dentro desse contexto que o presente trabalho está inserido, com o objetivo de analisar e comparar o desempenho luminoso entre salas de aula, tentando favorecer o uso da luz natural nesses ambientes. Utilizando-se o TropLux, procedeu-se à simulação de uma sala de aula padrão da cidade de Aracaju, no estado de Sergipe, designada Geometria 1, e de duas salas com alterações de algumas de suas características, designadas Geometrias 2 e 3, além de duas novas geometrias contendo elementos de controle e redirecionamento da luz natural, designadas Geometrias 4 e 5. Em ambos os casos foram considerados os céus CIE 1 (encoberto), 10 (parcialmente encoberto) e 14 (claro). Para a análise do desempenho luminoso das geometrias foram gerados gráficos de isocurvas contendo os percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$. A partir deles, observou-se os diferentes comportamentos das geometrias sob os tipos de céu analisados. Para a comparação entre os seus desempenhos, foram calculadas a média das iluminâncias médias, a média dos percentuais de iluminâncias dentro do intervalo proposto e os valores máximo e mínimo das iluminâncias médias. Tais valores demonstram que intervenções isoladas na sala de aula em estudo (Geometria 1), como o aumento da refletância do teto (Geometria 2) ou a inclusão de um teto rebaixado plano (Geometria 3), não trazem melhorias em relação ao seu desempenho luminoso dentro do intervalo de iluminâncias considerado. Apesar disso, sugerem uma evolução no desempenho luminoso da Geometria 5 em relação à sala de aula em estudo (Geometria 1).

Palavras-chave: iluminação natural; sala de aula; simulação computacional da luz natural; TropLux; desempenho luminoso.

ABSTRACT

The use of daylight brings many advantages, as a better quality lighting, psychophysiological benefits and the outside view. In addition, it minimizes the use of artificial lighting and it contributes to the recent interest in energy efficiency. But, despite the daylight's availability existing in Brazil, especially in its Northeast, and despite the great number of daylighting simulation tools, the concern with its optimization hardly takes part on the initial design of buildings. This thesis is embedded within this context and it aims to analyze and compare the lighting performance between classrooms, trying to support daylighting in these environments. With the TropLux, the simulation of a standard classroom in the city of Aracaju, state of Sergipe, designated Geometry 1, the simulation of some changes in its characteristics, designated Geometries 2 and 3, and the simulation of new geometries with daylighting systems, designated Geometries 4 and 5, were proceeded. In both cases, the CIE Sky types 1 (overcast), 10 (partly cloudy) and 14 (clear) were considered. To analyze the lighting performance of these geometries, it was created isocurves graphics with percentages of illuminances inside the interval $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$. From these isocurves graphics, different behaviours of the geometries under the Sky types analyzed were observed. To compare its performances, the average of illuminance's average, the average of the illuminance's percentages inside the interval above and the maximum and minimum values of the illuminance's average were calculated. These values evidence that isolated interventions in the standard classroom (Geometry 1), like increasing the ceiling reflectance (Geometry 2) or adopting a dropped ceiling plan (Geometry 3), does not contribute with the lighting performance's improvement in the illuminance's interval considered. Nevertheless, they evidence an evolution in the lighting performance of Geometry 5 in relation to the standard classroom (Geometry 1).

Key-words: daylighting; classroom; daylighting simulation tool; TropLux; lighting performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagem interna da Basílica de São Marcos	26
Figura 2: Imagens internas do Panteão.....	26
Figura 3: Corte de uma prateleira de luz interior e exterior	35
Figura 4: Uso do beiral com alto índice de reflexão do solo	37
Figura 5: Painel prismático (a) e sua seção transversal (b)	37
Figura 6: <i>Laser cut panel</i> (a) e a visão através dele (b)	38
Figura 7: Ofuscamento no plano de trabalho	40
Figura 8: Grupo Escolar José Augusto Ferraz	45
Figura 9: Grupo Escolar Manoel Luís	45
Figura 10: Simuladores de céu: <i>Scanning Sky Simulator</i> (a) e <i>Mirror Sky</i> (b)	48
Figura 11: Método da radiosidade	50
Figura 12: Método do raio traçado	50
Figura 13: Tela inicial do TropLux 4	52
Figura 14: Mapa do Brasil com a localização do estado de Sergipe	60
Figura 15: Escola Estadual Monteiro Lobato	61
Figura 16: Centro de Excelência Ministro Marco Maciel	62
Figura 17: Colégio Estadual Governador João Alves Filho	62
Figura 18: Mapa com a localização do Colégio Estadual Governador João Alves Filho no bairro Salgado Filho em Aracaju (SE)	63
Figura 19: Planta de locação e coberta esquemática	64
Figura 20: Planta Baixa esquemática - pavimento térreo	65
Figura 21: Sala de aula em estudo	66
Figura 22: Imagens da sala de aula em estudo	67
Figura 23: HOBO H8 logger	69

Figura 24: Posição do HOBO H8 logger nas carteiras dos alunos.....	69
Figura 25: Layout esquemático da sala de aula em estudo.....	70
Figura 26: Representação tridimensional da sala de aula em estudo	71
Figura 27: Planta baixa esquemática com malha de pontos	74
Figura 28: Propriedades do vidro x ângulo de incidência da luz	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Refletâncias das superfícies internas da sala de aula em estudo	71
Quadro 2: Refletâncias das superfícies internas das salas de aula propostas	74
Quadro 3: Configuração das Geometrias 1 e 2.....	76
Quadro 4: Configuração da Geometria 3	77
Quadro 5: Configuração da Geometria 4	78
Quadro 6: Configuração da Geometria 5	79

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo 300 lx < E < 2000 lx (Geometria 1 – Céu CIE 1)	83
Gráfico 2: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo E < 300 lx (Geometria 1 – Céu CIE 1)	84
Gráfico 3: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo 300 lx < E < 2000 lx (Geometria 2 – Céu CIE 1)	85
Gráfico 4: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo 300 lx < E < 2000 lx (Geometria 3 – Céu CIE 1)	86
Gráfico 5: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo E < 300 lx (Geometria 3 – Céu CIE 1)	86
Gráfico 6: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo 300 lx < E < 2000 lx (Geometria 4 – Céu CIE 1)	87
Gráfico 7: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo E < 300 lx (Geometria 4 – Céu CIE 1)	88
Gráfico 8: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo 300 lx < E < 2000 lx (Geometria 5 – Céu CIE 1)	89
Gráfico 9: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo 300 lx < E < 2000 lx (Geometria 1 – Céu CIE 10)	90
Gráfico 10: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo E > 2000 lx (Geometria 1 – Céu CIE 10)	91
Gráfico 11: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo 300 lx < E < 2000 lx (Geometria 2 – Céu CIE 10)	92
Gráfico 12: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo E > 2000 lx (Geometria 2 – Céu CIE 10)	92

Gráfico 13: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo	
300 lx < E < 2000 lx (Geometria 3 – Céu CIE 10)	93
Gráfico 14: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo	
E < 300 lx (Geometria 3 – Céu CIE 10)	94
Gráfico 15: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo	
300 lx < E < 2000 lx (Geometria 4 – Céu CIE 10)	95
Gráfico 16: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo	
E > 2000 lx (Geometria 4 – Céu CIE 10)	95
Gráfico 17: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo	
300 lx < E < 2000 lx (Geometria 5 – Céu CIE 10)	96
Gráfico 18: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo	
E > 2000 lx (Geometria 5 – Céu CIE 10)	97
Gráfico 19: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo	
300 lx < E < 2000 lx (Geometria 1 – Céu CIE 14)	98
Gráfico 20: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo	
300 lx < E < 2000 lx (Geometria 2 – Céu CIE 14)	99
Gráfico 21: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo	
E > 2000 lx (Geometria 2 – Céu CIE 14)	99
Gráfico 22: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo	
300 lx < E < 2000 lx (Geometria 3 – Céu CIE 14)	100
Gráfico 23: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo	
E < 300 lx (Geometria 3 – Céu CIE 14)	101
Gráfico 24: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo	
300 lx < E < 2000 lx (Geometria 4 – Céu CIE 14)	102
Gráfico 25: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo	
E < 300 lx (Geometria 4 – Céu CIE 14)	102

Gráfico 26: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo 300 lx < E < 2000 lx (Geometria 5 – Céu CIE 14)	103
Gráfico 27: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo E > 2000 lx (Geometria 5 – Céu CIE 14)	104
Gráfico 28: \bar{E}_m para cada geometria em análise	105
Gráfico 29: \bar{P} para cada geometria em análise	105
Gráfico 30: Valor máximo de \bar{E}_m para cada geometria em análise	107
Gráfico 31: Valor mínimo de \bar{E}_m para cada geometria em análise	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APO	Avaliação Pós-Ocupação
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage (Comissão Internacional de Iluminação)
EQM	Erro Quadrático Médio
IES	Illuminating Engineering Society (Sociedade de Engenharia da Iluminação)
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America (Sociedade de Engenharia da Iluminação da América do Norte)
IULN	Iluminância Útil de Luz Natural
MEC	Ministério da Educação
SIGA	Sistema Integrado de Gestão Acadêmica
UDI	Useful Daylight Illuminance (Iluminância Útil de Luz Natural - IULN)

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
Considerações iniciais	19
Objetivos	20
Estrutura do trabalho	21
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
1.1. Introdução	24
1.2. Iluminação natural	24
1.2.1. Histórico	24
1.2.2. Vantagens e importância	28
1.2.3. Disponibilidade, admissão, distribuição e controle	31
1.2.4. Elementos ou sistemas de controle da luz natural	33
1.3. Conforto luminoso	38
1.4. Iluminação natural e arquitetura escolar	41
1.5. Técnicas de análise do desempenho da iluminação natural	47
1.6. Métodos de avaliação de iluminâncias da luz natural	53
1.6.1. Métodos gráfico e analítico propostos por Cabús	53
1.6.2. Autonomia da luz natural proposta por Reinhart.....	55
1.6.3. Iluminância útil de luz natural (IULN) proposta por Nabil e Mardaljevic.....	55
1.7. Conclusão	57
2. METODOLOGIA	59
2.1. Introdução	60
2.2. Levantamento das edificações escolares da rede de ensino estadual da cidade de Aracaju (SE)	61

2.3. Escolha de uma edificação escolar da rede de ensino estadual da cidade de Aracaju (SE)	62
2.4. Escolha da sala de aula	66
2.5. Escolha da técnica de análise do desempenho luminoso das salas de aula	67
2.6. Escolha do programa de simulação computacional	68
2.7. Realização de medições físico-ambientais <i>in loco</i>	68
2.8. Características da simulação computacional da sala em estudo	70
2.9. Proposição de novas características e geometrias para a simulação computacional	71
2.10. Características das simulações computacionais das geometrias propostas.....	73
2.11. Descrição da sala em estudo e das geometrias propostas	75
2.11.1. Geometria da sala em estudo (Geometria 1)	75
2.11.2. Geometria 2	76
2.11.3. Geometria 3	77
2.11.4. Geometria 4	77
2.11.5. Geometria 5	78
2.12. Conclusão	79
3. RESULTADOS E ANÁLISES	80
3.1. Introdução	81
3.2. Análise dos resultados das medições <i>in loco</i> e da simulação da sala de aula em estudo	81
3.3. Processamento e análise de dados	82
3.4. Análise dos gráficos de isocurvas gerados com o céu CIE 1 (céu encoberto)	82
3.4.1. Geometria 1 (sala em estudo)	83
3.4.2. Geometria 2 (sala em estudo com teto inclinado branco)	84

3.4.3. Geometria 3 (sala em estudo com teto plano rebaixado branco)	85
3.4.4. Geometria 4 (geometria proposta com sistemas de controle e redirecionamento da luz natural)	87
3.4.5. Geometria 5 (geometria proposta com sistemas de controle e redirecionamento da luz natural)	88
3.5. Análise dos gráficos de isocurvas gerados com o céu CIE 10 (céu parcialmente encoberto)	89
3.5.1. Geometria 1 (sala em estudo)	90
3.5.2. Geometria 2 (sala em estudo com teto inclinado branco)	91
3.5.3. Geometria 3 (sala em estudo com teto plano rebaixado branco)	93
3.5.4. Geometria 4 (geometria proposta com sistemas de controle e redirecionamento da luz natural)	94
3.5.5. Geometria 5 (geometria proposta com sistemas de controle e redirecionamento da luz natural)	96
3.6. Análise dos gráficos de isocurvas gerados com o céu CIE 14 (céu claro)	97
3.6.1. Geometria 1 (sala em estudo)	98
3.6.2. Geometria 2 (sala em estudo com teto inclinado branco)	98
3.6.3. Geometria 3 (sala em estudo com teto plano rebaixado branco)	100
3.6.4. Geometria 4 (geometria proposta com sistemas de controle e redirecionamento da luz natural)	101
3.6.5. Geometria 5 (geometria proposta com sistemas de controle e redirecionamento da luz natural)	103
3.7. Média das iluminâncias médias (\bar{E}_m) e média dos percentuais de iluminâncias dentro do intervalo proposto (\bar{P})	104
3.8. Conclusão	108
CONCLUSÕES	110
REFERÊNCIAS	114

APÊNDICE A – Escolas visitadas	123
APÊNDICE B – Cartas solares	133
APÊNDICE C – Variação entre iluminâncias medidas e simuladas	135

INTRODUÇÃO

Considerações iniciais

A escola desempenha um papel importante e fundamental dentro da nossa sociedade, na medida em que proporciona a formação social e profissional dos futuros cidadãos através de um processo de ensino e aprendizagem realizado através da comunicação oral e visual.

Dentro desse contexto, as características físicas do ambiente escolar, em especial a sala de aula, são um dos fatores responsáveis pelo bom desenvolvimento das atividades e o consequente desempenho dos alunos e professores. Por isso, as preocupações referentes às condições de conforto térmico, acústico e luminoso devem estar presentes ainda na fase de projeto de tais edificações.

No que diz respeito ao conforto luminoso das salas de aula, a iluminação é um importante fator para o alcance de um adequado ambiente de aprendizado, pois afeta a legibilidade da informação. Nesse contexto, a luz natural é considerada importante e altamente influente (GRAÇA et al., 2007).

O uso da iluminação natural nas salas de aula proporciona uma ambientação agradável e mais humana, além de trazer benefícios psicofisiológicos aos seus ocupantes e o contato com o meio exterior. A iluminação natural é destacada como fator importante para propiciar contato com os elementos da natureza e orientação temporal, para o ajuste do relógio biológico (LABAKI E BUENO-BARTHOLOMEI, 2001).

Outra indiscutível vantagem é a redução do uso dos sistemas de iluminação artificial e a consequente redução do consumo de energia elétrica, benefício econômico que, segundo resultados de pesquisas, pode justificar custos iniciais de construção associados com um maior perímetro da edificação necessário ao uso da iluminação natural (LESLIE, 2003).

Segundo Bittencourt et al. (1995), o desperdício de energia apresenta sérios inconvenientes, pois recursos públicos precisam ser desviados para a geração de energia; as altas contas de energia elétrica e de reposição de lâmpadas limitam ainda mais o já escasso orçamento das escolas públicas.

Mas, além disso, torna-se fundamental otimizar o uso da iluminação natural nesses ambientes através de recursos e componentes arquitetônicos que possam minimizar ou excluir seus efeitos indesejados e potencializar seus efeitos quantitativos e qualitativos de acordo com

a necessidade dos ambientes, visto que o conforto luminoso nas salas de aula está diretamente relacionado com os níveis de iluminação voltados para uma percepção visual adequada, com sua distribuição pelo ambiente e com a ausência de contrastes e ofuscamento. O não atendimento de tais exigências pode acarretar problemas de saúde ou desconforto aos seus usuários e comprometer o rendimento das atividades.

A dificuldade em se avaliar tais efeitos da iluminação natural num ambiente através de métodos práticos e simplificados contribuiu para o desenvolvimento e disponibilidade de ferramentas detalhadas de simulação computacional da luz natural que, apesar disso, não tem entrado no mercado da construção em grande escala (REINHART E FITZ, 2006). No Brasil, a situação não é diferente, pois segundo investigação sobre a prática profissional local, projetistas usam pouco material de referência durante a concepção do projeto, limitando-se a códigos e *checklists*, e raramente aplicam avaliações na forma de simulações e otimizações (GRAÇA et al., 2007).

Para Nabil e Mardaljevic (2005), a simulação computacional consegue nos fornecer dados de iluminância da luz natural obtidos de hora em hora (ou em intervalos menores), durante um ano inteiro, sob diferentes tipos de céu e com diferentes orientações, num curto espaço de tempo.

Objetivos

O trabalho tem como objetivo geral analisar o uso da luz natural em salas de aula de uma determinada tipologia de escolas existente na cidade de Aracaju (SE).

São objetivos específicos:

- Analisar o desempenho luminoso da sala de aula escolhida para estudo, no tocante à iluminação natural;
- Analisar o desempenho luminoso da sala de aula em estudo, no tocante à iluminação natural, a partir de alterações feitas nas suas características iniciais;

- Analisar o desempenho luminoso de novas salas de aula propostas a partir da inclusão de elementos de controle e redirecionamento da luz natural;
- Analisar e comparar a evolução do desempenho luminoso entre a sala de aula em estudo e as salas propostas.

Estrutura do trabalho

Esta seção introdutória é dedicada à apresentação geral do tema proposto, com considerações relevantes ao tema, à discriminação dos objetivos geral e específicos e à estruturação geral do trabalho.

O primeiro capítulo traz a revisão de literatura necessária à compreensão da proposta do presente trabalho, trazendo sete seções. Após uma primeira seção introdutória, a segunda seção trata da iluminação natural no ambiente construído, fazendo considerações sobre o histórico do seu uso ao longo do tempo, discorrendo sobre as vantagens e importâncias do seu uso, descrevendo e exemplificando seus processos de disponibilidade, admissão, distribuição e controle e revisando os elementos ou sistemas de controle mais recorrentes. A terceira seção analisa exigências para a obtenção do conforto luminoso e a quarta, ao considerar a relação entre iluminação natural e arquitetura escolar, traz um histórico dessa relação e descreve as normatizações existentes atualmente. A quinta seção examina as técnicas de análise do desempenho da iluminação natural, com considerações acerca do TropLux (CABÚS, 2002), programa de simulação da luz natural utilizado nesse trabalho e a sexta seção descreve métodos utilizados para a avaliação das iluminâncias da luz natural, inclusive os índices de Iluminância Útil da Luz Natural (Useful Daylight Illuminances – UDI), utilizados como referência para a proposição do intervalo de iluminâncias analisado nessa pesquisa. A última seção traz a conclusão do capítulo.

O capítulo seguinte refere-se à discussão das etapas metodológicas que foram utilizadas para a execução da pesquisa. Dessa forma, após uma seção introdutória, descrevem-se o levantamento das edificações escolares da rede de ensino estadual da cidade de Aracaju (SE), a escolha da edificação escolar a ser analisada e suas características físicas e de entorno. Em

seguida, explica-se a opção da técnica de análise do desempenho luminoso das salas de aula, com a consequente escolha do programa de simulação computacional. Na sequência, são descritas as medições físico-ambientais *in loco* e as características da simulação computacional da sala de aula em estudo e dos modelos propostos. A penúltima seção traz a descrição dos modelos propostos e a última seção apresenta as conclusões do capítulo.

O terceiro capítulo é destinado aos resultados e análises das medições e simulações, a partir dos gráficos de isocurvas , da média das iluminâncias médias (\bar{E}_m) e da média dos percentuais de iluminâncias dentro do intervalo proposto (\bar{P}). Por fim são apresentadas as conclusões em relação aos objetivos propostos, às limitações do trabalho e às sugestões para trabalhos futuros e, em seguida, as referências bibliográficas e os apêndices.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Introdução

O presente capítulo traz a revisão bibliográfica de conceitos importantes ao entendimento da pesquisa. Inicialmente, optou-se por descrever o uso da iluminação natural ao longo dos anos, demonstrando a sua importância desde os tempos mais remotos. Ao falar sobre a iluminação natural, não se pode deixar de mencionar as vantagens trazidas com o seu uso e suas formas de disponibilidade, admissão, distribuição e controle. E, como o objetivo desta pesquisa está relacionado à sua otimização em salas de aula, também se tornou necessário trazer o histórico acerca do seu uso na arquitetura escolar. Finalmente, são descritas técnicas de análise do desempenho da iluminação natural, com destaque para o TropLux, e métodos de avaliação de iluminâncias da luz natural, relevantes para a compreensão da metodologia utilizada e para a análise dos resultados obtidos através das simulações computacionais.

1.2. Iluminação natural

Nesta seção são apresentados quatro tópicos a respeito da iluminação natural, começando a partir do seu histórico.

1.2.1. Histórico

É através da visão que a luz em geral e a iluminação natural em particular agem sobre os seres humanos, fornecendo à nossa mente informações acerca do nosso entorno e das dimensões espaciais, permitindo-nos vivenciar a arquitetura e desenvolver variadas tarefas

visuais. Dentro deste contexto, é natural que a iluminação sempre tenha estado presente na arquitetura durante todos os momentos da sua história (BAKER E STEEMERS, 2002; SERRA, 1998).

Durante milênios, as atividades humanas desenvolvidas nas civilizações mais antigas eram guiadas pela disponibilidade de luz natural visto que ainda não existia fonte de luz artificial que as permitisse durante a noite, proporcionando segurança e conforto.

Diante desse cenário, a luz natural foi sabiamente utilizada por nossos antepassados de diferentes regiões do planeta, fazendo uso da própria construção para tratá-la e modelá-la, de acordo com a atividade a ser desenvolvida. Tal uso pode ser testemunhado, por exemplo, na arquitetura religiosa ou vernácula das civilizações passadas. Nessa última, a habilidade com o uso da iluminação natural nas edificações tinha como objetivo conseguir trazê-la para dentro delas de maneira a permitir o desenvolvimento de diversas atividades (BAKER e STEEMERS, 2002).

Respeitando a finalidade a que se destinava o edifício e as características do meio ambiente em que estava inserido, a importante relação entre forma e clima pode ser vista na arquitetura de outrora que se preocupava com o ajuste do espaço construído humano à sua topografia, vegetação e clima e com a consequente busca constante da melhor condição de conforto (MASCARÓ, 1983). Recursos arquitetônicos de controle solar eram usados em locais onde a luz natural direta e o calor eram muito intensos.

Com o clima desértico, quente e seco, os egípcios produziram janelas estreitas, para não permitir a entrada excessiva do calor. Na Pérsia já existiam marquises sustentadas por colunas para proteger o interior das casas da radiação solar direta no verão. A arquitetura muçulmana, adaptada aos climas de radiação solar intensa, usa a iluminação filtrada pelos delicados arabescos das janelas. Os relógios de sol usados pelos gregos demonstram como a geometria solar poderia ser relacionada aos projetos das construções. Vitruvius, no século I a.C., já pregava a necessidade de adequar os projetos das construções ao percurso solar (MASCARÓ, 1983; BAKER E STEEMERS, 2002).

Na arquitetura religiosa, existia a preocupação em criar uma ambiência necessária à adoração dos deuses ou reis. Os templos gregos demonstram um claro entendimento acerca da geometria solar e dos efeitos da iluminação. Os romanos demonstraram grande controle da luz natural no espaço construído, conferindo grande expressividade à sua arquitetura através do jogo entre luz e sombra. As aberturas da Basílica de São Marcos, em Veneza, proporcionam

um ambiente interno rico e luminoso (Figura 1) e o Panteão (Figura 2), em Roma, permite a entrada da luz solar através de uma abertura central na sua cúpula, difundindo-a por todo o ambiente, num nível adequado à contemplação e veneração (MASCARÓ, 1983; BAKER E STEEMERS, 2002).



Figura 1: Imagem interna da Basílica de São Marcos

Fonte: <http://catedraismedievais.blogspot.com>



Figura 2: Imagens internas do Panteão

Fonte: BAKER E STEEMERS, 2002

O uso da iluminação natural fez parte de diversos estilos arquitetônicos como ferramenta importante para o alcance dos efeitos desejados. O estilo gótico criou uma experiência luminosa única ao ter como temas principais a associação de Deus com a luz e o uso de vitrais, criando uma colorida e misteriosa fonte de luz. Durante o Renascimento, com inspiração na arquitetura clássica, a manipulação da luz natural tornou-se mais sutil e

talentosa, sendo usada para enfatizar a forma e dramatizar o espaço (BAKER e STEEMERS, 2002).

No Brasil, as construções coloniais portuguesas consideraram o controle da luz natural, da radiação solar, da chuva e da ventilação, através de elaborados projetos de janelas, cujas folhas externas possuíam pequenas áreas envidraçadas na parte superior para garantir maior alcance da iluminação natural (BITTENCOURT, 2006) e cujas treliças, gelosias e muxarabis controlavam a intensa radiação solar e proporcionavam uma luz interna mais controlada.

Apesar do surgimento da iluminação a gás, no século XIX, a arquitetura ainda tinha como premissa trazer a iluminação natural, eficientemente, para dentro das construções. A introdução da iluminação elétrica no século XX eliminou os riscos e os problemas ambientais da iluminação a gás e tornou-se a principal fonte de luz artificial do mundo moderno (BAKER E STEEMERS, 2002).

Assim, a partir de um processo de utilização de novas técnicas e materiais, iniciado a partir da Revolução Industrial, entre os quais se podem destacar as lâmpadas fluorescentes e o ar-condicionado, aliado à abundância de energia barata, que permitiu a evolução das construções, e à adoção do Estilo Internacional, a arquitetura passou a ignorar a importância da iluminação natural para as edificações e a perder a preocupação com a adequação física da construção ao clima, sem dar importância aos resultados obtidos e às necessidades humanas ditadas pelas condicionantes climáticas (BITTENCOURT, 2004; REINHART, 2006).

Países como o Brasil passaram a adotar modelos que atendiam perfeitamente às necessidades de países com características climáticas completamente divergentes das nossas, atendendo às exigências do progresso e à necessidade de demonstrar abundância de tecnologia e poder econômico (CORBELLA E YANNAS, 2003). Tal fato gerou sérios problemas do ponto de vista do conforto térmico, do conforto luminoso e da questão do uso da energia nas edificações, visto que a criação e manutenção desses modelos dependem, sobretudo, da tecnologia e de altos aportes de energia (HOUGH, 1998).

É o que ocorre, por exemplo, com o uso indiscriminado das paredes de vidro e janelas muito altas e largas que são ideais para regiões com clima frio que possuem um céu encoberto com pouca luminosidade, onde o efeito estufa é benéfico, pois ao deixarem entrar a luz juntamente com a radiação solar, reduzem o consumo de energia elétrica não só com a iluminação artificial, mas também com a calefação (CORBELLA E YANNAS, 2003). A adoção desse partido nos climas tropicais com céu muito luminoso provoca um aumento

indesejado da temperatura interna e do consumo do ar condicionado, além do desconforto visual devido ao ofuscamento e contrastes trazidos com o ingresso da radiação solar direta, que estimulam a colocação de cortinas e o conseqüente acionamento dos sistemas artificiais de iluminação. Tais atitudes contribuem substancialmente com o aumento do consumo energético das edificações (BITTENCOURT, 2004).

Todo esse cenário nos fez perder, ainda, a arte no uso da iluminação natural e nos impõe rever antigos conceitos e rever aquilo que vem sendo produzido para recuperarmos o bom senso e a capacidade de fazer uma arquitetura comprometida com todos os aspectos que nela influem.

Mas a partir da crise energética, surgida durante os anos setenta, passou-se a exigir a revisão destes valores internacionais que demandam um consumo energético violentíssimo para o pleno funcionamento dos edifícios (BITTENCOURT, 2004) e que renegam, na maioria das vezes, as características climáticas locais.

Assim, o recente interesse pelas conseqüências ambientais causadas pela geração de energia, pelo desejo de um design sustentável e pela busca de eficiência energética e conforto ambiental nos edifícios estimulou um renovado interesse no uso da luz natural na arquitetura, em especial nos edifícios comerciais (LESLIE et al., 2005), onde, apesar do aumento da eficiência das fontes luminosas artificiais e do desenvolvimento de sistemas de controle da luz artificial, a iluminação ainda representa um dos maiores consumos de energia (AMORIM, 2002).

Tal situação ocorre não só no Brasil, como também em outros países. Nos Estados Unidos, por exemplo, estima-se que os edifícios comerciais utilizam um quarto do seu consumo total de energia com a iluminação (LESLIE et al., 2005).

1.2.2. Vantagens e importância

Atualmente, com todas as preocupações sócio-ambientais em voga no mundo inteiro, a importância do uso da luz natural reflete-se principalmente na redução do consumo de energia elétrica e na sua obtenção através de fonte de energia renovável.

Vivemos num período da História onde a produção de aglomerações urbanas, cada vez maiores e mais extensas, resulta em alterações mais profundas nas dinâmicas e processos naturais, especialmente as climáticas, pois se amplia cada vez mais, a serviço da acumulação capitalista, a produção de bens que depende diretamente de recursos provenientes daqueles processos e dinâmicas naturais. Assim, as atuais densidades construtivas e demográficas e as atuais situações de liberação e consumo de energia provocam consequências muitas vezes catastróficas dentro do próprio contexto urbano, como a erosão, o desmoronamento de encostas, o assoreamento de cursos d'água, a constituição de ilhas de calor, a falta de áreas verdes, a poluição do ar, sonora e da água e o uso de áreas para deposição de lixo (SPÓSITO, 2003).

Toda essa problemática demonstra como, ao longo da História, as ações humanas têm dado preferência a retornos de curto prazo em vez de benefícios a longo prazo (SPIRN, 1995), sem consciência acerca dos efeitos de sua atividade sobre a cidade. A tecnologia tem sido utilizada, na maioria das vezes, com fins estritamente econômicos e não sócio-ambientais.

De acordo com Spirn (1995), uma importante atitude diante do gerenciamento do ecossistema urbano é fazer com que cada novo edifício e parque seja projetado de forma a usar o mínimo de energia e matéria-prima e gerar o mínimo de resíduos e afirma também que cada projeto deve explorar o aspecto microclimático, geológico, hidrológico e biológico específico do local.

Ao levarmos em consideração que os sistemas de luz artificial representam parcela considerável do consumo total de energia das edificações num país como o Brasil, com características climáticas que proporcionam uma abundância na quantidade de luz natural, fazer uso de sua contribuição substancial reduziria bastante a dependência dos sistemas artificiais de iluminação, diminuindo custos de instalação e manutenção, a produção de poluição e lixo e o consumo energético das edificações, ajudando-as a tornarem-se energeticamente eficientes.

Segundo Amorim (2002), quando se há um bom projeto de luz natural, ocorre ainda uma economia indireta de energia, pois ao proporcionar a entrada de luz natural difusa controlada, obtêm-se valores mais altos de iluminação com carga térmica menor que a gerada pela iluminação artificial. Isto diminui a carga de refrigeração do ar condicionado.

A luz natural permite ainda uma maior autonomia às pessoas durante quedas de energia, mesmo em ambientes que dependem cada vez mais da eletricidade para o uso de

computadores, copiadoras e outros equipamentos, pois a iluminação artificial se torna desnecessária e os geradores podem disponibilizar toda sua energia para o uso desses equipamentos (LESLIE, 2003).

Deve-se considerar ainda que o homem e seu aparelho visual estão naturalmente adaptados à luz natural, pois a utiliza há muito tempo, desde o início da sua existência, diferentemente da iluminação artificial com a qual o ser humano convive apenas desde o século passado.

A iluminação natural proporciona também uma ambientação agradável e mais humana, e exerce um importante e positivo impacto na qualidade dos espaços, vida e saúde dos usuários, na medida em que a sua inconstância pode até ser vital para funções biológicas do corpo humano (JOHNSEN, 1998) e na medida em que uma vasta gama de funções fisiológicas depende da exposição à iluminação natural para ser ativada (BAKER E STEEMEERS, 2002).

Assim, de acordo com uma pesquisa realizada por Roche, Dewey e Littlefair (2000), em edifícios de escritórios, a maioria dos entrevistados afirmou preferir trabalhar apenas com a iluminação natural, seguida por uma parcela que afirmou preferir trabalhar com uma combinação de luz natural e artificial. Para os entrevistados por Escuyer e Fontoyont (2001), a luz natural foi considerada uma das características mais importantes dos escritórios e aquela que eles muitas vezes acharam particularmente agradável quando presentes nos seus escritórios. Já a pesquisa realizada por Osterhaus (2005) constatou que 82,9% dos funcionários de escritórios entrevistados preferem claramente a luz natural ao invés da luz artificial, embora esse percentual caia para 74,4% quando trabalham com computadores.

Além disso, estando naturalmente adaptado às características da luz natural, o olho humano nos dá a percepção mais correta das cores quando colocamos um objeto sob o efeito da luz natural que possui energia em todos os comprimentos de onda (SERRA, 1998).

O uso da luz natural provoca, ainda, efeitos estimulantes, na medida em que varia conforme as horas do dia, proporcionando aos objetos iluminados uma riqueza em cores e contrastes (CORBELLA E YANNAS, 2003). A depender da função do ambiente, a desuniformidade da luz natural é bem vinda, pois afasta a sensação de monotonia e insensibilidade e provoca sensações como suavidade, serenidade e intimidade, podendo ser trabalhada também para se conseguir determinada expressividade arquitetônica. Em se tratando de salas de aula, a luz natural apresenta outros valores indiscutíveis como benefícios

psico-fisiológicos e estímulo à criatividade e sensibilidade, podendo promover a comunicação com o mundo exterior e proporcionar descanso visual, bem-estar aos usuários e um melhor índice de produtividade.

Com os altos níveis de iluminância das regiões tropicais, os valores da luz natural quase sempre excedem as quantidades de luz requeridas para as tarefas. Ao se fazer um estudo detalhado de cada projeto, de sua orientação, clima e da luminosidade da abóbada celeste do local onde está inserido, seria possível conseguir os níveis mínimos de iluminância exigidos durante grande parte do tempo apenas aproveitando-se a luz natural e eliminando-se a necessidade do uso da iluminação artificial, que também gera calor e aumenta a temperatura do ar.

Ao priorizar o uso da luz natural nos ambientes escolares faz-se com que a arquitetura exerça uma de suas funções primordiais, qual seja, a de fornecer condições de conforto ao seu usuário. Segundo Kowaltowski (2006), o conforto ambiental, nos seus aspectos térmicos, acústicos, visuais e de funcionalidade, é um dos elementos da arquitetura que mais influencia o bem-estar do homem.

Apesar de todas essas vantagens, segundo Amorim (2002), a iluminação natural deve ser usada de forma bastante criteriosa, equilibrando sabiamente o ingresso de luz difusa, bloqueando o calor gerado pela luz solar direta, que cria problemas de conforto térmico e luminoso.

1.2.3. Disponibilidade, admissão, distribuição e controle

Diversos são os fatores que influenciam a disponibilidade de luz natural numa determinada região. Dentre eles, destacam-se as condições geométricas de exposição à radiação solar como a latitude que determina os ângulos de incidência do sol e o período de permanência do sol acima do horizonte do lugar. A relação Terra-Sol, na medida em que a camada da atmosfera a ser atravessada pelo sol pode ser mais ou menos espessa, também afeta a quantidade de radiação solar recebida (FROTA, 2004). A nebulosidade, as coordenadas solares (azimute e altura solares), a poluição, a existência de obstruções externas

ao ambiente, bem como a orientação, as dimensões e formas dos edifícios, também interferem na sua disponibilidade.

É através das aberturas que a luz natural, seja ela direta ou difusa, é admitida no ambiente construído. Baker et al. (1993) classificam as aberturas como componentes de condução, que guiam e distribuem a luz para o interior do edifício, ou componentes de passagem, dispositivos que permitem a passagem da luz de um ambiente para outro e que podem incorporar uma série de elementos de controle responsáveis pela admissão e/ou controle da entrada da luz no ambiente.

São considerados componentes de condução os átrios, galerias, pátios, dutos de luz e de sol; as janelas, sacadas e cortinas de vidro são consideradas componentes de passagem laterais e as clarabóias, monitores, domos, tetos translúcidos e lanternins são exemplos de componentes de passagem zenitais. São considerados elementos de controle os beirais, prateleiras de luz, peitoris, brises, persianas, cortinas, toldos e venezianas, entre outros.

Dentre os componentes de passagem laterais, a janela é a maneira mais comum de permitir a passagem da luz de um ambiente para outro. Além de proporcionar a comunicação visual com o meio externo, a janela permite trocas luminosas, térmicas e acústicas, como também a ventilação natural (BAKER et al., 1993).

A forma e as dimensões do edifício também podem se transformar em parâmetros fundamentais para a admissão da iluminação natural, na medida em que sua altura e largura influenciam nos níveis de iluminação em determinada profundidade do ambiente. Como regra prática, um ambiente será bem iluminado naturalmente se tiver uma profundidade (distância a partir da fachada) igual a duas vezes a altura do piso ao teto. Tal profundidade poderá ser maior se forem utilizados componentes avançados para admissão da iluminação natural (BAKER E STEEMERS, 2002).

Nas salas de aula, é necessário ainda que as áreas de vidro (janelas) nunca estejam orientadas para leste ou oeste, pois necessitariam de elementos de controle mais complexos se comparados com os necessários às orientações norte e sul e dificultariam o controle da insolação direta e os consequentes ofuscamentos no quadro e aquecimento excessivo (LABAKI E BUENO-BARTHOLOMEI, 2001; CABÚS, 2002). Sendo a iluminação lateral uma importante estratégia para a iluminação natural, um projeto de escola naturalmente iluminada deve começar com uma orientação adequada, dispondo a escola num eixo leste-

oeste, com a maioria dos espaços voltados para o norte ou para o sul (GUIDE FOR DAYLIGHTING SCHOOLS, 2002).

As janelas também desempenham papel fundamental na distribuição da iluminação natural no ambiente. De maneira geral, as janelas proporcionam uma distribuição irregular da iluminação natural, pois os seus níveis são reduzidos na medida em que o plano de trabalho se afasta da abertura. O seu tipo, tamanho, forma, posição e orientação, bem como o uso conjugado de dispositivos de controle solar, devem ser avaliados para alcançar os efeitos desejados no que diz respeito à distribuição da iluminação natural nos ambientes.

Segundo Baker e Steemers (2002), por exemplo, dada uma determinada área de abertura, essa distribuição melhora com o uso de janelas em posições mais altas ou com a distribuição de janelas em paredes diferentes. Mas além das janelas, existem outros fatores que influenciam na distribuição da iluminação natural e, conseqüentemente, reduzem os contrastes existentes num ambiente: as refletâncias das superfícies. A luz refletida quase sempre traz uma importante contribuição para os lugares mais críticos do ambiente, onde a iluminação natural direta é mínima (BAKER E STEEMERS, 2002).

Se por um lado as janelas admitem a luz natural e proporcionam a comunicação visual com o meio externo, por outro levam a perdas de calor em climas frios e ganhos de calor e brilho intenso em climas quentes. Segundo Olgyay & Olgyay (1957), as janelas são os elementos do edifício que permitem a maior entrada de calor.

Tais efeitos negativos das janelas podem ser reduzidos através da escolha de sistemas que tenham como função o sombreamento solar, a proteção contra o ofuscamento ou o redirecionamento da luz natural (RUCK et al., 2000). Segundo Amorim (2002), um sistema para a luz natural é uma adaptação da janela ou abertura zenital que tem como objetivo otimizar a quantidade e distribuição de luz natural no espaço.

1.2.4. Elementos ou sistemas de controle da luz natural

Nas regiões tropicais, a disponibilidade de luz natural, seja ela direta ou difusa, é bastante elevada, fazendo com que o seu uso deva ser feito de maneira criteriosa, no sentido

de explorar seus benefícios, otimizar seu desempenho e amenizar seus inconvenientes, obtendo-se melhores condições de temperatura e controle de incidência de luz solar, que pode provocar contrastes, ofuscamentos e sobreaquecimentos indesejados, bem como a deterioração e fotodegradação de objetos expostos (FROTA, 2004). Segundo Baker e Steemers (2002), o objetivo geral dos elementos de controle é reduzir os ganhos solares e ofuscamentos indesejados sem reduzir a quantidade suficiente de luz natural no ambiente.

A localização dos elementos de controle pode ser classificada de acordo com a sua posição em relação às aberturas. Assim, os elementos de controle podem ser externos (fixos ou móveis), controlando a radiação antes que ela atinja o corpo da edificação, internos, controlando a radiação após sua entrada no ambiente, ou entre dois vidros (FROTA, 2004).

Para ajustar as necessidades de cada ambiente a um dos tipos de controle da luz natural, Ruck et al. (2000) especifica alguns parâmetros a serem considerados na escolha do sistema: condições de iluminação natural do sítio (latitude, nebulosidade, obstruções); objetivos e estratégias da iluminação natural implícitos no projeto arquitetônico; forma e função das janelas; objetivos de redução de energia e de potências de pico; restrições operacionais – fixo/móvel; considerações acerca da manutenção; restrições econômicas e de integração.

Ainda segundo Ruck et al. (2000), é importante atentar para os principais objetivos da aplicação dos sistemas de controle, quais sejam, redirecionar a luz natural para zonas sub-iluminadas; melhorar a iluminação natural para o desenvolvimento das tarefas; melhorar o conforto visual e controlar o ofuscamento; fornecer proteção solar e controle térmico.

Para Bittencourt (2004), vários aspectos merecem ser considerados na definição dos tipos de protetores a serem projetados, como a eficiência, plasticidade, privacidade, luminosidade, ventilação, visibilidade, durabilidade, custos de implantação e manutenção.

Olgyay & Olgyay (1957) afirmam que existem vários elementos de controle que possuem o mesmo perfil ou características similares, sendo possível encontrar diversas soluções tecnicamente corretas para cada situação, cabendo ao arquiteto escolher a mais adequada.

Dentre os sistemas de controle da luz natural, serão citados aqueles que possuem melhor desempenho nos climas quentes e que não apresentam custos exorbitantes de instalação e manutenção.

As prateleiras de luz, por exemplo, devem ser aplicadas em climas com significativa contribuição de luz natural direta do sol e não possuem bom desempenho em climas que

apresentem condições de céu encoberto. Além disso, também não possuem bom desempenho em orientações leste e oeste (RUCK et al., 2000).

Uma prateleira de luz (Figura 3) normalmente é posicionada horizontalmente acima do nível do observador em um componente de passagem vertical, dividindo-o em uma parte superior e uma inferior. Protege as zonas internas próximas à abertura da luz solar direta e redireciona a luz que cai na superfície superior para o teto. Promove sombra no verão e maior uniformidade na distribuição da luz interna, reduzindo ganhos de calor e ofuscamento nas superfícies de trabalho próximas às aberturas (BAKER et al., 1993; EDMONDS E GREENUP, 2002).

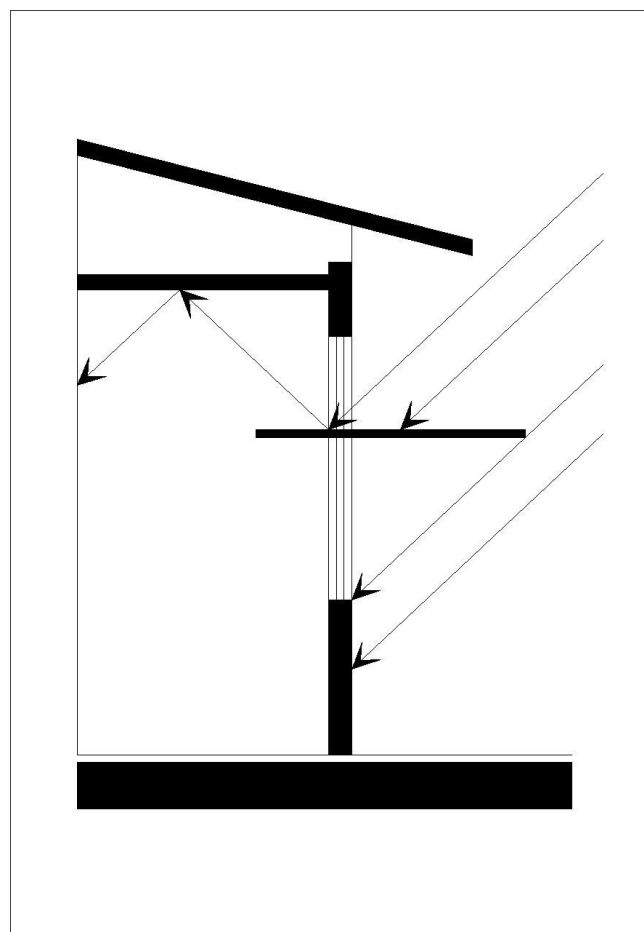


Figura 3: Corte de uma prateleira de luz interior e exterior

Fonte: A autora, 2010

De acordo com Ruck et al. (2000), a prateleira de luz é tipicamente posicionada para evitar ofuscamento e manter a vista externa; sua locação será definida pela configuração do ambiente, pela altura do teto e pelo nível do observador no ambiente.

As prateleiras de luz podem ser classificadas como internas, prolongando-se a partir do plano da abertura para dentro do ambiente, externas, prolongando-se a partir do plano da

abertura para fora do ambiente, ou combinadas, formadas com as duas características em uma só (BAKER et al., 1993).

O teto também é parte importante da prateleira de luz, visto que a luz é refletida por ela em direção ao teto e depois refletida pelo teto em direção ao ambiente, devendo-se levar em consideração o revestimento e a inclinação de sua superfície. Para evitar o ofuscamento de reflexões do teto próximas à prateleira de luz, a superfície do teto deve ser branca e com pintura de baixo brilho (RUCK et al., 2000).

Para maximizar a capacidade da prateleira de luz em refletir a luz para o fundo do ambiente, também se pode levar em consideração as vantagens da inclinação do teto a partir da parte superior da abertura em que se encontra a prateleira de luz até a parte posterior da sala (GUIDE FOR DAYLIGHTING SCHOOLS, 2002).

Quando a luz direta do sol está presente e há o risco de sobreaquecimento e ofuscamento, o brise-soleil, ou quebra-sol, é eficiente contra a entrada dessa luz direta e permite apenas a entrada da luz refletida do solo que inicialmente ilumina o teto, criando uma fonte de luz secundária, livre de ofuscamento, dentro do ambiente (BAKER E STEEMERS, 2002).

De acordo com Baker e Steemers (2002), quando tais dispositivos estão localizados fora das aberturas, a maior parte da energia absorvida é perdida para o meio externo através da radiação e convecção, enquanto que se estiverem localizados dentro do ambiente, a maior parte da radiação absorvida será emitida para o ambiente interno.

Para Olgyay & Olgyay (1957), no caso dos brises externos, a interceptação da energia se produz no lugar certo, ou seja, antes de atingir o edifício.

Segundo Baker e Steemers (2002), os beirais podem ser considerados a forma mais simples de controle solar, baseando-se na geometria solar para excluir as mais altas alturas solares, na medida em que obstrui a parte do céu por onde o sol passa.

Ainda segundo Baker e Steemers (2002), no caso dos beirais, deve haver uma forte componente de reflexão do solo iluminando o teto e a sua parte inferior para que não haja uma significativa redução da iluminação no fundo do ambiente em virtude da redução da entrada do fluxo de luz natural, tanto do céu como do sol (ver Figura 4).

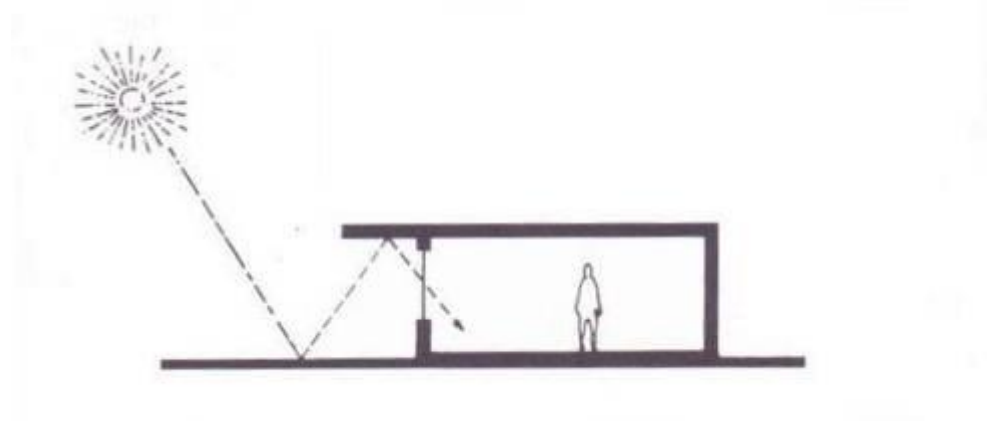
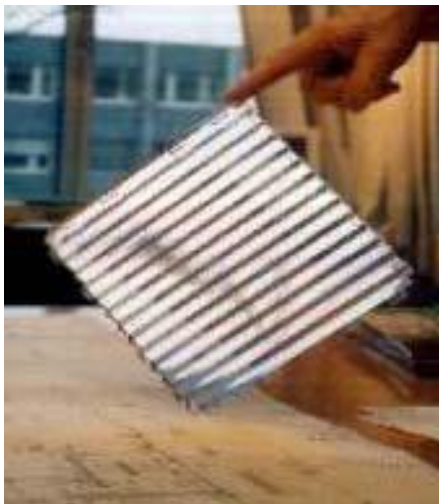


Figura 4: Uso do beiral com alto índice de reflexão do solo

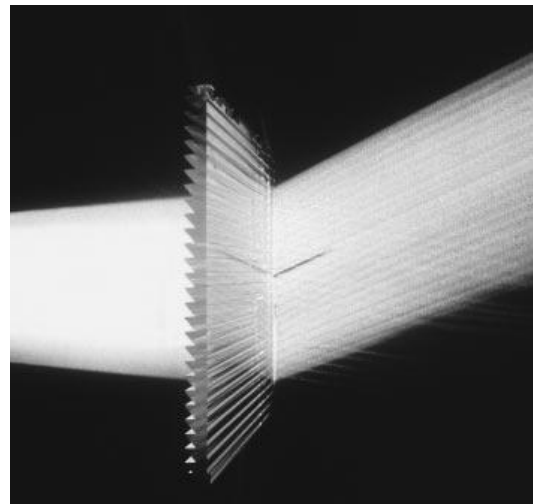
Fonte: LECHNER, 2001

Existem também os chamados sistemas avançados ou inovadores para controle da luz natural, denotando, segundo Baker e Steemers (2002), recentes desenvolvimentos de novos sistemas que incorporam novos materiais ou produtos.

Os painéis prismáticos (Figura 5) são dispositivos finos, feitos de materiais transparentes, com uma face plana e com elementos prismáticos posicionados num padrão regular na outra face (BAKER E STEEMERS, 2002). Podem refratar a luz direta do sol e transmitir a luz difusa do céu, mas impedem uma visão totalmente clara. Para Baker e Steemers (2002), seu preço é considerado alto.



(a)



(b)

Figura 5: Painel prismático (a) e sua seção transversal (b)

Fonte: AMORIM, 2002 (a) e RUCK et al., 2000 (b)

O *laser cut panel* desfruta dos mesmos princípios de refração da luz incidente que os painéis prismáticos, direcionando-a para o teto do ambiente, sendo formado por uma placa de acrílico cortada a laser internamente, colocada dentro de dois vidros, desviando o feixe de luz

que chega (AMORIM, 2002). O *laser cut panel* possui uma transparência muito maior do que os sistemas prismáticos, permitindo a visão externa (Figura 6).

Segundo Edmonds e Greenup (2002), o *laser cut panel* é um poderoso sistema de deflexão da luz que pode ser montado como vidraça principal ou como um segundo vidro interno na parte superior de uma janela para executar a mesma função que uma prateleira de luz, sem apresentar a desvantagem do acúmulo de poeira.

Baker e Steemers (2002) indicam que o efeito de redirecionamento alcançado pelos cortes parece ser bastante eficiente e que, deste modo, a luz do sol ou a luz difusa do céu pode ser redirecionada para o teto do ambiente.



(a)



(b)

Figura 6: *Laser cut panel* (a) e a visão através dele (b)

Fonte: AMORIM, 2002 (a) e RUCK et al., 2000 (b)

1.3. Conforto luminoso

De acordo com Boyce (2010), a luz é uma necessidade para a atuação do sistema visual, mas se fornecida de forma incorreta pode ser prejudicial à saúde. Segundo Schmid (2005), procuramos ver sem ferir os olhos e sem sofrer estresse; ver mais daquilo que cada tarefa nos pede, e menos daquilo que nos desvia a atenção da tarefa.

As condições de luz, juntamente com as condições térmicas e acústicas de um espaço, estão relacionadas à sua habitabilidade e o seu controle deve ser premissa básica de todo projeto com o objetivo de proporcionar aos usuários melhores condições de conforto.

O conforto luminoso é alcançado a partir de iluminâncias adequadas à tarefa visual e aos seus usuários e a partir de boas condições de visibilidade, evitando-se incômodos visuais.

A NBR 5413 (ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992) prega como fatores determinantes da iluminância adequada a velocidade e precisão da tarefa e sua refletância do fundo, além da idade do observador.

Mas em determinados ambientes, a iluminação não tem uma função diretamente relacionada com a tarefa a ser desenvolvida, é o caso da iluminação que vai expressar a arquitetura, criar um clima adequado, dar ênfase e estabelecer coerência visual (CIBSE, 2002).

Deve-se então considerar que a exata relação entre iluminância e desempenho alcançado irá variar com a natureza da tarefa. Assim, onde a tarefa apresenta apenas uma pequena componente visual, a influência da iluminância no desempenho dos usuários será pequena, mas onde a componente visual é importante elemento da tarefa, a iluminância fornecida terá grande influência (CIBSE, 2002).

Nesse último caso, o aumento dos níveis de iluminação traz um incremento na acuidade visual, que alcança um máximo a cerca de 1000 lx, pois provoca a redução da pupila, fazendo com que os raios de luz se foquem mais precisamente na fóvea, parte da retina onde o olho mantém a imagem em foco (BAKER E STEEMERS, 2002).

Mas, além disso, o desempenho visual de uma pessoa não depende apenas da qualidade da iluminação, como também das suas habilidades visuais, onde a idade é um importante critério, pois as exigências de iluminação aumentam com ela. Uma das várias razões desse severo efeito da idade é a deterioração da transmitância dos cristalinos que se tornam gradualmente amarelados (VAN BOMMEL E VAN DEN BELD, 2004).

Em relação à boa visibilidade, grandes contrastes de luz devem ser evitados, sendo desejável algum nível de uniformidade sobre o plano de trabalho para que o olho humano não seja forçado a se adaptar rapidamente a uma grande variação dos níveis de luz (RUCK et al., 2000), visto que variações excessivas de iluminâncias sobre a área que contém detalhes e objetos necessários à performance de dada tarefa podem causar confusão e mudanças na adaptação visual (CIBSE, 2002).

Condições visuais que resultam em incômodo, desconforto ou fadiga ocular também devem ser evitadas. Os sintomas da fadiga ocular podem ser irritação dos olhos e pálpebras, embaçamento ou visão dupla e até mesmo dores de cabeça, indigestão e tontura (BOYCE, 2010). Assim, devem ser evitados ofuscamentos, que podem ocorrer quando o olho é confrontado diretamente com a fonte de luz, impedindo a visão de forma parcial ou total. Podem ocorrer ainda quando há elevada ou desuniforme luminosidade no campo de visão (Figura 7) (RUCK et al., 2000).

Por isso, o controle das luminâncias das superfícies no ambiente de trabalho e, especialmente, no plano de trabalho, é fundamental. Uma boa distribuição da luz natural através do espaço contribui significativamente com a redução de variações excessivas de luminâncias. Também é importante controlar a luminância da porção de céu visível no plano das aberturas e a luminância das superfícies imediatamente adjacentes a essas aberturas (OSTERHAUS, 2005).



Figura 7: Ofuscamento no plano de trabalho

Fonte: RUCK et al., 2000 (a)

1.4. Iluminação natural e arquitetura escolar

O processo de ensino e aprendizagem representa enorme importância sócio-econômica e cultural, na medida em que é responsável pela formação dos cidadãos do país. Existem diversos fatores que influenciam na capacidade de aprendizado dos alunos e dentre eles devemos destacar a configuração física do ambiente escolar. Assim, a produção de edifícios escolares adequados ao seu uso é um dos requisitos que devem ser considerados na busca pela melhoria do ensino, pois exerce grande influência no processo do aprendizado.

Assim, como prega Buffa e Pinto (2002), o espaço físico da escola, sua fachada e estrutura, o jardim, as salas de aula, os corredores, a sala dos professores e do diretor, enfim, toda a organização arquitetônica do espaço é parte importante do ambiente que educa.

O projeto dos edifícios escolares, e das salas de aula em particular, através da configuração e dimensionamento dos espaços e de condições de ergonomia, luz, ventilação e ruído, deve contribuir para o melhor rendimento de professores e alunos.

Apesar disso, no Brasil, a construção de edifícios especialmente projetados para abrigar escolas públicas é relativamente recente, pois no período do Império (1822-1889) havia as chamadas escolas de ler e escrever ou escolas de primeiras letras que na maioria das vezes eram a extensão da casa do professor, funcionando em paróquias, cômodos de comércio, salas com pouco ar e pouca luz (BUFFA E PINTO, 2002).

Segundo Berger e Almeida (2004), pode-se verificar que, desde o período colonial (1500-1822) e imperial (1822-1889), a preocupação maior era com o ensino superior destinado às elites, tanto que pelo Ato Adicional à Constituição de 1834, o governo imperial se responsabilizava pelo ensino superior, cabendo os demais graus, entre eles as escolas de primeiras letras, às depauperadas e atrasadas províncias. Nesse contexto, o Ato Adicional de 1834 causou a desagregação e crescimento anárquico dos ensinos primário e secundário, que não precisavam obedecer a qualquer plano de conjunto ou a uma tentativa de integração entre eles (NUNES, 1984).

A real preocupação com os projetos arquitetônicos escolares inicia-se com a República (1889 até hoje), quando a arquitetura escolar pública passa a aliar, na configuração do espaço,

as concepções pedagógicas recém elaboradas pelos educadores e políticos republicanos e o projeto político do novo governo (CORREIA, 2005).

Além disso, é nesse período que os nossos grandes centros urbanos começam a se destacar, trazendo a escola como consequência da vida urbana, como equipamento da cidade industrial (ARTIGAS, 2004). Cabia à escola primária, no projeto político e social republicano, a missão de formar o cidadão capaz de legitimar o regime e regenerar a nação (BERGER E ALMEIDA, 2004).

No ensino público brasileiro, a escola graduada de ensino primário, formada por múltiplas salas de aula e um professor para cada classe de alunos, aparece pela primeira vez no estado de São Paulo, na década de 1890, com a Escola Modelo da Luz, mais tarde denominada Grupo Escolar Prudente de Moraes (BUFFA E PINTO, 2002). A Escola Normal de São Paulo, construída em 1894, possuía um magnífico edifício implantado em vasta área verde que simbolizava bem o ímpeto renovador que caracterizou os primeiros anos republicanos (ARTIGAS, 2004).

As escolas construídas durante a Primeira República (1889-1930), segundo Graça e Kowaltowski (2004), eram consideradas de ótima qualidade do ponto de vista construtivo e obedeciam a um programa arquitetônico composto basicamente de salas de aula e de um reduzido número de ambientes administrativos e caracterizavam-se, em especial, pela simetria da planta, na qual se identificava a rígida separação entre as seções masculina e feminina.

Nessa época, a arquitetura escolar reflete, talvez melhor do que qualquer outra categoria de edifícios, os recursos técnicos que tivemos à disposição e as idéias culturais e estéticas dominantes, tudo condicionado a um projeto nacional de desenvolvimento (ARTIGAS, 2004).

Para construir rapidamente um grande número de edifícios com baixos custos, de acordo com Buffa e Pinto (2002), a alternativa dominante nas primeiras construções escolares foi a utilização de projetos-tipo genéricos que divergiam apenas no desenho de suas fachadas. Segundo Artigas (2004), as escolas públicas republicanas datadas até 1911 caracterizam-se por uma grande simplicidade de solução espacial.

Os princípios norteadores de salubridade e higiene nesse período proporcionaram o uso de grandes aberturas que permitissem boa luminosidade e ventilação controlada (BUFFA E PINTO, 2002).

De acordo com Dorigo (2007), preocupações com níveis de iluminação interna em escolas são verificadas já em relatos do início do século passado, embora a ausência de

critérios e diretrizes orientasse para reproduções de soluções baseadas meramente em experiências práticas ou opiniões pessoais, fazendo com que ao longo dos anos tenha se valorizado mais a quantidade do que a qualidade da iluminação nos espaços de ensino.

Assim, o Regulamento da Diretoria Geral de Saúde Pública do Estado do Paraná, publicado em 1929, trazia diretrizes construtivas para os edifícios públicos escolares, no que diz respeito ao pé-direito mínimo para as salas de aula, sua iluminação e ventilação (BENCOSTTA, 2005).

Em 1933, com a criação do Código de Educação do Estado de São Paulo e de uma Comissão Permanente formada por profissionais especializados e que tinha como objetivo resolver os problemas físicos, quantitativos e de remodelação do ensino das construções escolares, passaram a ser discutidos vários pontos do programa arquitetônico dos novos grupos escolares e aspectos técnicos da construção como a orientação, iluminação e ventilação; as cores da pintura; a largura dos corredores e escadas; os quadros negros, o vestiário, as instalações de água potável e as instalações sanitárias (BUFFA E PINTO, 2002).

Num período de preocupações higienistas e epidemias, a liberdade de implantação no lote, com o objetivo de melhor promover o controle da insolação e ventilação dos ambientes da sala de aula, tornou-se a principal diferença entre os edifícios construídos pela República Velha e os construídos nos anos 30 (BUFFA E PINTO, 2002).

Ainda com o propósito de estudar o problema da construção de escolas e viabilizar as atividades de planejamento, projeto e obras, outras comissões foram criadas nas décadas seguintes; principalmente após a Constituição de 1946 que obrigava União, Estados e Municípios a investirem uma porcentagem mínima dos recursos arrecadados na educação; trazendo inovações construtivas e pedagógicas. Mas, apesar disso, os problemas de insuficiência de escolas e vagas, a má distribuição de escolas nos municípios, o aumento da população das cidades após a industrialização e urbanização, a adoção de medidas paliativas por parte dos governos e as condições físicas precárias dos prédios sempre fizeram parte da realidade escolar, afetando a qualidade do ensino ministrado.

A partir de 1960, de uma maneira geral, na tentativa de resolver a problemática escolar, o Estado de São Paulo inicia um processo de investimentos nos edifícios públicos, entre eles os escolares. Os arquitetos contratados para a construção de tais edifícios utilizam os preceitos modernos já consolidados que possuíam uma linguagem própria e mundialmente conhecida.

Nesse período, segundo Buffa e Pinto (2002), quesitos como conforto térmico e acústico e iluminação muitas vezes eram preteridos em função da forma, encontrando-se belas escolas extremamente frias no inverno e quentes no verão, com zonas importantes mal iluminadas e com áreas onde o fluxo de ventilação é sem controle. Ainda segundo Buffa e Pinto (2002), externamente, o edifício escolar moderno surge na paisagem urbana como um marco tão monumental quanto os antigos edifícios escolares da República Velha.

Mas esse período onde cada edifício podia ser projetado pela livre criatividade dos arquitetos foi breve, pois em seguida, a política adotada foi a de uma economia ainda maior de custos de projeto e construção dos edifícios escolares (BUFFA E PINTO, 2002).

O histórico da arquitetura escolar no estado de Sergipe não é diferente. Segundo Nunes (1984), o panorama da educação sergipana nos fins da época imperial não era animador; o estado material das escolas primárias era péssimo e o professorado leigo e despreparado.

Nesse estado, é com o Decreto nº 27, de junho de 1890, que passa a ser estabelecido o ensino primário obrigatório (BERGER E ALMEIDA, 2004). Apesar disso, nos primórdios da Primeira República (1889-1930), enquanto vários estabelecimentos particulares vão surgindo devido ao processo crescente de urbanização e desenvolvimento, o ensino público em Sergipe passa por um processo de estagnação (BERGER E ALMEIDA, 2004), com instalações precárias e péssimas condições de higiene (NUNES, 1984).

A localização das escolas primárias não obedecia a qualquer critério demográfico ou de importância econômica da região e sim ao prestígio dos chefes políticos locais (NUNES, 1984). O ensino público sergipano começa a merecer destaque a partir de 1914, com a construção de vários grupos escolares, dois desses em Aracaju (BERGER E ALMEIDA, 2004).

Mas, é no governo de Maurício Graccho Cardoso (1922-1926), que a instrução pública em Sergipe vai ganhar grande impulso, com a construção de 15 Grupos Escolares, treze nos municípios interioranos e dois em Aracaju, o GE José Augusto Ferraz (Figura 8), hoje desativado, e o GE Manoel Luís (Figura 9), um dos estabelecimentos escolares mais antigos e em funcionamento da cidade, sem alterações no seu estilo arquitetônico (BERGER E ALMEIDA, 2004). Segundo Nunes (1984), Graccho Cardoso construiu modernos grupos escolares e adquiriu casas para localizar escolas isoladas em melhores condições de conforto e higiene.



Figura 8: Grupo Escolar José Augusto Ferraz

Fonte: A autora, 2009



Figura 9: Grupo Escolar Manoel Luís

Fonte: A autora, 2009

Para Berger e Almeida (2004), muitos desses grupos foram instalados em prédios que se destacam pela sua arquitetura e localizados em praças públicas, como forma de anunciar que o governo estava se voltando para o planejamento e criação da instrução pública. Muitos possuíam ainda uma águia no topo da sua fachada principal, que fora escolhida como símbolo daquele governo, sendo atribuída à sua visão avançada e capacidade de realizar obras para o bem comum e com grande alcance social (BERGER E ALMEIDA, 2004).

Atualmente existem estudos, manuais e cadernos técnicos publicados pelo Fundo de Fortalecimento da Escola/Ministério da Educação (Fundescola/MEC) que oferecem alguns

subsídios às equipes de profissionais dos órgãos estaduais e municipais para a elaboração, acompanhamento e construção de projetos arquitetônicos escolares. Dentre eles podemos citar os Subsídios para elaboração de projetos e adequação de edificações escolares (CORTEZ E SILVA, 2002) ou os Padrões mínimos de funcionamento da escola do ensino fundamental (MORAES, 2006), que incluem informações técnicas e recomendações acerca do ambiente físico escolar.

Apesar disso, Avaliações Pós-Ocupação (APOs) realizadas em estados brasileiros apontam frequentemente problemas, principalmente referentes ao conforto ambiental (térmico, acústico, luminoso). A adoção de projetos padrão para as edificações escolares tem sido uma das causas desses problemas, pois não leva em conta situações locais específicas, resultando em ambientes escolares desfavoráveis (FUNARI e KOWALTOWSKI, 2005).

Para Dorigo (2007), como as condições ambientais encontradas em determinado local influenciam a qualidade das tarefas e o desenvolvimento das atividades realizadas em seu interior, tem-se que a ampliação da rede de ensino público pela repetição de mesmas tipologias, com projetos-padrão, desenvolvidos especificamente para atender a questões econômicas, de flexibilidade e padronização da rede, pode vir a comprometer diretamente a saúde e o rendimento escolar dos alunos, além de gerar edifícios pouco econômicos e com baixa eficiência energética.

No tocante às iluminâncias, a NBR 5413 (ABNT, 1992) estabelece valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras.

A norma indica três iluminâncias para cada tipo de local ou atividade, devendo-se considerar o valor do meio em todos os casos, exceto quando a tarefa se apresenta com refletâncias e contrastes bastante baixos, quando erros são de difícil correção, quando o trabalho visual é crítico, quando alta produtividade ou precisão são de grande importância ou quando a capacidade visual do observador está abaixo da média, devendo-se, nesses casos, utilizar o valor mais alto das três iluminâncias dadas. Inversamente, quando as refletâncias ou contrastes são relativamente altos, quando a velocidade e/ou precisão não são importantes ou quando a tarefa é executada ocasionalmente, o valor mais baixo pode ser usado. Para salas de aula, a norma indica os valores de 200 - 300 - 500 lux.

Segundo Dorigo (2007), pesquisas do ambiente escolar em países onde há normas e códigos de obras rigorosos, estudam também aspectos relativos ao espaço físico - como o tipo

de projeto arquitetônico e da configuração das salas de aula, o porte da escola e a quantidade de usuários dos espaços, a disposição do mobiliário, os tipos, quantidades e dimensões de janelas e luminárias ou a organização do material didático nas paredes – atribuindo-lhes a devida importância e reconhecendo-os como elementos capazes de influenciar diretamente a qualidade da aprendizagem.

Para Graça et al. (2007), o mesmo não acontece nos países em desenvolvimento, onde recentes evoluções no sentido de garantir alto desempenho e qualidade ao ambiente escolar não tem sido aplicadas no processo de concepção desses edifícios e onde a qualidade do projeto da construção escolar depende principalmente de critérios de projeto conhecidos e da prática e conhecimento profissionais. Ainda de acordo com Graça et al. (2007), não há um padrão de qualidade da arquitetura que proporcione um ambiente adequado de aprendizagem nas escolas públicas brasileiras.

1.5. Técnicas de análise do desempenho da iluminação natural

A previsão do desempenho da iluminação natural deve ser uma etapa provável durante o projeto e pode ser realizada através de diversas técnicas, dentre as quais Baker e Steemers (2002) destacam: Ferramentas Manuais Simplificadas, Modelos Físicos e Modelos Computacionais.

As ferramentas simplificadas fornecem aos projetistas informações sobre decisões básicas de projeto e são normalmente utilizadas para estimar o impacto causado por elementos específicos no desempenho da iluminação natural num estágio inicial de projeto. Além disso, não requerem equipamentos ou conhecimentos avançados e não conseguem modelar estratégias complexas de iluminação natural. De acordo com os diferentes estágios de projeto ou com uma problemática específica, os projetistas podem escolher a ferramenta simplificada mais adequada dentre equações, nomogramas, transferidores, diagramas etc. (RUCK et al., 2000; BAKER E STEEMERS, 2002).

Os modelos físicos em escala reduzida dos edifícios são utilizados em todo o mundo com o propósito de colaborar com o projeto de iluminação natural (BAKER E STEEMERS,

2002). Os resultados obtidos com os modelos físicos para análise da iluminação natural não necessitam de correções em virtude da mudança de escala, pois os comprimentos de onda da luz visível são tão curtos em relação aos modelos, que o comportamento da luz não consegue ser alterado (BAKER et al., 1993).

Assim, de acordo com Ruck et al. (2000), até os menores modelos de escala reduzida podem produzir resultados bastante precisos devido ao tamanho extremamente pequeno dos comprimentos de onda da luz (380-780 nanômetros). Os estudos com modelos em escala são destacados por Littlefair (2002) como uma das técnicas que podem ser usadas para prever a distribuição dos níveis de luz natural em um átrio e seus espaços adjacentes, tarefa muitas vezes complexa e difícil.

Para a análise do desempenho da iluminação natural, os modelos podem ser expostos à própria abóbada celeste ou a um céu artificial (Figura 10). Segundo Ruck et al. (2000), os simuladores de céu tem sido utilizados nos estudos da iluminação natural e possuem a vantagem de oferecer condições confiáveis que simulam a iluminação natural sob céus reais.

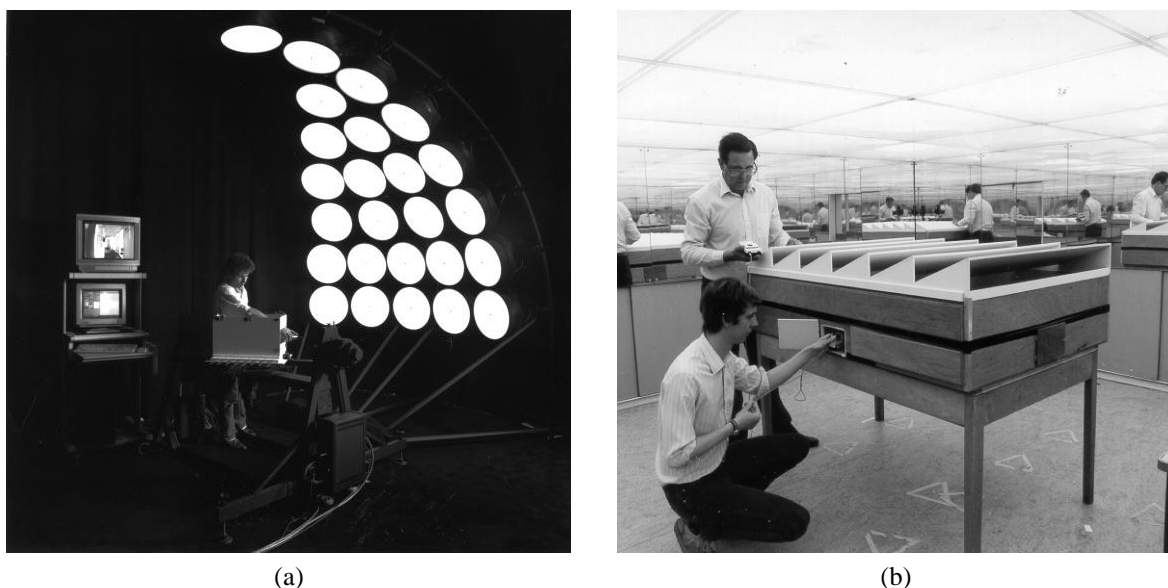


Figura 10: Simuladores de Céu: *Scanning Sky Simulator* (a) e *Mirror Sky* (b)

Fonte: RUCK et al., 2000

Mas existem algumas limitações no uso dos modelos físicos, pois normalmente encontram-se dificuldades em atender a todos os pré-requisitos necessários à sua construção, o que pode gerar resultados imprecisos. Como exemplos dessas regras principais, tem-se que partes do modelo precisam ser removíveis para permitir a colocação de sensores, que as propriedades óticas das superfícies internas e externas devem ser as mais próximas possíveis

da realidade ou que suas paredes devem ser feitas com material completamente opaco e com suas junções bem vedadas (RUCK et al., 2000).

Os modelos computacionais são gerados a partir de programas que simulam o desempenho da iluminação natural. O avanço na tecnologia dos computadores, cada vez mais rápidos e com recursos de computação gráfica, provocou um uso cada vez mais constante das simulações computacionais em pesquisas no ambiente construído (CABÚS, 2005).

Segundo Pereira et al. (2007), muitos especialistas utilizam as ferramentas computacionais de simulação no projeto de edificações, cabendo a elas agilizar o processo de tomada de decisões nas diferentes etapas do projeto, fornecendo informações precisas sobre o impacto ambiental das diferentes opções de projeto. Souza et al. (2001) destacam ainda o baixo custo e a independência de fatores naturais externos como características das simulações computacionais.

No caso da iluminação natural, a sua simulação fornece, num rápido processo, os efeitos da entrada de luz difusa e direta em ambientes internos ao longo do ano, permitindo a verificação da adequação do dimensionamento e localização de aberturas, os efeitos do uso de materiais, texturas e cores na iluminância e na distribuição de luz nos ambientes (SOUZA et al., 2001). Segundo Cabús (2005), é possível afirmar que a simulação computacional é opção rápida e eficiente para pesquisas em iluminação natural. Dessa forma, a tecnologia computacional mostra-se como fundamental ferramenta de antevisão técnica e previsão de desempenho (GRAZIANO E SIGFRIDO, 2001).

De acordo com algumas pesquisas, as ferramentas computacionais vêm crescendo em número e uso para o projeto arquitetônico (RUCK et al., 2000). Segundo a pesquisa de Reinhart e Fitz (2006), realizada entre projetistas, engenheiros e pesquisadores de 27 países sobre o uso de simulações da luz natural nos projetos, 79% de todos os entrevistados que incluem aspectos da iluminação natural durante o projeto, utilizam ferramentas de simulação computacional. Para eles, existe uma pequena, mas sólida, base de pessoas que estão usando ferramentas de simulação da luz natural na prática de projeto atual.

De acordo com o método de cálculo utilizado, essas ferramentas podem se agrupar em duas categorias distintas: aquela que usa o método da radiosidade ou aquela que utiliza o método do raio traçado.

O método da radiosidade (Figura 11) é utilizado para determinar a iluminância e luminância de um conjunto de pontos localizados nos centros das diferentes superfícies dos

elementos (RUCK et al., 2000). Para Littlefair (2002), tal método é razoavelmente exato e rápido no caso de espaços simples com áreas insignificantes de reflexão especular, pois através dele torna-se difícil incluir o comportamento de materiais especulares, sendo mais fácil para aqueles que são difusores uniformes (GEEBELEN et al., 2005).

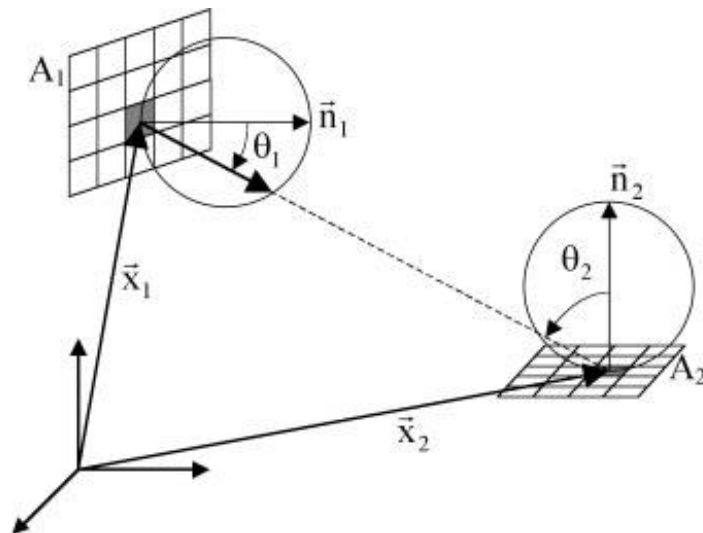


Figura 11: Método da radiosidade

Fonte: RUCK et al., 2000

O método do raio traçado (Figura 12) determina a visibilidade das superfícies através do traçado de raios de luz imaginários, partindo do olho do observador até os objetos, conseguindo considerar materiais especulares, como vidros e superfícies brilhantes, e simular efetivamente texturas não homogêneas. Graças a sua vasta gama de aplicações, o método do raio traçado exerce um papel significativo no projeto e simulação de sistemas de iluminação natural, permitindo a comparação entre os desempenhos luminosos de cada sistema proposto (RUCK et al., 2000).

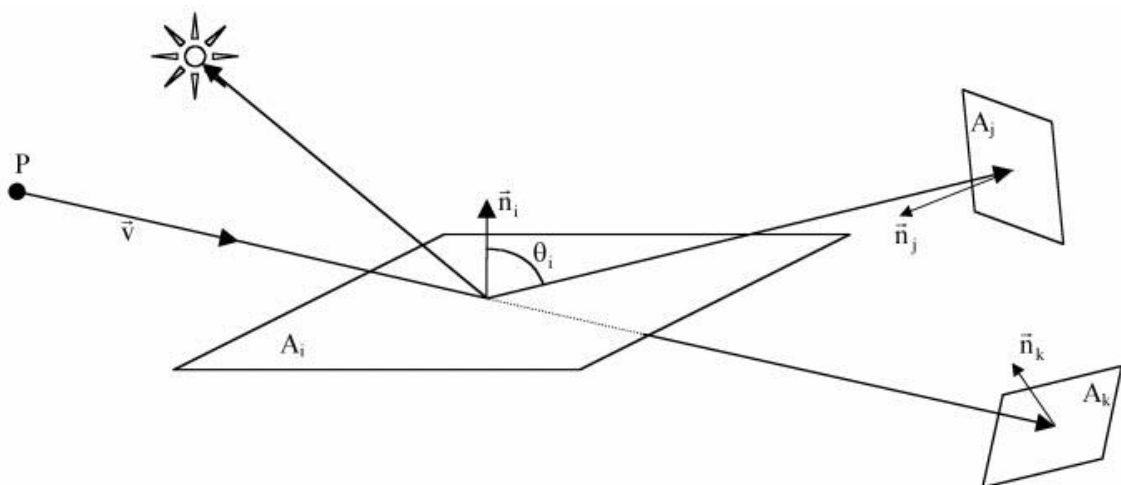


Figura 12: Método do raio traçado

Fonte: RUCK et al., 2000

Pesquisa realizada pela IESNA (2002) traz como programas de simulação computacional que executam cálculos de iluminação natural o Genesys II, o Luxicon 2.3, o Desktop Radiance, o LumenMicro 2000, o Relux Professional 2.4 e o Rayfront, entre outros.

Dentre essas ferramentas computacionais, podemos destacar o LumenMicro e o Desktop Radiance. O LumenMicro utiliza o método da radiosidade, possui interface com o AutoCAD e saída de dados através de relatórios, gráficos de curvas isolux e apresentação tridimensional da distribuição de luz no ambiente pesquisado (CABÚS, 1997).

O Desktop Radiance utiliza o método do raio traçado, e, de acordo com a avaliação de programas de simulação computacional da luz natural realizada por Christakou (2004), o Radiance tem como principal aspecto positivo a modelagem da geometria, pois se beneficia da interface e possibilidades de modelagem 3D do AutoCAD, e como maior limitação a sua excessiva complexidade.

No cenário nacional existe o Apolux, que utiliza o método da radiosidade, e o TropLux, que utiliza o método do raio traçado. De acordo com Claro et al. (2005), o Apolux calcula e analisa a iluminação natural em espaços arquitetônicos abertos ou fechados e utiliza arquivos tridimensionais gerados em editores gráficos no formato DXF (*data exchange file*).

O TropLux é uma ferramenta de simulação computacional que se baseia nos conceitos do método Monte Carlo, do método do raio traçado e de coeficientes de luz natural. Para o cálculo das componentes refletidas externa e interna, o TropLux (Figura 13) utiliza a subdivisão de céu proposta pela CIE (Commission Internationale de L'Eclairage), que o divide em 145 partes, e utiliza uma subdivisão mais refinada com 5221 partes, a fim de melhorar a precisão dos resultados em função do tamanho angular do sol, para o cálculo da componente direta (CABÚS, 2005).

Ainda segundo Cabús (2005), o programa procura dar uma visão geral da iluminância interna em ambientes, permitir sistemas de janelas complexos, levar em consideração as reais características das superfícies internas e externas (especularidade e difusividade), além de lidar com qualquer tipo de distribuição de céu, incluindo a luz solar.

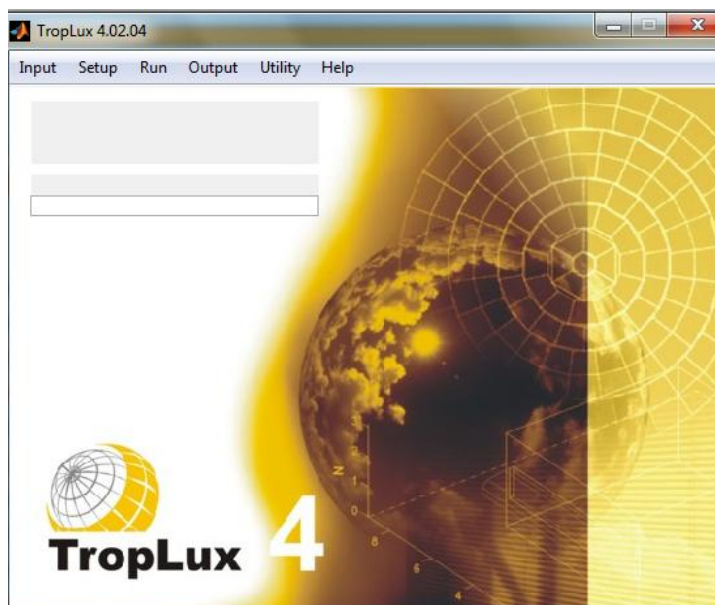


Figura 13: Tela inicial do TropLux 4

Fonte: TropLux

Laranja (2010) utilizou o TropLux como ferramenta computacional de simulação da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, com o objetivo de analisar as contribuições da malha urbana, vias e edificações obstruidoras. No que diz respeito às vias, foram consideradas largura, orientação e características das superfícies refletoras; já no que diz respeito às edificações obstruidoras, foram considerados a altura e afastamentos frontais e laterais, além das características das superfícies refletoras.

Para a determinação de um instrumento adequado de avaliação do comportamento da iluminação natural ao longo de todo o dia e do ano, Correia (2008) utilizou uma metodologia baseada no estudo comparativo entre os níveis de iluminância aferidos com luxímetros em um plano horizontal interno de uma sala de aula e os valores resultantes das simulações computacionais a partir dos programas Desktop Radiance, Relux Professional e TropLux.

Segundo Correia (2008), o TropLux demonstra ser a melhor opção para a realização de estudos de simulação da iluminação natural por fornecer iluminâncias mais próximas dos dados medidos. Além disso, simula simultaneamente datas, horas, orientações e tipos de céu preconizados pela CIE e possibilita a modelagem de geometrias complexas (CORREIA, 2008).

Com a intenção de avaliar o programa Energyplus quanto à iluminação natural, o TropLux foi também utilizado por Ramos (2008) que verificou a variabilidade e riqueza de resultados obtidos através dele.

Araújo (2006) fez uso do TropLux para gerar dados e investigar a influência de um conjunto de variáveis relacionadas ao entorno das edificações no espaço urbano sobre o aproveitamento da luz natural nas edificações do trópico úmido.

Através do TropLux, Cardoso (2006) investigou a influência da localização das aberturas e da profundidade das salas em relação à uniformidade da iluminação natural em edifícios de escritórios, propondo diretrizes de projeto para futuras construções de edifícios dessa tipologia na cidade de Maceió (AL).

Dentre outras pesquisas que utilizaram o TropLux, podemos citar ainda a de Cândido, Torres e Cabús (2005) que utilizou as simulações realizadas pelo TropLux para verificar o efeito da utilização de prateleiras de luz na uniformização da iluminação natural em determinado ambiente.

1.6. Métodos de avaliação de iluminâncias da luz natural

Nessa seção serão apresentadas e descritas três propostas de avaliação de iluminâncias da luz natural: os métodos gráfico e analítico propostos por Cabús, a autonomia da luz natural proposta por Reinhart e a iluminância útil de luz natural (IULN) proposta por Nabil e Mardaljevic.

1.6.1. Métodos gráfico e analítico propostos por Cabús

Cabús (1997) descreve dois métodos de processamento e análise de valores de iluminâncias coletados a partir de simulações computacionais: o Método Gráfico e o Método Analítico. Segundo Cabús (1997), o Método Gráfico é desenvolvido com vistas a se conseguir uma visualização dos resultados mais próxima daquela que os projetistas costumam trabalhar no seu dia-a-dia, tendo como base uma avaliação qualitativa. Já o Método Analítico leva em

consideração a necessidade de um instrumento baseado em uma avaliação quantitativa, fundamentada em referenciais estatísticos.

Tais métodos podem ser utilizados para o estudo genérico de distribuição de iluminâncias em ambientes iluminados natural ou artificialmente. O Método Gráfico consiste num mapeamento da iluminância no plano de trabalho, sendo definido por curvas isolux que determinam três regiões com intervalos de iluminâncias definidos a partir de um critério qualitativo que levanta um limite mínimo e outro máximo. Tais limites foram definidos de acordo com recomendações da ABNT no sentido de que a iluminância não seja inferior a 70% da iluminância média em qualquer ponto do campo de trabalho (CABÚS, 1997).

Assim, adotou-se o limite mínimo correspondente a 70% da iluminância média e o limite máximo correspondente a 130% da iluminância média. A região formada entre os limites foi chamada Região β , considerada com iluminância suficiente, a região formada abaixo do limite mínimo foi chamada de Região χ , considerada com iluminância insuficiente, necessitando da adição de iluminação complementar, e a região formada acima do limite máximo foi chamada de Região α , considerada com iluminância excessiva, devendo ser evitada para não provocar aumento no ganho de calor (CABÚS, 1997).

O Método Analítico proposto por Cabús (1997) consiste num instrumento matemático, baseado em princípios estatísticos, que pode ser utilizado diretamente sobre uma amostra representativa de iluminâncias para avaliar a sua distribuição no ambiente. Como parâmetro de desempenho dessa distribuição, foi definido o coeficiente de variação (Equação 1.1), medida de dispersão relativa de dados que permite a comparação entre dados com médias distintas, por exemplo. De acordo com Cabús (1997), esse desempenho será tão melhor quanto menor for o coeficiente de variação.

$$c.v. = \frac{s}{E_m} \times 100\% \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

c.v.: coeficiente de variação (%);

s: desvio padrão (lx);

E_m : iluminância média (lx)

1.6.2. Autonomia da luz natural proposta por Reinhart

Para Reinhart (2002), os benefícios associados à luz natural tendem a ser de natureza qualitativa e são sempre difíceis de serem expressados em termos quantitativos. Assim, a falta de indicadores significativos do desempenho da luz natural faz com que ela não seja um aspecto de projeto prioritário.

No seu estudo acerca da influência de diversas variáveis de projeto sobre a disponibilidade da luz natural em escritórios, Reinhart (2002) utilizou o índice de autonomia da luz natural, definido como o percentual de vezes por ano em que a iluminância média do plano de trabalho fica acima de 500 lx, nível mínimo de iluminância requerido pelo código de construção do Canadá (CLC) para tarefas de leitura e escrita contínuas em escritórios (REINHART, 2002).

A autonomia da luz natural leva em conta a orientação da fachada e os perfis de ocupação dos usuários, além de considerar todas as possíveis condições de céu através do ano (REINHART, 2002).

1.6.3. Iluminância útil de luz natural (IULN) proposta por Nabil e Mardaljevic

Os dados de iluminância da luz natural obtidos de hora em hora (ou em intervalos menores), durante um ano inteiro, sob condições de céu e sol variáveis, através de simulações computacionais, podem fornecer uma avaliação realista do desempenho da iluminação natural num ambiente interno (NABIL E MARDALJEVIC, 2005).

Apesar disso, a maioria dos arquitetos e designers é propensa a considerar tal conjunto de dados de iluminâncias imenso e o nível de detalhamento inadequado, especialmente na fase inicial de projeto. Diante disso, Nabil e Mardaljevic (2005) descrevem algumas maneiras através das quais os dados brutos de iluminâncias podem ser analisados e apresentados, tornando-os mais manejáveis e facilmente compreensíveis.

Uma dessas maneiras seria obter o número de horas por ano onde determinado nível mínimo de iluminância da luz natural é alcançado no plano de trabalho, caracterizando uma informação muitas vezes referida como autonomia da luz do dia. Outra maneira mais informativa, embora igualmente resumida, pode ser obtida através da frequência de ocorrência dos níveis de luz natural dentro de determinadas faixas (NABIL E MARDALJEVIC, 2005).

Mas a autonomia da luz do dia, por exemplo, não dá importância àquelas iluminâncias da luz natural que estão abaixo do nível mínimo estabelecido e que são valorizadas pelos ocupantes, possuindo o potencial de substituir total ou parcialmente a iluminação artificial. Também não faz nenhuma consideração acerca das iluminâncias que excederam o limite mínimo e que podem estar associadas com o desconforto dos ocupantes (NABIL E MARDALJEVIC, 2006).

Assim, para considerar a ocorrência simultânea das iluminâncias da luz natural através do ambiente, resultando numa medida síntese que conseguisse descrever o desempenho total da iluminação natural nesse ambiente e que conseguisse acomodar a enorme variedade dos níveis de iluminância da luz natural, deve ser determinada a ocorrência de um intervalo de iluminâncias sobre o plano de trabalho que possam constituir níveis úteis de iluminância da luz natural (NABIL E MARDALJEVIC, 2005 e 2006).

Dessa forma, se a iluminância estiver abaixo de um valor mínimo, pode não contribuir de maneira útil para a percepção do ambiente visual ou para a realização das tarefas. Inversamente, se a iluminância é muito alta, acima de um máximo, pode produzir desconforto térmico ou visual. As iluminâncias que estão entre esses limites mínimo e máximo foram chamadas por Nabil e Mardaljevic (2005) de iluminâncias úteis da luz natural. Os autores especificaram tais limites a partir de uma pesquisa de trabalhos publicados sobre o comportamento dos ocupantes de ambientes de escritório naturalmente iluminados sujeitos a uma ampla gama de condições de iluminação.

Após a citada pesquisa, chegaram às seguintes conclusões:

- Iluminâncias da luz natural menores que 100 lx são geralmente consideradas insuficientes para serem a única fonte de iluminação ou para colaborarem significativamente com a iluminação artificial.
- Iluminâncias da luz natural no intervalo entre 100 e 500 lx são consideradas eficazes tanto como a única fonte de iluminação como em conjunção com a iluminação artificial.

- Iluminâncias da luz natural no intervalo entre 500 e 2000 lx são muitas vezes percebidas como desejáveis ou pelo menos toleráveis.
- Iluminâncias da luz natural maiores que 2000 lx são suscetíveis de produzir desconforto visual ou térmico.

A partir desses dados, foi proposto que qualquer iluminância da luz natural dentro do intervalo entre 100 e 2000 lx pode fornecer iluminação útil aos ocupantes do ambiente (NABIL E MARDALJEVIC, 2006).

Segundo Nabil e Mardaljevic (2006), existem duas modalidades de análise da iluminância útil da luz natural (IULN). Para a primeira, a IULN será alcançada quando todas as iluminâncias da luz natural através do plano de trabalho, em qualquer instante, estiverem dentro do intervalo de 100 a 2000 lx. Para a segunda modalidade, a IULN será alcançada quando as iluminâncias de determinado ponto estiverem dentro desse mesmo intervalo (NABIL E MARDALJEVIC, 2006).

Os percentuais sobre o número total de horas em questão onde a IULN (Iluminância Útil da Luz Natural) é alcançada ($100 \text{ lx} \leq E \leq 2000 \text{ lx}$), excedida ($E > 2000 \text{ lx}$) e não alcançada ($E < 100 \text{ lx}$) são para os autores, indicadores consistentes da disposição real da iluminação natural para um espaço interno, permitindo comparações imediatas entre múltiplas opções de design, com base no desempenho da iluminação natural (NABIL E MARDALJEVIC, 2005).

1.7. Conclusão

O presente capítulo, dedicado à revisão bibliográfica, apresentou conceitos referentes ao uso da luz natural ao longo do tempo e às suas principais vantagens, necessários ao embasamento e justificativa da pesquisa. A exposição dos aspectos e elementos referentes à disponibilidade, admissão, distribuição e controle da luz natural fundamentaram a escolha de procedimentos utilizados na metodologia. Da mesma forma, conceitos sobre conforto luminoso e informações sobre o uso da luz natural na arquitetura escolar.

Foram apresentadas ainda, técnicas de análise do desempenho da iluminação natural, com ênfase para o TropLux, programa utilizado na pesquisa. Por último os métodos de avaliação de iluminâncias da luz natural, destacando-se a Iluminância Útil de Luz Natural (IULN), empregada na pesquisa para analisar e comparar o desempenho luminoso das salas de aula.

2. METODOLOGIA

2.1. Introdução

Para o alcance do objetivo proposto, a primeira etapa metodológica utilizada consistiu inicialmente na escolha de uma edificação escolar da rede de ensino estadual da cidade de Aracaju (Latitude 10°54'S, Longitude 37°07'O), capital do estado de Sergipe, situado no Nordeste brasileiro (ver Figura 14). Em seguida partiu-se para a observação de suas características físicas e de entorno e para a escolha da técnica de análise do desempenho da iluminação natural com a conseqüente escolha do programa de simulação computacional. Finalmente, foram realizadas medições físico-ambientais *in loco* e as simulações. Dessa forma, o presente capítulo apresenta as descrições de cada uma das etapas citadas acima.



Figura 14: Mapa do Brasil com a localização do estado de Sergipe

Fonte: MENDONÇA E SILVA (Orgs.), 2009

2.2. Levantamento das edificações escolares da rede de ensino estadual da cidade de Aracaju (SE)

A Secretaria de Estado da Educação do Estado de Sergipe, de acordo com dados fornecidos pelo Sistema Integrado de Gestão Acadêmica (SIGA), contabiliza a existência de 97 edificações escolares estaduais localizadas na cidade de Aracaju (SE), com um total de aproximadamente 65.000 alunos (dados referentes ao ano de 2008). A partir dessa informação, foi dado início a um ciclo de visitas a algumas dessas edificações, num total de 53 escolas visitadas (em torno de 55%). Dentre essas, foi observada uma tipologia recorrente adotada por 21 delas, o que representa aproximadamente 40% das escolas visitadas (ver APÊNDICE A).

Tal tipologia corresponde a edifícios paralelos com um ou dois pavimentos que abrigam salas moduladas, laboratórios, sanitários, depósitos e mini-auditórios. São cobertos por telhado de duas águas com estrutura em madeira e telhas cerâmicas. As salas possuem aberturas altas paralelas com basculantes em alumínio e vidro ou cobogós e protegidas por beirais. Os beirais voltados para a área interna são mais generosos, pois também são destinados a proteger a circulação horizontal dos edifícios (ver Figuras 15, 16 e 17).



Figura 15: Escola Estadual Monteiro Lobato

Fonte: a autora, 2008



Figura 16: Centro de Excelência Ministro Marco Maciel

Fonte: a autora, 2008



Figura 17: Colégio Estadual Governador João Alves Filho

Fonte: a autora, 2008

2.3. Escolha de uma edificação escolar da rede de ensino estadual da cidade de Aracaju (SE)

A partir da observação de uma tipologia recorrente adotada por aproximadamente 40% das escolas visitadas, optou-se por escolher uma das edificações escolares que apresentasse tal tipologia, com o propósito de poder colaborar com a melhoria de uma realidade existente numa considerável parcela das edificações escolares estaduais da cidade. Dentre essas, o

processo de escolha foi baseado principalmente na localização, facilidade de acesso e segurança necessárias ao andamento da pesquisa.

Após a análise desses requisitos, foi escolhida a Escola de 1º e 2º Grau Governador João Alves Filho, inaugurada no dia 15/03/1987 e situada à Rua Terêncio Sampaio, Bairro Salgado Filho, Aracaju (SE), com um total de 584 alunos matriculados no ano de 2008. A escola está localizada num terreno de esquina entre as avenidas Hermes Fontes e Francisco Porto, cruzadas por um viaduto (ver Figura 18). O bairro ainda apresenta um adensamento residencial vertical incipiente, sendo formado por uma maioria de edificações térreas.

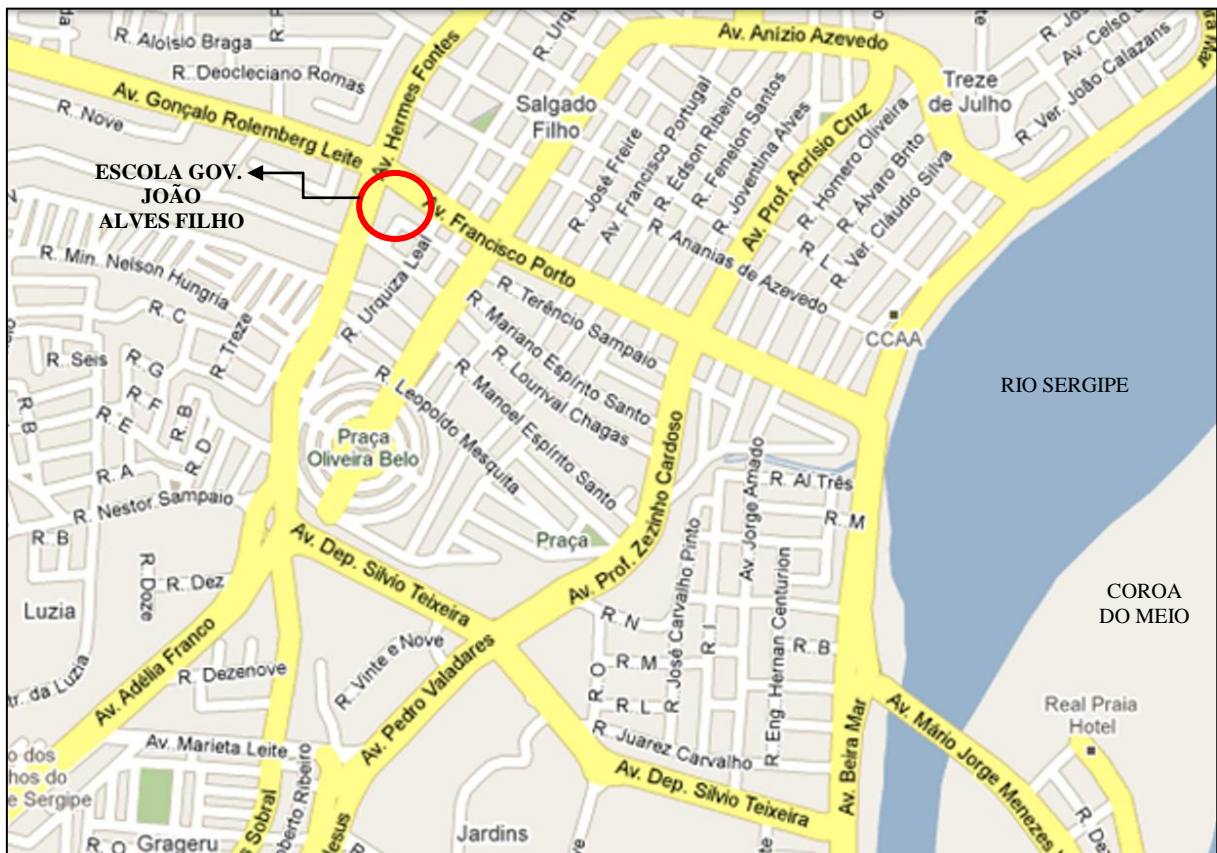


Figura 18: Mapa com a localização do Colégio Estadual Governador João Alves Filho no bairro Salgado Filho em Aracaju (SE)

Fonte: <http://maps.google.com.br>

A Escola Estadual Governador João Alves Filho, localizada em Aracaju-SE, apresenta a tipologia descrita acima, com três blocos paralelos, sendo que um deles possui apenas o pavimento térreo (ver Figuras 19 e 20). Cada módulo referente às salas de aula possui uma configuração regular de 6,85 m x 6,85 m, pé direito menor de 3,18 m de altura e pé direito maior de 3,72 m.

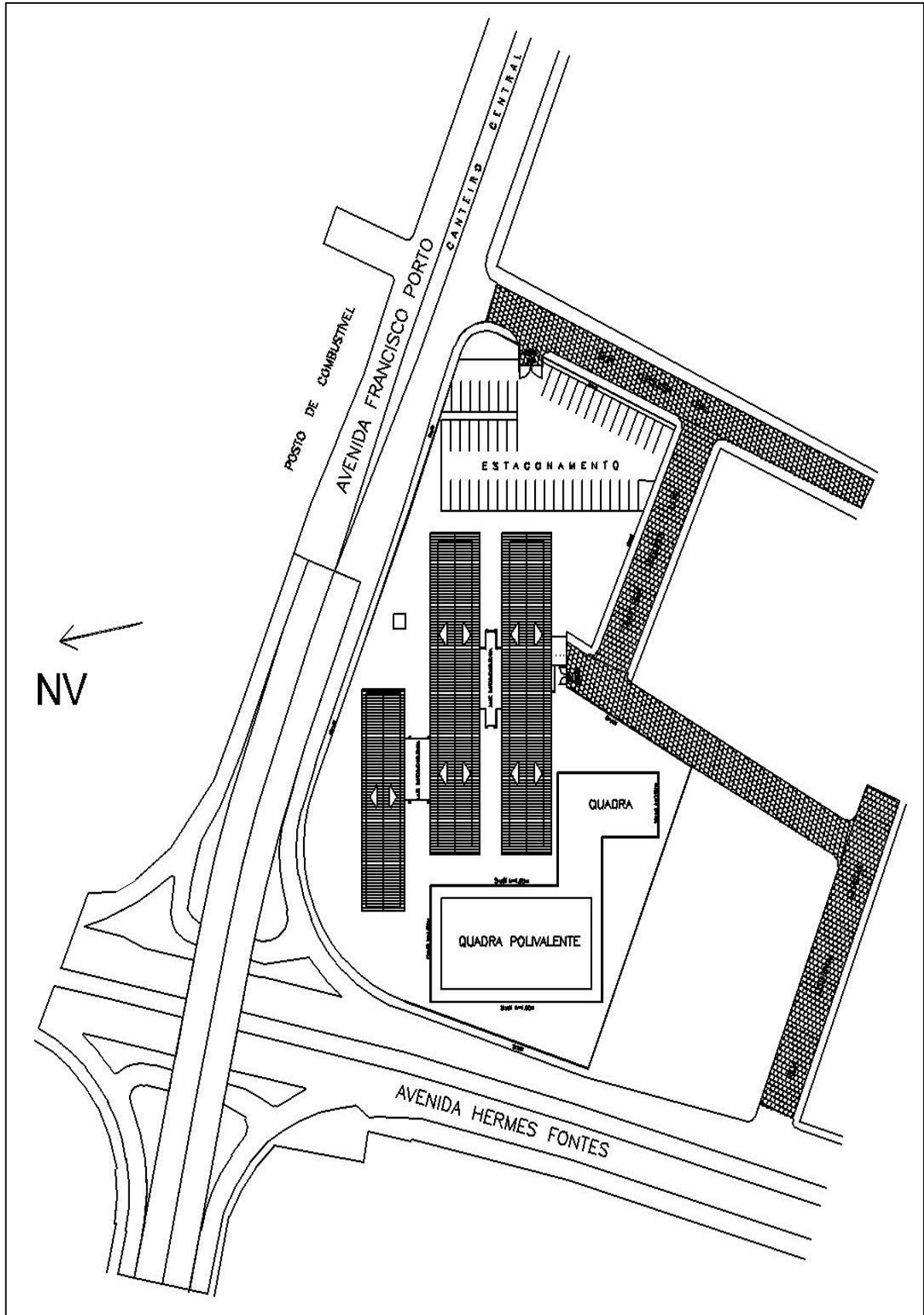


Figura 19: Planta de localização e coberta esquemática

Fonte: CEHOP - SE

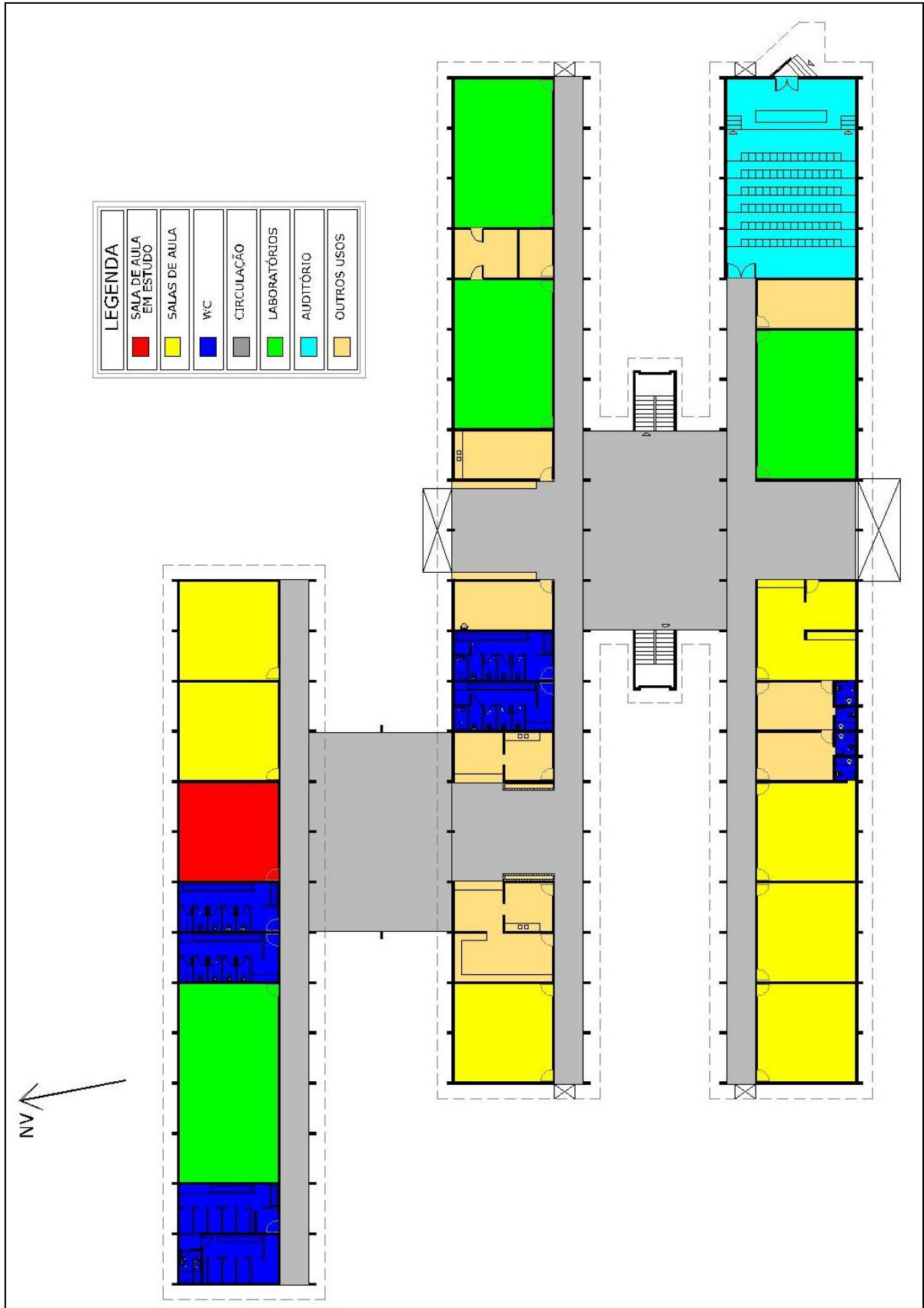


Figura 20: Planta baixa esquemática – pavimento térreo

Fonte: a autora, 2010

2.4. Escolha da sala de aula

A sala escolhida para estudo, análise e comparação está situada no pavimento térreo e possui piso de alta resistência, paredes pintadas na cor verde claro e estrutura de telhado em madeira e telha cerâmica aparentes (Figuras 21 e 22). A escolha baseou-se na possibilidade de realização das medições *in loco* sem a presença de alunos.



Figura 21: Sala de aula em estudo

Fonte: a autora, 2008

As carteiras dos alunos são de madeira com tampo na cor bege claro e o quadro é branco (Figura 22); existem, atualmente, na sala em questão, vinte e duas carteiras medindo 0,60 m x 0,40 m com 0,75 m de altura. A sala possui basculantes em alumínio e vidro numa das paredes, protegidos por um beiral de 1,00 m e voltados para uma área livre. Na parede oposta existem cobogós pintados de branco, voltados para a circulação horizontal interna protegida por um beiral com 3,15 m, que, por sua vez, está voltada para outra área livre também coberta por estrutura de telhado em madeira e telha cerâmica aparentes com 10 m de extensão. Os conjuntos de cobogós medem 3,35 m x 0,86 m e estão a 2,46 m de altura do piso; já os basculantes em alumínio e vidro situados na parede oposta medem 3,35 m x 0,65 m e estão a 2,10 m de altura do piso. As paredes têm espessura de 0,15 m.



Figura 22: Imagens da sala de aula em estudo

Fonte: A autora, 2009

2.5. Escolha da técnica de análise do desempenho luminoso das salas de aula

Alguns fatores devem ser considerados durante o processo de escolha da técnica de análise do desempenho da iluminação natural para que seja alcançado o objetivo dessa pesquisa, dentre os quais podem ser citados a eficiência de cálculo, a viabilidade financeira, o tempo de execução e a facilidade de levantamento e processamento dos dados (CABÚS, 1997).

Após a exposição das técnicas de análise do desempenho da iluminação natural (ver item 1.5), concluiu-se que as ferramentas manuais simplificadas não alcançariam o objetivo proposto em tempo hábil, além de não conseguirem modelar estratégias complexas de iluminação natural.

A principal causa da não adoção dos modelos físicos em escala reduzida diz respeito a não disponibilidade de céu artificial, o que condicionaria a execução da pesquisa às condições climáticas reais do local, criando a necessidade de uma quantidade significativa de medições a fim de se conseguir dados estatisticamente confiáveis e um consequente tempo maior de execução (CABÚS, 1997).

Assim, optou-se pela adoção dos Modelos Computacionais que utilizam um sistema computacional já testado e com a adoção de algoritmos consolidados que permitem a

obtenção de números significativos (CABÚS, 1997). São ferramentas ágeis e independentes de fatores naturais externos.

2.6. Escolha do programa de simulação computacional

Na medida em que a presente pesquisa pretende analisar o desempenho luminoso de salas de aula em regiões tropicais, optou-se por escolher uma ferramenta de simulação computacional que conseguisse simular satisfatoriamente a realidade da iluminação natural nessas regiões, atendendo aos seus padrões de distribuição de luminâncias do céu e possibilitando a construção de complexas geometrias da arquitetura tropical com suas diversas formas de se proteger da radiação solar (CABÚS, 2005), em tempo hábil.

Dentro desse contexto, o TropLux 3 e, em seguida, o TropLux 4, tornaram-se as ferramentas computacionais escolhidas para a realização das simulações. Houve a utilização das duas versões, visto que durante o desenvolvimento da pesquisa a versão 4 disponibilizada trouxe importantes e facilitadoras inovações na apresentação dos resultados.

2.7. Realização de medições físico-ambientais *in loco*

Foram realizadas medições físico-ambientais *in loco* com aparelhos HOBO H8 logger, modelo HOBO RH/Temp/Light/External (Figura 23), com o objetivo de produzir valores reais de iluminâncias que pudessem ser comparados com os resultados da simulação computacional da sala em estudo (ver Figura 20) e, conseqüentemente, apurar os parâmetros de simulação do TropLux para o seu uso dentro da realidade dessa pesquisa, fazendo com que se garanta a produção de valores próximos da condição real.

Os aparelhos utilizados medem, através de um sensor, variáveis como temperatura, umidade relativa e iluminância, mas foram ajustados apenas para a medição das iluminâncias

e posteriormente posicionados nos centros das carteiras dos alunos, conforme Figura 24. Segundo o manual do usuário dos aparelhos, o seu sensor de intensidade da luz aproxima-se da sensibilidade do olho humano e possui alcance nominal de 21,5 lx a 6458 lx, aproximadamente.



Figura 23: HOBO H8 logger

Fonte: A autora



Figura 24: Posição do HOBO H8 logger nas carteiras dos alunos

Fonte: A autora

As medições foram realizadas nos dias 08 e 09/08/2009, das 8h às 17h, a cada 30 minutos, na sala de aula escolhida, desocupada, nas carteiras de alunos de números 1, 3, 5, 10, 12, 18, 20 e 22, posicionadas conforme Figura 25, com todas as lâmpadas apagadas. Os aparelhos das carteiras 20 e 22 não funcionaram em nenhum dos dois dias de medição e o da carteira 18 não funcionou no segundo dia de medição. Durante o período das medições houve predominância de céu encoberto e parcialmente encoberto com chuva intermitente.

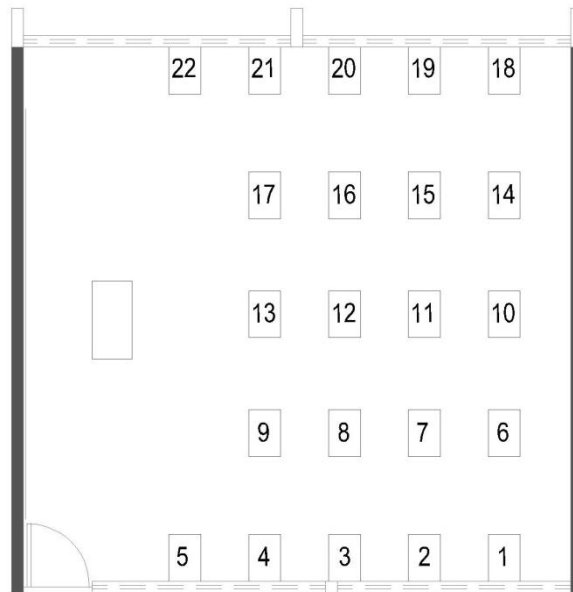


Figura 25: Layout esquemático da sala de aula em estudo

Fonte: A autora

2.8. Características da simulação computacional da sala em estudo

A simulação computacional da sala em estudo foi realizada com o TropLux, visando-se obter os níveis de iluminância nas carteiras 1, 3, 5, 10 e 12, nos mesmos dias, horários, orientação solar e condições de céu das medições, e promover a comparação dos valores, conforme dito anteriormente.

Assim, foram usadas as mesmas características físicas da sala em estudo e foram simulados os dias 8 e 9 de agosto das 8h às 17h, a cada 30 minutos, com todos os tipos de céu CIE encobertos e parcialmente encobertos (1 a 10). No TropLux, a orientação do ambiente é definida pelo azimute do eixo X, ângulo entre o Norte Verdadeiro e o eixo X, no sentido horário, variando de 0° a 360° (Figura 26). Conhecendo-se o ângulo entre o Norte Magnético e o eixo X (34°), foi calculado o ângulo entre o Norte Verdadeiro e o eixo X ($10,9^\circ$), utilizando-se a declinação magnética de $23,1^\circ$ calculada de acordo com os cálculos e tabelas disponíveis em Bittencourt (2004).

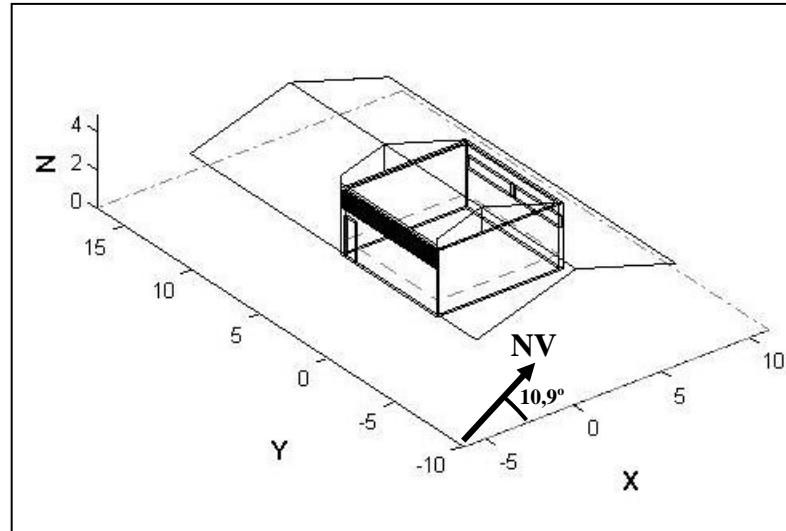


Figura 26: Representação tridimensional da sala de aula em estudo
Fonte: TropLux

As refletâncias das superfícies internas foram cadastradas de acordo com os valores disponíveis em Dornelles (2008) referentes à tinta Suvinil acrílica fosca (ver Quadro 1).

SUPERFÍCIES	CORES	REFLETÂNCIAS
PISO DE ALTA RESISTÊNCIA	Tinta Suvinil acrílica fosca nº 53 (concreto)	0,291
TETO INCLINADO (telhado em madeira aparente)	Tinta Suvinil acrílica fosca nº 60 (telha)	0,233
COBOGÓS (brancos)	Tinta Suvinil acrílica fosca nº 50 (branco neve)	0,924
PAREDES INTERNAS (verdes)	Tinta Suvinil acrílica fosca nº 48 (alecrim)	0,367

Quadro 1: Refletâncias das superfícies internas da sala de aula em estudo
Fonte: A autora, 2010

2.9. Proposição de novas características e geometrias para a simulação computacional

Após a realização da simulação computacional da sala de aula em estudo no mesmo período das medições *in loco*, as simulações foram realizadas em duas etapas. A primeira etapa abrange, além da simulação da sala em estudo, algumas alterações nas suas características iniciais, com o intuito de promover a análise da evolução do seu desempenho

luminoso. Inicialmente foi alterada a refletância do teto inclinado e em seguida foi incluído um teto plano rebaixado.

A segunda etapa propõe duas novas geometrias, com o objetivo de favorecer a análise do desempenho de diferentes aberturas e sistemas de controle e redirecionamento da luz natural na sala de aula em estudo. Para a proposição dessas geometrias, foram observadas algumas considerações vistas na revisão bibliográfica do presente trabalho (itens 1.2.3 e 1.2.4).

Assim, como os blocos de salas de aula são retangulares, as aberturas voltadas para a área externa e para a circulação, foram localizadas no eixo norte-sul com o objetivo de evitar a orientação leste-oeste e facilitar o controle da insolação direta e de ofuscamentos.

Para analisar o impacto de diferentes aberturas, foram simulados ambientes com janelas baixas ou altas voltadas para a área externa (orientação sul), conjugadas com janelas altas situadas na parede oposta, voltadas para a circulação interna (orientação norte).

Como sistemas de controle da luz natural, foram simulados avanços das paredes leste e oeste para fora da sala, além de prateleiras de luz nas aberturas voltadas para a área externa, mantendo-se os beirais da sala em estudo, voltados para a circulação interna. A descrição de cada uma das geometrias pode ser observada no item **2.11**.

Os ângulos de proteção (α , β e γ) foram dimensionados de acordo com a carta solar de Aracaju (SE), no sentido de evitar a iluminação natural direta do Sol em todos os dias do ano, no horário das 7h às 17h, referente ao intervalo de tempo de uso das salas de aula com elevada margem de aproveitamento da iluminação natural. A partir do cálculo dos ângulos de proteção, definiu-se que os sistemas de controle da luz natural das aberturas voltadas para a área externa ficariam voltados para orientação sul, pois apresentariam dimensões inviáveis caso fossem orientados a norte.

Foram definidos então os ângulos de proteção externa α e β iguais a 43° e a 80° , respectivamente, na orientação sul, voltada para a área externa, definindo as dimensões da prateleira de luz e do avanço das paredes leste e oeste para fora da sala (ver APÊNDICE B). Tais valores serviram como dados de entrada desses dispositivos nas simulações com o TropLux.

As dimensões do beiral existente, voltado para a circulação interna, na orientação norte, configuram ângulos de proteção externa α e γ iguais a $18,7^\circ$ e a $9,12^\circ$, respectivamente,

cumprindo satisfatoriamente o requisito de se evitar a incidência direta do Sol no horário acima especificado (ver APÊNDICE B).

2.10. Características das simulações computacionais das geometrias propostas

A configuração de alguns dados de entrada é necessária para o correto processamento das simulações. Dessa forma, para que o TropLux definisse os parâmetros da cidade a ser processada, foi escolhida a cidade de Aracaju (SE) na relação de cidades por ele oferecida, para todas as simulações.

Como parâmetros para o processamento das simulações das componentes refletidas internas, foi utilizada em todas as simulações a margem de erro estatístico padrão do TropLux de 5%. No TropLux a orientação da sala é determinada através do azimute do eixo X (ângulo entre o Norte verdadeiro e o eixo X, no sentido horário, variando de 0° a 360°), assim, foi adotado azimute do eixo X igual a 180°, para que as aberturas paralelas ficassem situadas no eixo Norte-Sul. Em todos os casos, foram simulados todos os dias do ano no horário das 7h às 17h, referente ao horário útil das salas de aula com elevada margem de aproveitamento da iluminação natural.

Foram ainda utilizados como parâmetros de simulação o tempo solar verdadeiro e o método de cálculo da iluminância horizontal difusa da IES (Illuminating Engineering Society).

A escolha dos tipos de céus para as simulações baseou-se no estudo feito por Cabús (2002). Devido à falta de informação acerca da distribuição de luminâncias do céu para Maceió (AL), Cabús (2002) utilizou um método simplificado para a coleta desses dados, e, a partir de sua análise, sugeriu que o conjunto de céus padrão CIE que melhor caracteriza um clima consiste em três modelos de céu de diferentes subconjuntos – encoberto, parcialmente encoberto e claro. Dessa forma, as simulações foram realizadas com os céus CIE 1 (encoberto), 10 (parcialmente encoberto) e 14 (claro).

As refletâncias das superfícies internas também foram cadastradas de acordo com os valores disponíveis em Dornelles (2008) referentes à tinta Suvinil acrílica fosca. A refletância

das prateleiras de luz foi calculada utilizando-se um percentual de sujeira de 10% sobre o valor apresentado em Dornelles (2008) (ver Quadro 2).

SUPERFÍCIES	CORES	REFLETÂNCIAS
PISO DE ALTA RESISTÊNCIA	Tinta Suvinil acrílica fosca nº 53 (concreto)	0,291
TETO INCLINADO (telhado em madeira aparente)	Tinta Suvinil acrílica fosca nº 60 (telha)	0,233
TETO INCLINADO (branco)	Tinta Suvinil acrílica fosca nº 50 (branco neve)	0,924
TETO PLANO REBAIXADO (branco)	Tinta Suvinil acrílica fosca nº 50 (branco neve)	0,924
COBOGÓS (brancos)	Tinta Suvinil acrílica fosca nº 50 (branco neve)	0,924
PAREDES INTERNAS (verdes)	Tinta Suvinil acrílica fosca nº 48 (alecrim)	0,367
PRATELEIRAS DE LUZ (brancas)	Tinta Suvinil acrílica fosca nº 50 (branco neve)	0,8316

Quadro 2: Refletâncias das superfícies internas das salas de aula propostas

Fonte: A autora

Para favorecer o processamento das isocurvas geradas pelo TropLux, as simulações foram realizadas numa malha composta por seis pontos no eixo horizontal e por seis pontos no eixo vertical, totalizando trinta e seis pontos localizados num plano de trabalho imaginário, referente ao plano das carteiras de sala de aula, a 0,75 m de altura (ver Figura 27).

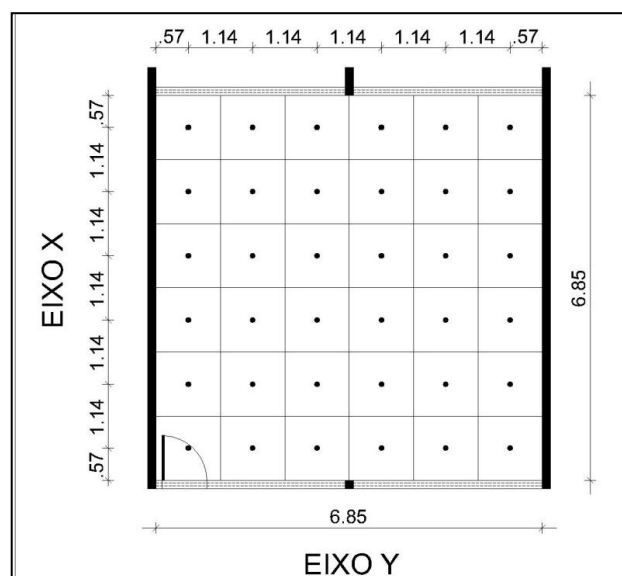


Figura 27: Planta Baixa esquemática com malha de pontos

Fonte: A autora, 2010

2.11. Descrição das geometrias propostas

Seguem abaixo as descrições dos dados de entrada das simulações de cada geometria proposta, doravante designadas por Geometria 1, Geometria 2, Geometria 3, Geometria 4 e Geometria 5, além das plantas e cortes esquemáticos. O vidro das aberturas de todas as geometrias é do tipo comum, padrão do TropLux (ver Figura 28).

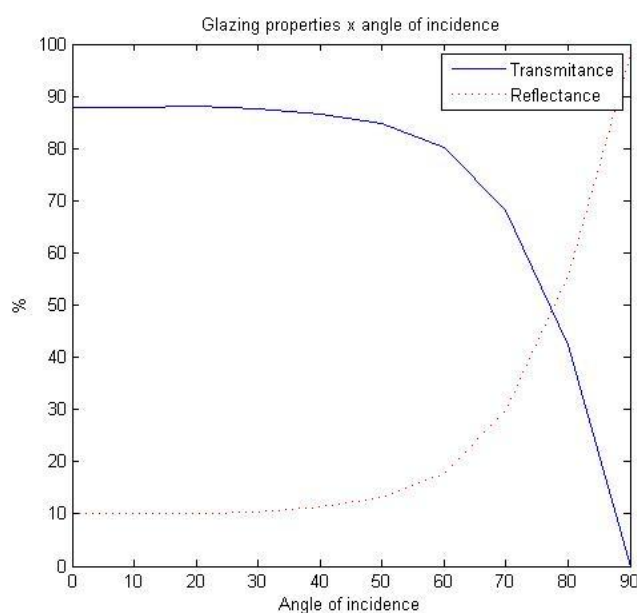


Figura 28: Propriedades do vidro x ângulo de incidência da luz

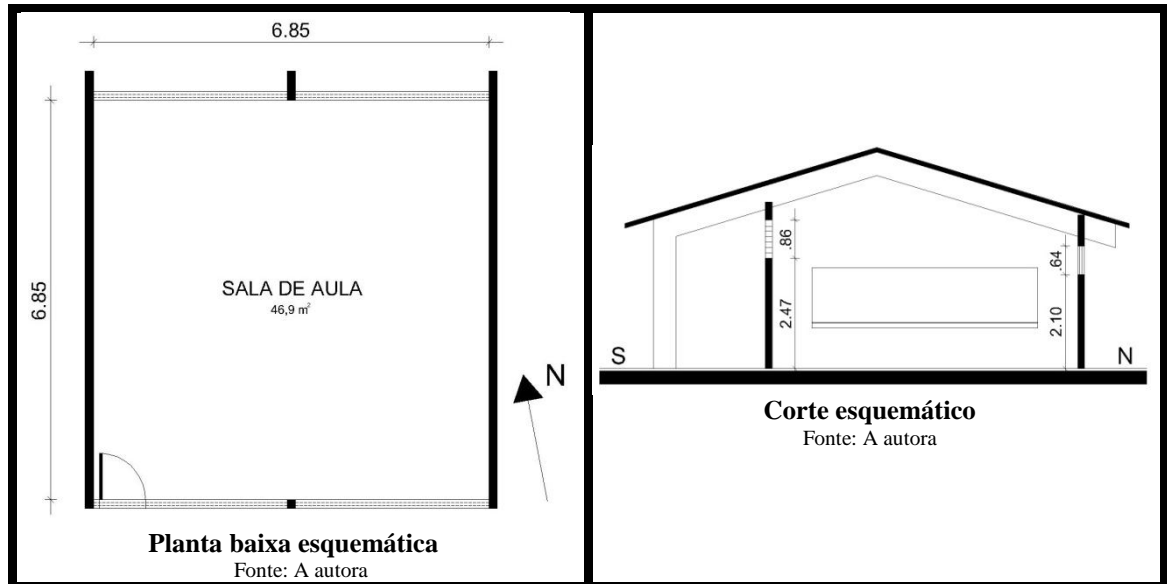
Fonte: TropLux

2.11.1. Geometria da sala em estudo – Geometria 1

Dados de entrada (ver Quadro 3):

- Sala com dimensões 6,85 m x 6,85 m;
- Teto inclinado com telhado em madeira aparente;

- Duas aberturas com vidro comum, medindo 3,35 m x 0,64 m, com peitoril de 2,10 m, voltadas para a área externa; duas aberturas com cobogós brancos, medindo 3,35 m x 0,86 m, com peitoril de 2,47 m, voltadas para a circulação interna.



Quadro 3: Configuração das Geometrias 1 e 2
Fonte: a autora, 2010

2.11.2. Geometria 2

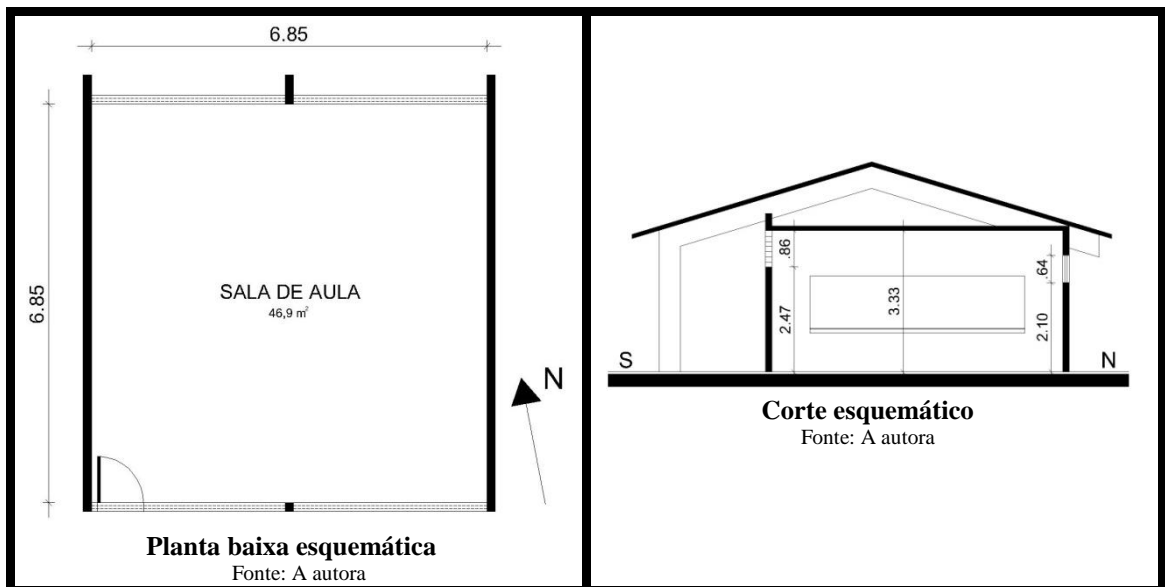
Dados de entrada (ver Quadro 3):

- Sala com dimensões 6,85 m x 6,85 m;
- Teto inclinado branco;
- Duas aberturas com vidro comum, medindo 3,35 m x 0,64 m, com peitoril de 2,10 m, voltadas para a área externa; duas aberturas com cobogós brancos, medindo 3,35 m x 0,86 m, com peitoril de 2,47 m, voltadas para a circulação interna.

2.11.3. Geometria 3

Dados de entrada (ver Quadro 4):

- Sala com dimensões 6,85 m x 6,85 m;
- Teto plano rebaixado branco (pé-direito de 3,33m);
- Duas aberturas com vidro comum, medindo 3,35 m x 0,64 m, com peitoril de 2,10 m, voltadas para a área externa; duas aberturas com cobogós brancos, medindo 3,35 m x 0,86 m, com peitoril de 2,47 m, voltadas para a circulação interna.



Quadro 4: Configuração da Geometria 3

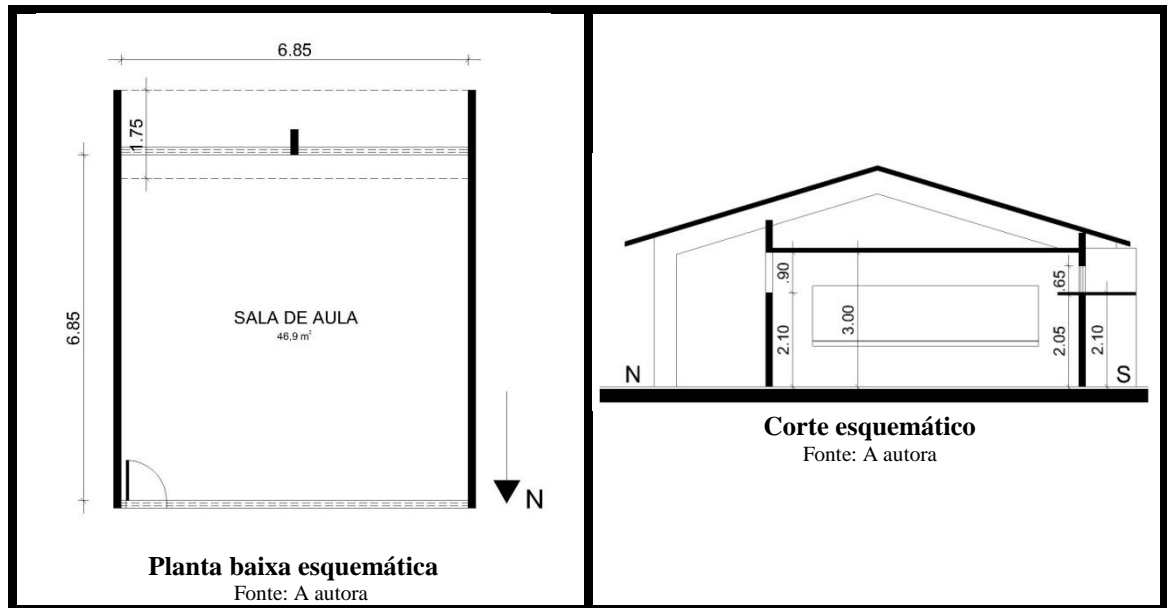
Fonte: a autora, 2010

2.11.4. Geometria 4

Dados de entrada (ver Quadro 5):

- Sala com dimensões 6,85 m x 6,85 m;
- Teto plano rebaixado branco (pé-direito de 3,00m);

- Duas aberturas com vidro comum, medindo 3,35 m x 0,65 m, com peitoril de 2,00 m, com prateleiras de luz, voltadas para a área externa e orientadas a sul;
- Abertura medindo 6,85 m x 0,90 m, com peitoril de 2,10 m, voltada para a circulação interna e orientada a norte;
- Avanço das paredes leste e oeste para fora da sala.



Quadro 5: Configuração da Geometria 4

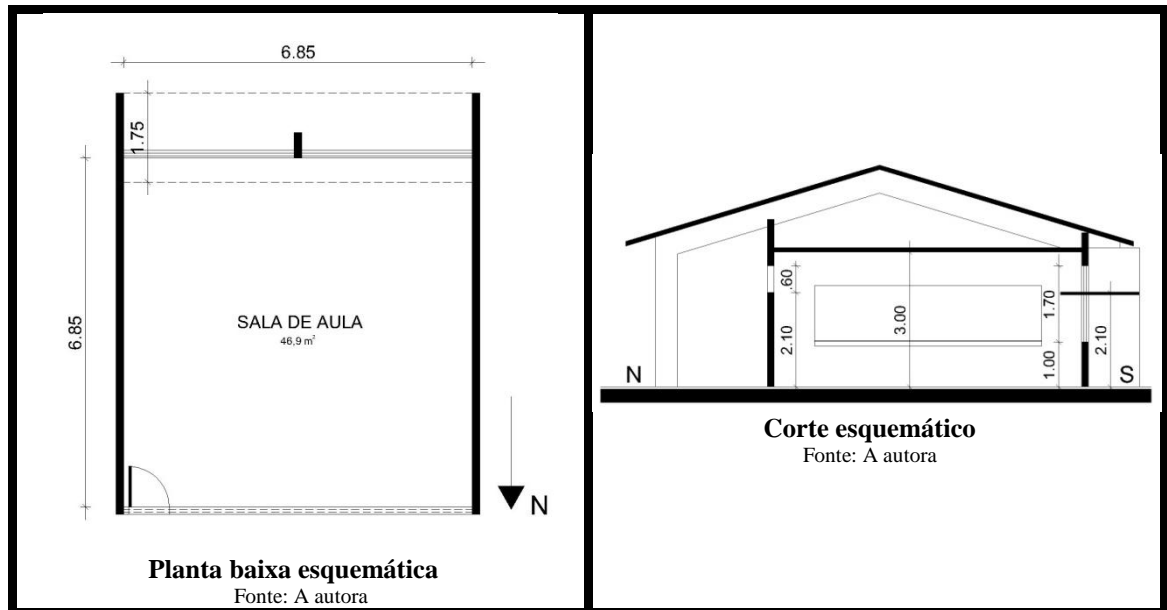
Fonte: a autora, 2010

2.11.5. Geometria 5

Dados de entrada (ver Quadro 6):

- Sala com dimensões 6,85 m x 6,85 m;
- Teto plano rebaixado branco (pé-direito de 3,00m);
- Duas aberturas com vidro comum, medindo 3,35 m x 1,70 m, com peitoril de 1,00 m, com prateleiras de luz, voltadas para a área externa e orientadas a sul;
- Abertura medindo 6,85 m x 0,60 m, com peitoril de 2,10 m, voltada para a circulação interna e orientada a norte;

- Avanço das paredes leste e oeste para fora da sala.



Quadro 6: Configuração da Geometria 5

Fonte: a autora, 2010

2.12. Conclusão

O presente capítulo descreveu todas as etapas seguidas no decorrer da pesquisa, que culminaram em importantes decisões como a escolha da sala em estudo, a escolha do programa de simulação computacional e a proposição de novas geometrias. No próximo capítulo veremos a apresentação dos resultados das simulações computacionais e suas análises de acordo com os objetivos propostos neste trabalho.

A análise do desempenho luminoso da sala de aula escolhida para estudo, tanto com suas características iniciais como com as alterações propostas, será realizada a partir de gráficos de isocurvas contendo percentuais de iluminâncias dentro de determinado intervalo, gerados pelo TropLux. O mesmo será feito para as salas de aula propostas.

Para analisar e comparar a evolução do desempenho luminoso entre a sala de aula em estudo e as salas propostas serão utilizadas a média das iluminâncias médias (\bar{E}_m) e a média dos percentuais de iluminâncias dentro do intervalo proposto (\bar{P}).

3. RESULTADOS E ANÁLISES

3.1. Introdução

Inicialmente, esse capítulo apresenta a análise e comparação dos resultados obtidos através das medições *in loco* e da simulação computacional da sala de aula em estudo realizada para o mesmo período das medições. Em seguida, apresenta e analisa os resultados gerados pelas simulações computacionais da sala em estudo e das geometrias propostas através de isocurvas referentes aos percentuais de iluminâncias dentro de determinado intervalo, em cada ponto da malha e para cada céu CIE simulado, e através do cálculo da média das iluminâncias médias (\bar{E}_m) e da média desses percentuais (\bar{P}).

3.2. Análise dos resultados das medições *in loco* e da simulação da sala de aula em estudo

A simulação da geometria real da sala em estudo foi realizada nos mesmos dias, horários e carteiras das medições *in loco*, para que seus resultados fossem comparados e se pudesse apurar os parâmetros de simulação do TropLux para o seu uso dentro da realidade dessa pesquisa.

Para a realização destas comparações, os valores simulados foram escolhidos de acordo com as condições de céu em cada horário de medição, que variou entre encoberto ou parcialmente encoberto, sendo geradas tabelas com os valores medidos e simulados para cada uma das carteiras 1, 3, 5, 10 e 12 (ver APÊNDICE C).

As variações entre os valores medidos e simulados ficaram entre -38% e 34%, comprovando a produção de valores próximos da condição real.

3.3. Processamento e análise de dados

Após a realização das simulações computacionais, foram geradas pelo TropLux 4015 iluminâncias para cada ponto da malha descrita anteriormente, em cada Geometria e para cada céu CIE analisado, referentes ao número de horas em análise (das 7h às 17h) multiplicados pelos 365 dias do ano. Também foram gerados pelo TropLux a iluminância média (E_m) e o percentual de iluminâncias dentro do intervalo $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$ para cada ponto da malha de cada geometria e para cada céu CIE analisado. A determinação do intervalo acima levou em consideração os valores pregados por Nabil e Mardaljevic (2005) para a determinação da IULN (Iluminância Útil de Luz Natural) e os valores pregados pela NBR 5413 (ver itens 1.6.3 e 1.4).

Foram gerados ainda gráficos de isocurvas para as diferentes geometrias propostas e para cada tipo de céu simulado, contendo os percentuais de iluminâncias dentro do intervalo em análise, ao longo das salas de aula. Nesses gráficos, os eixos X e Y representam a profundidade e o comprimento da sala, respectivamente, com os valores representados em metros. Os gráficos foram posicionados na mesma orientação da planta baixa esquemática da Figura 29, para facilitar a localização e análise dos pontos.

De posse desses valores gerados pelo TropLux e considerando-se 36 pontos por geometria, foram calculadas a média das iluminâncias médias (\bar{E}_m) e a média dos percentuais de iluminâncias dentro do intervalo considerado (\bar{P}), para cada geometria em análise. A partir dessas médias, podemos diagnosticar numericamente a evolução do desempenho luminoso entre as diferentes geometrias.

3.4. Análise dos gráficos de isocurvas gerados com o céu CIE 1 (céu encoberto)

Nesta seção, serão apresentados os gráficos de isocurvas para as diferentes geometrias em análise referentes ao céu CIE 1 (céu encoberto), contendo os percentuais de iluminâncias

dentro do intervalo considerado ($300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$) ao longo dos ambientes. Ocasionalmente, quando necessário ao melhor entendimento do desempenho de cada geometria, serão apresentados também gráficos de isocurvas referentes aos percentuais de iluminâncias abaixo de 300 lx ou acima de 2000 lx .

3.4.1. Geometria 1 (sala em estudo)

A partir da análise do Gráfico 1, podemos observar que os pontos localizados no centro da sala apresentam em torno de 60% das iluminâncias calculadas durante o período de um ano, das 7h às 17h, dentro do intervalo proposto ($300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$). Tal percentual diminui na medida em que se aproxima das aberturas e cobogós localizados paralelamente ao eixo Y. Conforme o Gráfico 2, podemos constatar que os pontos localizados nessas regiões da sala apresentam mais da metade das iluminâncias calculadas abaixo de 300 lx . Nesse caso, os pontos localizados próximos à porta da sala constituem uma exceção, apresentando de 60 a 80% de suas iluminâncias dentro do intervalo proposto.

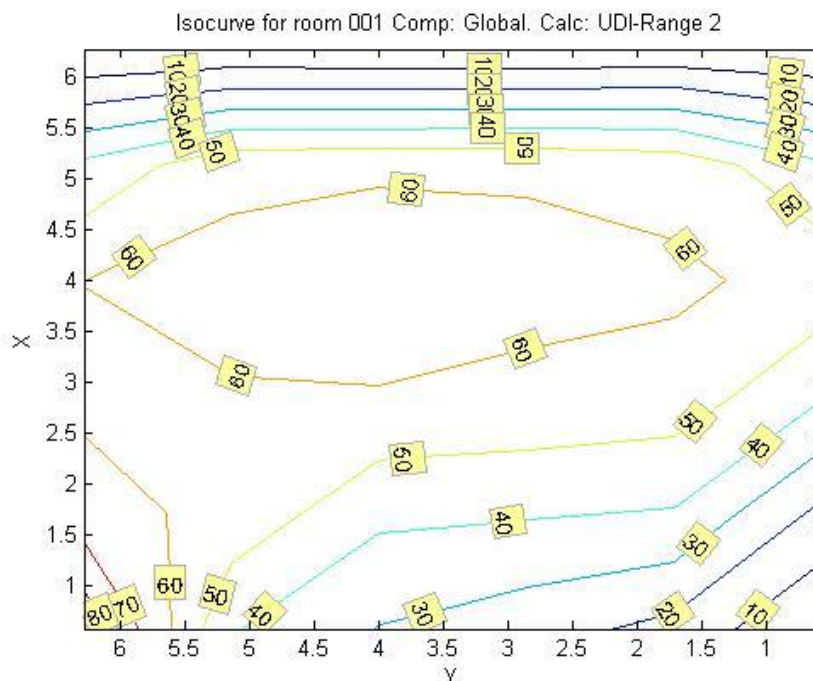


Gráfico 1: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$ (Geometria 1 – Céu CIE 1)

Fonte: TropLux 4

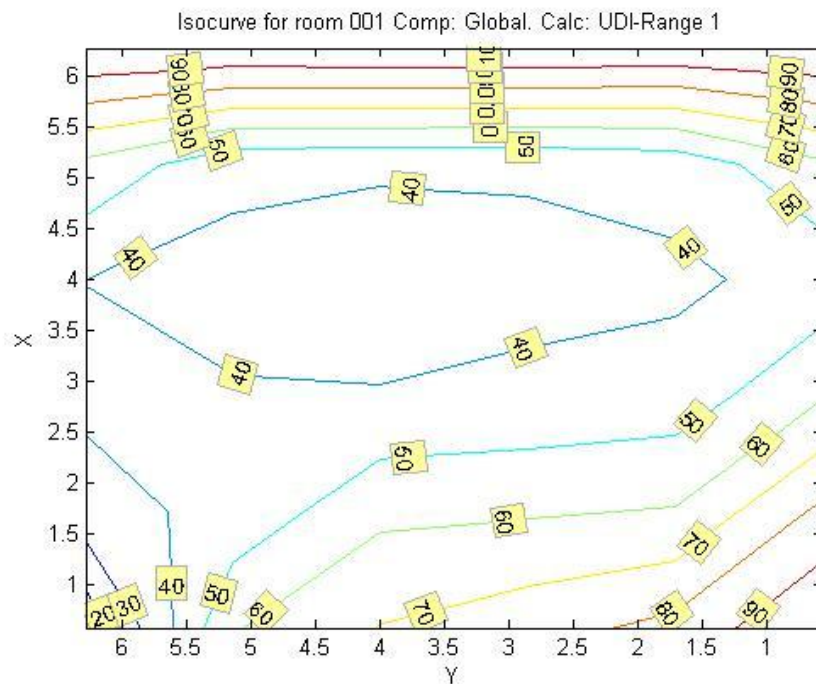


Gráfico 2: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $E < 300$ lx (Geometria 1 – Céu CIE 1)

Fonte: TropLux 4

3.4.2. Geometria 2 (sala em estudo com teto inclinado branco)

A partir do aumento da refletância do teto inclinado presente na sala em estudo, através de sua coloração branca, houve um acréscimo nos percentuais das iluminâncias dentro do intervalo proposto, tanto nos pontos localizados no centro da sala, que agora apresentam valores em torno de 85%, como nos pontos localizados próximos às aberturas e aos cobogós, que agora apresentam valores entre 75 e 80%. Os pontos localizados próximos à porta também constituem exceção, apresentando de 85 a 90% de suas iluminâncias dentro do intervalo proposto (ver Gráfico 3).

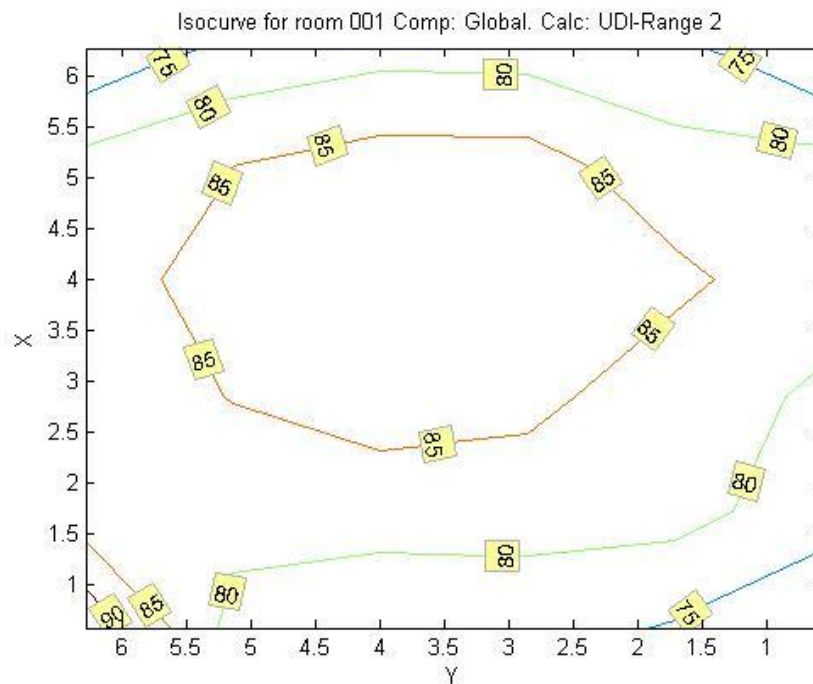


Gráfico 3: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$ (Geometria 2 – Céu CIE 1)

Fonte: TropLux 4

3.4.3. Geometria 3 (sala em estudo com teto plano rebaixado branco)

Apesar da presença do teto rebaixado plano branco, os percentuais das iluminâncias dentro do intervalo proposto foram reduzidos, tanto nos pontos localizados no centro da sala, que agora apresentam valores entre 30 e 50%, como nos pontos localizados próximos às aberturas e aos cobogós, que agora apresentam valores em torno de 10% (ver Gráfico 4). Da mesma forma que as geometrias anteriores, os pontos próximos à porta apresentam percentuais diferenciados, entre 50 e 70%. A partir da observação do Gráfico 5, podemos constatar que, para a Geometria 3, os pontos localizados próximos às aberturas e aos cobogós apresentam de 90 a 100% das iluminâncias calculadas abaixo de 300 lx.

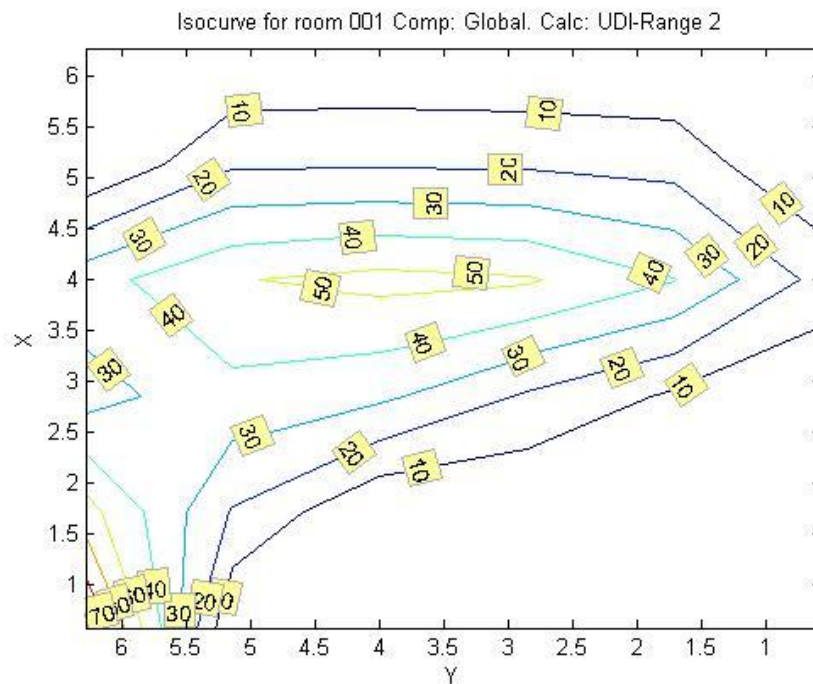


Gráfico 4: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$ (Geometria 3 – Céu CIE 1)

Fonte: TropLux 4

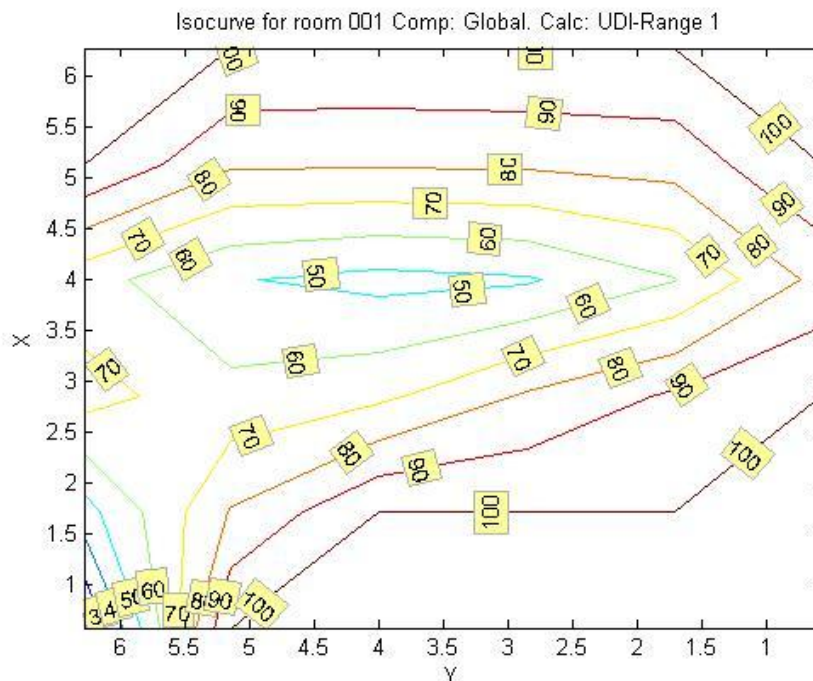


Gráfico 5: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $E < 300 \text{ lx}$ (Geometria 3 – Céu CIE 1)

Fonte: TropLux 4

3.4.4. Geometria 4 (geometria proposta com sistemas de controle e redirecionamento da luz natural)

Nesta geometria, os pontos próximos às aberturas com peitoril de 2,10 m e com prateleiras de luz apresentam percentual de iluminâncias dentro do intervalo proposto em torno de 10 a 30%. Estes mesmos percentuais podem ser observados no fundo da sala (ver Gráfico 6). O Gráfico 7 nos mostra que esses pontos apresentam percentuais de iluminâncias abaixo de 300 lx entre 70 e 100%.

No centro da sala, bem como nos pontos opostos à localização das prateleiras de luz, o percentual fica entre 30 e 50%, e, mais uma vez, os pontos próximos à porta apresentam os maiores percentuais dessa configuração, entre 60 e 80% (Gráfico 6).

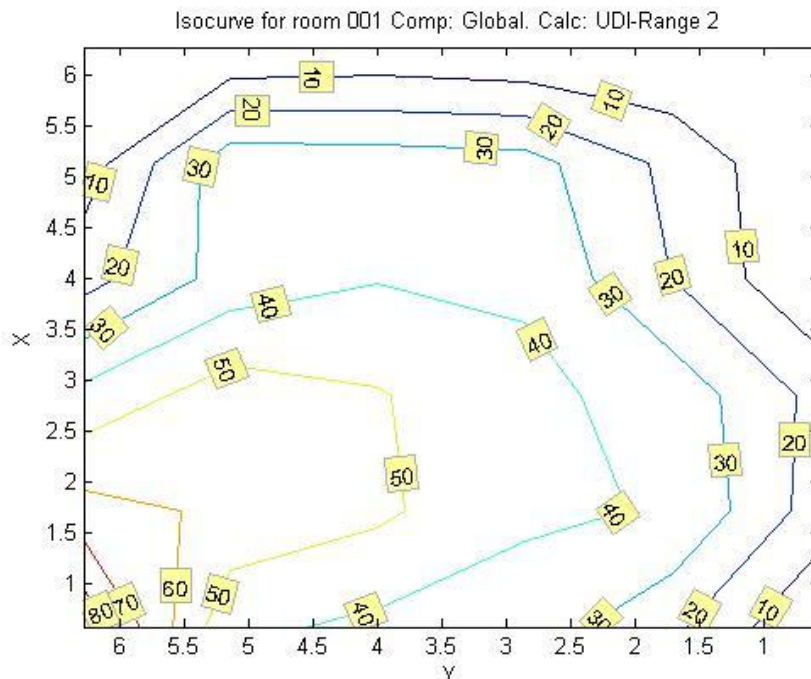


Gráfico 6: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo 300 lx < E < 2000 lx (Geometria 4 – Céu CIE 1)

Fonte: TropLux 4

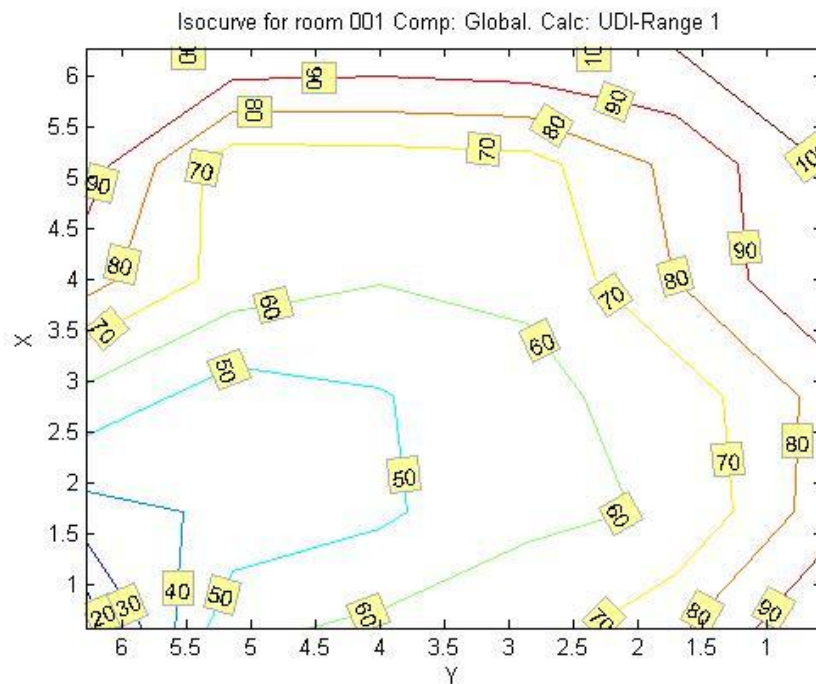


Gráfico 7: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $E < 300$ lx (Geometria 4 – Céu CIE 1)

Fonte: TropLux 4

3.4.5. Geometria 5 (geometria proposta com sistemas de controle e redirecionamento da luz natural)

A Geometria 5, que traz prateleiras de luz nas aberturas com peitoril igual a 1,00 m, apresenta percentuais de iluminâncias entre 70 e 90% dentro do intervalo proposto para os pontos localizados próximos a estas aberturas. Esses percentuais vão diminuindo na medida em que se afasta dessas aberturas, chegando aos 30% nos pontos opostos à prateleira de luz, com exceção mais uma vez dos pontos próximos à porta que apresentam percentuais entre 70 e 80% (ver Gráfico 8).

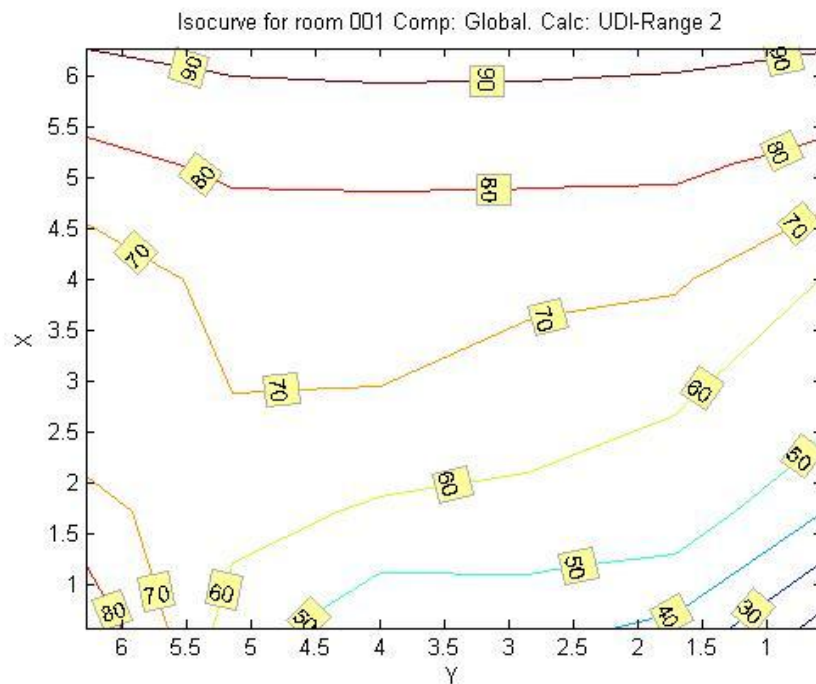


Gráfico 8: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$ (Geometria 5 – Céu CIE 1)

Fonte: TropLux 4

3.5. Análise dos gráficos de isocurvas gerados com o céu CIE 10 (céu parcialmente encoberto)

Nesta seção, serão apresentados os gráficos de isocurvas para as diferentes geometrias em análise referentes ao céu CIE 10 (céu parcialmente encoberto), contendo os percentuais de iluminâncias dentro do intervalo considerado ($300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$) ao longo dos ambientes. Aqui também, quando necessário ao melhor entendimento do desempenho de cada geometria, serão apresentados gráficos de isocurvas referentes aos percentuais de iluminâncias abaixo de 300 lx ou acima de 2000 lx .

3.5.1. Geometria 1 (geometria da sala em estudo)

Neste caso, podemos inferir que a maioria dos pontos da sala em estudo apresenta percentual de iluminâncias dentro do intervalo proposto ($300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$) em torno de 90%. Apenas os pontos mais próximos à abertura com fechamento em vidro comum e os pontos próximos à porta da sala apresentam percentuais dentro do intervalo proposto menores que 90% (ver Gráfico 9). Mas, inversamente ao que ocorreu com a análise dos gráficos do Céu CIE 1, os pontos próximos à porta apresentam menores percentuais dentro do intervalo proposto porque possuem entre 30 e 50% das iluminâncias calculadas acima de 2000 lx (ver Gráfico 10).

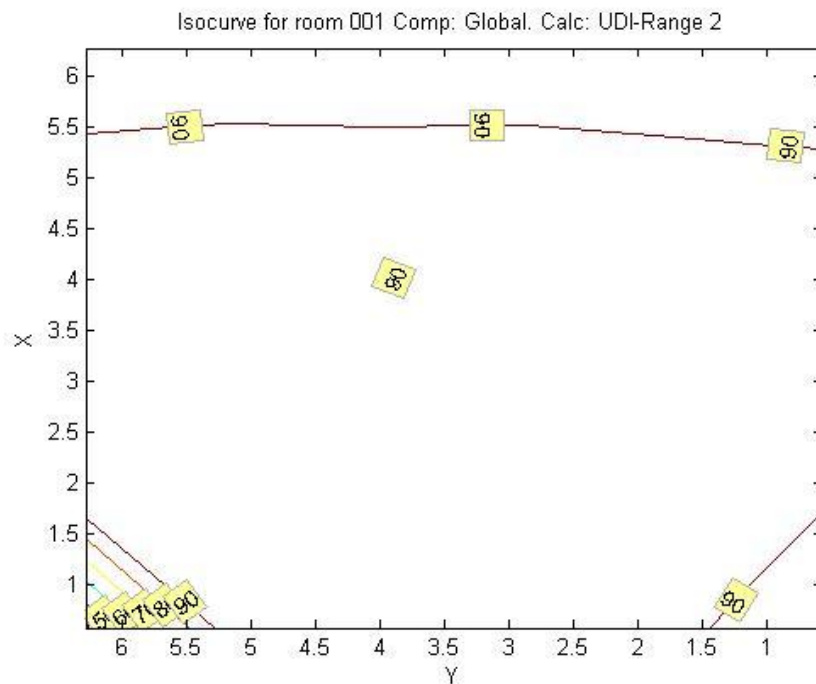


Gráfico 9: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$ (Geometria 1 – Céu CIE 10)

Fonte: TropLux 4

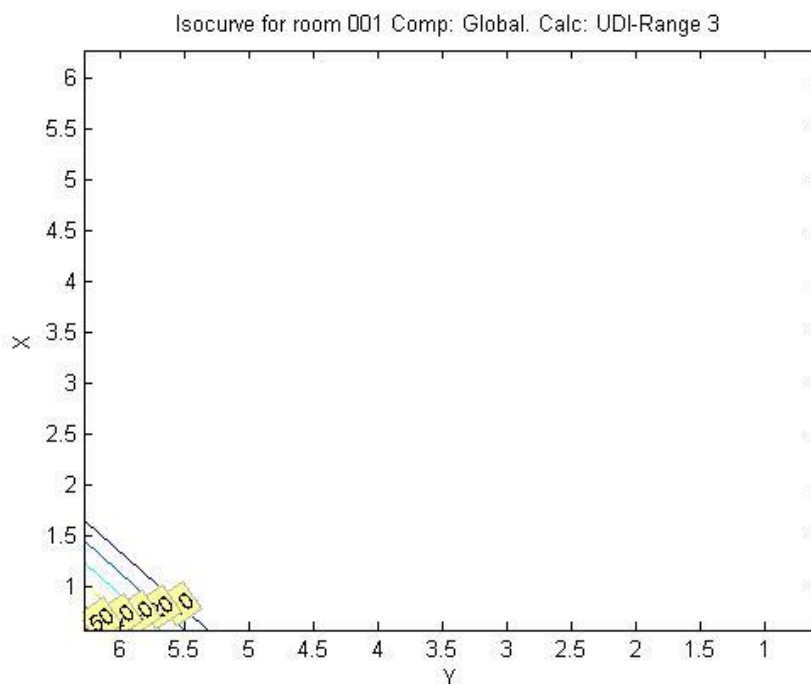


Gráfico 10: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $E > 2000$ lx (Geometria 1 – Céu CIE 10)

Fonte: TropLux 4

3.5.2. Geometria 2 (sala em estudo com teto inclinado branco)

De acordo com o Gráfico 11, os pontos localizados no centro da sala apresentam percentuais de iluminâncias dentro do intervalo proposto em torno de 40%. Estes percentuais sofrem um aumento na medida em que os pontos se aproximam das aberturas e dos cobogós, ficando entre 40 e 65%. Os pontos próximos à porta apresentam percentuais de iluminâncias dentro do intervalo proposto entre 30 e 35%, pois podemos observar no Gráfico 12 que eles apresentam de 65 a 70% de suas iluminâncias acima de 2000 lx. Da mesma forma, podemos observar que os pontos localizados no centro da sala apresentam em torno de 60% de suas iluminâncias acima de 2000 lx.

Nesse caso, podemos afirmar que a alteração da refletância do teto inclinado trouxe iluminâncias que excedem o intervalo proposto e podem trazer desconforto.

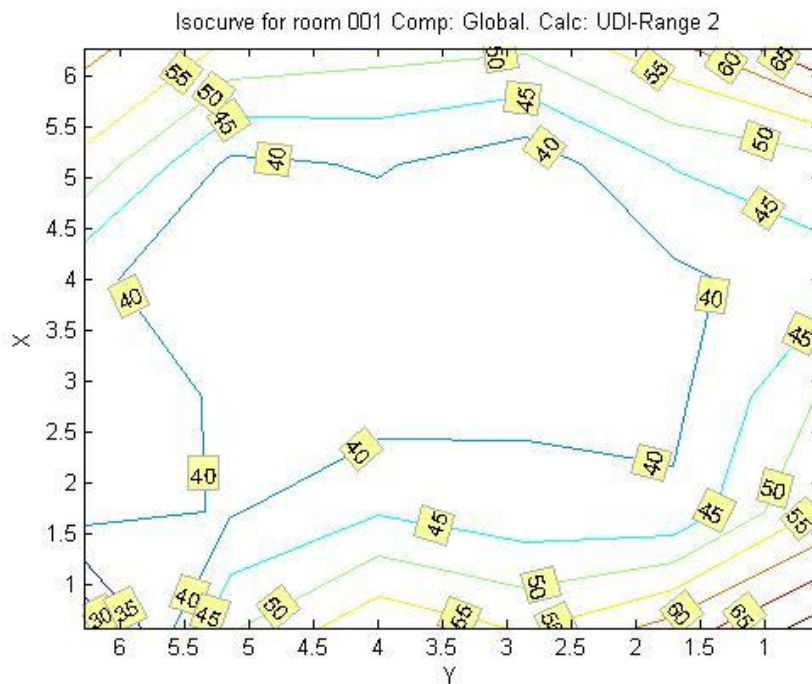


Gráfico 11: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$ (Geometria 2 – Céu CIE 10)

Fonte: TropLux 4

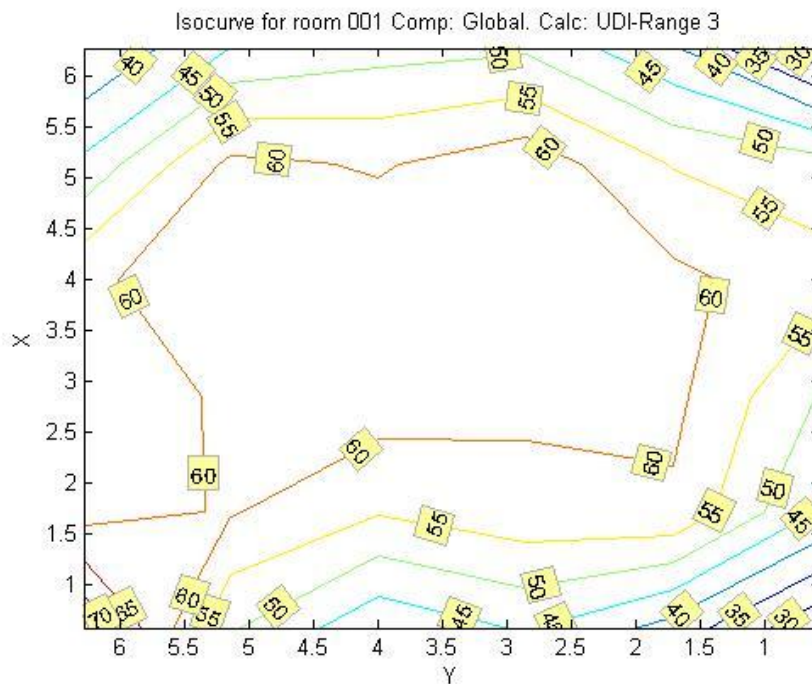


Gráfico 12: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $E > 2000 \text{ lx}$ (Geometria 2 – Céu CIE 10)

Fonte: TropLux 4

3.5.3. Geometria 3 (sala em estudo com teto plano rebaixado branco)

De acordo com a análise do Gráfico 13, podemos afirmar que a maioria dos pontos localizados no centro da sala possui percentuais de iluminâncias dentro do intervalo proposto, $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$, entre 90 e 95%. Já os pontos localizados próximos às aberturas apresentam percentuais entre 70 e 90%. Isso ocorre porque estes pontos apresentam de 10 a 30% de suas iluminâncias abaixo de 300 lx , conforme podemos observar no Gráfico 14. Já os pontos próximos aos cobogós apresentam de 10 a 15% de suas iluminâncias abaixo de 300 lx .

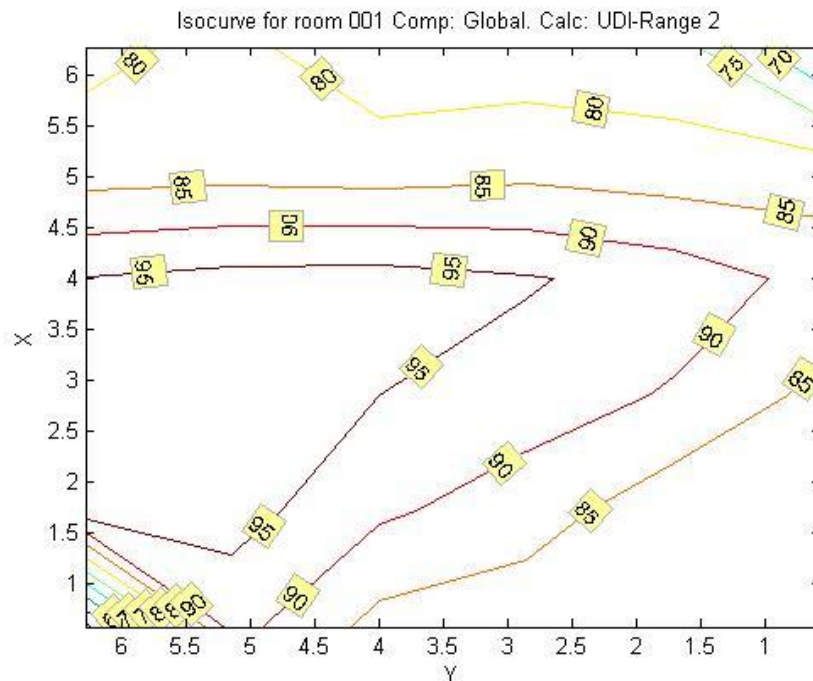


Gráfico 13: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$ (Geometria 3 – Céu CIE 10)

Fonte: TropLux 4

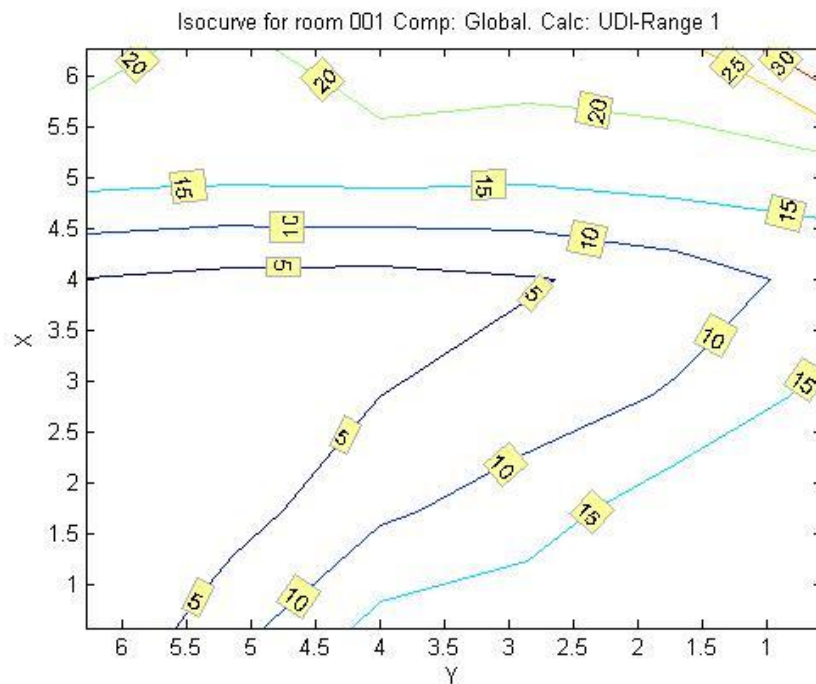


Gráfico 14: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $E < 300$ lx (Geometria 3 – Céu CIE 10)

Fonte: TropLux 4

3.5.4. Geometria 4 (geometria proposta com sistemas de controle e redirecionamento da luz natural)

Nesta geometria, com sistemas de controle e redirecionamento da luz natural, tanto os pontos localizados no centro da sala como aqueles localizados próximos às aberturas apresentam percentual de iluminâncias dentro do intervalo proposto em torno de 90% (ver Gráfico 15). Os pontos próximos à porta da sala apresentam percentuais entre 50 e 70%, pois, segundo o Gráfico 16, eles apresentam entre 30 e 50% das iluminâncias calculadas acima de 2000 lx.

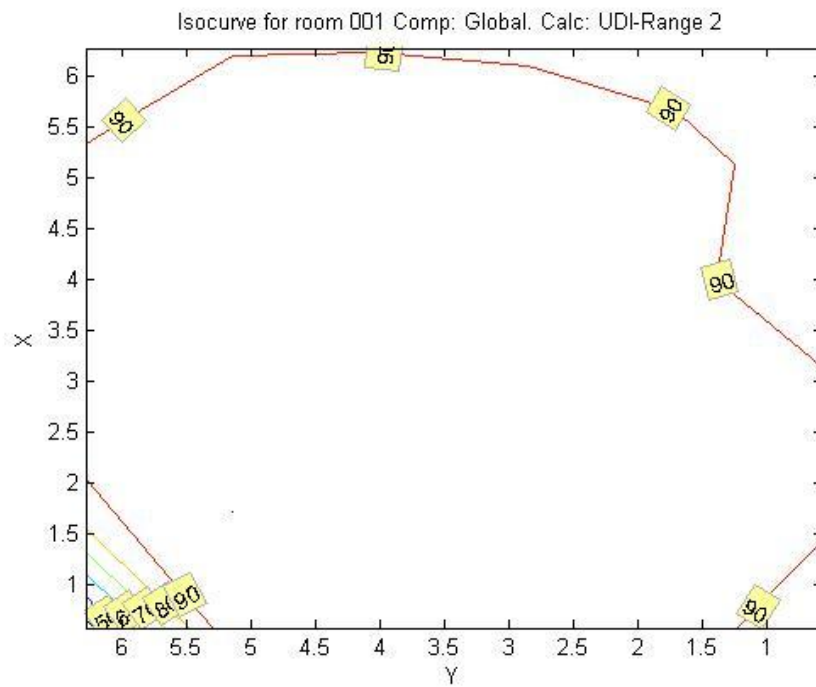


Gráfico 15: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$ (Geometria 4 – Céu CIE 10)

Fonte: TropLux 4

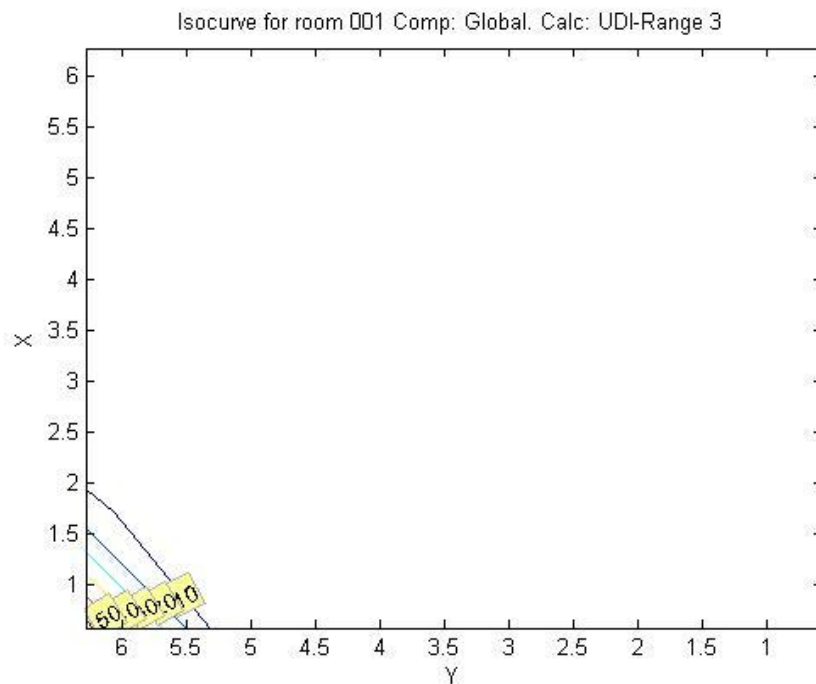


Gráfico 16: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $E > 2000 \text{ lx}$ (Geometria 4 – Céu CIE 10)

Fonte: TropLux 4

3.5.5. Geometria 5 (geometria proposta com sistemas de controle e redirecionamento da luz natural)

A Geometria 5, que traz prateleiras de luz nas aberturas com peitoril igual a 1,00 m, apresenta percentuais de iluminâncias entre 40 e 80% dentro do intervalo proposto para os pontos localizados próximos a essas aberturas (Gráfico 17), apresentando de 20 a 60% de suas iluminâncias acima de 2000 lx (Gráfico 18). Já os pontos opostos à prateleira de luz apresentam um maior percentual de iluminâncias dentro do intervalo proposto, em torno de 90%, com exceção dos pontos próximos à porta que também trazem iluminâncias acima de 2000 lx (Gráfico 18).

Neste caso, os altos percentuais de iluminâncias acima de 2000 lx apresentados na medida em que se aproxima das prateleiras de luz, excedem o intervalo proposto e podem causar desconforto.

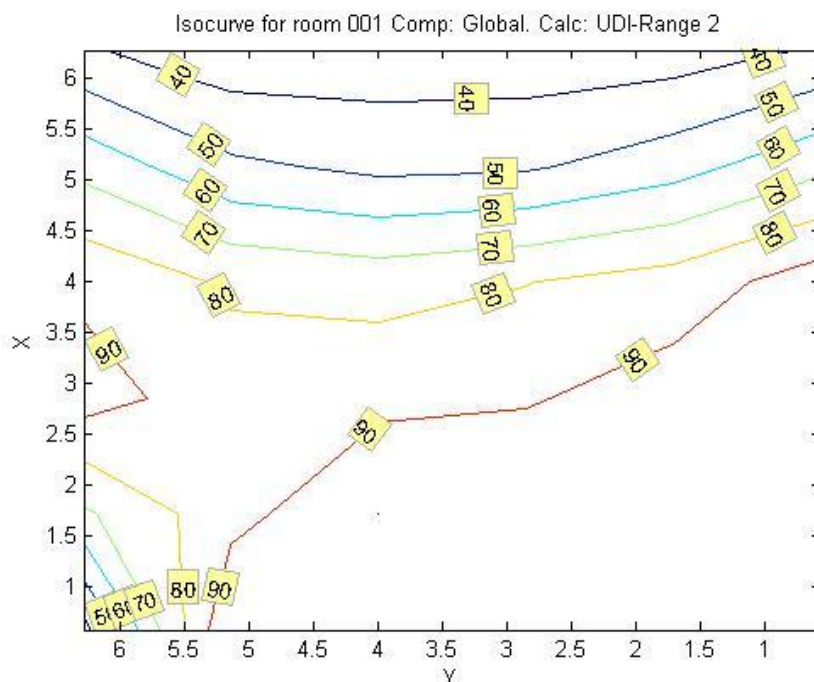


Gráfico 17: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo 300 lx < E < 2000 lx (Geometria 5 – Céu CIE 10)

Fonte: TropLux 4

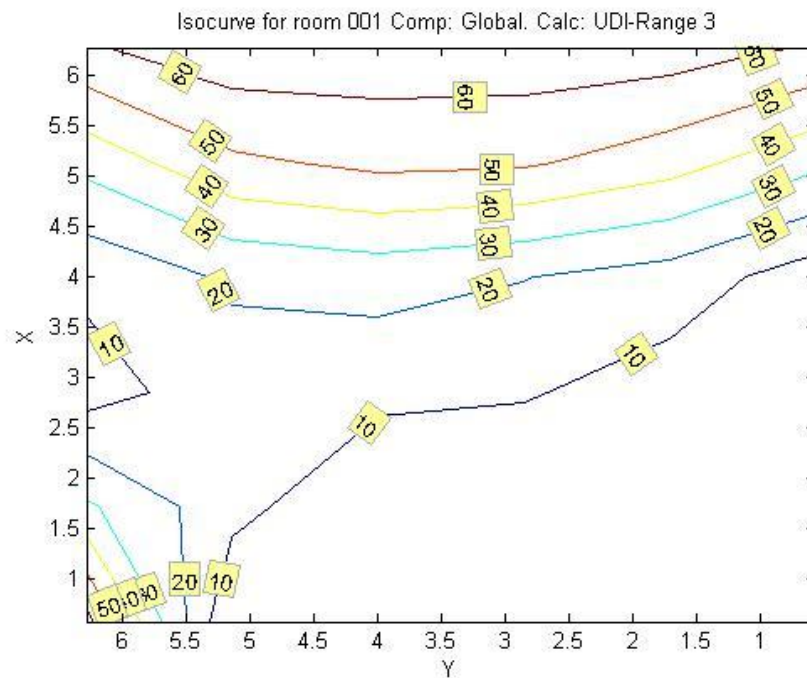


Gráfico 18: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $E > 2000$ lx (Geometria 5 – Céu CIE 10)

Fonte: TropLux 4

3.6. Análise dos gráficos de isocurvas gerados com o céu CIE 14 (céu claro)

Nesta seção, serão apresentados os gráficos de isocurvas para as diferentes geometrias em análise referentes ao céu CIE 14 (céu claro), contendo os percentuais de iluminâncias dentro do intervalo considerado ($300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$) ao longo dos ambientes. Em alguns casos, quando necessário ao melhor entendimento do desempenho de cada geometria, serão apresentados gráficos de isocurvas referentes aos percentuais de iluminâncias abaixo de 300 lx ou acima de 2000 lx.

3.6.1. Geometria 1 (geometria da sala em estudo)

A partir da análise do Gráfico 19, podemos observar que os pontos localizados no centro da sala apresentam em torno de 100% das iluminâncias calculadas durante o período de um ano, das 7h às 17h, dentro do intervalo proposto ($300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$). Tal percentual diminui um pouco na medida em que se aproxima das aberturas, variando entre 86 e 98%.

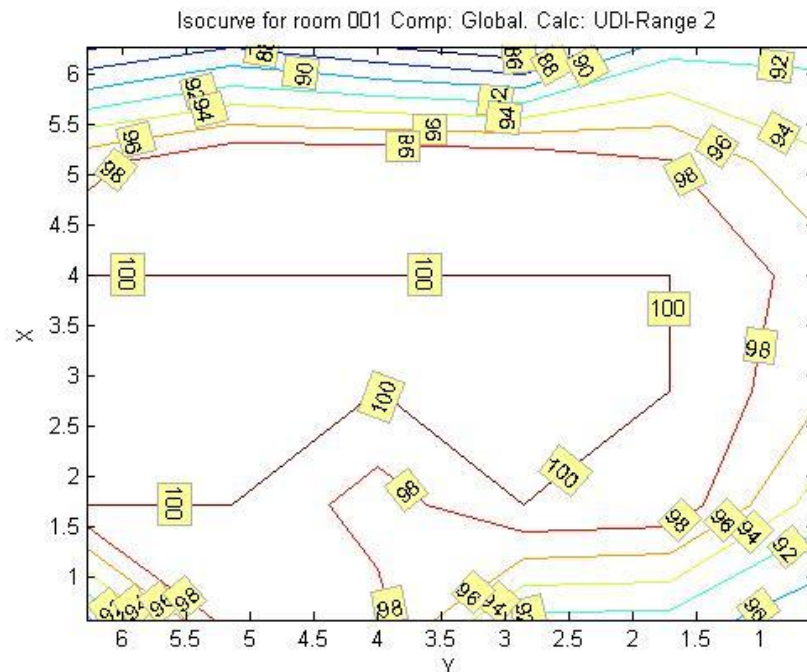


Gráfico 19: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$ (Geometria 1 – Céu CIE 14)

Fonte: TropLux 4

3.6.2. Geometria 2 (sala em estudo com teto inclinado branco)

De acordo com a observação do Gráfico 20, podemos constatar que a alteração da refletância do teto inclinado, presente na sala em estudo, reduziu os percentuais de iluminâncias dentro do intervalo proposto em todo o ambiente. Os pontos localizados no centro apresentam agora percentuais em torno de 45% e os localizados na periferia do

ambiente apresentam percentuais entre 45 e 75%. Tal fato ocorreu devido a um aumento nos valores das iluminâncias, conforme podemos verificar através do Gráfico 21 que traz os percentuais de iluminâncias acima de 2000 lx.

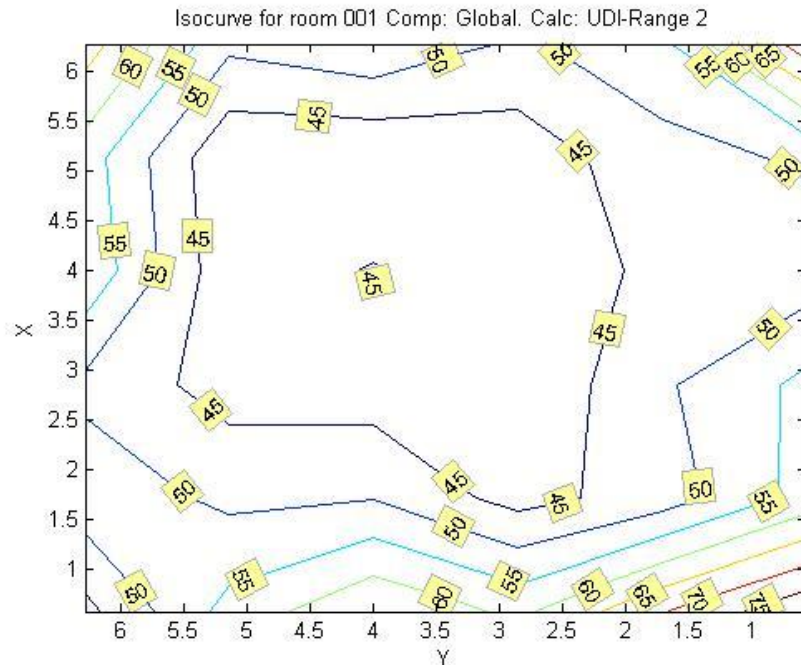


Gráfico 20: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$ (Geometria 2 – Céu CIE 14)

Fonte: TropLux 4

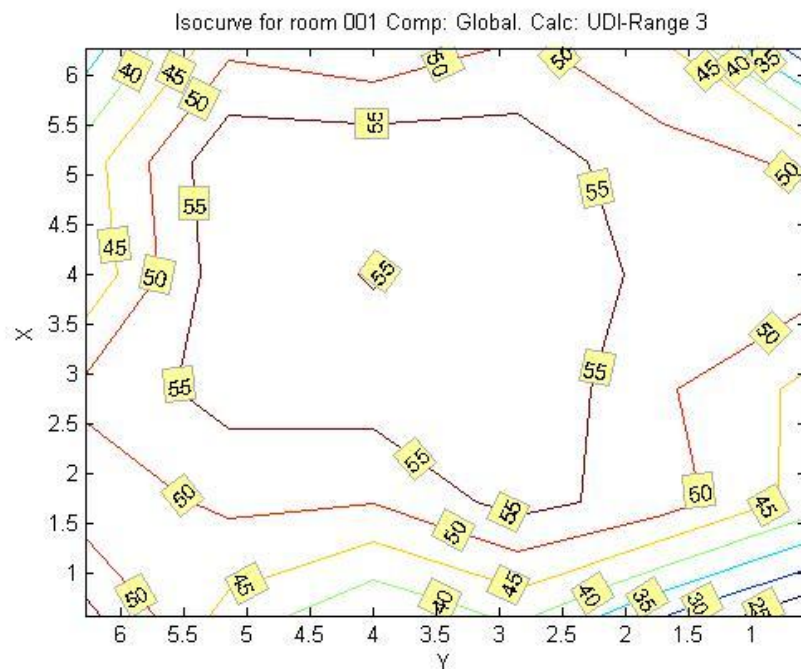


Gráfico 21: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $E > 2000 \text{ lx}$ (Geometria 2 – Céu CIE 14)

Fonte: TropLux 4

3.6.3. Geometria 3 (sala em estudo com teto plano rebaixado branco)

O Gráfico 22 nos mostra agora mais altos percentuais de iluminâncias dentro do intervalo proposto, principalmente no centro da sala, onde ficam entre 90 e 95%; já os pontos mais próximos das aberturas e dos cobogós apresentam percentuais entre 70 e 90%. De acordo com a observação do Gráfico 23, podemos inferir que os pontos localizados próximos às aberturas e cobogós apresentam menores valores porque possuem percentuais de iluminâncias abaixo de 300 lx e não acima de 2000 lx.

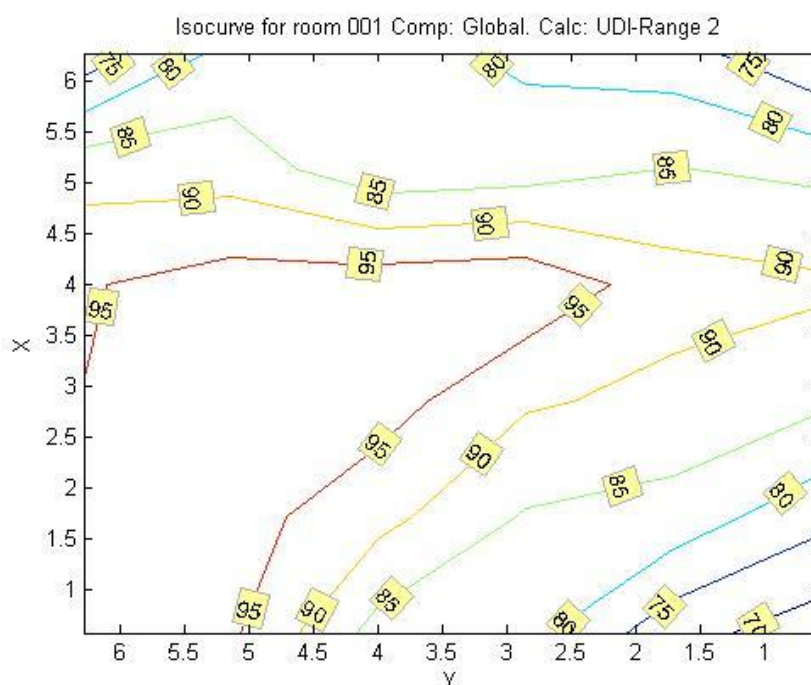


Gráfico 22: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$ (Geometria 3 – Céu CIE 14)

Fonte: TropLux 4

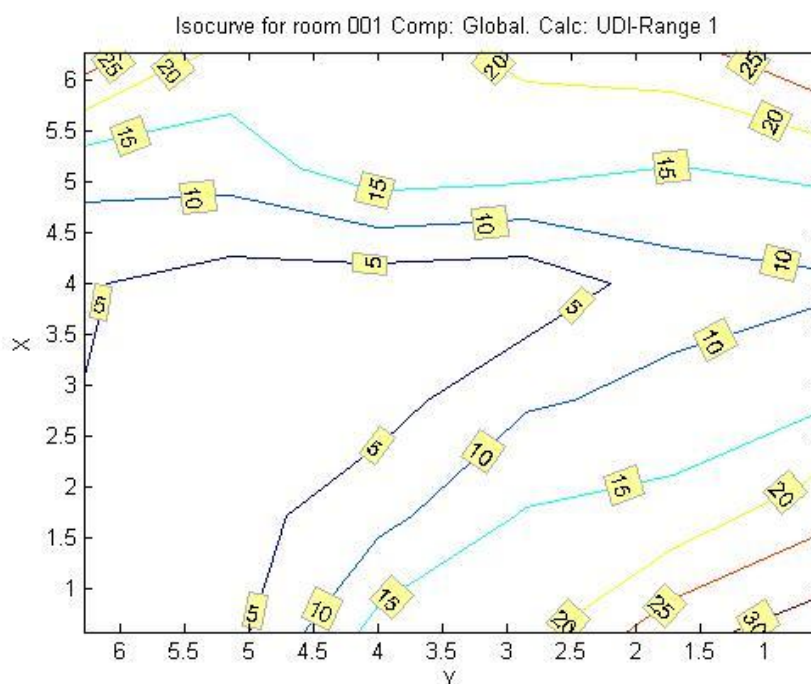


Gráfico 23: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $E < 300$ lx (Geometria 3 – Céu CIE 14)

Fonte: TropLux 4

3.6.4. Geometria 4 (geometria proposta com sistemas de controle e redirecionamento da luz natural)

Nesta geometria, com sistemas de controle e redirecionamento da luz natural, a maioria dos pontos opostos às prateleiras de luz apresenta em torno de 100% das iluminâncias calculadas durante o período de um ano, das 7h às 17h, dentro do intervalo proposto. Tal percentual diminui um pouco na medida em que se aproxima das prateleiras de luz, variando entre 86 e 98% (ver Gráfico 24). Podemos inferir, a partir da análise do Gráfico 25, que os pontos próximos às prateleiras de luz apresentam entre 2 e 14% de suas iluminâncias abaixo de 300 lx.

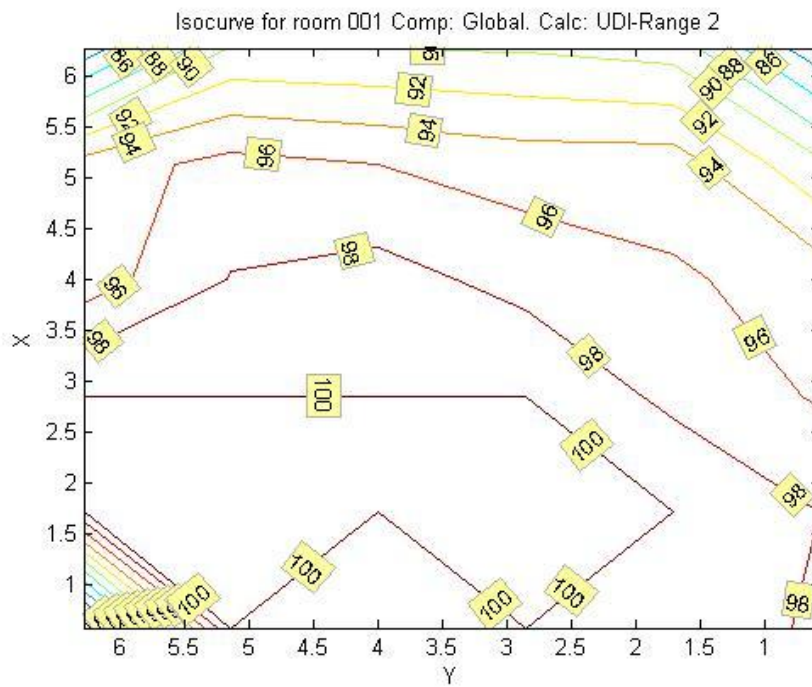


Gráfico 24: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo 300 lx < E < 2000 lx (Geometria 4 – Céu CIE 14)

Fonte: TropLux 4

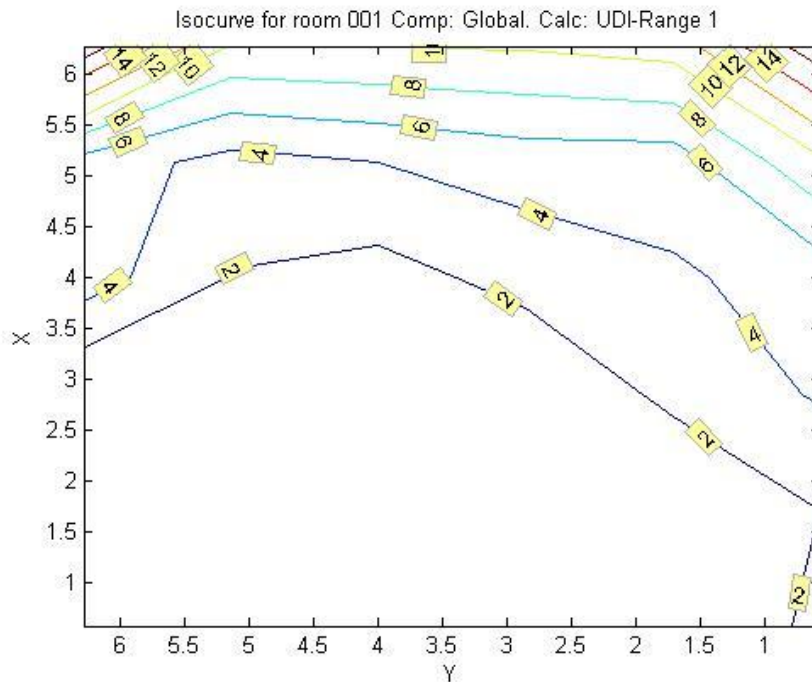


Gráfico 25: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo E < 300 lx (Geometria 4 – Céu CIE 14)

Fonte: TropLux 4

3.6.5. Geometria 5 (geometria proposta com sistemas de controle e redirecionamento da luz natural)

A partir da observação do Gráfico 26, podemos afirmar que a maioria dos pontos opostos às prateleiras de luz apresenta em torno de 100% das iluminâncias calculadas durante o período de um ano, das 7h às 17h, dentro do intervalo proposto. Tal percentual diminui um pouco na medida em que se aproxima das prateleiras de luz, variando entre 70 e 95%. Mas, apesar desses valores, os pontos próximos às prateleiras de luz apresentam entre 5 e 25% de suas iluminâncias acima de 2000 lx, podendo causar desconforto (ver Gráfico 27).

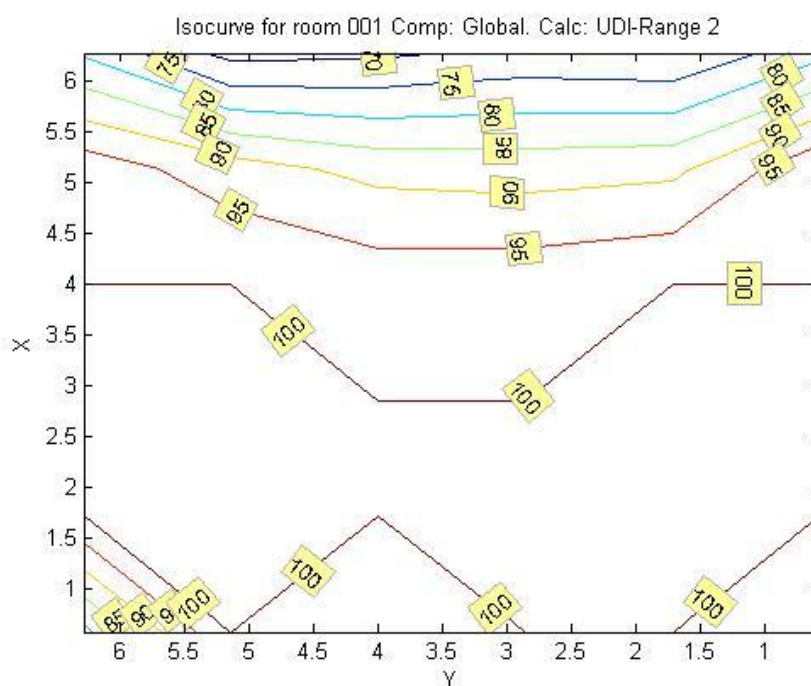


Gráfico 26: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$ (Geometria 5 – Céu CIE 14)

Fonte: TropLux 4

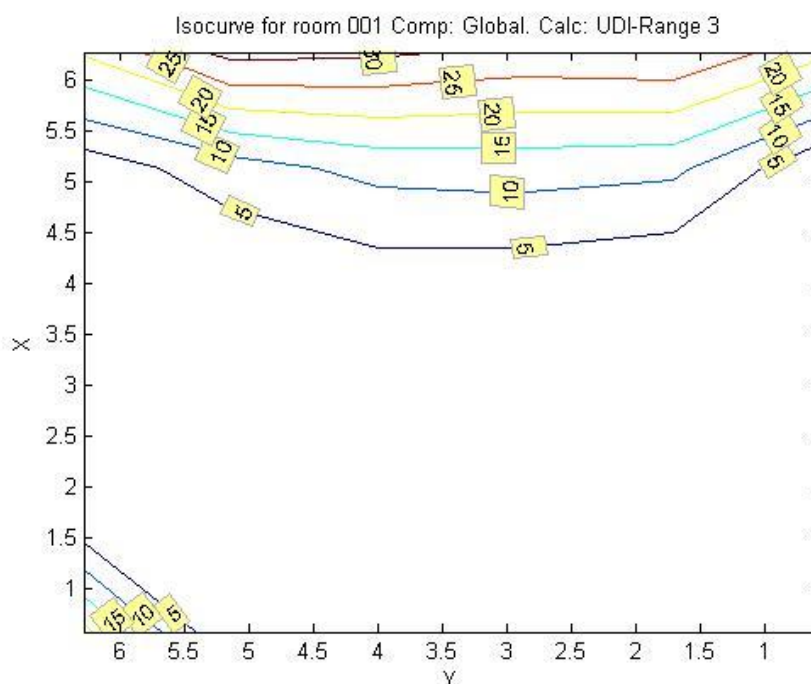


Gráfico 27: Isocurvas para percentuais de iluminâncias dentro do intervalo $E > 2000$ lx (Geometria 5 – Céu CIE 14)

Fonte: TropLux 4

3.7. Média das iluminâncias médias (\bar{E}_m) e média dos percentuais de iluminâncias dentro do intervalo proposto (\bar{P})

Em função de não haver estudos empíricos sobre estes conceitos, os valores de \bar{E}_m e de \bar{P} só têm significado para comparar o desempenho luminoso entre geometrias diferentes (CABÚS, 2011).

Para cada tipo de céu, os valores de \bar{E}_m foram gerados para cada geometria em análise e posteriormente agrupados no Gráfico 28. Levando-se em consideração o intervalo de iluminâncias proposto, $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$, constata-se que para o céu CIE 1, apenas as Geometrias 2 e 5 apresentam evolução em relação à Geometria 1 e \bar{E}_m acima do mínimo considerado nesta pesquisa (300 lx).

Em relação ao céu CIE 10, todas as geometrias em análise apresentam \bar{E}_m acima do valor mínimo de 300 lx, e apenas a Geometria 2 traz \bar{E}_m acima do intervalo proposto; a Geometria 5 aponta-se como aquela que apresenta evolução em relação à Geometria 1. Para o

céu CIE 14, valem estas mesmas considerações , exceto em relação à Geometria 2 que agora apresenta \bar{E}_m dentro do intervalo proposto, embora bastante elevada.

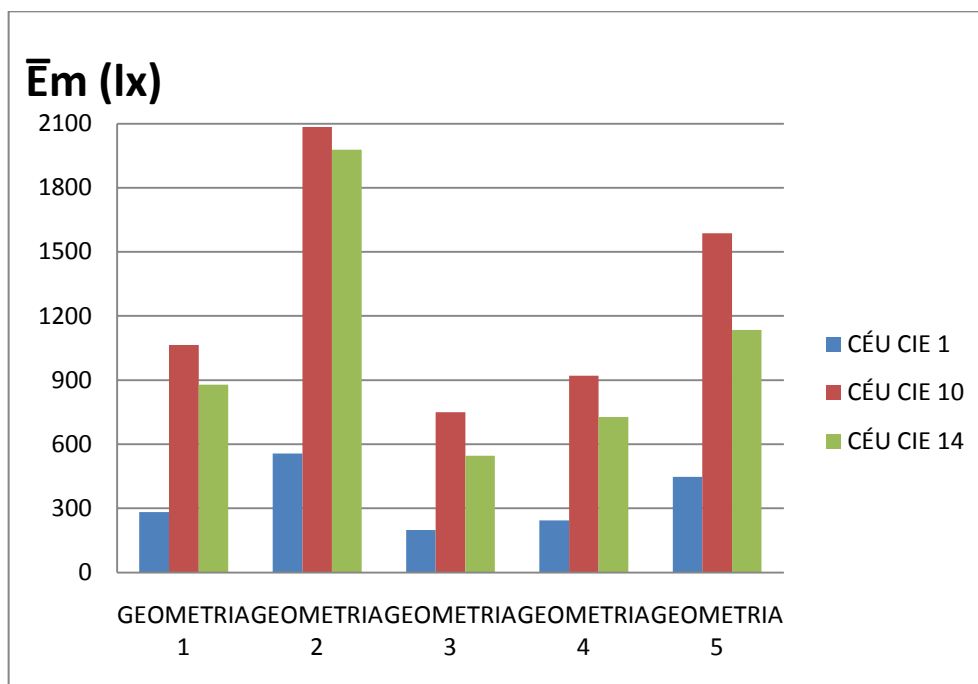


Gráfico 28: \bar{E}_m para cada geometria em análise

Fonte: a autora, 2010

Para cada tipo de céu , os valores da média dos percentuais de iluminâncias dentro do intervalo proposto (\bar{P}), $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$, foram gerados para cada geometria em análise e posteriormente agrupados no Gráfico 29.

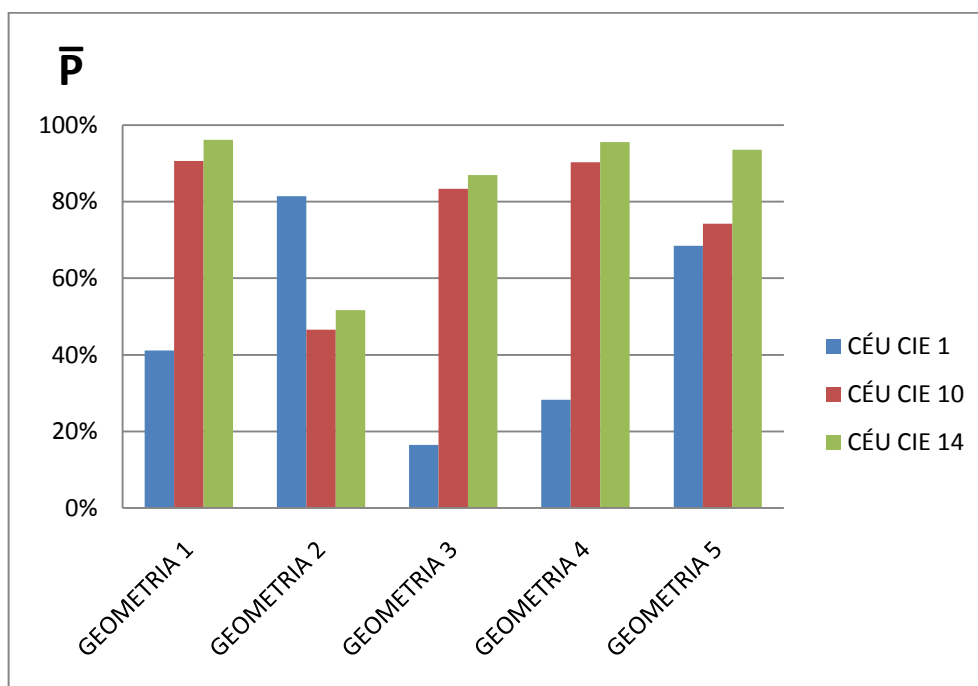


Gráfico 29: \bar{P} para cada geometria em análise

Fonte: a autora, 2010

Através deles, constata-se que para o céu CIE 1, as Geometrias 2 e 5 apresentam os percentuais mais altos e uma evolução em relação à Geometria 1; para o céu CIE 10, as Geometrias 1 e 4 apresentam os maiores percentuais e para o céu CIE 14, as Geometrias 1, 4 e 5 apresentam os percentuais mais elevados. Para os céus CIE 10 e 14, a Geometria 2 apresenta os menores percentuais e a maior regressão de desempenho em relação à Geometria 1.

A análise comparativa entre os Gráficos 28 e 29 indica que, para o céu CIE 1, as mesmas Geometrias 2 e 5 que apresentam \bar{E}_m acima de 300 lx e maiores que a Geometria 1, apresentam também maiores valores de \bar{P} e evolução em relação à Geometria 1.

Os Gráficos 30 e 31, que trazem os valores máximo e mínimo de \bar{E}_m , respectivamente, para cada geometria em análise e para cada tipo de céu, comprovam as informações acima, pois as Geometrias 2 e 5 apresentam seus valores máximos de \bar{E}_m dentro do intervalo considerado e maiores que os trazidos pela Geometria 1. O mesmo ocorre para os valores mínimos de \bar{E}_m , embora o da Geometria 5 esteja abaixo do intervalo considerado, apresentando portanto \bar{P} menor que o da Geometria 2.

Para o céu CIE 10, os Gráficos 28 e 29 apontam que, apesar de possuírem valores de \bar{E}_m maiores que o da Geometria 1, as Geometrias 2 e 5 trazem valores de \bar{P} menores que os da Geometria 1. Isso ocorreu porque tais geometrias apresentaram maior quantidade de iluminâncias acima do intervalo considerado, conforme pode ser observado a partir de seus valores máximos de \bar{E}_m acima de 2000 lx e elevados valores mínimos de \bar{E}_m (Gráficos 30 e 31).

O mesmo pode ser constatado para o céu CIE 14, exceto pelo fato de a Geometria 5 apresentar a \bar{P} aproximadamente igual àquela trazida pela Geometria 1. O valor máximo de \bar{E}_m dentro do intervalo considerado atesta esse melhor resultado.

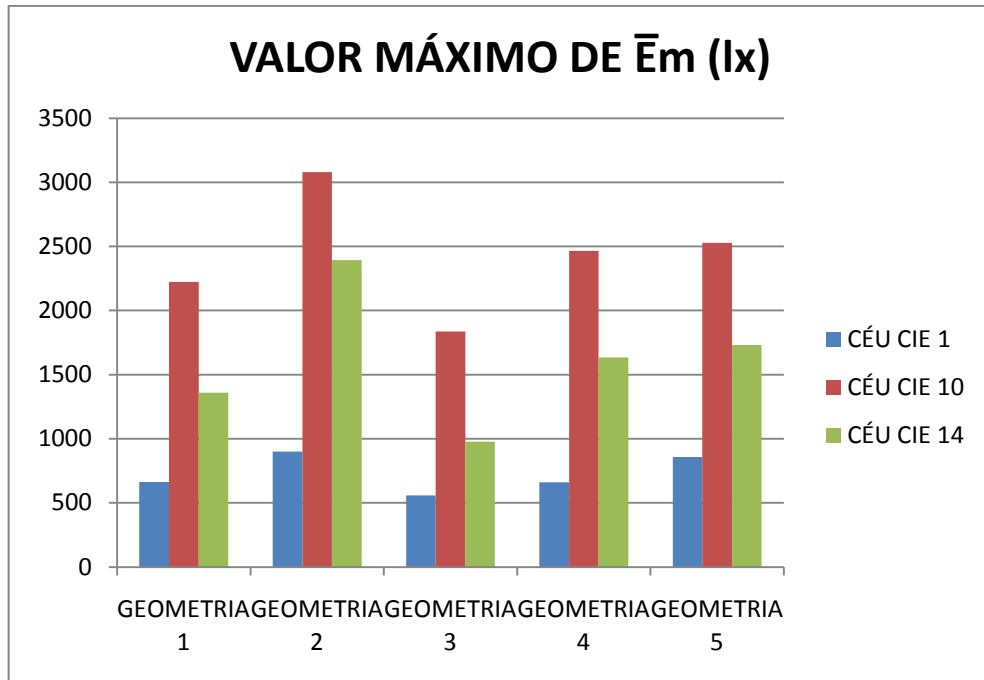


Gráfico 30: Valor máximo de \bar{E}_m para cada geometria em análise

Fonte: a autora, 2010

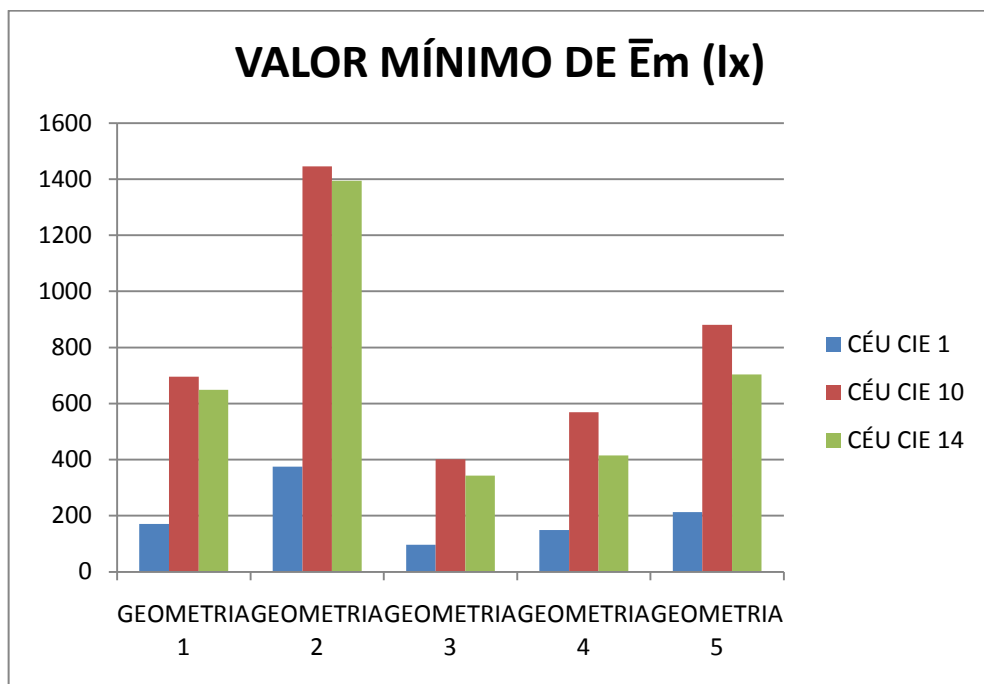


Gráfico 31: Valor mínimo de \bar{E}_m para cada geometria em análise

Fonte: a autora, 2010

3.8. Conclusão

A partir da análise dos gráficos de isocurvas apresentados nos itens **3.4, 3.5 e 3.6**, podemos observar o quanto uma mesma geometria se comporta de maneira diversa quando simulada sob diferentes tipos de céu.

Os gráficos de isocurvas gerados para a sala de aula em estudo (Geometria 1) nos mostram altos percentuais de iluminâncias dentro do intervalo proposto quando são analisados o céu CIE 10 (parcialmente encoberto) e o céu CIE 14 (claro). Mas ao analisarmos os gráficos de isocurvas referentes ao céu CIE 1 (encoberto), podemos observar que a sala de aula em estudo não apresenta um bom desempenho luminoso em relação ao intervalo de iluminâncias considerado, apresentando altos percentuais de iluminâncias abaixo de 300 lx.

A análise desses gráficos sugere que a ausência de dispositivos de redirecionamento da luz natural sob um céu encoberto (céu CIE 1), sem incidência da luz natural direta do sol, provocou uma redução nos valores das iluminâncias.

Para a Geometria 2, simulada com as mesmas características da sala de aula em estudo, exceto pela maior refletância do teto inclinado, os gráficos de isocurvas referentes ao céu CIE 1 (encoberto) apresentam altos percentuais de iluminâncias dentro do intervalo proposto, o que não ocorre quando analisamos os gráficos referentes aos céus CIE 10 (parcialmente encoberto) e 14 (claro) que apresentam elevados percentuais de iluminâncias acima de 2000 lx.

Nesse caso, a análise dos gráficos propõe que apenas a alteração da refletância do teto já funciona como dispositivo de redirecionamento da luz natural, embora tenha produzido iluminâncias acima do intervalo proposto.

Os gráficos de isocurvas referentes à Geometria 3, também simulada com as mesmas características da sala de aula em estudo, exceto pela inclusão do teto rebaixado plano, não apresentam bom desempenho luminoso dentro do intervalo de iluminâncias proposto, em relação ao céu CIE 1 (encoberto), pois trazem elevados percentuais abaixo de 300 lx. Os gráficos referentes aos céus CIE 10 (parcialmente encoberto) e 14 (claro) apresentam um melhor desempenho luminoso em relação ao intervalo de iluminâncias proposto.

Aqui, a análise dos gráficos sugere que, nesse caso, apenas a inclusão de um teto rebaixado plano branco sob um céu encoberto (céu CIE 1) não produz melhorias em relação à Geometria 1.

A Geometria 4, agora simulada com elementos de controle e redirecionamento da luz natural acrescentados à sala de aula em estudo, apresenta gráficos de isocurvas para os céus CIE 10 (parcialmente encoberto) e 14 (claro) com elevados percentuais de iluminâncias dentro do intervalo considerado. Mas, em relação ao céu CIE 1 (encoberto), apresenta elevados percentuais de iluminâncias abaixo de 300 lx nos pontos próximos às prateleiras de luz e no fundo do ambiente.

Os gráficos de isocurvas da Geometria 5, também simulada com elementos de controle e redirecionamento da luz natural acrescentados à sala de aula em estudo, apresentam elevados percentuais de iluminâncias acima de 2000 lx nos pontos próximos às prateleiras de luz, para o céu CIE 10 (parcialmente encoberto). O mesmo ocorre, embora em menores percentuais, para o céu CIE 14 (claro). Em relação ao céu CIE 1 (encoberto), os percentuais de iluminâncias dentro do intervalo proposto diminuem na medida em que se afastam das prateleiras de luz.

Já os valores da \bar{E}_m e da \bar{P} , aliados aos valores máximo e mínimo das \bar{E}_m , calculados para cada geometria, traduzem-se em índices numéricos de comparação entre elas.

A partir da análise dos gráficos gerados com a \bar{E}_m de cada geometria, podemos constatar que, para os três tipos de céu CIE analisados, a Geometria 5 é a única que apresenta valores dentro do intervalo considerado ($300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$) e que apresenta evolução em relação à geometria da sala de aula em estudo (Geometria 1).

No que diz respeito à análise dos gráficos gerados com a \bar{P} de cada geometria, podemos observar que, apenas para o céu CIE 10 (parcialmente encoberto), a Geometria 5 não apresenta a maior média e evolução em relação à Geometria 1.

CONCLUSÕES

Essa etapa expõe os principais aspectos da pesquisa e relata suas conclusões obtidas em relação aos objetivos geral e específicos propostos. São apresentadas ainda as suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

Conclusões

A revisão bibliográfica acerca do tema proposto, além de abordar importantes conceitos a respeito do uso da luz natural na arquitetura, das técnicas de análise do seu desempenho e dos métodos de avaliação de suas iluminâncias, necessários ao andamento da pesquisa; trouxe informações úteis sobre outros estudos realizados e um embasamento necessário à proposição e análise de intervenções na sala de aula escolhida.

A partir das etapas metodológicas adotadas, importantes decisões foram tomadas, como a escolha da sala de aula a ser analisada, que faz parte de uma tipologia existente nas escolas da rede pública estadual de ensino de Aracaju (SE), a escolha do programa de simulação computacional da luz natural e a caracterização das geometrias propostas.

É importante observar que, tanto as alterações das características iniciais da sala de aula em estudo, promovidas pelas Geometrias 2 e 3, como a proposição das Geometrias 4 e 5, adotaram intervenções ou novos elementos de fácil implementação e condizentes com a realidade da tipologia descrita nesta pesquisa.

A análise do desempenho luminoso da sala de aula em estudo, denominada Geometria 1, e das intervenções propostas, denominadas Geometrias 2, 3, 4 e 5, foi feita através dos gráficos de isocurvas referentes aos percentuais de iluminâncias dentro do intervalo proposto, $300 \text{ lx} < E < 2000 \text{ lx}$, ao longo dos ambientes. Os resultados alcançados definem os gráficos de isocurvas como grandes aliados no processo de análise do desempenho luminoso de diferentes ambientes, facilitando a compreensão dos inúmeros dados gerados a partir das simulações computacionais.

Já a análise e comparação da evolução do desempenho luminoso entre as geometrias, foram feitas através da média das iluminâncias médias (\bar{E}_m) e média dos percentuais de

iluminâncias citados (\bar{P}), juntamente com os valores máximo e mínimo das \bar{E}_m , calculados para cada uma delas.

A partir das análises e comparações destes índices, podemos inferir que não houve evolução do desempenho luminoso da sala de aula em estudo através das alterações das suas características iniciais. Assim, o aumento da refletância do teto inclinado existente na sala de aula em estudo, que caracteriza a Geometria 2, produz valores muito altos de iluminâncias, com \bar{E}_m maior que 2000 lx para o céu CIE 10 (parcialmente encoberto) e igual a 2000 lx para o céu CIE 14 (claro), isso resulta em valores de \bar{P} menores que os da sala em estudo (Geometria 1) para estes tipos de céu. Já a inclusão de um teto rebaixado plano branco (Geometria 3) sugere valores de \bar{E}_m e \bar{P} menores que os apresentados pela sala de aula em estudo (Geometria 1) para todos os tipos de céu analisados.

Em relação às novas geometrias propostas, podemos inferir que a Geometria 4 apresenta valores de \bar{E}_m menores que os apresentados pela sala em estudo (Geometria 1) em todos os céus analisados e apresenta \bar{P} menor que o da Geometria 1 para o céu CIE 1 (encoberto). Já a Geometria 5 apresenta valores de \bar{E}_m maiores que os apresentados pela sala em estudo (Geometria 1) e dentro do intervalo proposto, em todos os céus analisados e \bar{P} menor que o da Geometria 1 apenas para o céu CIE 10 (parcialmente encoberto).

Tal resultado aponta as intervenções adotadas pela Geometria 5, como elementos responsáveis pela melhora no desempenho luminoso do ambiente, dentro do intervalo de iluminâncias considerado.

Mas, devemos levar em consideração que, apesar de apresentar melhor desempenho luminoso quando comparada às demais geometrias em análise, a Geometria 5 possui limitações, principalmente em relação ao céu CIE 10 (parcialmente encoberto), onde apresenta elevados percentuais de iluminâncias acima de 2000 lx nos pontos próximos às prateleiras de luz, conforme pode ser observado através dos gráficos de isocurvas. Assim, a busca pelo melhor desempenho luminoso nesses ambientes não se encerra aqui, pois ainda podem ser simuladas e analisadas novas intervenções que possam suprir as limitações surgidas.

Espera-se, com este trabalho, incentivar e difundir o uso da simulação computacional como importante ferramenta para a tomada de decisões durante a fase inicial de projeto, particularmente no que diz respeito ao uso da luz natural. Espera-se, ainda, favorecer a otimização da iluminação natural em salas de aula de uma maneira geral e, em especial,

naquelas que apresentam a tipologia descrita nesta pesquisa, contribuindo para a melhoria de edifícios existentes ou de novas construções.

Limitações do Trabalho

Como principal limitação do trabalho, podemos citar a ausência de estudos e pesquisas sobre o céu de Aracaju (SE), o que nos impede de afirmar quais os tipos de céu serviriam como referência através das suas frequências e dos seus percentuais de ocorrência durante o ano.

A análise do desempenho da iluminação natural no ambiente proposto, sem levar em consideração fatores térmicos e acústicos também constitui uma limitação ao trabalho, que levou em consideração apenas aspectos pertinentes ao conforto luminoso.

Sugestões para trabalhos futuros

A partir das observações elencadas, podemos sugerir trabalhos futuros que pesquisem novas intervenções na geometria que apresentou evolução no desempenho luminoso em relação à sala de aula em estudo. Ou ainda trabalhos que pesquisem outras configurações da sala, outros dispositivos de proteção, outras refletâncias das superfícies ou outros tipos de vidro.

De acordo com as limitações apresentadas, podemos sugerir um estudo acerca do céu de Aracaju (SE), verificando a compatibilidade dos céus analisados nesta pesquisa ou promovendo nova análise com outros tipos de céu.

Finalmente, podemos ainda sugerir a análise dos resultados encontrados nesta pesquisa em conjunto com fatores térmicos e acústicos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5413: Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro. 1992.

AMORIM, Cláudia Naves David. Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte I: Estratégias de Projeto para uma Arquitetura Sustentável. **Periódico eletrônico em Arquitetura e Urbanismo Paranoá**, Brasília, v. 4, 2002. Disponível em: http://www.unb.br/fau/pos_graduacao/paranoa/paranoa.htm. Acesso em: 10 jun. 2008.

_____. Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte II: Sistemas Inovadores para a Luz Natural. **Periódico eletrônico em Arquitetura e Urbanismo Paranoá**, Brasília, v.4, 2002. Disponível em: http://www.unb.br/fau/pos_graduacao/paranoa.htm. Acesso em: 10 jun. 2008.

ARAÚJO, Iuri Ávila Lins de. **Influência da Luz Natural Refletida pelo Entorno na Iluminação de Edifícios no Trópico Úmido**. Maceió, 2006. 131p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Alagoas.

ARTIGAS, João Batista Vilanova. **Caminhos da Arquitetura**. São Paulo: CosacNaify, 2004.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture. A European Reference Book**. London: James & James, 1993.

BAKER, Nick; STEEMERS, Koen. **Daylight Design of Buildings**. London: James & James, 2002.

BENCOSTTA, Marcus Levy A. ARQUITETURA E ESPAÇO ESCOLAR: o exemplo dos primeiros grupos escolares de Curitiba (1903-1928). In: BENCOSTTA, Marcus Levy A. (Org.): **História da Educação, Arquitetura e Espaço Escolar**. São Paulo: Cortez, 2005.

BERGER, Miguel André; ALMEIDA, Anne Emilie S. de. A Instrução Pública em Sergipe na Era da Modernidade – Analisando a Trajetória dos Grupos Escolares. In: Congresso Brasileiro de História da Educação, 3., 2004, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba, 2004. Disponível em: <<http://www.sbhe.org.br>>. Acesso em: 09 nov. 2009.

BITTENCOURT, Leonardo; OITICICA, Maria Lúcia G. da Rosa; PÁDUA, Antônio; FONTAN, Renata. Influência da Localização, Dimensão e Forma das Janelas nos Níveis de Iluminação Natural produzidos por Céus Encobertos. In: Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 1., Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 3., 1995, Gramado. **Anais...** Gramado, 1995. 1 CD-ROM.

BITTENCOURT, Leonardo. **Uso das Cartas Solares: diretrizes para arquitetos**. 4.ed. Maceió: Edufal, 2004.

BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO, Christina. **Introdução à Ventilação Natural**. 2.ed. Maceió: Edufal, 2006.

van BOMMEL, WJM; van den BELD, GJ. Lighting for work: a review of visual and biological effects. **Lighting Research and Technology**, 36 (4), p. 255-269, 2004.

BOYCE, Peter R. The Impact of Light in Buildings on Human Health. **Indoor and Built Environment**, 19, p. 8-20, 2010.

BUFFA, Ester; PINTO, Gelson de Almeida. **Arquitetura e Educação: organização do espaço e propostas pedagógicas dos grupos escolares paulistas, 1893/1971**. São Carlos: Brasília: EdUFSCar, INEP, 2002.

CABÚS, Ricardo C. **Análise do Desempenho Luminoso de Sistemas de Iluminação Zenital em Função da Distribuição de Iluminâncias**. Florianópolis, 1997. 156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina.

_____. Influência da Luz Refletida no Solo na Iluminação Natural nos Trópicos: Comparando o Desempenho de Protetores Solares. In: Conferência Latino-americana de Construção Sustentável, 1., Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 10., 2004, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.infohab.com.br>>. Acesso em 10 out. 2008.

_____. **Re: Dúvida** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <amafaradias@yahoo.com.br> em 28 jan. 2011.

_____. **Tropical daylighting: predicting sky types and interior illuminance in North-east Brazil**. Sheffield, 2002. 156p. Tese (Doctor of Philosophy) – School of Architectural Studies – University of Sheffield .

_____. TropLux: Um Sotaque Tropical na Simulação da Luz Natural m Edificações. In: Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 4., Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 8., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, 2005. 1 CD-ROM.

CÂNDIDO, Christina; TORRES, Simone; CABÚS, Ricardo. Análise da Utilização de Prateleiras de Luz em Edifício de Pesquisas da UFAL, Maceió-AL. In: Encontro Latino-

americano de Conforto no Ambiente Construído, 4., Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 8., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, 2005. 1 CD-ROM.

CARDOSO, Sara de Oliveira. **Avaliação das Condições da Iluminação Natural em Salas Típicas de Edifícios de Escritórios em Maceió-AL.** Maceió, 2006. 174p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Curso de Pós-Graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado – Universidade Federal de Alagoas.

CHRISTAKOU, Evangelos Dimitrios. **A Simulação Computacional da Luz Natural Aplicada ao Projeto de Arquitetura.** Brasília, 2004. 134p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade de Brasília.

CIBSE, The Chartered Institution of Building Services Engineers. **Code for Interior Lighting.** 16.ed. London: Elsevier, 2002.

CLARO, Anderson; PEREIRA, Fernando; LEDO, Rafael. Apolux – an innovative computer code for daylight design and analysis in architecture and urbanism. In: International IBPSA Conference, 9., 2005, Montreal. **Anais eletrônicos...** Montreal, 2005. Disponível em <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2005/BS05_0199_206.pdf>. Acesso em dez. 2010.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental.** Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CORREIA, Ana Paula P. ARQUITETURA ESCOLAR: a cidade e a escola rumo ao progresso – Colégio Estadual do Paraná (1943-1953). In: BENCOSTTA, Marcus Levy A. (Org.): **História da Educação, Arquitetura e Espaço Escolar.** São Paulo: Cortez, 2005.

CORREIA, Andréia Gurgel Umbelino. **Avaliação Pós-Ocupação da Iluminação Natural das Salas dos Setores de Aulas Teóricas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.** Natal, 2008. 156p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

CORTEZ, Rogério Vieira; SILVA, Mário Braga. **Espaços educativos. Ensino fundamental. Subsídios para elaboração de projetos e adequação de edificações escolares.** Coordenação-geral de José Maria de Araújo Souza. Brasília: Fundescola/MEC, 2002.

DIAS, Amanda F. A., GOMES, Vivian A.; CABÚS, Ricardo C. Componentes de Controle de Luz Natural em Salas de Aula e seu Desempenho conforme a Orientação Solar do Edifício. In: Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 6., Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10., 2009, Natal. **Anais...** Natal, 2009. 1 CD-ROM.

DORIGO, Adriano Lucio. **Condições de Luz Natural em Ambientes Escolares – Estudo do Projeto Padrão 023 da Rede Pública de Ensino do Estado do Paraná.** Curitiba, 2007. 114p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Curso de Pós-Graduação em Tecnologia – Universidade Federal Tecnológica do Paraná.

DORIGO, A. L.; SUGA, M.; KRÜGER, E. L. Uso de Dispositivos de Sombreamento em Salas de Aula – Avaliação de Método Proposto por Olgyay. In: Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 5., Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 9., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2007. 1 CD-ROM.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância Solar de Superfícies Opacas: Conceitos, Métodos de Determinação e Base de Dados para Tintas Imobiliárias.** Campinas, 2008. 143p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual de Campinas.

EDMONDS, I. R.; GREENUP, P. J. Daylighting in the Tropics. **Solar Energy**, Grã Bretanha, v. 73, n. 2, p. 111-121, 2002.

ESCUYER, S.; FONTOYNONT, M. Lighting controls: a field study of Office workers' reactions. **Lighting Research and Technology**, 33(2), p. 77-96, 2001.

FROTA, A. B. **Geometria da Insolação.** São Paulo: Geros, 2004.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico.** 2.ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

FUNARI, Teresa B. S.; KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. Arquitetura Escolar e Avaliação Pós-Ocupação. In: Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 4., Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 8., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, 2005. 1 CD-ROM.

GEEBELEN, B. et. al. Fast and accurate simulation of long-term daylight availability using the radiosity method. **Lighting Research and Technology**, 37(4), p. 295-312, 2005.

GRAÇA, Valéria A. C. et al. An evaluation method for school building design at the preliminary phase with optimisation of aspects of environmental comfort for the school system of the State São Paulo in Brazil. **Building and Environment**, 42, p. 984-999, 2007.

GRAÇA, Valéria A. C. da; KOWALTOWSKI, Doris. C. C. K. Metodologia de avaliação de conforto ambiental de projetos escolares usando o conceito de otimização multicritério. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 19-35, jul./set. 2004.

GRAZIANO Jr.; SIGFRIDO F. C. G. Simulação Computacional da Iluminação Natural em Grandes Edifícios. In: Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 3., Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 6., 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro, 2001. 1 CD-ROM.

GUIDE for Daylighting Schools. New York: Innovative Design, 2004.

HOUGH, M. **Naturaleza y Ciudad. Planificación Urbana y Procesos Ecológicos.** Barcelona: Gustavo Gili S.A., 1998.

IESNA – Illuminating Engineering Society of North America. IESNA Lighting Design Software Survey. **Lighting Design + Application**, v. 32, n. 7, p. 35-43, julho 2002.

JOHNSEN, Kjeld. Daylight in Buildings, Collaborative Research in the International Energy Agency (IEA Task 21). **Renewable Energy**, 15, p. 142-150, 1998.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; CELANI, M. G. C.; MOREIRA, D. C. et al. Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 07-19, abr./jun. 2006.

LABAKI, Lucila Chebel; BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina Lotufo. Avaliação do Conforto Térmico e Luminoso de Prédios Escolares da Rede Pública, Campinas-SP. In: Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 3., Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 6., 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro, 2001. 1 CD-ROM.

LARANJA, Andréa Coelho. **Parâmetros Urbanos e a Disponibilidade de Iluminação Natural no Ambiente Interno.** Rio de Janeiro, 2010. 285p. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LECHNER, Norbert. **Heating, Cooling, Lighting.** Canadá: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

LESLIE, R. P. Review - Capturing the daylight dividend in buildings: why and how? **Building and Environment**, 38, p. 381-385, 2003.

LESLIE, R. P. et al. The Potential of Simplified Concepts for Daylight Harvesting. **Lighting Research and Technology**, 37(1), p. 21-40, 2005.

LITTLEFAIR, Paul. Daylight Prediction in Atrium Buildings. **Solar Energy**, Grã-Bretanha, v. 73, n. 2, p. 105-109, 2002.

MASCARÓ, Lúcia R. de. **Energia na Edificação: estratégia para minimizar seu consumo**. 2.ed. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1991.

_____. **Luz, Clima e Arquitetura**. São Paulo: Nobel, 1983.

MENDONÇA, Jouberto Uchôa; SILVA, Maria Lúcia Cruz e (Orgs.). **Sergipe Panorâmico**. 2. ed. Aracaju: UNIT, 2009.

MORAES, Karla Motta Kiffer (Coord.). **Padrões mínimos de funcionamento da escola do ensino fundamental - ambiente físico escolar: guia de consulta**. Brasília: Fundescola/DIPRO/FNDE/MEC, 2006.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Research and Technology**, 37(1), p. 41-59, 2005.

_____. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, 38, p. 905-913, 2006.

NUNES, Maria Thetis. **História da Educação em Sergipe**. Rio de Janeiro: Paz e Terra; Aracaju: Secretaria de Educação e Cultura do Estado de Sergipe; Universidade Federal de Sergipe, 1984.

OLGYAY, V. & OLGAY, A. **Solar Control of Shading Devices**. Princeton: Princeton University Press, 1957.

OSTERHAUS, Werner K. E. Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments. **Solar Energy**, 79, p. 140-158, 2005.

PEREIRA, Roberto; PEREIRA, Fernando O. R.; CLARO, Anderson; SOUZA, Luiz P. F. de. Metodologia para Avaliação de Ferramentas de Simulação da Iluminação Natural através de Mapeamento Digital de Luminâncias. In: Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 5., Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 9., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2007. 1 CD-ROM.

RAMOS, Greici. **Análise da iluminação natural calculada por meio do programa Energyplus**. Florianópolis, 2008. 121p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina.

REINHART, Cristoph. **Effects of interior design on the daylight availability in open plan offices**. National Research Council of Canada, Internal Report NRCC – 45374. Ottawa: NRC, 2002.

REINHART, Cristoph; FITZ, Annegret. Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design. **Energy and Buildings**, 38, p. 824-835, 2006.

REINHART, Christoph; SELKOWITZ, Stephen. Daylighting – Light, form, and people. **Energy and Buildings**, 38, p. 715-717, 2006.

ROCHE, L.; DEWEY, E.; LITTLEFAIR, P. Occupant Reactions to Daylight in Offices. **Lighting Research and Technology**, 32(3), p. 119-126, 2000.

RUCK, Nancy et al. **Daylighting in Buildings – A source book on daylighting systems and components**. International Energy Agency (IEA) Solar Heating and Cooling Programme, Energy Conservation in Buildings & Community Systems. Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, 2000.

SCHIFFMAN, H. R. **Sensação e Percepção**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

SCHMID, Aloísio Leoni. **A Idéia de Conforto: Reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SERRA, Rafael. Chapter 6-Daylighting. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2, p. 115-155, 1998.

SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de; KREMER, Adriano; MACÊDO, Catharina C. de; CLARO, Anderson. Simulação de Iluminação Natural Utilizando o Lightscape: Uma Análise do Desempenho Frente a Diferentes Características de Superfícies. In: Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 3., Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 6., 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro, 2001. 1 CD-ROM.

SOL-AR. Versão 6.2: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. Disponível em <<http://www.labee.ufsc.br/software/analysisSOLAR.htm>>. Acesso em: 02 mar. 2009.

SPÓSITO, Maria Encarnação Beltrão. O Embate entre as Questões Ambientais e Sociais no Urbano. In: CARLOS, A. F. A.; LEMOS, A. I. G. (Orgs.): **Dilemas Urbanos: Novas Abordagens sobre a Cidade**. São Paulo: Contexto, 2003.

SPIRN, A. W. **O Jardim de Granito**. São Paulo: Edusp, 1995.

TROPLUX. Versão 4: Grupo de Pesquisa em Iluminação da Universidade Federal de Alagoas, 2010. 1 CD-ROM.

APÊNDICE A – Escolas visitadas

Esta seção traz imagens de todas as escolas da rede de ensino estadual da cidade de Aracaju (SE) visitadas durante a pesquisa. Aquelas que apresentam a tipologia recorrente observada estão destacadas com um fundo cinza.

ESCOLAS VISITADAS



**CENTRO DE EXCELÊNCIA MINISTRO
MARCO MACIEL**

Fonte: a autora (2008)



**CENTRO DE REFERÊNCIA DE E.J.A PROFº
SEVERINO UCHÔA**

Fonte: a autora (2008)



**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO
PROFISSIONAL JOSÉ FIGUEIREDO BARRETO**

Fonte: a autora (2008)



COLÉGIO ESTADUAL ATHENEU SERGIPENSE

Fonte: a autora (2008)



COLÉGIO ESTADUAL BARÃO DE MAUÁ

Fonte: a autora (2008)



**COLÉGIO ESTADUAL DOM LUCIANO JOSÉ
CABRAL DUARTE**

Fonte: a autora (2008)



**COLÉGIO ESTADUAL GOVERNADOR
AUGUSTO FRANCO**

Fonte: a autora (2008)



**COLÉGIO ESTADUAL GOVERNADOR JOÃO
ALVES FILHO**

Fonte: a autora (2008)



**COLÉGIO ESTADUAL GOVERNADOR
VALADARES**

Fonte: a autora (2008)



**COLÉGIO ESTADUAL JACKSON DE
FIGUEIRÊDO**

Fonte: a autora (2008)



COLÉGIO ESTADUAL LEANDRO MACIEL

Fonte: a autora (2008)



**COLÉGIO ESTADUAL MINISTRO PETRÔNIO
PORTELA**

Fonte: a autora (2008)



COLÉGIO ESTADUAL PRESIDENTE CASTELO BRANCO

Fonte: a autora (2008)



COLÉGIO ESTADUAL PRESIDENTE COSTA E SILVA

Fonte: a autora (2008)



COLÉGIO ESTADUAL PRESIDENTE EMÍLIO GARRASTAZU MÉDICI

Fonte: a autora (2008)



COLÉGIO ESTADUAL SANTOS DUMONT

Fonte: a autora (2008)



COLÉGIO ESTADUAL TOBIAS BARRETO

Fonte: a autora (2008)



CONSERVATÓRIO DE MÚSICA DE SERGIPE

Fonte: a autora (2008)



**ESCOLA DE EDUCAÇÃO ESPECIAL JOÃO
CARDOSO NASCIMENTO JÚNIOR**

Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL 11 DE AGOSTO

Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL 15 DE OUTUBRO

Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL 17 DE MARÇO

Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL 24 DE OUTUBRO

Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL 8 DE JULHO

Fonte: a autora (2008)



**ESCOLA ESTADUAL CLODOALDO DE
ALENCAR**

Fonte: a autora (2008)



**ESCOLA ESTADUAL DRa. MARIA DO CARMO
ALVES**

Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL DR. MANOEL LUIZ

Fonte: a autora (2008)



**ESCOLA ESTADUAL EMBAIXADOR BILAC
PINTO**

Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL GENERAL SIQUEIRA

Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL GENERAL VALADÃO

Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL JOHN KENNEDY

Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL JOSÉ AUGUSTO FERRAZ

Fonte: a autora (2008)



**ESCOLA ESTADUAL JOSÉ DA SILVA RIBEIRO
FILHO**

Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL LOURIVAL BAPTISTA

Fonte: a autora (2008)



**ESCOLA ESTADUAL MINISTRO GERALDO
BARRETO SOBRAL CAIC**

Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL MONTEIRO LOBATO

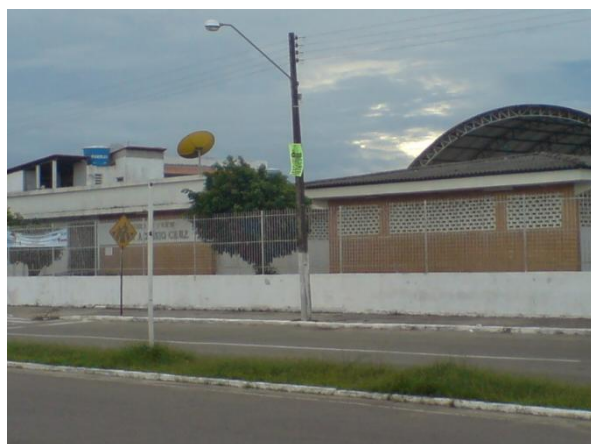
Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL OLAVO BILAC
Fonte: a autora (2008)



**ESCOLA ESTADUAL OLÍMPIA
BITTENCOURT**
Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL PROF. ACRÍSIO CRUZ
Fonte: a autora (2008)



**ESCOLA ESTADUAL PROFª. OFENÍSIA S.
FREIRE**
Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL PROF. ARTUR FORTES
Fonte: a autora (2008)



**ESCOLA ESTADUAL PROF. FRANCISCO
PORTUGAL**
Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL PROF. VALNIR CHAGAS
Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL RODRIGUES DÓREA
Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL SÃO FRANCISCO DE ASSIS
Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL SÃO JOSÉ
Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL SÃO LOURENÇO
Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL SEN. LEITE NETO
Fonte: a autora (2008)



ESCOLA ESTADUAL SEN. LOURIVAL FONTES

Fonte: a autora (2008)



ESCOLA MATERNAL RAIOS DE SOL

Fonte: a autora (2008)



**ESCOLA REUNIDA ORATÓRIO FESTIVO SÃO
JOÃO BOSCO**

Fonte: a autora (2008)



**ESCOLA SALESIANA DE ENSINO
FUNDAMENTAL SÃO DOMINGOS SÁVIO**

Fonte: a autora (2008)



INSTITUTO DE EDUCAÇÃO RUY BARBOSA

Fonte: a autora (2008)

TOTAL DE ESCOLAS VISITADAS

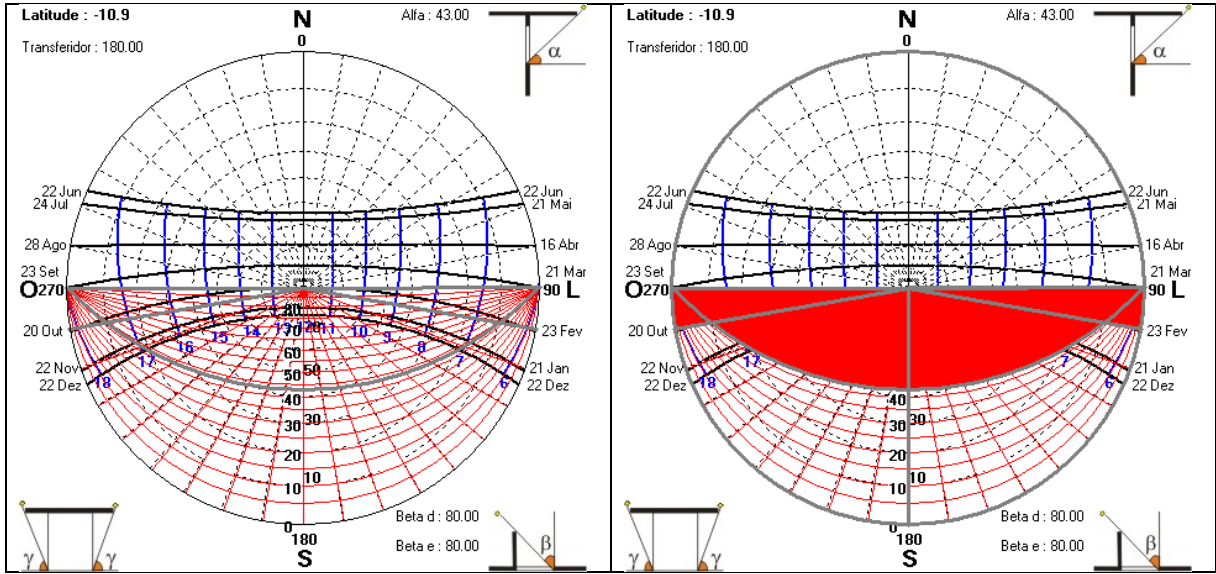
53

TOTAL DE ESCOLAS VISITADAS COM TIPOLOGIA RECORRENTE

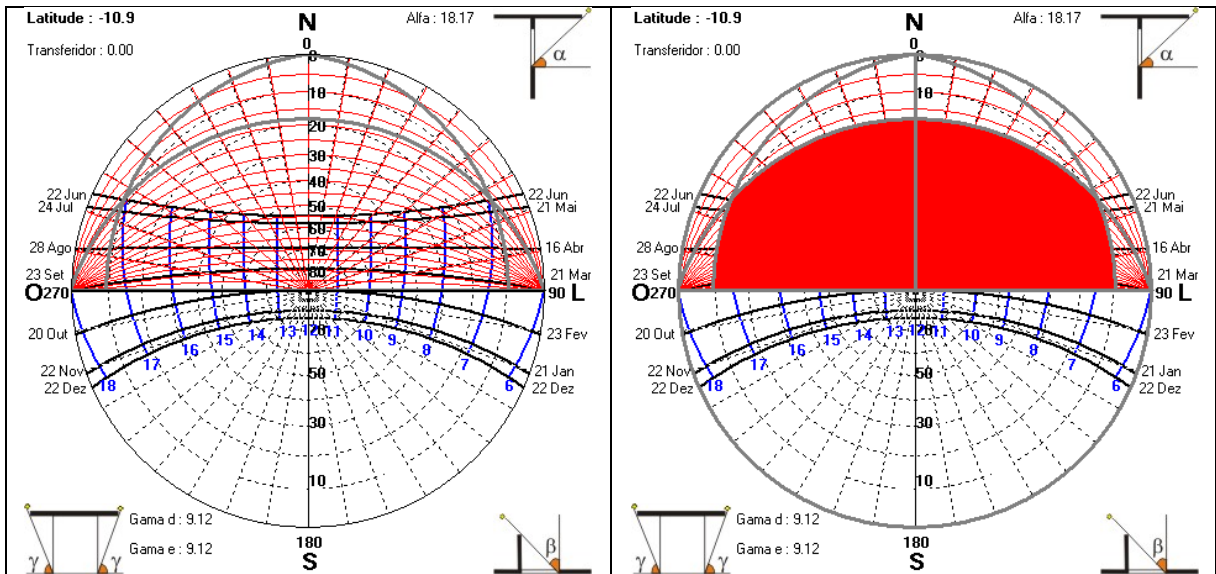
21

APÊNDICE B – Cartas solares

Esta seção traz as cartas solares de Aracaju (SE) com transferidor de ângulos e máscara de sombras para a orientação sul, onde foram inseridas prateleiras de luz nas aberturas voltadas para a área externa e avanços das paredes leste e oeste para fora da sala como sistemas de controle e redirecionamento da luz natural, e para a orientação norte, onde foi mantido o beiral da sala de aula em estudo voltado para a circulação interna.



Carta solar de Aracaju (SE) com transferidor de ângulos e máscara de sombra (orientação sul)
 Fonte: SOL-AR 6.2



Carta solar de Aracaju (SE) com transferidor de ângulos e máscara de sombra (orientação norte)
 Fonte: SOL-AR 6.2

APÊNDICE C – Variação entre iluminâncias medidas e simuladas

Esta seção traz cinco tabelas com as iluminâncias medidas, simuladas e a variação entre elas, uma para cada carteira onde foram realizadas as medições *in loco*.

CARTEIRA 1		Medido (lx)	Simulado (lx)	Variação
08/08	8h	53,82	54,55	1%
	8h30	290,63	251,46	-13%
	9h	290,63	291,75	0%

	9h30	215,28	147,86	-31%
	10h	333,68	334,99	0%
	10h30	139,93	136,07	-3%
	11h	290,63	361,01	24%
	11h30	376,74	364,92	-3%
	12h	409,03	398,34	-3%
	12h30	452,09	391,69	-13%
	13h	409,03	358,59	-12%
	13h30	333,68	333,55	0%
	14h	409,03	485,09	19%
	14h30	290,63	279,46	-4%
	15h	258,34	248,37	-4%
	15h30	215,28	213,36	-1%
	16h	172,22	174,11	1%
	16h30	96,88	118,28	22%
	17h	53,82	42,75	-21%
09/08	8h	172,22	202,42	18%
	8h30	290,63	251,27	-14%
	9h	215,28	282,45	31%
	9h30	258,34	312,12	21%
	10h	215,28	162,58	-24%
	10h30	258,34	173,97	-33%
	11h	258,34	182,25	-29%
	11h30	333,68	364,81	9%
	12h	290,63	363,00	25%
	12h30	172,22	187,27	9%
	13h	258,34	182,25	-29%
	13h30	333,68	333,44	0%
	14h	333,68	310,87	-7%
	14h30	258,34	263,74	2%
	15h	172,22	131,29	-24%
	15h30	172,22	191,75	11%
	16h	139,93	157,26	12%
	16h30	96,88	118,48	22%
	17h	53,82	43,01	-20%
			MÉDIA	-2%

CARTEIRA 3		Medido (lx)	Simulado (lx)	Varição
08/08	8h	53,82	61,29	14%

	8h30	269,10	252,65	-6%
	9h	301,39	297,59	-1%
	9h30	193,75	165,06	-15%
	10h	236,81	181,02	-24%
	10h30	86,11	110,75	29%
	11h	236,81	202,95	-14%
	11h30	269,10	208,55	-23%
	12h	344,45	408,96	19%
	12h30	344,45	406,72	18%
	13h	301,39	398,10	32%
	13h30	236,81	193,72	-18%
	14h	344,45	361,70	5%
	14h30	236,81	165,06	-30%
	15h	236,81	299,12	26%
	15h30	161,46	124,54	-23%
	16h	129,17	100,67	-22%
	16h30	86,11	74,92	-13%
	17h	53,82	47,73	-11%
09/08	8h	129,17	101,04	-22%
	8h30	269,10	252,88	-6%
	9h	269,10	287,19	7%
	9h30	193,75	165,52	-15%
	10h	236,81	181,50	-23%
	10h30	236,81	194,22	-18%
	11h	161,46	169,90	5%
	11h30	301,39	404,98	34%
	12h	269,10	210,95	-22%
	12h30	193,75	209,07	8%
	13h	236,81	203,46	-14%
	13h30	193,75	194,22	0%
	14h	269,10	181,50	-33%
	14h30	161,46	165,52	3%
	15h	129,17	122,39	-5%
	15h30	161,46	124,95	-23%
	16h	129,17	101,04	-22%
	16h30	86,11	75,25	-13%
	17h	53,82	48,02	-11%
			MÉDIA	-6%

CARTEIRA 5		Medido (lx)	Simulado (lx)	Variação
08/08	8h	96,88	90,35	-7%
	8h30	355,21	354,38	0%
	9h	355,21	299,58	-16%
	9h30	236,81	177,57	-25%
	10h	387,50	379,78	-2%
	10h30	161,46	151,52	-6%
	11h	236,81	218,33	-8%
	11h30	279,86	224,35	-20%
	12h	279,86	226,37	-19%
	12h30	355,21	430,77	21%
	13h	312,16	218,33	-30%
	13h30	236,81	208,40	-12%
	14h	387,50	399,22	3%
	14h30	236,81	177,57	-25%
	15h	204,52	157,21	-23%
	15h30	161,46	133,98	-17%
	16h	96,88	96,49	0%
16h30	129,17	80,59	-38%	
17h	53,82	51,34	-5%	
09/08	8h	129,17	108,69	-16%
	8h30	236,81	238,73	1%
	9h	279,86	286,11	2%
	9h30	236,81	178,07	-25%
	10h	236,81	195,26	-18%
	10h30	236,81	208,94	-12%
	11h	161,46	159,00	-2%
	11h30	279,86	224,92	-20%
	12h	204,52	189,34	-7%
	12h30	204,52	224,92	10%
	13h	161,46	166,96	3%
	13h30	161,46	162,91	1%
	14h	236,81	195,26	-18%
	14h30	161,46	148,56	-8%
	15h	161,46	157,67	-2%
	15h30	129,17	134,41	4%
	16h	129,17	108,69	-16%
16h30	96,88	80,95	-16%	
17h	53,82	51,66	-4%	
			MÉDIA	-10%

CARTEIRA 10		Medido (lx)	Simulado (lx)	Variação
08/08	8h	107,64	114,54	6%
	8h30	398,27	454,50	14%
	9h	527,44	524,95	0%
	9h30	269,10	259,60	-4%
	10h	441,32	284,68	-35%
	10h30	269,10	269,53	0%
	11h	398,27	319,17	-20%
	11h30	613,55	689,74	12%
	12h	484,38	330,94	-32%
	12h30	818,06	749,37	-8%
	13h	441,32	319,17	-28%
	13h30	484,38	614,18	27%
	14h	731,95	781,04	7%
	14h30	613,55	677,87	10%
	15h	527,44	589,79	12%
	15h30	398,27	388,62	-2%
	16h	269,10	295,00	10%
16h30	193,75	214,35	11%	
17h	107,64	139,64	30%	
09/08	8h	312,16	372,26	19%
	8h30	312,16	196,50	-37%
	9h	269,10	230,50	-14%
	9h30	269,10	260,32	-3%
	10h	355,21	285,44	-20%
	10h30	355,21	305,44	-14%
	11h	269,10	277,78	3%
	11h30	312,16	328,80	5%
	12h	312,16	331,76	6%
	12h30	226,04	228,03	1%
	13h	312,16	319,98	3%
	13h30	355,21	305,44	-14%
	14h	398,27	285,44	-28%
	14h30	398,27	517,42	30%
	15h	312,16	230,50	-26%
	15h30	269,10	196,50	-27%
	16h	193,75	158,90	-18%
16h30	150,70	118,34	-21%	
17h	107,64	75,52	-30%	
			MÉDIA	-5%

CARTEIRA 12		Medido (lx)	Simulado (lx)	Variação
08/08	8h	161,46	161,16	0%
	8h30	570,49	618,20	8%
	9h	796,54	769,71	-3%
	9h30	279,86	264,80	-5%
	10h	462,85	330,11	-29%
	10h30	236,81	248,70	5%
	11h	462,85	370,10	-20%
	11h30	613,55	783,11	28%
	12h	570,49	383,75	-33%
	12h30	828,83	855,07	3%
	13h	430,56	370,10	-14%
	13h30	462,85	353,27	-24%
	14h	613,55	716,78	17%
	14h30	538,20	662,58	23%
	15h	462,85	593,50	28%
	15h30	312,16	227,13	-27%
	16h	161,46	161,49	0%
16h30	129,17	129,45	0%	
17h	96,88	87,04	-10%	
09/08	8h	236,81	184,26	-22%
	8h30	538,20	481,24	-11%
	9h	236,81	235,12	-1%
	9h30	355,21	301,86	-15%
	10h	312,16	330,99	6%
	10h30	355,21	354,19	0%
	11h	279,86	273,26	-2%
	11h30	279,86	280,80	0%
	12h	236,81	272,08	15%
	12h30	279,86	280,80	0%
	13h	355,21	371,04	4%
	13h30	355,21	354,19	0%
	14h	355,21	330,99	-7%
	14h30	279,86	274,10	-2%
	15h	236,81	235,12	-1%
	15h30	236,81	227,86	-4%
	16h	161,46	162,08	0%
16h30	161,46	137,22	-15%	
17h	53,82	64,49	20%	
			MÉDIA	-2%