

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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**DIFUSA OU ESPECULAR? ESTUDANDO O DESEMPENHO DA
PRATELEIRA DE LUZ SEGUNDO A REFLETÂNCIA DE SUA SUPERFÍCIE**

MAX PAULO GIACHETO MANHAS

MACEIÓ – ALAGOAS

2016.

MAX PAULO GIACHETO MANHAS

**DIFUSA OU ESPECULAR? ESTUDANDO O DESEMPENHO DA
PRATELEIRA DE LUZ SEGUNDO A REFLETÂNCIA DE SUA SUPERFÍCIE**

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 – ALAGOAS
2016.**

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

M277d Manhas, Max Paulo Giacheto.

Difusa ou especular? Estudando o desempenho da prateleira de luz segundo a refletância de sua superfície / Max Paulo Giacheto Manhas. – 2016.
106 f.: il.

Orientador: Ricardo Carvalho Cabús.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2016.

Bibliografia: f. 90-94.

Apêndices: f. 95-106.

1. Prateleira de luz. 2. Iluminação natural - Arquitetura. 3. Troplux – Software. 4. Refletância. I. Título.

CDU: 72:628.972

FOLHA DE APROVAÇÃO

MAX PAULO GIACHETO MANHAS

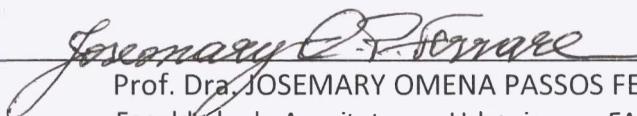
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAU/UFAL, área de concentração em Dinâmicas do Espaço Habitado, como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

APROVADA EM: 28 / 04 /2016

BANCA EXAMINADORA




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



Prof. Dra. JOSEMARY OMENA PASSOS FERRARE
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU UFAL



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



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

Dedico essa dissertação a todos de que alguma forma contribuíram para a conclusão da mesma, e em especial minha esposa e meu orientador pela compreensão necessária.

RESUMO

A luz é um dos mais importantes elementos para apreensão do espaço arquitetônico e pode ser considerado o recurso mais valioso pelo arquiteto, sendo responsável por efeitos biológicos, psicológicos e visual do homem. Pode ainda reduzir o uso de sistemas artificiais de iluminação, contribuindo com a crescente conscientização mundial do esgotamento de recursos naturais do planeta. Entretanto, seu uso na arquitetura deve ser feito a partir de critérios, de modo a otimizar seus benefícios. Nesse sentido, a prateleira de luz pode ser usada como um elemento de controle da iluminação natural que permite reduzir a incidência de radiação solar direta, podendo distribuir mais uniformemente a luz dentro do ambiente. Utilizando o *software* de simulação computacional TropLux, procedeu-se a simulação de uma sala base sem prateleira de luz e com dados climáticos para a cidade de Maceió. A partir daí, foram criadas outras nove salas com prateleira de luz e cada uma delas recebeu uma configuração diferente com refletância de 0,9, 0,7 e 0,5, variando entre difusa, especular e mista. Foram comparados os valores entre a sala padrão e as demais, bem como entre os pontos de mesma profundidade entre as diferentes salas a fim de estabelecer qual configuração permitiu um melhor desempenho luminoso. Como resultados, chegou-se à conclusão que a utilização da prateleira de luz com superfície totalmente difusa, proporcionou uma maior uniformidade na distribuição da iluminação natural no interior do ambiente em comparação à utilização de superfícies especulares ou mistas. As prateleiras de luz com refletância de 0,5 em comparação as demais, foram as que melhor distribuíram e uniformizaram a luz natural.

Palavras-chave: Prateleira de luz. Iluminação natural. Troplux. Refletância.

ABSTRACT

Light is one of the most important elements for seizure of the architectural space and can be considered the most valuable resource by the architect, responsible for biological effects, psychological and human visual system. You can also reduce the use of artificial lighting systems, contributing to the growing global awareness of the depletion of natural resources of the planet. However, its use in architecture should be made based on criteria in order to optimize its benefits. Thus, the light shelf can be used as a daylighting control element, which reduces the direct incidence of sunlight, can more evenly distribute light within the room. Using computer simulation software TropLux proceeded to the simulation of a basic room with no light shelf and weather data for the city of Maceio. From there, nine other rooms were created with light shelf and each received a different reflectance configuration of 0.9, 0.7 and 0.5, ranging from diffuse, specular and mixed. The values were compared between the standard room and the other as well as between the points of the same depth between the different rooms in order to establish which setting has allowed a better light performance. As a result, we arrived at the conclusion that the use of light shelf to fully diffuse surface, provided a greater uniformity in the distribution of natural lighting within the environment in comparison to the use of mixed or specular surfaces. The light shelves with reflectance of 0.5 in comparison to others, showed better uniformity of illuminance.

Keyword: Light shelf. Daylighting. TropLux. Reflectance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fábrica Fagus _____	14
Figura 2 - Bauhaus em Dessau _____	15
Figura 3 - Entrada de luz através de clerestório em templo egípcio _____	19
Figura 4 - Orientação das aberturas a Leste nos templos gregos na Acrópolis de Atenas ____	20
Figura 5 - Domus (casa) romana, mostrando a articulação dos cômodos em torno do átrio e do peristilo _____	21
Figura 6 - Corte do Panteão em Roma, mostrando os grandes vão proporcionados pelo uso da abóboda e a entrada da luz do sol durante todo o dia, iluminando as paredes coloridas _____	22
Figura 7 - Reconstrução da Basílica de Ulpia, no Fórum de Trajano, em Roma _____	23
Figura 8 - Representação em corte da cobertura da Basílica de Santa Sofia _____	24
Figura 9 - Esquema de corte do interior de uma basílica românica _____	25
Figura 10 - Interior da Saint Chapelle, em Paris, com destaque para as estruturas em ogiva que permitem grandes janelas envidraçadas _____	26
Figura 11 - Interior da Biblioteca Laurentiana, de Michelângelo _____	27
Figura 12 - Casa Francis W. Little (Frank Lloyd Wright, 1912-15) _____	30
Figura 13 - Casa da Cascata (Frank Lloyd Wright ,1935) _____	31
Figura 14 - Casa Baker (Frank Lloyd Wright ,1909) _____	32
Figura 15 - Biblioteca de Viipuri (Alvar Allto,1935) _____	33
Figura 16 - Probabilidade de ocorrência de tipo de céu para Maceió _____	35
Figura 17 - Probabilidade de ocorrência de tipo de céu por horário _____	35
Figura 18 – Probabilidade de ocorrência de tipo de céu com distribuição mensal _____	36
Figura 19 – Detalhe da varanda do Edifício Nova Cintra, no Parque Eduardo Guinle (Lúcio Costa, 1948) _____	39
Figura 20 - Brises do Ministério da Educação e Saúde (Lúcio Costa e equipe, 1937) _____	40
Figura 21 - Muxarabi do Grande Hotel de Ouro Preto (Oscar Niemeyer, 1940) _____	41
Figura 22 - Amplo beiral de casa na Vila Serra do Navio (Artur Bratke, 1955-60) _____	42
Figura 23 - Exemplo de prateleiras de luz _____	44
Figura 24 - Vista externa do HSBC com detalhe para a prateleira de luz _____	46
Figura 25 - Biblioteca pública de Mount Airy _____	46
Figura 26 - Vista interna biblioteca pública de Mount Airy com detalhe para a prateleira de luz _____	47
Figura 27 – Aplicação da prateleira de luz em sala de aula _____	48

Figura 28 - Sala referência, sem prateleira de luz _____	61
Figura 29 - Sala com prateleira de luz _____	62
Figura 30 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 01 _____	67
Figura 31 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 02 _____	69
Figura 32 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 03 _____	70
Figura 33 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 04 _____	71
Figura 34 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 05 _____	72
Figura 35 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 06 _____	73
Figura 36 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 07 _____	74
Figura 37 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 08 _____	75
Figura 38 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 09 _____	76
Figura 39 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 10 _____	77
Figura 40 - Gráfico de iluminâncias para prateleira de luz com superfície especular _____	78
Figura 41 - Gráfico de iluminâncias para prateleira de luz com superfície mista _____	81
Figura 42 - Gráfico de iluminâncias para prateleira de luz com superfície difusa _____	82
Figura 43 - Gráfico de iluminâncias para prateleira de luz com refletância de 0,9 _____	83
Figura 44 - Gráfico de iluminâncias para prateleira de luz com refletancia de 0,7 _____	84
Figura 45 - Gráfico de iluminâncias para prateleira de luz com refletância de 0,5 _____	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos de céu padrão CIE _____	34
Tabela 2 - Distribuição horária de modelo de céu _____	37
Tabela 3 - Distribuição mensal por modelo de céu _____	37
Tabela 4 – Refletâncias utilizadas nas prateleiras de luz _____	62
Tabela 5 - Refletâncias adotadas para as superfícies _____	63
Tabela 6 - Distribuição dos pontos _____	64
Tabela 7 - Valores de iluminância média anual para sala 01 _____	66
Tabela 8 - Valores de iluminância média anual para sala 02 _____	68
Tabela 9 - Valores de iluminância média anual para sala 03 _____	69
Tabela 10 - Valores de iluminância média anual para sala 04 _____	70
Tabela 11 - Valores de iluminância média anual para sala 05 _____	72
Tabela 12 - Valores de iluminância média anual para sala 06 _____	73
Tabela 13 - Valores de iluminância média anual para sala 07 _____	74
Tabela 14 - Valores de iluminância média anual para sala 08 _____	75
Tabela 15 - Valores de iluminância média anual para sala 09 _____	76
Tabela 16 - Valores de iluminância média anual para sala 10 _____	77
Tabela 17 - Iluminância média nas salas com uso de prateleira de luz com refletância especular _____	79
Tabela 18 - Iluminância média nas salas com uso de prateleira de luz com refletância mista _____	80
Tabela 19 - Iluminância média nas salas com uso de prateleira de luz com refletância difusa _____	81
Tabela 20 - Iluminância média nas salas com uso de prateleira de luz com refletância de 0,9 _____	83
Tabela 21 - Iluminância média nas salas com uso de prateleira de luz com refletância de 0,7 _____	85
Tabela 22 – Iluminância média nas salas com uso de prateleira de luz com refletância de 0,5 _____	86
Tabela 23 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de janeiro _____	95
Tabela 24 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de fevereiro _____	96
Tabela 25 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de março _____	97
Tabela 26 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de abril _____	98
Tabela 27 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de maio _____	99

Tabela 28 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de junho _____	100
Tabela 29 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de julho _____	101
Tabela 30 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de agosto _____	102
Tabela 31 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de setembro _____	103
Tabela 32 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de outubro _____	104
Tabela 33 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de novembro _____	105
Tabela 34 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de dezembro _____	106

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
1.1	OBJETIVOS	10
1.2	JUSTIFICATIVA	11
1.3	ESTRUTURA	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1	ILUMINAÇÃO NATURAL	13
2.1.1	Histórico: a luz na arquitetura	18
2.1.2	Probabilidade de tipos de céu	33
2.2	ELEMENTOS DE CONTROLE.....	38
2.3	MÉTODOS DE ANÁLISE DE DESEMPENHO.....	49
2.3.1	Ferramentas simplificadas.....	50
2.3.2	Modelos em escala	50
2.3.3	Modelos computacionais.....	51
2.4	INDICADORES DE DESEMPENHO	52
2.4.1	Fator de luz do dia	52
2.4.2	Coeficiente de luz natural.....	53
2.4.3	Iluminância útil de luz natural	54
2.4.4	Autonomia de luz natural	56
2.4.5	Uniformidade.....	58
3	METODOLOGIA	60
3.1	SOFTWARE ADOTADO	60
3.2	CARACTERÍSTICAS E GEOMETRIA DO ESPAÇO DE ESTUDO	61
4	RESULTADOS E ANÁLISE	66
5	CONCLUSÕES	87
	REFERÊNCIAS.....	90
	APÊNDICE A – PROBABILIDADE DE CÉU PARA MACEIÓ	95

1 INTRODUÇÃO

A luz é um dos mais importantes elementos para a apreensão do espaço arquitetônico. Através da visão, a luz em geral e mais particularmente a iluminação natural agem sobre os seres humanos e nos permitem apreciar a forma, a textura, a cor, a amplitude, bem como intensificar percepções por meio do seu uso correto. Por sua vez, a arquitetura é capaz de captar, refletir, diluir ou emitir a luz. Sendo assim, a luz revela a arquitetura e é por ela revelada e portanto, é natural que a iluminação tenha sempre estado presente na arquitetura durante todos momentos da sua história (BAKER; STEEMERS, 2002). Costa (2013) afirma que a luz pode ser considerada o recurso mais “rico e luxuoso” utilizado pelos arquitetos, pois é responsável por efeitos biológicos, psicológicos e no sistema visual do homem que nela habita. Para Barnabé (2008), a luz pode:

revelar ou desmaterializar formas, espaços e superfícies; relacionar a obra com seu contexto físico-cultural, seu clima e sua orientação; promover a percepção do tempo com dinâmicos efeitos cinéticos; condicionar a escolha de uma pele, de uma matéria (...); conectar ou separar o interior do exterior (...); unir, diferenciar, conectar ambientes; dirigir e orientar, estabelecendo pontos focais, hierarquias e movimentos dinâmicos; enfatizar, no espaço, um sentido de verticalidade ou horizontalidade; com a sombra, modificar as proporções óticas do conjunto edificado e seus detalhes (...) marcar acessos, articular superfícies e projetar rendilhados; criar atmosferas (...); e promover associações, podendo expressar sentimentos (Barnabé, 2008, p. 80-81).

Segundo Mascaró (2005), a relação entre a iluminação e a arquitetura é integrada e capaz de produzir signos emblemáticos dos valores que estruturam uma realidade, refletem o espírito de um período. Na Idade Média, por exemplo, não se projetava a iluminação dos espaços para atender as necessidades humanas e nem mesmo para uso doméstico. Para os parâmetros atuais, pode-se considerar a casa medieval até mesmo fria e mal iluminada. Entretanto, em uma dimensão não mensurável, ao se pensar a catedral, havia o conforto ambiental na configuração do espaço, na medida em que o conforto medieval era o próprio espaço criado do qual a luz faz parte fundamental, era o que atribuía sentido àquele momento histórico.

Desde o advento da lâmpada elétrica no final do século 19, muitas questões que anteriormente eram pensadas de forma racional passaram a utilizar a tecnologia como

resposta. Por exemplo, na falta de luz natural a luz artificial passou a ser utilizada, assim como a ventilação mecânica passou a ser uma alternativa à falta de ventilação natural, entre outras facilidades para a vida e aumento da produtividade que a tecnologia possibilitou. Banham apud Mascaró (2005) explica que o fornecimento regular de energia pública em 1882 constituiu-se da “maior revolução ambiental da história humana desde a domesticação do fogo”. Costa (2013) explica que com a luz artificial, o homem pôde “prolongar o dia”, alterando seus ritmos, representando um dos maiores passos para o domínio das forças da natureza. Assim, na cidade industrial do século 19, a arte (arquitetura) e a tecnologia (engenharia) se uniram para rejeitar o escuro, o abarrotado e sufocante.

Entretanto, com a evolução da tecnologia, a iluminação separou-se completamente do sentido da arquitetura. As caixas de vidro modernas, por exemplo, leves e de fácil deterioração, implicavam gastos de energia devido “às perdas e ganhos térmicos próprios de sua capacidade térmica, assim como perda de iluminação artificial durante a noite” (Mascaró, 2005). Neste caso, não eram incorporadas à arquitetura os aspectos sociais, humanos ou estéticos, mas tão somente resultados de soluções engenhosas próprias do pós-guerra. O ar condicionado e a iluminação artificial, ao permitirem o controle de praticamente todas as variações climáticas, acabaram com os compromissos ambientais dos projetos.

Claro que isso não vale para todos os projetos do século 20, mas a maciça maioria que passou a ter a questão econômica como fator compositivo preponderante com origens externas às edificações, tendo como resultado uma homogeneização dos edifícios, ainda que a tecnologia permitisse uma grande variedade de formas.

Esse cenário perdurou até praticamente a crise do petróleo. A partir daí, emergiram questões relacionadas ao aumento crescente da demanda por energia elétrica, aquecimento global, exploração infinita e esgotamento de recursos naturais, queima de combustíveis fósseis como fontes geradoras de energia, emissão de gases na atmosfera que provocam o efeito estufa, para citar apenas alguns efeitos negativos de tantos avanços. Atualmente, com a crescente conscientização mundial em relação ao esgotamento dos recursos naturais e ameaça da vida no planeta, pode-se observar o engajamento de cientistas, profissionais, técnicos e pessoas que objetivam criar e colocar em prática ações para tornar os processos e

usos em geral mais eficientes energeticamente de forma a se chegar a formas de vida e de produção mais sustentáveis.

Edificações eficientemente projetadas nos aspectos de iluminação, ventilação, aquecimento ou refrigeração natural consomem menos energia. Sendo assim, é de fundamental importância que profissionais de arquitetura e engenharia façam uso de soluções projetuais que utilizem recursos naturais para ventilação e iluminação das edificações sempre que possível.

Dentro de estudos sobre iluminação natural, a “prateleira de luz” (*light shelf*) vem sendo utilizada como um recurso arquitetônico que pode promover a distribuição mais uniforme da luz natural dentro do ambiente, contribuindo para a racionalização da energia elétrica. Esta dissertação fará um estudo sobre a eficiência deste dispositivo, visando contribuir para a difusão e conscientização acerca da necessidade de ampliar os estudos sobre eficiência energética na arquitetura.

1.1 OBJETIVOS

Considerando a prateleira de luz como um elemento de controle da iluminação natural, que permite reduzir a incidência direta de luz solar, podendo distribuir mais uniformemente a luz dentro do ambiente, este estudo tem como objetivo geral analisar o desempenho da prateleira de luz a partir da característica do material de sua superfície.

A fim de se atingir o objetivo geral, os objetivos específicos do trabalho são:

- Analisar a interferência do fator de reflexão da superfície da prateleira de luz na distribuição de iluminâncias;
- Estudar a interferência da refletância difusa, especular e mista da superfície da prateleira de luz na distribuição de iluminâncias;
- Verificar o comportamento da luz natural em um modelo de referência e os demais modelos propostos;

- Identificar dentre os modelos estudados qual apresenta uma melhor uniformidade de iluminação no ambiente.

1.2 JUSTIFICATIVA

A pesquisa apresentada está inserida na Linha 2 do Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado (do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo), intitulado “Concepção, construção e adequação do espaço habitado”, a qual, segundo o DEHA, “compreende o estudo dos vários processos de produção do espaço construído assim como dos arcabouços conceituais, formais e tecnológicos que dão suporte ao desenvolvimento de projetos de conformação de espaços arquitetônicos, paisagísticos e urbanísticos destinados às atividades humanas”. Dentro deste contexto, insere-se o estudo da prateleira de luz como um dispositivo arquitetônico que contribui para uma mais adequada distribuição da luz nos ambientes e consequente racionalização do uso de energia com iluminação artificial.

Desde a crise do petróleo da década de 1970, que acarretou outras crises nacionais posteriores, e uma preocupação crescente com a degradação ambiental, os estudos voltados para a otimização dos projetos arquitetônicos visando economia de energia e utilização das fontes de energia renováveis vem ganhando cada vez mais importância, interesse e destaque. Diante de um panorama de escassez e carestia dos recursos, passou-se então a ser dada maior atenção a modelos de edifícios bioclimáticos, com maior eficiência energética (LAMBERTS; DULTRA; PEREIRA, 2014).

É consenso entre pesquisadores da área que o Brasil tem condições de céu favoráveis para o uso da iluminação natural, mas, mesmo com esse potencial, os arquitetos acabam por não tirar partido de todas as possibilidades para esse aproveitamento, seja por questões comerciais, seja por desconhecimento das variáveis arquitetônicas que influenciam no desempenho da luz natural nas construções. Dessa forma, a presente dissertação vem a somar-se aos estudos que contribuam para divulgação dos benefícios do uso da luz natural nas edificações para que o país avance mais na direção da sustentabilidade.

1.3 ESTRUTURA

Esta dissertação foi estruturada em cinco capítulos, sendo o primeiro deles introdutório, mostrando o tema proposto e sua justificativa, os objetivos visados e a divisão dos capítulos e subcapítulos que compõem o texto todo.

O segundo capítulo trata da revisão de literatura, apresentando uma síntese bibliográfica pertinente à compreensão do tema que subsidiou a elaboração do trabalho. No início abordando questões da luz natural, seu histórico na arquitetura e as probabilidades da ocorrência de tipo de céu. Em seguida, apresenta os elementos arquitetônicos utilizados para controle da luz natural, explorando mais especificamente o tema prateleiras de luz. Por fim, são apresentados os métodos de análise de desempenho luminoso (manual, físico e computacionais) e as métricas (métodos de mensuração).

O terceiro capítulo explicita a metodologia empregada no trabalho para se atingir os objetivos, incluindo a opção pela escolha do *software* (Troplux) e as características e geometria do espaço de estudo.

O quarto capítulo apresenta os resultados e as análises, discutindo a distribuição de iluminâncias encontradas pelas simulações.

Por fim, no quinto capítulo, são apresentadas as conclusões gerais sobre os resultados obtidos com o trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O Capítulo 2 apresenta uma síntese da literatura consultada para se entender o assunto, subsidiando o método apresentado no próximo capítulo. Inicialmente, será tratada a iluminação natural e seus impactos na saúde e no bem-estar, seu emprego na arquitetura dos espaços, seguindo para os elementos de controle da luz natural, os métodos de análise de desempenho da luz natural e suas métricas.

2.1 ILUMINAÇÃO NATURAL

É a luz que produz a sensação de espaço. O espaço é aniquilado pela obscuridade. A luz e o espaço são inseparáveis. Se a luz é suprimida, o conteúdo emocional do espaço desaparece, tornando-se impossível de perceber... a essência do espaço se faz na interação dos elementos que o limitam (GIEDION, 1986 apud Barnabé, 2008, p. 66).

A luz natural sempre foi símbolo de pureza, limpeza, conhecimento e associada ao paraíso - sobretudo em se tratando de arquitetura religiosa. De uma forma geral, em climas onde a luz natural é abundante, os arquitetos têm feito uso de aberturas menores ou então o uso de meios de difusão nas aberturas como grades, vidros translúcidos ou coloridos. A arquitetura do passado tinha uma tendência a somente admitir a luz onde se achava necessário e por isso, as aberturas de janelas e telhados receberam grande destaque dentro da estrutura da edificação.

Ao princípio as paredes eram grossas. Protegiam o homem. Então o homem sentiu desejo de liberdade e do prometedor mundo lá fora. Primeiro fez uma abertura tosca. Então explicou à infeliz parede que ao aceitar a abertura, a parede devia seguir uma ordem maior de arcos e pilares, com elementos novos e de valor (...). No entanto, os arquitetos de hoje em dia, quando pensam em edifícios esquecem a sua fé na luz natural. Contando com a pressão de um dedo sobre um interruptor, basta-lhes a luz estática, e esquecem-se das qualidades infinitamente cambiantes da luz natural, com a qual um edifício é um edifício diferente a cada segundo do dia (KAHN apud Costa 2013, p. 9).

Ainda que pesem todas as vantagens e possibilidades da iluminação artificial, o uso da luz natural tem uma relação importante com o uso da energia: um projeto luminotécnico que integra luz natural ao sistema de iluminação artificial possibilita que parte do sistema artificial seja desligado ou reduzido, impactando diretamente na diminuição do consumo de energia.

Além disso, a iluminação natural nos ambientes internos promove melhores condições de saúde aos usuários, além de bem-estar psicológico. Em 1977, Willian Lam definiu o contato visual com o exterior como uma necessidade biológica visual (Martau, 2009). Entretanto, Peter Behrens (1868-1940), arquiteto alemão que foi responsável por praticamente uma revolução na arquitetura industrial no início do século 20, já vinha começando a utilizar mais iluminação natural nas fábricas, atento ao impacto direto no rendimento dos operários. Seguindo a “escola da fábrica alemã”, Walter Gropius projetou com Adolf Meyer a Fábrica Fagus (1910-1914) (Figura 1), que foi um marco para a arquitetura moderna tanto no uso dos vidros, como no material aparente, assimetria, cantos “sem apoios” e ausência de ornamentos.

Figura 1 - Fábrica Fagus



Fonte: Site do Arquiteto Carlos Baron¹.

Em 1925, também se valeu dos benefícios da iluminação natural ao projetar o mais famoso prédio da escola Bauhaus em Dessau (Figura 2). Nesta edificação, pioneira na

¹ Disponível em: <http://www.carlosbaron.com/bio_arx/gropius.html> Acesso em set. 2015.

funcionalização da arquitetura, o bloco dos ateliês constituía-se de uma grande caixa de vidro com amplo pé direito, possibilitando, segundo Gropius, uma vista agradável da rua, além de iluminação o ano todo. O uso do vidro na edificação conferia ainda a inovadora possibilidade de contato visual intenso entre estudantes e professores, nunca visto entre as edificações escolares do início do século. Entretanto, sabe-se que já na época de sua construção, os alunos reclamavam do calor em certas épocas do ano e da excessiva exposição e falta de privacidade que o vidro causava, críticas que podem ser vistas no documentário da BBC de Londres “The Dessau Bauhaus”.

Figura 2 - Bauhaus em Dessau



Fonte: Wikimedia Commons.²

No início do século 21, com a intensificação de discussões sobre conservação e racionalização do uso da energia elétrica, o uso da iluminação natural passou a ganhar mais importância no projeto arquitetônico, já que ela promove bem-estar, qualidade ambiental e atua diretamente na saúde dos usuários, pois exerce influência direta no ciclo biológico das pessoas (CINTRA, 2011).

Martau (2009) explica que o conhecimento sobre as relações entre iluminação, homem e arquitetura pode ser abordado de várias formas, entre elas em relação ao desempenho

² Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/06/Bauhaus_Dessau,Gropiusallee.jpg> Acesso em ago. 2015.

humano. Nesse sentido, a autora segue três critérios de análise: através do sistema visual, do perceptivo e do circadiano. Os dois primeiros demonstram como iluminar para obter conforto visual e estimular a percepção. O terceiro sistema trata dos estudos entre a iluminação e o ciclo circadiano, também chamado de “ritmo biológico”, que são os ritmos diários de 24 horas associados à iluminação que regulam atividades corporais tais como: ritmo de atividade e repouso, ritmo social, ritmo de temperatura corporal, ritmos hormonais (melatonina e cortisol) entre outros que podem ser medidos.

A autora conta que em 2002, David Berson fez uma descoberta que revolucionou as pesquisas que exploravam o espectro, a intensidade, a duração e o tipo de luz que influencia as respostas biológicas: ele detectou a relação da luz com um terceiro tipo de fotorreceptor na retina dos mamíferos, possibilitando a descrição do mecanismo dos efeitos biológicos controlados pelo ciclo claro e escuro. O sistema circadiano baseia-se nos sinais enviados por esse receptor. Consequentemente, “a atual prática da iluminação e a legislação sobre iluminação artificial, baseadas apenas em atender apenas aos requisitos visuais, podem estar totalmente inadequadas para atender aos requisitos de estimulação biológica”. E ainda completa afirmando que “pesquisas (...) demonstram a influência da luz no comportamento e nas respostas fisiológicas das pessoas, e são baseadas principalmente na iluminância na retina e não mais em medições da iluminação no ambiente” (MARTAU, 2009, p.63).

Considerando que os impactos da exposição à luz para a saúde humana (tanto negativos quanto positivos) podem ficar evidentes logo após sua exposição ou depois de muitos anos, a autora afirma que em decorrência das modificações dos hábitos humanos de trabalho e descanso e do uso prolongado da iluminação artificial (que possibilitam o aumento do período do dia ou a permanência em espaços com baixos níveis de iluminação), os indivíduos estão sofrendo alterações na sua saúde.

As condições de iluminação determinantes na regulação do relógio biológico estão associadas ao espectro, intensidade e duração (período e padrão temporal) da luz. Diversos estudos abordam a influência do espectro da luz no sistema circadiano para que os novos tratamentos, além de medicamentos, possam incluir a prescrição de modificações no ambiente luminoso pessoal. Quanto à intensidade, a luz mais intensa pode influenciar a psicofisiologia instantaneamente ao induzir o sistema endócrino, provocar outras mudanças

fisiológicas e modificar variáveis psicológicas. A chamada “Síndrome da iluminação doente” refere-se aos efeitos como cansaço, distúrbios do humor e falta de concentração causados por ambientes de trabalho mal iluminados.

Outros aspectos que segundo Martau (2009) também podem influenciar os aspectos fisiológicos e até comportamentais são:

- A aparência de cor, possibilidade de controle do sistema e a presença ou não de janelas (iluminação natural), bem como os tipos de lâmpadas;
- Distribuição espacial da iluminação: diferentes iluminâncias podem suprimir a melatonina em quantidades variadas. Uma variação nas respostas da luz intensa pode estar associada ao período do dia: exposição à luz intensa à noite, mas não ao longo do dia, aumenta a capacidade cardíaca e a temperatura corporal.
- Variabilidade da intensidade da iluminação ao longo do dia, assim como contraste entre as partes mais claras e escuras do dia.

Martau (2009) cita ainda outros aspectos relacionando a luz natural com a saúde: em relação à qualidade, comparando-se a luz natural e a artificial, apenas a luz natural produz no organismo hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) e esteroides, e, pela pele, elementos que neutralizam essas substâncias e equilibram o corpo (como a vitamina D). A lâmpada incandescente é a única que não apresenta maiores interferências no sistema circadiano. Entretanto, sabe-se que as lâmpadas fluorescentes compactas ou LED branco são mais eficientes energeticamente, embora os efeitos a longo prazo na saúde das pessoas ainda sejam desconhecidos. Por isso, a lâmpada incandescente pode acabar restrita a prescrições médicas, por sua qualidade terapêutica. A temperatura de cor correlata (ou aparência da cor) das diferentes fontes de luz também afeta a estimulação circadiana e a supressão da melatonina em seres humanos.

Por fim, a autora aborda a importância do contato visual com o exterior como uma necessidade fisiológica de informação visual. Para Martau (2009), para se obter um sistema de iluminação saudável, a luz natural é um importante fator para saúde e bem-estar (incluindo até mesmo satisfação com a vida) pois “a falta de conexão entre a dinâmica do ciclo diário de claro e escuro e as modificações de temperatura e estações do ano ao mundo natural é

contrário à experiência normal do ser humano”. Dessa forma, ao ser privado do contato visual com o exterior, o ser humano estaria em desconforto. Em um estudo realizado pela arquiteta e pesquisadora em 2009, ela demonstrou que funcionárias de um shopping center privadas de contato visual com exterior tinham maiores índices de estresse, depressão e ansiedade que trabalhadoras de lojas de rua.

2.1.1 Histórico: a luz na arquitetura

A preocupação com a luz na arquitetura já era manifestada e cuidadosamente projetada nos templos da Antiguidade e a forma como os arquitetos manipulavam o emprego da luz refletia as características das diferentes culturas.

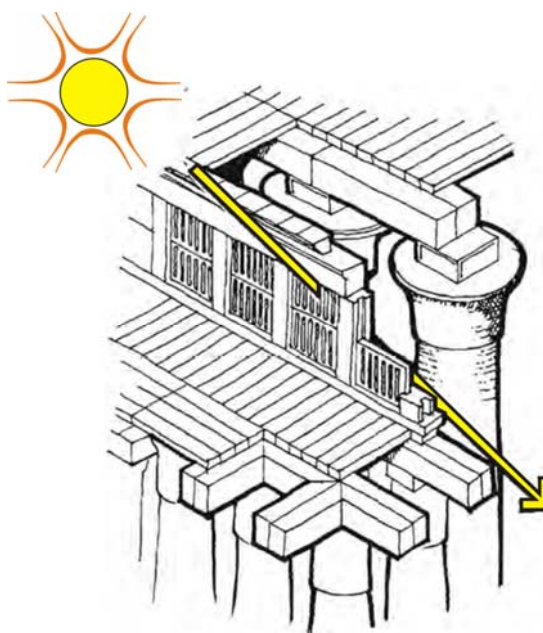
...a luz foi precisa na Grécia; destilada ao passar do exterior ao interior em Roma; litúrgica através dos vitrais góticos; humanizada no renascimento; sublime no barroco; fluida nas caixas de vidro da arquitetura contemporânea (Angelucci, 2012, p. 2-3).

Costa (2013, p. 9) explica que o melhor uso da luz tinha o objetivo de enaltecer determinada obra de arte, processo “impulsionado pelas crenças religiosas, que associavam à luz um forte simbolismo de veneração e exaltação dos Deuses”. Sendo assim, na arquitetura, a luz passou a sempre representar “divindades, seres superiores e intocáveis, o poder e as suas organizações, a democracia, a transparência, a honra e a verdade, o avanço tecnológico, a proximidade e o respeito pela natureza” (COSTA, 2013, p. 9).

No início das construções feitas pelo homem quando as primeiras civilizações surgiram na Pré-História, a predileção era pela obscuridade, e não pela claridade. A arquitetura maciça de pedra e barro tinha como intenção proteger o interior das intempéries climáticas e dos ataques, de forma que as pequenas aberturas nas paredes eram apenas condicionantes construtivas. Até mesmo na Antiguidade, grandes aberturas não eram nem mesmo possíveis de serem feitas em grossas paredes e ainda significavam grandes perdas de energia. Foi somente a partir dos monumentos megalíticos que datam 5000 a.C. a luz passou a exprimir valores religiosos e culturais.

Segundo Moore (1991) no Egito antigo, a presença do sol brilhante e ofuscante, iluminando as superfícies exteriores vazias de vegetação, minimizou o tamanho das aberturas das paredes e telhados. O tipo de estrutura utilizado nas construções dos templos e monumentos, fazendo uso da pedra como material de construção também foi fator limitante ao tamanho destas aberturas. As paredes espessas serviam para suavizar a difundir a luz solar por reflexão, bem como servir de massa térmica reduzindo as oscilações térmicas diárias características dos climas desérticos. Para se iluminar o interior dos templos, a luz era conduzida através de clerestórios equipados com grandes pedras esculpidas como forma de suavizar a luz (Figura 3). Em outros, a luz penetrava através de fendas no telhado e de pequenas janelas, bem como através das portas de entrada (MOORE, 1991, p.3).

Figura 3 - Entrada de luz através de clerestório em templo egípcio



Fonte: Adaptado de Moore (1991).

Tuan (1980, p. 101) associa a arquitetura monumental do Egito às crenças cósmicas. Os volumes puros com base quadrada das pirâmides orientadas para os quatro pontos cardeais e os triângulos direcionados para o céu, por exemplo, eram associados à chama ascendente, símbolo da fertilidade masculina, no caso, em veneração ao deus do Sol (Rá).

A porta de entrada, orientada a nascente, é uma metáfora de “porta para céu”, a sala principal era normalmente iluminada por uma claraboia central e era geralmente utilizada como sala de conferências e, à medida que se vai percorrendo pelo edifício, os espaços iam adquirindo dimensões cada vez mais reduzidas, sendo o término do percurso num compartimento fechado

do santuário. À medida que se ia avançando, as divisões iam obscurecendo, até à penumbra, obtendo a luz um carácter essencialmente simbólico (Costa, 2013, p. 11).

Na Grécia antiga, a luz passou a ser utilizada como definidora da forma e por isso os edifícios eram projetados de forma a enfatizar o efeito da luz, da sombra e da cor (COSTA, 2013). Moore (1991) explica que os templos gregos eram comumente orientados a leste (Figura 4), para que a luz proveniente do nascer do sol entrasse pela porta e iluminasse a estátua que se encontrava internamente. As portas eram as únicas aberturas que permitiam a entrada de luz ao interior e por serem aberturas relativamente pequenas, a iluminação era caracterizada por estreitos faixos de luz solar direta, quando sob condições de sol com baixa inclinação (sol da manhã), somada a luz do céu difuso e a reflexão da luz no solo durante o dia.

Figura 4 - Orientação das aberturas a Leste nos templos gregos na Acrópolis de Atenas



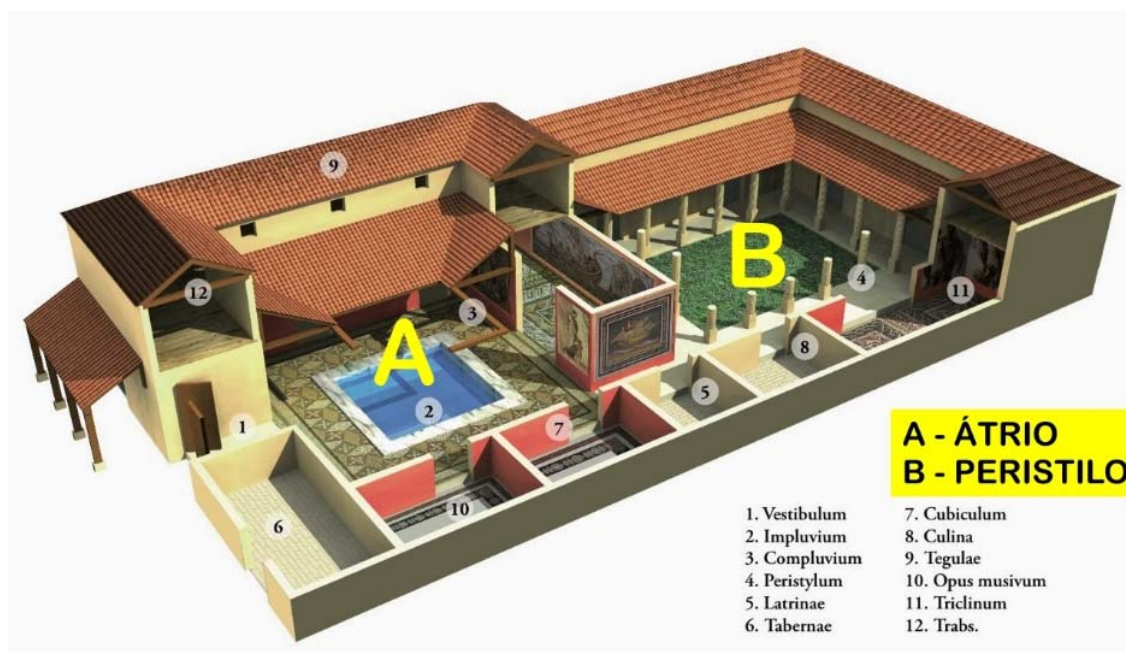
Fonte: Adaptado de imagem do Google Earth, 2010.

Moore (1991) afirma que os templos, principais monumentos construídos com vigas e colunas de pedra e telhados de madeira, eram “edifícios objetos”, construídos para serem observadas do exterior e não como habitação, pois eram concebidos como morada impenetrável dos deuses (e a raros privilegiados que tinham acesso). Os vãos eram limitados e necessitavam do uso extensivo de colunas tanto no interior como no exterior e criavam

colunatas e pórticos, que serviam de proteção ao sol quente do verão e as súbitas chuvas de inverno. A decoração externa de pedra esculpida era ainda adornada por folhas de ouro e cores, pois serviam ainda de pano de fundo para as cerimônias religiosas, que via de regra, eram realizadas do lado de fora, conforme explica Janson (1996).

Diferentemente dos gregos, que utilizaram a luz para enaltecer lugares que não eram concebidos para serem penetrados, contrastando o brilho do sol no exterior e a escuridão mística do interior, os romanos utilizaram a luz para enaltecer a plasticidade da arquitetura, integrando-as, de forma que o espaço interior se tornava de grande qualidade devido ao engenhoso manuseio da luz, tanto nos palácios quanto nas casas. Assim, conforme afirma Costa (2013), na casa romana (domus) (Figura 5) todas as áreas eram organizadas em torno do átrio e do peristilo, “que forneciam luz e calor ao interior do edifício, tornando-se o coração do edifício e assumindo um papel fundamental de comunicação entre o interior e o exterior”.

Figura 5 - Domus (casa) romana, mostrando a articulação dos cômodos em torno do átrio e do peristilo



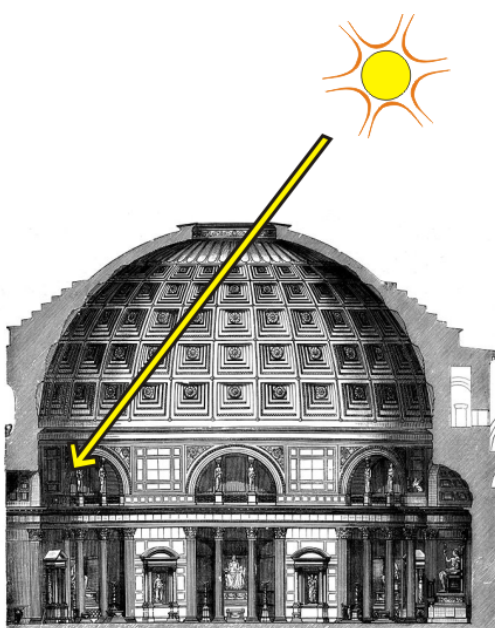
Fonte: Seguindo os Passos da História.³

³ Disponível em: <<http://seguindopassoshistoria.blogspot.com.br/2014/01/os-banhos-publicos-na-roma-antiga.html>> Acesso em ago. 2015.

Moore (1991) explica que os Romanos foram responsáveis por um grande número de inovações arquitetônicas que permitiram um crescimento substancial no uso da luz solar e do aquecimento solar passivo. O desenvolvimento do arco curvo, da abóboda de berço e da cúpula, permitiram que materiais como a alvenaria fossem usados para a criação de grandes vãos. Além de permitir espaços internos mais livres de colunas, criaram a possibilidade de aberturas maiores nas paredes, que em contraste com os gregos, permitiam grandes planos de entrada de luz. Os materiais para a criação de vidraças também apareceram pela primeira vez sob a forma de pequenos painéis de vidro e finas folhas transparentes de mica.

Nos edifícios públicos, a luz natural constituía uma forte referência simbólica, “caracterizados por uma massa construída que encerra um interior estático, materializa o fio de luz que se movimenta ao longo dos dias” (COSTA, 2013, p. 13). O Panteão de Roma (118-128 d.C.) é um o exemplo mais significativo da tecnologia construtiva romana (Figura 6). Construído a partir de uma combinação de arcos que possibilitou uma imensa cúpula, que possui um óculo central pelo qual a luz natural entra na medida em que o sol vai rodando ao longo do dia. “Os raios de luz pintam paredes e andares de uma maneira espetacular, revelando o detalhe e a cor das superfícies internas do edifício e criando um espaço que é totalmente coberto e habitado por luz” (COSTA, 2013, p. 13).

Figura 6 - Corte do Panteão em Roma, mostrando os grandes vão proporcionados pelo uso da abóboda e a entrada da luz do sol durante todo o dia, iluminando as paredes coloridas



Fonte: Adaptado de Moore (1991).

As basílicas eram os principais edifícios dos romanos e era neles onde ocorriam as trocas comerciais e também serviam como sala de justiça. Em geral esses edifícios apresentavam uma planta retilínea alongada no eixo Leste-Oeste, permitindo uma maior exposição na elevação Sul. A nave central tinha o teto mais elevado se comparado com as naves laterais que o acompanhavam e a estrutura destas naves eram compostas por abóbodas de concreto no sentido Norte-Sul e cobertas por planos de telhado. A junção destas naves laterais com teto plano com a nave central mais alta permitiam o uso de grandes clerestórios, que proporcionavam uma iluminação no imenso interior que podia ter mais de 60 metros em sua menor dimensão, como pode ser visto na Figura 7 (MOORE, 1991).

Figura 7 - Reconstrução da Basílica de Ulpia, no Fórum de Trajano, em Roma



Fonte: Site Rubicon Superforo.⁴

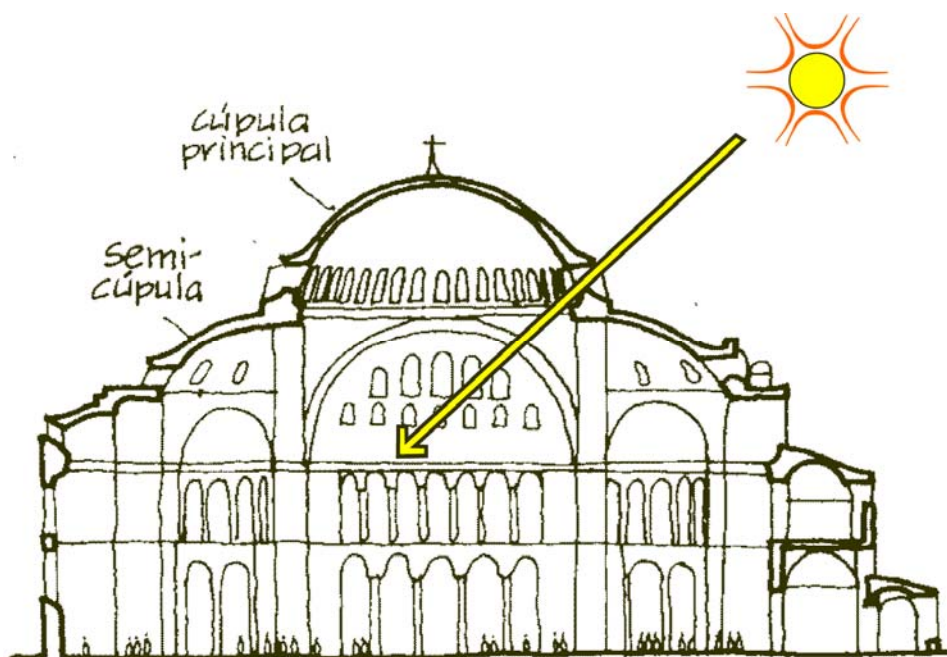
Com o declínio do império, as basílicas passaram de locais de comércio para locais religiosos e para isso sofreram algumas transformações. As abóbodas de concreto foram substituídas por treliças de madeira, resultando em telhados inclinados nas naves laterais. Com isso houve uma redução nas áreas disponíveis para aberturas nas paredes, tanto os clerestórios como as janelas das naves tornaram-se menores e mais numerosas. A iluminação interior foi reduzida, servindo de reforço a natureza mística inerente a nova função religiosa.

⁴ Disponível em < <http://rubicon.superforo.net/t145-los-foros-imperiales>> Acesso em ago. 2015.

Serviu também como reforço a perspectiva que convergia ao altar. A abside juntamente com o altar com forma tipicamente circular era rodeada por janelas, dando uma maior ênfase visual a esta área (MOORE, 1991).

Em se tratando do mundo oriental, na Idade Média, uma das características mais marcantes da arquitetura Bizantina foi o uso da cúpula suportada por quatro pontos (Figura 8), como forma de cobrir uma área retangular. Isso possibilitou a criação de ambientes compostos por uma grande cobertura com cúpula centralizada, cercada por outros espaços secundários formados por semi-cúpulas. A existência de inúmeras janelas na base da cúpula permitia a entrada da luz e ainda criava a ilusão de cúpula estar flutuando sobre sua base de apoio. Este tipo de estrutura criou um contraste em relação ao período Romano, onde suas coberturas formavam planos longos e estreitos (MOORE, 1991).

Figura 8 - Representação em corte da cobertura da Basílica de Santa Sofia

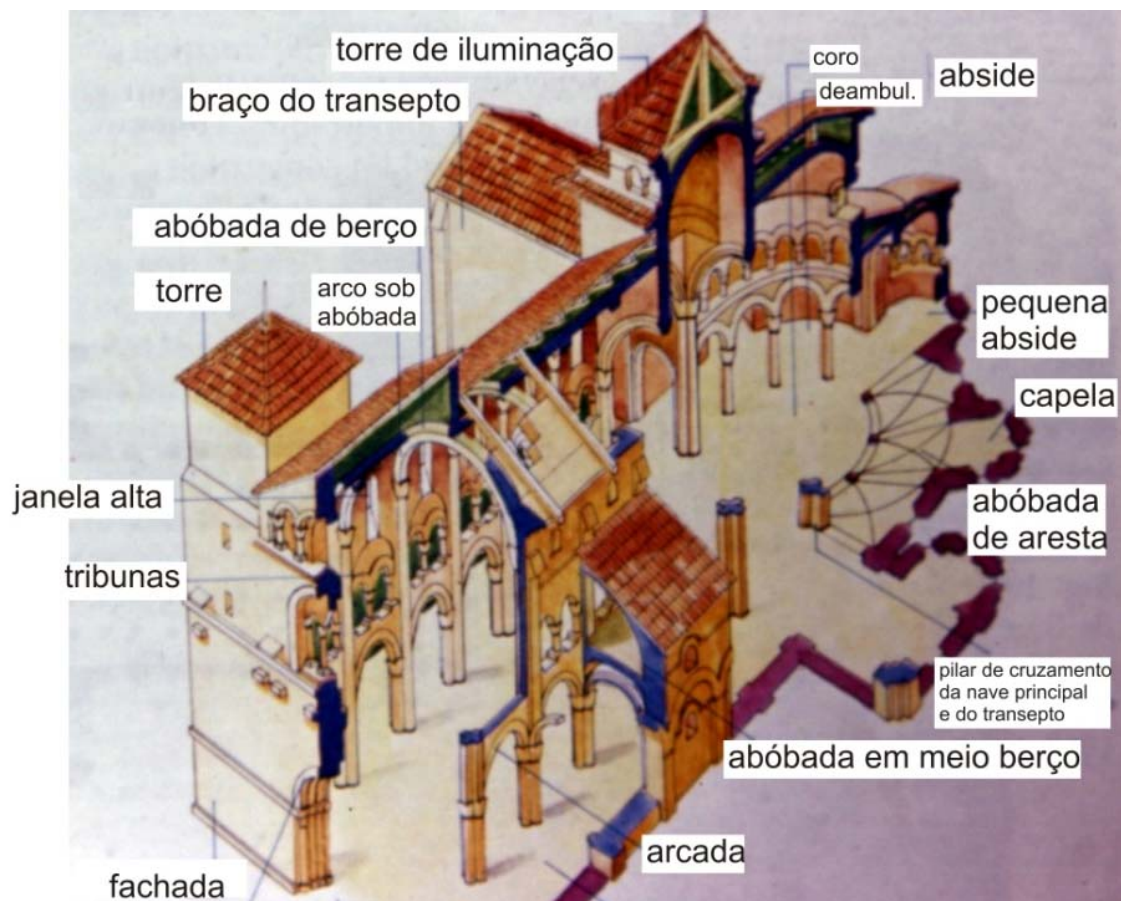


Fonte: Adaptado de Moore (1991).

Na primeira metade da Idade Média ocidental, a arquitetura românica adotou o retorno das abóbodas e arcos de alvenaria romana, substituindo o uso de das leves treliças de madeira do período cristão. A basílica de plano linear evoluiu para um plano transversal com uma cúpula se elevando no cruzamento. Surge então a abóboda de aresta, com resultado da união de duas abóbodas (MOORE, 1991). As janelas nas paredes laterais permanecem

relativamente pequenas na Itália e sul da França, tornando-se um pouco maiores no norte da Europa, como mostra a Figura 9:

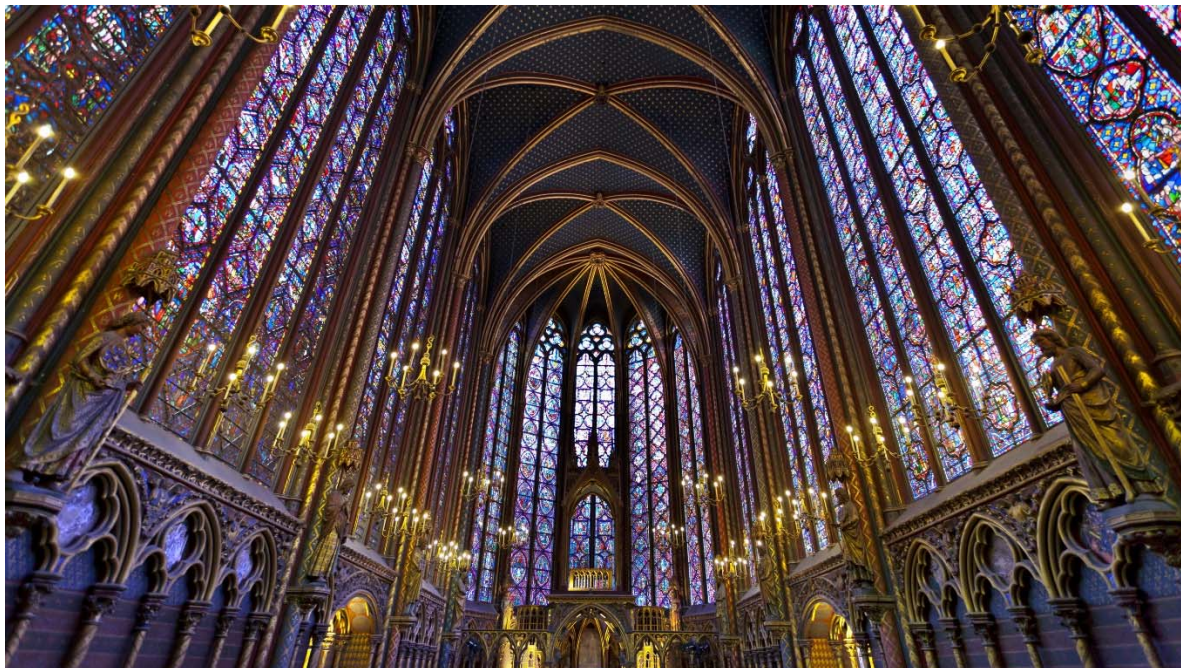
Figura 9 - Esquema de corte do interior de uma basílica românica



Fonte: Adaptado de Proença (1994).

Na segunda metade da Idade Média ocidental, a arquitetura conhecida como gótica elevou o uso da alvenaria de pedra ao seu mais alto nível de sofisticação estrutural. O desenvolvimento do arco de ogiva e da abóboda permitiu o cruzamento de abóbodas do telhado de larguras diferentes, coisa difícil de se conseguir com as abóbodas semi-circulares dos períodos Romano e Românico. Os reforços nas intersecções das abóbodas transmitiam as cargas do telhado lateralmente para pontos localizados nas paredes. O arcobotante evoluiu como forma de transmitir as cargas verticais para o chão enquanto resistia as cargas externas laterais, resultantes da ação do arco. Assim, pela primeira vez, as paredes estavam livres para receber grandes aberturas envidraçadas (MOORE, 1991), como mostra a Figura 10:

Figura 10 - Interior da Saint Chapelle, em Paris, com destaque para as estruturas em ogiva que permitem grandes janelas envidraçadas



Fonte: Public Media Newswire.⁵

A partir do Renascimento, toda inovação estrutural e de expressão que caracterizaram o gótico deram lugar a um ressurgimento do interesse em harmonia visual e proporção por meio da introdução de elementos clássicos. Técnicas de iluminação natural se tornaram mais sutis, sofisticadas e inovadoras. A luz natural era usada tipicamente como forma de enfatizar as formas arquitetônicas e dramatizar os espaços internos, como mostra a Figura 11:

⁵ Disponível em: <http://www.publicmedianewswire.com/wp-content/uploads/2012/09/hr_s7_paris_st-chappelle.jpg> Acesso em ago. 2015

Figura 11 - Interior da Biblioteca Laurentiana, de Michelângelo



Fonte: Mediateca di Palazzo Medici Riccardi.⁶

Embora o vidro tenha sido utilizado já nas igrejas da Idade Média, somente no final do século 14 é que os elementos translúcidos foram adotados em edificações residenciais. Inicialmente eram empregados materiais orgânicos como o linho e o pergaminho, mas além de frágeis não permitiam a visibilidade. As janelas com vidros só foram vistas no século 15 e no século 16 é que passaram a ser difundidas. Assim, as janelas envidraçadas passaram a iluminar os ambientes internos, mantendo contato com o ambiente externo, mas garantindo a proteção às intempéries (BUTERA, 2009).

Daí por diante, o vidro passou a ser utilizado de forma cada vez mais eficiente e as aberturas passaram a dialogar diretamente com as condições climáticas e culturais dos lugares: em clima temperado, janelas envidraçadas orientadas para fachadas com maior incidência solar permitiam o aquecimento do ambiente, enquanto em climas quente e úmido as aberturas protegidas por amplos beirais não utilizavam vidro, já que a iluminação e a ventilação eram garantidas pela abertura (CINTRA, 2011). No Brasil, desde a arquitetura colonial portuguesa, as aberturas nas partes superiores das janelas e portas possibilitavam maior iluminação natural e a presença das gelsias, treliças e muxarabis de origem árabe

⁶ Disponível em: < <http://www.palazzo-medici.it/mediateca/en/immagine.php?id=1033> > Acesso em ago. 2015.

controlavam a quantidade de luz natural, além de promover ambientes internos bastante intimistas (BITTENCOURT, 2006).

Quando o construtor de estufas inglês Joseph Paxton (1803-65) projetou e construiu o Palácio de Cristal em 1851 para a primeira Exposição Universal em Londres, ele instaurou um novo método de construção, baseado no emprego de elementos pré-fabricados (no caso, estrutura metálica e vidro) fabricados em série e prontos para serem montados diretamente no canteiro de obras. Além das economias de custo com a rápida produção e montagem havia ainda a vantagem da possibilidade de reutilização do material após desmontado. Com isso, esteticamente, a volumetria ganha leveza visual, a diferença entre espaço interno e externo é praticamente eliminada e internamente obtém-se uma luminosidade semelhante ao exterior (ARGAN, 1995). Segue-se ao uso do ferro o uso do aço, mais resistente e também do concreto armado, possibilitando avanços nunca vistos na engenharia civil, com estruturas independentes de fechamentos e grandes vãos. Para Argan (1995), esta foi a principal causa para a industrialização da arquitetura, através de uma nova metodologia de projeto e nova organização do canteiro de obras.

Conforme já citado anteriormente, a fábrica, principal construção daquele momento, também sofreu intensas transformações que se iniciaram na Alemanha pelos arquitetos Peter Behrens e Walter Gropius, passando também o edifício a ser funcional como os objetos que produzia. O amplo uso do vidro possibilitava ambientes mais iluminados e limpos, impactando diretamente na saúde e na produtividade dos operários.

Após a Revolução Industrial, a forma de se conceber a arquitetura mudou, pois materiais e técnicas passaram a ser dissociados das condições climáticas. A crença total na tecnologia e na funcionalidade da arquitetura verificada no período entre guerras, somada à alta demanda pela construção civil fizeram da casa a “máquina de morar” (conceito criado pelo arquiteto Le Corbusier), cuja construção e funcionamento deveriam ocorrer como qualquer outra máquina, independentemente do ambiente físico em que estivesse implantada. Segundo Butera (2009): a produção deveria ser em série, seguindo a mesma lógica da linha de montagem fordista; a climatização era garantida por máquinas de condicionamento de ar; a iluminação deveria ser artificial e qualquer necessidade para o bom

funcionamento da edificação deveria ser eficientemente suprida por algum equipamento desenvolvido com função específica para aquele fim.

A padronização arquitetônica para todo o planeta, levou aos excessos arquitetônicos de projetos que se utilizavam exclusivamente de iluminação e climatização artificiais, ignorando qualquer especificidade do local onde era implantado (condicionantes físicos, climáticos, culturais, entre tantos outros) vigente no Estilo Internacional difundido pelo século 20, sobretudo após a Segunda Guerra, associada à crença na tecnologia que tudo permitia.

Com o discurso defendido de “garantia de luz natural” e “conexão visual com o exterior”, edifícios com fachadas envidraçadas totalmente monitoradas por equipamentos, dada a sua incompatibilidade com o clima, formando o “efeito estufa” no interior e sobrecarregando o sistema de ar condicionado, obrigam os usuários a colocarem cortinas e as manterem fechadas durante todo o dia, na tentativa de diminuir a insolação e ofuscamento. Como consequência, necessitam de iluminação e climatização artificiais, tornando o discurso anterior de conexão com o exterior e garantia de luz natural inconsistentes (CINTRA, 2013). Butera (2009) chama isso de “involução tecnológica”, uma vez que a edificação voltou a ter como única função a de ser invólucro, de proteger contra chuva, piorando com a perda de todas as conexões com o meio físico e outras conexões que havia historicamente conquistado.

Entretanto, no “sentido oposto” do pensamento do Estilo Internacional vigente, alguns arquitetos lançaram mão de recursos tecnológicos, mas associando a bons projetos que levavam em conta o sítio, o clima, a cultura, enfim, as especificidades do local em que eram implantados. Ainda que se utilizassem dos princípios da funcionalidade e da produção em série (na medida do possível), não se tornaram “escravos” da tecnologia a ponto de comprometer a qualidade ambiental da edificação.

O arquiteto americano moderno Frank Lloyd Wright (1857-1959) fazia uso de largos beirais e diversos elementos arquitetônicos que promoviam o controle da luz no ambiente, de forma que ela nunca entrava de forma direta, mas filtrada e suavizada. Escreveu muito sobre a luz e projetou espaços intimistas graças a essa boa utilização da luz natural a seu favor. Costumava fazer uma analogia com o deserto, explicando que é bem melhor, neste lugar, ficar

embaixo da sombra de uma árvore do que sob o sol escaldante (SMITH, 2012). Em suas *prairie houses* (casas de campo), Wright

combinava com particular habilidade o uso das formas estruturais e as instalações mecânico-elétrica articuladas com a luz, mostrando não só a coexistência de critérios de projeto opostos energeticamente mas também um exemplo de integração entre as inovações tecnológicas e o projeto arquitetônico (Mascaró, 2005).

A seguir são mostrados os interiores de algumas Casas de Pradaria criadas por Frank Lloyd Wright, destacando a qualidade desses espaços ocasionado pelo bom uso da iluminação natural.

A casa de veraneio projetada para Francis W. Little entre 1912 e 1915 mostra a ideia de continuidade espacial, sem paredes e evidenciada pelas aberturas contínuas.

Figura 12 - Casa Francis W. Little (Frank Lloyd Wright, 1912-15)



Fonte: Metropolitan Museum.⁷

⁷ Disponível em: < <https://www.metmuseum.org/toah/works-of-art/1972.60.1/> > Acesso em mar. 2016.

A mesma ideia de continuidade espacial foi aprimorada na Casa da Cascata, de 1935, que melhor sintetiza o conceito de arquitetura organicista, integrando-se perfeitamente ao sítio. A casa aproveita totalmente o declive do terreno, se assenta sobre as pedras e a interação com o entorno se faz presente em todos os aspectos, incorporando elementos tradicionais da construção e da região à alta tecnologia dos grandes vãos e balanços proporcionados pelo uso do concreto armado. A continuidade e amplitude das grandes áreas sociais é garantida pelo amplo uso das janelas e acessos diretos às varandas.

Figura 13 - Casa da Cascata (Frank Lloyd Wright ,1935)



Fonte: Arch Daily Brasil.⁸

A casa Baker é considerada uma arquitetura exemplar do ponto de vista da iluminação, segundo Banham apud Mascaró (1995):

“Aqui se deu, pela primeira vez, uma arquitetura que não introduzia a tecnologia ambiental como um remédio desesperado, nem como uma determinante de formas da estrutura, mas que foi final e naturalmente absorvida nos métodos normais de trabalho arquitetônico, contribuindo a sua liberdade de desenho” (Banham apud Mascaró, 1995).

⁸ Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/br/01-53156/classicos-da-arquitetura-casa-da-cascata-frank-lloyd-wright/1273836560-3rdfloorplan>> Acesso em ago. 2015.

Figura 14 - Casa Baker (Frank Lloyd Wright ,1909)



Fonte: Site de imagens Flickr.com.⁹

Outro arquiteto que se destacou no uso de iluminação natural em pleno auge do funcionalismo foi o finlandês Alvar Aalto (1898-1976). Foi considerado pioneiro na chamada vertente orgânica da arquitetura moderna, que combinava a tecnologia proporcionada pela produção em série com a adequação ao sítio, clima e sobretudo ao homem que a utilizaria (opondo-se, portanto, ao pensamento de universalização).

Um exemplo bastante marcante no uso da iluminação natural, adequação ao sítio, utilização racional da madeira e projeto acústico foi a Biblioteca Municipal de Viipuri, atual Biblioteca Central de Alvar Aalto, que foi construída entre 1933 e 1935 na antiga Viipuri (Finlândia), atual Vyborg (Rússia). Na área de leitura e acervo, foi utilizado um sistema de iluminação zenital bastante eficiente que promoveu uma iluminação interna difusa e uniforme, livre de ofuscamentos. Moura (2007) explica que com rara disponibilidade de luz natural e de carga térmica provenientes de radiação solar (lembrando que a Finlândia está a

⁹ Disponível em: <https://c3.staticflickr.com/3/2191/2230387486_6b0c254685_z.jpg?zz=1> Acesso em ago.2015

mais de 60 o. de latitude), os arquitetos finlandeses devem ter como estratégia de projeto o seu aproveitamento e retenção para atingir as condições de conforto ambiental.

Figura 15 - Biblioteca de Viipuri (Alvar Allto,1935)



Fonte: Site de Imagens Imgid.com.¹⁰

2.1.2 Probabilidade de tipos de céu

A distribuição de luminâncias do céu é dependente do clima e varia de em função do horário do dia e dia do ano de acordo com a posição solar.

A Commission Internationale de l'Éclairage - CIE definiu 16 modelos de céu para representar e classificar os diferentes tipos (Tabela 1), onde através destes modelos é possível

¹⁰ Disponível em: <<http://imgkid.com/viipuri-library.shtml>> Acesso em ago. 2015

obter a luminância tanto do zênite quanto a horizontal, necessárias à obtenção da distribuição absoluta de luminâncias, dados indispensáveis para cálculos de iluminação natural.

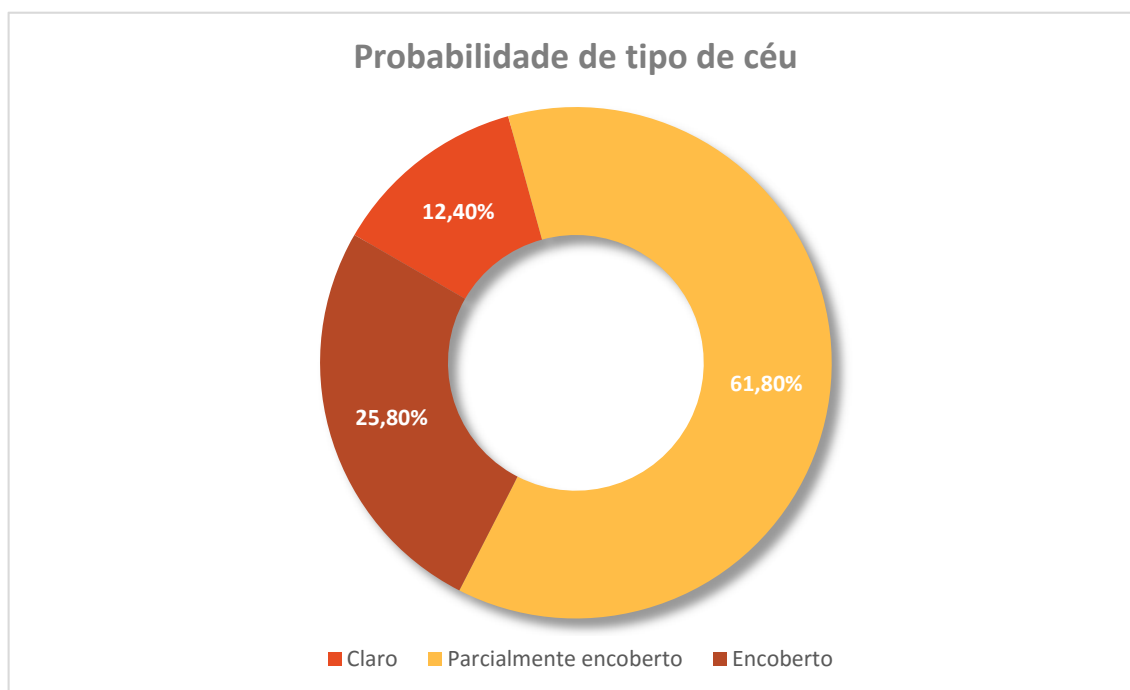
Tabela 1 - Modelos de céu padrão CIE

Céu	Descrição da distribuição de luminâncias
1	Encoberto, gradação alta, uniformidade no azimute, (aproxima-se do Céu encoberto CIE tradicional)
2	Encoberto, gradação alta, leve aumento de brilho na direção do sol
3	Encoberto, gradação moderada, uniformidade no azimute
4	Encoberto, gradação moderada, leve aumento de brilho na direção do sol
5	Céu com luminância uniforme
6	Parcialmente nublado, sem gradação em direção ao zênite, leve aumento de brilho na direção do sol
7	Parcialmente nublado, sem gradação em direção ao zênite, região circunsolar mais brilhante
8	Parcialmente nublado, sem gradação em direção ao zênite, distinta coroa solar
9	Parcialmente nublado, sol obscurecido
10	Parcialmente nublado, região circunsolar mais brilhante
11	Céu branco-azulado com distinta coroa solar
12	Céu claro padrão CIE, poluição atmosférica
13	Céu claro padrão CIE, poluição atmosférica
14	Céu sem nuvens com turbidez e ampla coroa solar
15	Céu branco-azulado com turbidez e ampla coroa solar
16	Céu encoberto CIE tradicional

Fonte: CIE 2003, adaptado pelo autor.

Um estudo de Cabús (2002), que faz uma análise dados climáticos para a Cidade de Maceió, aponta que a probabilidade para ocorrência de céu parcialmente encoberto é o mais comum (Figura 16) e representa aproximadamente 61,8% das ocorrências seguido pelo encoberto com 25,8% e o céu claro com 12,4%.

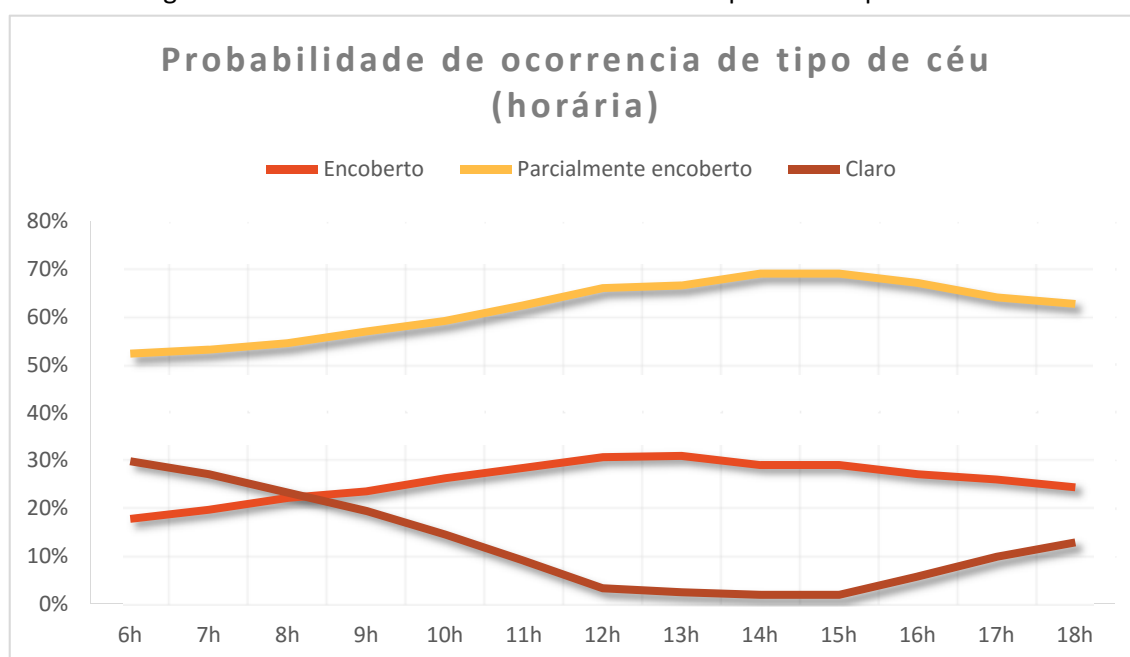
Figura 16 - Probabilidade de ocorrência de tipo de céu para Maceió



Fonte: Cabús, 2002, adaptado pelo autor.

Em Maceió a ocorrência de céu claro é maior durante as manhãs, quando a posição solar é mais baixa. O céu parcialmente encoberto é o mais frequente e tem maior incidência no meio da tarde, como afirma Cabús (2002). Através da Figura 17 é possível ver a probabilidade de ocorrência dos três tipos de céu de acordo com o horário.

Figura 17 - Probabilidade de ocorrência de tipo de céu por horário



Fonte: Cabús, 2002, adaptado pelo autor.

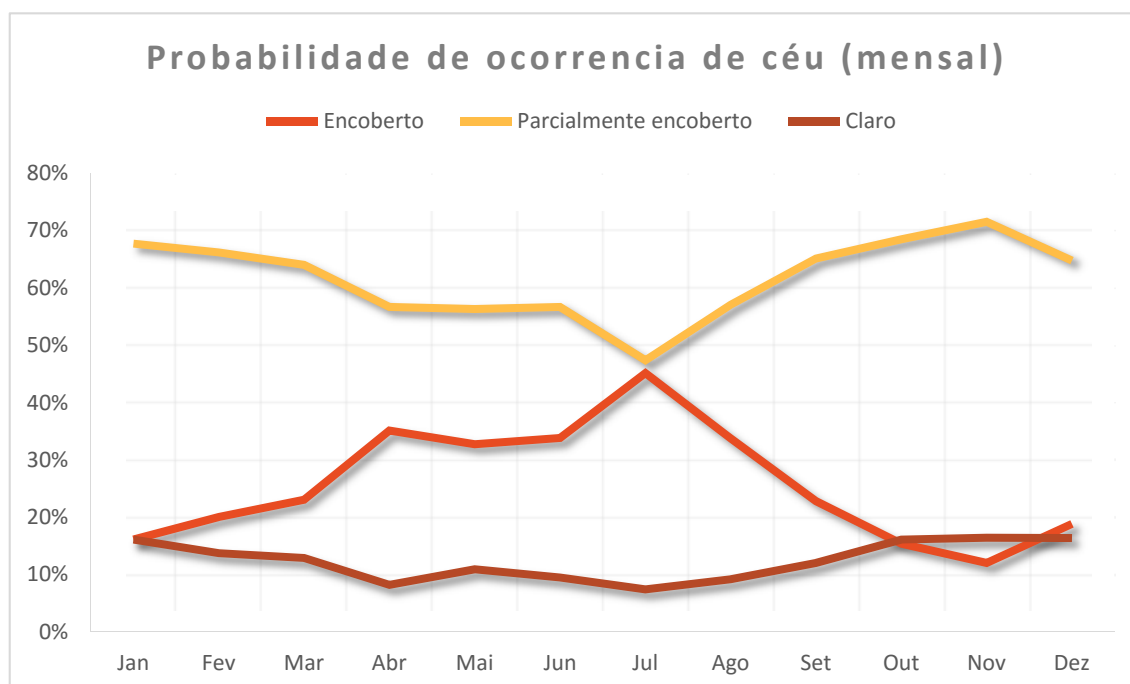
A distribuição mensal dos valores globais do céu claro, encoberto e parcialmente encoberto pode ser observada graficamente na Figura 18.

O céu claro que é o menos frequente (com 12,40% das ocorrências anuais) fica ainda mais raro nos meses de inverno, época que coincide com a estação chuvosa, chegando a menos de 8% das ocorrências para o mês de julho. Nos meses de outubro a janeiro a probabilidade de céu claro é de até 16,40%.

O céu encoberto representa estatisticamente 25,80% das ocorrências anuais para a cidade de Maceió. No mês de julho tem-se uma maior frequência, chegando a pouco mais de 45% dos casos. Já nos meses de outubro e novembro sua ocorrência chega a ser menor que a do céu claro.

O céu parcialmente encoberto pode ser considerado o céu típico para a cidade de Maceió, ocorrendo com uma frequência geral de 61,80% dos casos. Excetuando-se o mês de julho onde está presente em mais de 47% do tempo, nos demais meses é o tipo de céu mais frequente, aparecendo em mais de 56% dos casos.

Figura 18 – Probabilidade de ocorrência de tipo de céu com distribuição mensal



Fonte: Cabús, 2002, adaptado pelo autor.

Considerando um total de treze horas, das 6 às 18 horas e um total de 365 dias no ano, obtêm-se um total de 4745 combinações. Considerando para o céu encoberto o modelo 1 da CIE, para o céu parcialmente encoberto o modelo 10 da CIE e para o céu claro o modelo 14 da CIE, pode-se tabular os dados da Figura 17, onde se obterá na Tabela 2 a distribuição horária da frequência de ocorrências para cada modelo de céu.

Tabela 2 - Distribuição horária de modelo de céu

<i>Céu</i>	<i>6h</i>	<i>7h</i>	<i>8h</i>	<i>9h</i>	<i>10h</i>	<i>11h</i>	<i>12h</i>	<i>13h</i>	<i>14h</i>	<i>15h</i>	<i>16h</i>	<i>17h</i>	<i>18h</i>
1	65	72	81	86	96	104	112	113	106	106	99	95	89
%	17,8	19,7	22,2	23,6	26,3	28,5	30,7	31,0	29,0	29,0	27,1	26,0	24,4
10	191	194	199	208	216	228	241	243	252	252	245	234	229
%	52,3	53,2	54,5	57,0	59,2	62,5	66,0	66,6	69,0	69,0	67,1	64,1	62,7
14	109	99	85	71	53	33	12	9	7	7	21	36	47
%	29,9	27,1	23,3	19,5	14,5	9,0	3,3	2,5	1,9	1,9	5,8	9,9	12,9

Fonte: elaborado pelo autor.

Na Tabela 3 tem-se a distribuição das 4745 combinações pelos percentuais da Figura 18 para cada modelo de céu.

Tabela 3 - Distribuição mensal por modelo de céu

<i>Céu</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
1	65	73	93	137	132	132	182	136	89	62	47	76
%	16,1	20,1	23,1	35,1	32,8	33,8	45,2	33,7	22,8	15,4	12,1	18,9
10	273	241	258	221	227	221	191	230	254	276	279	261
%	67,7	66,2	64,0	56,7	56,3	56,7	47,4	57,1	65,1	68,5	71,5	64,8
14	65	50	52	32	44	37	30	37	47	65	64	66
%	16,1	13,7	12,9	8,2	10,9	9,5	7,4	9,2	12,1	16,1	16,4	16,4

Fonte: elaborado pelo autor.

Interpolando-se os dados das Tabela 2 e 3, obtêm-se a distribuição probabilística para cada dia do ano, nos horários de 6 às 18 horas, que podem ser consultados no Apêndice A – Probabilidade de céu para Maceió.

2.2 ELEMENTOS DE CONTROLE

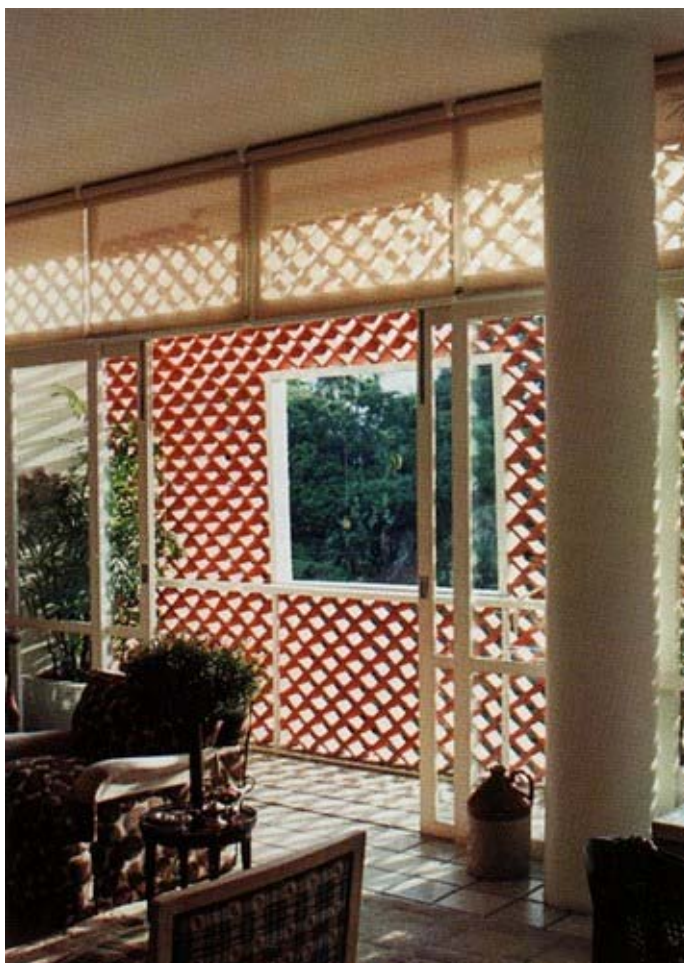
Os elementos de controle de luz natural podem ser internos (como cortinas e persianas) ou externos, que são dispositivos arquitetônicos que atuam inclusive como marcantes elementos de fachada tais como brises, cobogós, muxarabis, beirais, prateleiras de luz, assim como quaisquer outros que protejam o edifício da radiação solar direta.

O modernismo brasileiro fez amplo uso desse repertório de recursos, o que contribuiu para a criação de uma linguagem arquitetônica bastante própria e que teve como características marcantes o melhor aproveitamento de iluminação e ventilação natural, bem como o respeito das características únicas dos lugares em que as edificações eram implantadas. Nesse sentido, os arquitetos modernistas afastaram-se dos grandes mestres europeus como Le Corbusier, Mies Van der Rohe e Walter Gropius que privilegiaram a produção em série e as novas tecnologias para solucionar quaisquer adversidades relacionadas às intempéries, a fim de promover uma arquitetura “universal”, passível de ser reproduzida em série para o “homem universal”, em qualquer lugar do mundo.

Valendo-se de muitos elementos arquitetônicos resgatados do colonial brasileiro, Lúcio Costa, Oscar Niemeyer, Reidy, Vilanova Artigas, Rino Levi, Lina Bo Bardi, Irmãos Roberto, Oswaldo Bratke, dentre os mais destacados, fizeram uma arquitetura moderna que acreditava nas tecnologias proporcionadas pela indústria, mas antes de tudo faziam uso racional das fontes de energia, antecipando um pensamento que seria retomado apenas recentemente, com a crise energética do século 21.

Na fachada Oeste do Edifício Nova Cintra, projetado por Lúcio Costa, os cobogós protegem a varanda da insolação direta.

Figura 19 – Detalhe da varanda do Edifício Nova Cintra, no Parque Eduardo Guinle (Lúcio Costa, 1948)

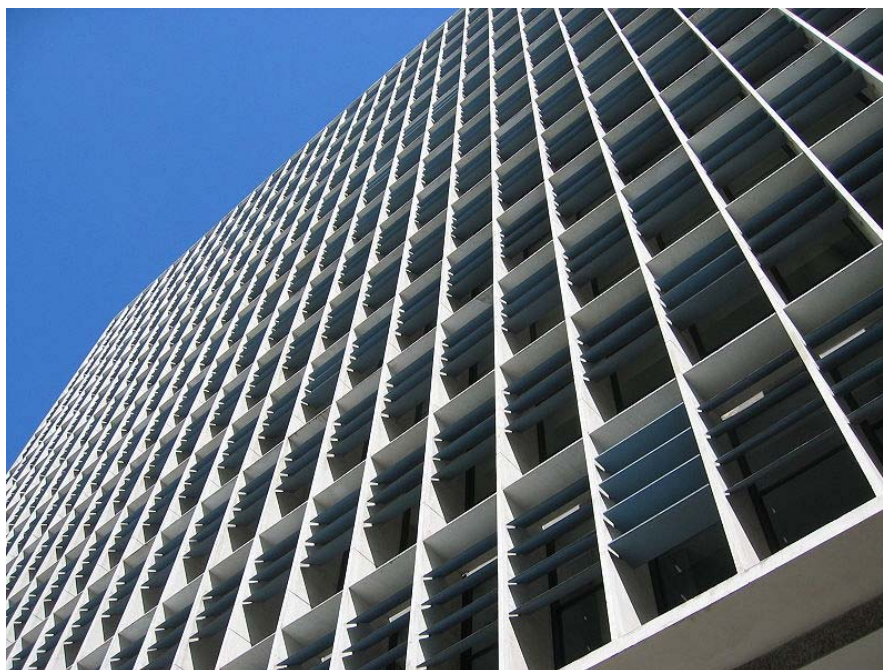


Fonte: Arch Daily Brasil. ¹¹

O projeto do Ministério da Educação e Saúde, de autoria da equipe liderada por Lúcio Costa em 1937 e que teve a participação de Le Corbusier, marcou a fase inicial da arquitetura moderna no Brasil, inserindo o *brise-soleil* na fachada norte, em oposição ao “*pan de verre*” (pano de vidro) da fachada sul.

¹¹ Disponível em: < <http://www.archdaily.com.br/br/01-14549/classicos-da-arquitetura-parque-guinle-lucio-costa/planta-terreo-ed-nova-cintr> > Acesso em mar 2016

Figura 20 - Brises do Ministério da Educação e Saúde (Lúcio Costa e equipe, 1937)



Fonte: Arch Daily Brasil.¹²

Assim como Lúcio Costa, Oscar Niemeyer utilizou-se de elementos marcantes da arquitetura colonial brasileira. Adotado para a fachada avarandada do Grande Hotel de Outro Preto em 1938, muxarabi possibilitou harmonização do novo edifício implantado em meio à primeira cidade-monumento do Brasil.

¹² Disponível em: <http://www.archdaily.com.br/br/01-79365/oscar-niemeyer-arquitetura-inecessante/mes_wikimedia-commons_jcvasc> Acesso em ago. 2015

Figura 21 - Muxarabi do Grande Hotel de Ouro Preto (Oscar Niemeyer, 1940)



Fonte: Site de Fotos Flickr.com.¹³

Na Vila Serra do Navio, comunidade urbana na Selva Amazônica construída entre 1955 e 1960 para alojar os empregados da Empresa de Mineração ICOMI durante a exploração de jazidas de manganês, Oswaldo Arthur Bratke fez um minucioso trabalho de resgate da arquitetura vernacular da região. Como resultado, chegou ao projeto urbanístico e arquitetônico da vila operária onde pode ser observado nas casas o emprego de amplos beirais, venezianas fixas e móveis e elementos vazados, a fim de se evitar o uso de vidro, proteger da chuva e evitar insolação excessiva dentro das casas. O cuidado com o conforto ambiental também abrangeu a ventilação natural.

¹³ Disponível em: < <https://www.flickr.com/photos/33352506@N00/4795795211/in/photostream/> > Acesso em ago. 2015

Figura 22 - Amplo beiral de casa na Vila Serra do Navio (Artur Bratke, 1955-60)



Fonte: Revista Planeta Sustentável On line.¹⁴

2.2.1 Prateleira de luz

Mascaró (1991) explica que antes do século 18, os arquitetos tiveram que utilizar as construções da época como principal mediador entre o exterior e o interior das condições ambientais. A iluminação era fornecida principalmente de forma natural e era determinada pelo clima, tamanho e orientação das janelas e o tipo de atividade a ser desenvolvida. A iluminação suplementar era feita sob a forma de velas e lamparinas e as atividades que necessitassem de iluminação eram limitadas principalmente pelo horário de luz diurna. Da mesma forma, a envoltória do edifício era o principal meio de controle térmico do ambiente, com a lareira que fornecia o aquecimento suplementar. Arquitetos simplesmente não podiam se dar ao luxo de ignorar as condições existentes no local e por necessidade, dependiam da envoltória do edifício para admissão de luz e controle de outras condições ambientais.

¹⁴ Disponível em: < <http://planetasustentavel.abril.com.br/album/reflexos-boa-arquitetura-635244.shtml?&foto=12> > Acesso em ago. 2015

Com o Iluminismo, a crença de que o conhecimento científico poderia dominar a natureza, seguindo para todos os avanços da Revolução Industrial, foram criados meios para libertar os edifícios das restrições que haviam sempre determinado as suas formas e os meios naturais de iluminação, ventilação e calefação desenvolvidas ao longo da evolução do homem passaram a ter menos importância na concepção dos projetos (MASCARÓ, 1991).

Conforme já estudado neste trabalho, o Movimento Moderno, ao substituir a razão divina pela funcionalidade e tipificação, valorizou as infinitas possibilidades de estruturas metálicas com fechamentos em vidro ou caixas de concreto armado. Entretanto, embora a racionalidade arquitetônica moderna tenha se preocupado com a otimização dos recursos naturais (como nas obras de Frank Lloyd Wright, Alvar Allto entre outros), o chamado “estilo internacional” prevaleceu como a estética dos novos tempos. O que se viu, por todo o século XX, foi a desconsideração do clima local e mínima utilização da luz natural, paralelamente aos projetos que demandam iluminação artificial e ar condicionado, gerando aumento progressivo no consumo de energia.

Apenas recentemente passou a se pensar em sustentabilidade devido à escassez de recursos causada pelo crescimento populacional e aumento desenfreado no consumo de energia elétrica. Fazer uso de soluções não apenas inovadoras esteticamente, mas também racionais, é de fundamental importância no momento atual. E o uso de janelas é a maneira mais simples de permitir a entrada de luz natural em um ambiente.

Entretanto, conforme explica Majoros (1998), a iluminação natural provida por janelas permite pouca uniformidade na distribuição de iluminâncias quando comparada às aberturas zenitais. Ainda de acordo com este autor, são verificadas diferenças significativas entre pontos mais próximos e mais afastados da janela, o que pode provocar desconforto visual devido ao ofuscamento causado por contraste de iluminâncias (MAJOROS, 1998).

Diante disso, um elemento arquitetônico de controle indicado para atenuar estes efeitos e melhorar a uniformidade da iluminação é a “prateleira de luz”, que obstrui a luz direta e a distribui para o ambiente até os pontos mais afastados por meio de reflexão (STEEMERS, 1994), (LITTLEFAIR et al., 1994). A prateleira de luz geralmente é posicionada em uma janela, acima do nível do observador, dividindo-a em uma parte superior e outra inferior.

Este assunto foi estudado inicialmente na década de 1950 por Hopkinson como forma de iluminar adequadamente uma ala hospitalar de grande profundidade, utilizando-se apenas da luz natural e mantendo o conforto visual dos pacientes nas camas próximas as janelas (LITTLEFAIR, 1990); (AMORIM, 2002).

Segundo Baker et al. (1998):

a prateleira de luz é comumente posicionada de forma horizontal, acima do nível dos olhos em um elemento de passagem vertical, dividindo-o em uma secção superior e outra inferior. Isso protege as zonas interiores próximas as aberturas contra a radiação solar direta e redireciona a luz através de sua superfície superior para a parte interna do teto. Desta maneira proporciona sombra no verão e promove uma distribuição interna de iluminação mais uniforme. (BAKER et al., 1998, p. 5.22)

Figura 23 - Exemplo de prateleiras de luz



Fonte: Bioclimática.¹⁵

Amorim (2002) ainda explica que:

a superfície superior da prateleira pode ter acabamento em material refletor, como espelho, alumínio ou outros. As dimensões dependem dos ângulos solares da região. As prateleiras de luz podem ser internas, externas ou mistas, retas ou curvas. Podem ser usadas também debaixo de elementos zenitais, melhorando a distribuição de luz e/ou protegendo da radiação direta (AMORIM, 2002, p. 7).

¹⁵ Disponível em: <<http://bioclimaticarquitectura.blogspot.com.br/2009/11/repisas-reflectantes-prateleiras-de-luz.html>> Acesso em ago. 2015

Embora a prateleira de luz não constitua o único recurso arquitetônico para controle e direcionamento da luz natural, há muitas vantagens em sua utilização, conforme elencadas por Graziano Júnior (2000, p. 38):

1. Bloqueio de parte considerável da insolação;
2. Redirecionando o fluxo luminoso para o teto, que redistribui a luz difusa para as áreas mais profundas e distantes da janela, de forma uniforme, reduzindo o grau de contraste entre áreas mais e menos claras;
3. Possibilidade de ser exterior, interior ao ambiente ou ambas;
4. Redução ou até mesmo eliminação do ofuscamento causado pela janela como objeto fortemente iluminado, dispensando outros elementos de controle;
5. Possibilidade de ser elemento dinâmico, variando o ângulo de inclinação de acordo com o horário, visando direcionar melhor a iluminação, aspecto fundamental para o caso de adoção no Brasil, devido à grande extensão territorial;
6. Possibilidade do uso do mesmo projeto em locais diferentes e que conta com diversos tipos de clima, insolação, latitudes, altitudes, mudança sazonal de trajetória solar;
7. Execução possível de ser harmonizada com o projeto da edificação;
8. Custo de execução compensado pela redução na sua manutenção e maior durabilidade em relação a persianas e cortinas usadas para sombreamento;
9. Localização na edificação acima da linha de visão, permitindo contato com o exterior;
10. Melhoria da qualidade visual do ambiente.

A seguir são mostrados alguns exemplos de projetos arquitetônicos com prateleira de luz, iniciando pela Sede do Hong Kong & Shanghai Banking Corporation em Hong Kong (Figura 24), China. Neste projeto, a prateleira de luz funciona não apenas como recurso de melhoria da distribuição da luz como é bastante marcante na estética do edifício:

Figura 24 - Vista externa do HSBC com detalhe para a prateleira de luz



Fonte: Viridis Wentworth Designs Green.¹⁶

As Figura 25 e 26 mostram a Biblioteca Pública de Mount Airy (Carolina do Norte, EUA), projeto de Edward Mazria em 1984, vencedor do prêmio do American Institute of Architects, que em seu projeto faz uso da prateleira de luz.

Figura 25 - Biblioteca pública de Mount Airy



Fonte: Viridis Wentworth Designs Green.¹⁷

¹⁶ Disponível em: <http://myweb.wit.edu/viridis/green_site/projects/2_processes/daylighting/3_light-shelves/light-shelves.html> Acesso em ago. 2015

¹⁷ Disponível em: http://myweb.wit.edu/viridis/green_site/projects/2_processes/daylighting/3_light-shelves/light-shelves.html> Acesso em ago. 2015

Figura 26 - Vista interna biblioteca pública de Mount Airy com detalhe para a prateleira de luz



Fonte: Viridis Wentworth Designs Green.¹⁸

O projeto do escritório Robertson/Sherwood/Architects PC para a Escola Primária Thurston, em Springfield (Oregon, EUA) também fez uso da prateleira de luz. Bormann (2003) estudou em sua dissertação o emprego das prateleiras de luz em salas de aula e escritórios, concluindo que sua utilização influencia na iluminância dos ambientes, uniformizando a distribuição de luz e prevenindo o ofuscamento, condições importantes para as atividades desenvolvida nesses ambientes.

¹⁸ Disponível em: http://myweb.wit.edu/viridis/green_site/projects/2_processes/daylighting/3_light-shelves/light-shelves.html> Acesso em ago. 2015

Figura 27 – Aplicação da prateleira de luz em sala de aula



Fonte: Site do escritório Robertson/Sherwood/Architects PC.¹⁹

O artigo apresentado por Candido et al. (2005), faz uma comparação dos níveis de iluminação entre ambientes com e sem o uso da prateleira de luz, por meio de simulação computacional com o *software* TropLux - desenvolvido por Cabús (2005). Neste estudo os autores fazem a recomendação de trabalhos nesta área. Outro trabalho sobre prateleiras de luz foi apresentado por Araújo et al. (2005), onde fizeram uma análise da influência deste recurso arquitetônico, desta vez, sob marquise.

Além dos dois trabalhos citados no parágrafo anterior, a dissertação de mestrado de Fell (2002) traz uma avaliação acerca da eficiência das estantes de luz nas aberturas por meio de um estudo de quatro casos - uma biblioteca, uma sala de aula, uma loja comercial térrea e uma sala comercial. Ele utiliza fotografias para realizar as medições in loco e maquetes em escala para a obtenção dos dados relativos aos ambientes, uma metodologia limitada comparando-se à ferramenta computacional. Esta última possibilita a execução de variadas simulações alterando-se os dados relativos às diferentes posições solares e também as

¹⁹ Disponível em: <<http://www.robertsonsherwood.com/work/#/schoolspage/>> Acesso em ago. 2015

diferentes luminâncias do céu de maneira muito mais rápida do que com meios fotográficos e de medições in loco.

Entre os estudos já realizados sobre o assunto, apenas os artigos publicados por Littlefair (1994), Beltrán et al. (1996) e a dissertação de Graziano Júnior (2000) analisam a prateleira de luz com variação de formas e dimensões, por meio de ferramentas computacionais. Estes dois estudos são os que mais se aproximam da presente proposta, confirmando, mais uma vez, a necessidade de novos e atualizados trabalhos sobre este tema.

Devido à natureza deste trabalho, que é uma dissertação de mestrado, o estudo se limitará a analisar o desempenho luminoso da prateleira de luz, sendo que o desempenho térmico poderá vir a ser o desdobramento desta atividade.

2.3 MÉTODOS DE ANÁLISE DE DESEMPENHO

Durante o processo de projeto a previsão do desempenho luminoso deve ser uma preocupação do projetista. É nesta fase onde decisões importantes podem ser tomadas em relação as estratégias de iluminação natural (BAKER et al., 1998; RUCK et al., 2000).

Baker et al. (1998) agrupam as ferramentas de avaliação de desempenho em três grupos:

- Ferramentas simplificadas;
- Modelos em escala;
- Ferramentas computacionais.

2.3.1 Ferramentas simplificadas

As ferramentas simplificadas são aquelas que através do uso de tabelas, nomogramas, fórmulas matemáticas até equipamentos físicos mais elaborados, permitem ao projetista avaliar de maneira rápida e aproximada o comportamento da iluminação natural, e que não requerem o uso de computadores para sua utilização (BAKER; STEEMERS, 2002). Estas ferramentas são melhores para o cálculo da componente direta, seja ela do céu ou refletida externamente, porém apresentam certa dificuldade para o cálculo da componente indireta refletida internamente (BAKER et al., 1998).

2.3.2 Modelos em escala

Os modelos em escala ou maquetes segundo Baker et al. (1998) são excelentes ferramentas de projeto e estudo de luz natural muito utilizadas por arquitetos e projetistas. Pelo fato de o comprimento de onda que compõe a luz ser extremamente pequeno (RUCK et al., 2000; BAKER; STEEMERS, 2002), o comportamento da luz praticamente não é afetado em estudo com modelos em escala reduzida, ao contrário do que ocorre em estudos de acústica ou estrutura.

Ainda segundo Baker et al. (1998) o modelo em escala apresenta vários aspectos que facilitam seu uso:

- É uma ferramenta simples e de fácil compreensão;
- Permite um estudo preciso da luz natural;
- Pode ser utilizado para simulações de geometrias complexas e não retilíneas, bem como diferentes configurações;
- Possibilita mudanças rápidas na geometria, refletância das superfícies e refletividade dos materiais utilizados, tomando assim decisões sobre o impacto visual ou níveis de iluminância;

- Gera dados qualitativos para visualização e fotografias, que ajudam a prever possíveis problemas de ofuscamento ou outro aspecto do conforto visual;
- Gera dados quantitativos através de medições;
- A dinâmica da luz pode ser observada como utilização de heliodons, simuladores de céu ou céu real, permitindo uma visualização precisa da distribuição de iluminâncias.

Os modelos em escala apresentam também algumas limitações como o custo elevado para se confeccionar geometrias muito complexas e detalhadas. Existe também a limitação quando há necessidade na aplicação de materiais que não podem ter sua escala reduzida, como por exemplo tecidos, o que pode ocasionar erros em medições quantitativas (BAKER et al., 1998).

2.3.3 Modelos computacionais

A luz natural, em oposição à luz artificial, tem um comportamento dinâmico segundo o qual, a depender da posição do solar, das condições climáticas, dos elementos do entorno, características dos materiais tanto que compõem o ambiente de estudo quanto externos, cria configurações únicas de estudo.

Modelos computacionais são gerados através do uso de programas específicos que permitem simular as diferentes variáveis e componentes da iluminação natural. Com o surgimento de computadores com maior poder de cálculo e recursos gráficos foi possível uma rápida disseminação da simulação computacional em pesquisas no ambiente construído, em especial na área de iluminação natural (CABÚS, 2005; RUCK et al., 2000).

Através da simulação computacional, é possível prever e analisar o comportamento da iluminação natural em um determinado projeto. Segundo Reinhart (2010), para se ter uma análise rigorosa da iluminação natural, são necessários alguns pontos: A) estimar a quantidade física de luz natural disponível na edificação (utilizando simulações ou planilhas); B) converter

os resultados em valores de desempenho de luz natural; C) interpretar os valores de desempenho e tomar decisões projetuais.

Reinhart (2010) afirma ainda que os passos (A) e (B) podem ser realizados com o uso de *softwares* de simulação de luz natural. A simulação computacional visa prever a quantidade de luz natural disponível em uma edificação, onde se é calculada a quantidade física de luz, como luminâncias e iluminâncias em um determinado local da edificação e estes valores podem ser tanto apresentados na forma de números individuais, quanto gráficos ou mapeamentos de cores falsas.

As simulações podem ser divididas em estáticas ou dinâmicas, dependendo se elas consideram uma condição única de céu ou uma série consecutiva de condições de céu. Os resultados de simulações estáticas são geralmente expressos tanto sob a forma de imagens fotorrealísticas quanto a forma de valores de iluminâncias em determinados pontos de interesse em uma edificação sob um céu de referência. Simulações dinâmicas podem produzir séries anualizadas de iluminâncias sob condições variáveis de céu (REINHART, 2010). A principal vantagem na utilização de simulações dinâmicas, se comparadas às estáticas, é que estas consideram as variações diárias e sazonais da luz natural para um determinado local somados as irregulares variações meteorológicas (REINHART et al., 2006), caracterizando assim condições mais realísticas das condições climáticas de uma cidade.

2.4 INDICADORES DE DESEMPENHO

2.4.1 Fator de luz do dia

Fator de Luz do Dia (FLD) ou *Daylight fator* (DF) é um método de avaliação criado na Inglaterra no início do século XX. Ele representa uma proporção entre a disponibilidade total

e simultânea de luz natural no interior de uma edificação, em relação ao total de iluminação disponível no exterior e pode ser entendido pela seguinte fórmula:

$$DF = \frac{E_i}{E_o} \times 100 \%$$

Onde:

E_i representa a iluminância em qualquer ponto no interior da sala e E_o é a iluminância em um plano horizontal proveniente do céu sem obstruções.

Um fator de luz do dia de 5 % no interior de um ambiente quer dizer que este ambiente recebe 5 % da luz disponível sob o céu encoberto. O fator de luz do dia é composto da somatória de três componentes: componente do céu (CC), que é a luz que atinge um determinado ponto proveniente diretamente do céu; componente refletida externamente (CRE), que é a luz refletida em obstruções externas; e da componente refletida internamente (CRI), correspondente à luz que reflete em superfícies internas do ambiente.

Segundo Tregenza e Loe (1998), o fator de luz do dia é utilizado para se estimar a luz em um ambiente sob condições de céu encoberto, em particular o padrão CIE, sem incidência de luz solar direta. Apresenta como ponto positivo a facilidade de uso, requerendo apenas poucas medições e pode ser calculado independentemente da orientação, visto que a distribuição de iluminâncias azimutais no céu encoberto é uniforme. Como ponto negativo apresenta a restrição de somente poder ser utilizado sob condições de céu encoberto.

2.4.2 Coeficiente de luz natural

A proporção de iluminâncias internas e externas de um ambiente sofrem grande variação sobre reais condições de céu. Desta maneira se torna impreciso prever a iluminância em um determinado ponto de uma sala apenas multiplicando-se os níveis externos de luz natural por um valor constante como o fator de luz do dia (TREGENZA; WATERS, 1983).

A quantidade de luz natural que chega à superfície de um ambiente é dependente de dois fatores: a luminância do céu e as formas e materiais que envolvem esta superfície. Porém, por questões práticas, estes dois fatores são independentes (TREGENZA; WATERS, 1983).

O conceito de coeficiente de luz natural (CLN) ou *Daylight Coefficients* (DC) foi proposto no início da década de 1980 por Tregenza e Waters (LAOUADI et al., 2007) e é dependente da geometria interna do ambiente, do solo e obstruções externas, assim como suas refletâncias, mas independe da distribuição de luminâncias do céu e conseqüentemente das orientações das aberturas ou do horário do dia e dia do ano (CABÚS, 2002).

2.4.3 Iluminância útil de luz natural

Ao iluminar um plano de trabalho, a luz natural pode apresentar uma grande variação tanto espacial quanto temporal. Como exemplo disso pode-se considerar que normalmente a iluminância próxima de uma janela diminui rapidamente ao se afastar dela. Assim também a iluminância em um determinado ponto pode variar drasticamente em função da posição solar bem como das condições do céu.

A utilização de previsões de iluminância da luz natural sob condições variáveis de céu e sol, com frequência horária ou menores intervalos de tempo, podem fornecer dados mais realistas do verdadeiro desempenho da luz natural em ambientes internos (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

Métodos que se utilizam um céu padrão encoberto como o fator de luz do dia não podem ser aplicados para condições realísticas, onde a contribuição da luz direta do sol leva a grandes diferenças entre níveis máximos e mínimos de luz do dia (NABIL; MARDALJEVIC, 2005).

Devido a essa grande diferença, qualquer método que busque medir realisticamente as variações de iluminâncias ocorridas em função da variação temporal deve abandonar a ideia

de uma iluminância padrão e lidar com uma faixa ideal de iluminância no plano de trabalho (NABIL; MARDALJEVIC, 2005).

Considerando que níveis de iluminância abaixo de um mínimo não contribuem significativamente para uma percepção espacial ou realização de tarefas, bem como níveis de iluminância acima de um máximo podem gerar desconforto tanto visual como térmico aos ocupantes de um espaço, Nabil e Mardaljevic (2005) propuseram o conceito de iluminância útil de luz natural (IULN) ou *Useful daylight Illuminance* (UDI) como uma nova proposta ao fator de luz do dia.

Assim, Nabil e Mardaljevic (2006) concluíram inicialmente que:

- Iluminâncias oriundas de fonte de luz natural menores que 100 lx são normalmente consideradas insuficientes como única fonte de luz bem como contribuir significativamente com a iluminação artificial;
- Iluminâncias oriundas de fonte de luz natural entre 100 lx e 500 lx podem ser consideradas eficazes como única fonte de luz, bem como contribuir para a iluminação artificial;
- Iluminâncias oriundas de fonte de luz natural entre 500 lx e 2.000 lx podem ser percebidas como desejáveis ou ao menos toleráveis;
- Iluminâncias oriundas de fonte de luz natural com valores superiores a 2.000 lx podem gerar desconforto visual, térmico, ou ainda ambos.

Com base nestes dados foi proposto que os valores de iluminância de luz natural entre 100 lx e 2.000 lx podem fornecer iluminação útil aos ocupantes do espaço (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

A utilização do IULN pode ser analisada sob duas modalidades: a primeira, utilizada para ambientes comuns e iluminados lateralmente por janelas, onde o IULN ótimo será alcançado quando todas as iluminâncias no plano de trabalho estiverem entre 100 lx e 2.000 lx, em todos os horários estudados. A segunda deve ser utilizada para grandes espaços, especialmente onde se tem uma grande profundidade, e para se atingir simultaneamente os valores entre 100 lx e 2.000 lx em todo o plano de trabalho não seja possível. Assim para estes casos deverá

ser utilizada uma malha de pontos e cada ponto ser estudado independentemente dos demais (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

Os valores para análise do IULN serão representados por um percentual do total de horas onde distribuídos em quatro faixas onde:

- Valores $E < 100$ lx, serão insuficientes;
- Valores E entre 100 lx e 500 lx, iluminação artificial complementar pode ser necessária;
- Valores E entre 500 lx e 2.000 lx, indicativo de que a iluminação natural é suficiente;
- Valores $E > 2.000$ lx, indicativo de excesso de luz natural.

Posteriormente, o valor máximo aceitável de 2.000 lx foi alterado para 3.000 lx (MARDALJEVIC et al., 2011; LO VERSO et al., 2014), por entender que o valor de 3.000 lx é aceitável, criando assim uma nova faixa de valores variando entre 100 lx a 3.000 lx.

2.4.4 Autonomia de luz natural

A Autonomia de luz natural (ALN) ou *Daylight autonomy* (DA) é definida como a porcentagem do ano em que um valor mínimo estabelecido de iluminância é atingido apenas pela luz natural e foi mencionada inicialmente por uma norma Suíça da Associação Suíça de Eletricistas em 1989 (REINHART et al., 2006).

Rogers (2006) cita dois métodos de para se determinar a autonomia de luz natural, ambos baseados no cálculo realizados para um intervalo horário, de hora a hora para todos os dias do ano. Estes métodos são:

- Método incremental: (ALN) o método contabiliza apenas quando a iluminância atinge os valores mínimos estabelecidos por um determinado tempo, em geral uma hora. Como exemplo, tem-se um ambiente que requer uma iluminância mínima de 300 lx no plano de

trabalho e receberá 100% de créditos para cada hora que atingir ou ultrapassar este valor. Quando o valor não for atingido, não receberá crédito algum.

- Método contínuo: (ALNcon) diferentemente do método incremental, o método contínuo considera valores abaixo do estabelecido como mínimo e desta forma, contabiliza percentuais para iluminâncias abaixo do mínimo. Como exemplo, tem-se um ambiente que requer uma iluminância mínima de 300 lx e receberá 50% de crédito para horas em que atingir 150 lx, ou ainda 33,3 % quando atingir 100 lx. Este método dá crédito para períodos onde alguma parte do ambiente não recebe luz natural suficiente, porém, considera a contribuição desta luz. Com o objetivo de quantificar a uniformidade da iluminação em um determinado plano de trabalho ou uma área crítica, Rogers (2006) sugere ainda a utilização de três níveis de medição:

- >40%: indicando qual a porcentagem do tempo uma área de 40% ou mais do plano de estudo é atingida pela iluminância desejada;

- >60%: indicando qual a porcentagem do tempo uma área de 60% ou mais do plano de estudo é atingida pela iluminância desejada;

- >80%: indicando qual a porcentagem do tempo uma área de 80% ou mais do plano de estudo é atingida pela iluminância desejada.

Como forma de padronizar os cálculos de ALN, Rogers (2006) indica que algumas variáveis devem ser observadas:

- Recorte temporal: é de suma importância determinar o recorte temporal que será utilizado para cálculo do ALN. Considerar o período noturno onde não há luz natural influenciará nos cálculos e fará com que os valores do ALN sejam reduzidos. Para ambientes em que a utilização é diurna, considerar apenas os horários de utilização é uma escolha mais sensata como forma de obter resultados melhores e mais confiáveis. Em ambientes onde a utilização é prioritariamente matutina ou vespertina, deve-se levar isso em conta e otimizar a utilização da luz natural para estes horários é a melhor solução, descartando assim os outros horários;

- Consideração espacial: escolher adequadamente um único ponto específico para o cálculo do ALN pode ser uma tarefa complicada. Tal ponto deve ser importante e representativo para ser usado para o cálculo de forma anualizada. Escolher um único ponto não permitirá saber como se dará a uniformidade da distribuição espacial da luz no ambiente, desta forma a escolha de múltiplos pontos formando uma malha sobre o plano de trabalho pode ser uma ótima saída;

- Iluminância desejada: o valor a ser escolhido inicialmente para o cálculo de ALN deve ser baseado no tipo de uso a ser considerado para o ambiente em questão. Ambientes para uso intensivo de computadores são melhores servidos por iluminâncias menores e mais uniformes se comparados a grandes ambientes comerciais, onde maiores iluminâncias são mais desejáveis. Usar alguma norma tipo IESNA, ISSO ou ABNT é um bom ponto de partida;

- Localização e clima: a última variável a ser considerada deve ser a localização (latitude e longitude) do projeto, bem como os dados climáticos de forma anualizada de tal localização.

Considerando a possibilidade de surgimento de ofuscamento, seja por luz solar direta ou pela condição de altos níveis de luz natural no ambiente, juntamente com a utilização do ALNcon um valor de máximo de autonomia de luz natural (ALNmax) deve ser adotado (REINHART et al., 2006). Como as condições de ofuscamento podem variar em função do ambiente, Rogers (2006) sugere para o cálculo do ALNmax o uso de uma malha de pontos representando o plano de trabalho e a utilização de dados climáticos do local. O valor do ALNmax será de dez vezes o ALNcon (ALNmax 3000 lx para um ALNcon 300 lx). Já Reinhart et al. (2006) indica que o ALNmax não deve ceder mais do que 5% do tempo, e aponta que a escolha do valor do ALNmax ser de dez vezes o valor do DA, baseia-se em intuição e não em pesquisas documentadas.

2.4.5 Uniformidade

Segundo a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013), a uniformidade (U) de iluminâncias no plano de trabalho é a razão entre o valor mínimo (E_{\min}) e o valor médio (E_m). Como forma de

se obter um maior conforto visual, a iluminância deve se alterar de forma gradual e o plano de trabalho deve ser iluminado o mais uniformemente possível. A uniformidade da iluminância na tarefa não deverá ser inferior a 0,7 (ABNT NBR ISO/CIE, 2013), ou 70 %. A uniformidade, quando analisada em uma malha de pontos, expressa a variação percentual da iluminância dos pontos em relação à média global (RIBEIRO; CABÚS, 2014).

3 METODOLOGIA

Para se alcançar os objetivos propostos neste trabalho, foi utilizado um *software* de simulação computacional que permitiu simulações dinâmicas, considerando-se as variações do tipo céu. Foram adotados parâmetros referentes à configuração do ambiente de estudo, bem como a escolha de valores de refletância a serem utilizados na prateleira de luz. Por fim, foi escolhido um método de análise que possibilitou o estudo da interferência desta refletância no desempenho da iluminação natural.

3.1 SOFTWARE ADOTADO

Os *softwares* para simulação de iluminação natural visam prever o total de iluminação natural em uma edificação seja sob condições específicas de céu, com simulações estáticas ou durante o ano todo com simulações dinâmicas (REINHART, 2010).

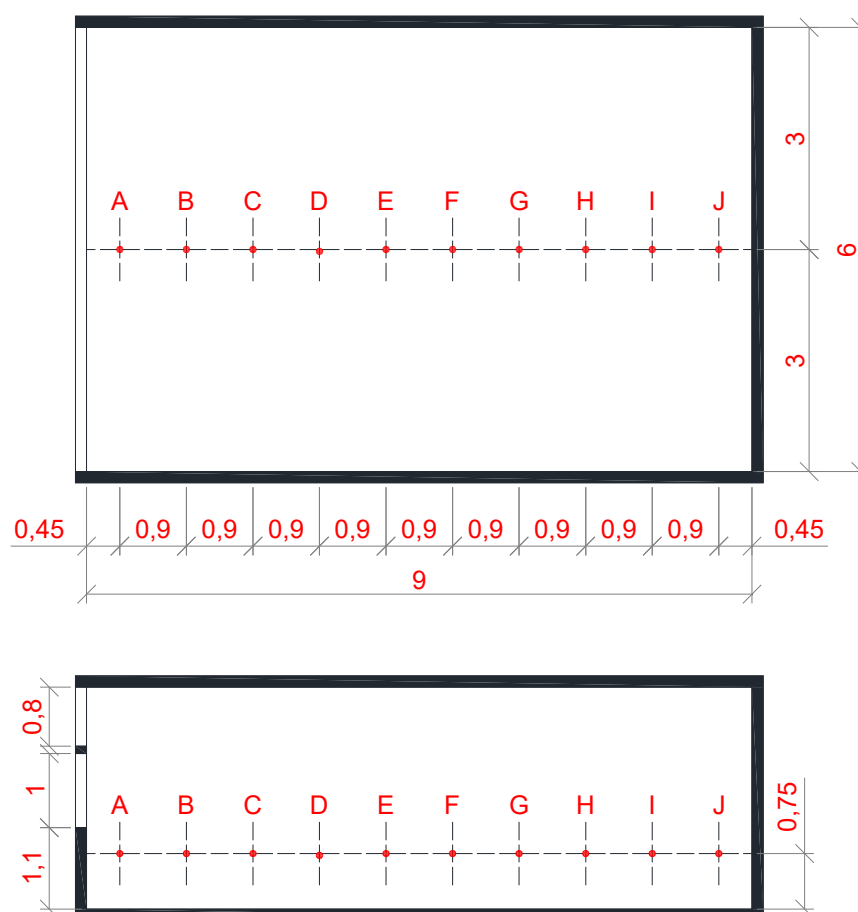
Como maneira de se estudar a performance da prateleira de luz sob o ponto de vista da característica do material de sua superfície, este trabalho fez uso do *software* de simulação computacional Troplux 7.3.3. O *software* baseia-se no método do raio traçado e no método Monte Carlo, simulando modelos tridimensionais, permitindo a utilização de geometria complexa, configuração pelo usuário do tipo de céu, além do cálculo de iluminância separando a contribuição solar e do céu em até doze componentes, em função da trajetória da luz entre a fonte e o alvo (CABÚS, 2005; CANDIDO et al., 2005).

3.2 CARACTERÍSTICAS E GEOMETRIA DO ESPAÇO DE ESTUDO

Para se analisar a influência da refletância do material da prateleira de luz na distribuição de iluminâncias, foram modeladas dez salas com as dimensões de 6 m de largura, 3 m de altura e 9 m de profundidade.

As salas foram divididas em dois tipos: o primeiro considerou uma sala (01) sem a utilização de prateleira de luz (Figura 28), que foi utilizada como modelo de referência.

Figura 28 - Sala referência, sem prateleira de luz



Fonte: elaborado pelo autor.

O segundo tipo teve nove modelos (salas 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09 e 10) com prateleira de luz (Figura 29). A superfície da prateleira de luz de cada uma das salas contou

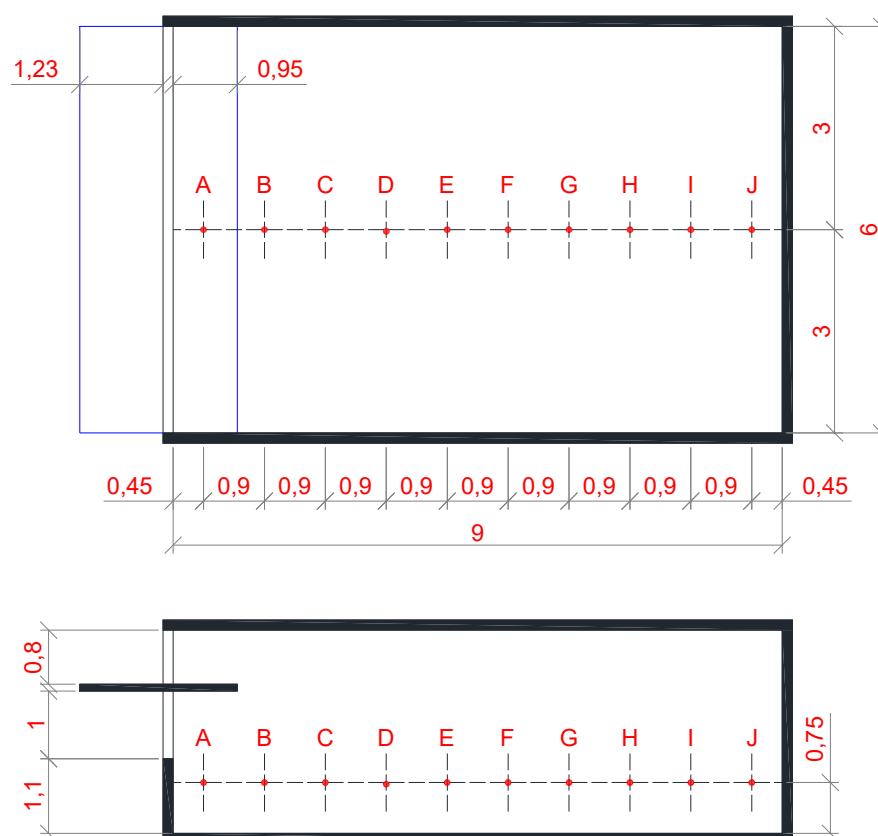
com uma combinação diferente de refletância, conforme Tabela 4, onde se alternou entre especular, difusa e mista, além de uma variação no nível total de refletância de 0,9, 0,7 e 0,5.

Tabela 4 – Refletâncias utilizadas nas prateleiras de luz

<i>Sala</i>	<i>01</i>	<i>02</i>	<i>03</i>	<i>04</i>	<i>05</i>	<i>06</i>	<i>07</i>	<i>08</i>	<i>09</i>	<i>10</i>
<i>Ref. Especular</i>	-	0,90	0,45	0,00	0,70	0,35	0,00	0,50	0,25	0,00
<i>Ref. Difusa</i>	-	0,00	0,45	0,90	0,00	0,35	0,70	0,00	0,25	0,50
<i>Refletância Total</i>	-	0,90	0,90	0,90	0,70	0,70	0,70	0,50	0,50	0,50

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 29 - Sala com prateleira de luz



Fonte: elaborado pelo autor

As salas foram configuradas com duas janelas direcionadas para o norte; assim, foi adotado azimute do eixo X igual a 180°, com utilização de vidro comum e caixilhos com mesma refletância das paredes.

Uma das janelas apresentou dimensões de 1 m de altura, 6 m de largura e 1,10 m de peitoril. A outra constituiu-se de uma janela alta, com 0,80 m de altura, 6 m de largura e posicionada a 2,20 m do solo. As prateleiras de luz tiveram espessura de 0,10 m, posicionadas entre as janelas e dimensionadas de acordo com a carta solar para a cidade de Maceió, visando evitar a incidência direta de luz solar no interior das salas em todos os dias do ano, entre o intervalo 8 h e 16 h e divididas em uma prateleira de luz interna com profundidade de 0,95 m e uma externa com profundidade de 1,23 m.

Para as refletâncias das superfícies de todas as salas foram adotados valores conforme a Tabela 5, disponíveis em Dornelles (2008).

Tabela 5 - Refletâncias a adotadas para as superfícies

<i>Superfícies</i>	<i>Cores</i>	<i>Refletâncias</i>
<i>Piso</i>	Tinta Suvinil Acrílica Fosca No. 53 (Concreto)	0,291
<i>Teto</i>	Tinta Suvinil Acrílica Fosca No. 50 (Branco Neve)	0,924
<i>Paredes Internas</i>	Tinta Suvinil Acrílica Fosca No. 51 (Branco Gelo)	0,732
<i>Paredes Externas</i>	Tinta Suvinil Acrílica Fosca No. 51 (Branco Gelo)	0,732
<i>Moldura da Janela</i>	Tinta Suvinil Acrílica Fosca No. 51 (Branco Gelo)	0,732
<i>Solo</i>	Padrão TropLux	0,200

Fonte: adaptado de Dornelles (2008).

Assim como em trabalhos realizados por Cândido et al. (2005), Araujo et al. (2005), Ramos e Ghisi (2009), Freewan et al. (2009), para a análise dos resultados foi utilizada a medição de pontos distribuídos linearmente no centro do ambiente (Figura 29). Dez pontos foram dispostos visando avaliar a contribuição da prateleira de luz de acordo com as características do material que compõem sua superfície na uniformização das iluminâncias do ambiente de estudo a partir do distanciamento da janela. Os pontos foram posicionados conforme Tabela 6, onde o primeiro ponto (A) foi distanciado 0,45 m em relação à janela, o segundo ponto (B) foi distanciado 1,35 m em relação à janela, o terceiro ponto (C) foi distanciado 2,25 m em relação à janela, o quarto ponto (D) foi distanciado 3,15 m em relação

à janela, o quinto ponto (E) foi distanciados 4,05 m em relação à janela, o sexto ponto (F) foi distanciados 4,95 m em relação à janela, o sétimo ponto (G) foi distanciados 5,85 m em relação à janela, o oitavo ponto (H) foi distanciados 6,75 m em relação à janela, o nono ponto (I) foi distanciados 7,65 m em relação à janela e o décimo ponto (J) foi distanciados 8,55 m em relação à janela.

Tabela 6 - Distribuição dos pontos

<i>Ponto</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>J</i>
<i>Dist. da janela</i>	0,45	1,35	2,25	3,15	4,05	4,95	5,85	6,75	7,65	8,55

Fonte: elaborado pelo autor.

Os pontos foram localizados num plano imaginário referente ao plano de trabalho localizado a 0,75 m de altura em relação ao piso da sala.

Foi utilizado o céu dinâmico para a cidade de Maceió, simulando todos os dias do ano e considerando o horário solar das 8 h às 16 h, com o método de cálculo da iluminância horizontal difusa da IES (Illuminating Engineering Society).

Para se estudar a eficiência do dispositivo prateleira de luz, sob o aspecto da característica do material de sua superfície e como isso interfere na capacidade de promover a uniformização de iluminâncias, foram adotados os seguintes procedimentos:

- 1) Para cada uma das salas foi calculada individualmente a perda de iluminância a partir da avaliação da uniformidade em relação a profundidade. Para tanto, utilizou-se a equação 1:

$$P.A. \% = \frac{E_{Px} - E_{P1}}{E_{P1}} \times 100\% \quad (1)$$

Onde: **P.A. %** = taxa de redução de iluminância entre dois pontos para uma sala S.

E_{P1} = iluminância no ponto PA.

E_{Px} = iluminância no ponto Px.

- 2) Para cada uma das salas foi calculada a uniformidade de distribuição de iluminâncias. Para isso, o parâmetro adotado foi a uniformidade proposta na ABNT NBR ISO/CIE (2013), representada pela equação 2:

$$U = \frac{E_{min}}{E_m} \times 100\% \quad (2)$$

O valor da uniformidade foi gerado automaticamente pelo TropLux, utilizando os dados dos pontos simulados.

- 3) Foi feito o cálculo da iluminância relativa em cada ponto e verificadas as diferenças entre as salas com mesmo valor total de refletância (0,9, 0,7 e 0,5) e as salas com o mesmo tipo de refletância (difusa, especular e mista). Para esta etapa foi empregada a equação 3:

$$EL = \frac{TRE^{Sx} - TRE^{S1}}{TRE^{S1}} \quad (3)$$

Onde: **EL**= iluminância relativa ao ponto avaliado;
TRE^{S1}= taxa de redução de iluminância pela profundidade na sala referência;
TRE^{Sx}= taxa de redução de iluminância pela profundidade na sala X.

Os dados obtidos foram apresentados na forma de gráficos e tabelas e analisados comparando-se os resultados.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

Inicialmente este capítulo apresenta a análise dos dados obtidos através das simulações computacionais para cada uma das dez salas estudadas, seguindo para as comparações entre as salas que apresentam como características comuns o mesmo tipo de material nas superfícies da prateleira de luz, agrupadas por especular, misto e difuso. Por fim, são mostradas as comparações feitas entre as salas que apresentam o mesmo fator de refletância de 0,5, 0,7 e 0,9.

Sala 01 - Modelo sem prateleira de luz

A simulação feita na sala 01, realizada como sala referência, demonstrou altos valores médios anuais de iluminância para cada um dos pontos estudados. A tabela 7 apresenta os valores de iluminância média anual para cada um dos pontos estudados, a perda de iluminância em função da profundidade em relação ao ponto A e a uniformidade (U), obtido automaticamente através do Troplux.

Tabela 7 - Valores de iluminância média anual para sala 01

Sala	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<i>E med.</i>	15270	7957	4321	3245	2500	1882	1502	1304	1245	1209
<i>P. A %</i>	100,0%	52,1%	28,3%	21,3%	16,4%	12,3%	9,8%	8,5%	8,2%	7,9%
<i>U</i>	29,9%									

Fonte: elaborado pelo autor.

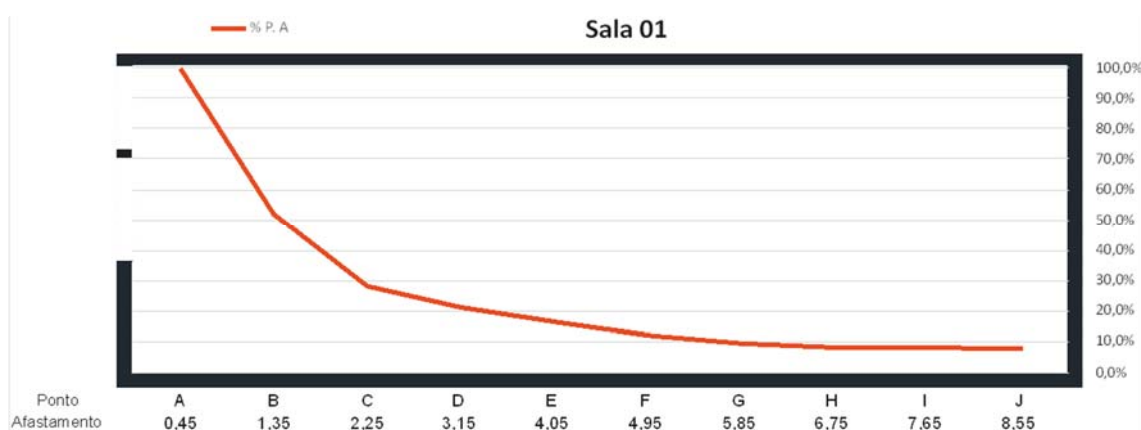
Devido à orientação das aberturas para o norte e à falta de protetor solar, a incidência direta de luz solar no plano de trabalho fez com que no ponto A, próximo a janela, atingisse a média anual de iluminância superior a 15.000 lx, o que demonstra ser excessivo do ponto de vista do conforto luminoso, como afirma Nabil e Mardaljevic (2005), além de contribuir para o ganho de calor, podendo gerar desconforto térmico. O ponto B distante 0,9 m do ponto A, apresentando média anual um pouco inferior a 8.000 lx, 52 % da iluminância média do ponto A.

No ponto C não se observou mais a incidência de luz solar direta, porém, a iluminância média anual de 4.321 lx, que representou 28,3 % da iluminância média do ponto A ainda é excessiva, assim como nos pontos A e B.

Entre os pontos A e C encontrou-se a maior variação de iluminâncias médias entre pontos próximos. Entre o ponto A e B foi verificada uma redução de 47,9 % e entre o ponto B e o ponto C a redução foi de 45,7 %. Entre os pontos C e G, a perda de iluminância em função da profundidade da sala foi mais uniforme, variando entre 25 % e 20 % entre cada um dos pontos. A redução de iluminância média entre o ponto A e o ponto J, mais distante da janela, foi de aproximadamente doze vezes. Entre o ponto A e o ponto C ocorreu uma redução de mais de 61 % e a partir do ponto D esta redução se mostrou mais gradativa, como pode ser observado na Figura 30, que apresenta a redução de iluminâncias de cada ponto em relação ao ponto A e a redução relativa entre cada ponto e o anterior.

Devido à grande variação nos valores de iluminância média anual entre os pontos, a sala de referência apresentou uma uniformidade de 29,9 %, valor este muito abaixo dos 70 % recomendado por norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013).

Figura 30 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 01



Fonte: elaborado pelo autor.

Sala 02

Os dados obtidos da simulação da sala 02 demonstram que a prateleira de luz com refletância especular de 0,9 reduziu de forma significativa a iluminância média dos pontos mais próximos à janela (Tabela 8), em comparação a sala de referência 01.

Tabela 8 - Valores de iluminância média anual para sala 02

<i>Sala</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>J</i>
<i>E med.</i>	2794	4609	4174	3209	2480	1875	1489	1273	1158	1154
<i>P. A %</i>	100,0%	165,0%	149,4%	114,9%	88,8%	67,1%	53,3%	45,6%	41,4%	41,3%
<i>U</i>	47,7%									

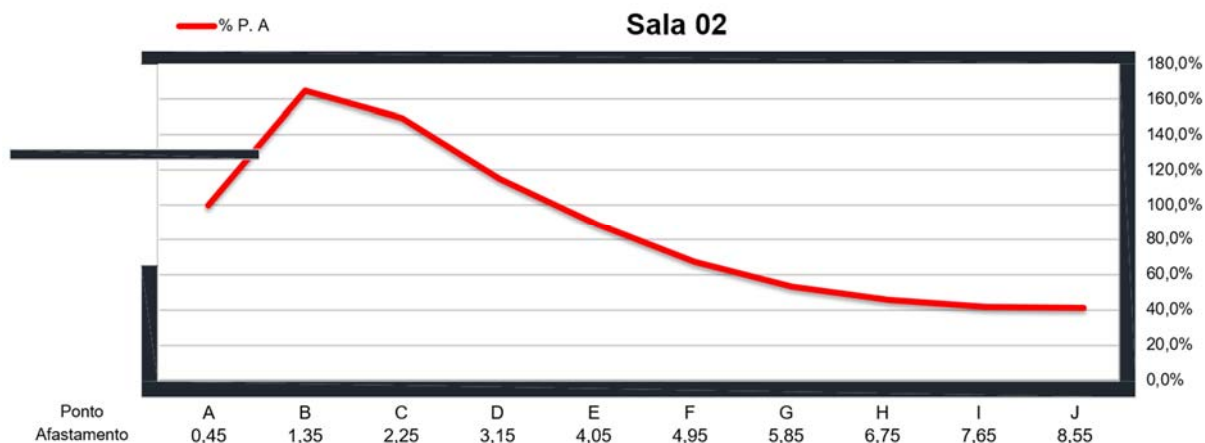
Fonte: elaborado pelo autor.

Em função do bloqueio de uma parcela do céu visível e da luz solar direta no plano de trabalho proporcionado pela prateleira de luz, o ponto A apresenta uma iluminância média um pouco inferior a 2.800 lx. Os pontos B, C, e D (Figura 31) mesmo estando mais afastados das aberturas, apresentam valores de iluminância superiores ao ponto A, pelo fato de receberem uma parcela maior de luz proveniente do céu. Os valores de iluminância obtidos nestes pontos pode gerar desconforto, pois segundo Pereira (2000) iluminâncias até 1.000 lx aumentam o rendimento visual enquanto a fadiga visual decresce. A partir deste ponto até 2.000 lx a um discreto aumento no rendimento visual com um acréscimo na fadiga. Acima dos 2.000 lx o rendimento visual tende a permanecer constante com um aumento da fadiga.

O ponto E localizado quase no meio da sala, apresenta valores de iluminância média próximos ao ponto A, com uma perda de apenas 7,2 %.

A maior diferença entre iluminâncias médias anuais ocorre entre o ponto B, com 4.609 lx e o ponto J, distanciado 7,2 m com 1.154 lx, uma variação de 3.455 lx. Que representa redução de aproximadamente 75% na iluminância média entre os dois pontos. Após a ponto C a redução de iluminância média entre cada ponto acontece de forma gradativa (Figura 31). Entre os pontos I e J a diferença é de apenas 4 lx, diferença que não pode ser notada visualmente.

Figura 31 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 02



Fonte: elaborado pelo autor.

Com a redução de iluminâncias proporcionada pelo uso da prateleira de luz, a uniformidade dos pontos estudados na sala 02 é de 47,7 %, uma diferença de 59,5 % em relação a sala de referencia 01, porém ainda abaixo dos 70 % indicados pela norma.

Sala 03

Os dados obtidos a partir da simulação da sala 03, demonstram que a prateleira de luz com refletância total de 0,9, divididas entre especular com 0,45 e difusa com 0,45, assim como na sala 02, reduziu de forma significativa a iluminância média dos pontos mais próximos à janela (Tabela 9), em comparação a sala 01.

Tabela 9 - Valores de iluminância média anual para sala 03

Sala	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<i>E med.</i>	2686	4126	3882	3147	2377	1766	1403	1235	1146	1118
<i>P. A %</i>	100,0%	153,6%	144,5%	117,2%	88,5%	65,7%	52,2%	46,0%	42,7%	41,6%
<i>U</i>	48,9%									

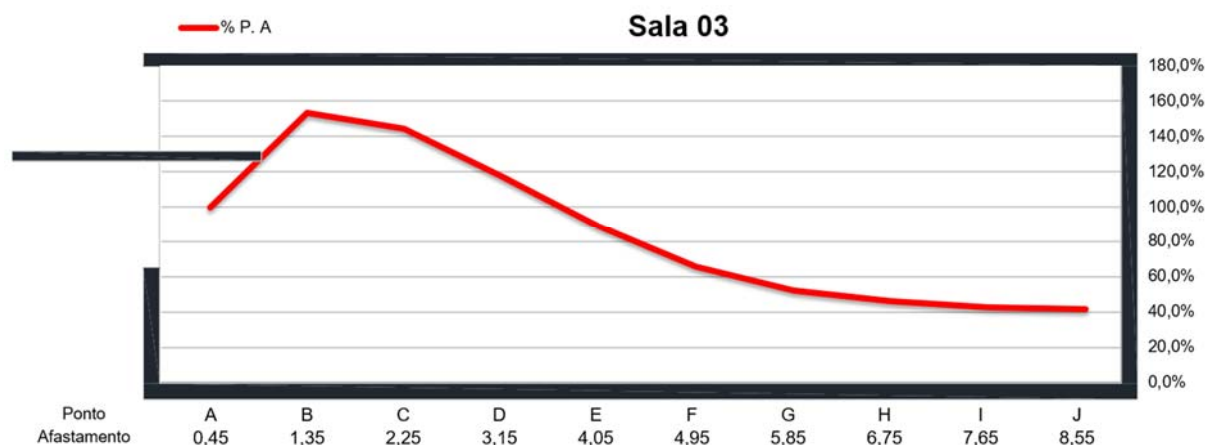
Fonte: elaborado pelo autor.

Devido à existência da prateleira de luz, o ponto A apresenta valores médios de iluminância abaixo de 2.700 lx, inferiores aos pontos B, C e D, que apresentam valores médios entre 4.126 lx e 3.147 lx. Os pontos compreendidos entre E e G apresentam iluminâncias médias entre 2.377 lx e 1.118 lx (Tabela 9). Os pontos H, I e J, próximos ao fundo da sala

apresentam valores médios de iluminância abaixo dos 1.000 lx e com uma variação inferior a 9 % entre eles.

Com a redução de iluminâncias proporcionada pelo uso da prateleira de luz, a uniformidade na sala 03 é de 48,9 %.

Figura 32 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 03



Fonte: elaborado pelo autor.

Sala 04

Os dados obtidos com a simulação da sala 04 demonstram que a sala com a prateleira de luz com refletância totalmente difusa de 0,9, assim como na sala 02 e 03 apresentou uma redução significativa da iluminância média dos pontos mais próximos à janela (Tabela 10). A diferença de iluminância média entre o ponto A e o ponto B é de aproximadamente 51 %, a maior diferença entre pontos próximos de toda a sala.

Tabela 10 - Valores de iluminância média anual para sala 04

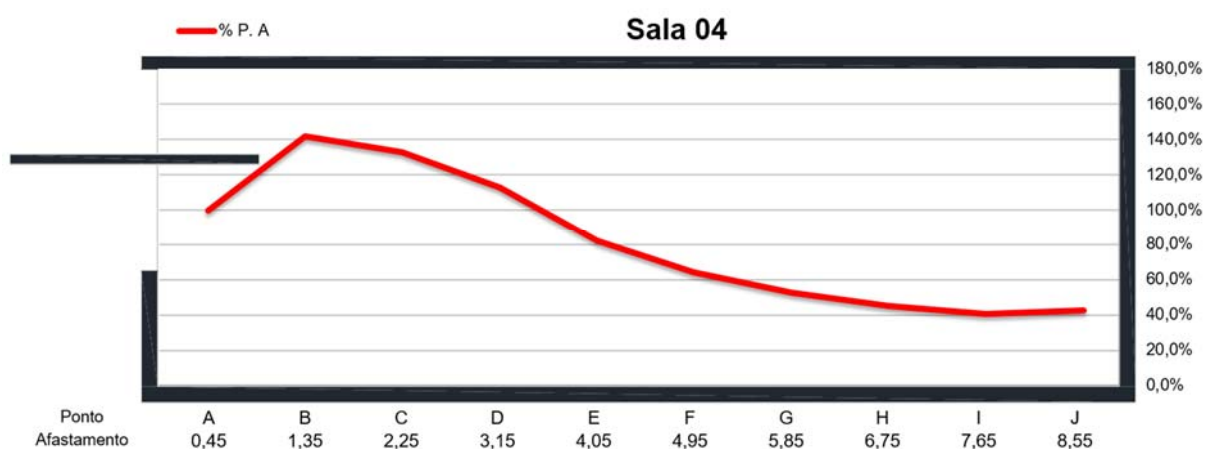
Sala	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<i>E med.</i>	2685	3814	3566	3035	2210	1728	1414	1207	1093	1140
<i>P. A %</i>	100,0%	142,0%	132,8%	113,0%	82,3%	64,4%	52,7%	45,0%	40,7%	42,5%
<i>U</i>	49,9%									

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir do ponto E até o ponto J a redução se dá de forma mais uniforme (Figura 33). Entre os pontos I e J existe um aumento da iluminância média anual, onde o ponto J apresenta um valor de quase 6 % superior ao ponto I, indicando que o ponto J recebe uma contribuição da luz refletida na parede próxima, ao fundo da sala.

Com a redução de iluminâncias proporcionada pelo uso da prateleira de luz, a uniformidade sala 04 é de 49,9 %.

Figura 33 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 04



Fonte: elaborado pelo autor.

Sala 05

Os dados obtidos a partir da simulação da sala 05 demonstram que a prateleira de luz, devido à sua refletância totalmente especular de 0,7, proporciona no ponto A uma iluminância média de 2.123 lx, valor aproximadamente 72 % inferior à registrada no ponto B, esta variação apresenta ser a maior entre pontos próximos. Isso se deve ao fato de a prateleira de luz obstruir uma grande parcela do céu visível no ponto A (Tabela 11). Todos os pontos entre A e E apresentam valores médios anuais acima dos 2.000 lx, o que apresenta ser ainda excessivo.

A maior diferença de iluminâncias médias encontra-se entre o ponto B e o ponto I, onde a diferença é de 2.631 lx. Assim como na sala 04 o ponto J apresenta um aumento da iluminância média anual em relação ao ponto I, em função da proximidade da parede do fundo da sala.

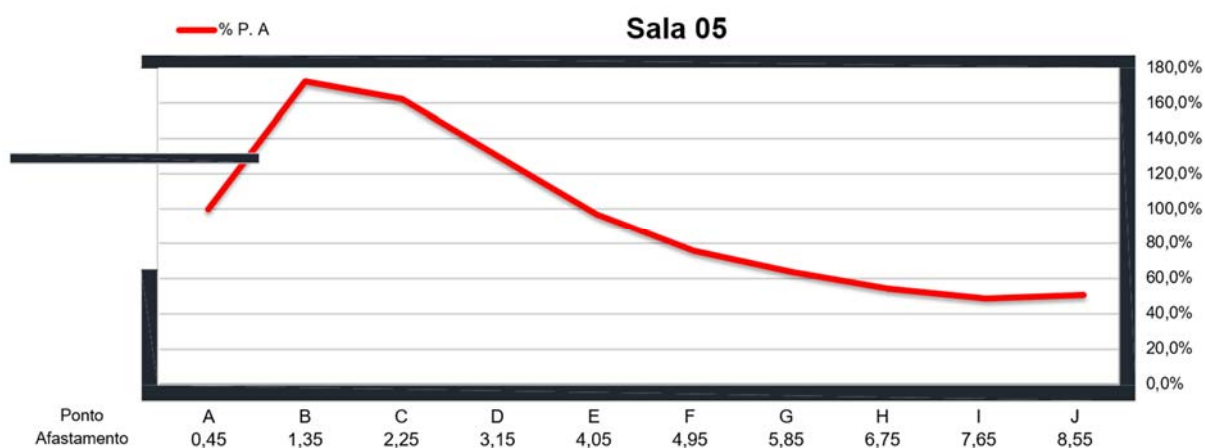
Tabela 11 - Valores de iluminância média anual para sala 05

Sala	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<i>E med.</i>	2123	3664	3446	2747	2051	1605	1350	1148	1033	1072
<i>P. A %</i>	100,0%	172,6%	162,3%	129,4%	96,6%	75,6%	63,6%	54,1%	48,7%	50,5%
<i>U</i>	51,1%									

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir do ponto C a redução de iluminâncias relativa é mais uniforme até o fundo da sala como pode ser visto na Figura 34.

Figura 34 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 05



Fonte: elaborado pelo autor.

Com a redução de iluminâncias proporcionada pelo uso da prateleira de luz, a uniformidade da sala 05 é de 51,1 %.

Sala 06

Os dados obtidos a partir da simulação da sala 06 demonstram que a prateleira de luz, com superfície mista de 0,7 (sendo 0,35 especular e 0,35 difusa), apresenta no ponto A uma iluminância média de 2.126 lx, valor 59,1 % inferior à registrada no ponto B. Esta diferença se apresenta como a maior entre pontos próximos. Entre os pontos B e C observamos uma iluminância média com diferença de apenas 4,8 % (Tabela 12). O ponto D assim como os

anteriores apresenta um valor de iluminância média superior a 2.500 lx, valor superior ao ponto A.

Tabela 12 - Valores de iluminância média anual para sala 06

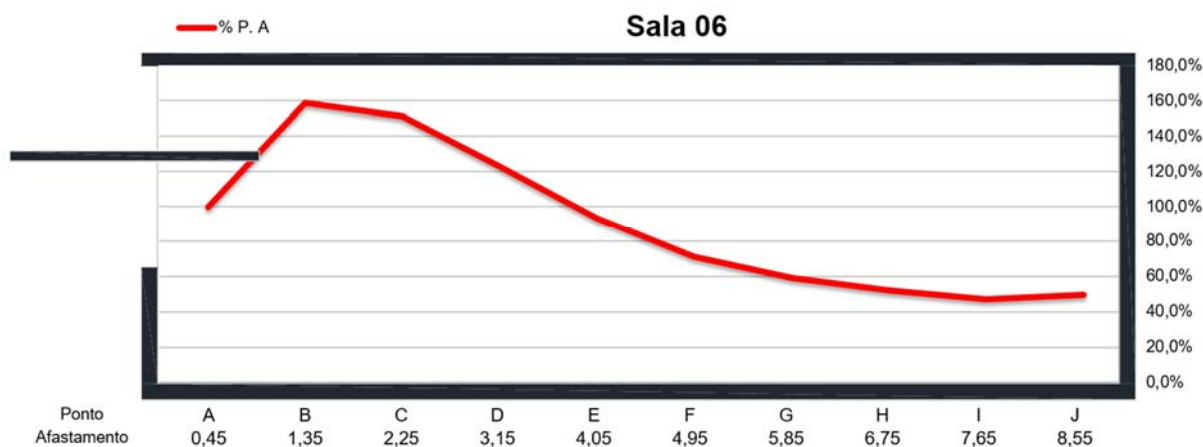
Sala	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<i>E med.</i>	2126	3383	3221	2613	1977	1512	1254	1110	998	1055
<i>P. A %</i>	100,0%	159,1%	151,5%	122,9%	93,0%	71,1%	59,0%	52,2%	46,9%	49,6%
<i>U</i>	51,9%									

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir do ponto E as iluminâncias médias ficam entre 2.000 lx e 1.000 lx

A partir do ponto C a perda de iluminâncias relativa é mais uniforme até o fundo da sala como pode ser visto na Figura 35.

Figura 35 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 06



Fonte: elaborado pelo autor.

Com a redução de iluminâncias proporcionada pelo uso da prateleira de luz, a uniformidade da sala 06 é de 51,9 %.

Sala 07

A partir dos dados da simulação para a sala 07 que tem a superfície da prateleira de luz totalmente difusa com refletância de 0,7 obtemos no ponto A uma iluminância média anual

de 2.190 lx, o ponto B apresenta uma iluminância 42,4 % superior com 3.032 lx, esta diferença é a maior encontrada entre dois pontos próximos para toda a sala. Os pontos C e D também apresentam valores superiores ao ponto A (Tabela 13), com 2.856 lx e 2.375 lx respectivamente. A partir do ponto E até o ponto J no final da sala a iluminância média fica entre 2.000 lx e 1.000 lx.

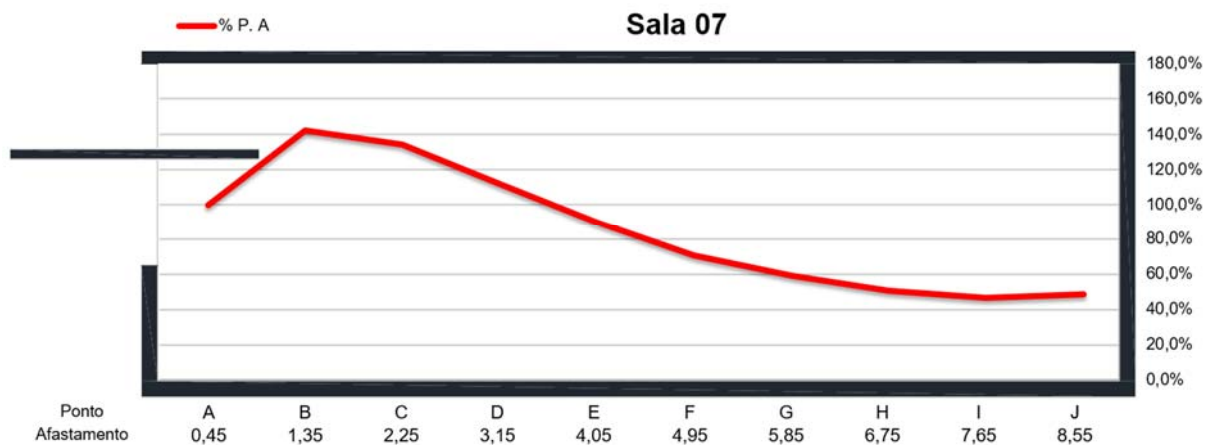
Tabela 13 - Valores de iluminância média anual para sala 07

Sala	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<i>E med.</i>	2129	3032	2856	2375	1915	1507	1257	1075	994	1030
<i>P. A %</i>	100,0%	142,4%	134,1%	111,6%	89,9%	70,8%	59,0%	50,5%	46,7%	48,4%
<i>U</i>	54,7%									

Fonte: elaborado pelo autor.

O ponto J embora mais distante das aberturas apresenta uma iluminância média anual superior ao ponto I, isso se deve a contribuição da luz refletida na parede ao fundo da sala que tem um índice de refletância de 0,732.

Figura 36 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 07



Fonte: elaborado pelo autor.

Com a redução de iluminâncias proporcionada pelo uso da prateleira de luz, a uniformidade da sala 07 é de 54,7 %.

Sala 08

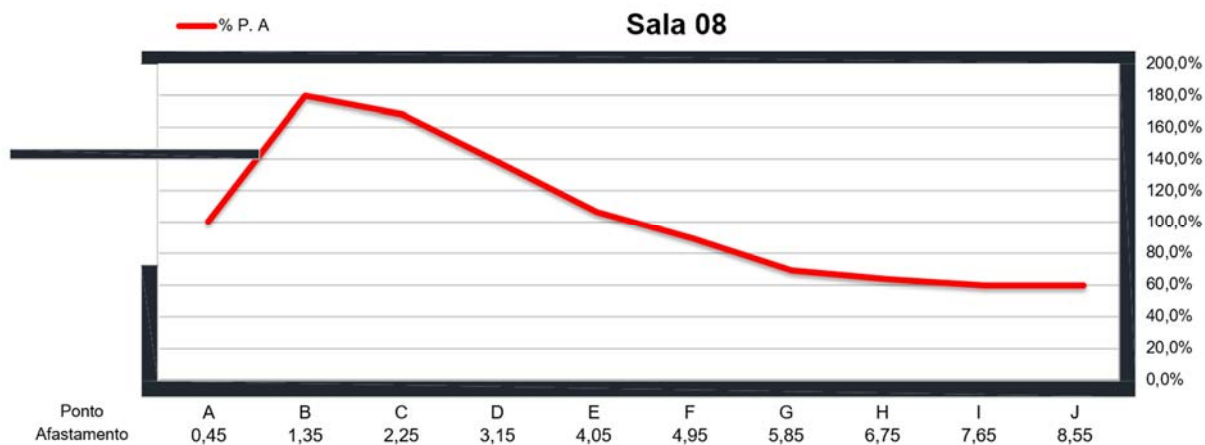
A partir dos dados da simulação para a sala 08 que tem a superfície da prateleira de luz totalmente especular com refletância de 0,5 obtemos no ponto A uma iluminância média anual de 1.594 lx, o ponto B apresenta uma iluminância 80,1 % superior com 2.871 lx, esta diferença é a maior encontrada entre dois pontos próximos para toda a sala. Os pontos C, D e E, também apresentam valores superiores ao ponto A (Tabela 14), com 2.679 lx, 2.197 lx e 1.696 lx respectivamente. A partir do ponto F até o ponto J no final da sala a iluminância média fica entre abaixo dos 1.500 lx, com um mínimo de 949 lx no ponto I.

Tabela 14 - Valores de iluminância média anual para sala 08

<i>Sala</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>J</i>
<i>E med.</i>	1594	2871	2679	2197	1696	1419	1100	1011	949	953
<i>P. A %</i>	100,0%	180,1%	168,1%	137,8%	106,4%	89,0%	69,0%	63,4%	59,5%	59,8%
<i>U</i>	57,7%									

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 37 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 08



Fonte: elaborado pelo autor.

Com a redução de iluminâncias proporcionada pelo uso da prateleira de luz, a uniformidade da sala 08 é de 57,7 %.

Sala 09

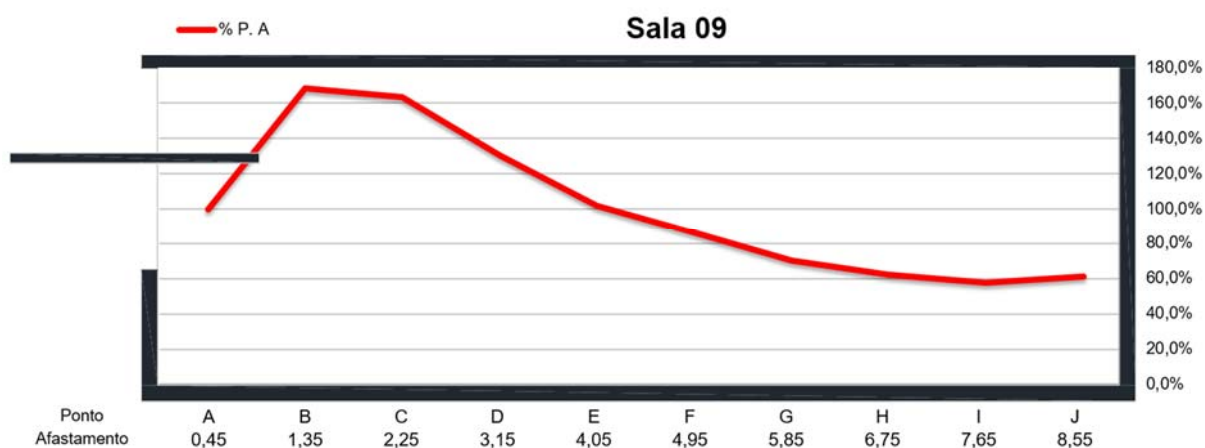
A partir dos dados da simulação para a sala 09 que tem a superfície da prateleira de luz mista com refletância de 0,5 (sendo 0,25 especular e 0,25 difusa), obtemos no ponto A uma iluminância média anual de 1.572 lx, o ponto B apresenta uma iluminância 68,6 % superior com 2.651 lx, esta diferença é a maior encontrada entre dois pontos próximos para toda a sala. Os pontos C, D e E, também apresentam valores superiores ao ponto A (Tabela 15), com 2.671 lx, 2.047 lx e 1.601 lx respectivamente. A partir do ponto F até o ponto J no final da sala a iluminância média fica entre abaixo dos 1.400 lx, com um mínimo de 909 lx no ponto I.

Tabela 15 - Valores de iluminância média anual para sala 09

Sala	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<i>E med.</i>	1572	2651	2571	2047	1601	1355	1103	979	909	960
<i>P. A %</i>	100,0%	168,6%	163,5%	130,2%	101,8%	86,2%	70,2%	62,3%	57,8%	61,1%
<i>U</i>	58,7%									

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 38 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 09



Fonte: elaborado pelo autor.

Com a redução de iluminâncias proporcionada pelo uso da prateleira de luz, a uniformidade da sala 09 é de 58,7 %.

Sala 10

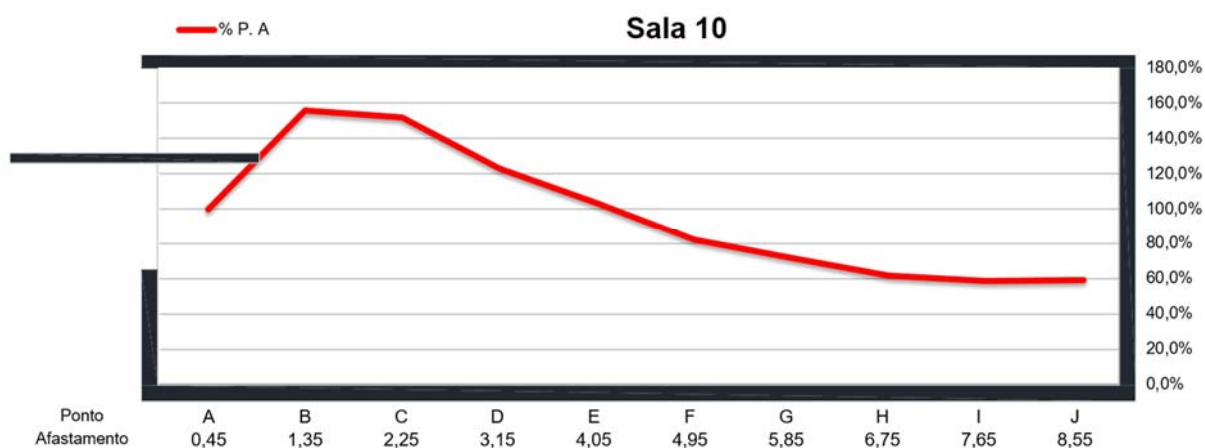
A partir dos dados da simulação para a sala 10 que tem a superfície da prateleira de luz totalmente difusa com refletância de 0,5, obtemos no ponto A uma iluminância média anual de 1.567 lx, o ponto B apresenta uma iluminância média anual 55,8 % superior, com 2.442 lx, esta diferença é a maior encontrada entre dois pontos próximos para toda a sala. Os pontos C, D e E, também apresentam valores superiores ao ponto A (Tabela 16), com 2.381 lx, 1.924 lx e 1.620 lx respectivamente. A partir do ponto F até o ponto J no final da sala a iluminância média fica entre abaixo dos 1.300 lx, com um mínimo de 915 lx no ponto I.

Tabela 16 - Valores de iluminância média anual para sala 10

Sala	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<i>E med.</i>	1567	2442	2381	1924	1620	1291	1125	963	915	928
<i>P. A %</i>	100,0%	155,8%	151,9%	122,8%	103,4%	82,4%	71,8%	61,5%	58,4%	59,2%
<i>U</i>	60,4%									

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 39 - Gráfico da perda de iluminâncias relativas ao Ponto A – Sala 10



Fonte: elaborado pelo autor.

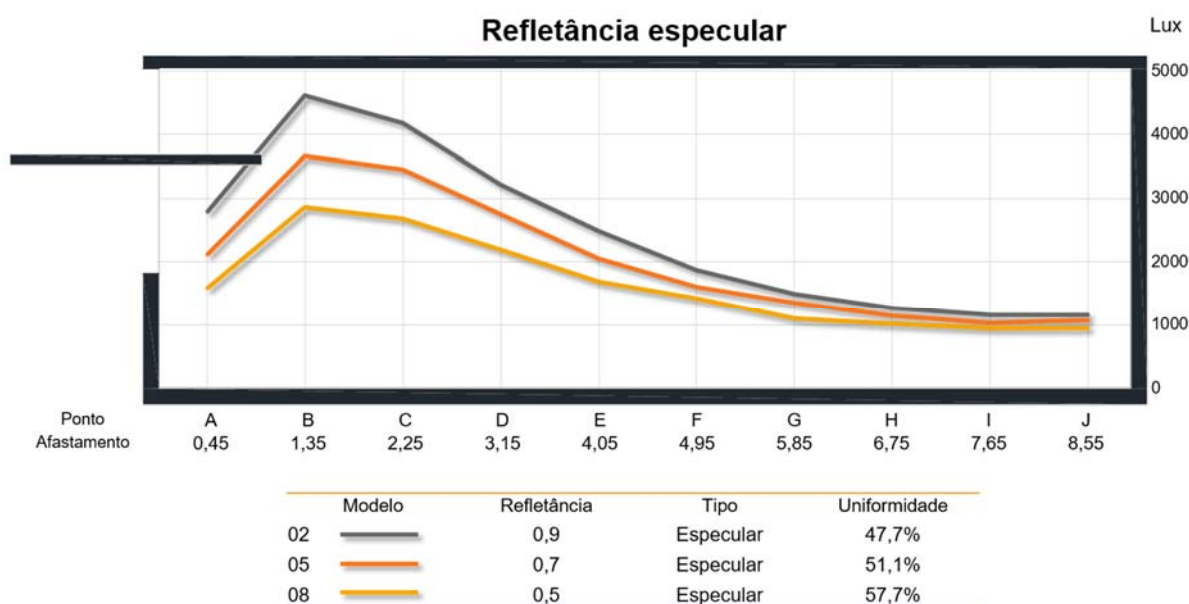
Com a redução de iluminâncias proporcionada pelo uso da prateleira de luz, a uniformidade da sala 10 é de 60,4 %.

Salas com refletância especular

Nas salas 02, 05 e 08 as superfícies da prateleira de luz tem como característica comum a refletância especular. Sendo para a sala 02 o coeficiente de refletância é 0,9, para sala 05 é 0,7 e para a sala 08 é 0,5, uma redução de 0,2 entre cada uma das salas.

Comparando a iluminância média anual nos pontos estudados em cada uma das salas é possível observar que com a redução do coeficiente de 0,9 (sala 02) para 0,7 (sala 05) e de 0,7 para 0,5 (sala 08), obtemos também uma redução das iluminâncias, porém esta redução não é uniforme para cada ponto (Figura 40).

Figura 40 - Gráfico de iluminâncias para prateleira de luz com superfície especular



Fonte: elaborado pelo autor.

Reduzindo a refletância da prateleira de luz de 0,9 (sala 02) para 0,7 (sala 05) temos também uma redução das iluminâncias médias. A variação é maior nos pontos próximos a janela onde a redução chega a 24%. Os pontos mais distantes das aberturas mostram-se menos afetados pela redução do coeficiente.

Reduzindo a refletância da prateleira de luz de 0,7 (sala 05) para 0,5 (sala 08) a redução das iluminâncias médias é percentualmente maior que o observado na redução da refletância de 0,9 (sala 02) para 0,7 (sala 05). Entre os pontos A e D a redução fica entre 25 % e 20 %. A partir do ponto E a redução é menor entre 18,5 % e 8,1 % (Tabela 17).

Tabela 17 - Iluminância média nas salas com uso de prateleira de luz com refletância especular

Sala	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
02	2794	4609	4174	3209	2480	1875	1489	1273	1158	1154
EL	-24,0%	-20,5%	-17,4%	-14,4%	-17,3%	-14,4%	-9,3%	-9,8%	-10,8%	-7,1%
05	2123	3664	3446	2747	2051	1605	1350	1148	1033	1072
EL	-24,9%	-21,6%	-22,3%	-20,0%	-17,3%	-11,6%	-18,5%	-11,9%	-8,1%	-11,1%
08	1594	2871	2679	2197	1696	1419	1100	1011	949	953

Fonte: elaborado pelo autor.

A redução da refletância da superfície da prateleira de luz totalmente especular, promove uma redução das iluminâncias médias principalmente nos pontos mais próximos as aberturas. Esta redução permite uma maior uniformidade nos pontos estudados, onde para sala 02 com índice de refletância de 0,9 temos uma uniformidade de 47,7 %, para a sala 05 com índice de refletância de 0,7 temos uma uniformidade de 51,1 % e para sala 08 que tem um índice de refletância de 0,5 a uniformidade é de 57,7 %. Embora nenhuma das salas tenha atingido a uniformidade de 70 % recomendado pela norma, a sala com menor índice de refletância obteve a melhor uniformidade.

Salas com refletância mista

Nas salas 03, 06 e 09 as superfícies da prateleira de luz tem como característica comum a refletância mista. Sendo para a sala 03 o coeficiente de refletância é 0,9 (0,45 especular e 0,45 difusa), para sala 06 é 0,7 (0,35 especular e 0,35 difusa) e para a sala 09 o coeficiente é 0,5, (0,25 especular e 0,25 difusa) uma redução de 0,2 entre cada uma das salas.

Com a redução da refletância de 0,9 (sala 03) para 0,7 (sala 06) é possível observar uma redução na iluminância média anual para cada um dos pontos estudados. No ponto A, o mais próximo a janela, obtemos uma redução de 20,8 %, no ponto B a diferença é de 18 %, os pontos C e D apresentam uma mesma redução de 17 %, no ponto E a redução é semelhante aos dois pontos anteriores com 16,8 %, o ponto F reduz 14,4 %, os pontos G e H apresentam redução semelhantes com 10,6 % e 10,1 % respectivamente, já o ponto I a redução é maior que nos pontos anteriores com 12,9 % e finalmente o ponto J tem um valor 5,6 % menor em comparação que o mesmo ponto da sala 03.

Com a redução da refletância da prateleira de luz de 0,7 (sala 06) para 0,5 (sala 09), observamos um comportamento um pouco diferente que o comparativo anterior e as iluminâncias médias dos pontos estudados tem uma redução entre 26,1 % e 8,9 %. Entre o ponto A e o ponto D a variação em cada um dos pontos fica acima dos 20 %, o ponto E tem uma redução de 19 % e os pontos a partir do F tem uma redução não maior que 12 % (Tabela 18).

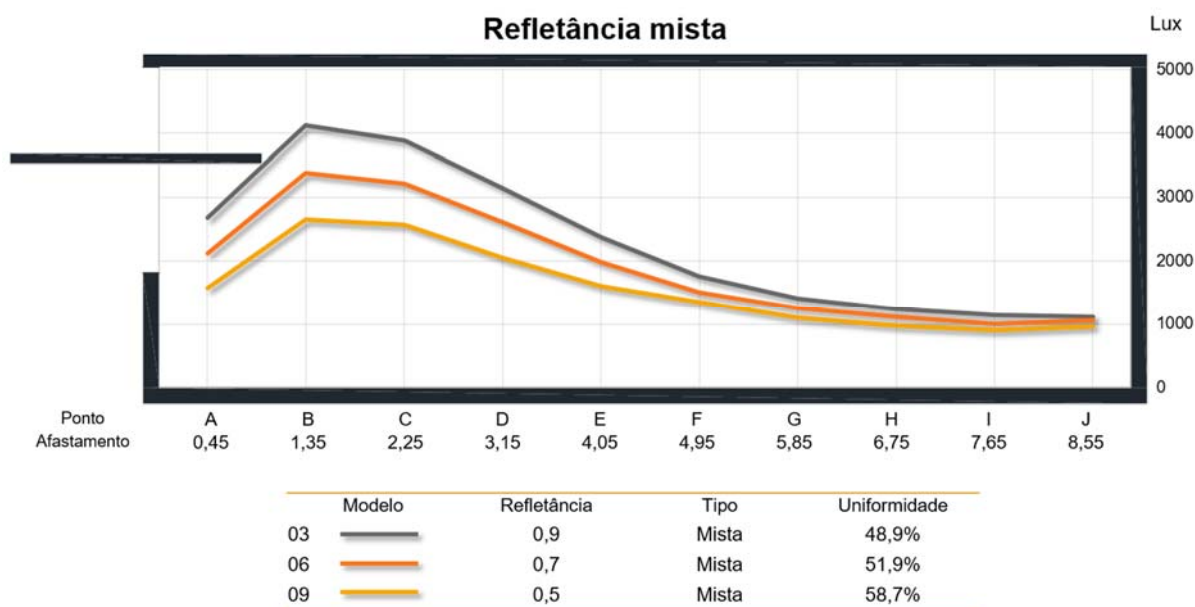
Tabela 18 - Iluminância média nas salas com uso de prateleira de luz com refletância mista

<i>Sala</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>J</i>
<i>03</i>	2686	4126	3882	3147	2377	1766	1403	1235	1146	1118
<i>EL</i>	-20,8%	-18,0%	-17,0%	-17,0%	-16,8%	-14,4%	-10,6%	-10,1%	-12,9%	-5,6%
<i>06</i>	2126	3383	3221	2613	1977	1512	1254	1110	998	1055
<i>EL</i>	-26,1%	-21,6%	-20,2%	-21,7%	-19,0%	-10,4%	-12,0%	-11,8%	-8,9%	-9,0%
<i>09</i>	1572	2651	2571	2047	1601	1355	1103	979	909	960

Fonte: elaborado pelo autor.

A redução da refletância da superfície da prateleira de luz mista, promove uma redução de iluminâncias principalmente nos pontos mais próximos as aberturas. Devido à grande disponibilidade de luz natural para a cidade estudada, na sala 03 observamos altos valores médios de iluminâncias atingindo até 4.126 lx (Figura 41). Com a redução da refletância da prateleira de luz na sala 06, os valores médios de iluminância são menores, com um máximo de 3.383 lx. Já a sala 09 o valor máximo de iluminância média é de 2.651 lx. Estas reduções permite uma maior uniformidade das iluminâncias nos pontos estudados, onde para sala 03 com índice de refletância de 0,9 temos uma uniformidade de 48,9 %, para a sala 06 com índice de refletância de 0,7 temos uma uniformidade de 51,9 % e para sala 09 que tem um índice de refletância de 0,5 a uniformidade é de 58,7 %. Embora nenhuma das salas tenha atingido uma uniformidade de 70 % como recomendado pela norma, a sala 09, que tem o menor índice de refletância, obteve a melhor uniformidade.

Figura 41 - Gráfico de iluminâncias para prateleira de luz com superfície mista



Fonte: elaborado pelo autor.

Salas com refletância difusa

Nas salas 04, 07 e 10 as superfícies da prateleira de luz tem como característica comum a refletância totalmente difusa. Sendo para a sala 04 o coeficiente de refletância é 0,9, para sala 07 é 0,7 e para a sala 10 o coeficiente é 0,5, uma redução de 0,2 entre cada uma das salas.

Ao se alterar a refletância da prateleira de luz de 0,9 (sala 04) para 0,7 (sala 07) nota-se que esta mudança implica na redução de iluminâncias médias nos pontos estudados. Os pontos de A a D, mais próximos as aberturas, tem uma redução aproximada de 21 %, a partir do ponto E até o fundo da sala ponto J a perda de iluminâncias em decorrência da alteração é menos intensa ficando entre 13,3 % e 9,1 % (Tabela 19).

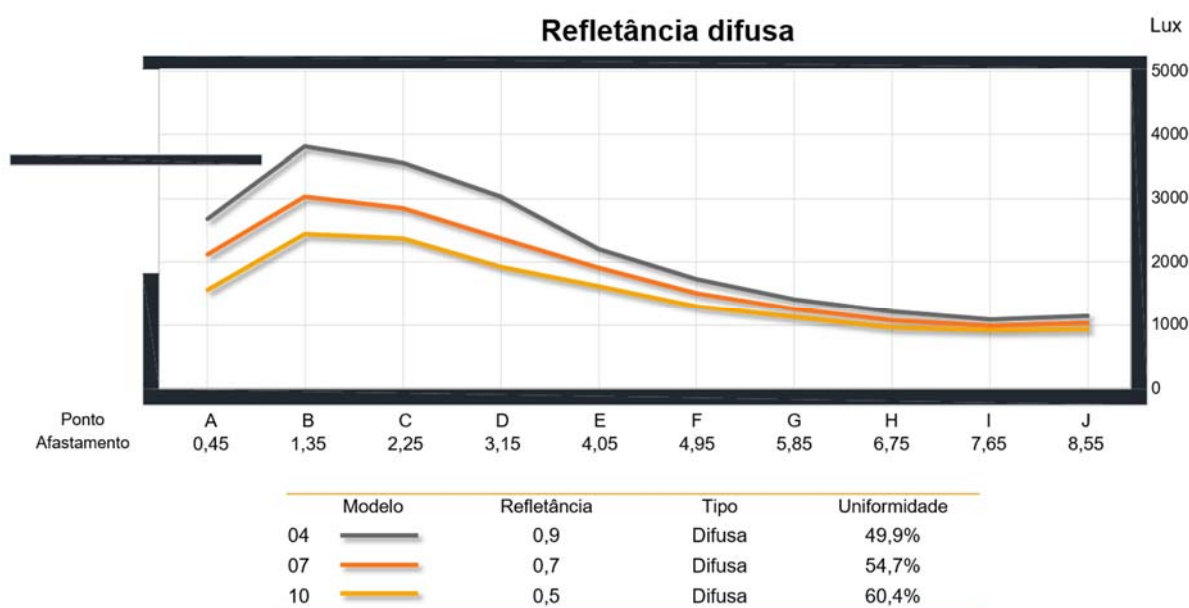
Tabela 19 - Iluminância média nas salas com uso de prateleira de luz com refletância difusa

Sala	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
04	2685	3814	3566	3035	2210	1728	1414	1207	1093	1140
EL	-20,7%	-20,5%	-19,9%	-21,7%	-13,3%	-12,8%	-11,1%	-10,9%	-9,1%	-9,6%
07	2129	3032	2856	2375	1915	1507	1257	1075	994	1030
EL	-26,4%	-19,5%	-16,6%	-19,0%	-15,4%	-14,3%	-10,5%	-10,4%	-7,9%	-9,9%
10	1567	2442	2381	1924	1620	1291	1125	963	915	928

Fonte: elaborado pelo autor.

A prateleira de luz com superfície totalmente difusa, promove uma redução de iluminâncias principalmente nos pontos mais próximos as aberturas. Devido à grande disponibilidade de luz natural para a cidade estudada, na sala 04 observamos altos valores médios de iluminâncias atingindo até 3.814 lx (Figura 42). Com a redução da refletância da prateleira de luz na sala 07, os valores médios de iluminância são menores, com um máximo de 3.032 lx. Já a sala 10 o valor máximo de iluminância média é de 2.442 lx. Estas reduções permite uma maior uniformidade de iluminâncias nos pontos estudados, onde para sala 04 com índice de refletância de 0,9 obtemos uma uniformidade de 49,9 %, para a sala 07 com índice de refletância de 0,7 obtemos uma uniformidade de 54,7 % e para sala 10 que tem um índice de refletância de 0,5 a uniformidade é de 60,4 %. Embora nenhuma das salas tenha atingido a uniformidade de 70 % recomendado pela norma, a sala com menor índice de refletância, obteve a melhor uniformidade.

Figura 42 - Gráfico de iluminâncias para prateleira de luz com superfície difusa



Fonte: elaborado pelo autor.

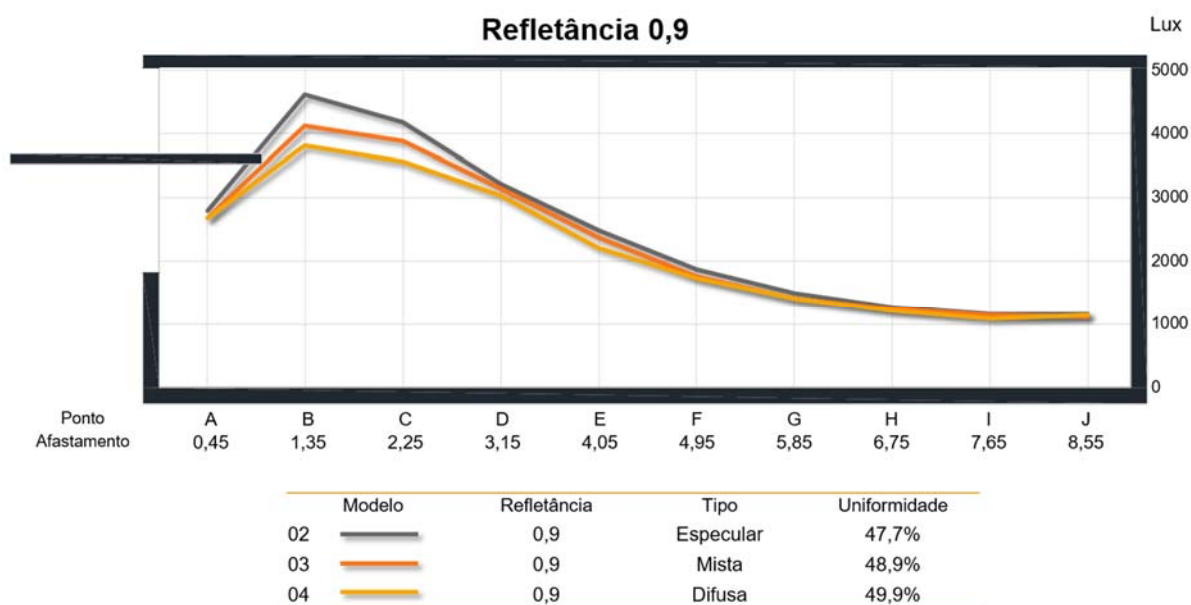
Salas com refletância 0,9

As salas 02, 03 e 04 tem prateleira de luz com refletância de 0,9, porém diferem-se pela característica das superfícies, onde para a sala 02 a superfície é totalmente especular, para

sala 03 é mista (sendo 0,45 especular e 0,45 difusa) e para sala 04 a superfície é totalmente difusa.

Ao comparar os dados obtidos pelas simulações das três salas, verifica-se que a superfície totalmente especular reflete a luz incidente na prateleira de luz, de modo a permitir maiores iluminâncias nos pontos estudados em relação as outras duas salas (Figura 43).

Figura 43 - Gráfico de iluminâncias para prateleira de luz com refletância de 0,9



Fonte: elaborado pelo autor.

A superfície mista utilizada na sala 03, se comparada a sala 02, demonstra uma redução da iluminância média em todos os pontos, principalmente nos pontos B e C. A superfície totalmente difusa utilizada na sala 04, apresenta as menores iluminâncias, para quase todos os pontos, dentre as três salas aqui comparadas.

Tabela 20 - Iluminância média nas salas com uso de prateleira de luz com refletância de 0,9

Sala	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
02	2794	4609	4174	3209	2480	1875	1489	1273	1158	1154
EL	-3,9%	-10,5%	-7,0%	-1,9%	-4,2%	-5,8%	-5,8%	-3,0%	-1,0%	-3,1%
03	2686	4126	3882	3147	2377	1766	1403	1235	1146	1118
EL	0,0%	-7,6%	-8,1%	-3,6%	-7,0%	-2,2%	0,8%	-2,3%	-4,6%	2,0%
04	2685	3814	3566	3035	2210	1728	1414	1207	1093	1140

Fonte: elaborado pelo autor.

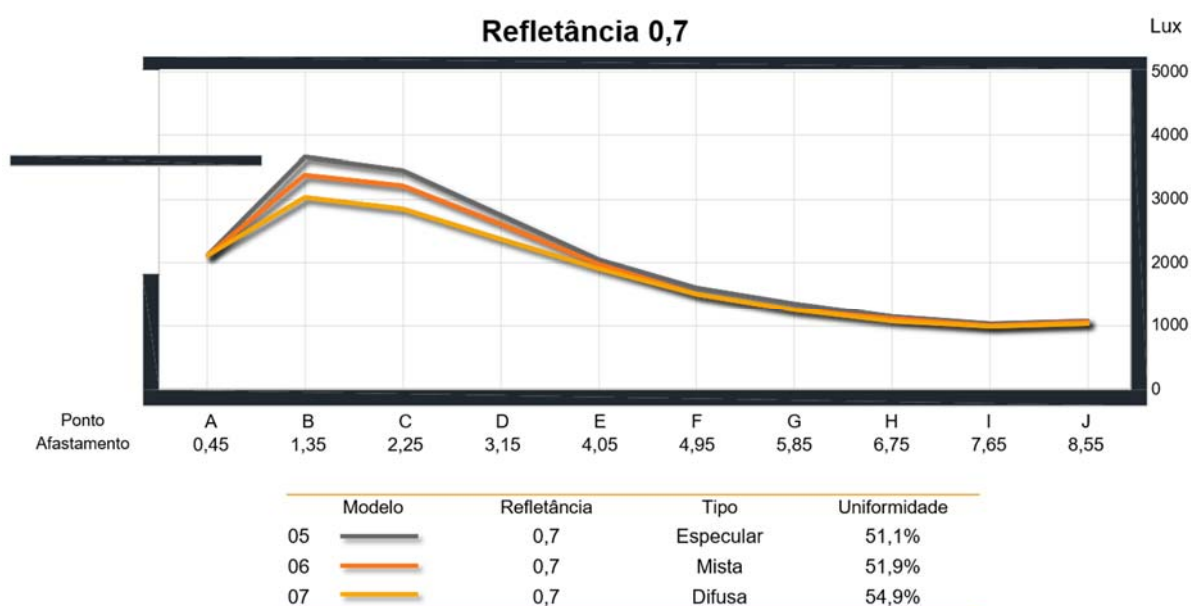
Os pontos B, C e D, apresentaram os maiores níveis de iluminância dentre os pontos estudados. A superfície totalmente difusa utilizada na sala 04 reduziu os níveis de iluminância de forma mais intensa nos pontos B, C, D e E, em comparação as outras duas salas (Tabela 20), isso permitiu que sala tenha uma uniformidade de 49,9 %, indicando um ganho em uniformidade na comparação as outras salas.

Salas com refletância 0,7

As salas 05, 06 e 07 tem prateleira de luz com refletância de 0,7, porém diferem-se pela característica das superfícies, onde para a sala 05 a superfície é totalmente especular, para sala 06 é mista (sendo 0,35 especular e 0,35 difusa) e para sala 07 a superfície é totalmente difusa.

Ao comparar os dados obtidos pelas simulações das três salas, verifica-se que a superfície totalmente especular reflete a luz incidente na prateleira de luz, assim como observado nas salas com coeficiente de refletância de 0,9, permite maiores iluminâncias nos pontos estudados em relação as outras duas salas (Figura 44).

Figura 44 - Gráfico de iluminâncias para prateleira de luz com refletancia de 0,7



Fonte: elaborado pelo autor.

Para os três modelos os pontos B, C e D, apresentaram os maiores níveis de iluminância dentre os pontos estudados. A superfície totalmente difusa utilizada na sala 07 reduziu os níveis de iluminância de forma mais intensa nos pontos B, C e D, em comparação as outras duas salas (Tabela 21), isso permitiu que sala tenha uma uniformidade de 54,7 %, indicando um ganho em uniformidade na comparação as outras salas.

Tabela 21 - Iluminância média nas salas com uso de prateleira de luz com refletância de 0,7

<i>Sala</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>J</i>
05	2123	3664	3446	2747	2051	1605	1350	1148	1033	1072
EL	0,1%	-7,7%	-6,5%	-4,9%	-3,6%	-5,8%	-7,1%	-3,3%	-3,4%	-1,6%
06	2126	3383	3221	2613	1977	1512	1254	1110	998	1055
EL	0,1%	-10,4%	-11,3%	-9,1%	-3,1%	-0,3%	0,2%	-3,2%	-0,4%	-2,4%
07	2129	3032	2856	2375	1915	1507	1257	1075	994	1030

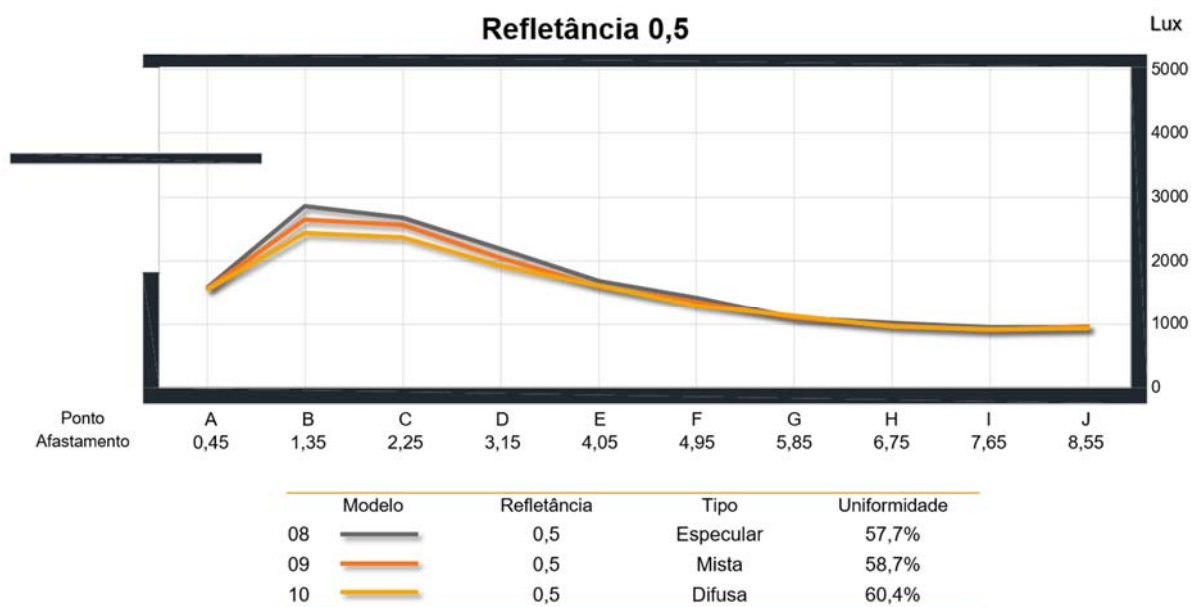
Fonte: elaborado pelo autor.

Salas com refletância 0,5

As salas 08, 09 e 10 tem prateleira de luz com refletância de 0,5, porém diferem-se pela característica das superfícies, onde para a sala 08 a superfície é totalmente especular, para sala 09 é mista (sendo 0,25 especular e 0,25 difusa) e para sala 10 a superfície é totalmente difusa.

Ao comparar os dados obtidos pelas simulações das três salas, verifica-se que a superfície totalmente especular reflete a luz incidente na prateleira de luz, assim como observado nas salas com coeficiente de refletância de 0,9 e 0,7, permite maiores iluminâncias nos pontos estudados em relação as outras duas salas (Figura 45).

Figura 45 - Gráfico de iluminâncias para prateleira de luz com refletância de 0,5



Fonte: elaborado pelo autor.

Para os três modelos os pontos B, C e D, apresentaram os maiores níveis de iluminância dentre os pontos estudados. A superfície totalmente difusa utilizada na sala 10 reduziu os níveis de iluminância de forma mais intensa nos pontos B, C e D, em comparação as outras duas salas (Tabela 22), isso permitiu que sala tenha uma uniformidade de 60,4 %, indicando um ganho em uniformidade na comparação as outras salas.

Tabela 22 – Iluminância média nas salas com uso de prateleira de luz com refletância de 0,5

Sala	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
08	1594	2871	2679	2197	1696	1419	1100	1011	949	953
EL	-1,4%	-7,7%	-4,0%	-6,8%	-5,6%	-4,5%	0,3%	-3,2%	-4,2%	0,7%
09	1572	2651	2571	2047	1601	1355	1103	979	909	960
EL	-0,3%	-7,9%	-7,4%	-6,0%	1,2%	-4,7%	2,0%	-1,6%	0,7%	-3,3%
10	1567	2442	2381	1924	1620	1291	1125	963	915	928

Fonte: elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho buscou estudar a influência das características do material utilizado na prateleira de luz, na distribuição de iluminâncias e o possível ganho na uniformização.

O programa de simulação computacional escolhido mostrou-se adequado à realização do trabalho, permitindo a modelagem das salas, variação entre refletâncias especular, mista e difusa, variação do fator de reflexão bem como utilização de céu dinâmico para a cidade escolhida, permitindo um estudo anualizado e mais próximo das condições reais.

Através da análise das simulações realizadas para a sala de referência, verificou-se que a ausência de proteção permite a entrada de luz solar direta no ambiente, fazendo com que tenha altos níveis de iluminação nos pontos mais próximos às aberturas e uma grande redução à medida que os pontos se afastam das janelas e com isso ocasionando baixos níveis de uniformidade e também podendo gerar desconforto visual aos usuários.

Em comparação ao modelo de referência, todos os modelos com prateleira de luz estudados, apresentaram uma redução nos valores de iluminância média anual para cada um dos pontos. Isso se deveu ao fato da prateleira de luz bloquear parte do céu visível, reduzindo a quantidade de luz natural incidente principalmente nos pontos mais próximos as janelas, melhorando a uniformidade das iluminâncias e com isso a qualidade visual, ao reduzir o contraste entre áreas mais e menos iluminadas.

Ao considerar que a sala de referência, sem utilização de prateleira de luz, atingiu uma uniformidade de 29,9 % e a sala 02 que apresenta uma uniformidade de 47,7 %, que dentre todos os modelos simulados é a menor, é possível constatar que para as condições estudadas a prateleira de luz foi capaz de melhorar a uniformidade da iluminação do ambiente em aproximadamente 60 %.

A análise da uniformidade de iluminâncias segundo o fator de refletância da superfície da prateleira de luz, indicou que os modelos que utilizaram refletância de 0,9, apresentaram os maiores valores de iluminâncias médias para todos os pontos, em comparação aos modelos semelhantes, porém com refletâncias de 0,7 e 0,5. Notou-se que ao se reduzir a refletância da superfície da prateleira de luz de 0,9 para 0,7 ou 0,5, a redução das iluminâncias médias para

cada um dos pontos não se dá de forma uniforme, a redução é maior nos pontos mais próximos as janelas e menor a medida que vão se distanciando das aberturas. Esta variação faz com que os modelos com refletância de 0,9 apresentem uma maior variação na distribuição de iluminâncias, conseqüentemente uma menor uniformidade. Já os modelos com fator de refletância 0,5 na superfície da prateleira de luz, apresentaram os menores valores de iluminância média e um ganho em uniformidade de distribuição se comparados aos modelos com refletância de 0,7 e 0,9.

Dentre os modelos estudados, os que utilizaram a prateleira de luz com superfície totalmente especular, foram os que menos reduziram os níveis de iluminação no ambiente se comparados aos outros modelos com igual fator de refletância. A maior diferença pode ser encontrada nos pontos B, C e D, onde a diferença de iluminâncias entre os modelos com refletância especular e os com refletância mista chega a mais de 8 %, os modelos com refletância especular e modelos com refletância difusa chega a mais de 16 %. Ao considerar que os resultados das simulações apontam os pontos B, C e D com sendo os pontos com as maiores iluminâncias médias e estes valores se mostraram excessivos do ponto de vista do conforto luminoso, os modelos com refletância totalmente difusa apresentaram um ganho em relação aos demais, no tocante a uniformidade, o que pode ser confirmado pelos resultados das uniformidades de iluminâncias.

Assim conclui-se que dentre os modelos estudados, a sala 10 que conta com a prateleira de luz com índice de refletância de 0,5 e superfícies totalmente difusas, como sendo o modelo que proporcionou uma melhor uniformidade nas iluminâncias, apresentou uma uniformidade aproximada de 60 %. E embora este valor esteja abaixo do recomendado por norma é o maior valor dentre todos modelos.

Limitações do trabalho

Ao desenvolver este trabalho algumas limitações foram encontradas, dentre elas podemos citar que, os valores de iluminância média anuais obtidos, somente tem valor para comparação entre os modelos, não devendo ser usado como valor absoluto, visto que ao se

utilizar um céu dinâmico com dados climáticos para uma cidade, no caso Maceió, bem como um horário entre 8h e 16h, durante os 365 dias do ano, obtém-se 3.285 valores diferentes para cada um dos pontos estudados.

Embora a utilização de apenas um eixo de pontos para estudo possibilite simulações mais rápidas, ela limita o estudo, onde a distribuição e uniformidade podem ser analisadas ao longo da profundidade da sala, não sendo possível verificar da uniformidade em todo o plano de trabalho.

Sugestões para trabalhos futuros

Utilizando os resultados obtidos neste trabalho de dissertação, bem como limitações percebidas durante o processo de desenvolvimento, algumas propostas de trabalhos futuros podem ser sugeridas:

- Verificação do desempenho da prateleira de luz com diferentes refletâncias para diversas orientações;
- Estudo do desempenho da prateleira de forma curva com diferentes refletâncias;
- Estudar a interferência da utilização de prateleira de luz com diferentes refletâncias na distribuição de iluminâncias em todo o plano de trabalho utilizando através pontos em malha;
- Estudar a interferência da utilização de prateleira de luz com diferentes refletâncias na distribuição de iluminâncias em diferentes latitudes;

REFERÊNCIAS

AMORIM, C. N. D. **Iluminação natural e eficiência energética - Parte I: Estratégias de projeto para uma arquitetura sustentável**. Brasília: Paranoá (UnB), 2002.

ANGELUCCI, Ornella Maria Castelnuovo. **Arquitetura e luz: o átrio (ex-pátio)**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie. 2012.

ARAÚJO, I. Á. L.; CAVALCANTE, M. R. C.; CABÚS, R. Influência da Prateleira de Luz Sob Marquise na Uniformidade da Iluminação Natural em Interiores. **Anais: ENCAC - ELACAC**, p. 83-91, 2005.

ARGAN, Giulio Carlo. **Arte Moderna: do iluminismo aos movimentos contemporâneos**. Trad. Denise Bottmann e Federico Carotti. São Paulo: Cia. das Letras, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO/CIE 8995-1: **Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior**, 2013.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture: a European reference book**. Commission of European Communities. Bruxelas and Luxemburg: James & James Ltd., 1998.

BAKER, N.; STEEMERS, K. **Daylight Design of Buildings**. Londres: James & James (Science Publishers) Ltd, 2002.

BARNABÉ, Paulo Marcos Mottos. Luz natural como diretriz de projeto. São Paulo: Pós: **Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAU USP**. N. 22, p. 62-81, dez. 2008. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/43532/47154>. Acesso em: 21 ago 2015.

BITTENCOURT, Leonardo; Cândido, Christina. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: Edufal, 2006.

Butera, Federico M. **Da caverna à casa ecológica: história do conforto e da energia**. São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2009.

CABÚS, R. C. **Tropical daylighting**: predicting sky types and interior illuminance in north-east Brazil. Shefild: [s.n.], 2002.

CABÚS, R. C. TropLux: Um Sotaque Tropical na Simulação da Luz Natural em Edificações. **Anais ENCAC - ELACAC**, Maceió, p. 240 - 249, 2005.

CÂNDIDO, C.; TORRES, S.; CABÚS, R. Análise da Utilização de Prateleira de Luz em Edifício de Pesquisas da UFAL, Maceió - AL. **Anais ENCAC - ELACAC**, p. 280-288, 2005.

CINTRA, Milena Sampaio. **Arquitetura e luz natural: a influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Brasília, Universidade de Brasília, 2011.

COMMISSION INTERNACIONALE DE L'ECLARAGE. **CIE S 011/E:2003 Spatial Distribution of Daylight - CIE Standard General Sky**. Vienna, Austria, 2003.

COSTA, Leandra Luciana Lopes. **A luz como modeladora do espaço na arquitetura**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Portugal, Universidade da Beira Interior. Covilhã, 2013.

DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 139-154, 2010.

DORNELLES, K. A. **Absortância Solar de Superfícies Opacas**: Conceitos, Métodos de Determinação e Base de Dados para Tintas Imobiliárias. Campinas: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Estadual de Campinas, 2008.

FREEWAN, A.; SHAO, L.; RIFFAT, S. Optimizing performance of the lightshelf by modifying ceiling geometry in highly luminous climates. **Solar Energy**, v. 82, p. 343 - 353, 2008.

GRAZIANO, F. C. G. J. **Estudo de redirecionamento da luz natural utilizando equipamento tipo "Lightshelf"**. Florianópolis.: Dissertação (mestrado em engenharia de

produção) Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2000.

JANSON, H.W. & JANSON, A. F. **Iniciação à história da arte**. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

LAMBERTS, R.; DULTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª ed. São Paulo, 2014.

LAOUADI, A.; REINHART, C.; BOURGEOIS, D. The daylight coefficient method and complex fenestration. **Proceedings of the Buildings Simulation 2007 (IBPSA)**, Beijing, China, September 2007. 1 - 8.

LARANJA, A. C.; GAZZANEO, L. M. C.; CABÚS, R. Interferências da largura das vias na disponibilidade de iluminação natural do ambiente interno. **Revista Labor & Engenho**, v. 3, n. 1, p. 55 - 69, 2009.

LITTLEFAIR, P. J.; AIZLEWOOD, M. E.; BIRTLES, A. B. The performance of innovative daylighting systems. **Renewable Energy**, v. 5, n. 5 - 8, p. 920 - 934, 1994.

LITTLEFAIR, P. J. Innovative daylighting: Review of systems and evaluation methods. **Lighting Research and Technology**, v. 22, n. 1, p. 1 - 17, 1990.

LO VERSO, V. et al. Daylighting as the Driving Force of the Design Process: from the Results of a Survey to the Implementation into an Advanced Daylighting Project. **Journal of Daylighting**, v. 1, p. 36 - 55, 2014.

MAJOROS, A. **Daylighting**. Brisbane: PLEA in association with University of Queensland Dept. of Architecture, 1998.

MARDALJEVIC, J. et al. **DAYLIGHTING METRICS FOR RESIDENTIAL BUILDINGS**. 27th Session of CIE International Conference. Sun City, South Africa: [s.n.]. 2011.

MARTAU, Betina Tschiedel. A luz além da visão: iluminação e sua influência na saúde e no bem estar. **Lume**, ano VII, no. 38, São Paulo, junho de 2009. Disponível em: <
http://www.lumearquitectura.com.br/pdf/ed38/ed_38%20AT%20Ilumina%C3%A7%C3%A3o%20e%20Sa%C3%BAde.pdf> Acesso em 29 ago 2015.

MASCARÓ, L. **Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo**. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1991.

MASCARÓ, Lucia. Iluminação e arquitetura: sua evolução através do tempo. **Arquitextos**, São Paulo, ano 06, n. 063.08, Vitruvius, set. 2005
<<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/06.063/438>>.

MOORE, F. **Concepts and Practice of Architectural Daylighting**, New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Research and Technology**, v. 37, n. 1, p. 41-57, 2005.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 905-913, 2006.

PEREIRA, F. R., SOUZA, M. B. Iluminação. **Apostila da disciplina de conforto ambiental – Iluminação**. UFSC: Florianópolis, 2000.

RAMOS, G.; GHISI, E. Avaliação do Cálculo da Iluminação Natural Realizada pelo Programa EnergyPlus. **Anais: ENCAC - ELACAC**, p. 1261-1270, 2009.

REINHART, C. F. Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design. **Harvard University - Graduate School of Design**, Cambridge, USA, 2010.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. **Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design**. [S.l.]: Leukos 3, 2006.

RIBEIRO, P. V. S.; CABÚS, R. C. Comparação do desempenho de parâmetros de avaliação de distribuição de iluminâncias em ambientes através do Troplux. **Anais: ENTAC**, p. 93-102, 2014.

ROGERS, Z. **Daylighting Metric Development Using Daylight Autonomy Calculations In the Sensor Placement Optimization Tool**. Bolder, Colorado: Architectural Energy Corporation, 2006.

RUCK, N. et al. **Daylighting in Buildings – A source book on daylighting systems and components**. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000.

SMITH, Bradford. **Luz na arquitetura**. Site Colégio de Arquitetos. 2012. Disponível em <http://colegiodearquitetos.com.br/portal/luz-na-arquitetura/> . Acesso em 21 ago 2015.

STEEMERS, K. Daylighting design: Enhancing energy efficiency and visual quality. **Renewable Energy**, v. 5, n. 5 - 8, p. 950 - 958, ago., 1994.

TREGENZA, P.; LOE, D. **The Design of Lighting**. Londres: Taylor & Francis, 1998.

TREGENZA, P.; WATERS, I. Daylight coefficients. **Lighting Research and Technology**, v. 15, n. 2, p. 65-71, jun., 1983.

TUAN, Yi-Fu. **Topofilia**: um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente. São Paulo: DIFEL, 1980.

APÊNDICE A – Probabilidade de céu para Maceió

Esta seção traz as tabelas com o tipo de céu provável padrão CIE, com distribuição horária entre 6h e 18h, criadas a partir dos dados climáticos para a cidade de Maceió. A partir destas tabelas foi possível criar o arquivo de céu padrão utilizado no software TropLux.

Tabela 23 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de janeiro

Probabilidade de tipo de céu horário para janeiro

Dia	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
1	1	10	10	14	1	10	10	10	10	10	10	10	14
2	10	10	10	10	10	10	1	10	10	10	1	10	14
3	14	1	10	14	1	10	10	14	10	10	10	10	10
4	14	10	10	10	1	10	10	10	1	10	1	10	10
5	14	14	10	10	1	10	10	10	10	10	1	10	10
6	10	1	10	14	10	10	10	10	10	10	1	14	10
7	10	10	14	1	1	10	10	10	10	10	14	10	10
8	14	10	10	10	10	14	1	10	10	10	14	1	10
9	14	14	10	10	1	10	10	10	10	10	1	10	10
10	10	14	10	1	10	14	10	10	1	10	10	10	10
11	14	10	14	10	10	10	1	10	10	10	10	1	10
12	14	14	10	1	10	10	10	10	1	10	10	10	10
13	10	1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	1
14	10	10	10	1	10	14	10	10	10	10	1	10	10
15	14	14	10	10	10	10	1	10	1	10	10	10	14
16	10	14	1	10	14	10	10	10	10	10	10	10	1
17	14	14	10	10	14	1	10	10	1	10	10	10	10
18	10	10	14	10	10	1	10	10	1	10	10	10	10
19	10	14	10	14	10	10	1	10	10	1	10	10	10
20	10	10	14	10	14	10	10	1	10	10	10	10	1
21	14	14	1	10	10	10	10	10	1	10	10	10	10
22	10	14	10	14	14	1	10	10	1	10	10	14	10
23	14	10	10	10	10	10	1	10	10	10	10	14	1
24	14	14	10	14	10	1	10	10	10	1	10	10	10
25	1	10	14	14	10	10	10	10	10	1	10	10	1
26	10	10	10	10	10	14	10	1	10	10	10	14	1
27	10	10	10	10	14	10	10	1	10	10	10	1	14

28	10	10	14	10	10	10	10	1	10	14	10	1	10
29	10	10	14	10	10	1	10	10	10	1	10	10	10
30	14	10	14	10	10	10	10	1	10	1	10	1	10
31	10	10	1	10	10	14	10	1	10	10	10	1	14

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 24 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de fevereiro

Probabilidade de tipo de céu horário para fevereiro

Dia	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
1	14	14	1	10	10	10	10	1	10	10	10	1	10
2	1	14	14	10	10	10	1	10	10	10	1	10	10
3	10	10	1	14	10	10	10	1	10	10	10	1	10
4	14	10	10	1	10	10	10	10	1	10	10	1	10
5	1	14	10	10	10	10	1	10	10	10	10	1	10
6	10	10	1	14	10	10	10	1	10	10	10	1	10
7	10	10	14	1	10	10	10	10	1	10	10	10	10
8	14	10	10	1	10	10	10	10	1	10	10	10	14
9	14	10	10	1	10	10	10	10	14	1	10	10	1
10	14	14	10	10	1	10	10	1	10	10	1	10	10
11	10	14	10	10	10	1	10	10	10	1	14	10	10
12	14	10	10	10	1	10	10	10	10	1	1	10	10
13	10	14	10	10	10	1	10	10	10	1	10	1	10
14	14	10	10	10	1	10	10	10	1	10	10	10	10
15	14	14	10	10	10	1	10	10	10	1	10	10	10
16	14	10	10	10	1	10	10	10	1	10	1	10	14
17	14	10	10	10	10	1	10	10	1	10	10	10	1
18	10	1	14	10	14	10	1	10	10	10	10	10	10
19	10	14	10	10	14	1	10	10	10	1	10	10	10
20	1	14	10	10	14	10	1	10	10	10	10	10	10
21	10	1	10	14	10	10	1	10	10	10	1	10	14
22	10	10	1	14	10	10	10	1	10	10	10	10	1
23	10	10	14	1	10	10	10	1	10	10	10	1	14
24	10	1	10	14	10	10	1	10	10	10	10	10	14
25	10	10	14	10	1	10	10	1	10	10	14	10	14
26	10	10	14	10	14	1	10	10	10	1	10	14	1
27	10	1	14	10	10	14	1	10	10	10	10	14	1
28	10	10	14	10	1	14	10	1	10	10	14	10	10

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 25 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de março
Probabilidade de tipo de céu horário para março

Dia	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
1	14	1	10	10	10	1	10	10	10	1	14	10	10
2	10	14	1	10	10	10	1	10	10	1	10	14	10
3	14	10	10	1	10	10	10	10	1	10	1	14	10
4	10	14	10	1	10	10	10	10	1	10	1	14	10
5	10	1	10	14	10	1	10	10	10	1	10	10	14
6	10	14	10	1	10	10	1	10	10	14	1	10	10
7	14	10	1	10	14	10	10	10	1	1	10	10	10
8	10	1	10	14	10	1	10	10	10	1	10	10	14
9	10	10	1	14	10	10	1	10	10	1	10	10	14
10	14	10	10	1	10	10	10	1	10	10	10	1	14
11	10	14	10	1	10	10	10	1	10	10	10	1	10
12	10	1	14	10	10	10	1	10	10	1	10	10	10
13	14	10	10	1	10	10	10	10	1	10	10	10	1
14	10	10	14	14	10	10	10	1	10	1	10	10	10
15	10	14	10	10	1	10	10	10	1	10	10	1	10
16	14	10	10	10	1	10	10	10	1	10	10	1	10
17	10	10	1	14	10	10	10	1	10	10	10	10	1
18	10	10	14	10	1	10	10	10	1	10	10	10	1
19	10	14	10	10	1	10	10	1	10	10	10	10	10
20	14	10	10	10	1	10	10	10	1	10	10	10	10
21	10	1	14	10	10	14	1	10	10	10	10	10	1
22	10	14	10	10	1	10	10	1	10	10	10	10	10
23	10	10	14	10	1	10	10	10	1	10	10	10	10
24	1	10	14	10	10	10	1	10	10	10	10	14	1
25	1	10	14	10	10	10	1	10	10	10	1	1	10
26	14	10	10	10	14	1	10	10	10	14	10	1	1
27	14	10	10	10	10	1	14	1	10	10	1	1	10
28	1	14	10	10	10	14	10	1	10	10	1	10	1
29	10	10	14	10	14	1	10	1	10	10	1	1	10
30	1	14	10	10	14	10	1	10	10	10	1	10	1
31	14	10	10	14	10	1	10	14	10	10	1	10	1

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 26 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de abril

Probabilidade de tipo de céu horário para abril

Dia	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
1	14	10	1	1	10	10	1	10	10	1	10	1	10
2	10	14	1	10	10	10	1	1	1	10	10	10	1
3	14	10	1	10	10	10	1	10	1	10	10	10	10
4	14	10	1	14	10	10	1	10	10	10	1	10	1
5	14	10	1	10	10	10	1	1	10	1	10	1	10
6	10	14	1	10	10	10	1	10	1	10	1	14	10
7	14	10	1	10	10	10	1	10	1	1	10	10	1
8	14	10	1	10	10	10	1	1	10	10	1	10	1
9	10	14	10	1	10	10	10	1	1	10	1	10	1
10	1	10	14	10	10	1	10	1	10	1	10	1	10
11	1	10	14	10	10	1	10	1	10	10	1	10	10
12	10	14	10	1	10	10	1	1	10	1	10	10	1
13	10	14	10	1	10	1	10	10	1	1	10	10	14
14	10	1	10	10	10	1	1	10	10	10	1	1	10
15	10	10	14	1	10	1	10	1	1	10	1	10	10
16	10	10	14	1	1	10	10	1	10	1	10	1	10
17	10	1	10	10	10	1	10	1	10	10	1	1	10
18	10	10	10	1	1	10	10	1	10	1	10	1	14
19	10	1	14	10	1	10	10	1	10	1	10	10	14
20	10	1	10	10	1	10	10	1	10	1	10	14	10
21	10	1	10	10	1	10	10	10	1	10	14	10	10
22	1	10	10	10	10	14	1	10	1	10	1	10	1
23	1	10	10	10	1	14	10	10	1	10	1	10	10
24	10	1	10	10	1	10	10	10	14	1	1	10	1
25	1	10	10	14	10	1	10	10	1	10	10	1	10
26	10	1	10	14	1	10	1	10	10	10	1	10	1
27	1	10	10	10	14	1	10	10	1	1	10	10	10
28	1	10	10	14	1	1	10	10	10	10	10	1	1
29	10	1	10	10	14	1	1	10	10	10	10	1	1
30	1	10	10	14	1	1	10	10	10	1	10	1	10

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 27 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de maio

Probabilidade de tipo de céu horário para maio

Dia	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
1	1	10	10	14	1	10	10	1	1	10	10	1	10
2	1	10	10	14	10	1	1	10	14	10	10	1	10
3	14	1	10	1	10	14	1	10	10	10	10	1	10
4	1	10	10	10	14	1	10	1	10	10	10	10	1
5	14	1	10	10	1	10	1	10	10	10	10	10	1
6	14	10	10	1	10	10	10	14	1	10	10	1	10
7	1	10	10	10	14	1	10	1	10	10	10	1	10
8	10	1	10	10	14	1	10	1	10	10	14	10	1
9	10	10	10	14	1	1	10	1	10	10	10	10	1
10	1	10	10	10	14	1	10	1	1	10	10	1	10
11	10	1	10	14	1	10	10	1	10	1	10	14	10
12	1	10	14	10	14	10	1	10	1	10	10	10	1
13	1	10	14	1	10	10	10	1	10	10	1	14	1
14	10	1	14	1	10	10	1	10	1	10	10	1	14
15	10	1	14	10	1	10	10	1	10	1	14	1	10
16	10	1	14	10	1	10	10	1	10	10	14	1	14
17	10	1	14	10	10	1	10	1	10	1	10	1	10
18	14	10	10	1	10	1	10	10	1	10	10	10	1
19	14	1	10	1	10	14	10	10	1	10	1	10	1
20	10	14	10	1	10	10	1	10	1	1	10	10	1
21	14	10	1	10	10	1	14	1	10	10	1	10	1
22	10	10	1	14	1	10	10	10	1	1	10	10	10
23	14	10	1	10	10	10	1	10	1	10	1	10	10
24	14	10	1	10	1	10	10	10	1	1	10	10	10
25	10	14	1	10	10	10	1	10	10	1	1	10	10
26	10	14	1	10	10	10	1	10	10	1	1	10	10
27	10	10	1	14	10	1	10	10	10	1	1	10	10
28	10	14	1	10	10	1	10	10	10	1	1	10	10
29	10	14	10	1	10	10	1	10	10	1	1	10	10
30	10	10	1	10	1	14	1	10	10	10	1	10	10
31	10	14	10	1	10	10	1	10	10	1	1	10	10

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 28 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de junho

Probabilidade de tipo de céu horário para junho

Dia	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
1	1	10	14	1	1	10	10	10	1	10	10	10	10
2	14	1	10	1	10	10	1	10	1	10	10	14	10
3	10	1	14	1	10	10	10	1	10	10	10	10	1
4	14	10	1	10	1	10	10	10	14	1	10	1	10
5	1	10	14	1	10	10	10	10	1	1	10	14	10
6	1	10	1	10	10	10	14	1	10	1	10	1	10
7	10	1	14	10	1	10	10	1	1	10	1	10	10
8	14	1	14	10	10	1	10	10	1	10	10	1	1
9	1	10	10	10	1	10	14	1	10	10	10	10	14
10	1	10	14	1	10	10	10	1	10	10	10	10	10
11	14	1	10	10	1	10	1	10	10	10	10	10	10
12	1	10	10	10	14	1	10	1	10	10	10	10	1
13	10	10	1	10	10	1	10	14	1	10	10	10	1
14	14	1	10	10	1	10	1	10	10	10	10	10	1
15	14	1	10	10	14	10	1	10	1	10	10	1	10
16	14	1	10	10	1	10	1	10	10	10	1	1	10
17	10	1	10	1	14	10	1	10	10	10	1	10	1
18	10	10	1	10	1	14	1	10	1	10	1	10	10
19	10	14	14	10	10	1	1	10	10	1	10	10	10
20	10	10	1	1	14	10	1	10	10	10	1	10	10
21	1	10	10	1	10	14	1	10	10	10	1	1	10
22	10	14	1	10	10	1	10	1	1	10	10	10	1
23	10	10	1	14	10	1	10	1	10	1	1	10	10
24	10	10	1	10	10	14	1	10	1	1	1	10	10
25	10	14	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10
26	10	10	1	14	10	1	1	10	10	10	10	1	1
27	10	10	10	14	1	1	10	10	1	1	1	10	10
28	10	14	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10
29	10	10	10	14	1	1	10	1	10	10	1	1	10
30	10	14	10	1	1	10	10	1	10	1	10	10	1

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 29 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de julho

Probabilidade de tipo de céu horário para julho

Dia	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
1	14	14	1	1	10	10	1	10	10	1	10	10	1
2	1	14	10	1	10	1	1	10	10	1	10	10	1
3	14	1	10	1	10	1	10	1	10	10	1	10	10
4	14	14	1	1	10	1	10	1	10	1	1	10	10
5	14	1	10	1	10	10	10	1	1	1	10	10	1
6	1	14	10	10	1	1	10	1	1	10	10	1	1
7	10	10	1	10	14	1	10	1	1	10	1	10	1
8	10	14	10	1	1	14	10	10	1	1	1	10	10
9	10	14	1	10	1	1	10	1	10	1	10	10	10
10	10	10	1	10	1	14	10	1	10	1	1	10	1
11	10	10	1	14	1	1	10	1	10	10	10	1	1
12	10	14	10	1	10	1	1	10	1	1	1	10	10
13	10	1	10	14	1	10	1	1	10	10	1	1	10
14	1	14	10	10	14	1	1	10	1	10	1	1	1
15	1	1	10	10	1	10	14	1	10	1	10	1	10
16	10	10	1	14	1	10	1	10	1	1	10	1	10
17	1	1	10	10	1	1	10	14	10	1	1	10	10
18	1	1	1	10	10	1	14	10	1	10	10	1	10
19	1	10	1	10	10	1	1	10	10	1	14	10	1
20	1	1	1	10	10	1	10	14	1	10	10	1	10
21	10	1	10	1	10	10	1	1	10	1	10	1	10
22	1	10	1	1	10	10	1	10	14	10	1	1	10
23	10	1	10	1	10	1	10	1	10	10	1	10	10
24	10	1	1	10	1	10	10	1	10	1	10	10	1
25	1	1	10	1	10	10	1	10	10	10	1	10	1
26	10	10	1	1	1	10	1	10	1	10	10	1	10
27	1	10	14	1	1	10	1	10	1	10	10	1	10
28	1	10	1	10	1	10	1	10	10	1	10	14	1
29	1	10	14	1	1	10	10	10	1	10	1	1	10
30	10	10	1	10	1	1	10	10	1	10	1	10	14
31	1	10	14	1	10	10	1	1	1	10	10	10	1

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 30 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de agosto

Probabilidade de tipo de céu horário para agosto

Dia	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
1	10	10	14	1	10	1	10	1	1	10	1	10	10
2	14	10	1	10	10	1	10	1	10	1	1	10	10
3	1	10	10	1	10	10	14	1	10	1	1	10	10
4	14	10	1	10	10	1	10	1	1	10	1	10	10
5	10	10	14	1	10	10	1	1	10	1	1	10	10
6	1	10	10	10	10	14	1	1	10	1	10	10	1
7	14	14	10	10	10	1	10	10	1	1	10	10	1
8	1	10	10	10	1	14	10	1	10	1	1	10	10
9	10	10	14	1	10	1	10	1	1	10	1	10	10
10	14	14	10	10	1	10	10	1	10	1	10	10	1
11	1	10	10	1	10	10	1	14	10	10	1	1	10
12	1	10	14	10	1	1	10	10	10	1	10	10	10
13	14	10	1	10	1	10	10	1	10	10	10	10	10
14	10	1	10	1	10	1	10	10	10	1	10	14	10
15	1	1	14	10	10	1	10	10	10	10	10	10	10
16	1	14	1	10	14	10	1	10	10	1	10	10	10
17	10	10	14	1	10	1	1	10	10	10	1	10	10
18	10	1	1	10	14	10	1	10	10	10	1	10	10
19	1	14	1	10	10	1	10	10	1	10	14	10	10
20	10	1	10	14	1	10	10	1	10	10	10	10	10
21	10	14	1	10	10	1	10	10	1	10	10	1	10
22	10	10	1	1	14	10	10	1	10	10	10	10	10
23	10	1	10	14	1	10	1	10	10	10	10	1	1
24	1	14	1	10	10	10	1	10	10	10	10	1	1
25	10	1	10	10	14	1	1	10	10	10	10	1	1
26	10	14	1	10	1	10	10	10	1	10	10	1	14
27	10	1	10	14	1	10	10	10	1	10	10	1	1
28	10	10	10	14	1	10	1	10	1	10	10	1	1
29	10	14	10	1	10	10	1	10	1	10	10	1	1
30	10	1	10	14	1	10	10	10	1	10	10	1	14
31	10	14	10	1	1	10	1	10	10	1	10	10	1

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 31 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de setembro

Probabilidade de tipo de céu horário para setembro

Dia	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
1	10	10	1	10	14	10	1	10	10	10	1	14	10
2	1	10	10	14	1	10	10	10	1	10	10	10	10
3	10	10	1	10	14	10	14	10	1	10	10	10	10
4	10	1	10	14	10	10	1	10	10	10	1	10	10
5	14	10	1	10	1	10	14	10	1	10	10	10	10
6	1	10	10	14	10	10	1	10	10	10	1	10	10
7	10	10	1	14	10	10	1	10	10	10	1	10	10
8	1	10	14	10	1	10	10	10	1	10	10	10	10
9	10	1	10	14	10	10	14	10	10	10	1	10	10
10	14	10	10	10	1	10	10	10	1	10	1	10	10
11	10	14	1	10	1	10	14	10	1	10	10	10	10
12	10	1	14	10	10	14	1	10	1	10	10	10	10
13	14	10	10	1	10	10	1	10	10	10	1	10	10
14	1	14	10	10	1	10	10	10	10	1	10	10	10
15	10	1	14	10	10	10	1	10	10	10	10	1	14
16	14	10	1	10	10	10	10	10	10	1	10	1	10
17	1	10	10	14	10	14	10	10	1	1	10	10	14
18	10	14	10	1	10	10	10	1	10	10	10	1	10
19	14	1	10	10	10	10	10	1	10	10	10	1	1
20	10	10	14	1	10	1	10	10	10	1	10	1	14
21	10	14	10	1	10	1	10	10	10	1	10	14	1
22	10	10	14	10	1	10	10	1	10	10	10	10	1
23	14	10	10	1	10	1	10	10	10	10	10	1	14
24	10	14	10	10	14	1	10	1	10	10	10	10	1
25	14	1	10	10	10	1	10	10	10	1	10	10	1
26	10	10	14	10	10	1	10	1	10	10	10	10	1
27	10	14	10	1	10	10	10	1	10	10	10	14	10
28	10	10	14	10	14	1	10	1	10	1	10	10	10
29	14	10	10	10	1	10	10	1	10	10	14	10	10
30	10	14	10	1	10	1	10	10	10	14	10	10	10

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 32 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de outubro

Probabilidade de tipo de céu horário para outubro

Dia	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
1	14	1	10	10	10	1	10	10	10	10	10	14	1
2	10	10	14	1	14	10	10	1	10	10	10	10	14
3	10	14	10	10	14	10	10	10	10	1	10	10	1
4	14	1	10	10	10	10	10	1	10	10	10	14	10
5	10	10	14	1	10	10	10	10	10	1	10	10	14
6	10	14	10	10	1	1	10	10	10	10	10	10	10
7	14	10	14	10	1	10	10	1	10	10	10	10	10
8	10	10	14	10	1	10	10	10	10	1	10	10	10
9	10	1	14	10	10	10	10	10	10	1	10	10	10
10	14	10	1	10	14	10	10	10	10	1	10	10	10
11	14	10	10	14	14	10	10	1	10	10	10	10	10
12	10	10	1	14	10	14	10	10	10	10	1	10	10
13	10	14	10	1	14	10	10	1	10	10	10	10	14
14	14	10	10	1	10	14	10	1	10	10	10	10	10
15	10	10	1	14	10	10	10	10	10	10	1	10	14
16	10	14	1	10	10	10	1	10	10	10	10	10	14
17	10	10	14	10	14	1	10	10	10	10	1	10	10
18	14	10	10	10	1	10	10	1	10	10	10	14	10
19	10	14	10	14	10	14	1	10	10	10	1	10	10
20	10	10	14	14	10	1	10	10	10	10	1	10	10
21	14	10	10	14	10	1	10	10	10	10	10	1	10
22	10	14	10	10	14	1	10	10	10	10	10	1	10
23	10	10	14	10	14	10	1	10	10	10	10	1	14
24	1	14	10	14	10	10	10	10	1	10	10	10	10
25	14	10	10	14	10	1	10	14	1	10	10	10	10
26	1	14	10	10	10	10	1	10	10	10	10	14	10
27	14	10	10	10	10	10	1	10	1	10	14	10	10
28	14	10	10	10	14	10	1	10	1	10	10	10	10
29	10	14	10	10	10	10	1	10	1	10	14	10	10
30	10	10	14	10	10	10	1	10	14	10	10	1	10
31	1	14	10	10	10	10	14	10	1	10	10	10	10

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 33 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de novembro

Probabilidade de tipo de céu horário para novembro

Dia	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
1	14	10	10	14	10	1	10	10	10	10	1	10	10
2	1	14	10	10	10	14	10	10	10	10	10	10	10
3	10	1	14	10	10	10	10	10	10	10	1	10	14
4	14	10	10	10	1	14	10	10	1	10	10	10	10
5	10	14	10	10	10	1	10	10	10	1	10	10	14
6	10	10	14	10	10	10	10	10	1	10	10	1	14
7	14	1	10	10	10	10	10	10	10	10	1	10	10
8	1	14	10	10	14	10	10	10	10	10	10	1	10
9	14	10	10	10	10	1	10	10	10	10	10	14	10
10	14	10	10	14	10	1	10	10	1	10	10	10	10
11	10	1	14	10	10	10	10	10	10	10	10	14	10
12	10	10	14	10	10	10	1	10	10	10	1	14	10
13	14	10	1	14	10	14	10	10	10	10	10	10	10
14	10	10	14	10	10	14	1	10	10	10	10	10	10
15	10	14	1	10	14	14	10	10	10	10	10	10	1
16	14	10	10	10	10	10	1	10	10	14	10	10	10
17	10	14	10	14	1	10	10	10	10	1	10	10	10
18	10	10	14	10	10	10	1	10	1	10	14	10	10
19	10	14	10	10	10	10	10	1	10	10	14	10	1
20	14	10	1	14	10	10	10	10	10	10	10	10	10
21	14	10	10	1	14	10	10	10	10	1	10	10	10
22	10	14	10	14	1	10	10	10	10	10	10	1	14
23	14	10	10	10	10	10	10	1	10	10	14	10	10
24	14	10	10	14	10	10	10	1	10	1	10	10	10
25	10	10	14	1	14	10	10	10	10	10	10	10	10
26	14	10	10	10	10	10	1	10	10	10	10	14	10
27	10	10	14	14	1	10	10	10	10	1	10	10	14
28	10	14	10	1	10	10	10	10	10	10	10	14	10
29	10	14	10	1	10	10	10	10	10	10	10	10	10
30	10	14	10	10	14	10	10	1	10	1	10	10	14

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 34 - Distribuição horária de tipo de céu para o mês de dezembro

Probabilidade de tipo de céu horário para dezembro

Dia	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
1	1	14	10	10	10	14	1	10	10	10	10	10	10
2	14	1	10	10	10	10	10	10	1	14	10	1	10
3	14	10	10	10	1	10	1	14	10	1	10	10	10
4	14	10	10	14	1	10	10	10	10	1	10	1	10
5	10	14	10	1	10	10	10	10	1	10	14	10	1
6	10	10	14	14	10	10	1	10	10	10	1	1	10
7	10	14	10	10	1	10	10	10	14	10	1	10	1
8	14	14	10	14	1	10	10	10	10	10	1	10	1
9	10	10	14	10	10	10	10	10	10	10	14	1	1
10	14	10	10	1	10	10	1	10	10	10	14	10	1
11	10	10	14	1	10	10	10	10	10	10	1	14	10
12	10	14	10	10	1	10	1	10	10	10	10	1	14
13	14	1	10	14	10	10	10	10	1	1	10	14	10
14	14	10	14	1	10	10	10	10	10	1	10	14	10
15	10	10	14	1	10	10	1	10	10	10	10	10	14
16	10	14	10	14	1	10	10	10	10	1	10	10	10
17	10	1	14	10	10	14	10	10	10	10	10	10	10
18	14	10	10	10	14	1	1	10	10	10	10	10	10
19	10	10	14	10	10	1	10	10	10	10	10	14	10
20	10	14	1	10	10	10	10	1	10	10	1	14	10
21	14	10	10	14	10	1	10	1	10	10	10	14	1
22	10	14	1	10	14	10	1	10	10	10	10	10	10
23	14	10	10	10	10	1	10	10	1	10	10	14	10
24	14	1	10	10	14	10	10	1	10	10	10	10	10
25	10	10	1	14	10	10	10	10	1	1	10	10	14
26	10	10	14	10	10	10	10	1	1	10	10	10	14
27	10	14	10	10	10	1	10	10	10	10	10	1	10
28	14	10	10	10	14	1	10	1	10	10	10	1	10
29	10	14	10	10	10	1	10	10	10	10	1	10	14
30	10	14	1	10	10	10	10	1	10	1	10	10	14
31	14	10	1	10	14	10	10	1	1	14	10	10	10

Fonte: elaborado pelo autor.