



JÚLIA MATTOSINHO FIUZA

**INFLUÊNCIA DE ELEMENTOS DE PROTEÇÃO SOLAR HORIZONTAIS
APLICADOS A ABERTURAS LATERAIS, NA ADMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DA
LUZ NATURAL.**

FLORIANÓPOLIS – SC

2008

JÚLIA MATTOSINHO FIUZA

**INFLUÊNCIA DE ELEMENTOS DE PROTEÇÃO SOLAR HORIZONTAIS
APLICADOS A ABERTURAS LATERAIS, NA ADMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DA
LUZ NATURAL.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Área de Concentração Comportamento Ambiental e Eficiência Energética, da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Prof. Dr. Anderson Claro – PósARQ/UFSC – Orientador

FLORIANÓPOLIS
2008

JÚLIA MATTOSINHO FIUZA

**INFLUÊNCIA DE ELEMENTOS DE PROTEÇÃO SOLAR HORIZONTAIS
APLICADOS A ABERTURAS LATERAIS, NA ADMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DA
LUZ NATURAL.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Área de Concentração Comportamento Ambiental e Eficiência Energética, da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Profa. Dra. Carolina Palermo
Coordenadora do PósARQ

Aprovada pela Banca Examinadora em 17 de dezembro de 2008.

Prof. Fernando O. R. Pereira – PósARQ/UFSC

Profa. Dra. Sonia Afonso – PósARQ/UFSC

Prof. Dra. Ana Lúcia Papst de Abreu. – ARQ/Unisul

Prof. Dr. Anderson Claro – PósARQ/UFSC – Orientador

RESUMO

Este trabalho visa investigar como elementos horizontais de proteção solar em aberturas laterais interferem nas condições de iluminação natural no ambiente construído. O sombreamento das aberturas é aconselhável para climas quentes, onde o ganho de calor é dispensável, porém pouco se conhece sobre as condições de iluminação quando protetores são anexados às aberturas. Neste contexto, a pesquisa aqui apresentada tem como objetivo analisar a influência deste tipo de elemento, comparando diferentes composições que mantenham o mesmo ângulo de obstrução, submetidas a diferentes condições de insolação, e também sob a influência da refletância das superfícies destes elementos. As condições de iluminação foram feitas pela quantificação de iluminâncias, separadas por parcelas de contribuição que diferenciam a iluminância inicial, refletida e total. A visibilidade da abóboda celeste também foi investigada, com intuito de relacionar as condições de iluminação no ambiente e a visibilidade de partes mais brilhosas da abóboda pelos modelos. Para as soluções de protetores foi variada a percentagem de área superior do protetor que é vista pelo interior do ambiente; quanto à insolação, utilizou-se como parâmetro a percentagem de área do protetor que é insolada. A variação para obterem-se diferentes insolações foi feita quanto à latitude, sempre orientando a abertura a Norte. As análises foram feitas em apenas um dia (21/03) e um horário (12hr), com longitude 0°, através de simulação computacional, utilizando o programa Apolux Beta. Ao anexar a proteção solar as condições de iluminação são reduzidas, porém pode-se diminuir esta perda projetando a solução de proteção adequadamente e sendo aplicadas altas refletâncias nos protetores. A variação da insolação apresenta redução na admissão de luz quando é elevada a altitude solar, diminuindo assim a percentagem de área que recebe insolação direta nos protetores. Quanto à variação de refletância do protetor é tanto mais expressiva quanto a maior percentagem de área insolada visível pelo interior, que dependendo da solução, pode descaracterizar totalmente o objetivo da composição se mal aplicada. O estudo visa apresentar os resultados de forma a ser mais facilmente compreendidos pelos profissionais da área, para melhor aplicabilidade deste elemento.

Palavras-Chave: Iluminação Natural. Abertura Lateral. Elementos de Proteção Solar. Simulação Computacional.

INFLUENCE OF HORIZONTAL ELEMENTS OF SOLAR PROTECTION APPLIED TO LATERAL FENESTRATIONS, IN THE ADMISSION AND DISTRIBUTION OF DAYLIGHT.

ABSTRACT

This work aims to investigate how horizontal elements of sun protection in side vents affect the conditions of natural lighting in the built environment. The shading of openings is suitable for warm climates where heat gain is dispensable, but little is known about the lighting when protectors are attached to openings. In this context, the research presented here aims to analyze the influence of this type of element, comparing different compositions to maintain the same angle of obstruction, under different conditions of insolation, and also under the influence of the reflectance of these elements's surfaces. The lighting conditions were made by measurement of illuminance, separated by plots of the contribution that different initial illuminance, reflected and total. The celestial arch roof view was investigated to relate the environment illumination and the visibility of the brightness parts of the arch roof by the samples. To the protecting solutions was varied from the percentage of the upper area of the protector which is seen by interior environment; about the insolation, it was used as a parameter the percentage of area of the protector which is sun lighted. The variation to obtain different insolation was on the latitude, always directing the opening to the north. The tests were made in only one day (21/03) and a time (12hr), with longitude 0 °, throughout computational simulation, using the Apolux Beta program. Attaching to the sunscreen the lighting is lowered, but you can reduce this loss of protection designing the solution being applied properly and high reflectance in protectors. The variation of insolation shows reduction in the admission of light when the high altitude sun, thereby reducing the percentage of area that receives direct sun in the protector. Regarding the change in reflectance of the protector is even more significant as the largest percentage of the sun lighted visible area inside, which depending on the solution, you can completely weakened the purpose of composition if it is poorly used. The study aims to present the results in order to be more easily understood by professionals in the area for better application of this element.

Key-Words: Natural Illumination. Lateral Fenestration. Elements of Solar Protection. Computational Simulation.

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|--|-----|
| Equação 1 - Iluminância Total para o Modelo SP | 73 |
| Equação 2 - Iluminância Refletida (Erf.) | 73 |
| Equação 3 – Média Aritmética..... | 77 |
| Equação 4 – Solar Declination. | 154 |
| Equação 5 – Day Angle..... | 154 |
| Equação 6 – Day Number | 154 |
| Equação 7 – Equation of Time | 155 |
| Equação 8 – True Solar Time..... | 155 |
| Equação 9 – Hour Angle | 155 |
| Equação 10 – Solar Altitude..... | 155 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Modelo Conceitual de Moore, aplicado a caminhos diretos. | 34 |
| Figura 2 – Modelo Conceitual de Morre, aplicado a caminhos difusos. | 34 |
| Figura 3 – Modelo Conceitual de Moore, “luminância X tamanho aparente” | 35 |
| Figura 4 – Esquemas ilustrativos de reflexão difusa e especular..... | 36 |
| Figura 5 – Esquemas de superfícies com transmissão difusa e especular..... | 36 |
| Figura 6 – Componentes CC, CRE e CRI..... | 37 |
| Figura 7 - Distribuição da Intensidade Luminosa da janela com filtro corretor..... | 39 |
| Figura 8 - Distribuição da Intensidade Luminosa da janela sem filtro corretor..... | 39 |
| Figura 9 - Representação esquemática da visibilidade da abobada celeste de um ponto qualquer, e o redirecionamento do fluxo luminoso. | 40 |
| Figura 10 – Exemplo da hemisfera oca com base da visão da janela lateral..... | 40 |
| Figura 11 – Exemplo do mapeamento do fluxo pelo método de Bogo..... | 41 |
| Figura 12 - Exemplo da forma de apresentação da penetração do fluxo por Bogo..... | 42 |
| Figura 13 – Exemplo de abertura zenital. Projeto de Louis Kahn, Yale Art Gallery, Center for British Art - New Haven (1951 - 1953)..... | 43 |
| Figura 14 – Exemplo de abertura lateral, janela. Projeto de Louis Kahn, Phillips Exter Academy Library (1966 - 1968)..... | 43 |
| Figura 15 – Exemplos de elementos de proteção solar. Beiral Estendido (a). Cobogós (b)..... | 45 |
| Figura 16 – Tipos de Brises. | 46 |
| Figura 17 – Exemplo de protetor horizontal e esquema em planta e corte. | 47 |
| Figura 18 – Exemplo de protetor vertical e esquema em planta e corte. | 47 |
| Figura 19 – Exemplos dos modelos estudados por Robbins. | 49 |
| Figura 20 – Modelos estudados por Basso e Argout..... | 50 |
| Figura 21 – Imagem com a primeira tela do Apolux, Módulos Fractal e Fóton. | 58 |
| Figura 22 – Figura com a interface do Fractal e um modelo já fracionado..... | 58 |
| Figura 23 – Figura com a interface do Fóton e imagem de uma solução. | 59 |

| | |
|--|-----|
| Figura 24 – Resumo das Análises..... | 60 |
| Figura 25 – Geometria do ambiente e dimensões. | 61 |
| Figura 26 - Desenho do modelo e suas refletâncias enfatizadas..... | 62 |
| Figura 27 - Desenho do modelo sem protetor, base (SP)..... | 62 |
| Figura 28 - Esquema de Área Visível..... | 63 |
| Figura 29 - Modelo com 0% de área visível – Modelo 1P..... | 63 |
| Figura 30 - Modelo com 50% de área visível – Modelo 2P..... | 64 |
| Figura 31 - Modelo com 75% de área visível – Modelo 4P..... | 64 |
| Figura 32 - Modelo com 100% de área visível – Modelo 8P..... | 65 |
| Figura 33 – Insolação incidente no Grupo 1 - 100% insolado..... | 67 |
| Figura 34 – Carta Solar do grupo 1, 100% insolado, com sombreamento de 60° horizontal..... | 67 |
| Figura 35 – Insolação incidente no Grupo 2 - 50% insolado..... | 68 |
| Figura 36 – Carta Solar do grupo 2, 50% insolado, com sombreamento de 60° horizontal..... | 68 |
| Figura 37 - Insolação incidente no Grupo 3 – 0% insolado..... | 69 |
| Figura 38 – Carta Solar do grupo 3, 0% insolado, com sombreamento de 60° horizontal..... | 69 |
| Figura 39 - Esquema do Globo Terrestre com Latitudes e Altitudes Solares..... | 69 |
| Figura 40 - Plano de análise no ambiente..... | 72 |
| Figura 41 – Exemplo de Máscara de Visibilidade da Abóboda Celeste, Grupo 1 – SP..... | 76 |
| Figura 42 - Esquema do Corte Longitudinal que resulta nos Gráficos de Profundidade X Iluminância..... | 77 |
| Figura 43 – Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo SP, grupo 1..... | 81 |
| Figura 44 – Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 1P, grupo 1..... | 82 |
| Figura 45 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 2P, grupo 1..... | 83 |
| Figura 46 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 4P, grupo 1..... | 84 |
| Figura 47 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 8P, grupo 1..... | 85 |
| Figura 48 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo SP, grupo 2..... | 96 |
| Figura 49 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 1P, grupo 2..... | 97 |
| Figura 50 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 2P, grupo 2..... | 98 |
| Figura 51 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 4P, grupo 2..... | 99 |
| Figura 52 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 8P, grupo 2..... | 100 |

| | |
|--|-----|
| Figura 53 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo SP, grupo 3. | 109 |
| Figura 54 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 1P, grupo 3..... | 110 |
| Figura 55 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 2P, grupo 3..... | 111 |
| Figura 56 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 4P, grupo 3..... | 112 |
| Figura 57 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 8P, grupo 3..... | 113 |
| Figura 58 – Esquema de incidência do fluxo luminoso, modelos SP e 2P..... | 142 |
| Figura 59 - Esquema de visualização da abóboda pelos modelos. | 145 |
| Figura 60 – Esquema de redirecionamento do fluxo com protetores horizontais e verticais. | 146 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 – Exemplo de gráfico de curva isolux e das regiões, Grupo 1 - SP (Etot) | 75 |
| Gráfico 2 - Exemplo de Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 - 2P (%Etot) | 77 |
| Gráfico 3 – Curvas Isolux - Grupo 1 - SP (Etot) | 81 |
| Gráfico 4 – Curvas Isolux - Grupo 1 - 1P 85% (Etot) | 82 |
| Gráfico 5 – Curvas Isolux - Grupo 1 – 2P 85% (Etot) | 83 |
| Gráfico 6 – Curvas Isolux - Grupo 1 - 4P 85% (Etot) | 84 |
| Gráfico 7 – Curvas Isolux - Grupo 1 – 8P 85% (Etot) | 85 |
| Gráfico 8 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Grupo 1 – SP (Etot, Eini e ErfI) | 87 |
| Gráfico 9 – Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Eini) | 88 |
| Gráfico 10 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Eini) | 88 |
| Gráfico 11 – Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%ErfI) | 89 |
| Gráfico 12 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%ErfI) | 90 |
| Gráfico 13 – Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Etot) | 92 |
| Gráfico 14 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Etot) | 93 |
| Gráfico 15 – Curvas Isolux - Grupo 2 – SP (Etot) | 95 |
| Gráfico 16 – Curvas Isolux – Grupo 2 - 1P 85% (Etot) | 96 |
| Gráfico 17 – Curvas Isolux - 2P 85% (Etot) | 97 |
| Gráfico 18 – Curvas Isolux - 4P 85% (Etot) | 98 |
| Gráfico 19 – Curvas Isolux –Grupo 2 - 8P 85% (Etot) | 99 |

| | |
|---|-----|
| Gráfico 20 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Grupo 2 – SP (Etot, Eini e ErfI) | 101 |
| Gráfico 21 – Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 2 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Eini) | 102 |
| Gráfico 22 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 2 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Eini) | 102 |
| Gráfico 23 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 2 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%ErfI) | 103 |
| Gráfico 24 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 2 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%ErfI) | 104 |
| Gráfico 25 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 2 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Etot) | 106 |
| Gráfico 26 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 2 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Etot) | 106 |
| Gráfico 27 – Curvas Isolux – Grupo 3 – SP (Etot) | 108 |
| Gráfico 28 – Curvas Isolux, Grupo 3 - 1P 85% (Etot) | 109 |
| Gráfico 29 – Curvas Isolux – Grupo 3 - 2P 85% (Etot) | 110 |
| Gráfico 30 – Curvas Isolux – Grupo 3 - 4P 85% (Etot) | 111 |
| Gráfico 31 – Curvas Isolux – Grupo 3 - 8P 85% (Etot) | 112 |
| Gráfico 32 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Grupo 3 – SP (Etot, Eini e ErfI) | 114 |
| Gráfico 33 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Eini) | 115 |
| Gráfico 34 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Eini) | 115 |
| Gráfico 35 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%ErfI) | 116 |
| Gráfico 36 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%ErfI) | 117 |
| Gráfico 37 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Etot) | 118 |
| Gráfico 38 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Etot) | 118 |

| | |
|---|-----|
| Gráfico 39 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo SP – Grupos 1, 2 e 3 (Etot). | 120 |
| Gráfico 40 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo SP – Grupos 1, 2 e 3 (Eini). | 121 |
| Gráfico 41 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo SP – Grupos 1, 2 e 3 (ErfI). | 122 |
| Gráfico 42 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 1P – Grupos 1, 2 e 3 (Etot). | 123 |
| Gráfico 43 – Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 1P – Grupos 1, 2 e 3 (%Etot). | 124 |
| Gráfico 44 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 1P – Grupos 1, 2 e 3 (Eini). | 125 |
| Gráfico 45 – Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 1P – Grupos 1, 2 e 3 (%Eini). | 125 |
| Gráfico 46 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 1P – Grupos 1, 2 e 3 (ErfI). | 126 |
| Gráfico 47 – Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 1P – Grupos 1, 2 e 3 (%ErfI). | 127 |
| Gráfico 48 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 2P – Grupos 1, 2 e 3 (Etot). | 128 |
| Gráfico 49 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 2P – Grupos 1, 2 e 3 (%Etot). | 128 |
| Gráfico 50 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 2P – Grupos 1, 2 e 3 (Eini). | 129 |
| Gráfico 51 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 2P – Grupos 1, 2 e 3 (%Eini). | 129 |
| Gráfico 52 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 2P – Grupos 1, 2 e 3 (ErfI). | 130 |
| Gráfico 53 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 2P – Grupos 1, 2 e 3 (%ErfI). | 131 |
| Gráfico 54 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 4P – Grupos 1, 2 e 3 (Etot). | 132 |
| Gráfico 55 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 4P – Grupos 1, 2 e 3 (%Etot). | 132 |

| | |
|---|-----|
| Gráfico 56 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 4P – Grupos 1, 2 e 3 (Eini)..... | 133 |
| Gráfico 57 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 4P – Grupos 1, 2 e 3 (%Eini)..... | 134 |
| Gráfico 58 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 4P – Grupos 1, 2 e 3 (ErfI)..... | 134 |
| Gráfico 59 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 4P – Grupos 1, 2 e 3 (%ErfI)..... | 135 |
| Gráfico 60 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 8P – Grupos 1, 2 e 3 (Etot)..... | 136 |
| Gráfico 61 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 8P – Grupos 1, 2 e 3 (%Etot)..... | 137 |
| Gráfico 62 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 8P – Grupos 1, 2 e 3 (Eini)..... | 137 |
| Gráfico 63 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 8P – Grupos 1, 2 e 3 (%Eini)..... | 138 |
| Gráfico 64 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 8P – Grupos 1, 2 e 3 (ErfI)..... | 138 |
| Gráfico 65 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 8P – Grupos 1, 2 e 3 (%ErfI)..... | 139 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 – Parâmetros Fixos e Variáveis..... | 60 |
| Tabela 2 – Resultados Grupo 1 – Modelo SP | 157 |
| Tabela 3 - Resultados Grupo 1 – Modelo 1P 85% | 158 |
| Tabela 4 - Resultados Grupo 1 – Modelo 1P 0% | 159 |
| Tabela 5 - Resultados Grupo 1 – Modelo 2P 85% | 160 |
| Tabela 6 - Resultados Grupo 1 – Modelo 2P 0% | 161 |
| Tabela 7 - Resultados Grupo 1 – Modelo 4P 85% | 162 |
| Tabela 8 - Resultados Grupo 1 – Modelo 4P 0% | 163 |
| Tabela 9 - Resultados Grupo 1 – Modelo 8P 85% | 164 |
| Tabela 10 - Resultados Grupo 1 – Modelo 8P 0% | 165 |
| Tabela 11 - Resultados Grupo 2 – Modelo SP | 166 |
| Tabela 12 - Resultados Grupo 2 – Modelo 1P 85% | 167 |
| Tabela 13 - Resultados Grupo 2 – Modelo 1P 0% | 168 |
| Tabela 14 - Resultados Grupo 2 – Modelo 2P 85% | 169 |
| Tabela 15 - Resultados Grupo 2 – Modelo 2P 0% | 170 |
| Tabela 16 - Resultados Grupo 2 – Modelo 4P 85% | 171 |
| Tabela 17 - Resultados Grupo 2 – Modelo 4P 0% | 172 |
| Tabela 18 - Resultados Grupo 2 – Modelo 8P 85% | 173 |
| Tabela 19 - Resultados Grupo 2 – Modelo 8P 0% | 174 |
| Tabela 20 - Resultados Grupo 3 – Modelo SP | 175 |
| Tabela 21 - Resultados Grupo 3 – Modelo 1P 85% | 176 |
| Tabela 22 - Resultados Grupo 3 – Modelo 1P 0% | 177 |
| Tabela 23 - Resultados Grupo 3 – Modelo 2P 85% | 178 |
| Tabela 24 - Resultados Grupo 3 – Modelo 2P 0% | 179 |
| Tabela 25 - Resultados Grupo 3 – Modelo 4P 85% | 180 |
| Tabela 26 - Resultados Grupo 3 – Modelo 4P 0% | 181 |
| Tabela 27 - Resultados Grupo 3 – Modelo 8P 85% | 182 |
| Tabela 28 - Resultados Grupo 3 – Modelo 8P 0% | 183 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA..... | 17 |
| 1.2 TEMA | 18 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA | 18 |
| 1.4 OBJETIVO..... | 21 |
| 1.4.1 Objetivos Específicos | 21 |
| 1.5 MÉTODO..... | 21 |
| 1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO | 23 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 24 |
| 2.1 O FENÔMENO FÍSICO DA LUZ | 27 |
| 2.2 MÉTODOS DE ESTIMATIVA E ANÁLISE | 29 |
| 2.2.1 Simulação Computacional | 31 |
| 2.3 FONTES DE LUZ NATURAL | 32 |
| 2.4 COMPORTAMENTO DE DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO LUMINOSO | 34 |
| 2.5 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS | 35 |
| 2.6 COMPONENTES DO FLUXO LUMINOSO..... | 37 |
| 2.7 O AMBIENTE CONSTRUÍDO E A ILUMINAÇÃO NATURAL..... | 38 |
| 2.8 PROTETORES SOLARES | 44 |
| 2.8.1 Tipos de Protetores..... | 45 |
| 2.8.2 Capacidade de Redirecionamento do Fluxo Luminoso por Protetores Solares | 48 |
| 3 METODOLOGIA..... | 54 |
| 3.1 SÍNTESE METODOLÓGICA | 54 |
| 3.2 ESCOLHA DO MÉTODO DE ESTIMATIVA DE ILUMINAÇÃO | 55 |
| 3.2.1 Escolha do Software de Simulação | 56 |
| 3.3. MODELOS DE ANÁLISE | 59 |
| 3.3.1 O Ambiente de Análise | 61 |

| | |
|---|-----|
| 3.3.2 Soluções de Proteção Solar | 62 |
| 3.3.3 Análises | 65 |
| 3.4 OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS RESULTADOS | 70 |
| 3.4.1 Nomenclatura | 70 |
| 3.4.2 Configuração das Simulações | 71 |
| 3.4.3 Obtenção dos Resultados | 72 |
| 3.4.4 Tratamento dos Resultados | 73 |
| 3.5 ANÁLISE DOS DADOS | 74 |
| 3.5.1 Método gráfico..... | 74 |
| 3.5.2 Método Analítico | 76 |
| 4 RESULTADOS OBTIDOS | 79 |
| 4.1 ANÁLISE POR GRUPOS | 80 |
| 4.1.1 Grupo 1 - 100% De Área Insolada | 80 |
| 4.1.1.1 Método Gráfico..... | 80 |
| 4.1.1.2 Método Analítico | 86 |
| 4.1.2 Grupo 2 – 50% de Área Insolada..... | 94 |
| 4.1.2.1 Método Gráfico..... | 94 |
| 4.1.2.2 Método Analítico | 100 |
| 4.1.3 Grupo 3 – 0% de Área Insolada..... | 107 |
| 4.1.3.1 Método Gráfico..... | 107 |
| 4.1.3.2 Método Analítico | 113 |
| 4.2 DESEMPENHO POR MODELOS..... | 119 |
| 4.2.1 Modelo SP..... | 120 |
| 4.2.2 Modelo 1P | 123 |
| 4.2.3 Modelo 2P | 127 |
| 4.2.4 Modelo 4P | 131 |
| 4.2.5 Modelo 8P | 135 |
| 5 CONCLUSÕES | 140 |
| 5.1 A INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DE PROTEÇÃO SOLAR NAS CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO DO AMBIENTE | 140 |
| 5.2 INFLUÊNCIA DA REFLETÂNCIA DO PROTETOR SOLAR | 142 |
| 5.3 INFLUÊNCIA DA INSOLAÇÃO NO DESEMPENHO DOS MODELOS | 143 |
| 5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 144 |
| 5.4.1 Recomendações a Trabalhos Futuros | 147 |

| | |
|--|------------|
| 5.4.2 Limitações da Pesquisa..... | 147 |
| REFERÊNCIAS..... | 148 |
| APÊNDICE A | 154 |
| APÊNDICE B | 157 |
| APÊNDICE C | 166 |
| APÊNDICE D | 175 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA

Inúmeros são os motivos para os projetistas utilizarem a luz natural como condicionante de projeto, tais como a qualidade da iluminação, a redução de consumo energético, a comunicação visual, além dos benefícios psicológicos e fisiológicos propiciados aos usuários. Os sistemas de iluminação natural, quando não bem projetados, podem causar alguns desconfortos, como: ganho excessivo de calor, principalmente em áreas de clima quente; ofuscamento visual pela radiação solar direta, ou excessivo contraste de brilho.

Para melhor aproveitamento de luz natural, faz-se necessário conhecer a abertura como fonte luminosa do ambiente, sua influência na admissão e distribuição da iluminação natural no interior dos ambientes, Mesmo quando influenciada por elementos de controle solar, podem modificar a eficiência da captação na iluminação, principalmente se não aplicados corretamente.

A abertura lateral é o elemento mais comum de contato com o exterior nos edifícios atuais, conforme estudo de Goulart (1997). Todavia, Cabus (1997) alerta que “A iluminação lateral é mais adequada a regiões próximas as janelas, porém como a iluminância produzida reduz-se à medida que se afasta da fonte, este sistema produz uma distribuição de iluminâncias inadequada na maioria dos casos.”.

O conhecimento da eficiência luminosa de aberturas desobstruídas é bastante pesquisado, mas quando influenciadas por elementos de proteção solar podem ter comportamento de distribuição luminosa diferente.

Robbins (1986) afirma que a composição arquitetônica da solução de proteção solar interfere nas condições de iluminação dos ambientes, podendo ainda ser projetada de forma a auxiliar na admissão e distribuição do fluxo pelo ambiente. Kremer (2002) atenta que eventualmente quando utilizados elementos de proteção solar, pode-se prejudicar a distribuição de luz no ambiente, mesmo reduzindo o ofuscamento da radiação solar direta.

Littlefair (2001) ainda aponta certa escassez de estudos sobre os efeitos da radiação difusa provocada pelos elementos de proteção nos ambientes construídos, particularmente quando aplicados em aberturas laterais.

Bogo (2007) apresentou uma nova forma de estimativa de distribuição do fluxo luminoso pela abertura quando influenciada por protetores solares, porém com a compreensão dos gráficos sugeridos é apresentado apenas o resultado final, ficando a sugestão de soluções melhores ou piores pela interpretação do estudioso. Novos estudos podem caracterizar o fenômeno mais claramente, de forma que os profissionais possam aplicar esta técnica mais facilmente em seus projetos.

1.2 TEMA

Questiona-se que soluções de proteção solar com mesmo ângulo de obstrução solar, máscaras solares equivalentes, apesar de produzirem mesmo sombreamento, não necessariamente resultam na mesma condição de iluminação no ambiente.

Este estudo irá abordar o fenômeno físico da iluminação natural nos ambientes construídos, sob efeito do uso de protetores solares em aberturas laterais, quanto ao redirecionamento da radiação luminosa e sua influência na distribuição da iluminação pelo ambiente.

Visa conhecer como o protetor solar participa na admissão e distribuição do fluxo luminoso, ressaltando do total da radiação admitida a parcela referente ao redirecionamento do fluxo de luz pelo elemento protetor, analisando diferentes soluções de proteção a partir de um mesmo ângulo de obstrução solar, trabalhando com simulação computacional.

1.3 JUSTIFICATIVA

A crise energética atinge todos os campos da sociedade mundial. No campo da construção civil é de extrema importância adaptar o meio construído de forma a melhor usufruir dos recursos naturais disponíveis do local. Cabe aos projetistas encontrarem maneiras de adequar os ambientes de forma mais sustentável,

principalmente nos aspectos térmicos e de iluminação, onde são maiores os gastos energéticos das edificações, como apresentado em Lamberts et al. (2004). O impacto nos gastos energéticos quanto à iluminação, por exemplo, é bastante abordado em diversas pesquisas, como nos estudos de:

- Ghisi e Tinker (2005), propõem uma forma de quantificação do percentual de economia de energia pela 'janela ideal';
- Bodart e Herde (2002), apresentam uma simulação de impacto no consumo de energia por diferentes combinações entre janela, ambiente e vidro;
- Onaygil e Güler (2003), comparam o consumo de energia através de sistemas de controle de iluminação artificial, em diferentes condições climáticas;
- Bourgeois et. al. (2006), evidenciam o impacto no uso final da energia por sistemas de controle de iluminação.

Sendo o potencial de economia energética quando utilizado a iluminação natural consolidado, pelos estudos citados acima, e também Souza (2003) pelo potencial de aproveitamento da luz natural nos ambientes construídos, se faz necessário conhecer melhor o fenômeno da luz natural nos ambientes.

O estudo da iluminação natural em arquitetura e urbanismo é complexo, de acordo com Claro (1998). Envolve fenômenos complicados, como a radiação difusa da abóboda e a incidência direta do Sol, influenciado por variáveis bastante diversificadas ao longo de breves espaços de tempo.

O projeto arquitetônico desempenha um papel fundamental, tanto na busca da eficiência energética (com economia de energia elétrica); quanto no aprimoramento de um recurso natural, que repercute na qualidade do projeto enquanto adaptado as características locais.

A iluminação é um fator muito importante a ser considerado em uma edificação, pois quando sua intensidade é inadequada pode reduzir e dificultar o desenvolvimento das atividades, assim como provocar perturbações e fadiga visual, ofuscamento, dores de cabeça, complicações no sistema nervoso e até mesmo variações na produtividade. Seus efeitos nocivos não se relacionam apenas aos aspectos quantitativos (nível mínimo de iluminação por atividade), mas também aos aspectos qualitativos.

Como as outras fontes de luz, a intensidade da iluminação natural também precisa ser controlada. A penetração da luz direta do Sol nos compartimentos, principalmente sua incidência sobre os planos de trabalho, podem trazer o inconveniente do ofuscamento, que é uma das causas mais comuns da fadiga visual. Assim, todas as aberturas do projeto devem ser cuidadosamente estudadas para otimizar o uso da iluminação natural e evitar o ofuscamento, além de eliminar o máximo possível do uso de iluminação artificial durante o dia.

Os sistemas de iluminação natural modificam o comportamento ambiental, permitindo ou impedindo não só a entrada de luz, como também interferindo nas trocas de ar, calor e som no ambiente. O controle destes fenômenos pode contribuir para obter tanto o conforto ambiental com também evitar gastos de energia.

Os protetores solares são muito utilizados nos projetos de arquitetura, visto sua grande eficiência para atenuar o desconforto térmico causado pela incidência solar direta, porém o uso destes elementos influencia a iluminação dos ambientes.

Este estudo visa contribuir para o conhecimento deste fenômeno, com intuito de aliar o aproveitamento da luz natural ao cuidado de não admitir ganhos de calor no ambiente, a partir de elementos de proteção solar.

As maneiras de estudar os efeitos da iluminação natural em ambientes construídos podem ser feitas basicamente por medições em ambientes reais ou em escala reduzida, ou ainda através de simulação computacional.

O uso de programas computacionais para avaliar a iluminação é cada vez mais freqüente no meio científico. Svendenius e Pertola (1995) observam que os programas desempenham importante papel aos profissionais, ressaltando que o programa que simule com exatidão um ambiente pode economizar dinheiro, tempo e energia profissional.

Conforme Graziano (2000), “Os modelos computacionais são capazes de resolver, através de cálculos complexos, as diversas interações entre superfícies, situações climáticas, atributos dos materiais e, pela sua rapidez e atual disponibilidade, os aplicativos podem considerar os diversos dados de forma independente ou conjuntamente.”. Com ajuda de programas computacionais, poderão ser distinguidas as diferentes parcelas de contribuição na distribuição do fluxo luminoso, atingindo mais diretamente nos objetivos desta pesquisa.

Atualmente existem diversos programas que simulam a iluminação natural de maneira eficiente. Um destes é o programa Apolux Beta, escolhido como ferramenta

de análise neste estudo. Este programa é a evolução do algoritmo utilizado pelo programa Apolux 1.0, desenvolvido pelo Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (CLARO et. al. 2005).

1.4 OBJETIVO

O objetivo geral desta pesquisa é analisar o comportamento da luz natural no ambiente construído, quando aplicados elementos de proteção solar em aberturas laterais. Visa caracterizar a admissão e distribuição do fluxo luminoso pelo ambiente, através da análise nas diferentes parcelas de contribuição do fluxo luminoso.

1.4.1 Objetivos Específicos

1. Avaliar as diferentes parcelas de que distribuem a iluminação natural no ambiente, e identificar em qual momento o elemento de proteção tem maior influência;
2. Analisar diferentes composições arquitetônicas com mesma condição de sombreamento e sua influência na distribuição da iluminação pelo ambiente;
3. Identificar a correlação entre a solução de proteção solar e as condições de iluminação no ambiente;
4. Verificar a influência da refletância do elemento de proteção solar nas condições de iluminação no ambiente;
5. Avaliar a influência de cada solução de proteção solar apresentada, quando submetidas a diferentes condições de insolação.

1.5 MÉTODO

A partir de um ambiente hipotético, com determinadas características fixas, utilizando a simulação computacional, foram comparadas aplicações de diferentes composições de proteção solar na abertura lateral, quanto à iluminação natural. Estes elementos foram projetados a partir de um ângulo de obstrução solar, através

de uma mesma máscara solar, ferramenta que designa a parcela de visualização da abóbada celeste que se deseja obstruir, conforme Bittencourt (2004).

Através da mensuração de iluminâncias, são apresentadas as condições de iluminação no ambiente. Com o recurso da simulação computacional, foi possível separar as diferentes parcelas que contribuem na distribuição da luz, a iluminância inicial (primeiro contato das superfícies com o fluxo luminoso), iluminância refletida (reflexões entre as superfícies da cena) e iluminância total (resultado final).

Primeiramente, as comparações foram feitas por grupos de análise, com base no modelo de ambiente desobstruído, o qual funciona como parâmetro de admissão máxima da iluminação natural em cada momento de insolação analisado. Comparando apenas a influência das diferentes composições de proteção solar, foram registradas diferentes condições de iluminação, uma vez que permitem diferentes áreas das superfícies destes elementos possam receber o fluxo oriundo da abóbada celeste e/ou do Sol, e redirecionar este fluxo para dentro do ambiente, apesar de manterem o mesmo ângulo de obstrução.

A segunda análise foi feita individualmente por solução de proteção solar criada, verificando seu desempenho nos diferentes momentos de insolação, já que a radiação solar direta varia sua angulação de incidência. Neste caso a alteração ocorre apenas modificando a altitude solar, resultando em diferentes porcentagens de área da superfície superior destes elementos que recebem insolação direta.

Todas as análises foram feitas diferenciando as parcelas de contribuição na distribuição da iluminação, pretendendo assim identificar em qual momento estes elementos há maior ou menor influência na admissão e distribuição do fluxo, até formarem o resultado final das condições de iluminação no ambiente.

Foram utilizados dois métodos de análise, gráfica e analítica. O primeiro, método gráfico, visa ter uma idéia geral das condições de iluminação no ambiente, objetiva caracterizar a tendência de distribuição do fluxo luminoso e compreender a forma de visualização da abóbada celeste em cada solução. Utiliza gráficos de curva isolux do resultado final da iluminação em um plano de trabalho hipotético, e máscaras solares de visibilidade da abóbada em um determinado ponto de cada modelo.

O segundo, método analítico, tem como objetivo identificar particularidades no fenômeno, através de gráficos bidimensionais, de profundidade e iluminância ou relação percentual de iluminâncias entre modelos, trabalhados como uma função

matemática, onde os valores que representam a iluminação foram tratados tanto em iluminância absoluta (lux) como porcentagens relativas (porcentagem em relação ao modelo desobstruído).

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada em cinco capítulos. O primeiro destina-se à introdução do leitor na pesquisa, apresentando o assunto desta dissertação com a colocação do problema, justificativa e a abordagem do tema, os objetivos e o método utilizado.

O segundo capítulo apresenta uma breve revisão bibliográfica, onde são apresentadas algumas das publicações referentes ao tema, procurando orientar outros trabalhos que abordem o tema ou ramificações do mesmo, com pesquisas já largamente consolidadas e também mais recentes sobre o assunto, assim como artigos que expressam outras pesquisas que estão surgindo a partir do tema.

O terceiro capítulo explica o método utilizado para as análises feitas, estruturando a formulação dos modelos e dos momentos de análise, além de apresentar os métodos de análise utilizados para atingir os objetivos desta pesquisa.

No quarto capítulo estão apresentados os resultados obtidos, separados por grupos, onde primeiramente estão às comparações das diversas soluções em cada momento de insolação, os 'grupos de análise', seguidos das análises individuais dos modelos e seus desempenhos em cada momento de insolação.

O quinto e último capítulo expõe os resultados de uma maneira mais geral, ressaltando as semelhanças e diferenças obtidas pelas diversas comparações e apresentando considerações sobre a forma como foram modificadas as condições de iluminação no ambiente quando aplicadas as diferentes soluções de protetores solar.

Por fim, são listadas as referências de pesquisa, seguidas dos apêndices que apresentam primeiramente os cálculos para localizar as latitudes que apresentam as altitudes solares com as insolações desejadas, e posteriormente são apresentados os resultados obtidos de forma absoluta, com os reais valores de iluminâncias obtidos em cada modelo, já que para a apresentação das análises os dados obtidos foram tratados, visando melhor entendimento na interação dos modelos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O conforto ambiental interno assim como a eficiência energética são critérios fundamentais para garantir uma edificação de qualidade que pretenda colocar a satisfação do homem como seu principal objetivo.

O consumo energético das edificações tem de ser considerado como um critério importante do desenvolvimento do projeto. O estímulo ao uso dos recursos endógenos (energia proveniente do Sol ou do clima) nas edificações além de promover uma economia na energia elétrica, ocasionam uma maior harmonia dos edifícios com o clima, Bonates e Silva (2004).

Canziani et al. (2004) apontam certo abandono de estratégias que utilizam a composição arquitetônica para obtenção de melhores condições de luz natural e desempenho térmico nas edificações, devido o crescimento da indústria que facilitou o uso da energia elétrica para obtenção de conforto, através da luz artificial e de sistemas de condicionamento de ar.

A iluminação representa grande parte da demanda energética, Oakley et al. (2000) assinalaram cerca de 30% do consumo energético total destinado a iluminação no fim do século XX; logo depois, Bodart e Herde (2002) apresentaram um intervalo maior, entre 20 e 60%; Ghisi e Tinker (2005) apontaram média de 25%, ressaltando que dependendo do país essa média varia, como por exemplo o Brasil consome 24%, já o EUA 39%.

Os estudos com base na economia de energia obtida apenas pela utilização da luz natural, como Onagyl e Güller (2003), Bodart e Herde (2002) ou Canziani et. al. (2004), mostram que a iluminação natural é uma fonte rica nesse potencial, porém todos alertam para o possível ganho de calor, quando não aplicada adequadamente pode ocasionar.

A iluminação é uma das variáveis que compõem o conforto ambiental de um ambiente construído. Na concepção do projeto arquitetônico a iluminação natural deve ser cuidadosamente avaliada, pois além do conforto visual, está também relacionada ao conforto térmico e acústico. Afinal, as mesmas aberturas que promovem este contato com o exterior, iluminam e permitem trocas de calor e ruídos.

O conforto visual está relacionado com ver bem, um bom nível de luz para a tarefa a realizar é condição necessária. Existem normas para os níveis de iluminação adequados em diversas tarefas, NBR 5413 (ABNT, 1991), estes níveis são caracterizados por faixas de idades dos usuários, precisões das tarefas e para ambientes diversos.

Porém, apenas o nível médio não é suficiente para satisfazer o conforto visual, também é preciso que não haja ofuscamento, nem grandes contrastes, pois estes levam ao desconforto ou ao cansaço visual. Entretanto certo grau de contrastes é positivo, pois uma distribuição de luminâncias não-uniforme produz ambientes mais dinâmicos do ponto de vista da percepção.

Ao projetar para os trópicos se deve pensar na necessidade de controlar a entrada da luz, para não criar ofuscamento, altos contrastes ou um ingresso exagerado de radiação solar direta, que afetará o conforto térmico. Por Corbella e Yannas (2003) os parâmetros básicos que definem a qualidade da visão são:

- Campo visual (ângulo sólido abrangido pelos dois olhos);
- Acuidade (capacidade de distinguir detalhes próximos);
- Adaptação (tempo necessário para o ajuste da visão em mudanças de luz);
- Contraste (forte diferença de brilho ou de cores entre duas superfícies).

Não tem sentido projetar um edifício com bom conforto térmico se, em consequência do partido escolhido, haverá desconforto visual ou acústico. As decisões adotadas para resolver cada caso devem ser integradas, a fim de propiciar um bom nível de conforto ambiental.

Na história da arquitetura, a iluminação natural sempre desempenhou papel muito importante, sendo até colocada como definidora de formas arquitetônicas pela IES Daylighting Committee (1979). Muitos estudos apresentam a evolução de estratégias de controle da luz natural, como Cabeza et al. (2001), que fazem uma análise na evolução do uso de *domus* na arquitetura barroca da América do Sul, ou Fonseca (2007) e Bogo (2007) que apresentam uma breve abordagem histórica da iluminação natural na arquitetura como fundamento para seu trabalho.

A iluminação é o principal determinante para o conforto visual, já que os ambientes construídos são iluminados para permitir, principalmente, o desenvolvimento das tarefas visuais, sendo estas facilitadas com a adequada quantidade do nível de iluminância no espaço, portanto não causarão prejuízos tanto

à vista quanto à visão dos usuários. No entanto, a inadequada iluminação pode causar também fadiga, cefaléia e irritabilidade ocular, e todos estes aspectos traduzirão em uma diminuição da atividade produtiva.

Robbins (1986) coloca que inúmeras são as vantagens de se utilizar a luz natural nos projetos arquitetônicos, entre elas a qualidade da luz, a importância da luz natural como elemento de projeto, contato com exterior, conservação de energia, além dos benefícios psicológicos e fisiológicos para os usuários.

Cabus (1997) coloca que a luz natural, além de englobar todo o espectro da radiação luminosa, tendo assim excelente representação das cores, combina perfeitamente com as necessidades visuais dos seres humanos.

O olho humano se adapta melhor à luz natural que à artificial, a luz artificial além de não reproduzir todas as cores da luz natural, não varia conforme as horas do dia. É importante, considerar o calor gerado pela luz artificial, que se soma ao produzido pelas pessoas e artefatos aumentando a temperatura do ar e a sensação de desconforto térmico.

Ainda que a luz natural não esteja disponível sempre, os níveis de iluminação externos variam entre 30.000lux, num dia encoberto, a mais de 100.000 lux, num dia de céu claro. Portanto, sendo admitido apenas 1% desta luz no interior dos edifícios, isto poderá proporcionar iluminação de 300 a 1.000 lux aproximadamente, variando conforme a forma e tamanho do ambiente, uma faixa suficiente para a maioria das atividades visuais.

Robbins (1986) afirma que o objetivo de um sistema de iluminação natural é proporcionar luz razoável onde é necessário no interior do edifício, como também garantir contraste suficiente de luz para o conforto visual dos usuários. De acordo com Moore (1991), os sistemas de iluminação natural têm como objetivo maximizar a entrada de luz, controlando a penetração da radiação direta, e diminuindo o ganho de calor.

O bem-estar visual de um projeto arquitetônico tem relação com aspectos de qualidade do espaço a ser iluminado. Os principais parâmetros para o projeto de iluminação interna, por Corbella e Yannas (2003), são: o tipo das fontes de luz do ambiente; o nível de iluminação requerido pela precisão e a rapidez da tarefa; a idade dos usuários; os contrastes da radiação solar direta e as superfícies internas; as cores das superfícies internas; a relação comprimento/largura do local; a altura do pé-direito.

Portanto, para melhor aproveitar a luz natural nos ambientes construídos, deve-se utilizar a abertura como a fonte luminosa dos mesmos, conhecer como esta se comporta e as melhores formas de direcionar o fluxo luminoso sem causar desconforto aos usuários do ambiente interno.

Porém, devido ao seu alto conteúdo energético (luz e calor), a luz natural é geralmente pouco admitida no ambiente construído, no intuito de amenizar os efeitos adversos sobre o ambiente, como: o superaquecimento em climas quentes, ou o ofuscamento pelo brilho excessivo, ou ainda pelo cuidado da integridade física dos materiais.

Face ao exposto, inúmeros trabalhos e propostas realizadas por pesquisadores e arquitetos demonstram essa preocupação do emprego da iluminação natural para a melhoria de projetos arquitetônicos, através da utilização de novos materiais e sistemas construtivos que controlam a transmissão de luz e de calor, evitando a condensação e constituindo uma boa barreira acústica, assim como uma redução na energia elétrica e um menor impacto ao ambiente (VIANNA E GONÇALVES, 2001).

No empenho de utilizar mais luz natural, Robbins (1986) atenta para que o projeto não tenha áreas muito grandes de aberturas, pois poderá haver um excesso de iluminação, resultando em ofuscamento, e aumento da carga térmica, com a entrada de radiação solar direta que se converterá em calor ao atingir as superfícies internas. Isto resultará em maior desconforto térmico, ou em maior consumo de energia nos sistemas de ar condicionado.

2.1 O FENÔMENO FÍSICO DA LUZ

A luz natural e sua relação no ambiente construído estão largamente discutidas no âmbito científico (MOORE, 1991; FREIRE, 1997; BAKER et al., 1993). De uma perspectiva ampla a luz pode ser apresentada como um pequeno intervalo intermediário de um espectro mais amplo de energia radiante.

A ciência define a luz como energia em forma radiante (eletromagnética) que é detectada pelo olho, expressada pelo espectro eletromagnético. Neste espectro as parcelas de energia, segundo seu comprimento de onda, possuem diferentes

nomes, aquela detectada pelo olho chama-se Radiação Visível (Luz), como também apresentam diferentes efeitos na cena, de acordo com a forma e as características do material em que incide.

A divisão deste espectro compõe as diferentes cores. A combinação de todas as cores do espectro visível provindo do Sol é percebida pelo olho como cor branca, com maior ou menor intensidade de acordo com a quantidade de energia nesse intervalo. A cor de uma superfície resulta da parcela de radiação eletromagnética que a superfície não absorve, refletindo essa parcela da luz.

A fotometria define os parâmetros que tratam da luz como grandeza física (MOORE, 1991; FREIRE, 1997), alguns deles são:

- ϕ - fluxo luminoso. Quantidade de energia luminosa que tem uma resposta visual. Unidade Lúmen (lm).
- I – intensidade luminosa. É o fluxo luminoso emitido em uma direção dividido pelo ângulo sólido no qual está contido. Unidade Candela (cd).
- E – iluminância (ou iluminação, ou nível de luz). É a densidade de fluxo que chega a uma superfície (ex. plano de trabalho). Medida em lumens por metro quadrado da superfície iluminada. Um lúmen por metro quadrado se chama lux.
- L – luminância. É a intensidade luminosa (I) de uma fonte ou superfície iluminada, por unidade de área numa dada direção. Medida em candela por metro quadrado (cd/m^2).

De acordo com o objetivo do estudo e devido à inconstância da luz natural, diferentes maneiras de apresentação das condições de iluminação natural nos ambientes são encontradas na bibliografia. No caso de estudos sobre ofuscamento, trabalha-se com índices de luminâncias, como a análise de Nissola (2005) que trabalhou com proporções entre as luminâncias obtidas no campo visual do observador em estudo.

Quando se estuda os níveis de iluminação podem-se utilizar faixas de iluminâncias, excessiva, suficiente e insuficiente, como utilizado no estudo de Cabus (1997), com base na indicação da NBR 5413 (ABNT, 1991) para cada atividade.

O método de Fator de Luz Diurna (FDL) adota uma relação entre iluminâncias (CORBELLA E YANNAS, 2003; FREIRE, 1997), é a porcentagem do valor da maior iluminância externa em um dado momento, obtida em pontos internos do ambiente

no mesmo instante. Porém tem avaliação contestável, já que as condições de iluminação natural são muito variáveis.

Nabil e Mardaljevic (2006) apresentam nova forma de avaliação dos níveis de iluminância obtidos nos ambientes (UDI), foi definido um intervalo de níveis de iluminâncias suficiente para as tarefas visuais, por ocorrência no período de um ano. O artigo apresenta comparação entre outras duas formas de apresentação das condições de iluminação nos ambientes, o FDL (Fator de Luz Diurna) e DA (*Daylight Autonomy*). Todos trabalham com relações entre iluminâncias, onde:

- FDL - Porcentagem de iluminância externa obtida em pontos internos do ambiente, em um dado momento de análise;
- DA – Ocorrência de valores maiores que 500 lux obtidos no interior do ambiente, durante um ano;
- UDI – Ocorrência de valores entre 100 e 2000 lux obtidos no interior do ambiente, durante um ano.

O UDI (*Useful Daylight Illuminance*) também chamado modelo '*climate-based*' pela referência que utiliza, aparece como uma forma de avaliação das características das condições climáticas do local de estudo de uma forma mais significativa e objetiva para se avaliar as condições internas de iluminação.

2.2 MÉTODOS DE ESTIMATIVA E ANÁLISE

Os métodos mais utilizados para obter os resultados da iluminação são: as medições *in loco*; as medições em escala reduzida; ou ainda, as simulações computacionais.

As medições *in loco* tendem a ser mais voltadas ao conforto visual em geral, pois apenas é possível ter os valores das condições finais da iluminação, já que não se consegue separar as parcelas do fluxo luminoso, e avaliar os elementos que contribuíram em cada direção.

Uma maneira de avaliar melhor um ambiente real é obter os valores *in loco*, e posteriormente aplicar os resultados obtidos em um programa de simulação computacional. Alguns dos exemplos deste tipo de estudo podem ser citados: Kremer (2002), que analisa a influência de elementos de obstrução solar na

distribuição interna de iluminação natural; e Oakley et. al. (2000), que monitoraram o desempenho de diferentes dutos de luz.

Os modelos em escala reduzida são utilizados da mesma maneira que as medições *in loco*. Podem ser muito facilmente manuseados, e demonstram o resultado final do experimento, como o estudo de Macedo (2002). Podem também ser medidos por sensores, e seus dados colocados em programas computacionais, como o experimento de Yamamoto et. al. ou de Carter (2002), que analisam o desempenho de dutos de luz no aspecto de contribuição passiva na distribuição da luz natural.

A simulação computacional vem sendo o método mais utilizado atualmente, sendo muitos os programas computacionais desenvolvidos para este tipo de análise. A facilidade deste instrumento é decorrente da possível avaliação quantitativa do fenômeno, sendo ainda muitas vezes possível separar as diferentes parcelas do fluxo luminoso.

Em muitos estudos são feitos experimentos utilizando mais de uma ferramenta. Por exemplo, Zeilmann (1999) fez, a partir de um modelo piloto em escala reduzida, comparações entre diferentes soluções de aberturas zenitais, modeladas computacionalmente, através de simulação computacional.

Depois de estimados os resultados da iluminação no ambiente em estudo, de acordo com o objetivo requerido, segundo Fonseca (2007) a análise dos dados pode ser feita basicamente através de dois métodos, gráfico e analítico.

Com intuito de uma avaliação rápida e acessível, o método gráfico trabalha com curvas isolux, permite ao projetista o seu emprego como uma ferramenta simplificada de análise da distribuição de iluminâncias em ambientes. Um simples exame visual possibilita chegar a conclusões rápidas a respeito do comportamento da distribuição luminosa.

O segundo método, analítico, tem abordagem mais quantitativa, permite analisar e comparar numericamente a contribuição dos elementos no ambiente luminoso, entre modelos variados.

Vale salientar que a formulação de um método unificado para a análise deste fenômeno é praticamente impossível, pois as características climáticas são muito variáveis de local para local. Coeficientes como UDI e DA, apresentado na seção anterior, se aproximam das condições ideais de apresentação do fenômeno. Tendo o conhecimento da quantificação da iluminação, análises utilizando apenas os

resultados de iluminâncias, podem também atender as necessidades do estudo, dependendo de seu objetivo.

2.2.1 Simulação Computacional

Há uma grande variedade de programas desenvolvidos para o estudo da luz natural em ambientes construídos, entre eles Souza (2003) destaca: CONTROLITE, QUICKLITE, RADIANCE, SUPERLITE e DOE, todos desenvolvidos pelo *Lawrence Berkeley Laboratory*, Califórnia, USA; LUMEN Micro desenvolvido pelo *Lighting Technologies Inc*, Colorado, USA; e o programa LIGHTSCAPE, hoje de propriedade da empresa americana Autodesk.

Programas nacionais também estão sendo largamente reconhecidos por seus resultados muito confiáveis, como o software TropLux, desenvolvido pelo Centro Tecnológico da Universidade Federal de Alagoas (CABUS, 2004), e o programa Apolux 1.0, desenvolvido pelo Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (CLARO et. al. 2005).

Segundo Claro (1998), atualmente é utilizado duas abordagens para o tratamento da iluminação em computação gráfica, que decorrem de modelos desenvolvidos por pesquisadores dos fenômenos da radiação térmica e lumínica: o método da radiosidade e o método da perseguição ao raio (Ray-tracing).

O método Ray-tracing se apresenta como a perseguição ao traçado (ou pista) de um raio luminoso. O observador ao visualizar um determinado ponto de uma superfície, o vê como resultado de interações entre a superfície, deste ponto, e os raios redirecionados por todas as superfícies da cena, seja pela iluminação direta da fonte, ou por reflexão ou refração da incidência de fluxo sobre outras superfícies.

O método da radiosidade apresenta melhor avaliação nas superfícies difusas, "... consiste da luz própria emitida e da luz incidente que é refletida ou transmitida. A soma da luz que chega a uma superfície requer uma completa especificação das relações geométricas entre todas as superfícies refletoras e transmissoras, bem como a luz deixando todas as outras superfícies." Cohen et. al. (1985) *apud* Claro (1998).

O uso destes programas facilita a montagem de soluções complexas para testes. Alguns exemplos de estudos baseados em simulação computacional são:

- Oetzel e Schuster (2001) apresentam uma solução inovadora de controle e redirecionamento de luz solar, através de ajuste no ângulo de obstrução, trabalhando com simulação computacional, e garantem a validade da ferramenta;
- Laar (2001) faz estudo sobre diversos usos de sombreamento e as condições de iluminâncias no ambiente. Usa o Radiance como simulador, e ressalta a possibilidade de análise de particularidades do fenômeno, gastando pouco tempo. Salaria o problema do uso do vidro nos trópicos, devido ao ganho de calor. Conclui que o ideal são soluções móveis e mistas para adequar as necessidades momentâneas, brises verticais e prateleiras são a combinação ideal.

Claro (1998) salienta que a difusão de computadores cada vez mais rápidos e avançados, contribui para a melhor utilização deste método de análise, além de tratarem o fenômeno com maiores particularidades.

2.3 FONTES DE LUZ NATURAL

Moore (1991) caracteriza as fontes de luz natural em dois grupos: fontes diretas e indiretas. As fontes diretas são o Sol e abóbada celeste. O Sol se comporta como fonte pontual, extremamente brilhante e de elevada carga térmica, podendo provocar desconforto tanto térmico como por ofuscamento. Zeilmann (1999) coloca a luz oriunda da abóbada celeste como difusa e resultante da refração e reflexão da luz solar, comportando-se como luz distribuída.

As fontes indiretas são provenientes de difusores refletivos ou translúcidos, superfícies originalmente iluminadas por outras fontes de luz primárias e/ou secundárias, como o entorno.

A radiação solar é energia transmitida pelo Sol, à medida que a radiação penetra na atmosfera terrestre, sua intensidade é reduzida e sua distribuição espectral é alterada em função da absorção, reflexão e difusão dos raios solares pelos diversos componentes do ar.

A quantidade de radiação solar absorvida e refletida sofre a influência do ângulo em que os raios solares atingem a superfície, Freire (1997). Para determinar a direção da radiação é necessário localizar a posição do Sol em relação ao ponto

no globo terrestre por meio de dois ângulos: azimute e altura (altitude solar); as coordenadas que determinam a posição de um ponto da superfície terrestre são: a latitude, a longitude e a altura sobre o mar, Bittencourt (2004).

A CIE *Standard General Skies* (CIE, 2003) adota uma escala com 15 tipos de céu padrão, conforme a distribuição de luminâncias, separadas em três grupos: o primeiro com cinco tipos de céu claro, o segundo com cinco tipos de céu parcialmente encobertos, e o terceiro com cinco tipos de céu encobertos. Esta classificação tem o objetivo de padronizar a quantificação das luminâncias do céu, e permite um cálculo desta distribuição nos procedimentos de desenho, definindo uma relação entre qualquer ponto da abóboda em relação ao zênite e ao horizonte.

As características de luminâncias do céu são decorrentes da concentração de partículas no ar. Para o céu encoberto esta concentração é tão densa que quase não permite que a radiação solar atinja a terra, a abóboda fica com coloração cinza-claro e brilhante, o modelo apresentado tem relação 3 para 1 entre a luminância do zênite e da linha do horizonte.

O céu quando parcialmente encoberto se caracteriza por uma sobreposição entre o céu claro e nuvens de diferentes tamanhos e formas, porém é um tipo de céu que apresenta grande complexidade de padronização, pois varia muito em curtos espaços de tempo.

E por fim, o céu claro é caracterizado por uma abóboda desobstruída, o Sol apresenta-se em forma pontual, o que também configura uma iluminação extremamente variável, Fonseca (2007). O brilho excessivo do Sol resulta numa distribuição de luminâncias muito ampla, além de produzir grandes contrastes de luz e sombra.

O conhecimento da luminosidade da abóboda celeste local, junto a parâmetros de projeto, tais como: a geometria e o tamanho da sala estudada, tipo de vidro utilizado nas janelas, cores das superfícies internas e superfícies refletoras externas; permitem calcular o nível e a qualidade da iluminação natural interna, e, conseqüentemente, analisar se esta deverá ser complementada, ou modificada, de acordo com o nível de iluminação requerido.

Além do nível de iluminação, a função do local determinará a distribuição da luz. A distribuição da iluminação natural no interior da área estudada dependerá da escolha do tipo, disposição e área das aberturas, dos elementos de controle solar e

das cores das superfícies internas. Uma boa distribuição da luz no ambiente é conveniente, e têm importância as cores das superfícies do local.

2.4 COMPORTAMENTO DE DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO LUMINOSO

Moore (1991) caracteriza alguns aspectos do comportamento da luz, define como “um modelo conceitual para o projeto”, denominando de “fonte-caminho-alvo” (Figura 01), onde, com as posições da fonte e do alvo determinadas, é traçado um raio, representado por flecha. Este modelo propicia uma base adequada para a compreensão intuitiva apenas quando a luz emana de uma fonte pontual e o percurso é especular.

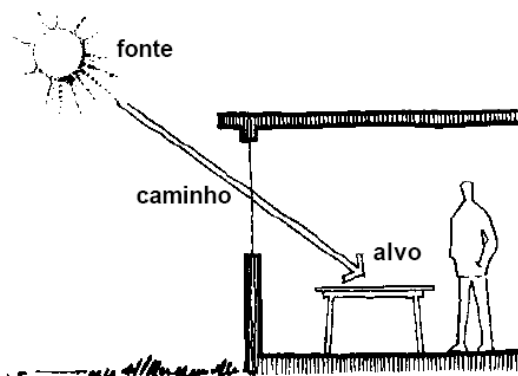


Figura 1 – Modelo Conceitual de Moore, aplicado a caminhos diretos.
Fonte – Moore (1991).

Para o comportamento da luz difusa, que emana em diferentes direções quando incidido em uma determinada superfície, a abordagem é inadequada (Figura 02), pois gera certa confusão de flechas.

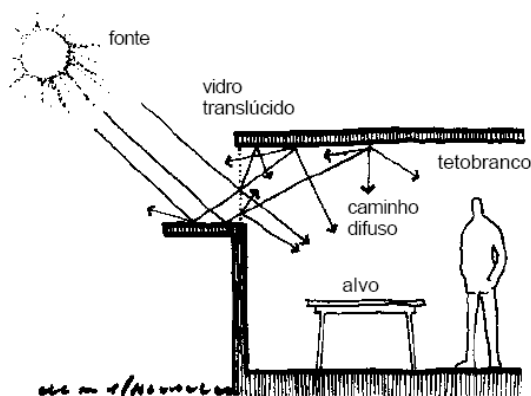


Figura 2 – Modelo Conceitual de Moore, aplicado a caminhos difusos.
Fonte – Moore (1991).

Como o fenômeno da iluminação é muito complexo, pois não há apenas fontes pontuais de luz, e sim uma série de fontes secundárias, Moore ainda apresenta outra abordagem, aonde a quantidade de luz que chega a uma dada superfície é resultado da exposição a todas as superfícies brilhantes e escuras dentro da vista do alvo, ou seja, a contribuição de luz para a iluminância do alvo é o produto da luminância de uma fonte particular, multiplicada por seu tamanho aparente como é vista pelo receptor (Figura 03).

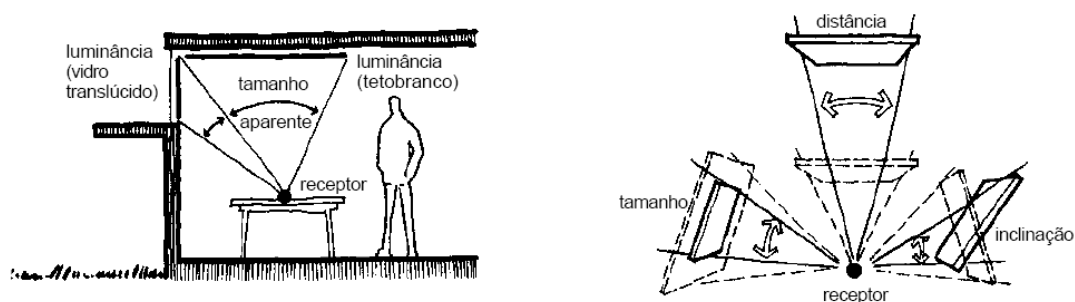


Figura 3 – Modelo Conceitual de Moore, “luminância X tamanho aparente”.
Fonte – Moore (1991).

Este conceito não faz diferenciação entre as várias fontes, a contribuição depende da luminância do que é ‘visto’, seu tamanho aparente, e do ângulo formado entre as normais às superfícies emissoras e receptoras, chamado efeito cosseno.

2.5 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

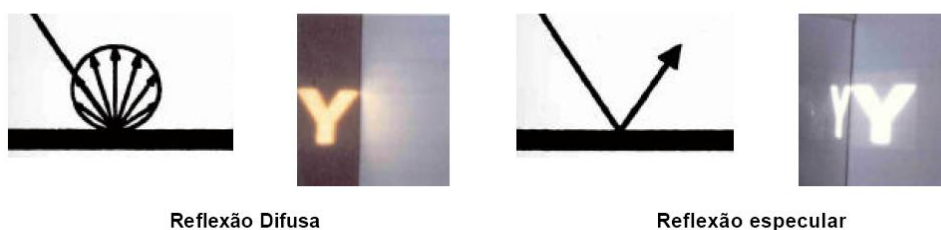
A luz, ao entrar no ambiente construído, segue refletindo nas superfícies internas, resultando o ambiente luminoso. Portanto esse resultado deverá depender de uma série de variáveis que compõem o ambiente construído, texturas e cores dos materiais.

Quando esta radiação provinda do Sol atinge uma superfície o fluxo é dividido em partes, Baker et. al. (1993), uma parte consegue atravessá-la (se for uma superfície translúcida) outra é absorvida e outra é refletida, sendo o fluxo incidente igual à soma dos fluxos, absorvidos e/ou redirecionados. O fluxo de luz natural poderá ser conduzido à outra direção devido a propriedades materiais da superfície atingida, transmitido ou refletido.

A transmissão ocorre quando incidido em superfícies translúcidas, onde a luz ultrapassa a superfície, sofrendo ou não redirecionamento e/ou modificação de intensidade. Se a superfície for opaca, como uma parede, a parte transmitida é zero, portanto a radiação se reflete ou é absorvida, a reflexão ocorre quando o fluxo luminoso incidente é redirecionado para o mesmo meio. As partes refletidas ou transmitidas continuam como radiação eletromagnética, variando de direção e de espectro.

Dependendo das características do material, da geometria do componente e das características da superfície, há maior ou menor reflexão, absorção ou transmissão pelo material.

O redirecionamento da luz, tanto quando incidida em superfícies translúcidas quanto opacas, pode ocorrer de forma especular, mantendo aparência, direção e tamanho da fonte original; ou de forma difusa, distribuindo o fluxo em igual intensidade para todas as direções, figuras 4 e 5, estas características são quantificadas por coeficientes, denominado refletância quando o fluxo é refletido, ou denominado transmitância quando o fluxo atravessa o material e segue em outro meio.



Reflexão Difusa Reflexão especular
 Figura 4 – Esquemas ilustrativos de reflexão difusa e especular.
 Fonte: Baker (1993)



Transmissão difusa Transmissão especular
 Figura 5 – Esquemas de superfícies com transmissão difusa e especular.
 Fonte: Baker (1993)

Conhecendo estes fenômenos, para se trabalhar com a luz natural, fazem-se necessário utilizar elementos de difusão como superfícies refletoras, que podem ser internas (paredes, piso e teto) ou externas (entorno, protetores ou prateleiras de luz).

Essas características são analisadas em diversos estudos, como o de Sharples and Lash (2003) que comparam diferentes combinações de refletâncias nas superfícies internas de átrios em um modelo reduzido, e Fonseca (2007) que estuda a influência das reflexões internas na iluminação natural de espaços internos.

2.6 COMPONENTES DO FLUXO LUMINOSO

Essa trajetória que faz o fluxo luminoso, pré-dispõe uma separação por componentes deste fluxo, a fim de analisar-se onde estão as maiores interferências provocadas pelos elementos que compõem a cena.

Uma destas maneiras, das mais utilizadas, descrita por Freire (1997), separa o fluxo luminoso por: componente celeste (CC), componente refletida externa (CRE) e componente refletida interna (CRI), figura 06, sendo o somatório destas componentes o fluxo total que chega a uma superfície ou ponto.

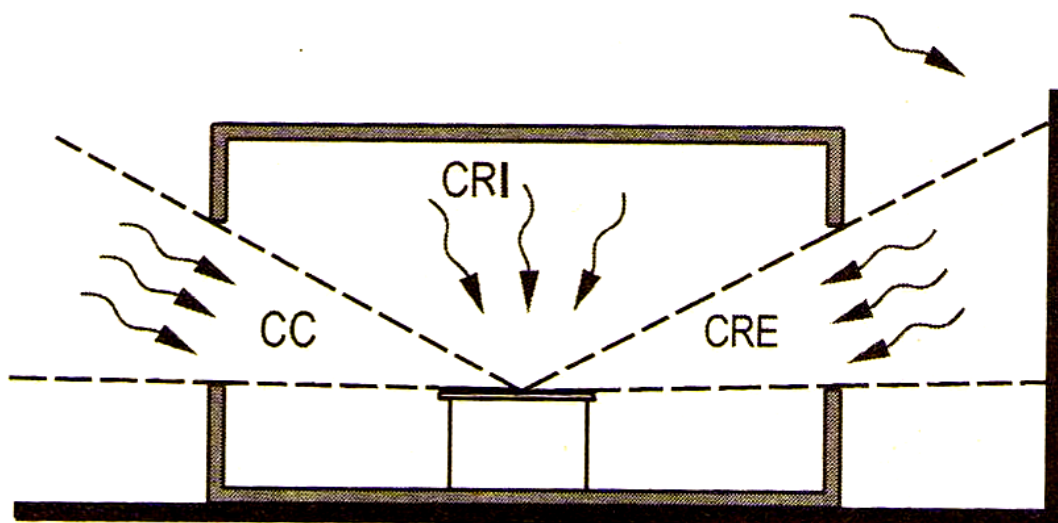


Figura 6 – Componentes CC, CRE e CRI.
Fonte – Corbella e Yannas (2003) pg. 244 – fig. A.4.15

A componente celeste pode ser considerada a iluminância inicial desta pesquisa, o primeiro fluxo que atinge o ponto ou superfície, oriundo da parte do céu que é 'vista' pelo ponto. A componente refletida externa é resultado da reflexão do entorno, externo ao ambiente. A componente refletida interna é resultado da troca de reflexões pelas superfícies internas do ambiente.

Robbins (1986) coloca que compreender a relação entre a componente celeste e as parcelas refletidas é o ponto de partida para definir o tipo de abertura para cada ambiente, já que o projeto de iluminação natural tem como objetivo tornar

os benefícios da luz natural disponíveis para uma maior área da edificação, assim como para seus usuários. Esse processo resulta da combinação e localização das aberturas no ambiente construído.

2.7 O AMBIENTE CONSTRUÍDO E A ILUMINAÇÃO NATURAL

A geometria espacial do ambiente construído também interfere no resultado final da iluminação, assim como a posição e a forma das aberturas. Ambientes mais profundos tendem a ser menos iluminados do que ambientes menos profundos, considerando a posição da abertura. Ambientes com pé-direito mais alto há melhora na distribuição luminosa, as aberturas quando posicionadas na parte superior da parede propiciam à luz natural atingir áreas mais profundas no ambiente.

Funcionando como ponto de entrada da luz natural, as aberturas se comportam como a fonte de luz natural do ambiente. Sua composição é extremamente importante para definir a forma de entrada do fluxo de luz, podendo beneficiar a distribuição da iluminação pelo ambiente, assim como seu uso inadequado pode causar desconfortos como ofuscamento, ganho de calor excessivo e má distribuição da luz.

O ambiente luminoso é colocado por Kremer (2002) como sendo resultado das relações geométricas entre a fonte de luz natural e o ambiente em questão (tamanho, forma e localização das aberturas). A compreensão desta relação permite ao projetista manipular a penetração, distribuição, quantidade e qualidade da luz natural no espaço.

Apesar de muito se falar sobre o fenômeno da luz natural nos ambientes construídos, apenas recentemente a trajetória de expansão da luz admitida por uma abertura está sendo esboçada, cita-se as pesquisas de Bøer (2006), Maamari et. al. (2006) e Andersen e Boer (2006).

Muitos estudos podem servir como base para novos experimentos, porém poucos tratam o fenômeno da iluminação natural em parcelas de contribuição, ou seja, definindo a contribuição da luz refletida e direta no resultado final da iluminação do ambiente.

Esta análise pode ser feita por diferentes maneiras, uma delas é definir a curva de distribuição da janela, chamada também de goniofotométrica, e tratá-la

como uma fonte pontual, definindo uma mancha de abrangência quanto ao direcionamento do fluxo luminoso, como as que são apresentadas para as lâmpadas.

Um exemplo deste tratamento é o trabalho de Maamari et. al. (2006), onde apresenta para aberturas zenitais curvas de distribuição de intensidades luminosas, utilizando o método de transmitância bi-direcional, através da colocação de filtros de correção da direção do fluxo no plano de entrada da luz, figuras 07 e 08. Trabalhando com goniofotometria, através de modelos de aberturas com sistemas complexos, estudam a direção que o fluxo toma quando ultrapassa a abertura, simulando modelos em programas computacionais, com análise a partir da orientação do fluxo do raio luminoso refletido.

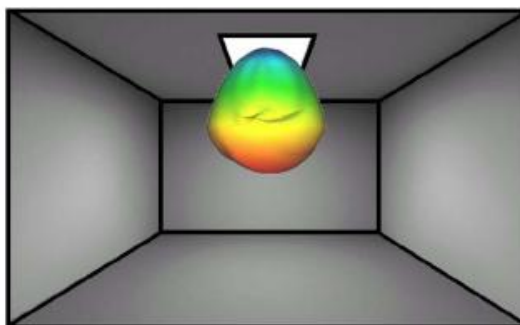


Figura 7 - Distribuição da Intensidade Luminosa da janela com filtro corretor.
Fonte: Maamari et. al. (2006)

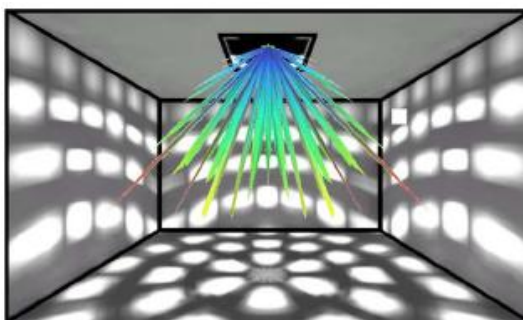


Figura 8 - Distribuição da Intensidade Luminosa da janela sem filtro corretor.
Fonte: Maamari et. al. (2006)

Bôer (2006) apresenta uma metodologia de quantificação destas curvas de intensidades luminosas em aberturas com sistemas complexos, com base em dados fotométricos bidirecionais. Em outra publicação de Andersen e Bôer (2006), é colocado o método computacional desta quantificação. Esta metodologia baseia-se na luminância de parcelas visualizadas da abobada por determinados pontos da superfície da abertura, figura 09. A partir desta quantificação da 'fonte' de cada ponto, é estimado um caminho que este fluxo deve percorrer, através da análise de filtros corretores deste re-direcionamento,

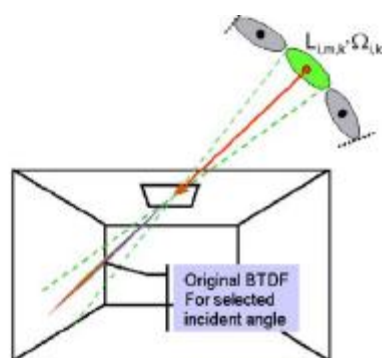


Figura 9 - Representação esquemática da visibilidade da abóbada celeste de um ponto qualquer, e o redirecionamento do fluxo luminoso.

Fonte – Boer (2006)

Bogo (2007) também apresenta um método de avaliação da luz natural através de aberturas com elementos de controle. O método utilizado, através de simulação computacional, por meio de uma hemisfera oca (Figura 10) com base vertical e a abertura como fonte de luz natural (janela), faz menção ao goniofotômetro utilizado em estudos fotométricos, como os estudos apresentados de Bôer (2006), Maamari et. al. (2006) e Andersen e Boer (2006) .

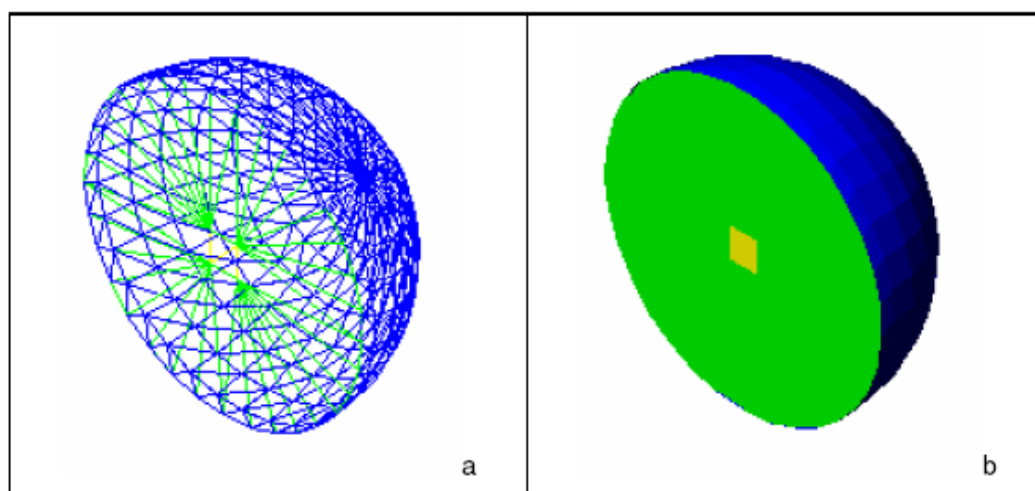


Figura 10 – Exemplo da hemisfera oca com base da visão da janela lateral.

Fonte – Bogo (2007).

Foram avaliados comparativamente diferentes sistemas de controle solar no que se refere à distribuição espacial da luz natural admitida, segundo o conceito da luminância equivalente da janela (fonte superficial), desde o seu centro até pontos do interior da hemisfera em que a iluminância foi identificada (Figura 11).

Sua forma de apresentação da distribuição do fluxo resulta em um gráfico de curvas de luminâncias, que variam conforme a altura solar (altitude) e a orientação da abertura (azimute), figura 12.

Pode-se relacionar este método com a transmitância bi-direcional, pois objetiva esboçar o caminho que a luz traça ao entrar num ambiente por uma abertura.

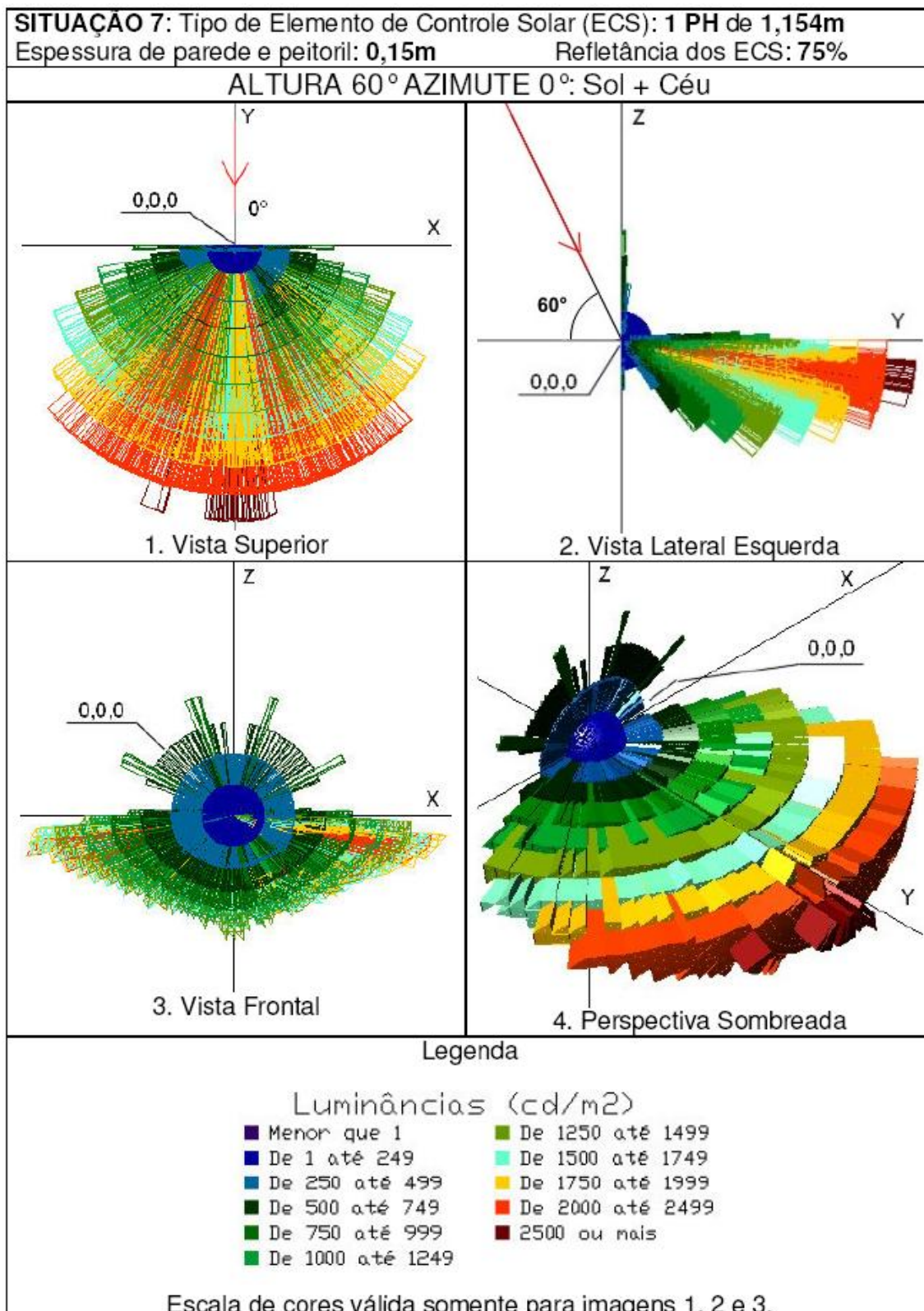


Figura 11 – Exemplo do mapeamento do fluxo pelo método de Bogo.
 Fonte – Bogo (2007)

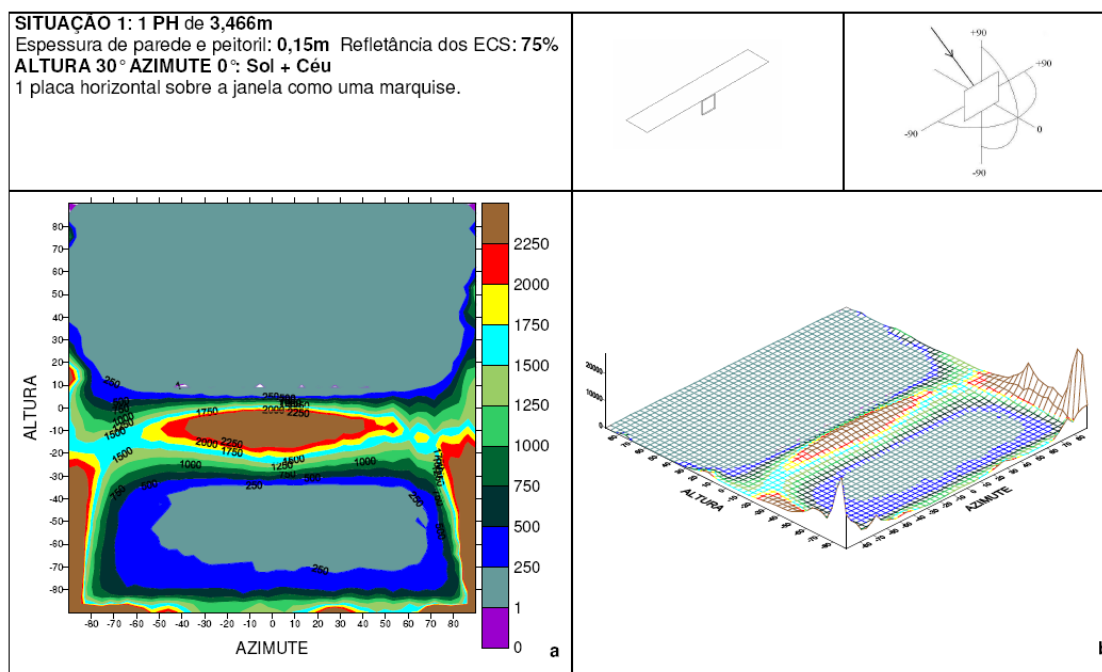


Figura 12 - Exemplo da forma de apresentação da penetração do fluxo por Bogo.
 Fonte – Bogo (2007).

Esta pode ser uma das maneiras de identificar a forma como o fluxo penetra no ambiente quando utilizados este tipo de elemento na abertura. Conforme o autor consegue ser traçado o redirecionamento do fluxo pelos elementos de proteção.

Definindo a forma de penetração da luz pelas aberturas, o projetista tem maiores informações para optar pelos diversos tipos de abertura, e a forma como melhor será trabalhada a luz natural como elemento de projeto.

As aberturas são consideradas por Baker et. al. (1993), como sistemas de iluminação por componentes de passagem, podendo ser zenitais ou laterais.

A abertura zenital (Figura 13) proporciona iluminação mais uniforme, introduz melhor a luz no edifício, além de proporcionar sua utilização para dramatização do ambiente. Porém usualmente é mais difícil de aplicá-la na maior parte dos edifícios, devido à crescente verticalização destes. Quando se trabalha com este tipo de abertura, o que define a entrada de luz é a cobertura (FONSECA, 2007).



Figura 13 – Exemplo de abertura zenital. Projeto de Louis Kahn, Yale Art Gallery, Center for British Art - New Haven (1951 - 1953)
Fonte: Brownlee e Long (1997)

A abertura lateral, mais conhecida por janela (Figura 14), é a principal abertura para entrada de luz da maioria dos ambientes construídos na atualidade. Kremer (2002) coloca que as janelas “são a forma mais comumente utilizada de iluminação, uma vez que podem proporcionar, simultaneamente, iluminação, ventilação e visão do exterior”, como justificativa de ser a forma mais tradicional de abertura.



Figura 14 – Exemplo de abertura lateral, janela. Projeto de Louis Kahn, Phillips Exeter Academy Library (1966 - 1968)
Fonte: Kidder-Smith (2006)

As janelas podem ser classificadas de diversas maneiras, quanto à função, tamanho, forma, posição, orientação, entre outros. Quando se trabalha com este tipo de abertura a fachada do edifício é utilizada para definir a forma de entrada da luz.

Fonseca (2007) atenta para o cuidado da localização das aberturas, pois estas visam iluminar os planos de trabalho, apesar de, geralmente, estes últimos serem planos horizontais, podem se apresentar de forma verticalizada ou angular.

Geralmente esta solução resulta em uma distribuição irregular, como apontado por Cabús (1997), pois a iluminação reduz-se ao distanciar da fonte. Verificam-se altos índices de iluminação próximos às aberturas e baixos longe desta, provocando eventualmente ofuscamento por esta queda brusca de iluminâncias.

2.8 PROTETORES SOLARES

De acordo com Kremer (2002), os elementos de controle (protetores solares) surgem da necessidade de obstruir a incidência solar direta. A correta combinação de refletâncias das superfícies internas com a forma como a luz é admitida é essencial no estudo de elementos arquitetônicos que contribuam para uma distribuição uniforme e confortável da iluminação interna dos ambientes.

Para tanto o uso de protetores solares pode minimizar dois dos maiores incômodos ocasionados pelas aberturas laterais: o ofuscamento e o ganho excessivo de calor pela radiação solar direta. Almeida (2001) lista as principais condições para a utilização dos elementos de controle:

- Controle da radiação solar;
- Durabilidade de materiais;
- Conforto;
- Temperatura do ambiente;
- Controle de iluminação natural;
- Visual externo, hora do dia, cores, contrastes.

Barbosa e Porto (2005) listam uma série de elementos de proteção solar utilizada pela arquitetura moderna: o uso do *brise-soleil* e outros elementos de permeabilidade visual, como varandas, beirais estendidos, marquises, cobogós, entre outros (Figura 15).



Figura 15 – Exemplos de elementos de proteção solar. Beiral Estendido (a). Cobogós (b).

Muitos são os estudos sobre o uso destes elementos e suas implicações no conforto térmico interno, principalmente quanto aos seus benefícios no bloqueio de calor.

Como Lee et al. (2001) que apresentam estudo sobre edifícios que possuem protetores solares em janelas, integrados a prateleiras de luz, que foram adequadamente projetados para reduzir o ganho de calor por radiação solar direta e auxiliar no sistema de iluminação natural. Foi comparada a simulação do modelo sem proteção, ao modelo com proteção, porém apenas verificou-se a redução no ganho térmico. Esta comparação resultou em quase 30% de redução do gasto energético com resfriamento do ar quando utilizado o modelo com protetor.

Porém ao utilizar este tipo de elemento também são modificadas as condições de luz admitida, podendo beneficiar ou prejudicar a distribuição ocorrida. Assim como Roobins (1986) que analisou a influência de diferentes composições de proteção solar nas condições de iluminação, outros pesquisadores também confirmaram a interferência destes elementos nas condições de iluminação dos ambientes.

Didoné e Biitencourt (2006) alertam que a “utilização de protetores solares inadequados tem proporcionado ambientes com iluminância abaixo daquela recomendada pelas normas vigentes.”.

2.8.1 Tipos de Protetores

Diversas são as soluções de obstrução solar, total ou parcial, basta ser definida a porção de céu que se deseja obstruir, para projetar o elemento de

proteção. O conceito de mascaramento, muito usado para definir os protetores solares, descrito claramente em Bittencourt (2004), permite observar a parcela de visão da abóboda celeste que pode ser obstruída.

Para isso, as cartas solares, que variam conforme a latitude do local e o diagrama solar, quando cruzadas com ângulos verticais e horizontais dos objetos formam a máscara de sombra. Essa máscara de sombra é uma representação gráfica dos obstáculos que bloqueiam a visão de um observador da abóboda celeste, localizado em um ponto qualquer.

Através desta máscara de sombra, é permitido saber qual parte da abóboda celeste está visível e qual parte está obstruída, em função das várias barreiras existentes, a partir de um ponto dado.

Basicamente, os protetores solares podem ser classificados em planos horizontais, verticais e mistos, podendo ainda ser móveis ou fixos (Figura 16). Os protetores mistos englobam os conceitos de protetores horizontais e verticais.

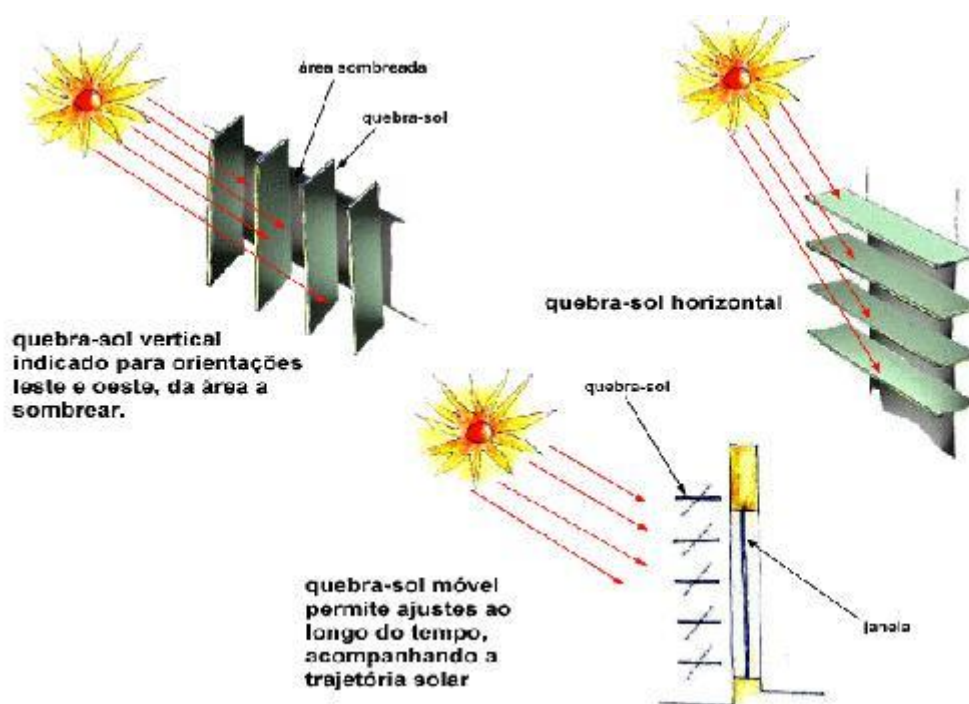


Figura 16 – Tipos de Brises.
Fonte – Caleidoscópio (2008).

Os protetores horizontais (Figura 17) são planos perpendiculares ao plano da abertura, de forma que seu eixo longitudinal seja paralelo ao formato da abertura em planta baixa. São mais eficazes nos horários em que o Sol está mais alto, final da manhã e início da tarde. Sua utilização para barrar raios baixos resulta na obstrução

da visibilidade ao exterior e redução de luminosidade que atravessariam a abertura a ser sombreada.

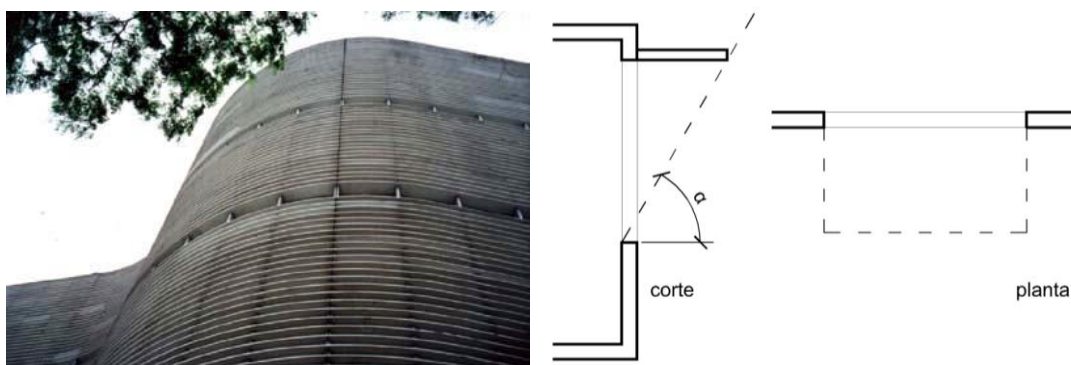


Figura 17 – Exemplo de protetor horizontal e esquema em planta e corte.
Fonte – Foto - Sampacentro (2008).

Os protetores verticais (Figura 18) são planos também perpendiculares a fachada, porém seu eixo longitudinal é paralelo ao tamanho da abertura em corte. Segundo Bittencourt (2004) é mais adequado a bloquear a insolação nas horas próximas a aurora e ao alvorecer, começo da manhã e fim da tarde, e são indicados às fachadas Leste e Oeste.

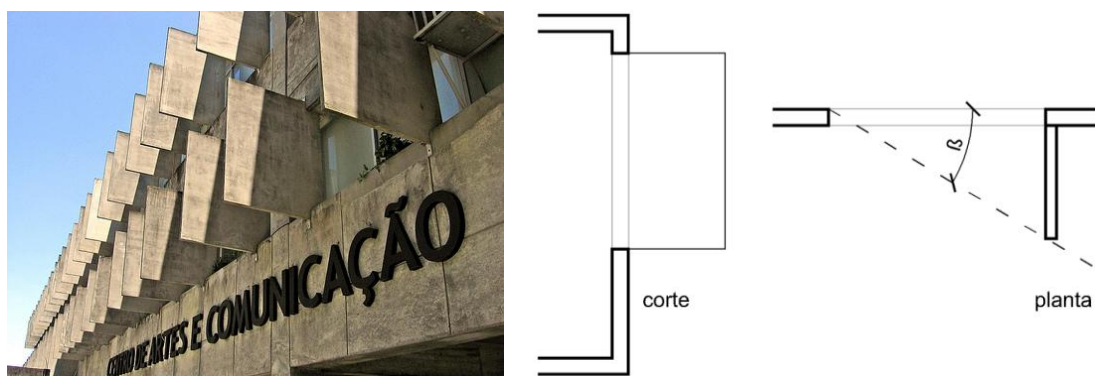


Figura 18 – Exemplo de protetor vertical e esquema em planta e corte.
Fonte – Foto – Flickr (2008).

Um breve roteiro para o projeto de protetores solares é apresentado por Bittencourt (2004):

- Definir horário e período do ano de obstrução solar, diferenciando à hora legal e à hora solar;
- Estudar a máscara de sombra das obstruções do entorno da edificação, e da própria estrutura da edificação na abertura;
- Definir o tipo de proteção a ser adotado em cada fachada (vertical, horizontal, misto, fixo ou móvel), e qual trará melhor rendimento,

considerando-se aspectos como visibilidade, luminosidade, custos, plasticidade, etc.

2.8.2 Capacidade de Redirecionamento do Fluxo Luminoso por Protetores Solares

Funcionando como um dispositivo passivo de redirecionamento da luz, o elemento de obstrução pode comportar-se como uma prateleira de luz, emitindo maior luminosidade para os cantos mais profundos da sala.

Como é sugerido por Souza (1997), podem ser usados recursos que tornem este elemento, inicialmente de obstrução solar, como fonte de luz refletida, o que faria dos níveis de iluminação no ambiente sejam menores, mas melhores distribuídos do que os obtidos pela radiação solar direta, fazendo com que o foco direcional desta fonte de luz (radiação direta) seja mais uniformemente distribuído pelo ambiente interno.

Esta reflexão, que pode ser provocada pela superfície do protetor, modificará o curso natural da luz quando inserido no plano da janela, segundo Zeilmann (1999), difundindo a luz admitida devido às características do material deste elemento. Conforme Graziano Junior (2000) estas superfícies refletoras denominadas prateleiras de luz, podem:

- Bloquear parte da insolação, redirecionando o fluxo luminoso, distribuindo a luz de forma difusa;
- Ser exterior e/ou interior;
- Reduzir o ofuscamento da janela;
- Ser móvel, adaptada conforme a situação;
- Reduzir custos energéticos;
- Manter o contato visual com o exterior.

Robbins (1986) afirma que elementos de redirecionamento da luz solar, as prateleiras de luz, são usados desde os antigos faraós do Egito, para controlar a luz solar, e reduzir o brilho do Sol, enquanto admite luz do céu e luz solar refletida. O bom desempenho destes elementos, segundo ele, se dá devido à capacidade de reflexão tanto pela parte superior do elemento como pela parte inferior, que trabalha com a reflexão do fluxo que chega ao piso do ambiente.

Estas prateleiras podem ser internas ou externas, sendo as primeiras de menor eficácia, pois não sombreiam o vidro, aquecendo assim o quarto, e também apresentam pior distribuição do fluxo luminoso. Já as externas apresentam resultados melhores para todos os tipos de céu, porém com melhores resultados quando há incidência solar direta.

Robbins (1986) estudou as condições de iluminação no ambiente comparando diferentes propostas de protetores solares (Figura 19), entre soluções externas e internas, e diferentes composições de proteção.

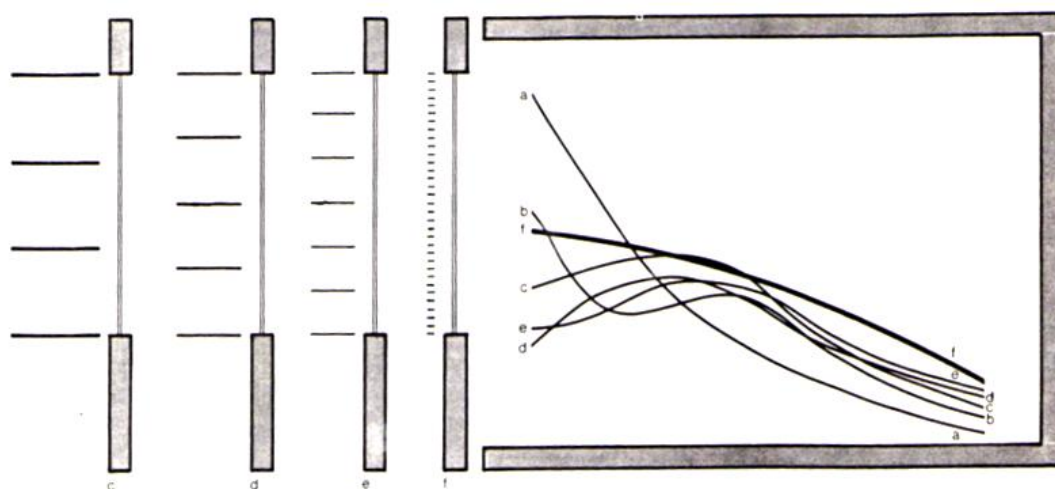


Figura 19 – Exemplos dos modelos estudados por Robbins.
Fonte – Robbins (1986).

As análises de Robbins são feitas através de sobreposições entre o diagrama solar do local, a planta e o corte do ambiente para definir a penetração de luz, e trabalha com iluminâncias absolutas. Suas análises são:

- Com Sol e sem Sol nas superfícies das prateleiras e protetores;
- Céu claro e nublado;
- Diferentes inclinações dos protetores;
- Diferentes altitudes solares, verão e inverno;
- Diferentes composições de protetor;
- Entre protetores e venezianas.

Coloca que a diferença entre o protetor solar externo e interno é que o externo divide mais a visibilidade da abóboda. Portanto, sugere que quando há necessidade de sombreamento para reduzir o calor e utilizar a luz natural, é melhor usar protetor externo.

Também indica que a análise deste elemento deve ser comparada ao modelo desobstruído, quantificando a redução do fluxo admitido quando utilizado este tipo

de elemento, e sua eficácia deve ser analisada nos limites do funcionamento do protetor, quando este é necessário (Verão) e no mês com a mais baixa altitude solar.

E atenta ainda que o protetor controla o Sol e reduz a entrada da luz natural, porém é difícil assegurar o exato controle do Sol e permitir adequada luz natural, para isto o elemento de proteção deve sombrear o máximo do vidro possível, principalmente no verão.

Basso e Argout (1997) comparam 8 sistemas de proteção solar (Figura 20), através do conceito de Fator de Luz Diurna. Partindo de um ângulo de obstrução, 50° horizontal e dois ângulos verticais 57°Direita e 65°Esquerda. Todos os modelos foram feitos com refletâncias diferentes nos protetores, branca e preta, e medidos no mesmo período e com mesma orientação. Foram utilizados modelos em escala reduzida.

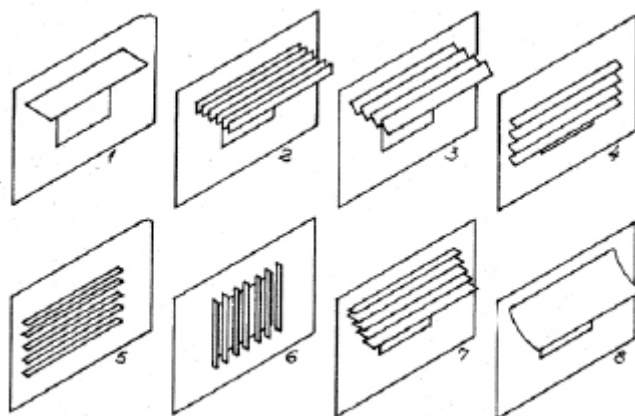


Figura 20 – Modelos estudados por Basso e Argout.
Fonte – Basso e Argout (1997).

Concluíram que para orientação Norte e Nordeste a cor do protetor interfere pouco. Quando a insolação incide perpendicularmente sobre a fachada que contém o quebra-sol, este não oferece obstrução significativa, e a interferência na iluminação é desprezível.

O peitoril interfere significativamente no rendimento da iluminação natural nos pontos próximos a abertura, quanto maior o peitoril maior foi à interferência. A interferência da cor no desempenho do protetor, como já era esperada, existe. Conforme o desenho do quebra-sol esta interferência poderá ser maior ou menor dependendo da possibilidade de múltiplas reflexões entre os elementos do quebra-sol quando a cor é clara.

As soluções que não avançam sobre a área da abertura, têm uma interferência menor na iluminação natural. As soluções que se sobrepõem sobre a área da abertura, têm uma interferência significativa mesmo utilizando a cor branca.

Quanto maior a semelhança de uma lâmina única horizontal posicionada sobre a abertura, menor foi a interferência na iluminação natural mesmo quando é utilizada cor escura.

Bogo (2007) avaliou diferentes sistemas de proteção solar nas aberturas em relação à geometria (placas horizontais e verticais infinitas) e à refletância dos elementos de controle solar (75%; 20%), considerando períodos de incidência solar com alturas de 30 e 60 graus, também variando a orientação, com azimutes de 0, 60, e -60 graus a partir do centro da abertura.

Os resultados mostraram que diferentes composições de elementos de controle solar de mesmo ângulo de obstrução proporcionam diferentes admissões de luz natural, com variações significativas na comparação das soluções com 1 placa horizontal e 10 placas horizontais, e mínima variação entre as soluções com 5 placas verticais e 10 placas verticais. Identificou-se também grande influência da refletância dos elementos de controle solar na admissão de luz natural.

O estudo possibilitou a comparação dos sistemas quanto à quantidade de luz admitida (fluxo luminoso) e a distribuição do fluxo (luminância equivalente da janela) para o ambiente interno.

Santiago e Soler (2001) mostram um estudo comparativo de desempenho de dois tipos de prateleiras de luz que produzem mesmo sombreamento, porém são revestidas por materiais diferentes, uma com espelho (reflexão espectral) e outra com uma chapa metálica (reflexão semi-espectral), durante um ano para a cidade de Madri. Os resultados obtidos apresentam melhor desempenho para a prateleira com revestimento metálico, onde a distribuição foi mais uniforme.

Kuhn (2006) apresenta estudo sobre a influência do uso de venezianas na iluminação natural dos espaços internos, através de um método de cálculo da energia solar admitida através deste elemento, comprova que há certa eficiência no uso deste elemento, mas que ainda pode ser aprimorada.

Graziano e Pereira (2001) avaliaram o desempenho de uma prateleira de luz, através de simulação computacional, em diferentes horários com e sem obstrução. A prateleira influencia na redução de nível perto da janela, e aumenta na profundidade da sala. O entorno interfere também na interação com a prateleira. O resultado

depende da inclinação da prateleira e o dia e hora de análise, propõem ajustes conforme o uso.

Almeida (2001) avalia o uso de controle solar móvel e apresenta formas de cálculo analítico. Afirma que este tipo de elemento pode ser usado auxiliando na obtenção de conforto. Porém deve ser usado em edifícios com controle computadorizado para melhor aproveitamento dos usuários.

Bittencourt et al. (2001) estudam o sombreamento de diversos elementos, tipo cobogós, sugerindo novas maneiras de projetá-los para melhor aproveitamento. Afirmam que estes elementos são eficientes para melhor desempenho da iluminação natural, porém dependem de uma máscara de sombra específica.

Littlefair (1998) reforça que, caso seja utilizado um sistema de iluminação natural, devem-se observar ainda:

- O teto como importante elemento refletor secundário e difusor;
- A maior parte dos sistemas laterais requer um pé-direito razoavelmente alto em proporção à área do recinto;
- O sistema de iluminação natural deve ser integrado com o sistema de iluminação artificial, ou seja, é requerido um bom controle para a luz elétrica;
- Condições de manutenção e exposição externa do sistema — prateleiras de luz espelhadas e sistemas envidraçados coletam poeira e sujeira, para manter a eficiência dos sistemas, devem ser limpos com a mesma frequência das janelas convencionais;
- Custo/benefício — geralmente os sistemas fixos de iluminação natural, que são uma continuação dos sistemas de sombreamento, são mais baratos do que os sistemas servo-motorizados ou que possuam componentes com sistemas óticos precisos.

Não deve ser esperado que os ocupantes ajustem o sistema de iluminação natural diariamente, diversos estudos mostram que raramente os dispositivos de sombreamento são ajustados. Caso o sistema necessite ser móvel, é aconselhado que o controle seja feito automaticamente ou ajustado por funcionários em poucas situações críticas no ano.

Adicionalmente, é importante refletir sobre quais os objetivos da implantação de sistemas que redirecionam a luz direta do sol: reorientação de luz para locais

profundos ou que não possuam acesso ao ambiente externo; melhoramento da luz natural para a iluminação de tarefas; melhoramento da adaptação e do conforto visual e do controle de ofuscamento; e sombreamento solar e controle térmico.

Antes de projetar, ou implantar qualquer sistema de iluminação natural que redirecione a luz do sol, o arquiteto terá que justificar de forma clara tal investimento. Para que se possa escolher o tipo de sistema a ser adotado, devem-se considerar as seguintes questões:

- Se o sistema irá ser implantado em locais que exigem condições especiais de iluminação, como escolas, museus, ou laboratórios de informática;
- Se existem grandes obstruções externas;
- Se os cômodos têm aberturas diretas para o ambiente externo;
- Qual a disponibilidade de luz direta do sol nas aberturas;
- Qual a profundidade do ambiente;
- Qual a geometria do espaço (observar se existem divisórias, que podem causar áreas sombrias);
- E qual o comportamento térmico do sistema (observar se conduz calor de forma demasiada).

Os sistemas de iluminação natural que trabalham conduzindo a luz direta do Sol podem ser a solução para diversos problemas, tais como: introdução da luz natural em espaços internos profundos; má distribuição da luz natural; melhoramento do equilíbrio do brilho no espaço, relativo à vista da janela; diminuição da carga térmica do ambiente, caso a radiação solar seja admitida de forma moderada, em pequenas quantidades (AIZLEWOOD, 1993).

Assim como apresentado, muitos outros estudos foram feitos sobre o desempenho destes elementos, e a maioria ressalta que a melhor distribuição do fluxo ocorre quando utilizados elementos difusores, porém os elementos com reflexão especular podem levar o fluxo em maiores profundidades, contudo as características de fonte pontual e excessiva ainda são mantidas.

O conhecimento deste fenômeno de distribuição da luz difusa, sua quantificação, pode auxiliar o projetista a construir ambientes mais confortáveis, e eficientes na iluminação natural e no ambiente térmico.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é descrito o método utilizado para o desenvolvimento da pesquisa, buscando identificar correlações entre a morfologia da solução de sombreamento e as condições finais de iluminação no ambiente.

Para tanto, são apresentadas neste capítulo as etapas da pesquisa, as diretrizes metodológicas adotadas para analisar o comportamento da luz natural no interior das edificações, quando esta é influenciada por elementos de controle solar.

3.1 SÍNTESE METODOLÓGICA

O objetivo desta pesquisa é analisar o comportamento da luz, quanto à admissão e distribuição do fluxo luminoso no ambiente construído, quando são colocados elementos de proteção solar na abertura.

Para isto, foi formado um modelo de ambiente básico, com determinadas características fixas, sem proteção solar. Anexando elementos de proteção solar horizontal na abertura, foram formadas diversas composições com mesmo sombreamento, a partir de certo ângulo de obstrução, para serem analisadas as condições de iluminação no ambiente.

As soluções arquitetônicas de proteção solar foram determinadas a partir da porcentagem de área da superfície superior dos elementos de proteção, que é visível pelo interior e simultaneamente pode receber a luz da abóboda e do Sol. Sempre mantendo o mesmo ângulo de obstrução, partindo do princípio que estas “superfícies visíveis” refletirão o fluxo para dentro do ambiente.

Com isso é constituído o modelo base (sem proteção), o modelo com obstrução apenas bloqueadora (um protetor) e os demais modelos com certa porcentagem de área “visível”.

Feito este grupo de modelos, a partir das características básicas iguais são analisadas as condições de luz no ambiente sob o efeito das diferentes composições de proteção solar. Denominados “grupos de análise”, determinados pela latitude dos modelos na simulação, uma vez que foi determinado apenas um dia e hora de

análise, a variação da posição no globo permite diferentes angulações de incidência solar.

Cada modelo, portanto, também foi analisado nos momentos diferentes de insolação, o “desempenho por modelos”, já que em determinados modelos há superfícies “visíveis” pelo interior, e no decorrer do ano estas superfícies serão “insoladas” de diferentes formas.

Estas análises são feitas por parcelas de contribuição na distribuição da iluminação, separando estas componentes referentes à primeira entrada do fluxo, à componente apenas da reflexão das superfícies internas e externas (do ambiente e dos protetores), e à componente total que soma estas duas parcelas anteriores. Visando identificar o momento que o elemento de proteção tem maior ou menor influência nesta admissão e distribuição da iluminação pelo ambiente.

Para separar a influência só do elemento de proteção são feitas duas simulações para cada modelo em todos os grupos de análise, variando apenas a refletância do elemento de proteção: uma com alta refletância e outra nula. Esta comparação mostra como, em cada composição de proteção, a superfície do protetor influencia no ambiente luminoso.

A seguir as etapas da proposta metodológica estão descritas, os fatores da escolha do método de estimativa da iluminação natural e do programa usado, seguindo-se a apresentação dos modelos e a formação dos grupos de análise. Depois são apresentadas as formas de obtenção e tratamento dos resultados, iniciando-se pelas configurações de simulação e nomenclatura, seguindo-se a forma de separação das parcelas do fluxo luminoso. E, por fim, colocados os métodos de análise.

3.2 ESCOLHA DO MÉTODO DE ESTIMATIVA DE ILUMINAÇÃO

No capítulo anterior foram apresentados diversos métodos de levantamento do fluxo luminoso nos ambientes internos. Nesta pesquisa foi escolhida a simulação computacional como método a ser utilizado, pelas razões utilizadas por Cabus (1997), Amaral (1999), e também por Fonseca (2007): tempo de execução, facilidade de levantamento e processamento dos dados.

As ferramentas de medição em espaços construídos e a medição em modelos de escala reduzida foram descartadas nesta pesquisa, pois apesar de fornecerem uma avaliação rápida das condições de iluminação nos espaços construídos, e ainda no caso dos modelos em escala reduzida possibilitarem a aplicação de diversas estratégias de projeto, restringe os resultados das condições finais da iluminação, dificultando a separação por parcelas de contribuição o fluxo luminoso para a análise.

O método de avaliação por simulação computacional apresenta condições mais vantajosas para esta pesquisa, visto que podem ser calculados diversos pontos simultaneamente, possibilitando a simulação em modelos complexos, e divulgando o resultado em tabelas de dados que identificam parcelas diferenciadas de contribuição do fluxo luminoso.

3.2.1 Escolha do Software de Simulação

A escolha de um programa com algoritmo consolidado oferece resultados confiáveis, além de facilitar avaliação e obtenção de dados, permite fazer interações com outros programas de planilhas para o tratamento dos resultados, com rapidez e precisão.

Para esta pesquisa, foi utilizado o programa Apolux Beta, que é a evolução do programa Apolux 1.0, desenvolvido pelo Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (CLARO et. al., 2005).

Este *software* trabalha com um dos métodos mais utilizados atualmente pelos programas computacionais de simulação da iluminação natural, a radiosidade. Fundamenta-se no modelo vetorial esférico (CLARO, 1998), um método de abordagem mais amplo, onde são mapeadas as trocas de energia luminosa entre superfícies, além do cálculo de uma distribuição da abóbada segundo as equações padronizadas pela CIE *Standard General Skies* (CIE, 2003).

O programa é "...voltado para a análise da iluminação natural em arquitetura e urbanismo, tem como fundamento a unificação dos diferentes elementos de análise num espaço referencial único, definido vetorialmente, capaz de integrar os diferentes momentos da análise de forma eficiente". (CLARO, 1998).

Com algoritmo consolidado, pelos trabalhos de Atanasio et. al. (2006), Claro et. al. (2005), Leder et. al. (2006) e Leder et. al. (2008), o programa, além de apresentar confiabilidade, é oferecido em língua portuguesa e disponibiliza:

- Interface com diversos programas de modelagem ou edição em arquivos de texto;
- Utilização de planos de análise;
- Equalizador analítico;
- Edição de propriedades dos materiais em vários momentos da simulação;
- Gera imagens semi-realistas e analíticas;
- Trabalha com modelos complexos, com superfícies opacas e transmissoras, especulares e difusas;
- Formula relatórios analíticos como arquivos de texto que podem ser utilizados em planilhas ou editores gráficos;
- Produz gráficos de iluminâncias, luminâncias e fator da luz do dia;
- Produz imagens em 3D com gráficos de acordo com as grandezas fotométricas desejadas: iluminâncias, luminâncias, entre outros.

Claro et. al. (2005) descrevem como o modelo vetorial esférico trabalha a abóbada celeste, medida ou calculada: esta é dividida em faixas de variação uniforme na altura, que subdivididas em ângulos de azimute, formam faixas de parcelas iguais, e o conjunto das faixas representam ângulos esféricos aproximadamente iguais. O Apolux Beta faz uso de divisões entre aproximadamente 5.000 e 150.000 parcelas. Tregenza (1993) descreve o método utilizado para a definição dos valores da abóbada e da posição do Sol.

O programa Apolux Beta trabalha em dois módulos, Fractal e Fóton, figura 21. O primeiro destina-se à preparação do modelo para ser aplicado o método de cálculo da Radiosidade, por superfícies importadas no formato DXF.



Figura 21 – Imagem com a primeira tela do Apolux, Módulos Fractal e Fóton.
Fonte – Apolux Beta

O projeto gerado neste primeiro módulo, Fractal, figura 22, consiste basicamente em corrigir a orientação das superfícies, organizar planos e níveis e definir parâmetros de fracionamento global e particular de objetos, planos ou níveis, que depois pode ser processado no segundo módulo, Fóton. O fracionamento das superfícies consiste na formação de triângulos, resultantes de um valor máximo de área, conforme a precisão escolhida no experimento. É este fracionamento que permite a aplicação da teoria da Radiosidade, através do método de elementos finitos. Cada vértice destes triângulos representa um ponto onde serão obtidos os resultados de iluminâncias, luminâncias e/ou fator da luz do dia.

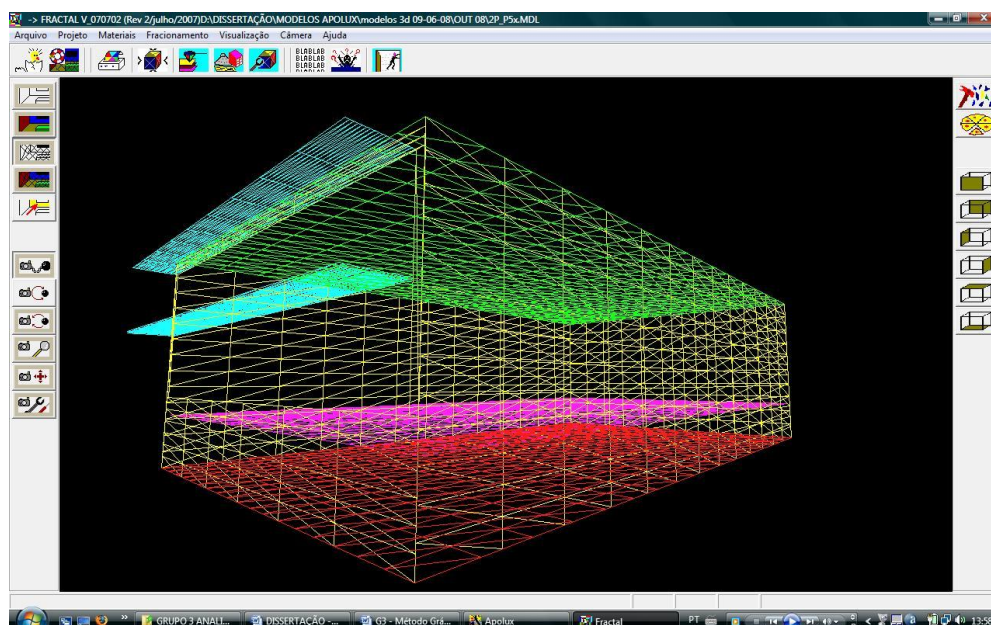


Figura 22 – Figura com a interface do Fractal e um modelo já fracionado.
Fonte – Apolux Beta

O segundo módulo, Fóton, é que realiza o cálculo da iluminação natural, de acordo com a situação desejada. Este cálculo é feito na forma de dados dos

parâmetros físicos plotados de maneira cartesiana. Primeiro são escolhidos os parâmetros do globo (que define o grau de resolução de visibilidade tanto da abóboda quanto dos fatores de forma entre triângulos), gerando primeiramente o fator de forma, o cálculo da relação de visibilidade entre as superfícies internas e externas do modelo a ser simulado.

Depois de calculado o fator de forma, é necessário especificar as características das superfícies do modelo em questão, as variáveis relativas à fonte de luz, que, para a simulação da luz natural, é a abóboda celeste e/ou o entorno da edificação, e variáveis geográficas, climáticas, temporais, fator de nublagem, para o cálculo da radiosidade, que formula o resultado final da simulação, determinada pelo número de ciclos de reflexão entre as superfícies. Neste módulo podem ser obtidos os relatórios, imagens e gráficos da solução de iluminação, figura 23.

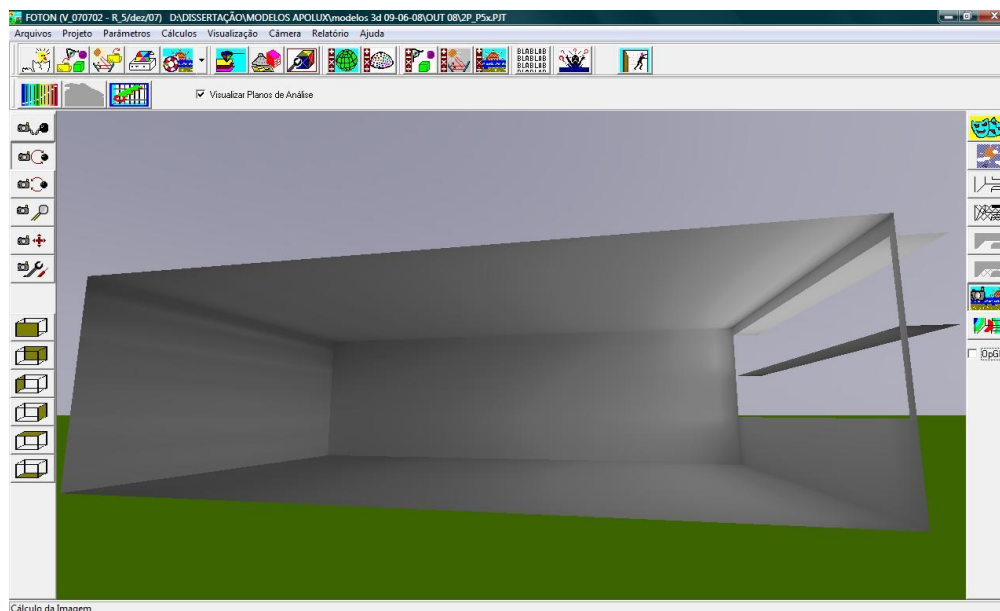


Figura 23 – Figura com a interface do Fóton e imagem de uma solução.

3.3. MODELOS DE ANÁLISE

Conforme colocado na proposta metodológica, foi criado um ambiente de análise com determinadas características fixas, e a partir de um determinado ângulo de sombreamento foram propostas diferentes soluções arquitetônicas de proteção solar. Para isso foram feitos os modelos e as condições de análise entre parâmetros fixos e variáveis, conforme tabela 01. Cada parâmetro adotado será apresentado no

decorrer deste capítulo, conforme se faz necessário defini-lo para a formulação das análises.

Tabela 1 – Parâmetros Fixos e Variáveis

| | |
|-----------|--|
| Fixos | Dia 21/03 |
| | Hora 12:00hr |
| | Orientação Norte |
| | Refletâncias internas do ambiente |
| | Geometria do ambiente |
| | Longitude 0° |
| | Hemisfério Sul |
| | Ângulo de Sombreamento do protetor 60° |
| Variáveis | Porcentagem de Área Visível - Composição de Proteção Solar |
| | Porcentagem de Área Insolada – Latitude e Altitude Solar |
| | Refletância do protetor – 85% e 0% |

Portanto, podem-se resumir todas as análises feitas pelo fluxograma esquemático, figura 24 abaixo:

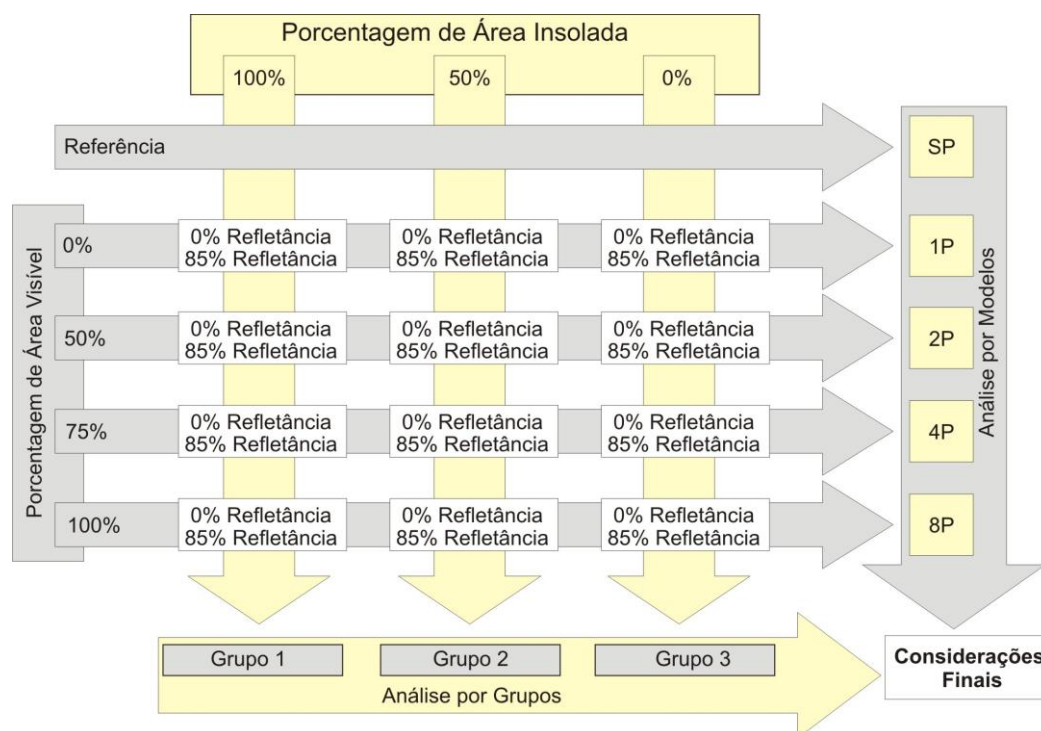


Figura 24 – Resumo das Análises.

A seguir estão descritas todas as condicionantes referentes aos modelos de análise, iniciando pelas características comuns, depois a descrição das diferentes soluções de proteção solar, para, por fim, apresentar os grupos de análise.

3.3.1 O Ambiente de Análise

O ambiente proposto é hipotético, desconsiderando o entorno (apesar de se distanciar da situação real) com o intuito de não alterar a parcela de fluxo avaliada, que é originada apenas pela influência dos protetores solares.

A geometria do ambiente simulado é de uma sala retangular com 6m de largura, 10m de profundidade e 3m de pé-direito. Foi escolhido o ambiente com maior profundidade, visando avaliar o alcance do fluxo luminoso redirecionado pelos elementos de proteção solar. Possui apenas uma abertura centralizada em uma das faces da largura do ambiente, de 5,80m de largura por 1,80m de altura com peitoril de 1m (Figura 25).

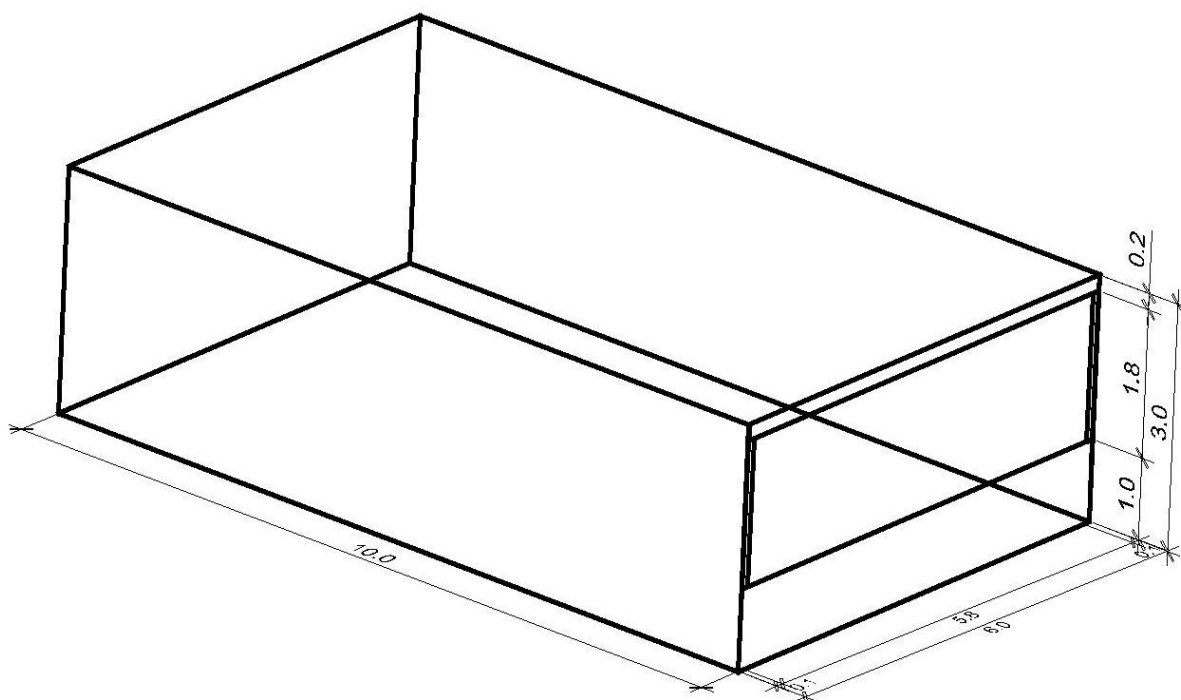


Figura 25 – Geometria do ambiente e dimensões.

As superfícies internas são todas difusoras opacas com refletâncias internas de 80% para o teto, 60% para paredes e 40% para o piso (Figura 26). É fato que o uso de altas refletâncias beneficia altos índices de iluminâncias internas, conforme

Fonseca (2007), mas o uso de refletâncias reduzidas nas paredes e piso pode reduzir ofuscamento direto no campo visual dos usuários.

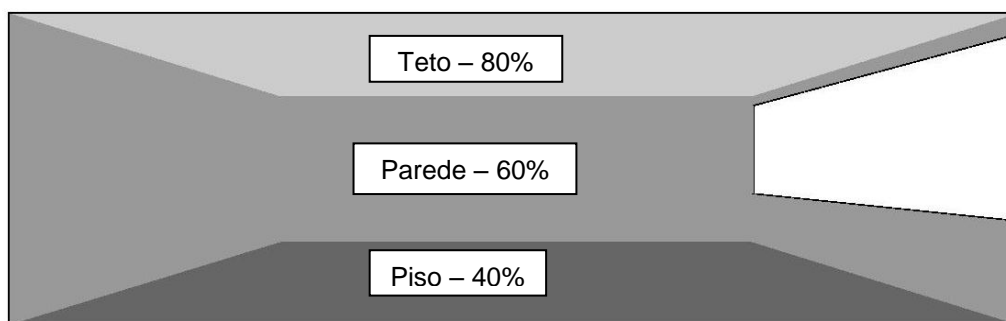


Figura 26 - Desenho do modelo e suas refletâncias enfatizadas

Estas características do ambiente formam o modelo sem protetor (SP), base para comparação (Figura 27), que representa o total de luz que pode ser admitido em cada momento de análise, representando 100% da admissão em cada parcela de contribuição do fluxo luminoso, nos grupos de análise.

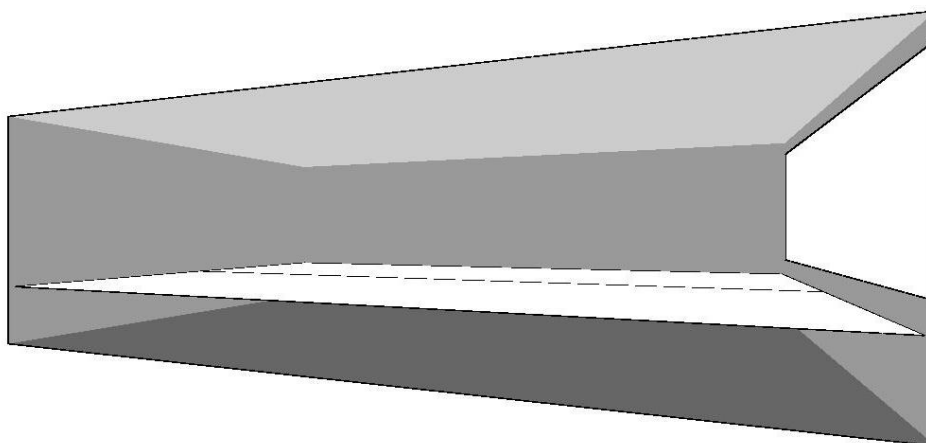


Figura 27 - Desenho do modelo sem protetor, base (SP).

3.3.2 Soluções de Proteção Solar

A geometria dos elementos de proteção foi criada a partir de uma forma simples de sombreamento da janela, com um protetor superior. Os demais modelos, a partir do mesmo ângulo de obstrução, são classificados por porcentagem da área total de protetor solar que pode receber insolação e simultaneamente ser visível do interior, ver figura 28, no caso F2 que é a face superior do protetor, está insolada e ainda é visível pelo interior do ambiente. Assim, a porcentagem da área que inicialmente apenas bloqueia a radiação solar direta, em determinada solução de sombreamento pode receber e refletir o fluxo luminoso para dentro do ambiente.

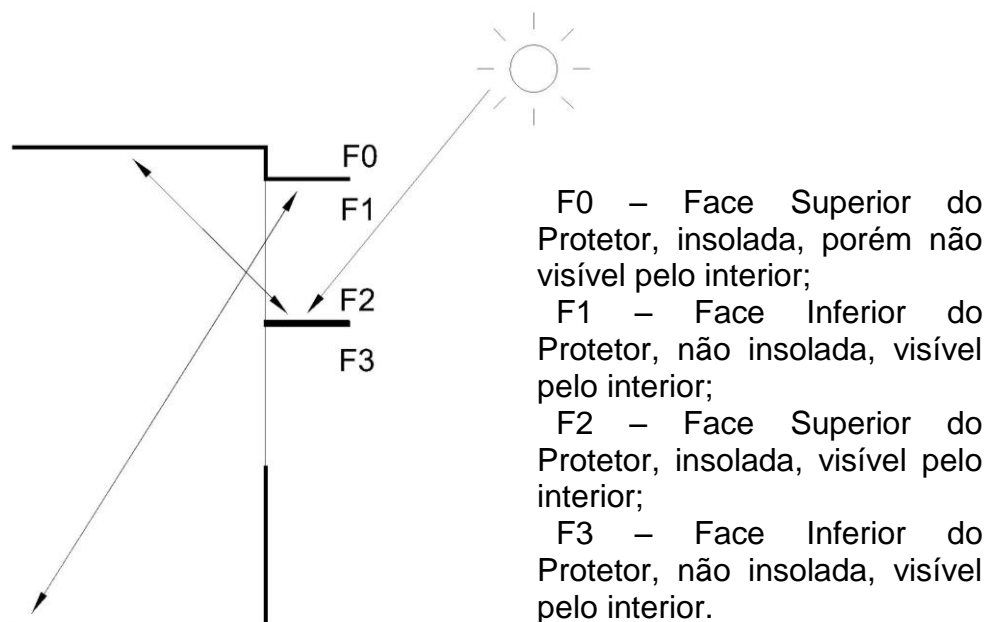


Figura 28 - Esquema de Área Visível.

Portanto, partindo de um ângulo de sombreamento (BITTENCOURT, 2004) com a abertura, no caso 60° , projeta-se a solução mais simples de proteção solar, que não tem área visível do interior (0%), apenas um protetor colocado na parte superior da abertura, figura 29.

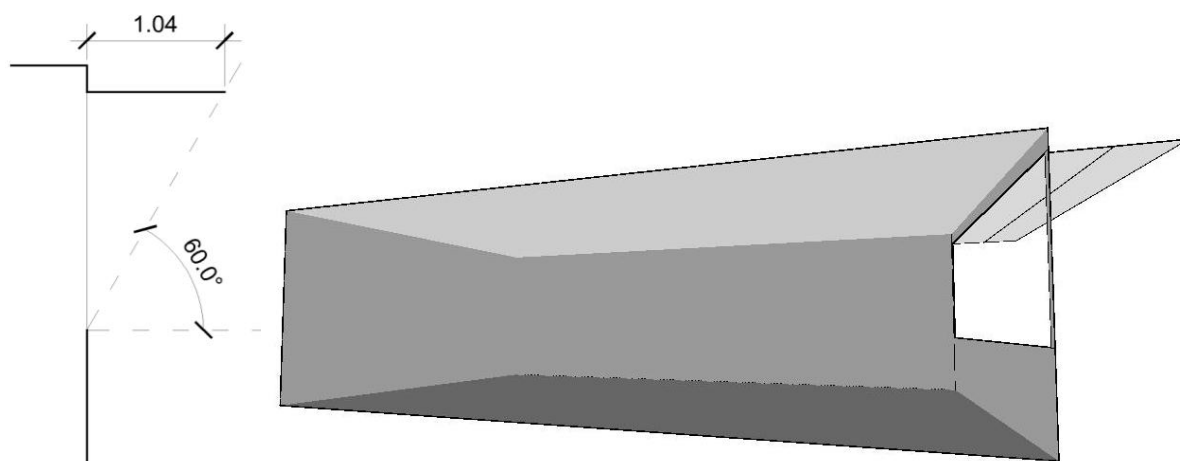


Figura 29 - Modelo com 0% de área visível – Modelo 1P

A segunda solução tem 50% de área visível. A altura da abertura foi dividida em 2, colocando outro protetor no meio com metade da área do primeiro e reduzindo o superior à metade da largura, totalizando $1/2$ ou 50% da área inicialmente apenas bloqueadora, agora visível pelo interior do ambiente, e sombreamento igual ao modelo com um protetor, figura 30.

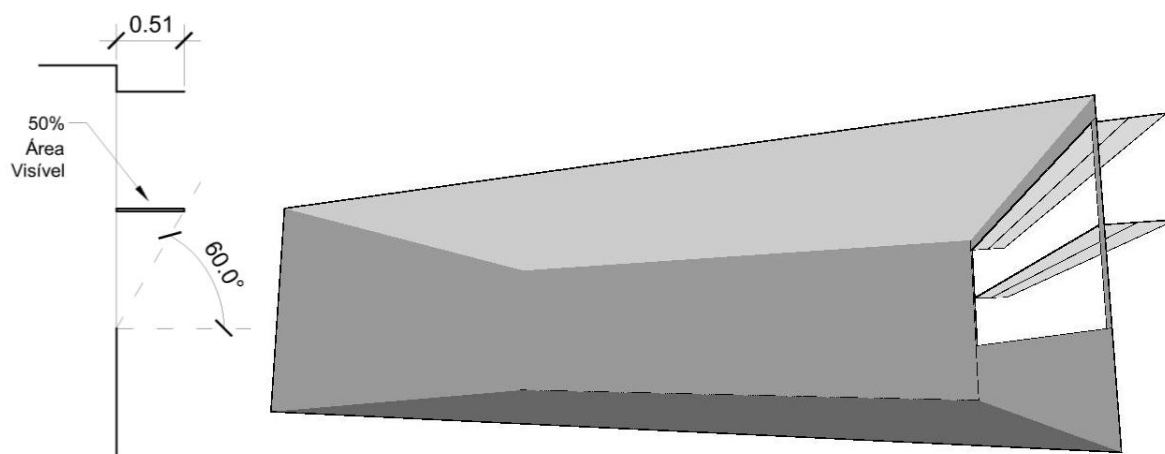


Figura 30 - Modelo com 50% de área visível – Modelo 2P

A terceira solução de proteção tem 75% de área visível. Agora a abertura foi dividida em 4, obtendo assim 4 protetores com 1/4 da área da primeira solução, resultando em 3/4 ou 75% de área visível, figura 31.

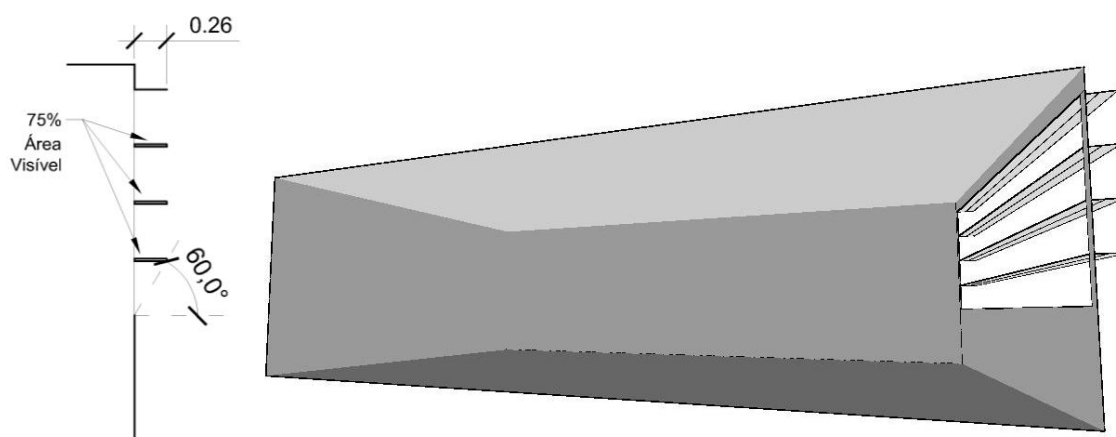


Figura 31 - Modelo com 75% de área visível – Modelo 4P

A quarta e última solução de proteção solar tem 100% de área visível, figura 32. Neste caso a abertura foi dividida em 8, sendo colocados os protetores com 1/8 da área do primeiro modelo de proteção, e ainda anexado um peitoril com mesmo tamanho destes protetores, para garantir 100% de área visível, compensando o protetor superior (não visível).

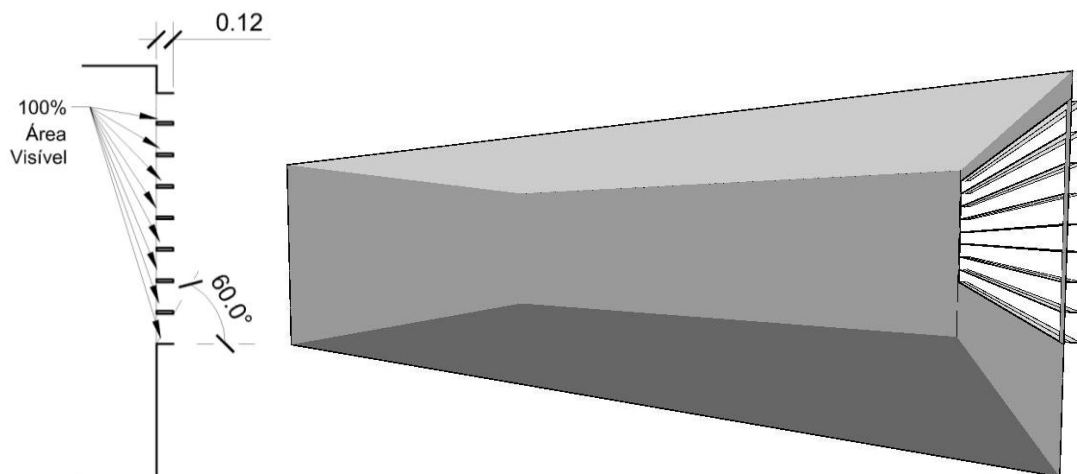


Figura 32 - Modelo com 100% de área visível – Modelo 8P

Os protetores propostos para esta análise são de superfície difusora opaca. Porém, para fins de análise quantitativa, há dois momentos de simulação em cada modelo com protetores. Primeiro é simulado um protetor com alto índice de reflexão (refletância 85%), depois uma simulação com reflexão nula (refletância 0%).

Através da diferença dos resultados do modelo simulado com e sem refletância no protetor poderão ser quantificadas, com melhor precisão, as parcelas de reflexão e obstrução do fluxo luminoso admitido no interior do ambiente por este elemento.

3.3.3 Análises

Primeiro foram analisados os modelos por grupos, que correspondem aos diferentes momentos de insolação, depois foram analisados o desempenho de cada modelo nos diferentes momentos de análise.

Os grupos de análise, caracterizados pelo ângulo de incidência do Sol na superfície superior do protetor, são constituídos por análises em diferentes momentos de insolação, onde a altitude solar provoca a insolação total (100%), parcial (50%) ou nula (0%), da superfície superior do elemento de proteção.

O dia de análise, 21 de março, possui a menor altura solar no período em que é recomendável o uso de sombreamento nas aberturas para o hemisfério Sul, esta condição solar segundo Robins (1986) é a que provoca a pior iluminação nos ambientes construídos, sendo a inclinação de Sol mais baixa, e portanto mais difícil de ser controlada.

Utilizou-se a variação da latitude para obtenção das inclinações desejadas de incidência do Sol, fixando-se a longitude em 0° , assim como dia e hora, além das condições do dia e do céu. Admitiu-se apenas a luz proveniente do Sol e de uma abóbada desobstruída, de céu limpo, na altura do mar. O tipo de céu, claro, possibilita a avaliação nítida da incidência direta dos raios solares, já que os objetos de estudo são elementos de obstrução da radiação solar.

Simulados sempre com a orientação Norte, ao meio-dia, longitude 0° e desconsiderada a equação de tempo, visa-se eliminar alterações que possam ter quanto à simetria da incidência do fluxo luminoso, por isso estas opções que colocam o Sol com azimute no plano Norte-Sul, perpendicular ao plano da abertura do ambiente.

Desta forma garante-se que ao variar a inclinação do Sol para insolar diferente o protetor, visando não alterar a distribuição de luminâncias em relação à posição do Sol, ou seja, não muda a magnitude do brilho da abóboda em relação ao Sol, embora mudem as posições geográficas.

Através das fórmulas de Treguenza (1993) foi possível calcular a latitude dos locais desejados, a partir da altitude solar e o dia do ano analisado (cálculo detalhado no Apêndice A). Quando é escolhido um ângulo de obstrução do protetor solar ou sombreamento da abertura (BITTENCOURT, 2004), até certa altitude solar é obstruída a radiação solar direta. Variando assim a altitude solar, diferentes porções de área do elemento protetor recebem radiação solar direta, e assim, diferentes porcentagens de área da superfície do protetor são insoladas.

Portanto, com altitude solar de 60° o protetor estará com 100% de sua superfície superior recebendo radiação direta, formando o Grupo 1 com 100% de área insolada, figura 33. A latitude que produz este ângulo de Sol no hemisfério Sul é $31^\circ 5'$ Sul, em 21 de março, às 12:00h, sua carta solar esta apresentada na figura 34.

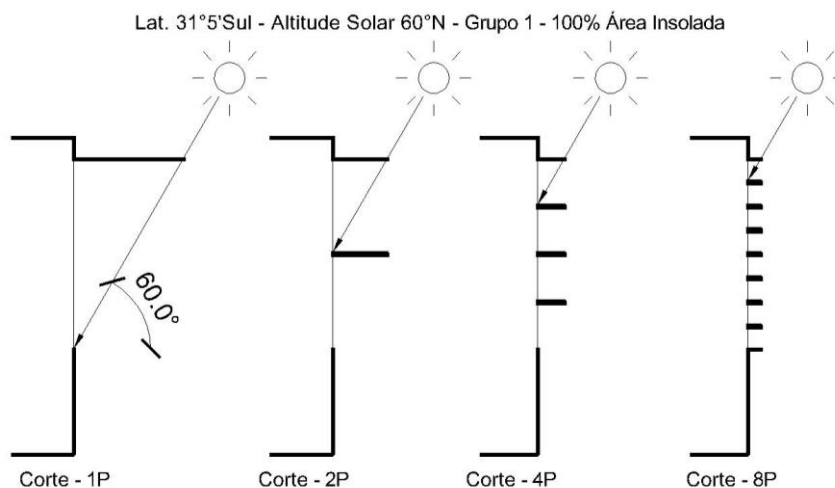


Figura 33 – Insolação incidente no Grupo 1 - 100% insolado.

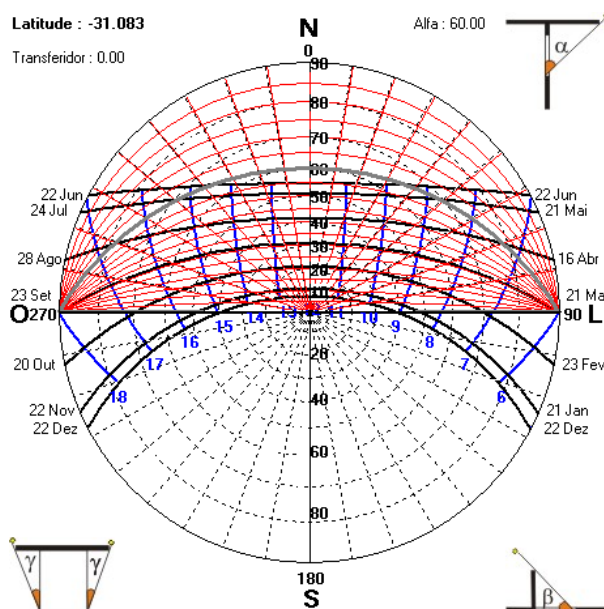


Figura 34 – Carta Solar do grupo 1, 100% insolado, com sombreamento de 60° horizontal.

Já o Grupo 2, com 50% de área insolada, metade da superfície superior do protetor com radiação direta, figura 35, a altitude solar é de 73,90°, correspondendo à latitude de 16°10' Sul, no hemisfério Sul, a carta solar desta latitude que produz este ângulo de Sol no hemisfério Sul esta apresentada na figura 36.

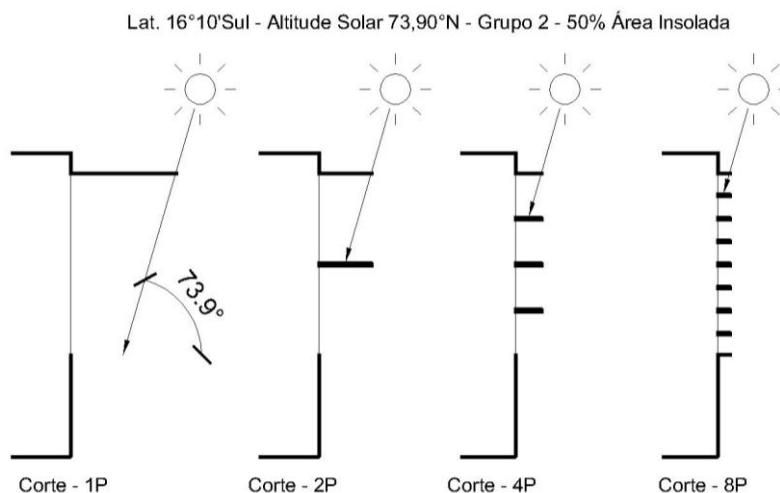


Figura 35 – Insolação incidente no Grupo 2 - 50% insolado.

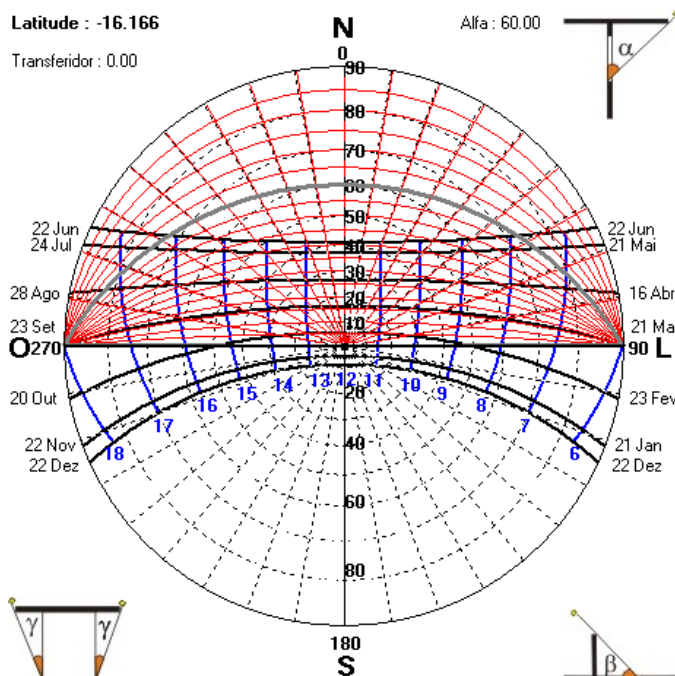


Figura 36 – Carta Solar do grupo 2, 50% insolado, com sombreamento de 60° horizontal.

Para a superfície do protetor não receber radiação direta, Grupo 3, com 0% de área insolada, figura 37, para o hemisfério Sul a latitude é 0°10'Sul, sua carta solar esta apresentada na figura 38. Porém para este grupo foi feito o cálculo com o Sol incidindo a 89,9°Sul, para garantir que durante a simulação não houvesse, por problemas de precisão de cálculo computacional, incidência de Sol nos pontos situados na aresta externa do protetor.

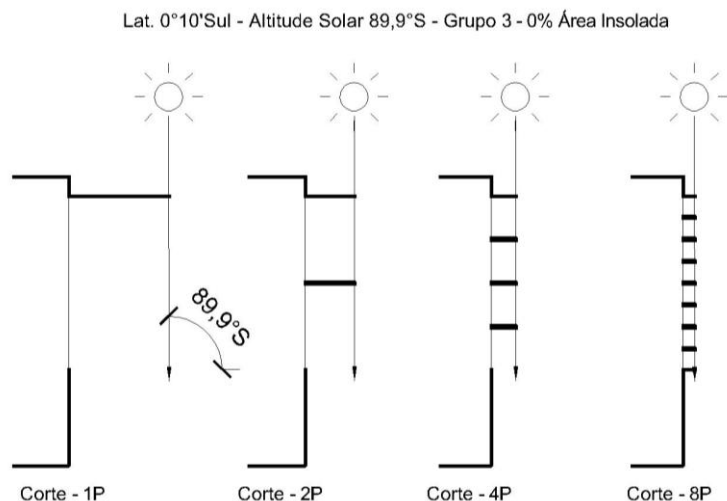


Figura 37 - Insolação incidente no Grupo 3 – 0% insolado.

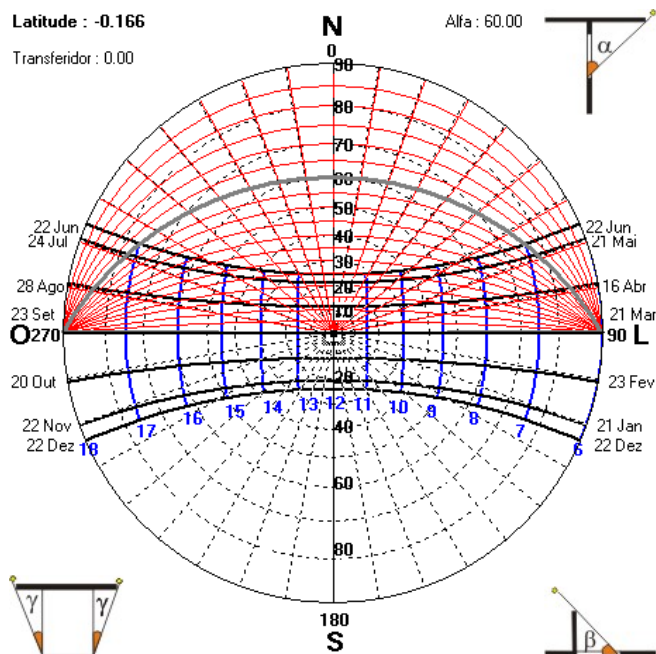


Figura 38 – Carta Solar do grupo 3, 0% insolado, com sombreamento de 60° horizontal.

Na verdade, para cada porcentagem de área iluminada pela radiação solar direta, embora que para orientações distintas, existem duas latitudes, uma no hemisfério Norte e outra no hemisfério Sul, figura 39.

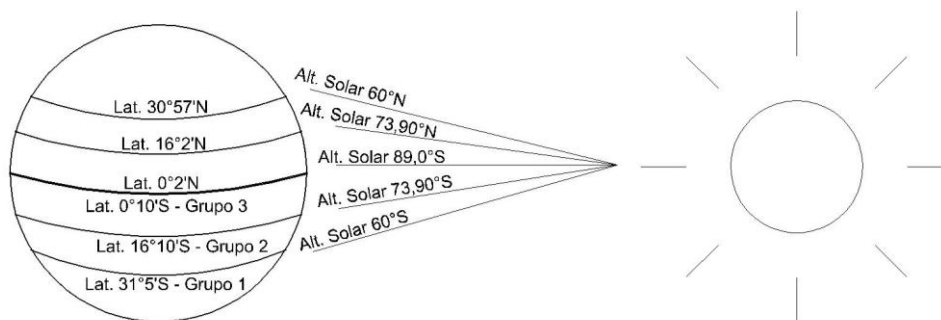


Figura 39 - Esquema do Globo Terrestre com Latitudes e Altitudes Solares.

3.4 OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Descreve-se a seguir a forma como os resultados são obtidos e depois tratados para por fim analisá-los. Porém, primeiramente são apresentadas a nomenclatura, que irá identificar cada modelo e seu grupo de análise, e as configurações de simulação utilizadas no programa.

3.4.1 Nomenclatura

Com o intuito de padronizar a forma de apresentação dos resultados obtidos nas análises, foi criada uma nomenclatura específica para cada modelo e grupo de análise, com as seguintes siglas:

[Grupo X – NP X% (En)]; onde:

- **Grupo X** – refere-se ao grupo de análise em que está inserido, podendo ser:
 - **Grupo 1** - 100% de área insolada do protetor (Lat. 31°5'Sul – Altitude Solar de 60°);
 - **Grupo 2** - 50% de área insolada do protetor (Lat. 16°10'Sul – Altitude Solar de 73,90°);
 - **Grupo 3** - 0% de área insolada do protetor (Lat. 0°10'Sul – Altitude Solar de 89,9°S).
- **NP** – refere-se ao modelo, podendo ser:
 - **SP** (Sem Protetor) - Modelo Base;
 - **1P** (1 Protetor) - Modelo com 0% de área visível;
 - **2P** (2 Protetores) - Modelo com 50% de área visível;
 - **4P** (4 Protetores) - Modelo com 75% de área visível;
 - **8P** (8 Protetores) - Modelo com 100% de área visível.
- **X%** - refere-se à refletância do elemento de proteção, podendo ser:
 - **0%** - 0% Refletância (Nula);
 - **85%** - 85% de Refletância (Alta).

* Exceto o modelo base (SP), que não possui elemento de proteção.
- **En** – refere-se à parcela de contribuição de Iluminâncias (E), podendo ser:
 - **Etot** – Total
 - **Eini** – Inicial
 - **Erfi** – Refletida

* **En** - em valor absoluto (lux).

* **%En** – relação percentual do modelo em questão com o modelo base.

3.4.2 Configuração das Simulações

As simulações foram feitas utilizando alto grau de resolução, tanto no fracionamento como na visibilidade da abóboda celeste, permitindo descrever adequadamente a influência dos protetores.

Como o método da Radiosidade, utilizado pelo programa Apolux Beta, fraciona os elementos em porções de área máxima, foi fixado em 0,10m² o fracionamento de todo o modelo e apenas nas superfícies de proteção solar este valor é ainda dividido por 10, resultando em uma área máxima de 0,01m² nos protetores. Foram adotados 10 ciclos de reflexão do fluxo luminoso entre os vértices, considerando a existência de refletâncias elevadas no ambiente.

Os parâmetros de globo e abóboda das simulações foram:

- Globo:
 - Fracionamento – 120 faixas (93.598 parcelas de todo o globo, onde a metade correspondente ao céu).
- Abóbada:
 - Cálculo de abóbada – Fórmula CIE (TREGENZA, 1993);
 - Fator de Turvamento sob céu sem nuvens – 3,0 (áreas litorâneas);
 - Tipo de Céu – Limpo;

Na modelagem, os planos de maior interesse nesta pesquisa, o plano de análise e os planos dos protetores, foram divididos ao meio, visando obter, no fracionamento, melhor distribuição dos vértices de acordo com as parcelas da superfície que se deseja analisar. Portando o número dos planos em cada modelo é maior que o número de superfícies visíveis nas imagens de cada modelo.

Abaixo está listado o total de vértices de cada modelo que fizeram as trocas de fluxo (10 ciclos), ou seja, o total do fracionamento de todos os planos que influenciaram no resultado final da iluminação do modelo.

- Modelo SP – 1308 vértices;
- Modelo 1P – 1700 vértices;
- Modelo 2P – 1908 vértices;

- Modelo 4P – 2204 vértices;
- Modelo 8P – 2460 vértices.

*Cada modelo possui um plano de análise com 392 vértices.

3.4.3 Obtenção dos Resultados

A proposta é a avaliação quanto à distribuição de iluminâncias (E). Conforme já apresentado, o programa escolhido para a simulação permite o uso de um plano de análise, que não participa nem interfere no cálculo, apenas tem o objetivo de mostrar os resultados das condições de iluminação em cada modelo. Foi utilizado um plano hipotético, situado a 75 centímetros do piso, conforme a recomendação da NBR 5413 (ABNT, 1991) (Figura 40).

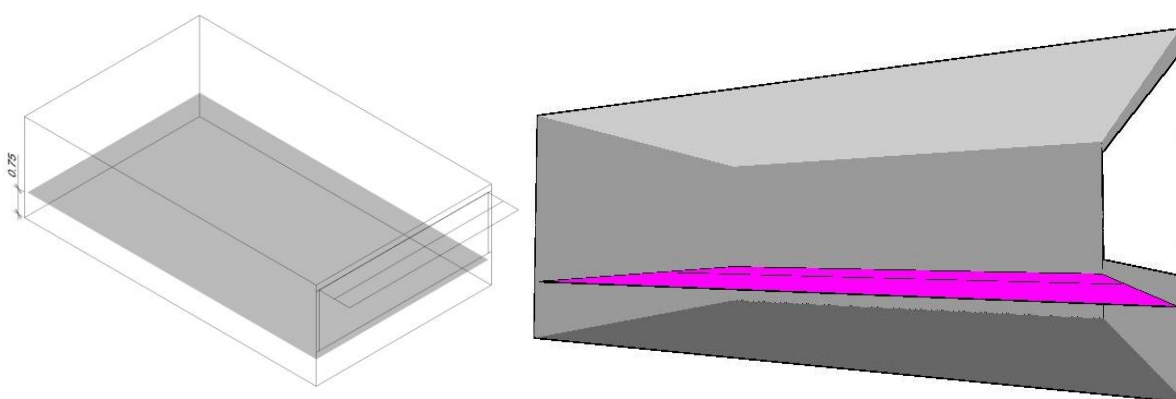


Figura 40 - Plano de análise no ambiente.

Este plano de análise visa relatar como um plano horizontal de trabalho se comportará nas diferentes soluções propostas, funcionando como uma superfície qualquer de mesa.

Os resultados de iluminâncias são obtidos por posição cartesiana, sendo as coordenadas de posição dos pontos fornecidas pelo programa de simulação. O plano de análise foi afastado 5 centímetros das paredes, dividido através do fracionamento do método da simulação computacional, em uma malha de 14 linhas, paralelas ao plano da abertura, por 28 colunas, totalizando 392 vértices, que representam o total de pontos que medirão o fluxo luminoso.

Este plano quantificará os resultados da iluminação natural no modelo, diferenciando as parcelas de fluxo incidente inicial (E_{ini}), primeiro contato da luz natural nos planos; e de fluxo incidente total (E_{tot}), resultado final do fluxo inicial

mais a parcela dos ciclos de reflexão que ocorrem entre as superfícies internas do ambiente, além de outros parâmetros.

3.4.4 Tratamento dos Resultados

Os resultados obtidos na simulação foram salvos em documentos de texto, e posteriormente inseridos no programa de planilhas Excel (Apêndice B, C e D), para montagem dos gráficos. Foram separados apenas os resultados referentes ao plano de análise, formando tabelas com colunas de:

- Número do vértice;
- Posição cartesiana, eixos X e Y;
- Iluminância Total (E_{tot});
- Iluminância Direta do Sol (E_{sol});
- Iluminância Inicial (E_{ini});
- Iluminância Refletida (E_{refl}) – calculada depois.

Como o modelo sem proteção (SP) recebe insolação direta nos grupos 1 e 2, para haver coerência na comparação dos modelos, foram subtraídos da iluminância total (E_{tot}) e da iluminância inicial (E_{ini}) os valores correspondentes à iluminância direta do Sol (E_{sol}) (Equação 1). Visando obter melhor relação entre os resultados obtidos.

$$E(\text{tot./ini.}) - E_{\text{sol.}} = E(\text{tot./ini.}) (\text{SP}) \quad \text{Equação 1}$$

Para a distinção da parcela de fluxo refletido, em todos os modelos, é subtraída da iluminância total a iluminância inicial, equação 2, separando apenas a contribuição das reflexões entre as superfícies dos modelos.

$$E_{\text{tot.}} - E_{\text{ini.}} = E_{\text{refl.}} \quad \text{Equação 2}$$

Separadas as parcelas de contribuição, foram formuladas tabelas com a posição cartesiana de cada ponto e a quantidade de fluxo luminoso admitido, divididos por parcelas de contribuição, a iluminância inicial (E_{ini}), a iluminância refletida (E_{refl}) e a iluminância total (E_{tot}).

Com estas tabelas são feitos os gráficos para análise, com os programas Winsurfer e Excel. No primeiro formularam-se os gráficos para a análise qualitativa.

No segundo, os gráficos para a análise quantitativa. Cada uma das formas de análise está descrita na próxima seção.

3.5 ANÁLISE DOS DADOS

Os grupos de análise serão tratados individualmente, em duas etapas. A primeira, método gráfico, criando gráficos de curvas isolux das diferentes situações, em valores absolutos, representando o plano de análise, e também utilizando máscaras de visibilidade da abóboda celeste, para comparar as áreas mais brilhosas no campo visual de cada modelo. A segunda, método analítico, utilizou-se gráficos de profundidade X iluminância absoluta ou por relação percentual com o modelo base (SP), para cada parcela de contribuição, em seu respectivo grupo.

Como foi feita uma comparação entre os modelos, estas análises visam caracterizar a distribuição do fluxo luminoso em cada momento de insolação pelas diferentes soluções de proteção, buscando identificar se há uma correlação entre a percentagem de área visível e as condições de iluminação.

Ambos os métodos de análise iniciam pela apresentação das condições do modelo base (SP) do grupo em questão, para depois serem discutidas as condições dos demais modelos começando pela menor porcentagem de área visível para a maior (1P – 2P – 4P – 8P).

Depois das análises por grupos foi feita uma avaliação geral, através do método analítico, sobre cada solução de proteção e seu desempenho nos diferentes grupos de análise, visando identificar como determinada composição de proteção solar se comportou sob as diferentes porcentagens de área insolada do protetor.

Todos os resultados, em grandezas absolutas, estão discriminados nos Apêndices B, C e D, demonstrados por tabelas que apresentam apenas o eixo central longitudinal do plano de análise de cada modelo, inclusive das simulações com refletância nula nos protetores, separados os apêndices por grupos de análise.

3.5.1 Método gráfico

O método gráfico tem como objetivo permitir análise sobre o resultado final da iluminação e sobre as tendências de distribuição do fluxo luminoso, por isso a

análise gráfica será feita apenas do resultado final, a iluminação total (Etot), em valores absolutos das condições de iluminação do ambiente.

Através da malha de pontos do plano de análise, os resultados de iluminâncias obtidos por posição cartesiana no programa de simulação, e posteriormente montadas tabelas no programa Excel, os valores de iluminância total foram inseridos no software de planilhas WinSurfer 5.0 formando gráficos de curva isolux, similares a planilhas topográficas.

Desta forma pode-se avaliar mais rapidamente o ambiente e identificar possíveis áreas mal iluminadas, bem iluminadas ou iluminadas em excesso, para isso os gráficos serão analisados por regiões, demonstradas no gráfico 01. A região 1 é a mais próxima a janela, a região 2 representa o meio da sala, e a região 3 é a mais profunda.

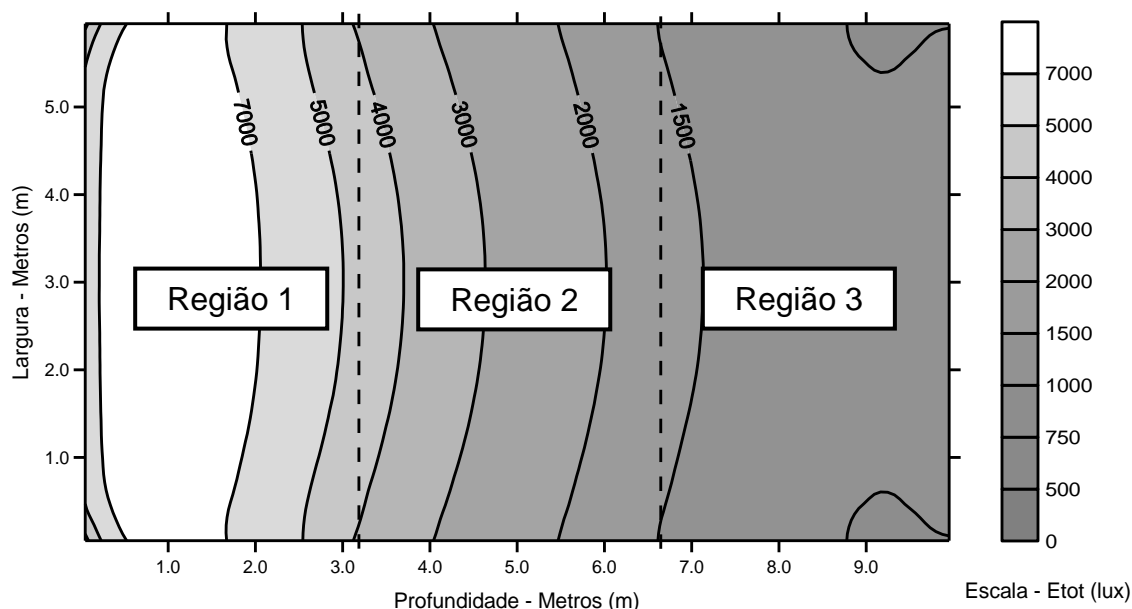


Gráfico 1 – Exemplo de gráfico de curva isolux e das regiões, Grupo 1 - SP (Etot)

Com esta análise busca-se identificar uma tendência de correlação entre a solução arquitetônica de proteção solar (de sombreamento da abertura) e as condições de iluminação no ambiente, mais especificamente uma tendência na distribuição do fluxo luminoso, se há uma maior ou menor abrangência do fluxo em grandes profundidades, principalmente identificar como o fluxo atinge a região 3, mais afastada da janela.

A segunda forma de avaliação gráfica foi feita quanto à máscara de visualização da abóboda em um ponto comum dos modelos. Estas máscaras foram obtidas pelo programa simulador, Apolux Beta, e representam a campo visual do ponto médio de transição entre as regiões 1 e 2, determinadas acima. As áreas mais

amarelas representam as partes mais brilhosas da abóboda celeste. Busca identificar se partes mais brilhosas são visíveis do interior do ambiente, devido ao posicionamento dos elementos de proteção solar, e se isto pode ter relação com as condições de iluminação no ambiente, ver figura 41. Devido a precisão da simulação os elementos de proteção podem ter ficados com falhas, por causa do tamanho das lâminas, assim como a representação da abóboda é feita através do numero de pontos em que o globo foi dividido.

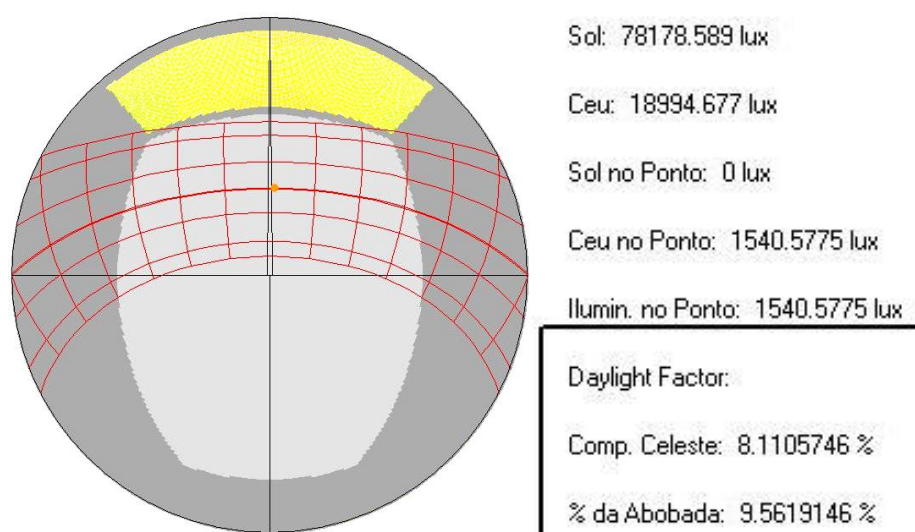


Figura 41 – Exemplo de Máscara de Visibilidade da Abóboda Celeste, Grupo 1 – SP.

Estas análises foram feitas sempre com os modelos com 85% de refletância no elemento de proteção solar, visto que ao sugerir esta sucessiva modulação de proteção solar está se remetendo a técnica de uso de prateleiras de luz, onde o uso de alta refletância tende a refletir mais o fluxo luminoso.

3.5.2 Método Analítico

Utilizamos o método analítico para identificar particularidades entre os modelos, através de gráficos de profundidade X iluminância, produzidos a partir de um corte longitudinal no meio do ambiente, figura 42, que reproduz aproximadamente o comportamento da distribuição do fluxo em todo o ambiente, já que devido às condicionantes da simulação foram obtidos resultados simétricos em todos os modelos.

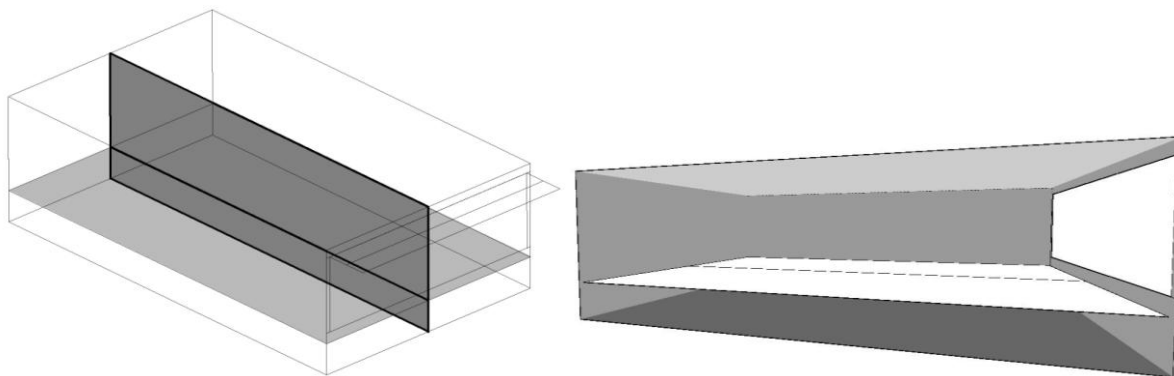


Figura 42 - Esquema do Corte Longitudinal que resulta nos Gráficos de Profundidade X Iluminância.

Trabalhados como uma função matemática, gráfico 02, o eixo X destes gráficos representa a profundidade da sala e seus valores foram obtidos pelo fracionamento do modelo no início da simulação. O eixo Y pode ser relacionado os valores de iluminância absoluta (lux) ou uma relação percentual da iluminância obtida do modelo base.

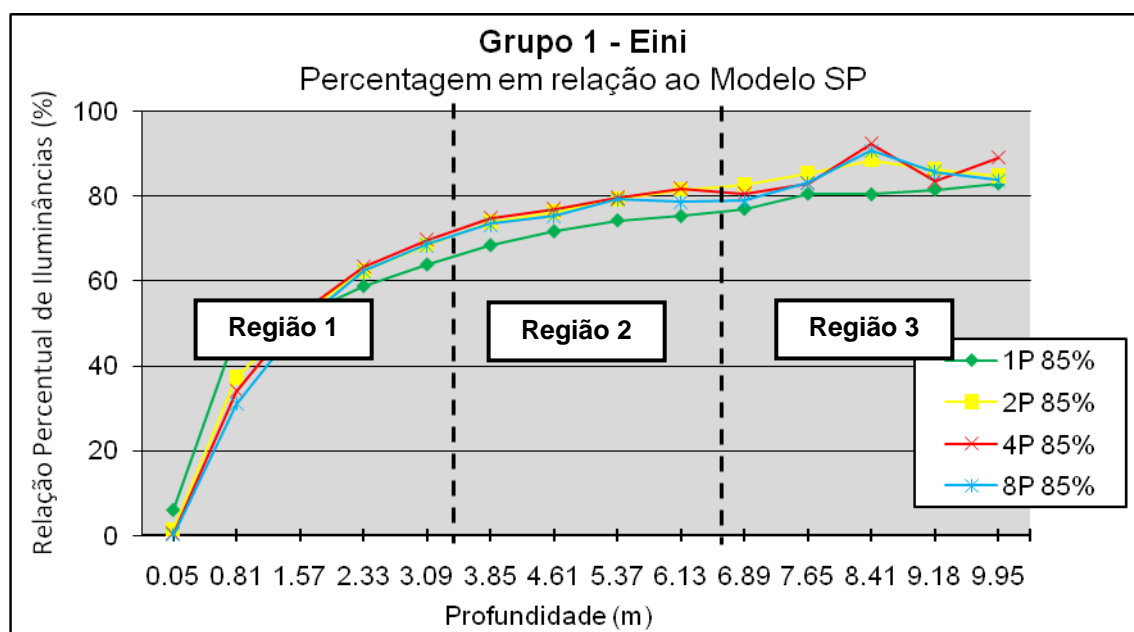


Gráfico 2 - Exemplo de Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 - 2P (%Etot)

Nestes gráficos é apresentada junto à legenda, a média aritmética obtida por cada modelo simulado nesta linha de pontos, já que foi adotado que esta linha representa o resultado de cada modelo. As médias são feitas através da equação 3 de média aritmética simples.

$$\Sigma(E) = (En) / N^{\circ} \text{ de Pontos}$$

Equação 3

Nesta análise as discussões também foram feitas por regiões, as mesmas áreas das regiões dos gráficos de curva isolux.

No primeiro momento da análise por grupos, são apresentadas as condições do modelo base (SP). O gráfico neste caso é feito com os valores absolutos do resultado de cada parcela de contribuição – inicial, refletida e total - mostrando o 100% de cada parcela a ser analisada.

Nos demais modelos do grupo foram identificados, em cada parcela de contribuição do fluxo luminoso, o percentual de iluminância mantida de cada modelo de análise com relação ao modelo base. Por exemplo, em determinado grupo para a iluminância total, o resultado obtido desta parcela de fluxo no modelo base é considerado 100%, ao fazer uma regra de 3 simples com o resultado dos demais modelos são obtidos valores em percentual.

Na análise final, por desempenho dos modelos, quando são comparados os resultados de cada modelo nos diferentes momentos de insolação, foram feitos gráficos comparativos, por parcelas de contribuição, em valores absolutos e também em relação à porcentagem do modelo base de cada momento de insolação que o modelo obteve. Por exemplo, relativo à iluminância total (E_{tot}) no modelo 2P, quanto foram às porcentagens que o modelo obteve em relação ao modelo SP em cada momento de insolação, com 0%, 50% e 100% de área insolada, quando simulado apenas com 85% de refletância no protetor.

O método analítico visa identificar mais precisamente a magnitude da tendência de distribuição do fluxo luminoso pelos elementos de proteção, e se há alguma tendência da composição da solução arquitetônica para um melhor aproveitamento do fluxo.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo expõe e discute os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia proposta no capítulo anterior. Lembramos que estes resultados são influenciados também pelas características definidas para esta análise: nesta pesquisa optou-se por altas refletâncias nas superfícies internas, desconsiderou-se o entorno, e considera-se o céu claro, assim como pelas condições do dia, hora e local de análise.

A análise dos grupos segue a seqüência:

- A primeira etapa analisa o resultado final da iluminação (E_{tot}), através do método gráfico. Inicia-se pelo modelo sem protetor (SP) e segue avaliando a magnitude dos níveis de iluminação e o direcionamento do fluxo luminoso no ambiente, quando aplicadas as soluções de proteção solar;
- A segunda etapa, através do método analítico, inicia-se pela apresentação dos resultados obtidos no modelo sem protetor (SP), para depois comparar o desempenho de cada solução de proteção solar por parcela de contribuição, começando com a iluminância inicial (E_{ini}), depois a iluminância refletida (E_{rf}) terminando pela iluminância total (E_{tot}).

Diferentemente da análise gráfica, que avalia as soluções pelos resultados em grandeza absoluta (lux), no método analítico as comparações são relativas à porcentagem que cada modelo com proteção solar obteve em cada parcela de contribuição em relação à mesma parcela de contribuição obtida no modelo sem protetor (SP).

Nestas duas etapas busca-se correlacionar a morfologia da solução de proteção solar, sua porcentagem de área visível, e as condições de iluminação do ambiente em cada momento de insolação. Investiga-se se há uma proporção entre o aumento de área visível e alguma melhora na admissão de fluxo luminoso. Caso isso ocorra, também identificar qual parcela de contribuição do fluxo é mais afetada.

Finalizando as análises, serão avaliados cada modelo por desempenho sob as diferentes porcentagens de área insolada, também são comparados os resultados por parcelas de contribuição obtidas por cada modelo nos diferentes momentos de insolação.

4.1 ANÁLISE POR GRUPOS

A seguir são apresentados os grupos de análise, divididos por percentagem de área da superfície superior do elemento recebe insolação direta, cada grupo refere-se a uma latitude, no dia e hora estipulados, em 21 de março às 12h.

O grupo 1 refere-se a 100% de área insolada, ou seja, todo o elemento recebe insolação direta, neste momento a altitude solar é igual ao ângulo de sombreamento do protetor, 60°N , isso ocorre na latitude $31^{\circ}5'\text{Su}$. O grupo 2, é com 50% de área insolada, na latitude $16^{\circ}10'\text{Sul}$ e altitude solar de $73,90^{\circ}\text{N}$. E o grupo 3 não apresenta insolação direta, 0% de área insolada, isso ocorre na latitude $0^{\circ}10'\text{Sul}$ com altitude solar $89,90^{\circ}\text{S}$.

4.1.1 Grupo 1 - 100% De Área Insolada

O grupo 1 refere-se, conforme apresentado no capítulo anterior, à comparação entre os modelos simulados no momento em que a altitude solar é igual ao ângulo de sombreamento do elemento de proteção, ou seja, toda a superfície superior do elemento de proteção recebe insolação direta, com 100% de área insolada no elemento de proteção solar (ver valores absolutos no Apêndice B).

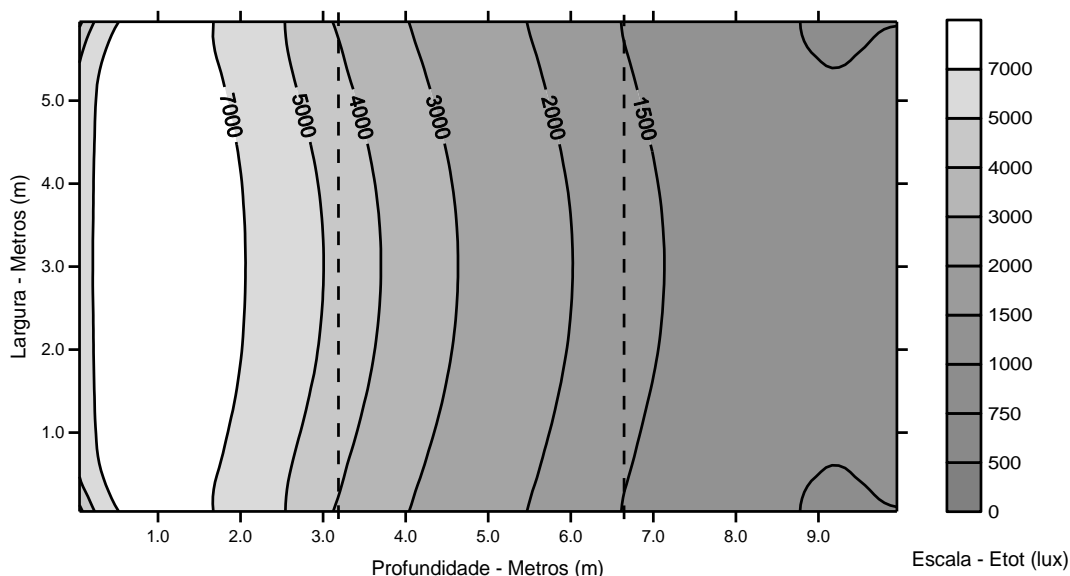
4.1.1.1 Método Gráfico

Esta análise inicial, feita apenas sobre o resultado final da iluminação, através dos valores absolutos de iluminância total (E_{tot}) simulados nos modelos com alta refletância nos protetores, tem o intuito de avaliar as condições de iluminação mais qualitativamente, buscando comparações entre os modelos quanto aos níveis gerais de iluminação e sua distribuição pela área do ambiente.

Como parâmetro base de análise deste grupo, o modelo base (modelo SP) apresentou valores de iluminância total elevados em toda a superfície da sala, chegando à região mais profunda da sala com valores superiores a 1.000 lux.

Pode-se observar que mesmo sendo subtraídos os valores da radiação solar direta, são evidenciadas excessivas iluminâncias (acima de 7.000 lux) perto da

abertura, na região 1. Na região 3, mais afastada da janela, são registrados valores também elevados, na maior parte da região acima de 1.000 lux, gráfico 03.



A máscara retirada no ponto de transição entre a região 1 e 2 (ponto com coordenadas 3,33; 3,00; 0,75), representa a visibilidade da abóboda neste ponto, figura 43. Pode-se observar que a abóboda é bem luminosa, apesar deste ponto não ter visibilidade direta do Sol.

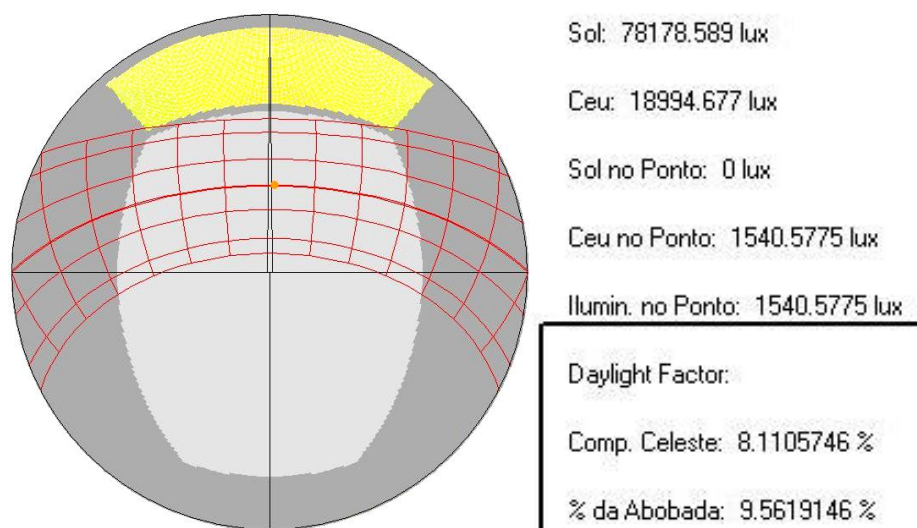


Figura 43 – Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo SP, grupo 1.

Quando é simulado o modelo com um protetor (modelo 1P), gráfico 4, os valores são reduzidos em toda a superfície da sala, no fundo da sala a redução apesar de mais expressiva, cerca de 3 vezes menor, ainda registra valores aceitáveis, perto de 500 lux.

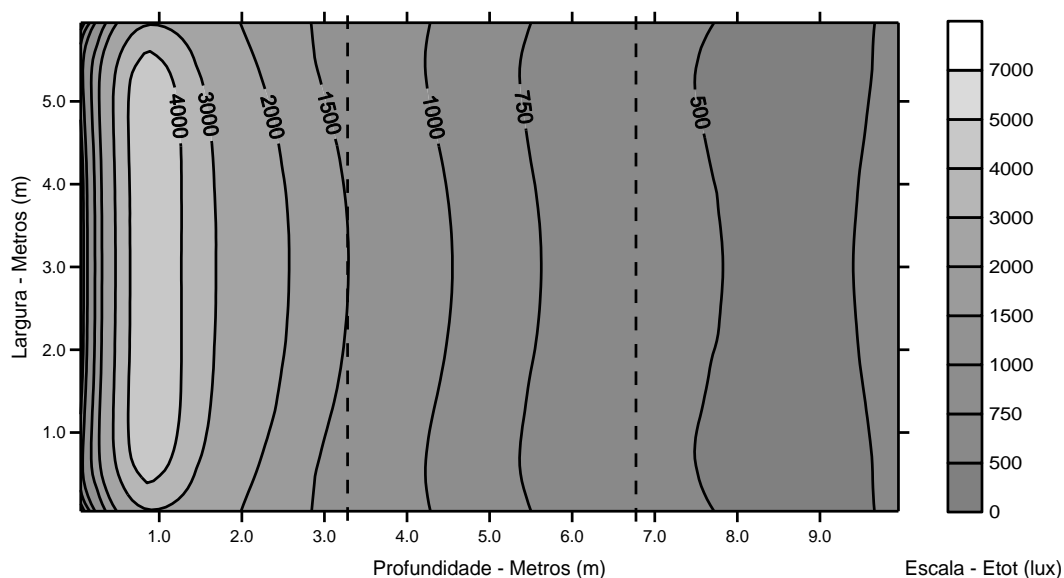


Gráfico 4 – Curvas Isolux - Grupo 1 - 1P 85% (Etot).

A máscara de visibilidade da abóboda no modelo 1P, apresenta uma redução da visibilidade da área mais brilhante da abóboda, porém a abóboda visível ainda se mostra bastante brilhosa, figura 44.

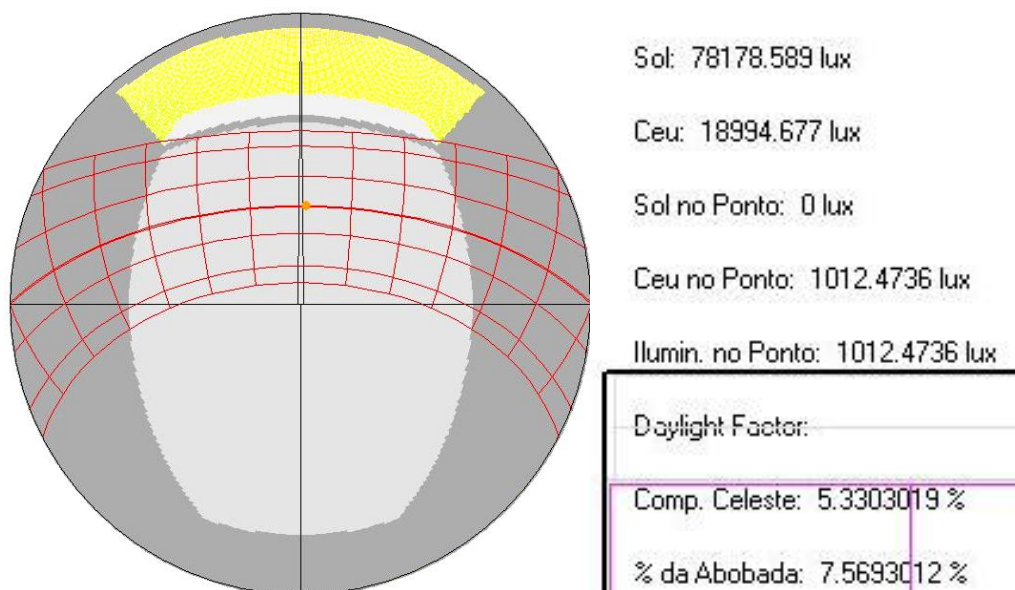
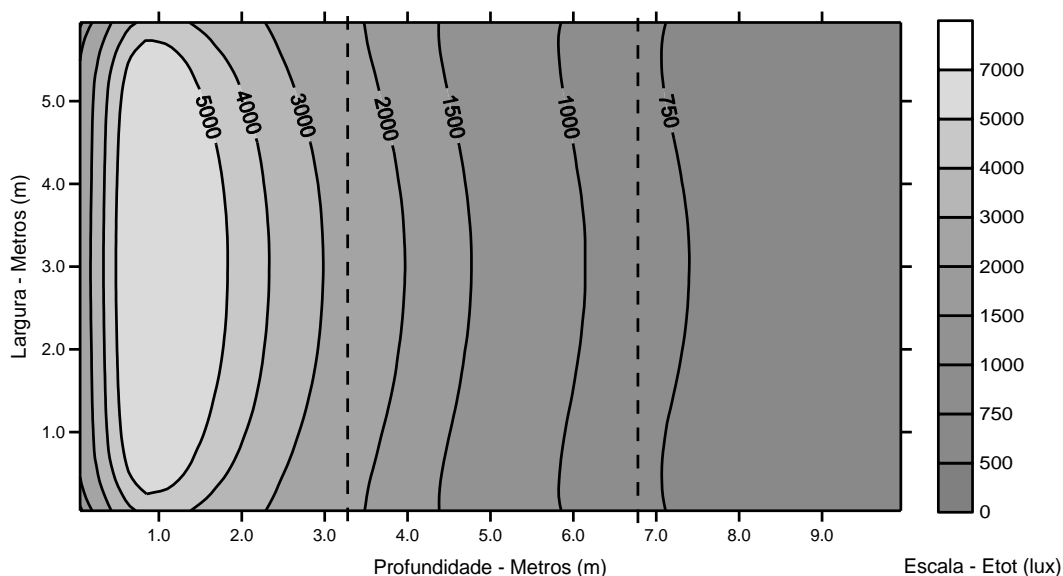


Figura 44 – Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 1P, grupo 1.

No modelo com 2 protetores (2P), que caracteriza 50% da superfície de proteção visível pelo interior do ambiente, os valores obtidos são mais altos quando comparados ao modelo com apenas um protetor. O resultado obtido na região 3, mais profunda da sala, é ainda mais alto, atingindo valores entre 500 e 750 lux, gráfico 05. Porém, na região 1, registra valores mais altos, caracterizando uma área de iluminação excessiva.



A visibilidade da abóboda no modelo 2P, apresenta também redução de luminosidade quando comparada ao modelo SP, mas registra maior área brilhosa no campo visual deste ponto quando se observa a região mais próxima ao elemento de proteção solar, já que este tem sua área reduzida à metade em relação ao modelo 1P, figura 45.

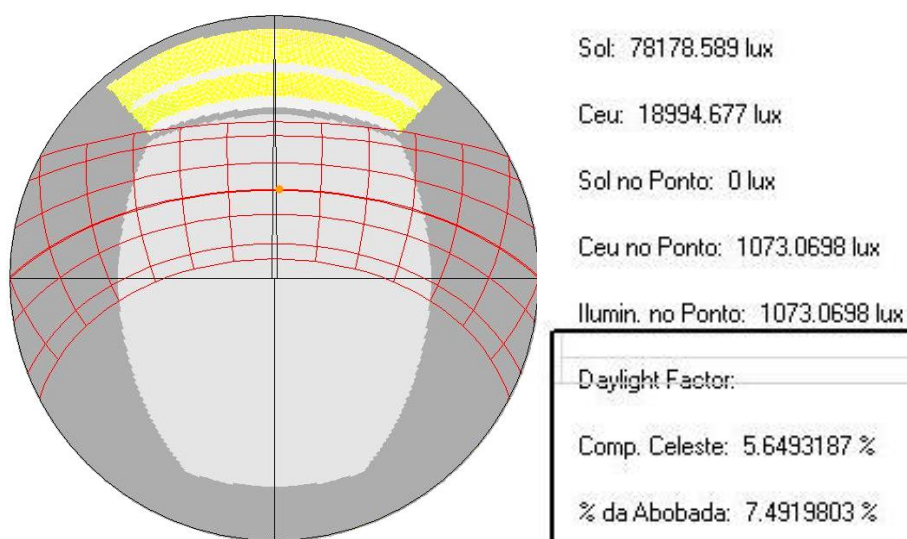


Figura 45 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 2P, grupo 1.

Simulado o modelo com 75% de área visível (modelo 4P), nota-se que há elevação nos valores obtidos, quando comparados ao modelo anterior, com a região 3 registrando maior área com valores de 750 lux, mas ainda grande parte com mais de 500 lux, gráfico 06.

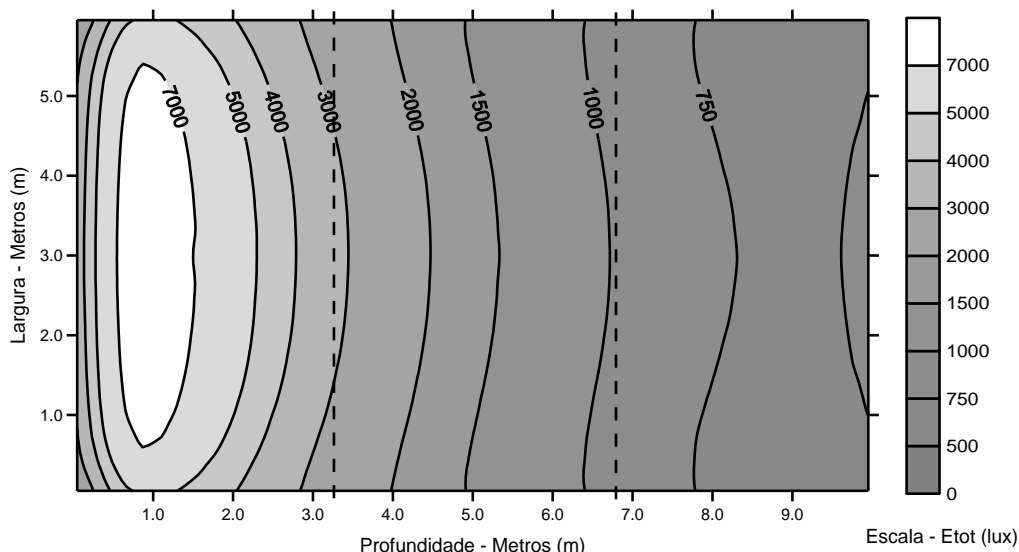


Gráfico 6 – Curvas Isolux - Grupo 1 - 4P 85% (Etot).

No modelo 4P a máscara de visibilidade da abóboda registra áreas ainda mais brilhantes que no modelo 2P, figura 46. Como a sucessão dos modelos apresenta redução da superfície do elemento de proteção, apesar de aumentar o número de elementos, caracteriza no campo visual deste ponto regiões mais brilhantes da abóboda, já que se aproxima do Sol.

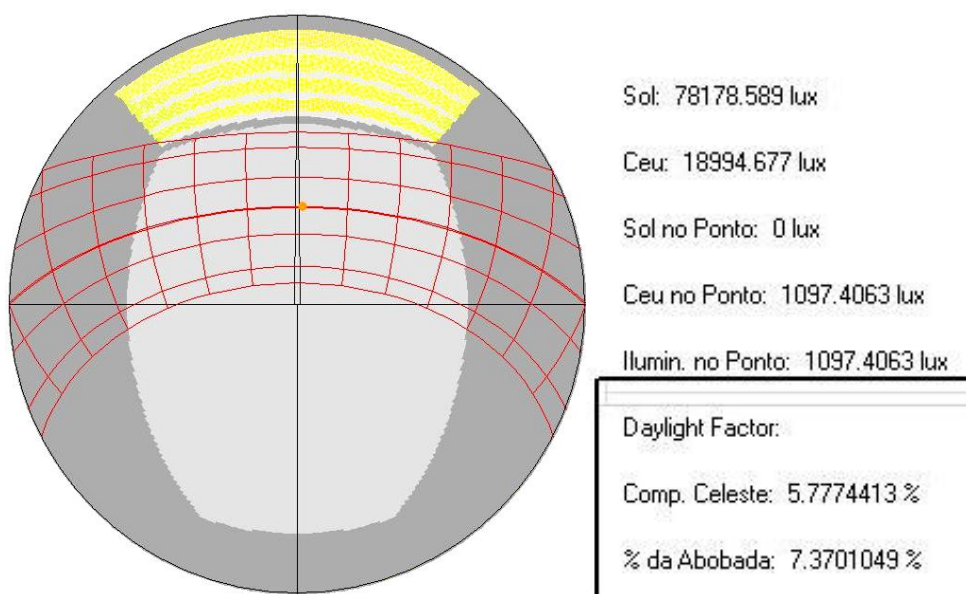
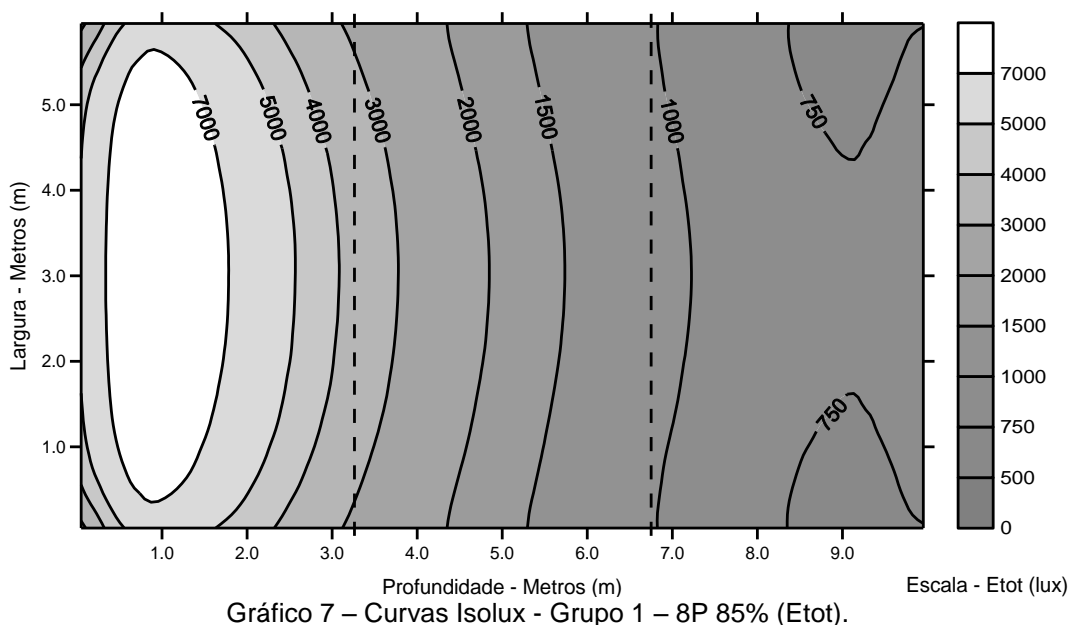


Figura 46 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 4P, grupo 1.

Para o modelo com 100% de área visível (modelo 8P), os valores obtidos são maiores que no modelo com 75% de área visível, registrando na região 3 valores entre 750 e 1.000 lux, gráfico 07.



Na análise da máscara de visibilidade da abóboda do modelo 8P, figura 47, foi registrado a mesma tendência dos demais modelos, onde há maior luminosidade da abóboda devido a proximidade de visibilidade do Sol.

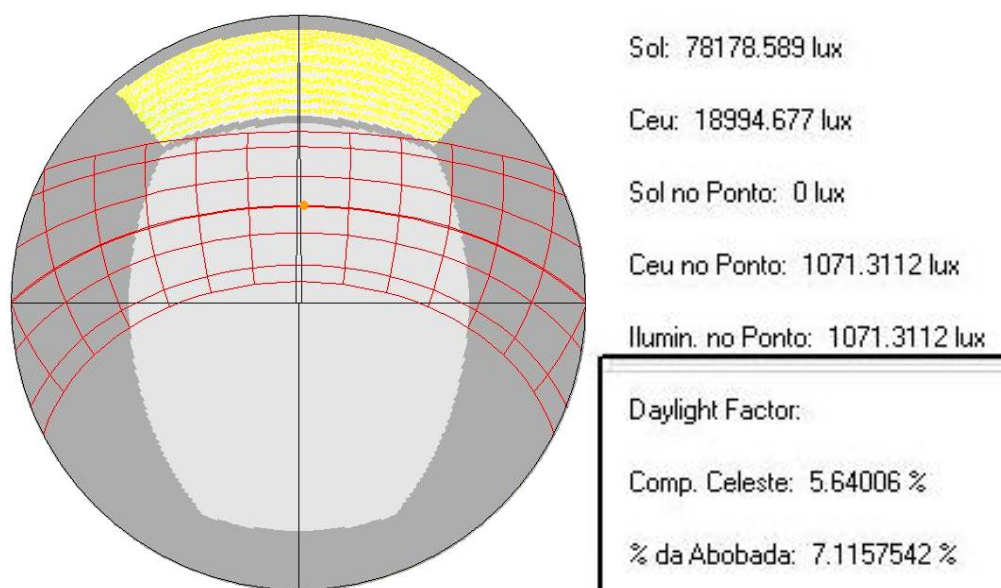


Figura 47 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 8P, grupo 1.

Pode-se ver com a seqüência dos gráficos acima colocados, que comparado ao modelo base (SP), quando colocado apenas um protetor ocorre grande queda nos valores obtidos, porém à medida que se acrescenta área visível, os valores são gradativamente elevados, caracterizando uma relação de quanto maior a área visível e insolada, neste momento de análise, pode se obter melhores resultados.

Esta relação também pode ser observada pela análise das máscaras de visibilidade da abóboda, onde foi registrado visuais de áreas com maior brilho à medida que se acrescentou protetores nos modelos.

4.1.1.2 Método Analítico

Esta segunda análise, conforme já colocado no capítulo anterior, busca avaliar as particularidades do desempenho de cada modelo neste momento de insolação, com 100% de área insolada do protetor.

Os resultados do modelo base (SP) são apresentados em valores absolutos por ser considerado o máximo de iluminâncias a serem captadas neste momento de análise, ou seja, o 100% de toda a análise deste grupo, gráfico 08. A seguir, nos demais modelos, são apresentados os percentuais relativos aos resultados deste modelo.

O modelo base (SP) deste grupo obteve no resultado final, iluminância total (E_{tot}), como já observado pelo método gráfico, valores altos em toda a extensão da sala. Apesar de ser subtraídos os valores de radiação solar direta, os pontos próximos à janela, região 1, atingem quase 12.000 lux, chegando ainda ao último ponto da sala acima de 1.000 lux.

À iluminância inicial (E_{ini}), não mantém uniformidade em toda a extensão da sala. Registra valores muito altos na região 1, entre 3.000 e 9.000 lux, porém chega ao último ponto da sala perto de 110 lux.

A iluminância refletida (E_{rf}) registrou nos pontos próximos a abertura valores consideravelmente altos, entre 3.000 e 4.000 lux, e, assim como a iluminância total, manteve os valores altos nos pontos mais profundos da sala, conforme gráfico 08.

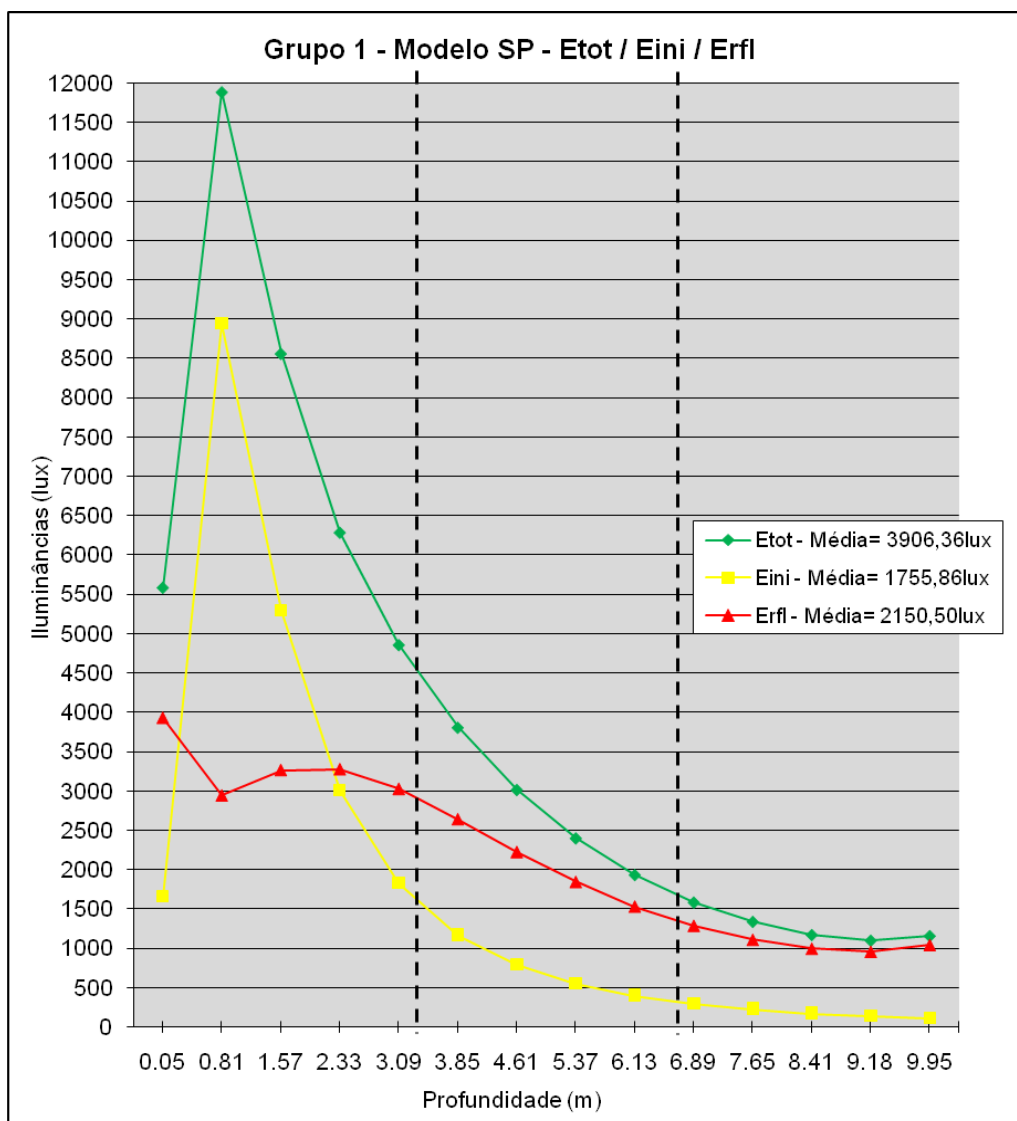


Gráfico 8 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Grupo 1 – SP (Etot, Eini e ErfI)

- **Iluminância Inicial (Eini):**

Como primeiro parâmetro de análise, visou-se o impacto na entrada de fluxo luminoso do uso de elementos de proteção solar. A iluminância inicial se comporta muito parecida em todos os modelos, tendo uma variação muito sutil na comparação entre os modelos com protetores, e uma queda brusca nos pontos próximos a janela, crescendo os valores no decorrer da profundidade. Em todos os modelos a iluminância inicial é igual nas duas propostas de análise, simulado o elemento de proteção com 85% ou com 0% de refletância, gráfico 09 e 10 (ver também Apêndice B).

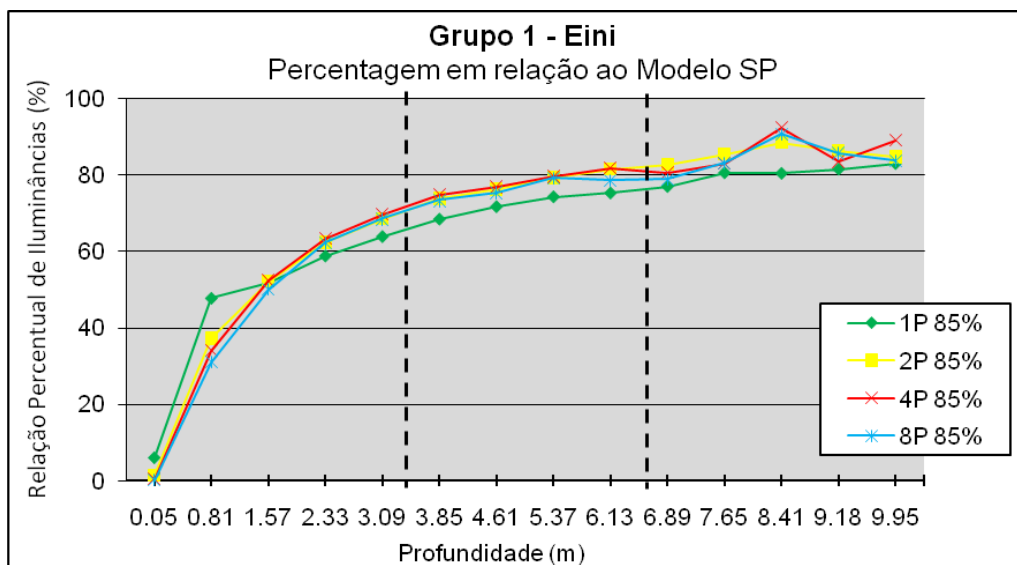


Gráfico 9 – Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Eini).

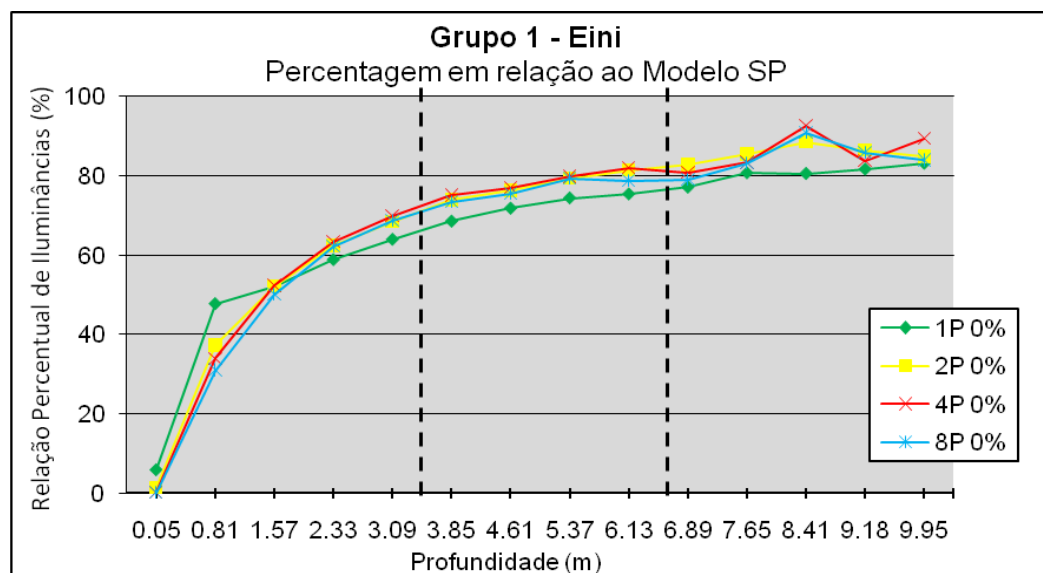


Gráfico 10 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Eini).

Ressalta-se que na região 1 as porcentagens dos modelos são muito baixas, mas os valores obtidos no modelo base são excessivamente altos, tendo o pico de quase 9.000 lux, conforme apresentado anteriormente.

Quanto à profundidade, pode-se observar que em todos os modelos mantiveram-se altas porcentagens nos últimos pontos da sala, região 3, porém também como já apresentado, a iluminância inicial já é baixa nos últimos pontos do modelo SP, cerca de 110 lux, neste caso estas altas porcentagens, entre 80 e 95%, não representam altos valores, registram entre 90 e 100 lux.

Nota-se que os modelos apresentam praticamente a mesma tendência de propagação da luz, desde sua entrada na abertura até o fim da sala. Nas análises

das máscaras de visibilidade da abóboda foram apresentadas diferenças muito sutis de luminosidade da abóboda, o que representa que apesar das diferenças de composição do elemento de proteção solar, o volume de luz que é admitido pelo ambiente inicialmente é praticamente o mesmo.

- **Iluminância Refletida (ErfI):**

Quanto à iluminância refletida, ao observar os resultados obtidos nota-se grande diferença entre o modelo 1P e os demais modelos quando simulados com 85% de refletância nos elementos de proteção solar, gráfico 11.

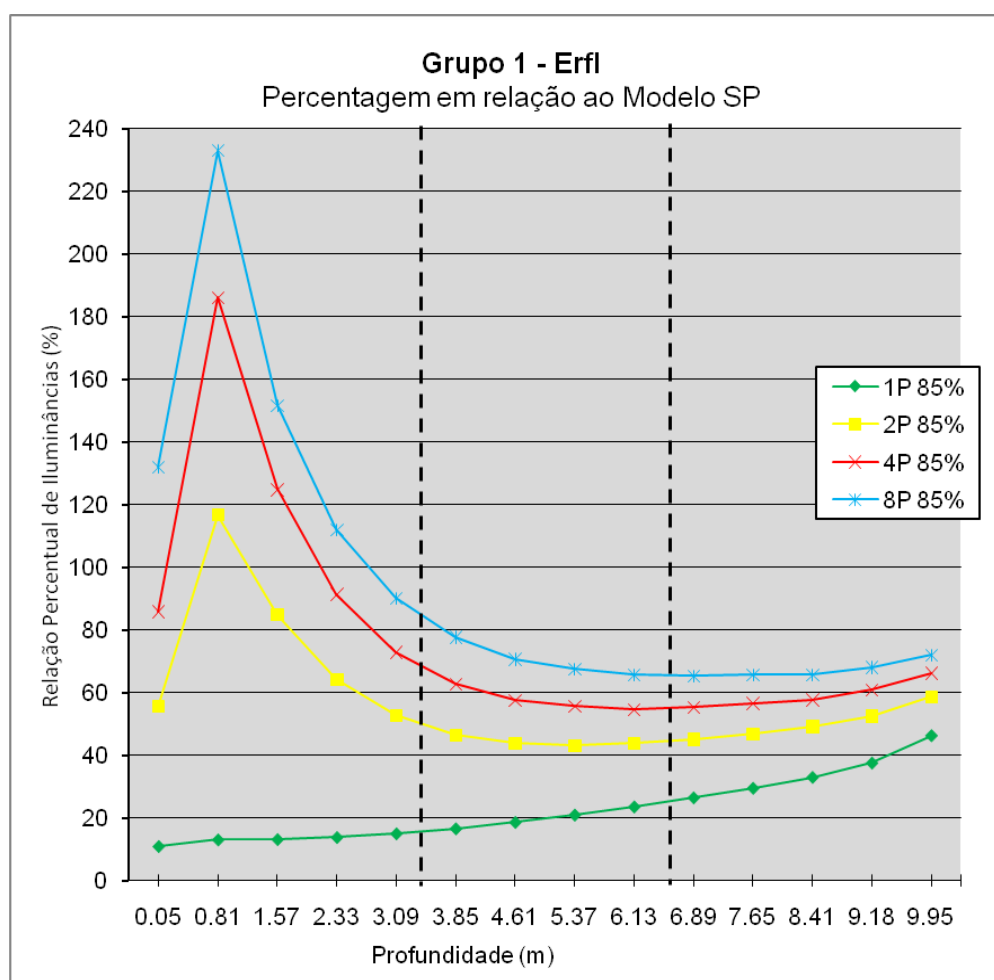


Gráfico 11 – Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%ErfI).

Esta discrepância entre os modelos desaparece completamente quando analisados as simulações entre os modelos com 0% de refletância nos protetores, gráfico 12. Isso ocorre devido a anulação de refletividade dos protetores, como o comportamento do modelo 1P, não há acréscimo de luz por estes elementos,

portanto o resultado é praticamente igual entre os modelos, com apenas leves diferenças devido a visibilidade da abóboda.

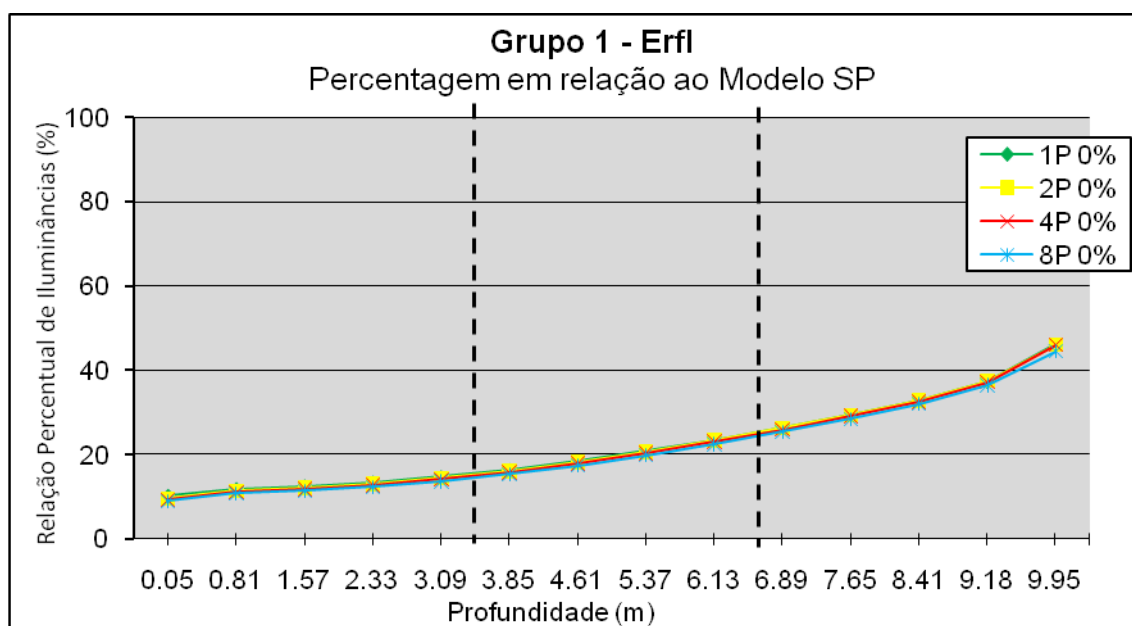


Gráfico 12 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Erfi).

Nota-se que também nesta análise o modelo 1P tem as menores porcentagens, porém aqui mantido sempre abaixo dos demais modelos, caracteriza um crescimento quase linear em profundidade, passando de cerca de 15% no primeiro ponto, a quase 50% no último ponto.

No modelo 1P a troca de refletância do elemento de proteção quase não tem influência, já que sua superfície apenas trabalha com a reflexão da luz oriunda das superfícies internas do modelo. Esta componente refletida apresenta considerável queda em relação ao modelo base, obteve valores abaixo de 20% na região 1, porém nas áreas mais profundas da sala os valores são elevados para quase 50%.

Os demais modelos apresentam tendências similares entre si, com um pico muito elevado perto da janela, logo após um decréscimo acentuado com um leve crescimento no decorrer da profundidade da sala.

Este forte pico representa a grande quantidade de fluxo que é direcionada para dentro do ambiente através dos elementos de proteção solar que recebem a insolação direta e a redirecionam para o interior do ambiente, sempre na região 1, onde à medida que a porcentagem de área visível do protetor aumenta, a porcentagem de iluminação refletida obtida pelos modelos também aumenta, confirmando a possibilidade de relacionar o aumento de área visível e a melhora das condições de iluminação do ambiente.

O modelo 2P já apresenta na região próxima a janela porcentagens acima de 100%, também mostrando crescimento nos valores no decorrer da profundidade da sala. A troca de refletância do elemento de proteção já apresenta muito mais influência de contribuição do fluxo luminoso, afirmando sua capacidade de redirecionamento do fluxo luminoso.

O modelo 4P comparado ao modelo 2P tem redução ainda menor, nos pontos próximos a janela apresenta valores ainda maiores, reafirmando a alta capacidade de reflexão destes elementos, mas não a longas distâncias, por apenas abranger a região 1.

O modelo 4P, com 75% de área visível, ressalta-se ainda mais a importância da refletância do elemento de proteção, uma vez que foram registrados valores ainda maiores que o modelo 2P. Ao serem comparados os resultados, observa-se que quando ocorre à troca de refletância a redução da captação de luz pode ser ainda mais expressiva.

Conforme vem sendo característica nos demais modelos, o acréscimo de área visível tende a melhorar a admissão da componente refletida, apesar deste alcance ser mais representativo na região 1.

No modelo com 8 protetores (8P), com 100% de área visível, os valores obtidos de componente refletida são ainda maiores que no modelo anterior, isso para o caso de alta refletância nos elementos de proteção. Este relativo aumento, porém, é mais característico na região 1, próxima a janela, obtendo nos pontos mais profundos um leve aumento, registrando também entorno de 70% o último ponto.

Pode-se afirmar que o percentual de área visível trabalha efetivamente com a capacidade de reflexão que a solução de proteção solar tem, pois os modelos com mais de um protetor obtiveram resultados acima do modelo base, por isso no gráfico 11 há valores acima de 100%. Porém, vale salientar que estes altos percentuais estão na região 1, mais próxima a abertura, já nos pontos mais profundos o percentual pode ser considerado alto, acima de 60%, mas não acima dos valores do modelo base.

- **Iluminância Total (E_{tot}):**

Quanto ao resultado final, assim como apresentado pela análise gráfica, os menores valores são obtidos no modelo 1P, gráfico 13. Esta grande redução pode ser ocasionada devido ao modelo 1P bloquear a visibilidade de parte da abóbada

celeste com maior brilho, como visto na análise das máscaras de visibilidade da abóboda.

À medida que é acrescentada área visível, ou maior número de protetores, a iluminância total admitida também aumenta. Nota-se que em todos os modelos é caracterizada queda no meio da sala seguida de acréscimo nos pontos mais profundos da sala.

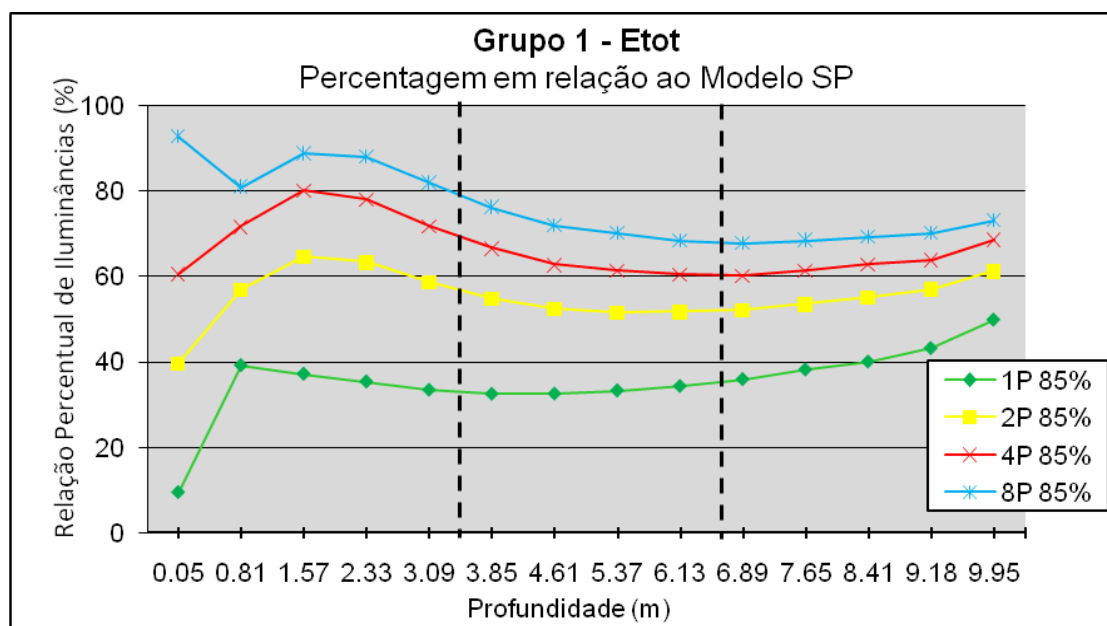


Gráfico 13 – Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Etot).

Todos os modelos apresentam na região 3 um acréscimo da iluminância admitida, esse acréscimo na linha apresentada no gráfico representa a influência da superfície da parede posterior, refletindo luz para o plano de análise.

Assim como observado na análise da componente refletida, os modelos quando simulados com 0% de refletância nos protetores, apresentam pouca diferença entre si, gráfico 14, reafirmando a forte capacidade de admissão e distribuição da luz natural por estas composições de proteção solar.

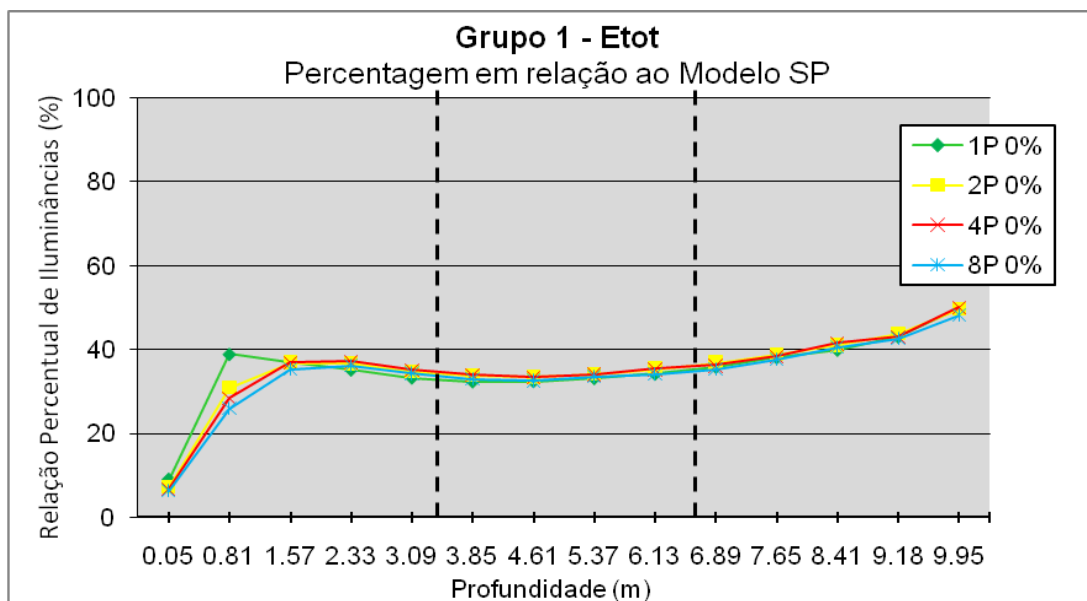


Gráfico 14 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 1 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Etot).

No momento em que é colocado um protetor (modelo 1P), com 0% de área visível, todos os valores caem bruscamente, caracterizando mais de 60% de queda da iluminância total (Etot). A troca de refletância do elemento de proteção no modelo 1P não apresenta interferência relevante no resultado final da iluminação geral do ambiente, pode-se concluir isso observando a diferença entre os resultados obtidos nos modelos com 85% e 0% de refletância no protetor, assim como apresentado na análise da iluminância refletida (ErfI). Isso representa que ao optar-se por uma solução assim de proteção solar pode ser adotado qualquer cor para o elemento, pois a refletância neste caso tem mínima influência.

Quando colocados dois protetores (modelo 2P), com 50% de área visível, nota-se, primeiramente, que a redução da iluminância total admitida é consideravelmente menor quando comparada ao modelo 1P. A escolha da refletância do elemento de proteção neste caso, com 2 protetores, já é bem mais representativa no resultado final da iluminância.

No modelo 4P a redução da iluminância total é ainda menor quando comparada ao modelo 2P. A troca da refletância do elemento de proteção é ainda mais significativa, a opção das cores neste caso pode representar uma variação de mais de 30% do total que pode ser admitido do modelo base, no ponto mais profundo da sala essa influência chega a cerca de 20% ainda.

No modelo com 100% de área visível, modelo 8P, conforme vem sendo característica, a redução da iluminância total admitida é ainda menor. Como vem

acontecendo em todos os modelos analisados, à refletância dos elementos de proteção se torna ainda mais representativa no resultado final, confirmando a importância da escolha deste componente neste tipo de solução.

Pode-se dizer que neste momento de análise, com 100% de área insolada do protetor, quando admitido solução com apenas um protetor, a refletância da superfície do protetor não tem mínima interferência, porém quando admitidos soluções com mais de um elemento de proteção, subdividindo a abertura, a escolha da refletância tem grande importância no resultado final.

Outro ponto importante a ser levantado é que, por serem modelos onde o sombreamento solar é o mesmo, a forma de proteção quando variada pode obter melhores resultados. Como visto na análise acima, opções com alguma área visível provocam grande diferença no resultado final se comparados ao modelo sem área visível (modelo 1P), e quando escolhida a refletância certa para o elemento de proteção solar podem ser obtidos resultados satisfatórios, dependendo do uso do ambiente.

Observa-se nesta análise que apesar da visibilidade da abóboda ser levemente diferente entre os modelos, a iluminância inicial admitida é praticamente a mesma, assim como quando se compara os resultados dos modelos simulados com 0% de refletância dos protetores. Isso comprova a capacidade de admissão e redirecionamento da luz natural admitida, podendo melhorar a distribuição do fluxo pelo ambiente analisado.

4.1.2 Grupo 2 – 50% de Área Insolada

O grupo dois refere-se à comparação entre os modelos com proteção solar simulados no momento em que têm metade de sua superfície superior com radiação solar direta, ou seja, têm 50% de área insolada. Neste momento a altitude solar é de 73,90°N, para o dia 21 de março as 12hr, conforme já apresentado (ver também Apêndice C).

4.1.2.1 Método Gráfico

Este grupo apresentou leve queda nos valores obtidos em comparação ao grupo anterior, o modelo sem protetor apresenta também altos índices de

iluminância total, mantendo esses valores altos em toda a profundidade da sala, gráfico 15. As diferenças para os valores do grupo 1 comprovam as diferentes condições de disponibilidade de luz produzidas pelas latitudes, quando analisado a visibilidade da abóboda, nota-se que menor área do céu entorno do sol (circunsolar) é visível, neste caso com altitude solar maior, 73,90°N.

A região 3, mais afastada da janela, apresentou valores na faixa de 750 lux, bem menores quando comparados ao modelo SP do grupo anterior. Quanto a região 1, assim como no grupo anterior (1), mesmo sendo subtraídos os valores da iluminância direta do Sol (Esol), foram registrados valores bem elevados, na maior parte acima de 5.000 lux.

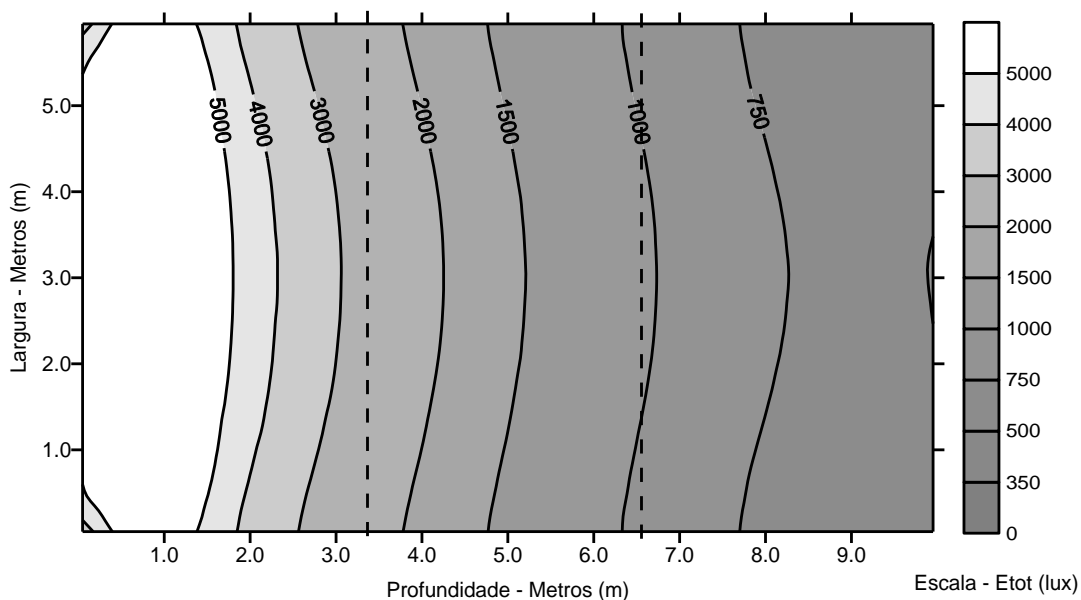


Gráfico 15 – Curvas Isolux - Grupo 2 – SP (Etot).

A máscara de visibilidade da abóboda neste modelo apresentou a abóboda menos luminosa que o grupo anterior, porém ainda registra áreas com alto brilho apesar de a altitude solar ser maior, figura 48. Como visto, este modelo registrou incidência solar direta, mas neste ponto onde foi tirada a máscara não há Sol direto.

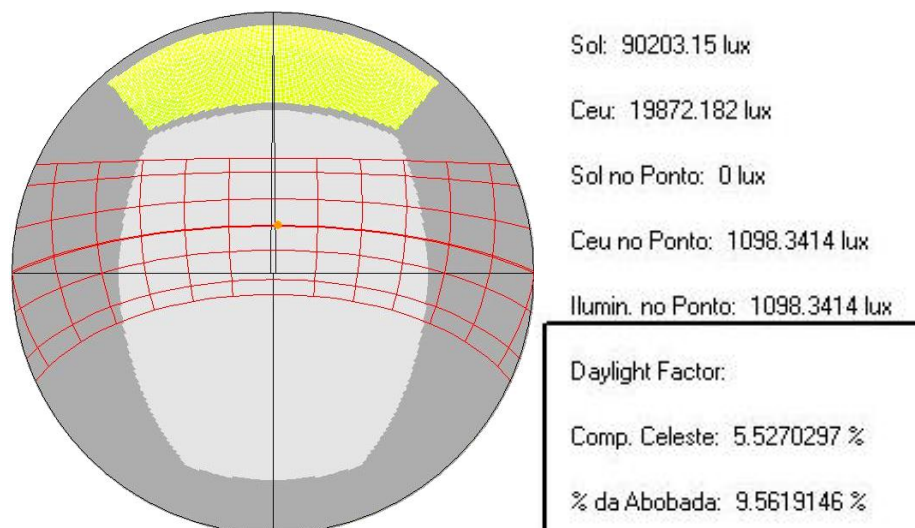


Figura 48 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo SP, grupo 2.

Quando analisado o modelo com um protetor (modelo 1P), percebe-se uma queda na admissão ainda maior quando comparada ao desempenho no grupo anterior. A região 3 registrou, em cerca de um terço da área, valores com até 350 lux, apesar de ser aceitável em algumas tarefas visuais, apresenta grande redução no alcance da distribuição do fluxo luminoso, gráfico 16.

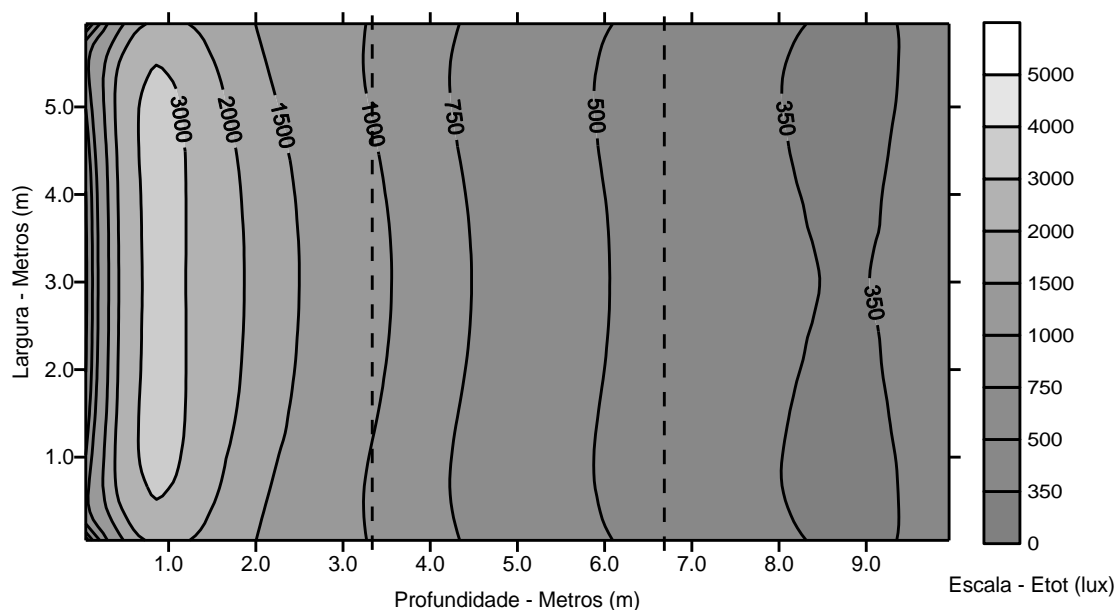


Gráfico 16 – Curvas Isolux – Grupo 2 - 1P 85% (Etot).

A máscara de visibilidade da abóboda no modelo 1P nas condições da abóboda apresentada no modelo SP, sendo de menor brilho que no grupo anterior, neste modelo apresenta uma redução da visibilidade da área mais brilhante da abóboda, porém a abóboda visível ainda se mostra bastante luminosa, figura 49.

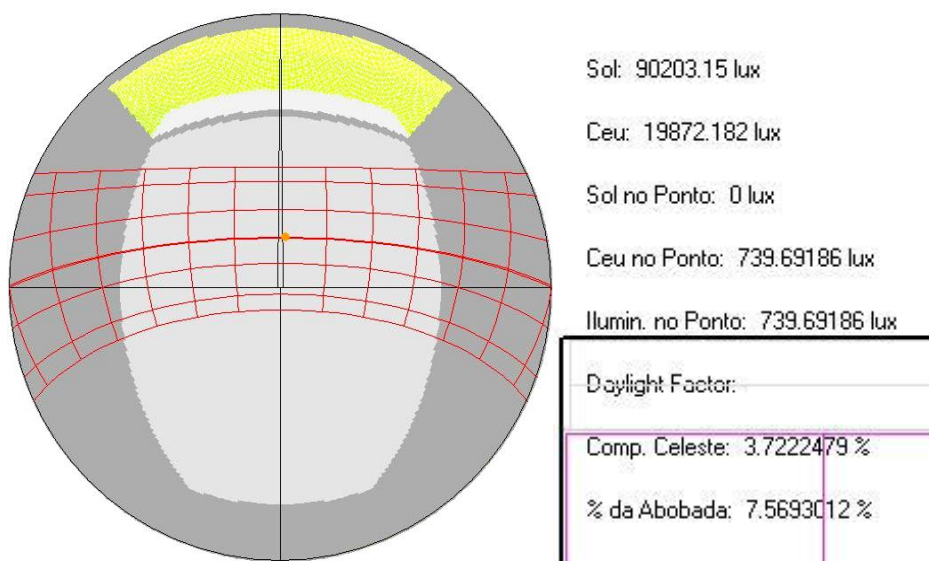


Figura 49 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 1P, grupo 2.

No momento em que é anexado 50% de área visível na solução de proteção solar, modelo 2P, nota-se que há uma mudança considerável nas condições de iluminação, gráfico 17. A região 3 já registra valores na faixa de 500 lux, o que aumenta o leque de tarefas que podem ser realizadas nessa faixa de iluminação.

O aumento de área visível pode estar influenciando o alcance maior do fluxo na profundidade do ambiente, porém também deve ser observado que há um aumento considerável dos valores registrados na região 1, entre 1.500 e 4.000 lux.

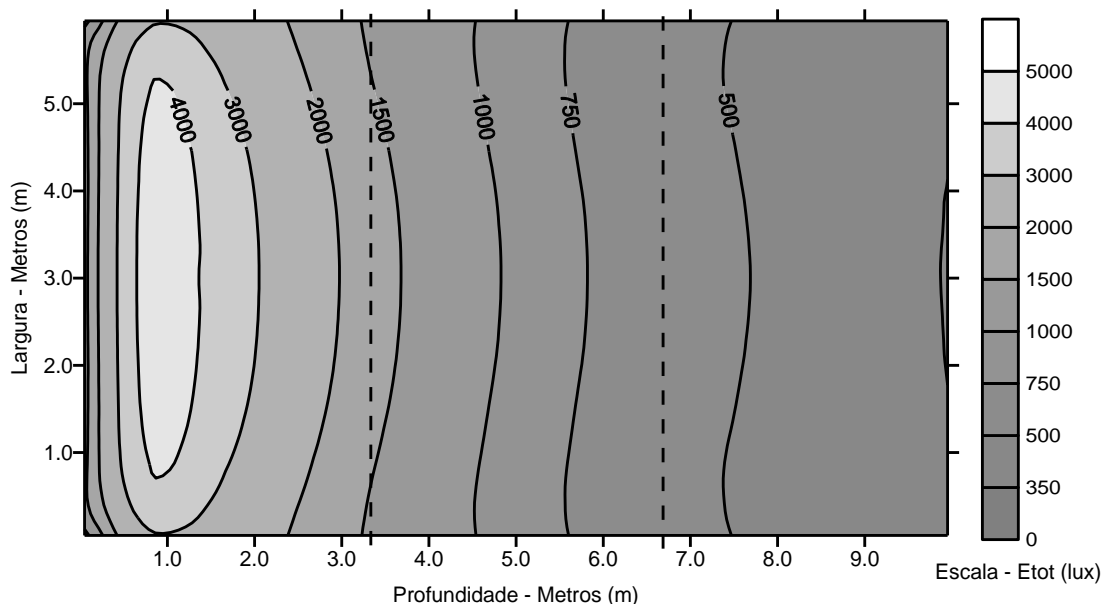


Gráfico 17 - Curvas Isolux - 2P 85% (Etot).

No modelo 2P a máscara de visibilidade da abóboda registra maior área brilhosa no campo visual em relação ao modelo 1P, apesar de também apresentar

redução de luminosidade quando comparada ao modelo SP, nota-se que esta área de maior brilho situa-se perto no protetor superior, figura 50.

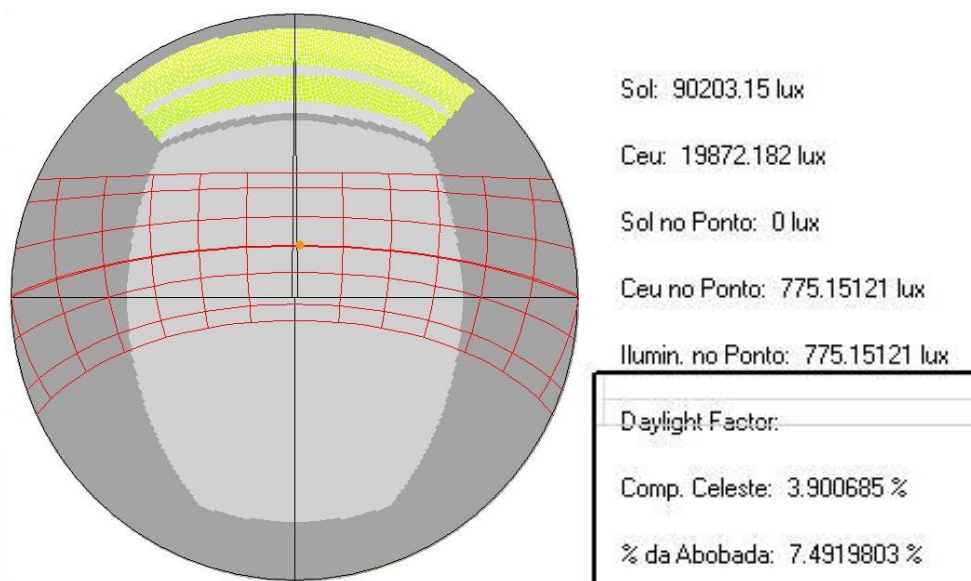


Figura 50 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 2P, grupo 2.

Com 75% de área visível, modelo 4P, são registradas condições ainda melhores que no modelo anterior, gráfico 23, a região 3 com grande parte de valores entre 500 e 750 lux, já a região 1 apresenta valores ainda maiores, entre 2.000 e 5.000 lux.

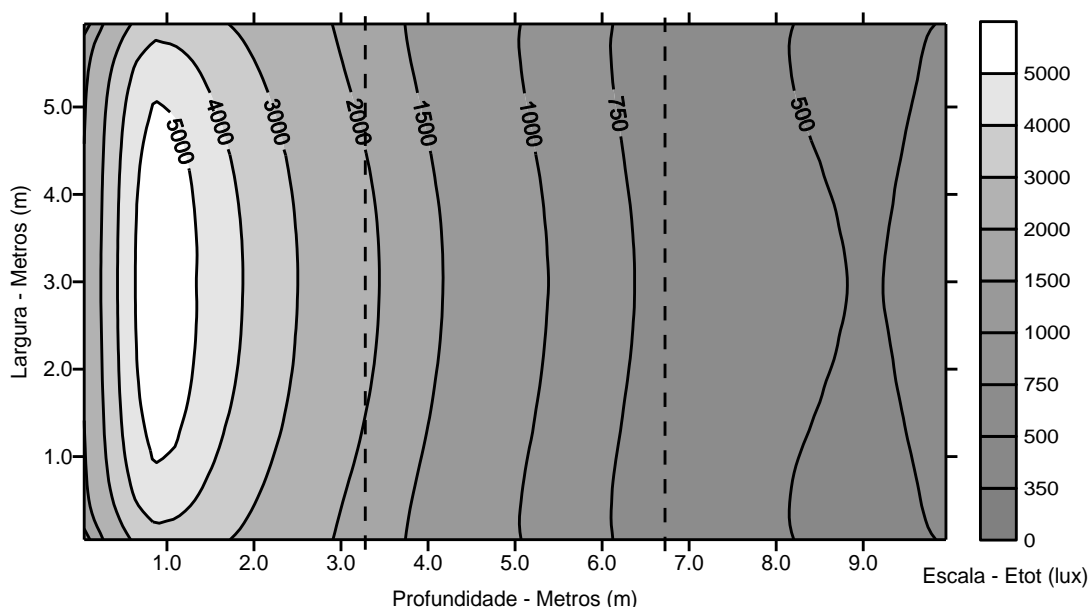


Gráfico 18 – Curvas Isolux - 4P 85% (Etot).

No modelo 4P a máscara de visibilidade apresenta áreas ainda mais brilhosas que no modelo 2P, figura 51. Como já visto, a sucessão dos modelos apresenta redução do elemento de proteção, todavia caracterizam no campo visual regiões mais brilhantes da abóboda, já que se aproxima ainda mais do Sol.

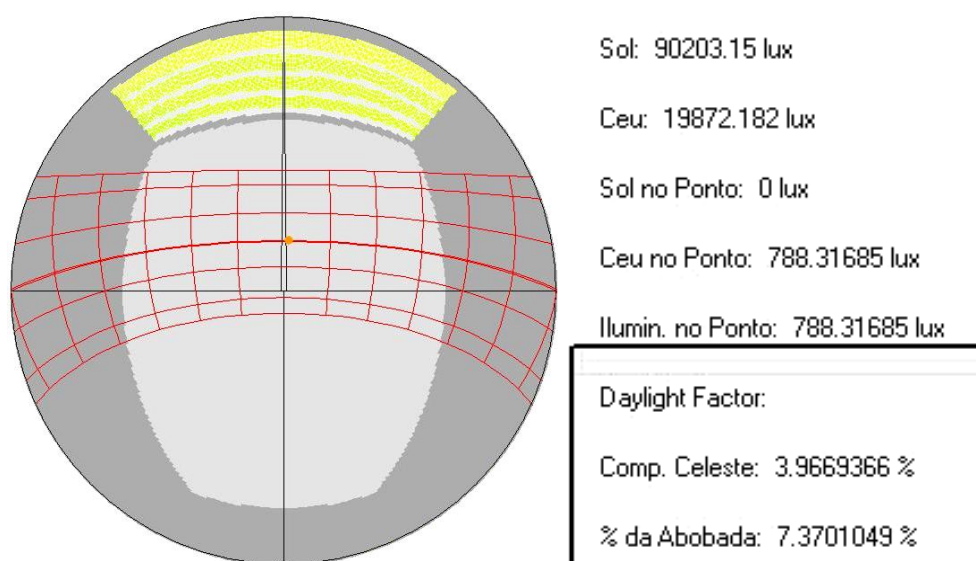
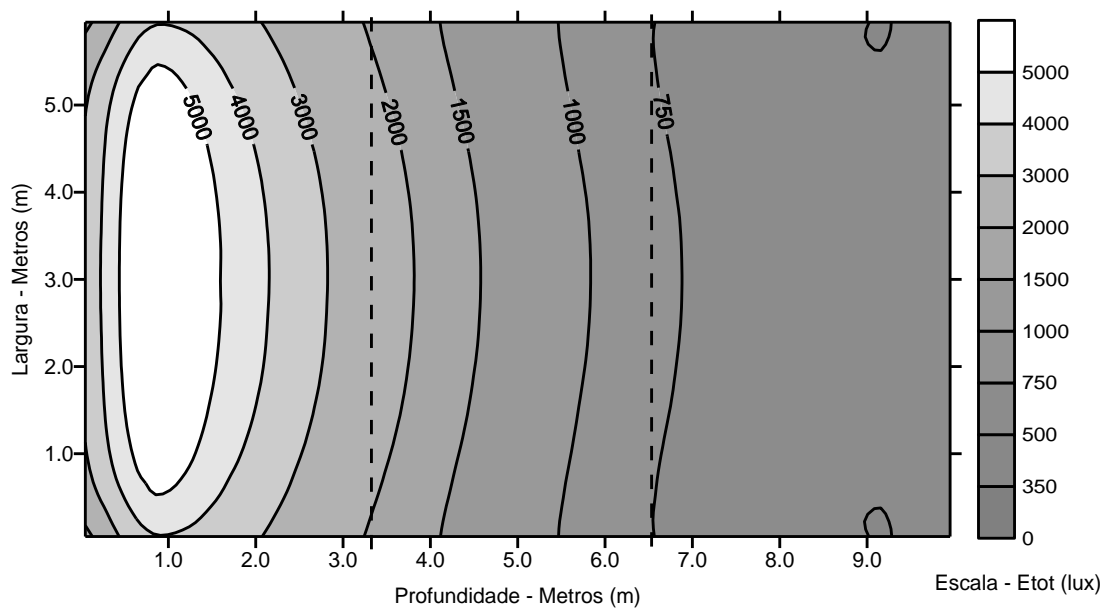


Figura 51 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 4P, grupo 2.

O modelo com 100% de área visível (8P) registra condições ainda mais satisfatórias, gráfico 24, a região 3 praticamente inteira com valores na faixa de 750 lux, caracteriza um bom alcance do fluxo.



Na análise da máscara, o modelo 8P, figura 52, registrou a mesma tendência dos demais modelos, onde a diminuição da superfície do protetor promoveu a visibilidade de partes mais brilhosas da abóboda devido à proximidade do Sol.

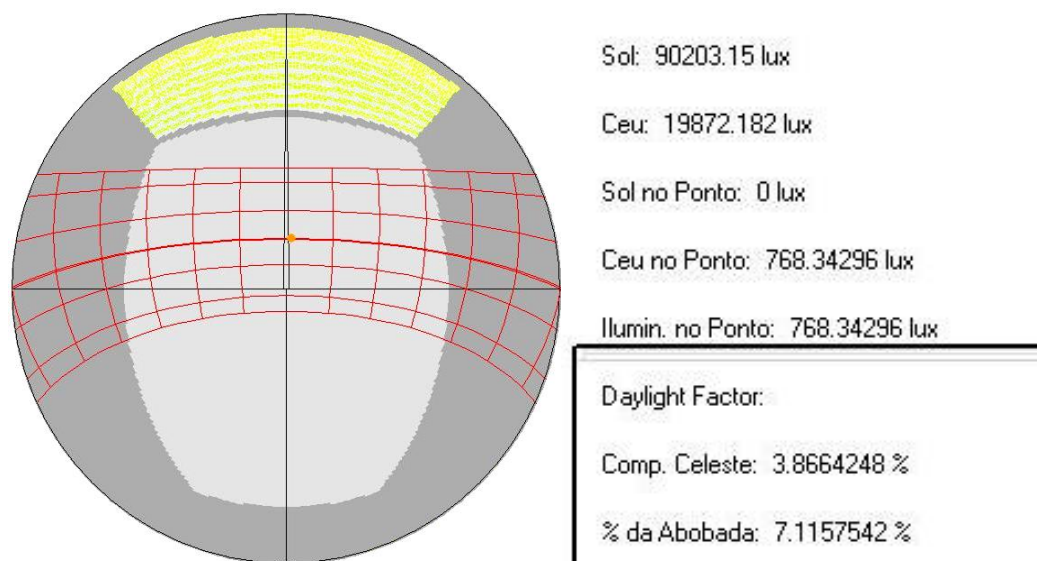


Figura 52 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 8P, grupo 2.

Nesta análise inicial do grupo 2, também pode ser observado que há uma certa relação entre o aumento de área visível e as condições de iluminação do ambiente, pois a medida que foi sendo acrescentado os protetores obteve-se melhores resultados, com melhor alcance do fluxo luminoso. Porém, ressalta-se também que o acréscimo de área visível caracterizou grande aumento de captação do fluxo na região 1, mais próxima a janela.

Novamente esta relação também pode ser observada pela análise das máscaras de visibilidade da abóboda, onde foi registrado visual com áreas de maior brilho à medida que se acrescentou protetores nos modelos, devido à proximidade do Sol no campo visual.

4.1.2.2 Método Analítico

O modelo sem protetor deste grupo apresentou condições de iluminação muito semelhante ao grupo anterior, gráfico 25, onde há um grande pico na região mais próxima a janela (1) que segue em decréscimo acentuado pela profundidade, porém com valores um pouco menores.

Quanto à iluminância total, conforme visto pela análise gráfica, houve um registro de valores excessivos na região 1, entre 3.000 e 9.000 lux, seguido de um decréscimo em profundidade na sala, chegando a região 3 com valores entorno de 750 lux.

A iluminância inicial apresentou comportamento semelhante à iluminância total, porém demonstra pouca capacidade de alcance do fluxo, registrando na região 3 pontos com apenas 80 lux.

A parcela de iluminância refletida registra certa uniformidade de ocorrência, obtendo menores discrepâncias entre as regiões de análise, de cerca de 2.000 lux na região 1 para valores acima de 500 lux na região 3.

Com isso pode-se dizer que o modelo SP nestas condições de insolação apresentou resultados satisfatórios de uma maneira geral, apesar de não ter grande alcance de fluxo inicial, a parcela refletida apresenta boa distribuição, resultando em uma condição de iluminação final satisfatória, apesar dos valores excessivos na região 1.

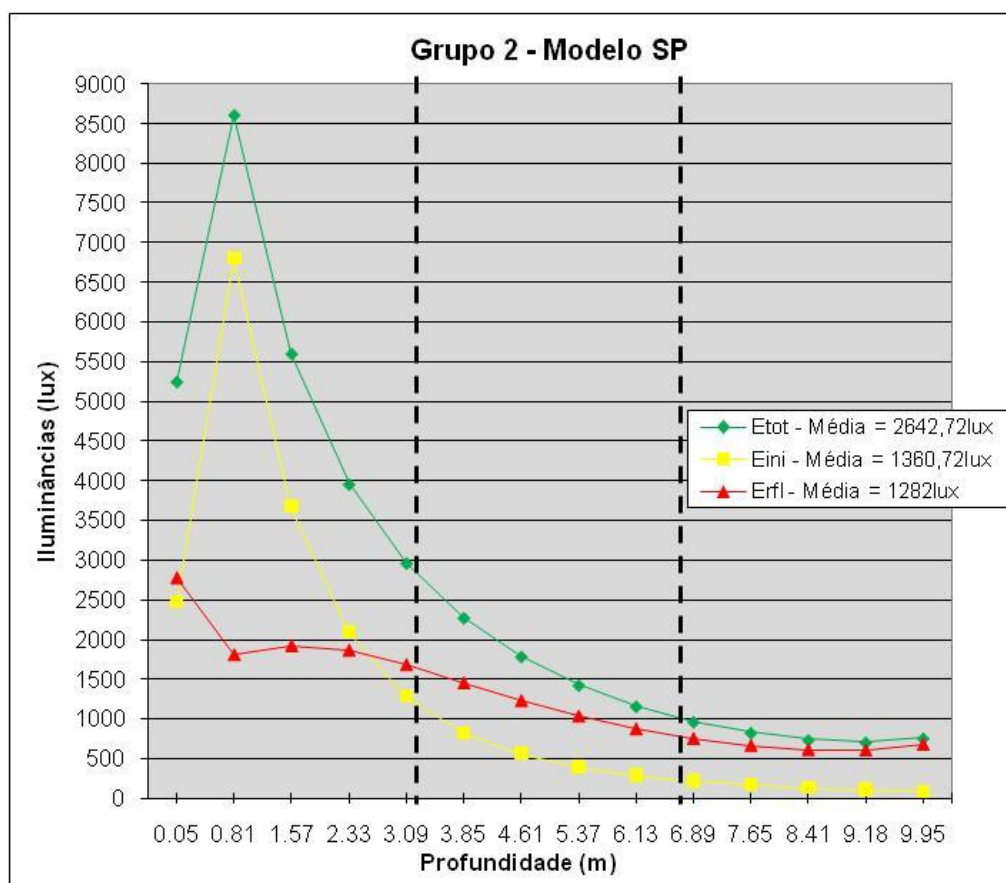


Gráfico 20 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Grupo 2 – SP (Etot, Eini e Erfi)

- **Iluminância Inicial (Eini):**

A iluminância inicial em todos os modelos apresentou características muito semelhantes entre si e também ao grupo de análise anterior, gráfico 21. Houve uma grande queda no percentual mantido da região 1, porém esta região no modelo SP apresenta valores bem excessivos. Já na região 3 é o contrário, registra altos

porcentuais, apesar que não caracterizam alta iluminância, já que no modelo SP foram registrados valores bem baixos, perto de 80 lux.

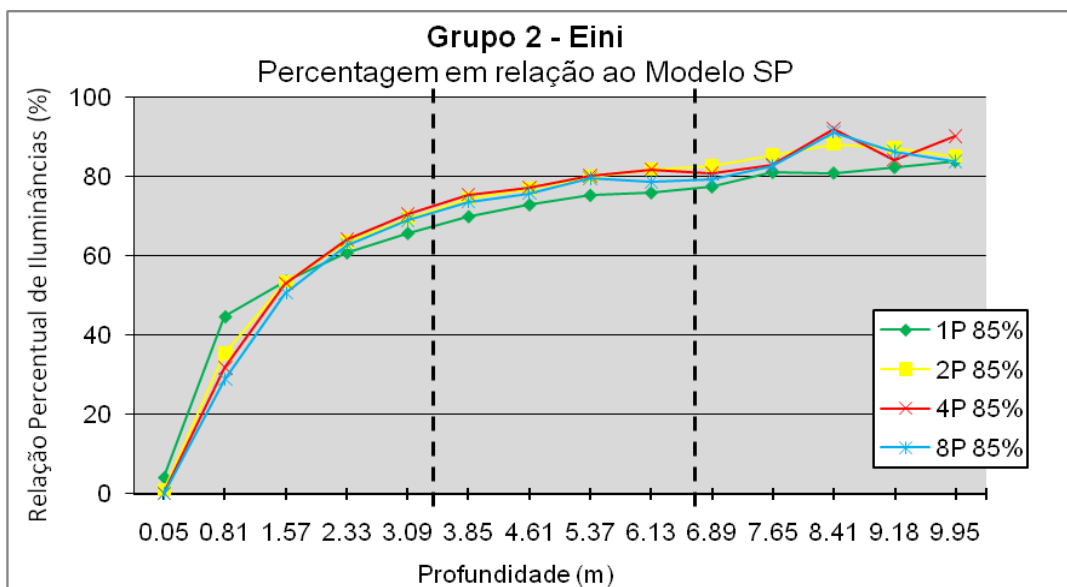


Gráfico 21 – Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 2 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Eini).

Nesta parcela, cada modelo obteve resultados iguais para as simulações com alta refletância dos protetores (85%) como nas simulações com refletância nula (0%), gráfico 22 (ver também Apêndice C), assim como foi apresentado no grupo 1.

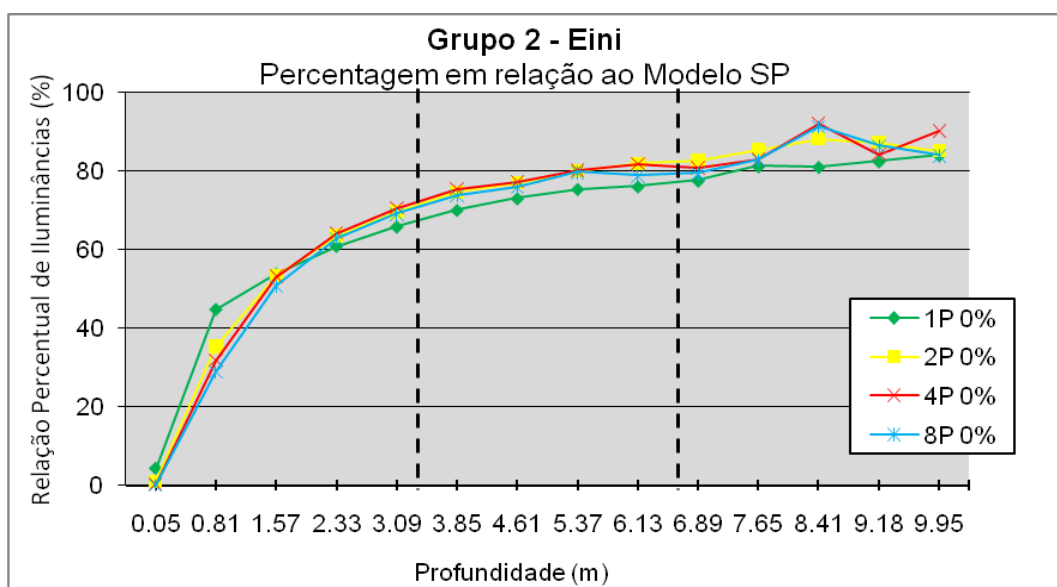


Gráfico 22 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 2 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Eini).

O modelo 1P obteve a menor média linear dos modelos simulados, porém não se manteve abaixo dos demais em todos os pontos, assim como foi apresentado no grupo anterior. Outra particularidade da análise desta parcela é que

o modelo 8P, com 100% de área visível, registra média abaixo dos modelos com 2P e 4P, porém estas variações são mínimas, o que não caracteriza uma anomalia.

Estes resultados de admissão da parcela inicial do fluxo luminoso confirmam que para esta entrada inicial o fator de visibilidade da superfície superior da solução de proteção solar não tem tanta interferência. Assim como, a questão da refletância deste elemento também não influencia na entrada do fluxo. Mas ressalta-se que esse primeiro contato com o fluxo não conta a troca de fluxo e, portanto as características referentes à capacidade de reflexão dos elementos não tem importância.

- **Iluminância Refletida (ErfI):**

O fluxo luminoso oriundo apenas da reflexão entre as superfícies apresentou resultados muito parecidos entre os modelos. Assim como o grupo 1, o grupo com 50% de área insolada registrou valores acima do modelo base, gráfico 23. Observa-se este comportamento nos modelos com alguma porcentagem de área visível pelo interior (2P / 4P / 8P).

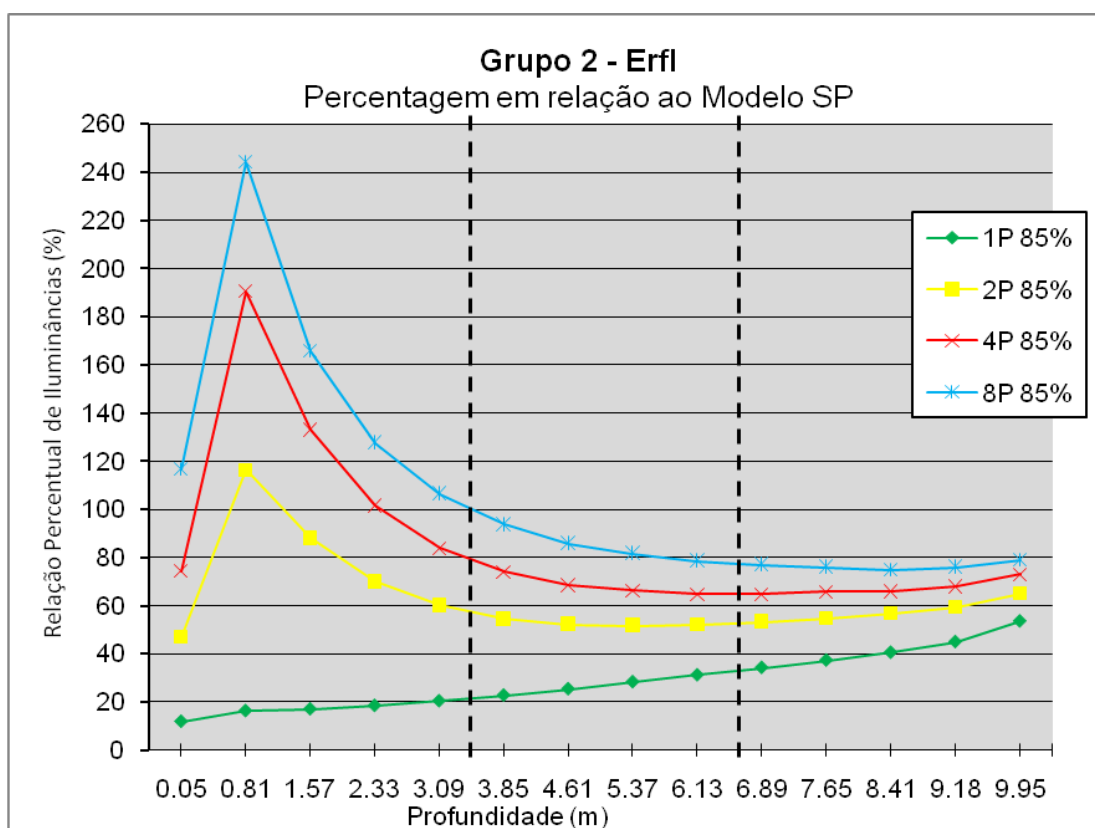


Gráfico 23 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 2 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%ErfI).

De uma maneira geral este grupo obteve resultados muito parecidos que os modelos do grupo 1, o modelo 1P com distribuição crescente em profundidade, e os demais apresentando um pico, seguido de um decréscimo terminando com um leve crescimento em profundidade.

Nos modelos simulados com 0% de refletância apresentam comportamentos muito parecidos entre si, e principalmente com o modelo 1P, gráfico 24, o que caracteriza a importância da refletividade deste elemento para atingir melhores resultados na iluminação do ambiente.

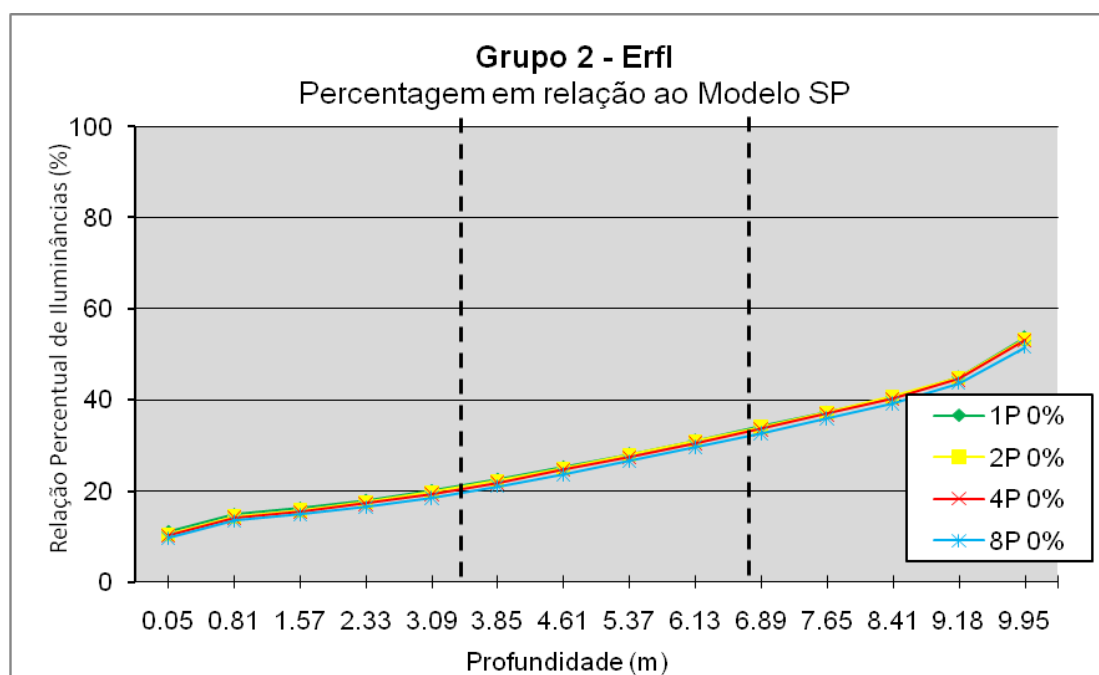


Gráfico 24 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 2 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%ErfI).

O modelo 1P quando simulado com alta refletância e nula, praticamente não sofreu alteração, afirmando que a modificação da refletância deste tipo de solução de proteção solar não tem influência nas condições de iluminação do ambiente.

O modelo 2P 85%, com 50% de área visível, já apresenta melhor distribuição do fluxo luminoso refletido quando aplicado alta refletância no elemento de proteção, chegando a modificar mais de 30% do total desta parcela de fluxo do modelo SP quando comparado ao modelo sem refletância. O modelo simulado com alta refletância no elemento protetor registrou num ponto da região 1 valores acima do modelo SP deste grupo, como mostra no gráfico o percentual acima de 100%, com este comportamento percebe-se que o elemento trabalha refletindo o fluxo para dentro do ambiente. Observa-se que o comportamento de distribuição do modelo

com refletância nula (2P 0%) é muito parecido com o modelo 1P, sendo crescente ao aumentar a profundidade da sala.

Já o modelo 4P 85% obteve distribuição mais expressiva, seguindo a mesma forma de distribuição do modelo 2P 85%. Na região 1 registra em 3 pontos valores acima do modelo SP, marcando quase 200% em um deles. Nas regiões 2 e 3 manteve o percentual bem elevado, na faixa entre 60% e 80%. Este modelo caracteriza ainda mais a influência da refletância do protetor no resultado final, e com isso o alcance do fluxo na profundidade. Esta interferência pode chegar a mais de 55% na média do total que pode ser admitido neste momento de análise.

O modelo 8P 85% apresenta praticamente as mesmas características dos demais modelos com porcentagem de área visível nesta parcela de fluxo luminoso refletido, o pico na região 1, um decréscimo na região 2 seguido de um leve acréscimo na região 3. Porém os valores registrados são um pouco maiores que o modelo anterior, a região 1 apresenta todos os valores acima do modelo SP, e em profundidade estes valores foram diminuindo mas mantiveram-se na faixa de 80%, por isso registra média de 105,93%. Já a simulação com refletância nula obteve valores ainda menores que o modelo 1P deste mesmo grupo. A troca de refletância do elemento de proteção nesta solução arquitetônica apresenta grande influência no resultado final, quase 80%, o que comprova a importância de tal elemento na distribuição do fluxo luminoso.

Na análise desta parcela do fluxo luminoso percebe-se que ao crescer área visível na solução de proteção do ambiente foi obtido melhores percentuais de fluxo mantido nos modelos. E também com o aumento de área visível a influência do elemento de proteção e sua refletância ficam mais acentuadas.

- **Iluminância Total (E_{tot}):**

O resultado final deste grupo apresentou claramente que quanto maior a área visível da solução de proteção, melhores são os resultados obtidos. De uma maneira geral, todos os modelos apresentaram comportamento semelhante, obtendo um crescimento acentuado seguido de um leve decréscimo na região 1, continuando o decréscimo ou mantendo uma constante na região 2, finalizando com leve crescimento na região 3, gráfico 25.

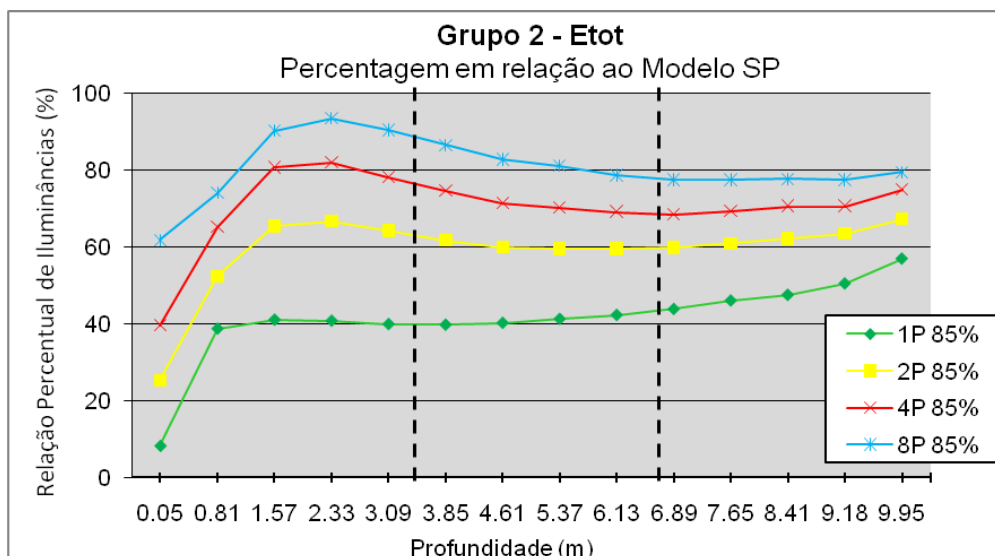


Gráfico 25 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 2 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Etot).

As condições dos modelos simulados com 0% de refletância se apresentam muito parecidas, gráfico 26, o que comprova que caso a refletância escolhida para o elemento seja baixa, a solução pouco interferirá nas condições de iluminação do ambiente.

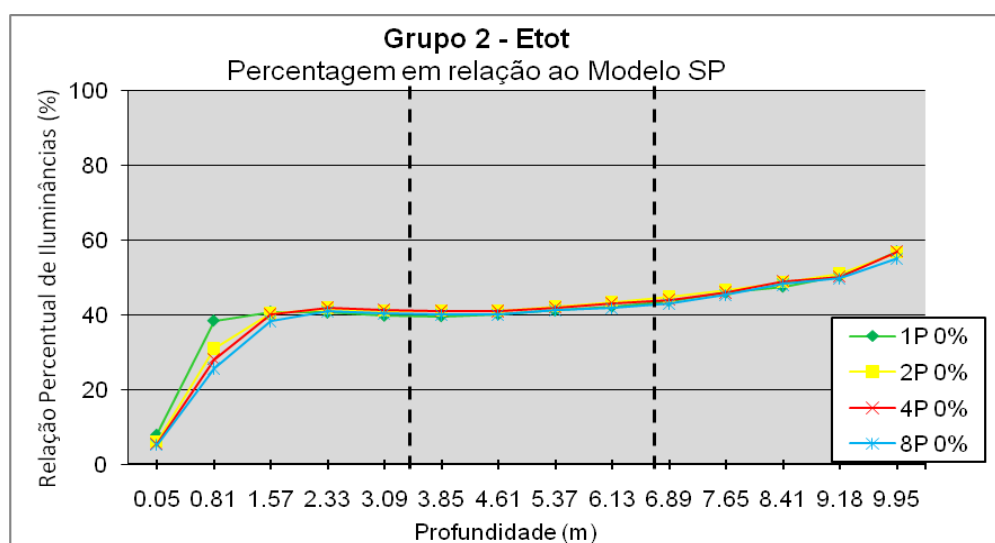


Gráfico 26 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 2 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Etot).

O modelo 1P apresentou resultados praticamente iguais quando simulado com alta refletância ou nula. Isso foi característica em todas as parcelas do fluxo luminoso analisadas neste grupo, assim como no grupo anterior.

O modelo 2P registra o comportamento nas duas simulações muito semelhante, com um crescimento acentuado na região 1, uma certa constância na região 2 e mais um leve crescimento na região 3. Conforme vem sendo

característica, o acréscimo de área visível apresenta diferença considerável entre o modelo simulado com alta ou nula refletância, cerca de 18%.

A iluminância total no modelo 4P também apresenta características muito semelhantes ao modelo 2P, praticamente o mesmo comportamento pelas regiões de análise. Apenas a região central tem um decréscimo mais acentuado no modelo com alta refletância. A variação da refletância do elemento de proteção tem ainda mais interferência no resultado, cerca de 30% de alteração no resultado final, o que vem sendo característica também nos demais modelos, em relação ao aumento de área visível e a capacidade de reflexão da superfície de proteção.

O modelo 8P registra resultados ainda melhores que no modelo 4P, porém com características muito semelhantes ao modelo anterior. Assim como a troca de refletância do elemento de proteção caracteriza ainda maior influência no resultado final, cerca de 40%.

Com esta análise, confirma-se que o aumento de área visível melhora as condições de iluminação desde que seja aplicada alta refletância em sua superfície, pois assim como há uma proporção entre a porcentagem de área visível e a melhora na admissão de fluxo, o aumento de área visível requer um tratamento de alta refletância na superfície do elemento de proteção para obter-se resultados satisfatórios.

4.1.3 Grupo 3 – 0% de Área Insolada

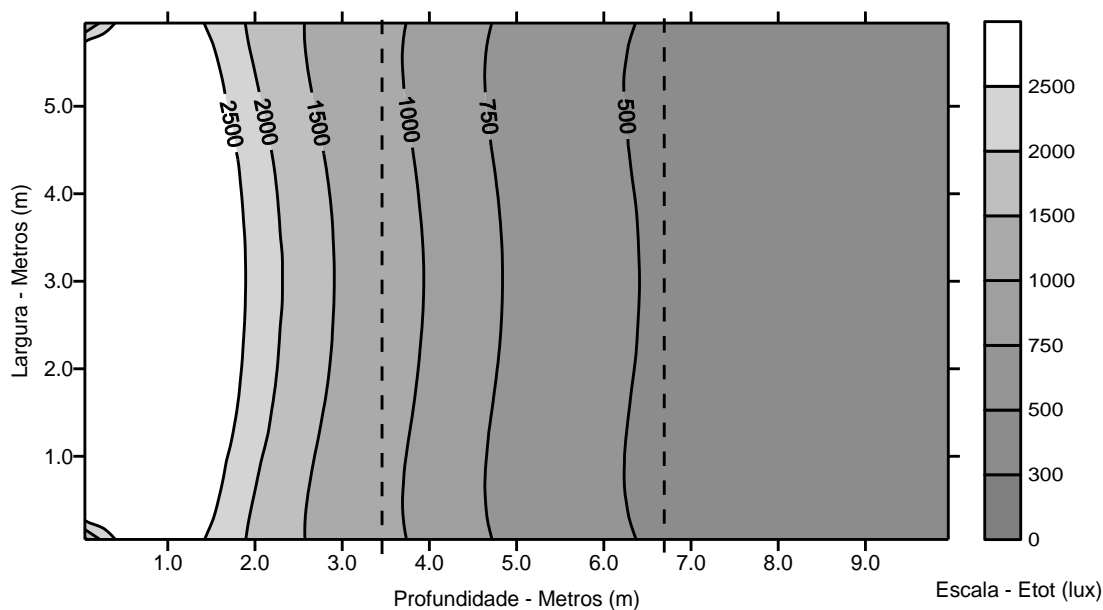
Este grupo de análise refere-se à comparação dos resultados dos modelos com a superfície do elemento de proteção não recebendo radiação solar direta, 0% de área insolada no protetor, isso ocorre quando a altitude solar é de 89,9°S na latitude 0°10'S para o dia 21 de março as 12hr (ver também Apêndice D).

4.1.3.1 Método Gráfico

Através do método gráfico, nota-se inicialmente que os resultados deste grupo de análise são consideravelmente menores quando comparados aos grupos anteriores. A queda dos valores obtidos ainda é mais agravada neste grupo, sendo a altitude solar de 89,9°S, mesmo no modelo sem proteção, não há valores de

iluminância do Sol (Esol), a qual foi subtraída da iluminância total nos grupos anteriores para a análise.

O modelo sem proteção (SP) registrou uma distribuição do fluxo similar ao que vem ocorrendo nos grupos anteriores, gráfico 27, onde na região 1 os valores são maiores e vão decrescendo no percorrer da profundidade. Porém foi registrado na região 3 valores de até 500 lux, o que pode ser considerado baixo quando comparados aos valores que vem sendo registrados nos demais grupos.



A máscara de visibilidade da abóboda do modelo SP, figura 53, apesar deste modelo não ter incidência direta do Sol, observa-se que ocorre redução no brilho da abóboda em relação às máscaras dos demais grupos, mesmo assim o campo visual ainda apresenta alta luminosidade da abóboda.

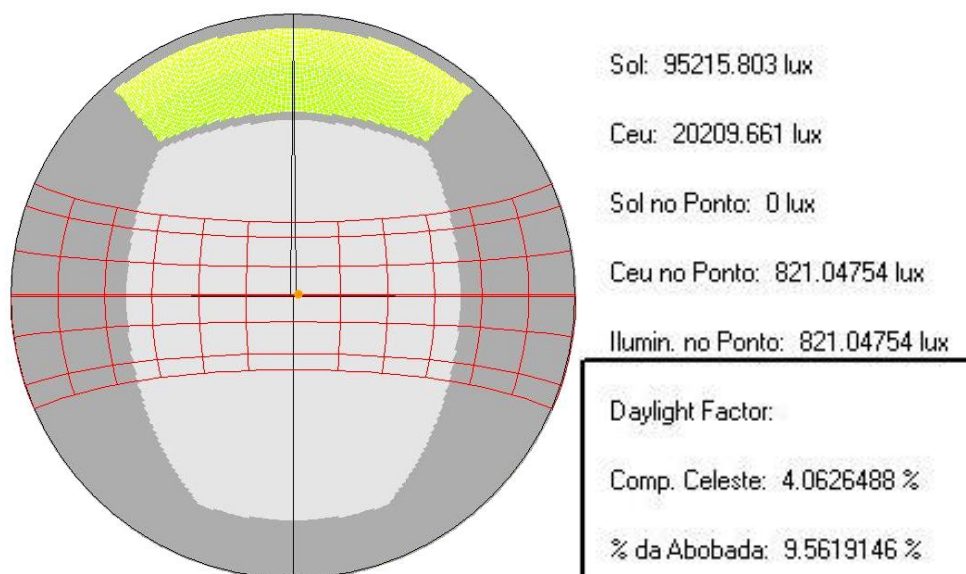


Figura 53 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo SP, grupo 3.

Quando anexado um protetor, os resultados obtidos são expressivamente menores, registrando em grande parte da região 3 valores de até apenas 300 lux, gráfico 28, o que limita as tarefas visuais que podem ser aplicadas neste ambiente.

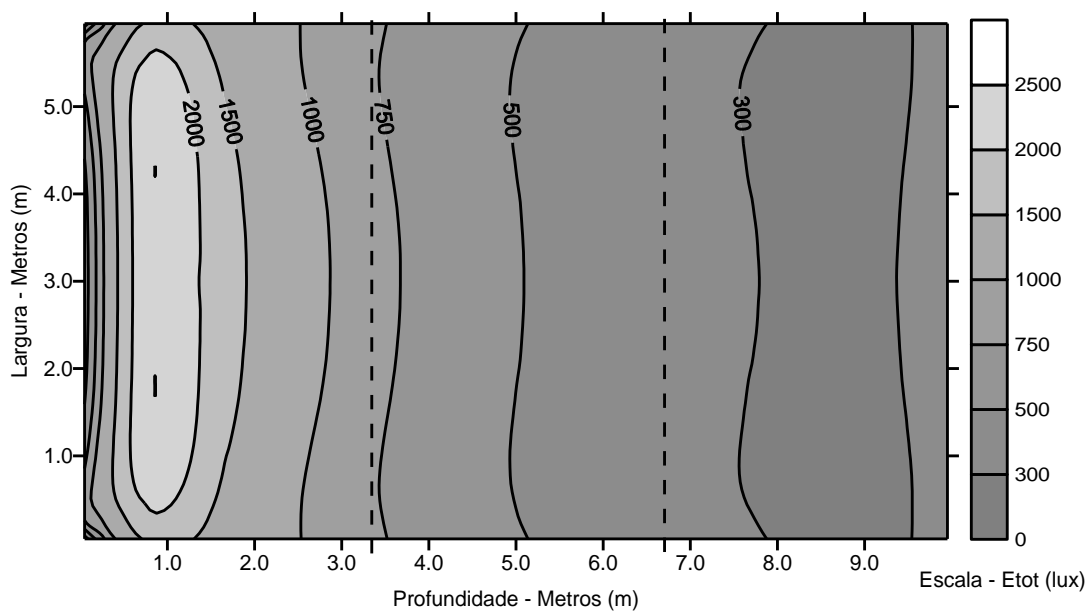


Gráfico 28 – Curvas Isolux, Grupo 3 - 1P 85% (Etot).

O modelo 1P apresenta na máscara de visibilidade áreas de muito menor brilho, figura 54, tanto em relação ao modelo SP deste grupo, como em relação aos modelos 1P dos demais grupos. Isso representa que além do modelo 1P reduzir a visibilidade da abóboda de áreas mais brilhosas, o grupo 3 tem no campo visual as áreas de menor brilho entre todos os grupos apresentados.

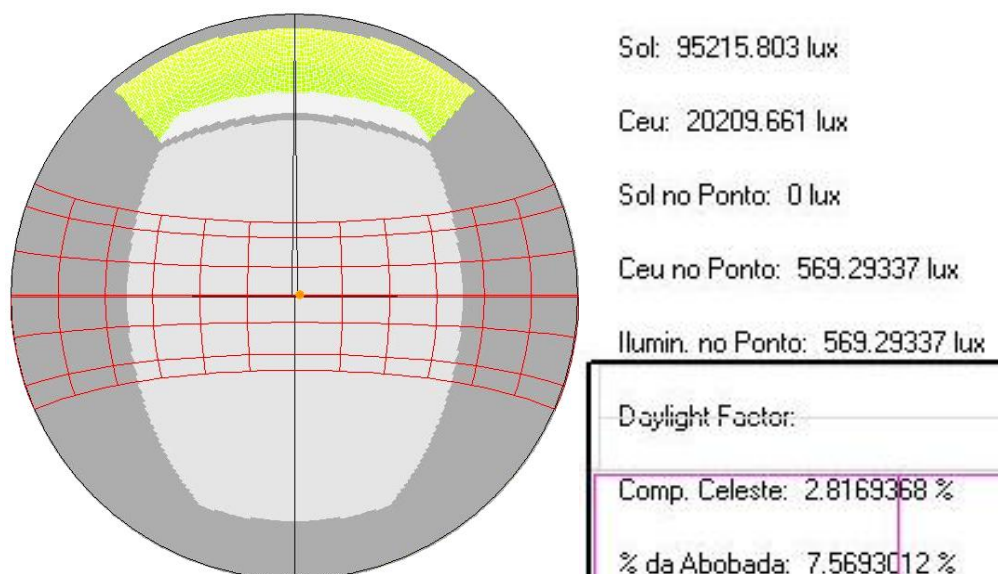
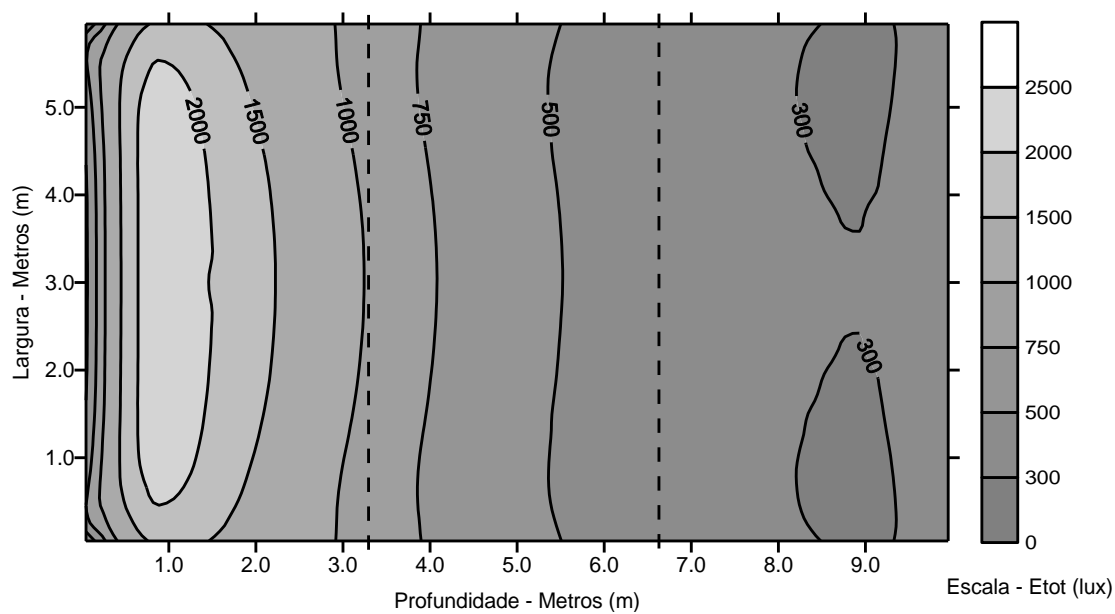


Figura 54 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 1P, grupo 3.

Quando avaliado o modelo com 50% de área visível, modelo 2P, a faixa com valores de 300 lux, na região 3, diminui em mais da metade, gráfico 29. Isso representa que mesmo não recebendo radiação solar direta, a superfície do protetor tem alguma influência no resultado, possivelmente refletindo o fluxo oriundo da abóboda celeste para o interior.



A visibilidade da abóboda no modelo 2P, apesar de todo o grupo 3 ter o campo visual com menor brilho, este modelo registra maior área brilhosa em relação ao modelo 1P, a máscara registra a região mais próxima ao elemento de proteção como sendo a região de maior brilho, figura 55.

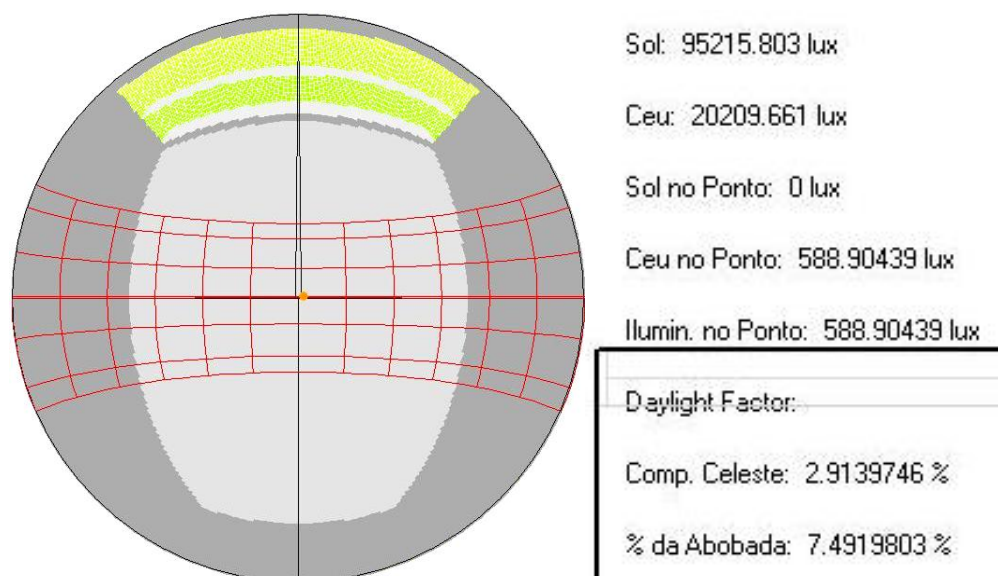


Figura 55 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 2P, grupo 3.

O modelo 4P, com 75% de área visível, reduz ainda mais a área com valores de até 300 lux, mas ainda aparecendo na região 3. Já as regiões 1 e 2, apresentaram valores muito semelhantes ao modelo anterior, gráfico 30.

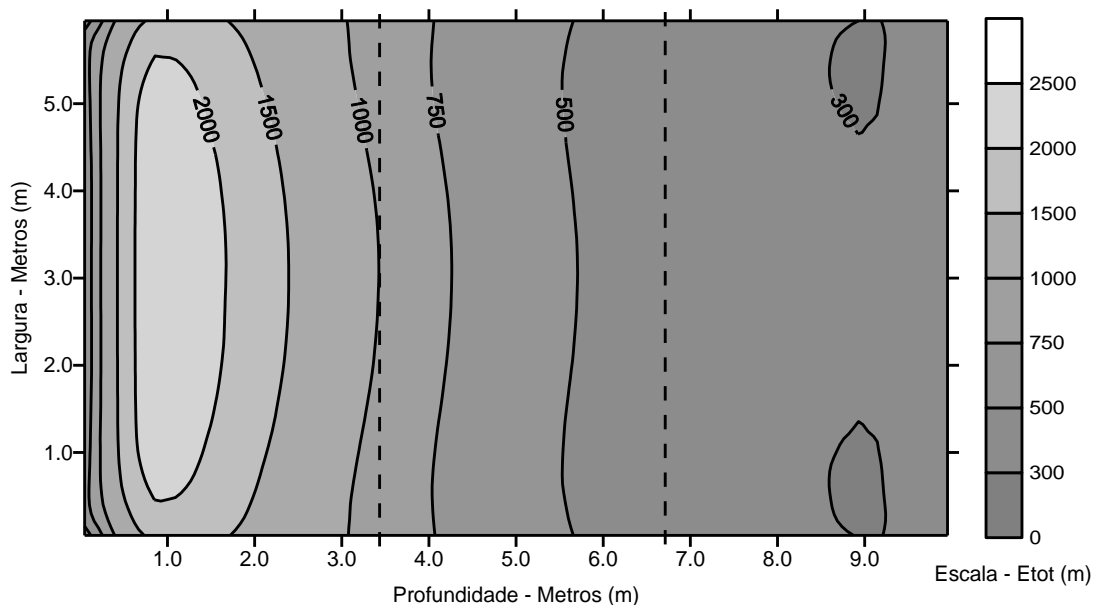


Gráfico 30 - Curvas Isolux - Grupo 3 - 4P 85% (Etot).

No modelo 4P a máscara apresenta áreas ainda mais brilhosas que no modelo 2P, figura 56. Afirmando que com a redução da superfície do elemento de proteção o campo visual do modelo atinge maiores áreas brilhosas, já que se aproxima do Sol.

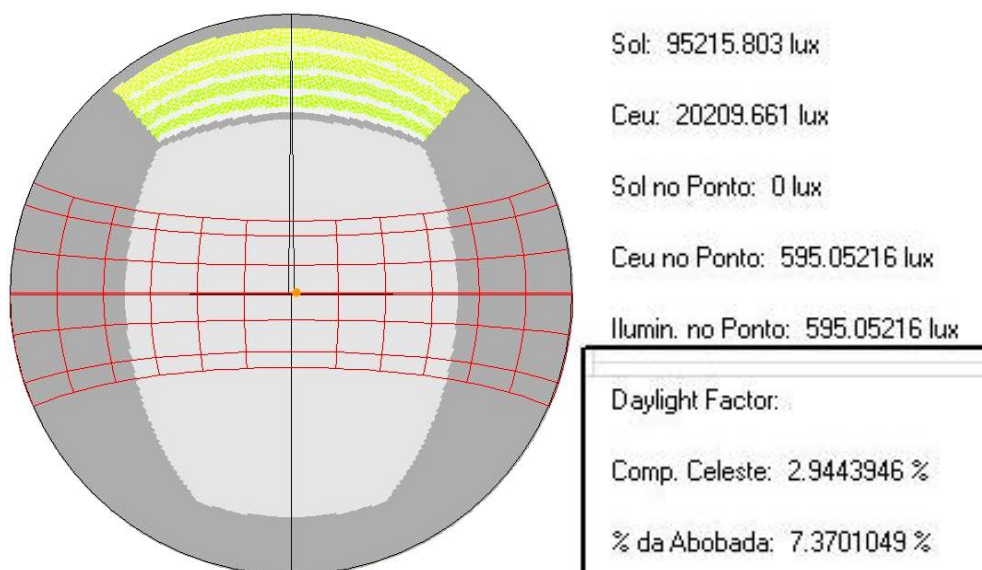


Figura 56 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 4P, grupo 3.

O modelo com 100% de área visível (8P) eliminou totalmente a faixa com valores de até 300 lux, registrando na região 3 apenas iluminâncias entorno de 500 lux. Apesar da distribuição nas regiões 1 e 2 ainda ocorrem de forma muito similar aos demais modelos deste grupo, aparenta ter o melhor resultado, com menor diferença entre os valores obtidos, gráfico 31.

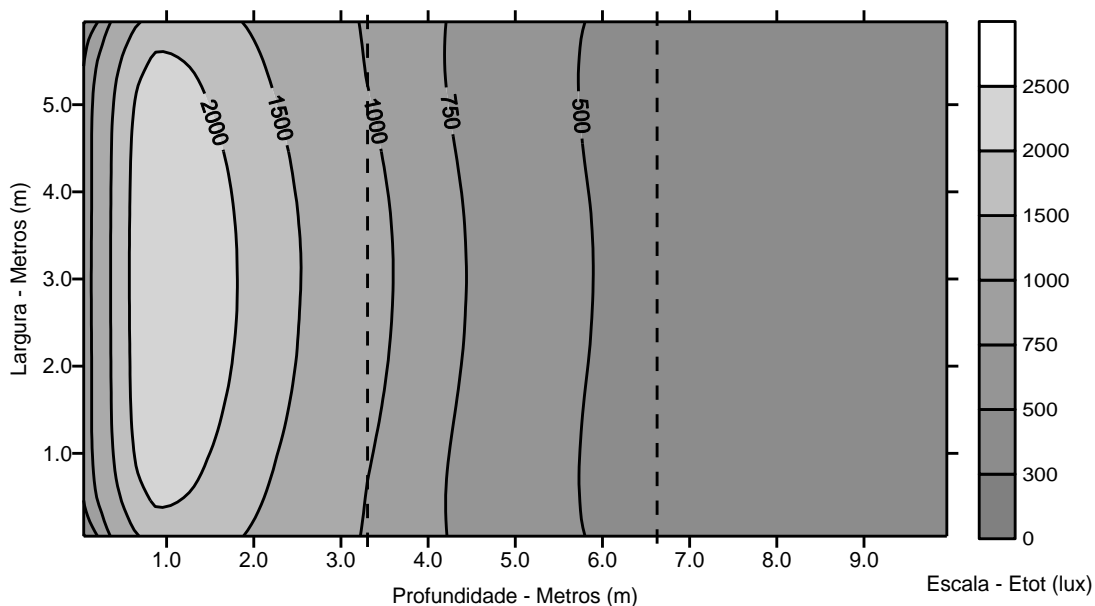


Gráfico 31 – Curvas Isolux – Grupo 3 - 8P 85% (Etot).

Na análise da máscara de visibilidade da abóboda do modelo 8P, figura 57, afirma-se a tendência dos demais grupos de ao reduzir a superfície do elemento de proteção, a visibilidade da abóboda atingir áreas de maior brilho, onde há maior luminosidade da abóboda devido a proximidade de visibilidade do Sol.

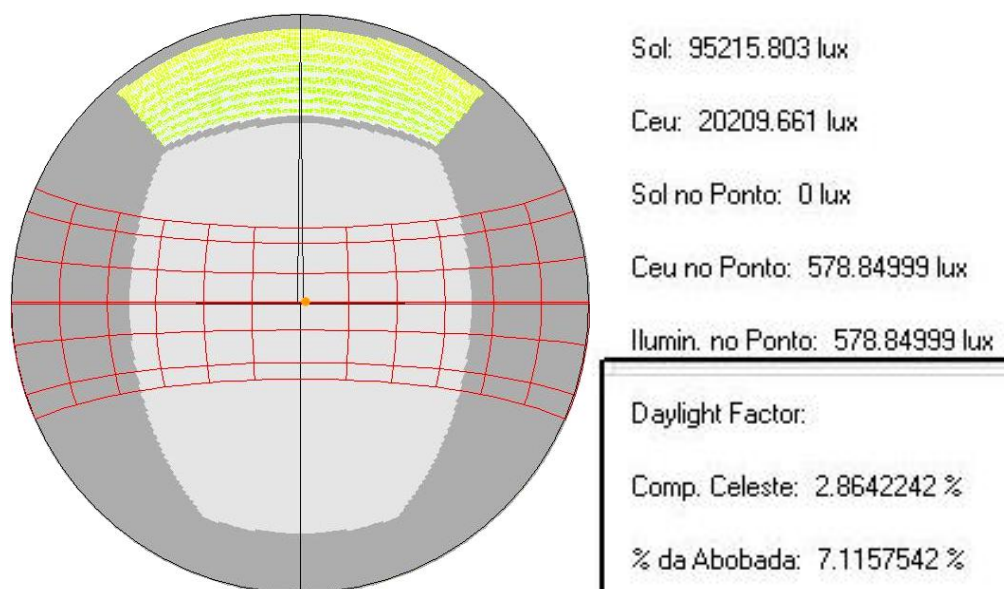


Figura 57 - Máscara de Visibilidade da Abóboda. Modelo 8P, grupo 3.

Pode ser observado que os valores obtidos nos modelos, de uma maneira geral, aparentam magnitude muito similar, apesar de ter sido registrado valores de até 300 lux em alguns modelos. Quanto a comparação com os grupos anteriores, o grupo 3 apresentou os resultados bem abaixo dos demais, porém, de certa forma conforme é reduzido o porcentual de área insolada nos protetores, a magnitude do fluxo admitida também é reduzida.

4.1.3.2 Método Analítico

Conforme já apresentado no método gráfico o modelo sem proteção deste grupo, apesar de não ter obtido a iluminância direta do Sol (Esol), obteve valores consideravelmente menores que nos grupos anteriores.

A forma de ocorrência segue a mesma linha que os resultados dos grupos anteriores, gráfico 32, nas parcelas de iluminâncias total e inicial (Etot, Eini) apresentam um pico mais elevado na região 1, seguidas de um declínio na região 2 e mantendo certa constância na região 3. Já a parcela de fluxo refletida, segue praticamente uma constante em toda a profundidade da sala, diferentemente dos outros grupos.

A magnitude dos resultados obtidos é bem menor neste grupo, registrando o pico de iluminância total em 5.000 lux, menos que a metade do que o grupo 1 neste

mesmo modelo. Apesar deste pico, registrou média de quase 1.400 lux para a iluminância total, pois chegou aos últimos pontos com valores abaixo de 500 lux.

A iluminância inicial tem um decréscimo ainda mais acentuado na região 1, registrando o último ponto perto de 65 lux, porém marca média acima de 1.000 lux, devido ao pico característico da região 1. A parcela de fluxo refletido manteve praticamente uma constante em toda a profundidade da sala, marcando a média linear de quase 360 lux.

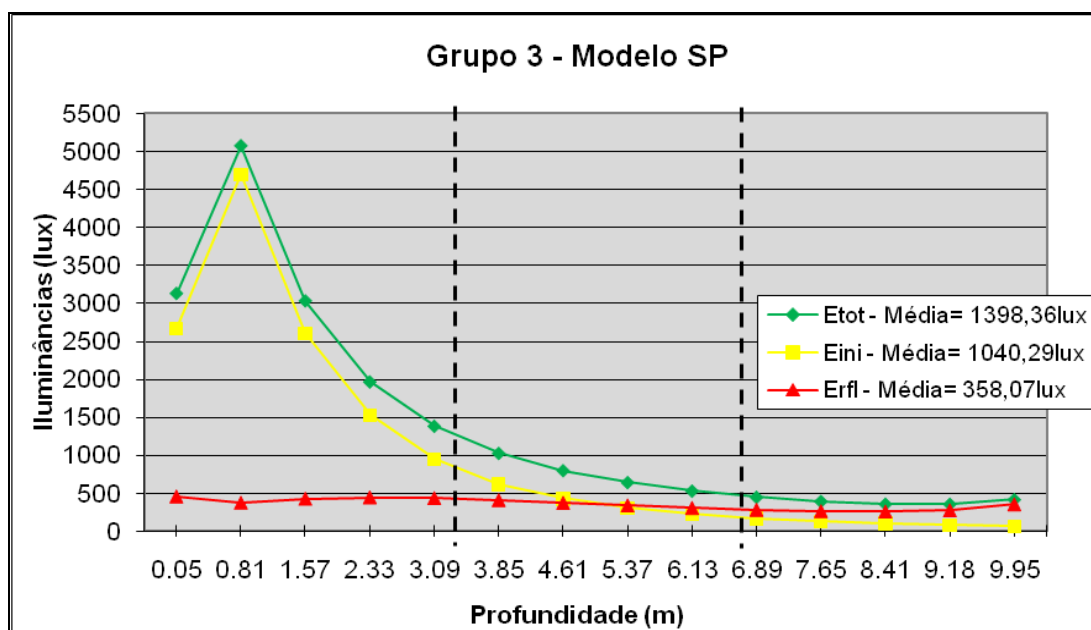


Gráfico 32 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Grupo 3 – SP (Etot, Eini e Erfi).

- **Iluminância Inicial (Eini):**

Como vem sendo característica nos demais grupos de análise, a admissão da parcela de fluxo inicial é igual quando simulado o mesmo modelo com alta refletância ou nula (ver também Apêndice D).

Os modelos do grupo 3 apresentaram nessa captação inicial de fluxo a magnitude muito similar, e se analisada mais precisamente, até contraditória, pois nas demais parcelas do fluxo luminoso analisadas, sempre que é acrescida área visível dos protetores é melhorada as condições de captação ou distribuição do fluxo, nesta parcela em todos os grupos de análise houve certa variação entre os modelos que obtiveram maior ou menor porcentagem no fluxo mantido, gráfico 33.

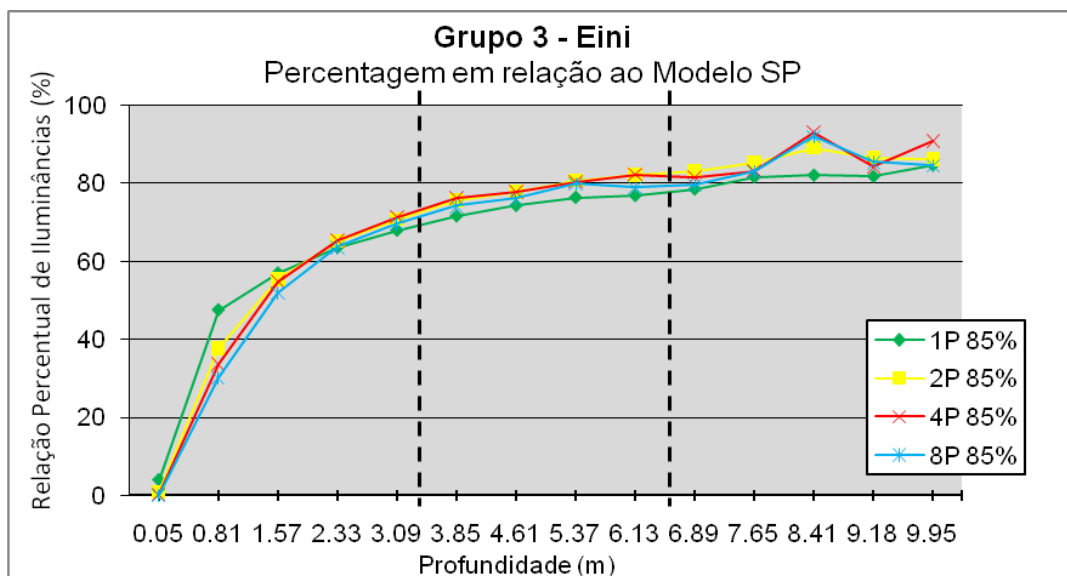


Gráfico 33 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Eini).

Assim como nos demais grupos, a iluminância inicial dos modelos com 0% de refletância no elemento obteve resultados iguais as simulações dos modelos com 85% de refletância, gráfico 34.

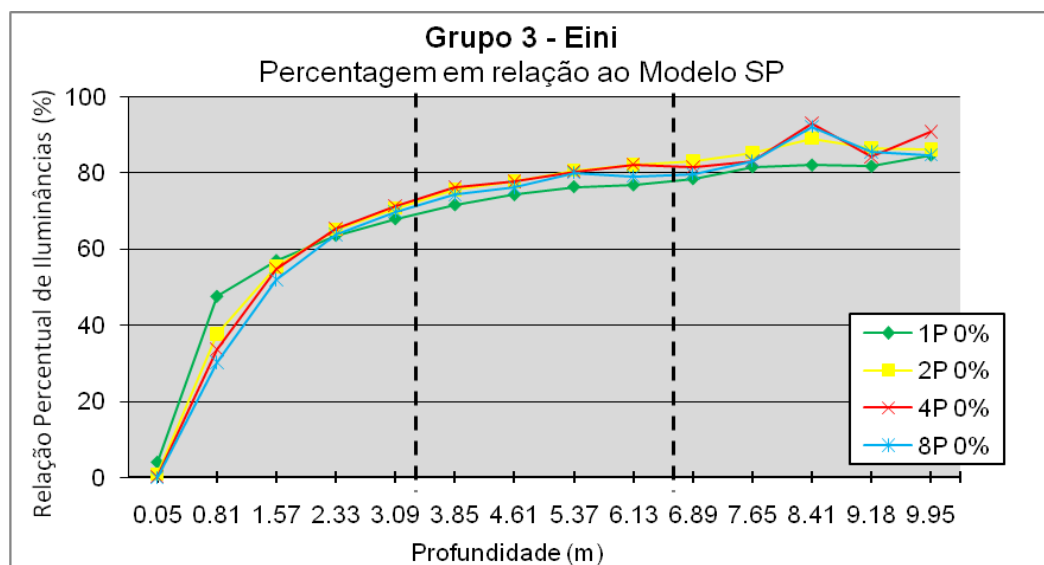


Gráfico 34 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Eini).

- **Iluminância Refletida (ErfI):**

Como o modelo sem proteção registrou valores muito baixos, este grupo apresentou também valores de iluminância refletida maiores que o modelo base deste grupo (SP), mas isto não caracteriza valores muito altos de iluminância refletido. Pode-se subentender que há grande trabalho da superfície do protetor refletindo o fluxo oriundo da abóboda celeste, quando visível pelo interior.

Mesmo apresentando percentuais excessivos na região 1 nos modelos com algum percentual de área visível (2P, 4P e 8P), em uma análise geral todos modelos deste grupo conseguem ter resultados bem elevados em toda a profundidade da sala, inclusive o modelo 1P, gráfico 35. Vale salientar, que como visto antes, o modelo SP deste grupo obteve valores bem baixos nesta parcela do fluxo luminoso.

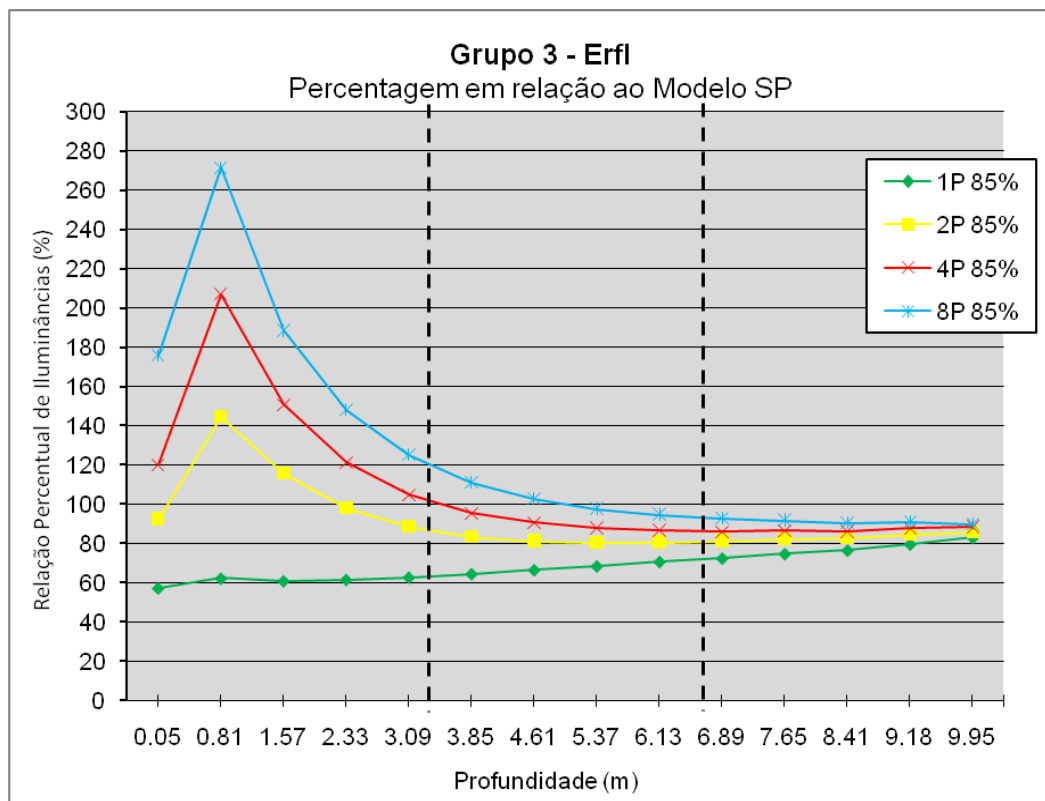


Gráfico 35 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%ErfI).

A iluminância refletida dos modelos com 0% de refletância nos elementos de proteção apresentaram muitas semelhanças, gráfico 36, afirmando que a refletância deste elemento pode descaracterizar a solução de proteção, o que assinala a influência deste elemento na iluminação do ambiente que pode ser observada comparando cada modelo com e sem refletância.

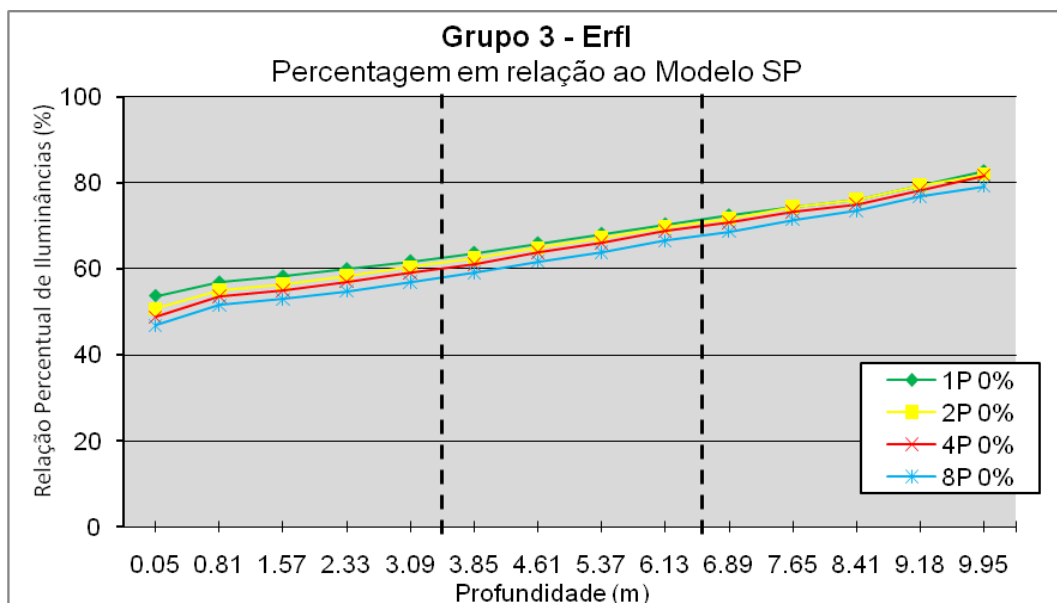


Gráfico 36 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Erfil).

O modelo 1P, apresenta pequena diferença quando simulado com alta refletância e nula, mais característica na região 1. Quanto a distribuição, foi registrado que o percentual de fluxo mantido cresce no decorrer da profundidade, passando de pouco mais de 50% para mais de 80%.

O modelo 2P 85%, com 50% de área visível, já apresentou pontos acima de 100% na região 1, confirmando a capacidade de refletir o fluxo da abóbada celeste. Porém quando aplicada refletância nula no elemento de proteção observa-se que os valores obtidos são expressivamente menores, cerca de 25% menor.

O modelo com 75% de área visível (4P), registra percentuais ainda maiores que o modelo 2P, apresentando toda a região 1 acima do modelo SP. A mudança de refletância do protetor neste modelo representa mais de 40% no resultado final, mas mesmo com refletância nula, obteve-se média alta de fluxo mantido. Porém salienta-se que o modelo SP não apresentou grandes valores nesta parcela do fluxo.

O modelo com 100% de área visível (8P), obteve percentuais ainda mais elevados que o modelo anterior, mantendo toda a região 1 e metade da região 2 acima do modelo base (SP), marcando média acima de 125%, já que mesmo na região 3 obteve percentuais entorno de 90%. A troca de refletância do elemento de proteção caracteriza ainda maior influência no resultado, aqui cerca de 60%, ou seja, pode ser quase dobrado o fluxo quando aplicado alta refletância neste elemento se comparado ao mesmo modelo com refletância nula no protetor.

- **Iluminância Total (Etot):**

O resultado final deste grupo apresentou resultados muito similares entre os modelos, como visto na análise gráfica. Com a característica já ressaltada de quanto maior a área visível, melhores condições de iluminação, mas pode-se dizer que na magnitude dos percentuais, houve muito pouca diferença, cerca de 10% de variação, gráfico 37.

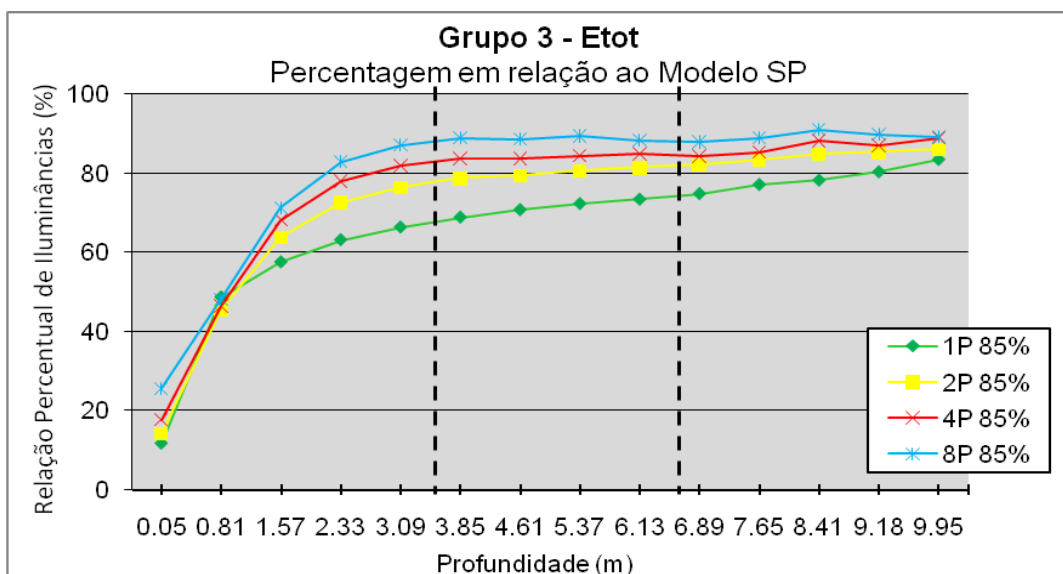


Gráfico 37 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 85%, (%Etot).

Assim como vem ocorrendo nos demais grupos as simulações com 0% de refletância registram resultados muito próximos, o que comprova a influência que a refletância do elemento tem sobre as condições de iluminação do ambiente, gráfico 38.

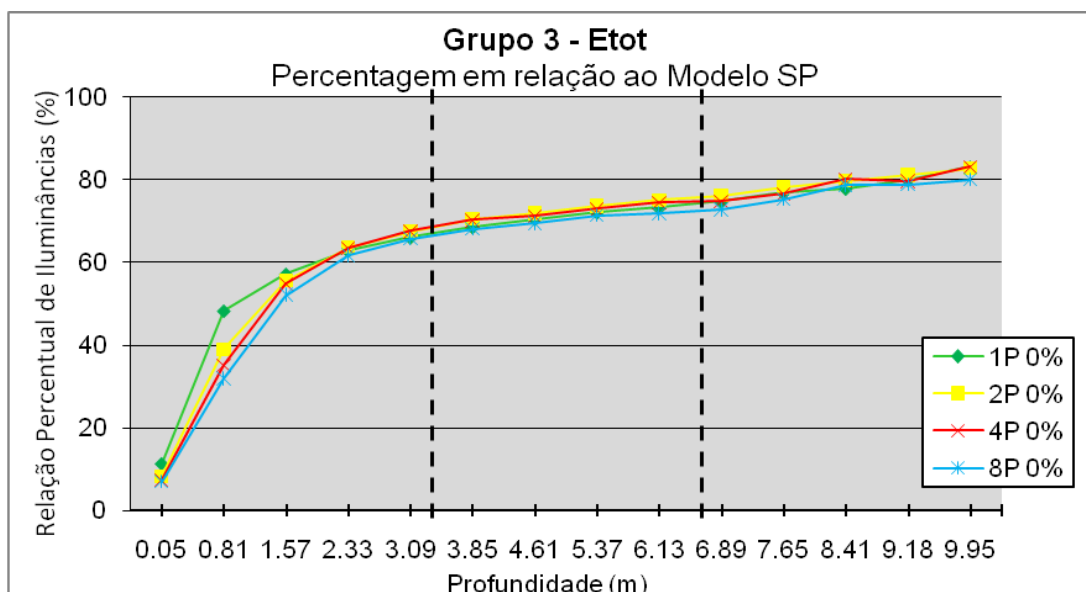


Gráfico 38 - Gráfico de Relação Percentual de Iluminâncias, Grupo 3 – 1P, 2P, 4P e 8P, todos com 0%, (%Etot).

O modelo 1P, 0% de área visível, como sempre não caracterizou grande modificação com a troca da refletância do elemento de proteção. Houve crescimento acentuado na região 1, de quase 10 % para mais de 65%, seguindo na região 2 um crescimento mais leve chegando a quase 75%, continuando nesta mesma linha na região 3, finalizando com cerca de 85%.

O modelo 2P, com 50% de área visível, obteve percentuais mais elevados, porém não expressivamente maiores, apresentando comportamento também muito parecido ao modelo 1P. Mas a troca de refletância deste elemento já caracteriza alguma interferência na admissão total do fluxo, porém consideravelmente menor essa influência se comparada aos demais grupos de análise.

O modelo 4P, com 75% de área visível, obteve características muito similares ao modelo anterior, com um leve acréscimo nos percentuais obtidos, mas com comportamento também semelhante. A troca de refletância do elemento de proteção caracteriza também influência no fluxo admitido, mesmo que baixa, cerca de 10% do total.

O modelo com 100% de área visível (8P) marca quase as mesmas características dos modelos anteriores, só que com percentuais um pouco elevados. Média levemente acima, e a troca de refletância do elemento de proteção também tem maior influência, quase 12%.

Pode ser observado que apesar de não haver radiação solar direta neste grupo de análise, há influência do elemento de proteção, trabalhando com a reflexão do fluxo oriundo da abóboda celeste, porém neste caso a magnitude deste fluxo refletido é menor.

4.2 DESEMPENHO POR MODELOS

A análise apresentada a seguir foi feita baseada na comparação dos desempenhos de cada modelo simulados nos diferentes momentos de insolação, buscando mapear como tal solução arquitetônica deve se comportar em diferentes momentos do ano. Inicia pelo modelo sem protetor, segue analisando cada composição de proteção solar individualmente, visando analisar como cada modelo se comportou com diferentes visualizações da abóboda celeste e o Sol.

4.2.1 Modelo SP

O modelo sem protetor em todos os momentos de análise obteve o comportamento luminoso muito parecido, gráfico 39. A distribuição apresentou sempre altos valores na região 1, próxima a janela, seguida de uma queda mais acentuada na região central, passando para uma queda mais leve na região 3.

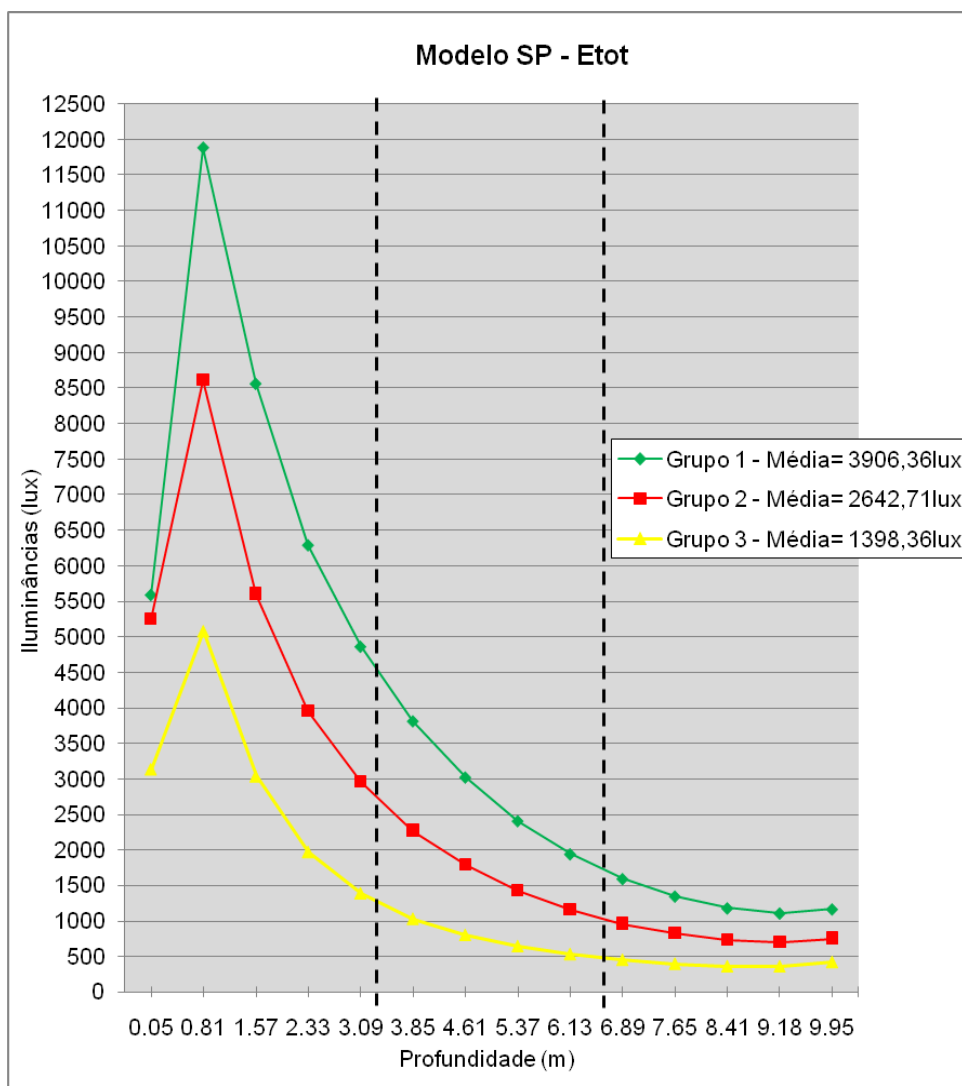


Gráfico 39 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo SP – Grupos 1, 2 e 3 (Etot).

Comparando os valores obtidos, percebe-se uma relação inversamente proporcional: quando é aumentada a altitude solar, os valores admitidos no ambiente são menores. Porém a proporção é diferente em cada região da sala, na região 1 a magnitude dos valores é maior assim como a redução do fluxo admitido também.

A distribuição da iluminação no ambiente sempre mantém maior concentração de fluxo na região próxima a abertura, pois esta região do ambiente tem visibilidade de maior área da abóboda celeste, e permite, portanto maior admissão de fluxo

direto. Ao se afastar da janela a iluminação fica condicionada em maior parte ao redirecionamento da luz pelas superfícies que interferem na cena, por isso se a iluminação admitida é maior, o resultado fica também mais elevado no fundo da sala. Isto é registrado na comparação dos resultados dos grupos, onde foi registrado na região 3 certa estabilidade dos valores obtidos nos três grupos, porém com o grupo 1 apresentando os maiores valores, seguido do grupo 2 e, por fim, o grupo 3.

As médias obtidas através do corte transversal demonstram que houve uma queda quase igual entre as simulações, onde no primeiro grupo obteve-se média de 3.906,36 lux, caindo para 2.642,71 lux no grupo 2 e chegando ao grupo 3 com média de 1.398,36 lux.

Quanto à iluminância inicial, gráfico 40, observa-se que o comportamento é muito similar aos resultados de iluminância total, mesma distribuição pelas regiões, apenas com valores menores.

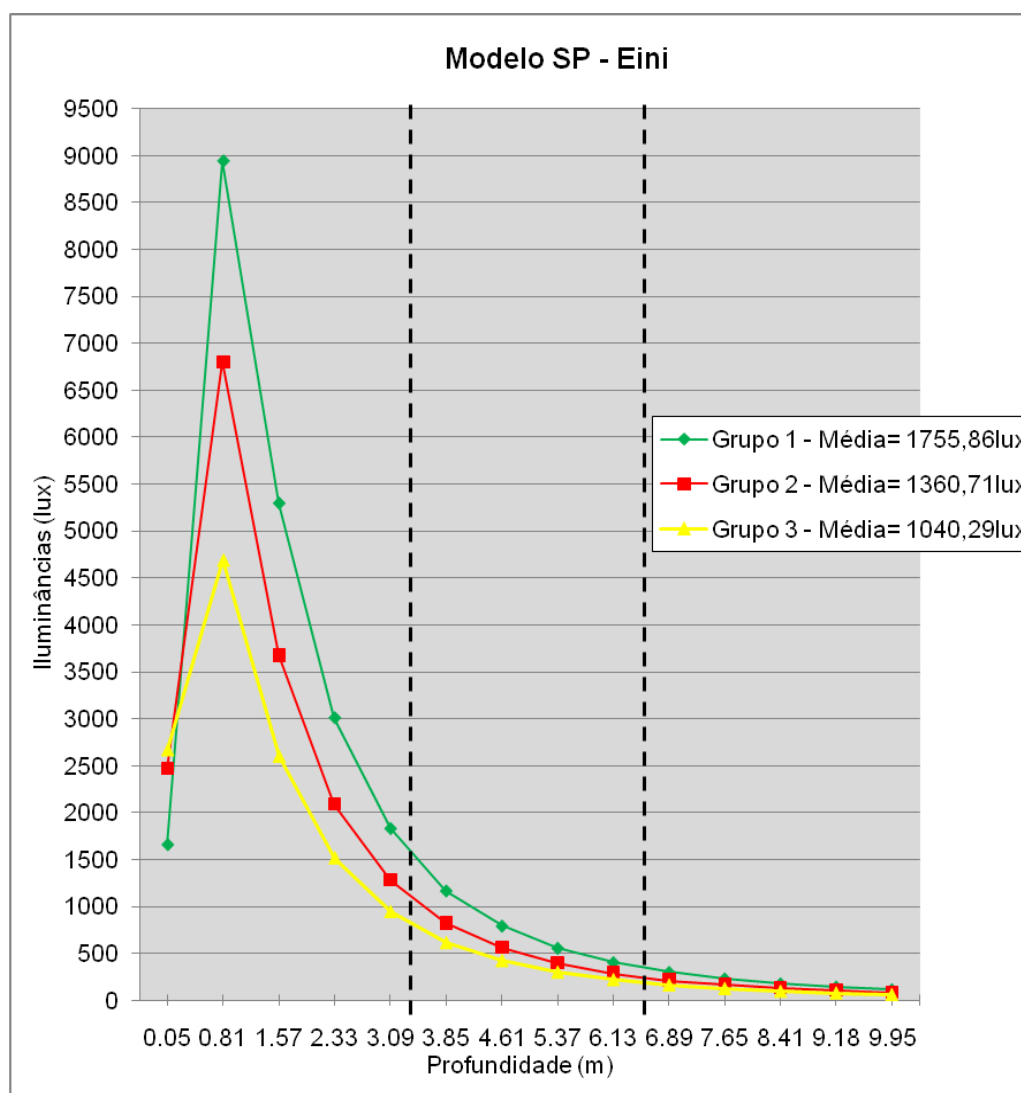


Gráfico 40 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo SP – Grupos 1, 2 e 3 (Eini).

Há uma pequena inversão no primeiro ponto, onde foram obtidos valores maiores no grupo 1, seguido do grupo 2 e depois o modelo simulado no grupo 3. Esta inversão pode ter sido decorrente da visualização da abóboda, onde à medida que se aumentou a altitude solar este primeiro ponto visualizou a parte da abóboda mais brilhante, por isso obteve valores mais altos.

O que pode ser observado também é que a região 3, mais profunda, foram registrados valores muito baixos, como por exemplo o modelo simulado no grupo 3 obteve no último ponto apenas 65 lux. Em todas as simulações a região 3 não obteve valores acima de 300 lux.

Quanto à iluminância refletida houve certa semelhança no comportamento quando o modelo foi simulado nos grupos 1 e 2, porém a simulação no grupo 3 foi bem diferente do que vem usualmente ocorrendo nas outras parcelas do fluxo luminoso seguindo quase que uma constante do começo ao fim da sala, gráfico 41.

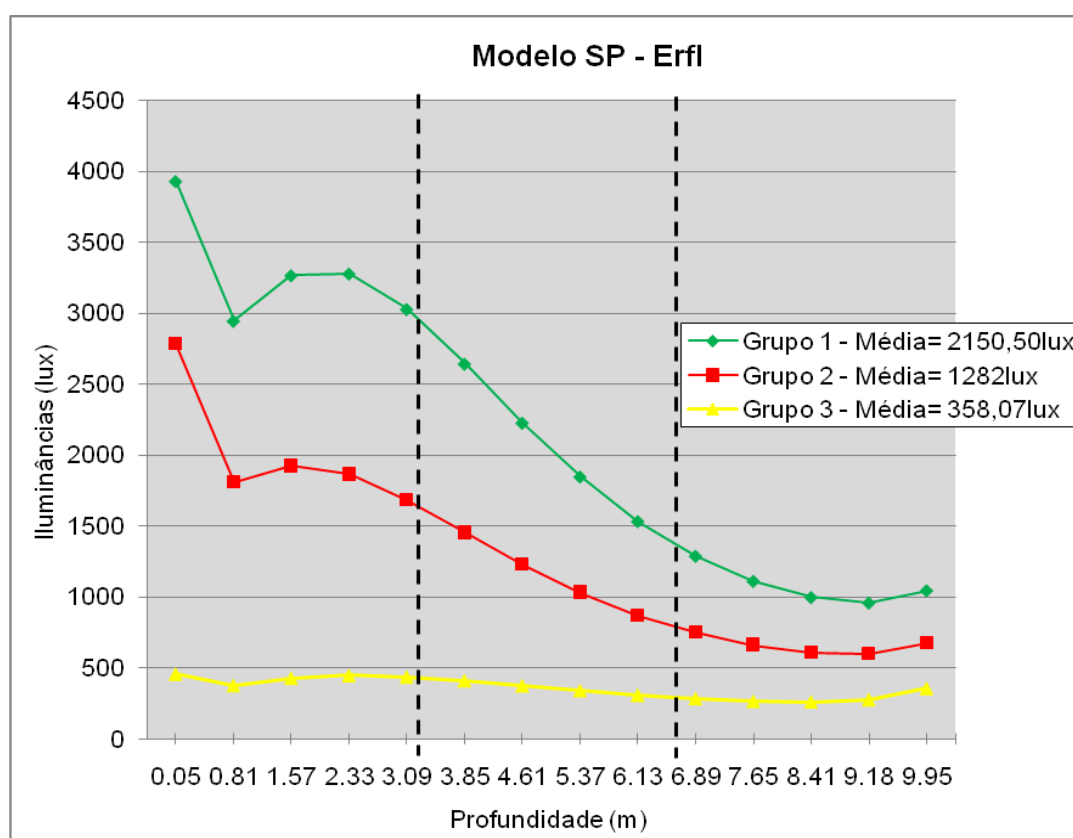


Gráfico 41 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo SP – Grupos 1, 2 e 3 (ErfI).

Para os modelos simulados com menores altitudes solares, apresentam maior influência da parcela refletida na região 1, o que pode evidenciar que mesmo não havendo o elemento de proteção nesta região a reflexão das superfícies internas são bem representativas no resultado.

4.2.2 Modelo 1P

A distribuição do fluxo total admitido pelo modelo 1P é similar ao ocorrido no modelo SP em todos os grupos de análise, obtendo altos valores na região 1, seguido de um decréscimo mais acentuado na região 2 e finalizando com uma parábola crescente na região 3, gráfico 42.

Assim como foi característica no modelo SP, aqui também foi registrada a relação indiretamente proporcional entre o aumento da altitude solar e a redução nos valores admitidos.

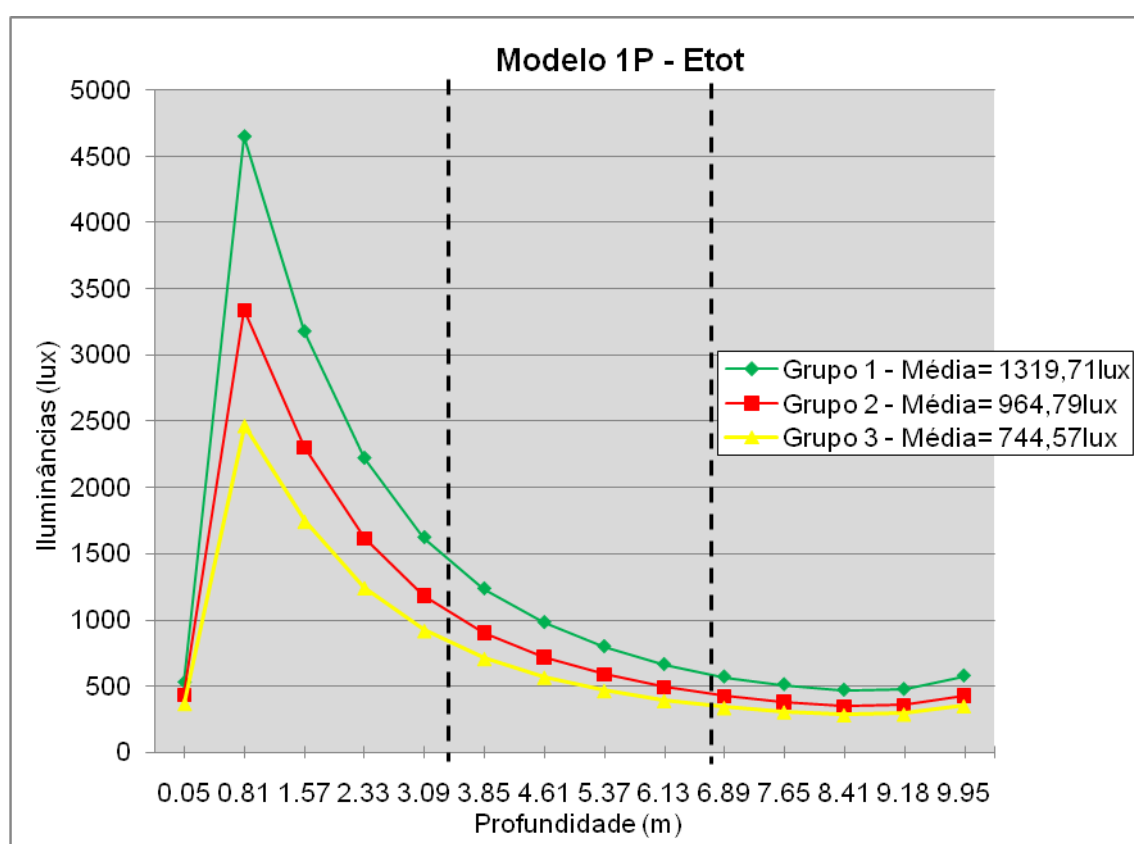


Gráfico 42 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 1P – Grupos 1, 2 e 3 (Etot).

Analisados a relação percentual que o modelo obteve em relação ao modelo SP de cada grupo, estão marcados no gráfico 43 a seguir: o percentual que o modelo 1P - Grupo 1 obteve em relação ao modelo SP – Grupo 1, o percentual mantido do modelo 1P – Grupo 2 em relação ao modelo SP – Grupo 2, e o percentual obtido pelo modelo 1P – Grupo 3 em relação ao modelo SP – Grupo 3.

Observa-se que são invertidos os resultados, obteve-se maiores resultados no grupo 3 para depois aparecer os grupos 2 e 3, e também é registrado uma

mudança na distribuição dessa iluminância relativa através de um crescimento mais acelerado na direção da profundidade.

Em todas as simulações, não é caracterizado um pico de resultados, apenas um forte crescimento na região 1, que segue crescendo na profundidade. Isso ocorre pelo elemento de proteção bloquear o fluxo oriundo da parte da abóboda celeste mais brilhante, já que foram subtraídos os valores da Iluminância direta do Sol.

Apesar do elemento de proteção solar bloquear grande parte do fluxo, há uma tendência em manter o fluxo na profundidade, crescendo o percentual com a profundidade. Porém vale considerar que o modelo sem protetor tem uma grande queda nos valores admitidos em profundidade em comparação à região mais próxima a janela.

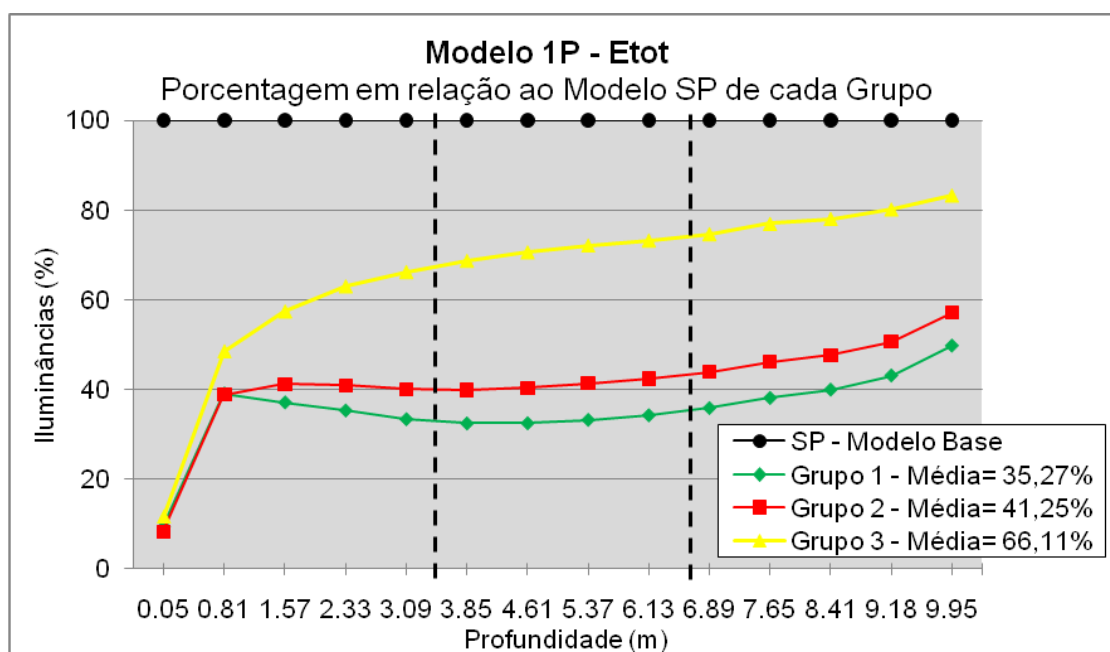


Gráfico 43 – Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 1P – Grupos 1, 2 e 3 (%Etot).

A iluminância inicial tem as características similares a iluminância total, gráfico 44, um pico na região 1, seguido de decréscimo acentuado na região central, e finalizado de um leve decréscimo. As médias mostram a relação inversamente proporcional entre altitude solar e admissão de fluxo.

Ressalta-se a queda expressiva dos valores admitidos inicialmente em relação ao modelo SP de todos os grupos de análise, em todos os grupos os valores registrados na região 3 são menores que 230 lux.

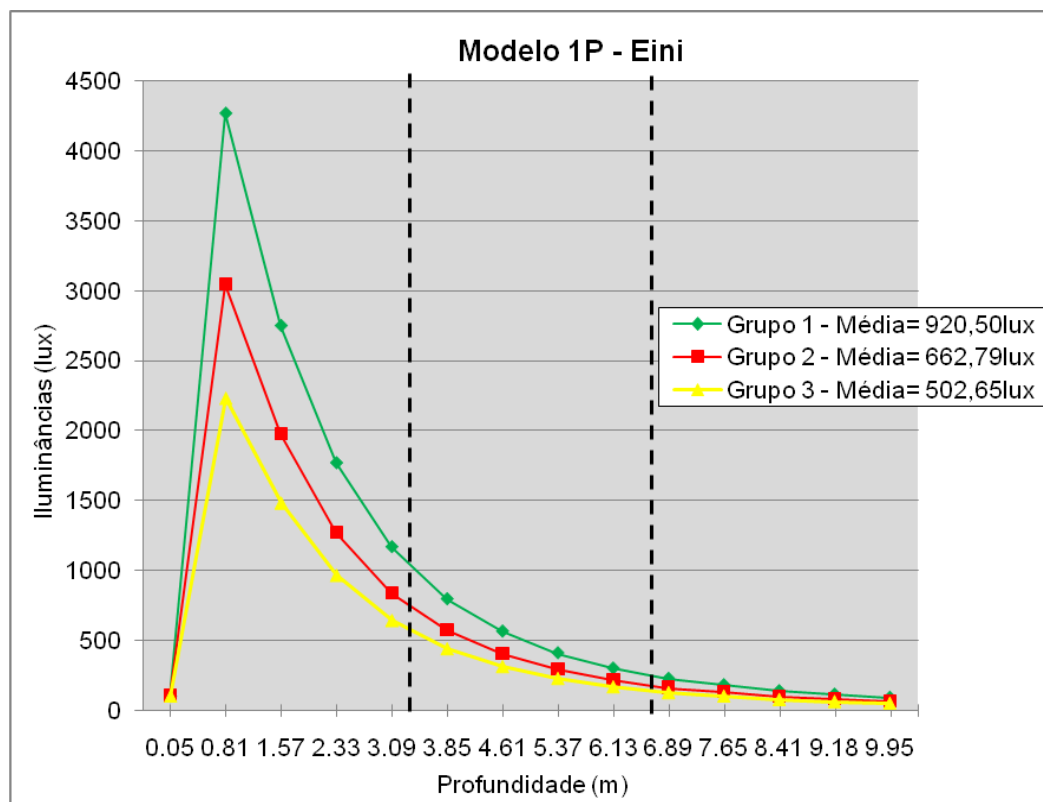


Gráfico 44 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 1P – Grupos 1, 2 e 3 (Eini).

A comparação entre os percentuais de cada simulação em relação ao modelo SP de seu grupo demonstram uma ocorrência muito similar em todos os grupos, gráfico 45.

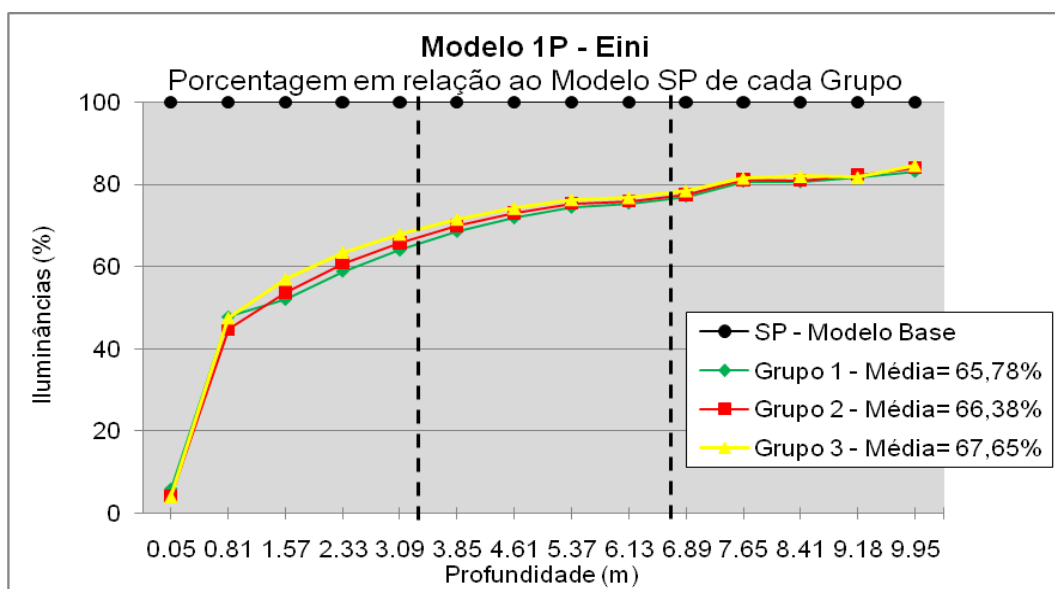


Gráfico 45 – Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 1P – Grupos 1, 2 e 3 (%Eini).

As médias obtidas variam menos de 1% entre si, onde apesar de pequena a diferença também se vê uma inversão nos resultados e o grupo 1 obtém o maior percentual (67,65%), seguido do grupo 2 (66,38%), e por último o grupo 3 (65,78%).

Mas vale ressaltar que a simulação do modelo 1P no grupo 3 não permanece sempre acima dos demais grupos.

Quanto à iluminância refletida observa-se pelo gráfico que neste modelo esta parcela do fluxo se comporta de forma diferente das outras, enquanto os fluxos total e inicial caracterizam um pico seguido de um decréscimo, aqui o fluxo é admitido de forma bem variável no ambiente.

A distribuição em todos os modelos, gráfico 46, demonstram a região 1 com certa inconstância, uma queda seguida de uma linha crescente, finalizada por um início de um decréscimo que será acentuado na região central (2), para na região 3 apresentar um acréscimo considerável.

Porém como vem sendo característico, a relação entre a altitude solar e a admissão do fluxo aqui também aparece, onde apesar do fluxo ter magnitude bem menor, o grupo 1 apresenta média de quase 400 lux, seguido pelo grupo 2 com 302 lux e por fim o grupo 3 com pouco mais de 240 lux.

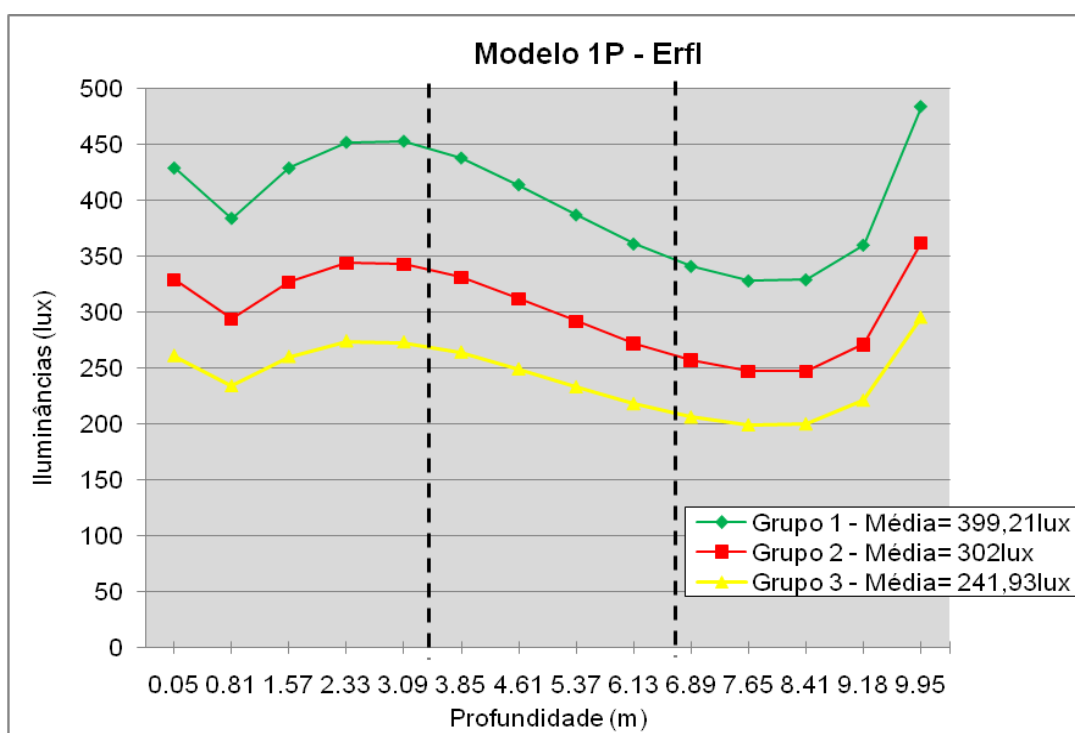


Gráfico 46 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 1P – Grupos 1, 2 e 3 (ErfI).

A relação percentual ao modelo SP de cada grupo seguem certa regra, apresentam semelhanças entre os grupos 1 e 2, já o modelo simulado no grupo 3 obteve percentuais muito acima destes, gráfico 47. Ressalta-se que o modelo SP no grupo 3 registrou valores de iluminância refletida bem baixos, com média entorno de

360 lux, o que afirma que apesar de ser reduzido o fluxo admitido, quando elevado a altitude solar o modelo tende a manter maior parte da iluminação.

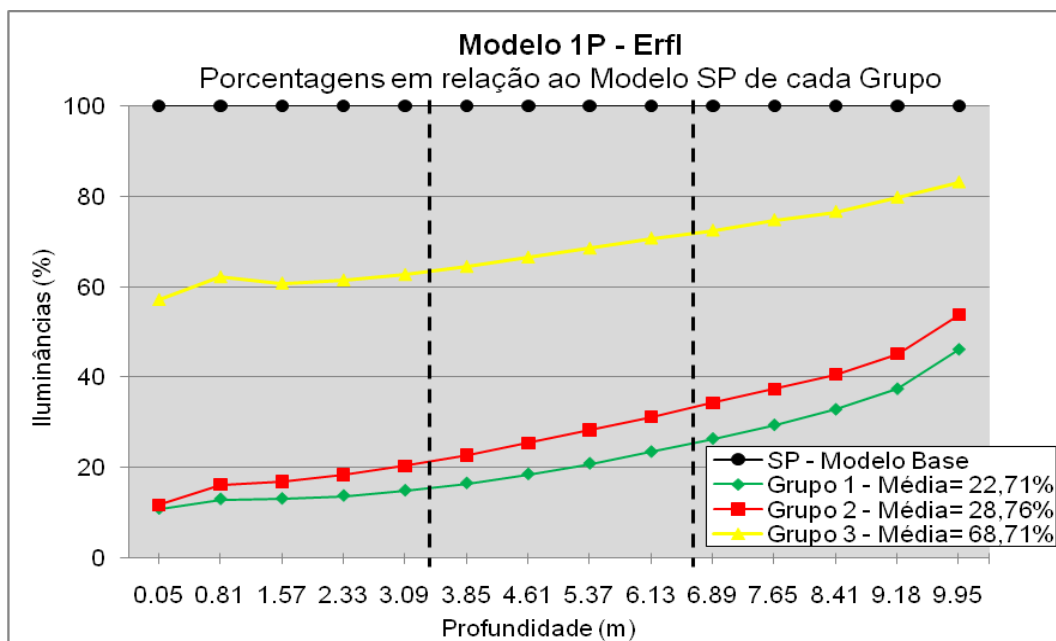


Gráfico 47 – Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 1P – Grupos 1, 2 e 3 (%ErfI).

4.2.3 Modelo 2P

O modelo 2P apresentou resultados de iluminância total com características de comportamento similares aos resultados desta mesma parcela do fluxo nos modelos SP e 1P, com pico na região 1 e o decréscimo nas regiões seguintes, gráfico 48.

A relação inversamente proporcional entre o aumento da altitude solar e a queda na admissão do fluxo também se apresenta neste modelo, porém há um leve aumento no fluxo admitido pelas simulações, em relação ao modelo 1P.

Mas vale lembrar que quanto menor a altitude solar, neste caso está contribuindo para a insolação da superfície superior do elemento de proteção, e conseqüentemente refletindo maior quantidade de fluxo para o interior do ambiente. É justamente esta relação que se busca com esta investigação, e pelo que podemos notar nesta solução arquitetônica, há certa melhora na distribuição do fluxo quando o protetor tem partes de sua área insolada (grupos 1 e 2), mas o total do fluxo admitido nestes casos também é maior.

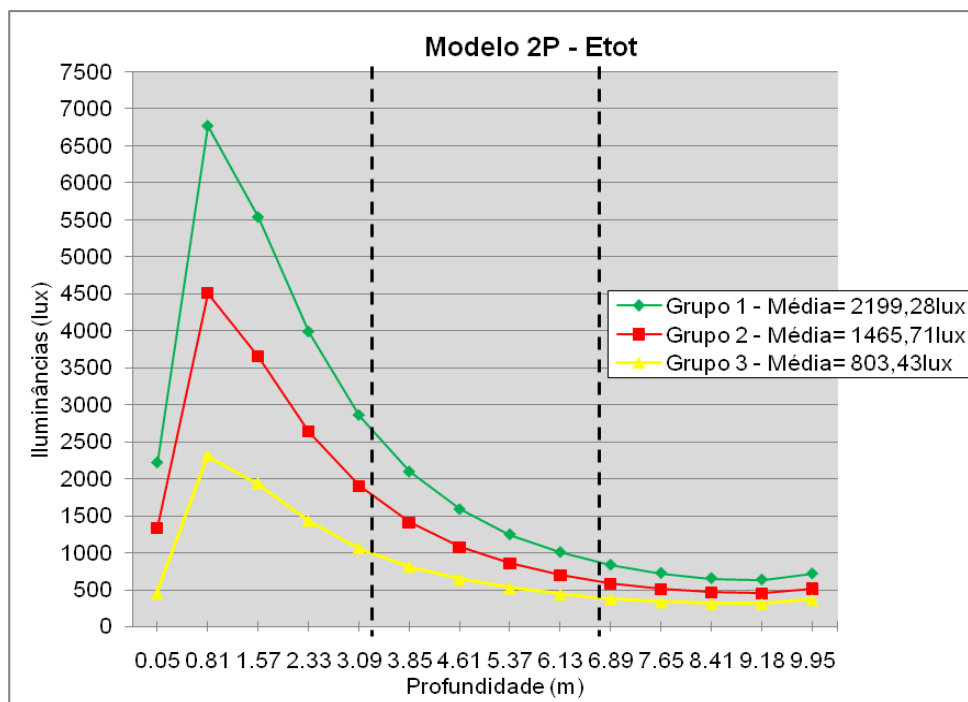


Gráfico 48 – Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 2P – Grupos 1, 2 e 3 (Etot).

A relação percentual de cada simulação em relação ao modelo SP de seu grupo também se caracteriza muito parecida com os resultados obtidos no modelo 1P, porém foi registrada uma inversão nos primeiros pontos da região 1, gráfico 49. Conforme as médias apresentadas, o modelo do grupo 3 apresentou um aumento mais representativo que os demais grupos, mais de 70%, contra 55 e 59%.

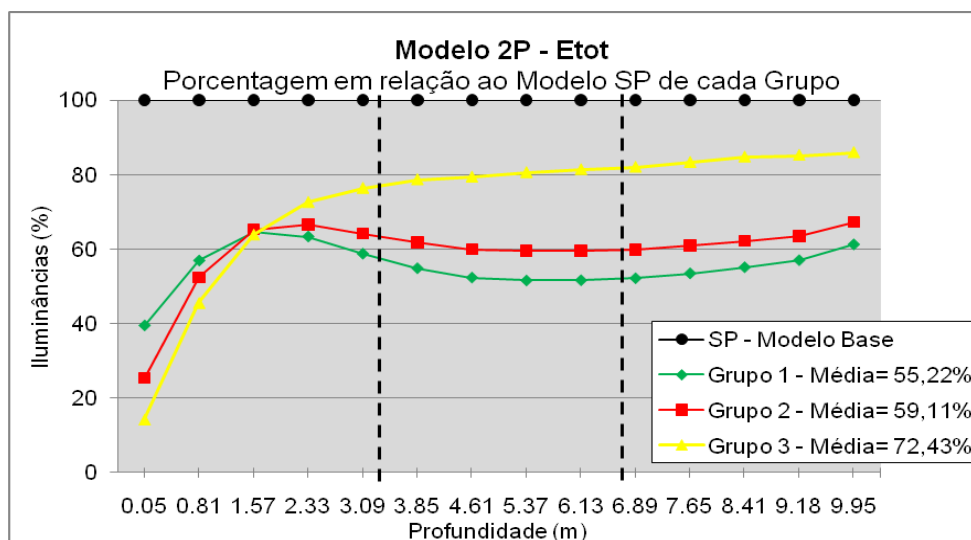


Gráfico 49 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 2P – Grupos 1, 2 e 3 (%Etot).

O fluxo inicial é distribuído conforme vem sendo característico desta parcela, grande concentração na região 1 seguido de decréscimo acentuado nas demais

regiões, gráfico 50. Sobressalta-se a admissão de valores extremamente baixos em todos os modelos na região mais profunda, gráfico 50.

A relação de inversão na admissão de fluxo luminoso com o aumento de altitude solar também se apresenta nesta análise, onde as médias admitidas são de 877,50 lux para o modelo simulado no grupo 1, 626,71 lux no grupo 2, e por fim no grupo 3 com 470,39 lux.

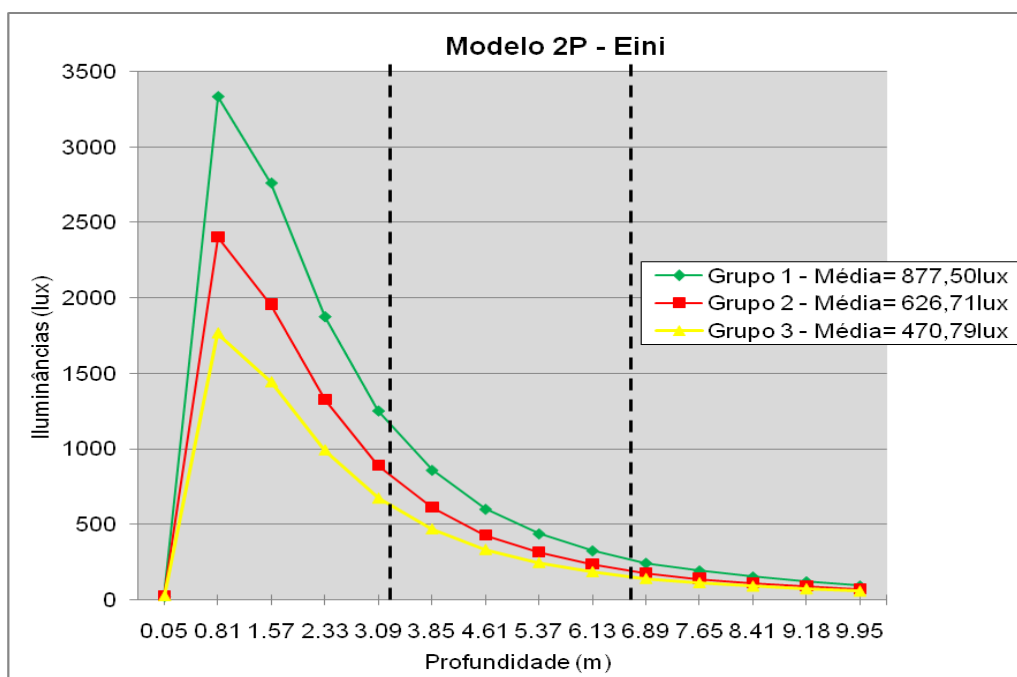


Gráfico 50 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 2P – Grupos 1, 2 e 3 (Eini).

As porcentagens em relação ao modelo SP de cada grupo apresentaram, assim como no modelo 1P, grande similaridade, com o modelo mantendo quase sempre o mesmo percentual em todos os grupos de análise, gráfico 51, entorno de 69% na média.

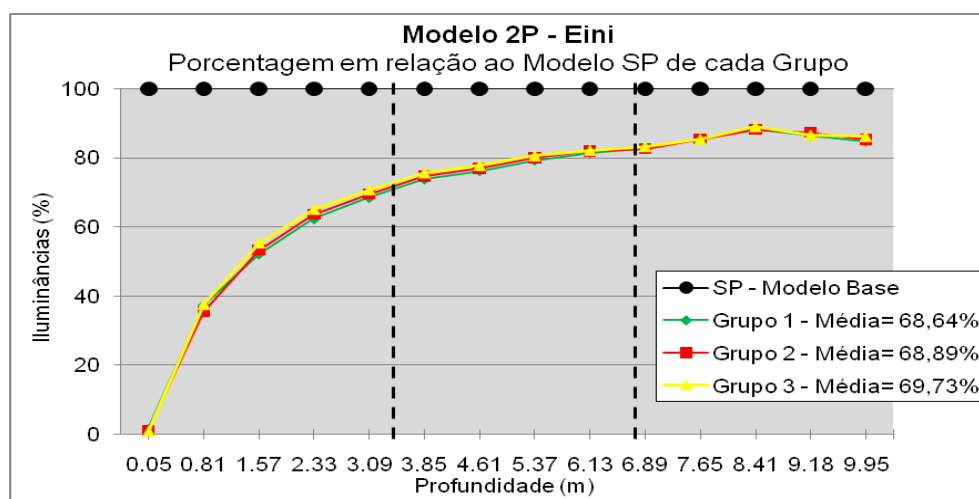


Gráfico 51 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 2P – Grupos 1, 2 e 3 (%Eini).

A iluminância refletida se apresentou nas simulações com comportamento similar às parcelas de fluxo total e inicial, principalmente nos grupo 1 e 2, com pico na região 1, seguido pelo decréscimo acentuado na região central, finalizando com leve acréscimo na região 3 (Gráfico 52).

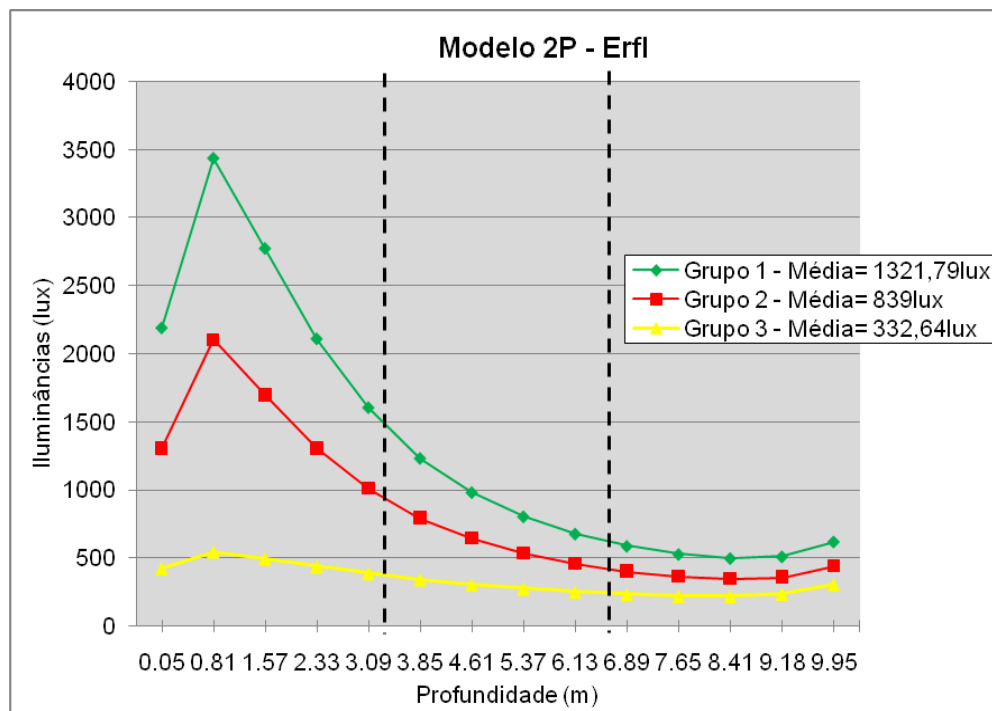


Gráfico 52 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 2P – Grupos 1, 2 e 3 (ErfI).

Nas simulações com parte da superfície insolada, registrou-se valores desta parcela do fluxo bem elevados na região 1, entre 1.500 e 3.500 lux no grupo 1 e 1.000 e 2.500 lux no grupo 2. Porém o modelo simulado no grupo 3, sem área insolada no protetor, já apresentou valores bem mais baixos, mesmo na região 1, com o máximo chegando a pouco mais de 500 lux.

Analisando o percentual desta parcela do fluxo mantida em relação ao modelo base, foram registrados resultados com as mesmas características que vêm ocorrendo nos demais modelos. Em todas as simulações obteve-se percentuais acima dos encontrados no modelo sem protetor de cada grupo respectivamente, gráfico 53.

Apenas nos primeiros pontos houve certa inversão na seqüência dos percentuais obtidos, onde o modelo do grupo 3 aparece com o percentual mais alto seguido do grupo 1 e depois do grupo 2, porém no restante da sala o grupo 2 aparece sempre acima do modelo do grupo 1.

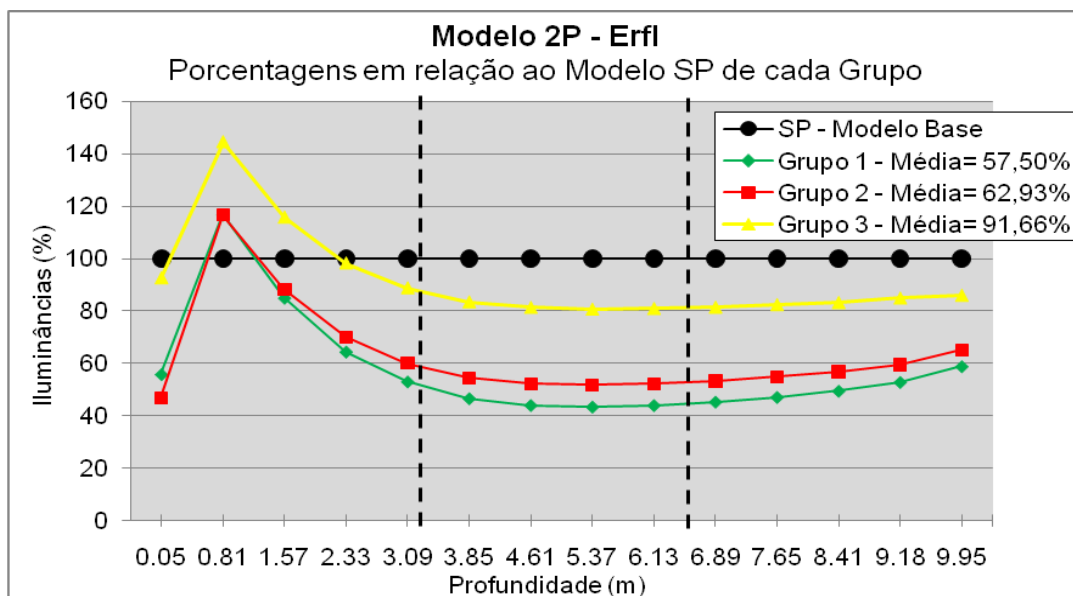


Gráfico 53 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 2P – Grupos 1, 2 e 3 (%ErfI).

4.2.4 Modelo 4P

O modelo 4P teve como resultados finais características semelhantes à distribuição de fluxo total do modelo 2P, 1P e SP, o pico seguido de decréscimo em todos os momentos de insolação, gráfico 54. A relação entre a altitude solar e a admissão de fluxo luminoso também se apresenta com as mesmas características neste modelo.

O modelo simulado no grupo 3 registrou os menores resultados, apresentando na região 3 valores sempre abaixo de 380 lux. Esta baixa admissão de fluxo pode ter sido ocasionada por neste momento o elemento de proteção além de não estar insulado, bloqueia a visibilidade da parte da abóboda mais brilhante que é onde está o Sol.

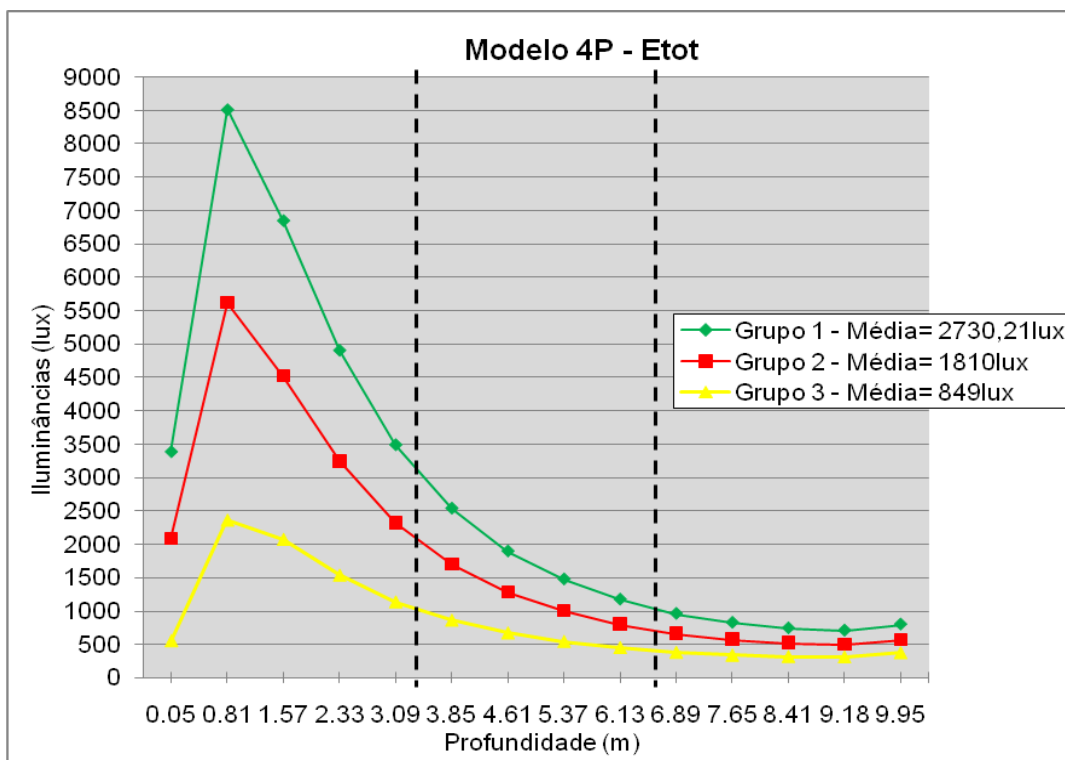


Gráfico 54 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 4P – Grupos 1, 2 e 3 (Etot).

Quanto ao percentual de cada simulação em relação ao modelo base de seu grupo de análise, obteve-se o comportamento de distribuição ainda mais parecido com o modelo 2P.

Apresentou também a inversão dos resultados na região 1, e registrou melhores percentuais para o modelo simulado no grupo 3, gráfico 55, porém observa-se elevação nos percentuais obtidos, reafirmando a capacidade dos elementos de proteção trabalharem com a reflexão do fluxo para o interior, característica desta solução.

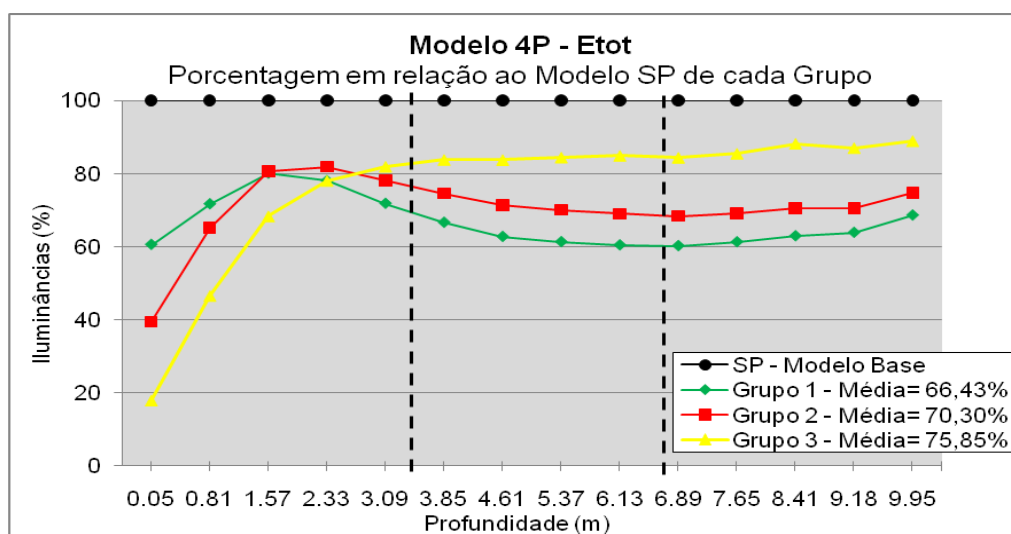


Gráfico 55 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 4P – Grupos 1, 2 e 3 (%Etot).

A iluminância inicial apresentou as mesmas características dos resultados obtidos pelos modelos 2P, 1P e SP nesta mesma parcela (Gráfico 56). Ressalta-se a queda expressiva dos valores admitidos na região 3, onde em nenhum momento de insolação obteve-se valores acima de 240 lux nesta parte da sala.

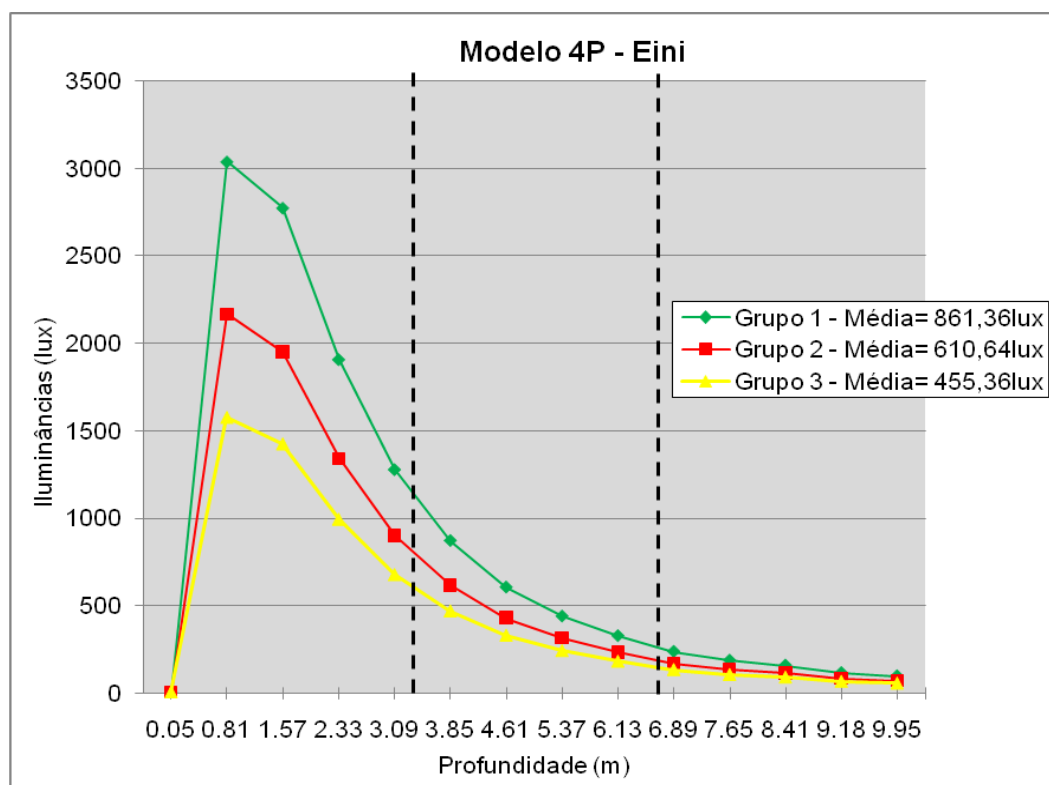


Gráfico 56 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 4P – Grupos 1, 2 e 3 (Eini).

Apesar de terem sido registrados valores muito baixos na região 3, a comparação entre os percentuais obtidos mostra que conforme a profundidade da sala aumenta, o modelo tende a obter maior percentual do fluxo obtido pelo modelo SP, gráfico 57. Isso vem sendo característica já nos demais modelos, assim como nesta parcela em particular, o percentual obtido pelo modelo nos diferentes grupos é praticamente o mesmo.

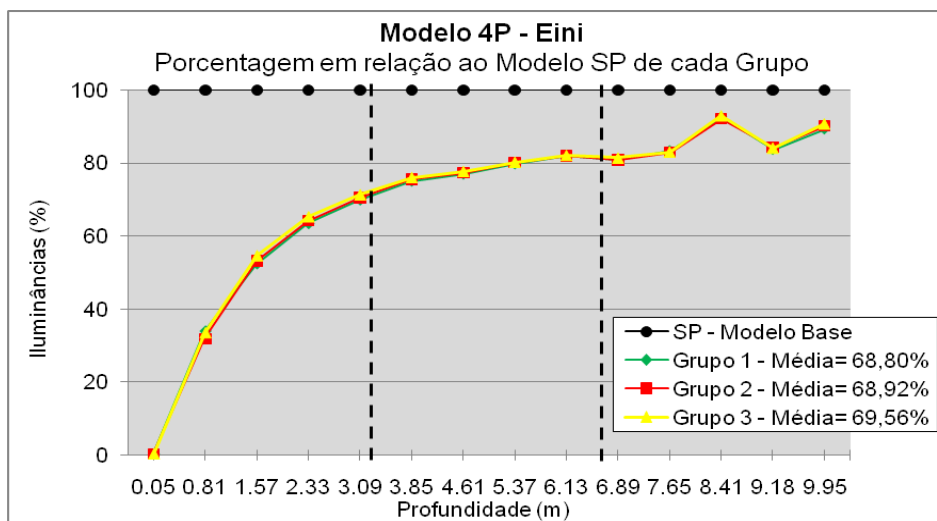


Gráfico 57 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 4P – Grupos 1, 2 e 3 (%Eini).

A análise da parcela de fluxo refletido apresentou como o elemento de proteção quando insolado, total ou parcialmente, trabalha refletindo o fluxo luminoso, gráfico 58. Observa-se que os maiores valores foram obtidos pelas simulações dos grupos 1 e 2, onde a superfície superior do protetor recebe insolação.

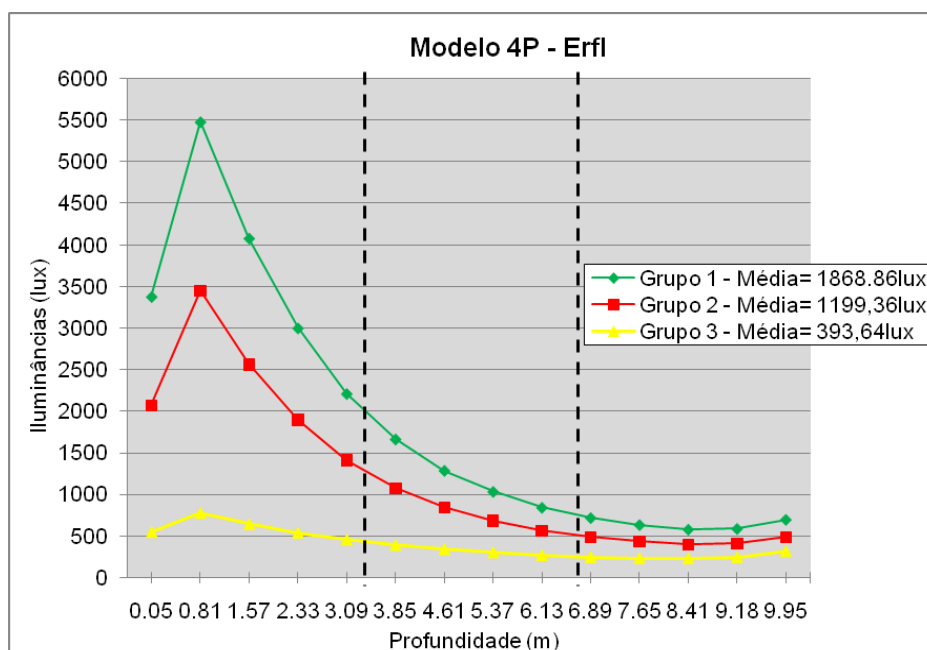


Gráfico 58 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 4P – Grupos 1, 2 e 3 (ErfI).

Apresentou comportamento também similar ao modelo 2P nesta parcela de fluxo, com a relação entre o aumento da altitude solar e a redução da admissão do fluxo. Apesar dos valores baixos obtidos pelo modelo no grupo 3, estes são ainda mais altos que o modelo SP deste grupo.

Os percentuais obtidos por esta parcela apresentam a mesma inversão obtida no modelo 2P nos primeiros pontos da região 1, gráfico 59, onde o modelo no grupo

2 registra os menores percentuais obtidos. Conforme pode ser observado houve a mesma seqüência de médias apresentadas nos modelos anteriores, onde o modelo do grupo 3 registrou a maior média, seguido dos grupos 2 e 1 respectivamente.

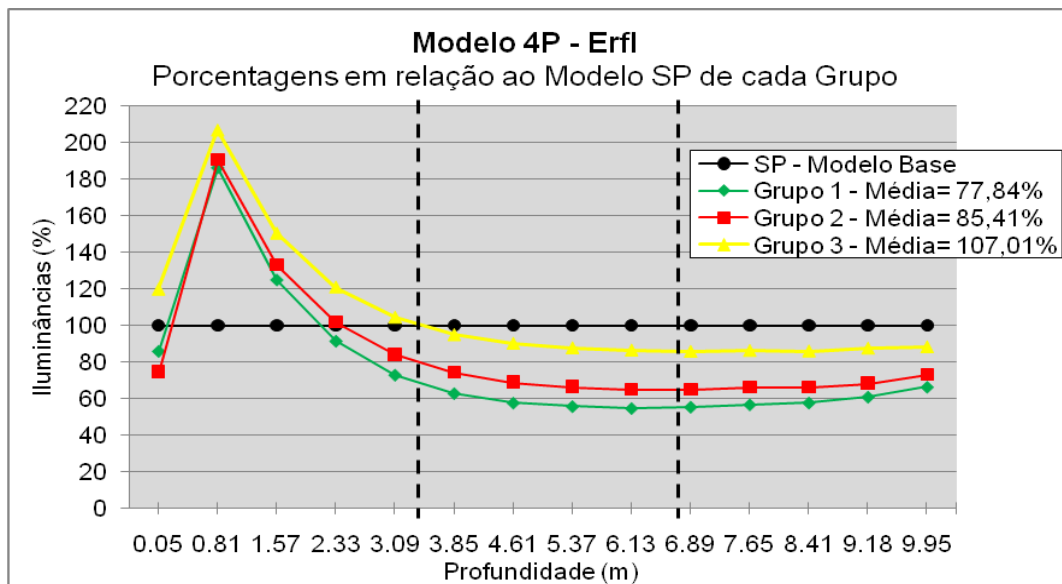


Gráfico 59 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 4P – Grupos 1, 2 e 3 (%ErfI).

4.2.5 Modelo 8P

O modelo 8P não apresentou comportamento diferente dos outros modelos quanto à iluminância total em todos os momentos de insolação. Registrou o mesmo comportamento na distribuição, com pico seguido de declínio, e a redução do fluxo admitido conforme foi aumentada a altitude solar, gráfico 60. Os menores valores foram encontrados no modelo simulado no grupo 3, onde marcou média de apenas 905,64 lux, contra 3.175,29 lux quando simulado no grupo 1.

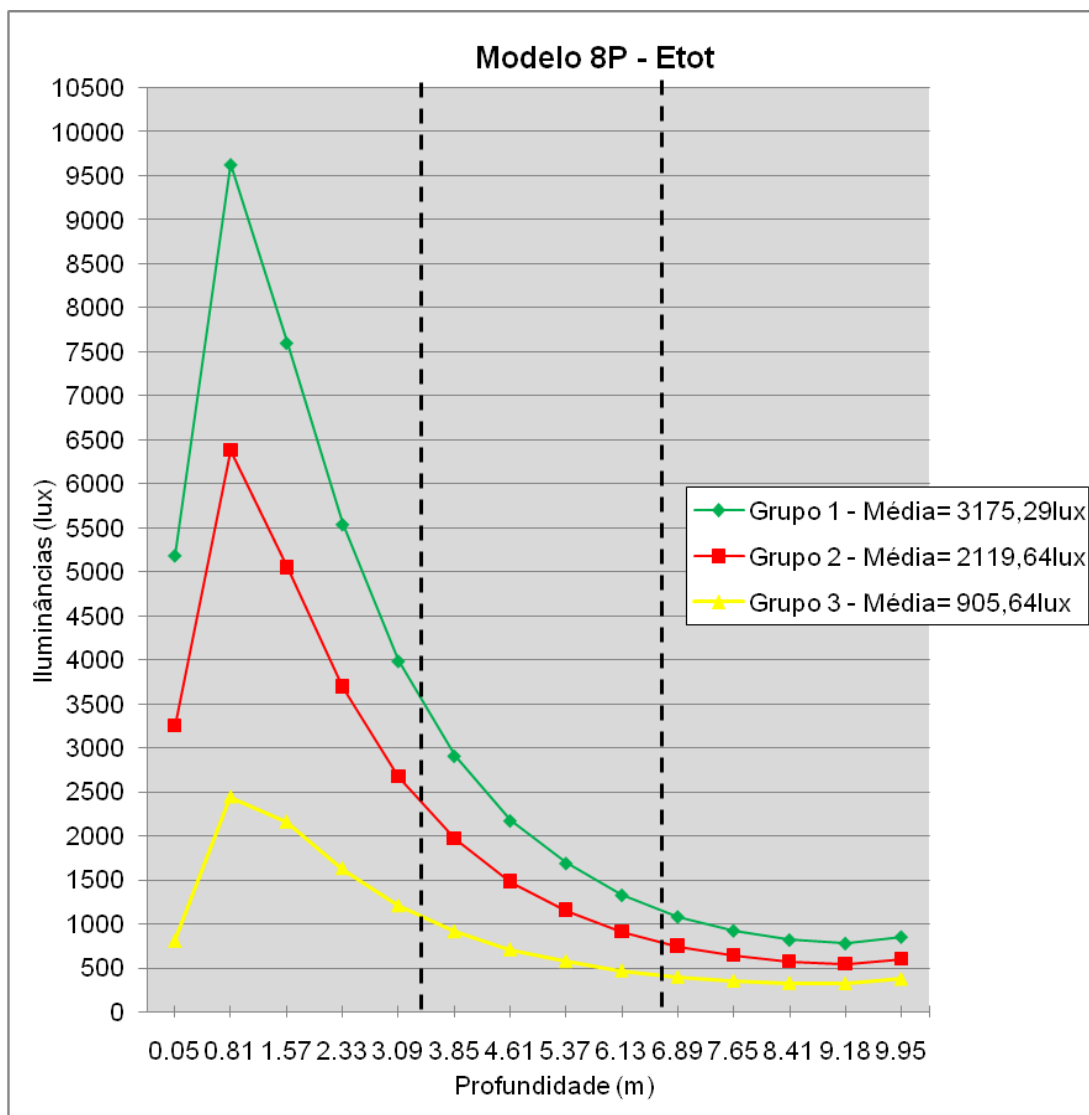


Gráfico 60 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 8P – Grupos 1, 2 e 3 (Etot).

A comparação entre os percentuais obtidos em cada grupo, o modelo 8P em relação à iluminância total registrou também resultados similares ao que vem ocorrendo nos demais modelos nesta etapa. Há certa inversão nos percentuais mantidos na região 1, onde caracterizam o trabalho do elemento de proteção refletindo maior quantidade de fluxo no modelo simulado nos grupos 1 e 2, que permitem insolação total ou parcial do protetor. Quanto as médias obtidas, o modelo simulado no grupo 2 aparece com média levemente superior a do grupo 3, seguido pelo grupo 1, gráfico 61.

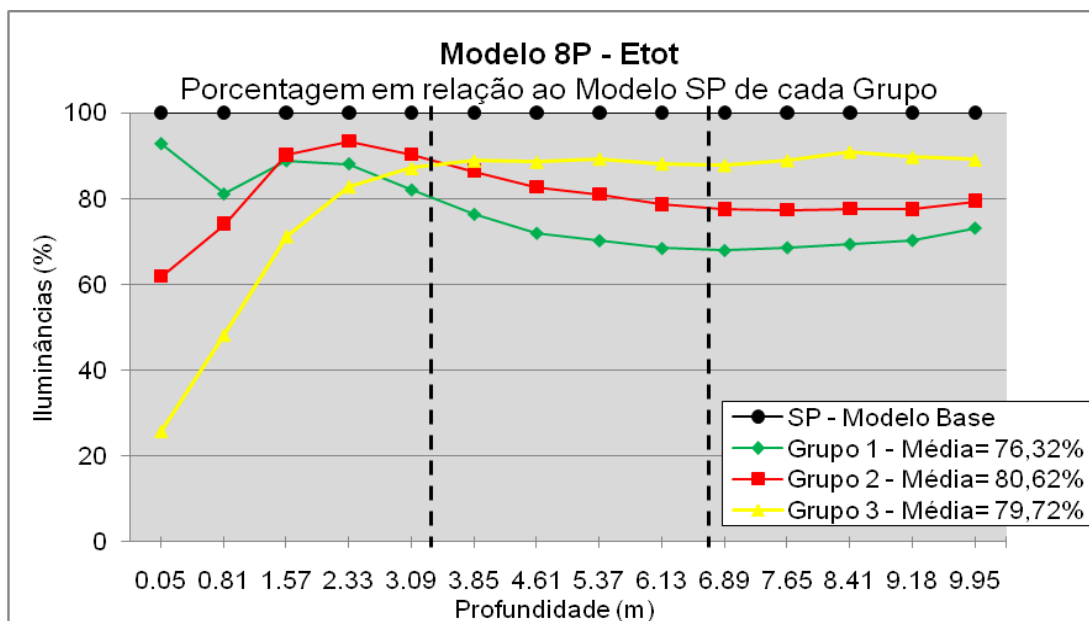


Gráfico 61 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 8P – Grupos 1, 2 e 3 (%Etot).

Quanto à iluminância inicial o modelo 8P também não registrou comportamento fora da regra que vem ocorrendo nos demais, mesma forma de distribuição, com valores bem próximos ao modelo 4P, gráfico 62.

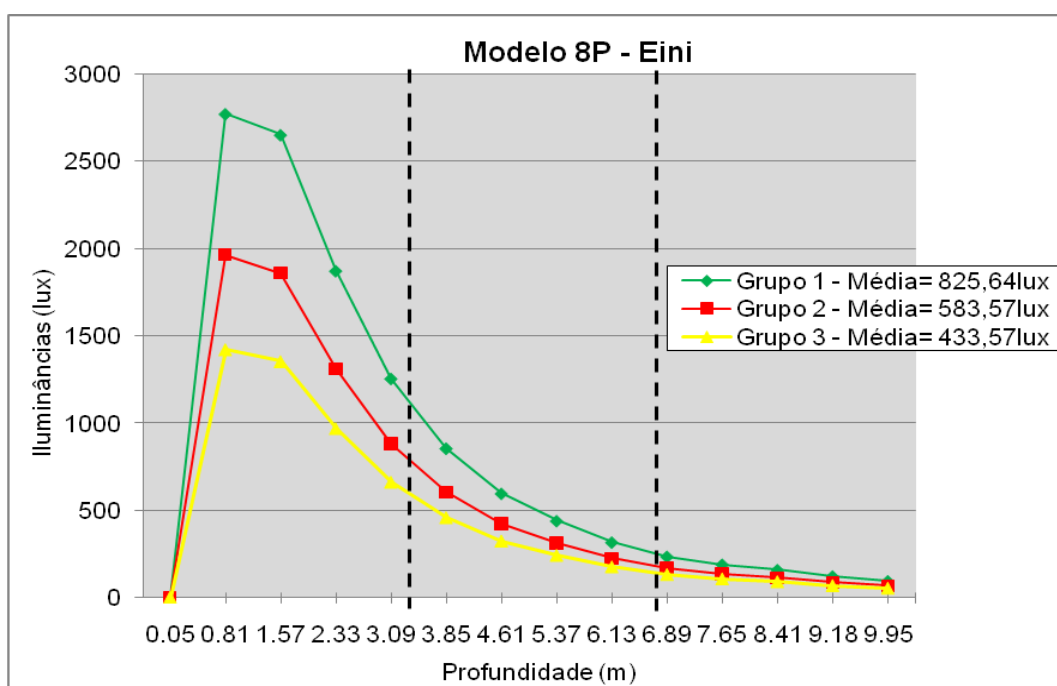


Gráfico 62 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 8P – Grupos 1, 2 e 3 (Eini).

Também apresentou a queda dos valores obtidos quando foi aumentada a altitude solar, e registrou valores excessivamente baixos em todos os momentos de análise na última região (3).

O percentual relativo ao modelo SP de cada grupo da parcela de fluxo inicial admitida, também não teve alterações (Gráfico 63). O percentual mantido por este modelo é muito parecido em todos os grupos, manteve médias praticamente idênticas, com apenas 0,5% de diferença entre o grupo 1 e 3.

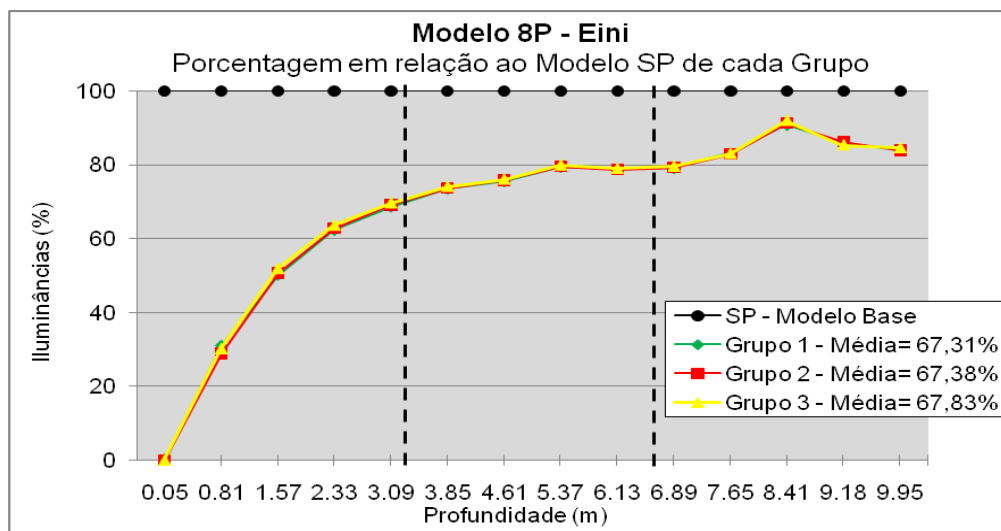


Gráfico 63 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 8P – Grupos 1, 2 e 3 (%Eini).

A parcela de fluxo refletido também não apresentou diferença no comportamento de distribuição do fluxo. Obteve valores bem mais altos nos grupos 1 e 2, onde a superfície do protetor recebe insolação direta, caracterizando a influência que estes elementos impõem ao comportamento luminoso do ambiente, porém esta influência é bem mais característica na região 1, mais próxima a janela, gráfico 64.

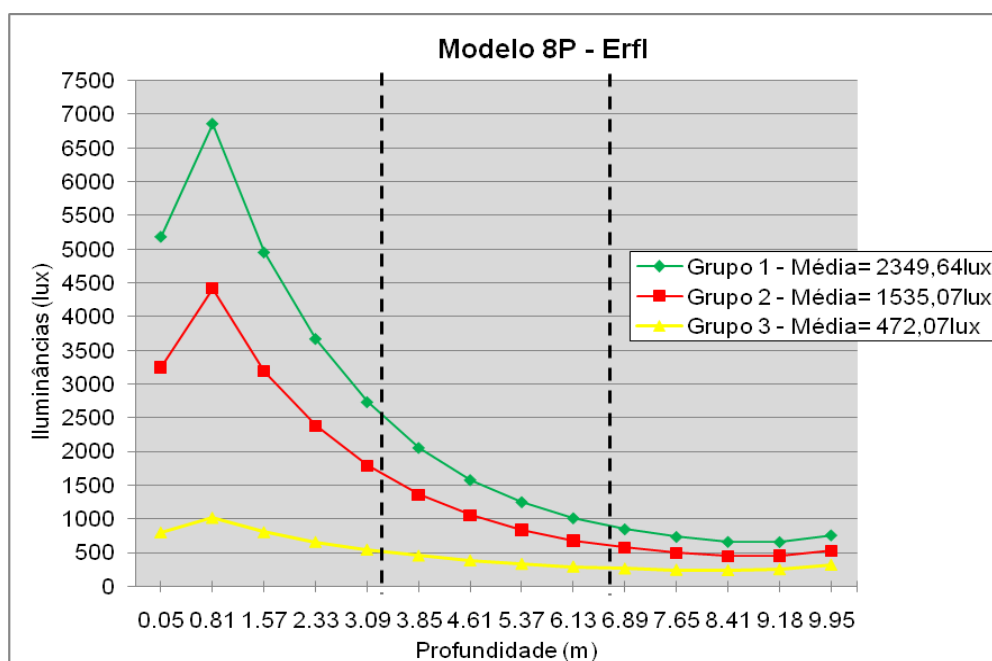


Gráfico 64 - Gráfico Profundidade X Iluminância, Modelo 8P – Grupos 1, 2 e 3 (Erfi).

Analisando o percentual de fluxo mantido pelas simulações, observa-se a mesma inversão de resultados que ocorreram nos modelos 4P e 2P nos primeiros pontos da região 1, que o modelo simulado no grupo 2 obteve o menor percentual de todos os grupos, gráfico 65.

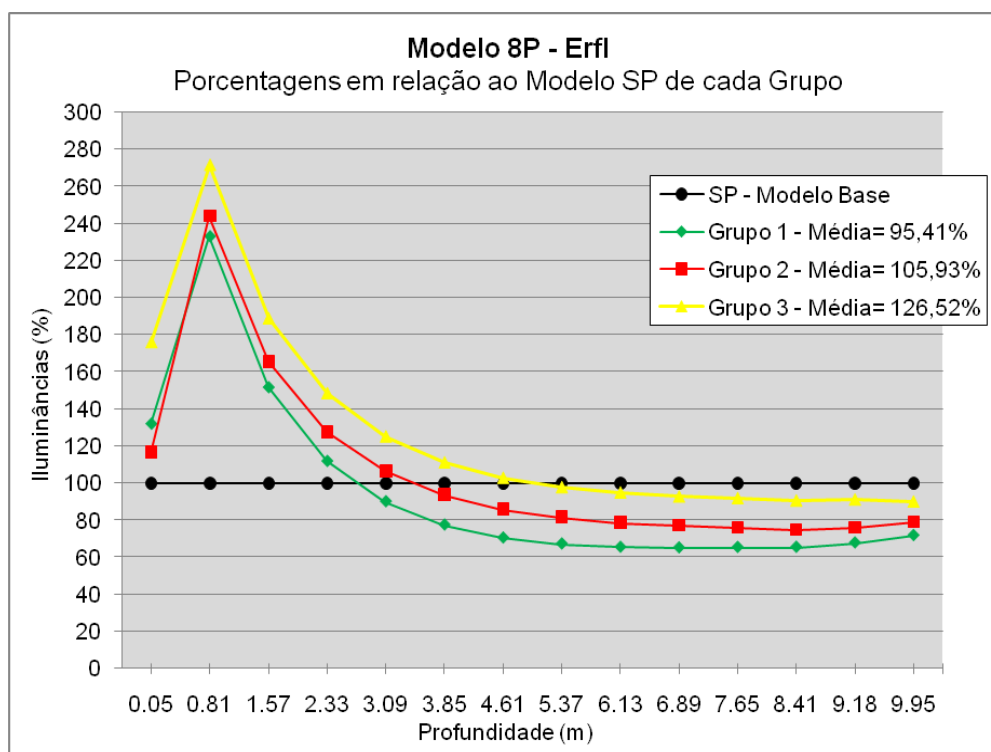


Gráfico 65 - Gráfico Profundidade X Relação Percentual de Iluminância, Modelo 8P – Grupos 1, 2 e 3 (%ErfI).

Porém, neste modelo percebe-se um deslocamento da curva, pois o comportamento da distribuição do fluxo segue certa regra, muito mais fluxo se concentra na região próxima a janela e segue diminuindo a admissão pela profundidade, este gráfico tende a supor que há um deslocamento da curva conforme é o grau de insolação mais claramente.

Nesta comparação nota-se também como o elemento de proteção trabalha refletindo o fluxo para dentro do ambiente, também através do fluxo oriundo da abóboda celeste, já que no grupo 3 não há insolação direta.

5 CONCLUSÕES

Com objetivo geral de analisar o comportamento da luz natural no ambiente construído, quando aplicados elementos de proteção solar em aberturas laterais, a pesquisa visou caracterizar a admissão e distribuição do fluxo luminoso pelo ambiente, através da análise nas diferentes parcelas de contribuição do fluxo luminoso.

Na discussão dos resultados buscou-se, primeiramente correlacionar à composição arquitetônica que forma o elemento de obstrução solar com as condições de iluminação natural no ambiente, a divisão por grupos de análise; e posteriormente avaliar o desempenho de cada solução quando submetida a diferentes formas de insolação, a divisão por modelos.

Como visto no capítulo anterior, nos grupos de análise buscou-se identificar alguma influência da composição de proteção solar e sua visibilidade da abóboda celeste nas condições de iluminação do ambiente, usando como parâmetro a variação da porcentagem de área da superfície superior do elemento de proteção solar que tem visibilidade pelo interior do ambiente. Nesta etapa da pesquisa também foi analisada a importância da refletância do elemento de proteção, usando a comparação entre os resultados que cada modelo obteve quando simulado com diferentes refletâncias no(s) elemento(s) de proteção.

A análise por desempenho dos modelos detinha-se no grau de altitude solar que permitia ou não a insolação direta no protetor solar, buscando identificar uma relação entre a forma de insolação em cada solução de proteção e as condições de iluminação no ambiente.

A seguir estas principais análises estão resumidas, apresentadas por objetivo de pesquisa, visando ressaltar tendências nos resultados obtidos.

5.1 A INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DE PROTEÇÃO SOLAR NAS CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO DO AMBIENTE

Como visto na descrição dos resultados, há sempre alguma alteração nas condições de iluminação do ambiente quando colocado elementos de proteção

solar. Em todos os grupos, o modelo desobstruído (SP) obteve valores de iluminância total (E_{tot}) e inicial (E_{ini}) maiores que os modelos com solução de proteção solar, o que caracteriza redução na admissão do fluxo luminoso pelo ambiente quando utilizado elementos de proteção solar na abertura.

Apesar da admissão de fluxo ser reduzida, foi registrado semelhanças na admissão do fluxo luminoso inicial (E_{ini}) entre os modelos, não só quanto à distribuição como também à magnitude. A distribuição deste fluxo ocorre de forma muito similar em todos os modelos, sempre uma grande concentração de fluxo na região perto da janela (1), que é reduzida no decorrer da profundidade da sala. Foram registrados valores muito próximos entre os modelos nesta parcela do fluxo, afirmando o potencial de bloquear a mesma parcela de fluxo admitido.

Portanto, pode ser afirmado que entre as soluções de proteção apresentadas, a admissão e distribuição de fluxo inicial são praticamente iguais, ou seja, ao variar a composição, mas não a angulação de obstrução da solução de proteção solar, a iluminação inicial admitida pelo ambiente permanece praticamente igual.

Quanto à parcela de fluxo refletido (E_{rf}), foi observado que há forte capacidade de ser utilizada a proteção solar para auxiliar na distribuição do fluxo luminoso. Observa-se quão representativa é essa mudança de direção do fluxo nos modelos com certa porcentagem de área visível (modelos 2P, 4P e 8P), onde foram registrados alguns resultados maiores que o modelo desobstruído, muitas vezes até excessivos, mais de 200% que o modelo SP, nesta parcela do fluxo luminoso. Apesar desta grande capacidade de redirecionar o fluxo ser mais caracterizada na região próxima a janela, também caracterizou certa influência na profundidade do ambiente.

A iluminância total (E_{tot}) apresentou nas condições finais de iluminação no ambiente, em todos os grupos, a maior queda no modelo 1P, que não possui área visível pelo interior, gradativamente foi sendo acrescentado fluxo nos modelos conforme foi acrescentado porcentagem de área visível na solução de proteção.

Sobre as condições gerais de iluminação dos modelos, pode-se dizer que os resultados obtidos salientam a capacidade de utilizar a solução de proteção como objeto de auxílio da iluminação natural nos ambientes construídos. Quanto à composição dos elementos de obstrução, pode ser notado claramente que a questão da porcentagem de área “visível” do protetor pelo interior do ambiente tem

validade: quanto maior área desta foi apresentada na solução, foram obtidos melhores resultados tanto de magnitude, como de distribuição do fluxo.

Deve-se considerar que não foi levada em conta a diferença entre as refletâncias do piso e protetor, já que o modelo desobstruído recebe o fluxo inicial na superfície do piso, que possui refletância de 40%, e os modelos com elementos de proteção recebem este fluxo com a superfície do protetor, que tem 85% de refletância, figura 58. Isto pode ser notado quando analisado o modelo SP, onde registrou-se altos valores na região próxima a abertura (1) que apesar de ser subtraída a parcela referente a iluminância direta do Sol (Esol) apresentou forte influência de iluminação refletida pelas superfícies internas do ambiente.

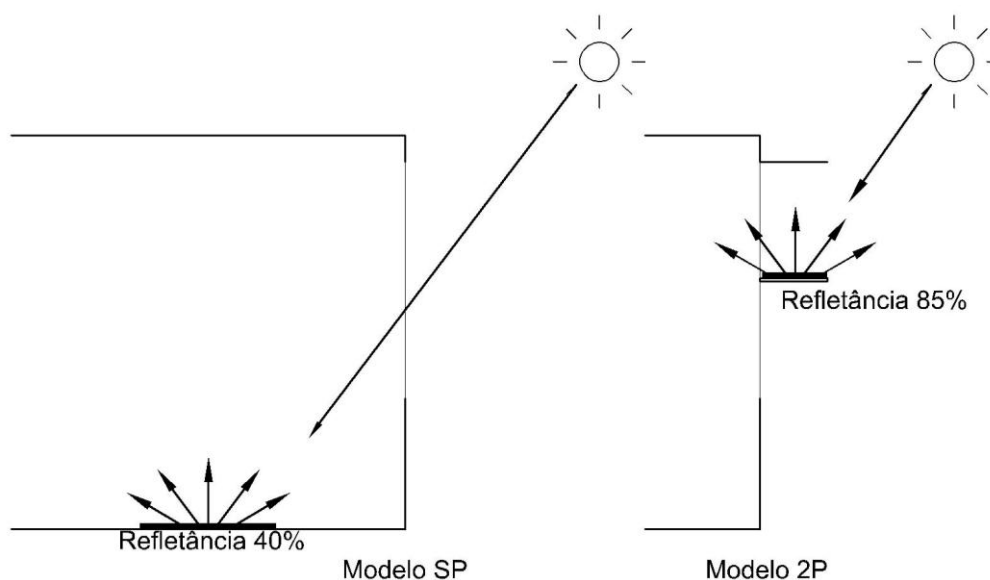


Figura 58 – Esquema de incidência do fluxo luminoso, modelos SP e 2P.

Vale salientar também, que nos grupos com insolação direta (grupos 1 e 2) foram subtraídos os valores obtidos de iluminância direta do Sol (Esol), portanto ao aplicar este modelo (SP) em situações reais, onde as parcelas não podem ser separadas, será obtido um ambiente com demasiado fluxo luminoso, com forte propensão a ser um ambiente desconfortável visualmente, devido o ofuscamento visual.

5.2 INFLUÊNCIA DA REFLETÂNCIA DO PROTETOR SOLAR

A análise de influência da refletância do protetor solar, apresentada na etapa de análise por 'grupos de análise', onde cada modelo foi simulado com e sem

refletância do protetor, pôde caracterizar interferência da superfície deste elemento nas condições de iluminação em cada solução. Como a parcela de fluxo inicial é idêntica nas duas simulações de cada modelo, já que esta parcela não considera as reflexões entre as superfícies, apenas o fluxo incidente, esta característica ressaltou-se apenas nas avaliações dos fluxos total e refletido.

A superfície do protetor, principalmente quando está recebendo insolação direta (grupos 1 e 2), registra grande interferência na redistribuição do fluxo luminoso, atuando apenas na parcela de fluxo refletido. Vale salientar que a capacidade de reflexão destas superfícies do elemento também teve grande influência ao trabalhar apenas com o fluxo oriundo da abóboda celeste (grupo 3).

Apenas o modelo com 0% de área visível (1P), apresentou diferença quase nula entre as simulações, ou seja, com esta solução a troca de refletância do protetor não caracterizou influência nas condições de iluminação.

Os demais modelos registraram grande queda quando da troca desta refletância, em relação ao fluxo total foi registrado maior diferença no modelo 8P do grupo 1, mais de 40% entre o modelo com e sem refletância.

Ressalta-se que dependendo da solução de proteção, ao negligenciar a refletância do protetor podem ser obtidos valores ainda menores que o modelo 1P, o qual obteve os piores resultados. Mesmo que esta diferença seja bem pequena, salienta-se que ao escolher soluções de proteção solar com qualquer porcentagem de área visível pelo interior devem ser questionadas as características desta superfície, visando obter o melhor funcionamento deste artifício arquitetônico, independente da forma de insolação no ambiente.

5.3 INFLUÊNCIA DA INSOLAÇÃO NO DESEMPENHO DOS MODELOS

A análise de cada modelo e seu desempenho nos grupos buscou mapear o comportamento de cada solução no decorrer de diferentes formas de incidência solar e visualização da abóboda celeste. Esta divisão foi feita baseada também na escolha dos grupos de análise, por porcentagem de área da superfície superior insolada.

Inicialmente observou-se que ao aumentar a altitude solar, diminuindo assim a porcentagem de área insolada, foi diminuída a magnitude de fluxo admitido.

Quanto à distribuição, os modelos apresentaram praticamente a mesma forma de distribuição das parcelas inicial e total do fluxo, independente da insolação do protetor.

Apenas na parcela de iluminância refletida todos os modelos tendem a ter a distribuição de forma mais constante com o aumento da altitude solar, ou seja, no momento que o fluxo intenso da radiação solar direta não trabalha com o ambiente, isto ocorreu inclusive no modelo desobstruído (SP).

Quando foram feitas as comparações dos resultados pela porcentagem de fluxo mantida em relação ao modelo SP de cada grupo, nota-se que a seqüência crescente de resultados é invertida. Apesar dos resultados em magnitude decrescerem dos grupos com maior porcentagem de área insolada para os de menor área insolada (grupo 1 para 3); foram registradas maiores porcentagens de fluxo mantido do modelo desobstruído nos modelos com menor porcentagem de área insolada, 0% de área insolada (grupo 3), afirmando que ao ser retirada a incidência solar direta os protetores têm maior influência na distribuição da iluminação admitida.

Esta ocorrência do grupo 3, além de caracterizar a capacidade de reflexão das superfícies do protetor também para o fluxo oriundo da abóboda celeste, evidencia a forte queda de admissão do fluxo pelo modelo desobstruído (SP), caracteriza ainda menor variação entre os modelos com e sem sistema de proteção solar com esta forma de insolação. Este grupo comporta-se semelhante às condições de céu nublado.

Portanto pode-se afirmar que há uma redução do fluxo admitido pelos modelos, quando for reduzida a insolação direta nos protetores. Mas também é caracterizada certa tendência a reduzir a perda do fluxo admitido pelo modelo desobstruído, quando também é reduzida a incidência solar direta.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podem-se resumir as considerações desta pesquisa conforme a lista abaixo:

1. O fluxo luminoso admitido é reduzido ao aplicar-se qualquer sistema de proteção solar;

2. O fluxo luminoso pode ser redirecionado utilizando as superfícies de proteção como elementos de auxílio, compondo a partir do sistema sugerido por porcentagem de área visível, alterando também o alcance do fluxo em profundidades maiores;
3. A refletância do elemento de proteção tem maior influência nas soluções com certa porcentagem de área visível, em contrapartida quando opta-se pela solução com apenas um elemento de proteção, a refletância deste praticamente não altera as condições luminosas do ambiente;
4. O fluxo luminoso admitido é reduzido em todos os modelos quando submetido a altitudes solares mais altas, ou seja, quando é reduzida a porcentagem de área insolada nos protetores;
5. Os modelos tendem a ter distribuição do fluxo parecida em todos os momentos de insolação;
6. Confirma-se também a reflexão do fluxo luminoso oriundo apenas da abóboda celeste pelas soluções com porcentagem de área visível;
7. As soluções apresentadas quando submetidas a 0% de insolação, tendem a ter distribuição e admissão mais parecida com o modelo desobstruído.

Mesmo com esta comprovação de redirecionamento do fluxo luminoso, a ocorrência de acréscimo do fluxo admitido quando comparado o modelo com 1P com os demais, também pode ter sido alterada devido à faixa de visibilidade da abóboda celeste pelo interior do ambiente, figura 59. Ao alterar a solução arquitetônica, também foi alterada a forma como incide este fluxo, não tão brilhante como o fluxo direto do Sol, mas que tem grande valia na iluminação dos ambientes internos. Nas análises das máscaras solares, observou-se que quando a superfície do protetor foi sendo diminuída, ao seja, nas soluções com maior número de elementos, atingiu-se áreas mais brilhosas no campo visual do ponto em análise, chegando mais próximo ao Sol.

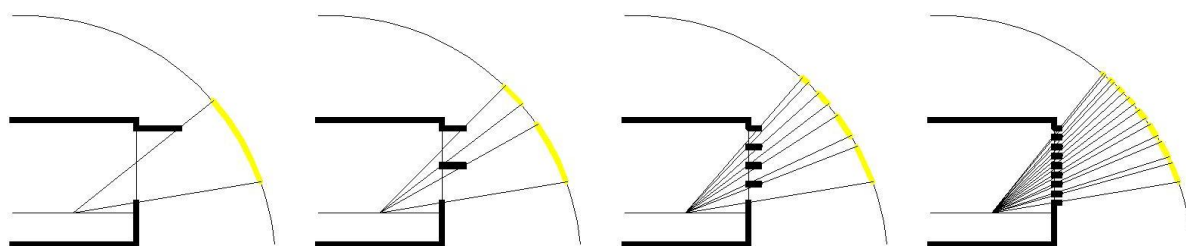


Figura 59 - Esquema de visualização da abóboda pelos modelos.

No início da pesquisa foi sugerida também a análise de elementos de proteção solar verticais, através do mesmo método, porém devido o tempo e a quantidade de dados das análises de protetores horizontais, foi verificado que o fenômeno investigado pode ser semelhante. Ou seja, pela análise da captação e distribuição do fluxo por elementos de proteção horizontais, é entendido que a forma de captação e distribuição por elementos verticais ocorrerá similarmente, só que ao invés da reflexão ocorrer principalmente para o teto, esta ocorrerá para parede oposta à incidência solar direta no protetor vertical, conforme figura 60.

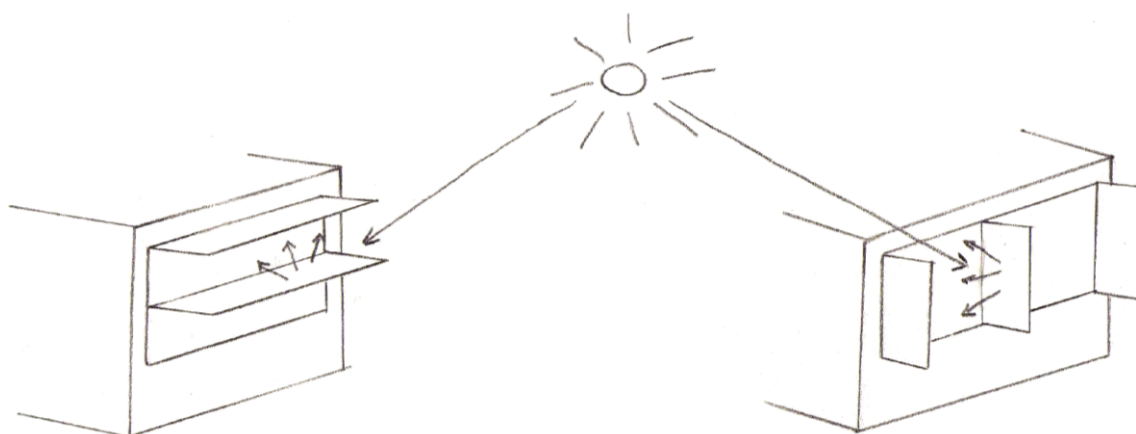


Figura 60 – Esquema de redirecionamento do fluxo com protetores horizontais e verticais.

Portanto, sugere-se que ao fazer uso desta metodologia de aplicação de protetores solares, porcentagem de área 'visível', deve-se atentar para a superfície interna que receberá este primeiro redirecionamento do fluxo, no caso de protetores horizontais esta superfície é o teto, e no caso de protetores verticais esta superfície será a parede oposta ao elemento que recebe a insolação direta. Estas superfícies deverão ter alta refletância, favorecendo a reflexão do fluxo recebido pelo elemento de proteção, seja ele horizontal ou vertical.

As condições escolhidas para estas análises podem ter limitado boa parte da observação do fenômeno investigado, porém a pesquisa pode ser considerada válida no intuito de orientar o uso dos elementos de proteção solar, salientando que estes podem trabalhar não somente com a redução de ganhos térmicos, como também podem ser auxiliares na admissão e distribuição da iluminação natural nos ambientes construídos de formas diferenciadas.

Pode-se concluir que as soluções com maiores porcentagens de área visível apresentam melhores resultados, porém suas superfícies, principalmente quando

insoladas podem ser consideradas fontes de ofuscamento, o que deve ser levado em conta no projeto.

5.4.1 Recomendações a Trabalhos Futuros

A partir desta pesquisa podem ser sugeridos novos trabalhos que visem complementar e até continuar a análise apresentada, tais como:

- comparar o ganho térmico e as condições de iluminação de cada solução de proteção solar apresentada;
- investigar a forma como outras superfícies do ambiente se comportam quando anexados estes elementos de proteção, como teto e paredes;
- aplicar refletâncias diferenciadas nos protetores e/ou nas superfícies internas para investigar correlações;
- aplicar a mesma metodologia em outras soluções: com protetores solares de diferentes tamanhos, ou protetores verticais e/ou combinados, variando orientações;
- desenvolver técnicas para se projetar considerando a visibilidade externa e interna do protetor.

5.4.2 Limitações da Pesquisa

As principais limitações encontradas no desenvolvimento desta dissertação podem ser elencadas como primeiramente a montagem de um ambiente hipotético, e uma enorme faixa de possibilidades que este ambiente pode ter. Com isso veio as simulações e seus parâmetros, ao serem definidos as características da análise deparou-se com fórmulas complexas de cálculos matemáticos. E por fim a quantidade de dados obtidos e o incansável trabalho de tratamento.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 5413: Iluminância de Interiores-terminologia**. Rio de Janeiro, mai.1991.
- AIZLEWOOD, M. E. ***Innovative daylighting systems: an experimental evaluation***. *Lighting Resource Technology*. Vol. 25, pag. 141–152. 1993.
- ALMEIDA, Francisco J.J. ***Contribution to the definition of design and control strategies for sunbreakers***. PLEA 2001. *The 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, vol. 1, p. 93-97. Florianópolis, 2001.
- AMARAL, Maria G.V. **Iluminação Natural: Revisão da Legislação Construtiva de Florianópolis**. 1999. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- ANDERSEN, Marilynne, BOER, Jan de. ***Goniophotometry and assessment of bidirectional photometric properties of complex fenestration systems***. *Energy and Buildings* 38 (2006), pag. 836–848.
- ATANASIO, Veridiana; PEREIRA, Fernando O. R.; PEREIRA, Alice T.C. ***Experimental Laboratory for Teaching Architecture Lighting in a Virtual Learning Environment***. PLEA 2006. *The 23th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Geneva, 2006.
- BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STTEMERS, K. ***Daylighting in Architecture – a European Reference Book***. Commission of the European Communities, Directorate – General XII for Science Research and Development, London: James & James Ltd, 1993.
- BARBOSA, Eliane; PORTO, Maria Maia. **Arquitetura moderna – permeabilidade visual através de soluções de fachada**. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2004, Anais ENCAC. Maceió, 2005.
- BASSO, Admir, ARGOUT, Daniel Matoso. **Avaliação do desempenho de sistemas de controle de insolação e sua interferência na iluminação natural**. IV Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído. Anais. Salvador, BA, 1997.
- BITTENCOURT, Leonardo. **Uso das Cartas Solares: diretrizes para arquitetos**. 4ª ed. Edufal, Maceió, 2004. 109p.
- BITTENCOURT, Leonardo S.; MACHADO, Isabela B. L.; BARBIRATO, Gianna M. ***Shading and daylighting performance of perforated blocks***. PLEA 2001. *The 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, vol. 1, p. 347-351. Florianópolis, 2001.
- BODART, M. and HERDE, A. de. ***Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting***. *Energy and Buildings* 34 (2002) 421 – 429.
- BOER, Jan de. ***Modelling indoor illumination by complex fenestration systems based on bidirectional photometric data***. *Energy and Buildings*, vol. 38 (2006), pag. 849 - 868.
- BOGO, Amilcar Jose. **Método para Avaliação da Admissão de Luz Natural Através de Aberturas com Elementos de Controle Solar**. 2007. 308 p. Tese (Doutorado em

Engenharia Civil) – Curso de Pós - Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BONATES, Mariana Fialho; SILVA, Luis Bueno da. **Análise da influência do projeto arquitetônico no conforto lumínico – Estudo De Caso**. João Pessoa, Paraíba. PIBIC/CNPq – UFPb, 2004. (Texto Técnico)

BOURGEOIS, Denis, REINHART, Christoph, and MACDONALD, Iain. **Adding advanced behavioural models in whole building energy simulation: A study on the total energy impact of manual and automated light control**. *Energy and Buildings*, vol. 38 (2006), pag. 814 - 823.

BROWNLEE, David B. e LONG, David G. De. **Louis I. Kahn: In the Realm of Architecture**. Ed Universe – New York, NY 1997.

CABEZA, Jose M.; ALMODOVAR, Jose M; GARCIA, Marta. **The quest for daylight: evolution of domes in South-American Baroque**. PLEA 2001. *The 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, vol. 1, p. 161-168. Florianópolis, 2001.

CABÚS, Ricardo. **Troplux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações**. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2004, Anais ENCAC. Maceió, 2005.

CABÚS, Ricardo. **Análise do desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital em função da distribuição de iluminâncias**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis – Brasil, 1997.

CALEIDOSCÓPIO. **Site de Trabalhos já realizados na Disciplina Tecnologia da Edificação I - Arq5661 (UFSC) - Brises**. Disponível em: <http://www.arq.ufsc.br/arq5661/apresentacao.htm> Acesso em 09/11/2008.

CÂNDIDO, Christhina; TORRES, Simone; CABÚS, Ricardo. **Análise da utilização de prateleiras de luz em edifício de pesquisas da UFAL, Maceió-AL**. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2004, Anais ENCAC. Maceió, 2005.

CANZIANI, R.; PERON, F. and ROSSI, G. **Daylight and energy performances of a new type of light pipe**. *Energy and Buildings* 36 (2004) pag. 1163 – 1176.

CARTER, DJ. **The measured and predicted performance of passive solar light pipe systems**. *Lighting Res. Technol.* 34,1 (2002) pag. 39–52

CIE Standard General Skies - **Spatial distribution of daylight -CIE standard general sky**. *Commission Internationale de L'Eclairage, Publication CIE*. Vienna, 2003.

CLARO, Anderson. **Modelo Vetorial Esférico para Radiosidade aplicado à Iluminação Natural**. Florianópolis, 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, 1998.

CLARO, Anderson; PEREIRA, Alice T. C.; ATANASIO, Veridiana; PEREIRA, Fernando O. R. **Experimentando a luz natural através da simulação computacional em edificações históricas**. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2003, Anais ENCAC. Curitiba, 2003.

CLARO, Anderson; PEREIRA, Fernando R. O.; LEDO, Rafael Z. ***Apolux - An Innovative Computer Code for Daylight Design and Analysis in Architecture and Urbanism.*** *Building Simulation 2005. Ninth International IBPSA Conferenc.* Montreal, 2005.

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

DIDONÉ, Evelise Leite; BITTENCOURT, Leonardo Salazar. **Avaliação do desempenho de diferentes configurações de protetores solares na iluminação natural de salas de aula.** Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Anais ENTAC. Florianópolis, 2006.

FLICKR. **Edifício Centro de Artes e Comunicação. Universidade Federal de Pernambuco.** Disponível em < flickr.com/photos/83293410@N00/2523870289> Acesso em 10 de nov. 2008.

FLORIANÓPOLIS. Lei Complementar, nº60. **Código de Obras e Edificações.** Secretaria Municipal de Urbanismo e Serviços Públicos da Prefeitura Municipal de Florianópolis (SUSP). Florianópolis, 11 de maio de 2000.

FONSECA, Raphaela Walger da. **A Influência das Reflexões Internas na Iluminação Natural no Ambiente Construído.** Florianópolis, 14 de dezembro de 2007, 167p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFSC, 2007

FREIRE, Márcia Rebouças. **A luz no ambiente construído.** Salvador: FAUFBA/LACAM. 1997.

GHISI, Eneidir, and TINKERB, John A. ***An Ideal Window Area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings.*** *Building and Environment* 40 (2005) 51 - 61.

GOULART, Chrystianne. **Janela - elemento do ambiente construído. Uma abordagem psicológica da relação 'homem-janela'.** Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 1997.

GRAZIANO JUNIOR, Sigfrido Francisco Carlos Giardino. **Estudo de redirecionamento da luz natural utilizando equipamento tipo 'lightsheif'.** Florianópolis, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2000.

GRAZIANO JR, Sigfrido F. C. G.; PEREIRA, Fernando O.R. ***Simulation of innovate elements for improving daylight admission in high building densitt situation.*** PLEA 2001. *The 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, vol. 2, p. 845-846. Florianópolis, 2001.

IES - Daylighting Committee. ***Recommended practice of daylighting.*** *Lighting Design & Application.* New York: 1979. p25-61.

KIDDER-SMITH, G. E. 2006. Disponível em <www.archinform.net> Acesso em 23 de jun. 2006.

KREMER, Adriano. **A influência de elementos de obstrução solar no nível e na distribuição interna de iluminação natural: Estudo de caso em protótipo escolar de**

Florianópolis. Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 2002.

KUHN, Tilmann E. **Solar control: A general evaluation method for facades with venetian blinds or other solar control systems.** *Energy and Buildings* 38 (2006) pag. 648–660

LAAR, Michael. **Light and shadow – an analysis of daylighting and shadowing systems for the tropics.** PLEA 2001. *The 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture.* Florianópolis, 2001.

LAMBERTS, Roberto, DUTRA, Luciano, PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 2ª ed. ProLivros, São Paulo, 2004.

LEDER, Solange M.; PEREIRA, Fernando O. R.; CLARO, Anderson; RAMOS, Marcelo G. **Impact of urban design on daylight availability.** PLEA 2006. *The 23th International Conference on Passive and Low Energy Architecture.* Geneva, 2006.

LEDER, Solange; PEREIRA, Fernando O. R.; CLARO, Anderson. **Janela de céu preferível: proposição de um parâmetro para controle da disponibilidade de luz natural no meio urbano.** Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Anais ENTAC. Porto Alegre, 2008. Vol. 8, pag. 89-104.

LEE, Alexandre Simon; WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto. **Verificação da Eficiência Energética de um edifício de escritórios através de simulação computacional: Estudo de Caso no Departamento de Engenharia Civil da UFSC.** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2001, Anais ENCAC. Promoção ANTAC.

LEITE, Juliano Silva de Vasconcelos. **Análises de elementos arquitetônicos de proteção solar em edificações institucionais na cidade de Natal – Diretrizes de projeto.** Natal: UFRN, 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU). Centro de Tecnologia. UFRN, 2003.

LITTLEFAIR, Paul. **Daylighting and solar control in the building regulations.** UK: BRE, 1999.

LITTLEFAIR, Paul. **Daylight, sunlight and solar gain in the urban Environment.** *Solar Energy* Vol. 70, No. 3, pag. 177–185, 2001.

MAAMARI, Fawaz, ANDERSEN, Marilynne, BOER, Jan de, CARROLL, William L., DUMORTIER, Dominique, GREENUP, Phillip. **Experimental validation of simulation methods for bi-directional transmission properties at the daylighting performance level.** *Energy and Buildings* 38 (2006), pag. 878–889.

MACEDO, Catharina Cavalcante de. **Análise do desempenho térmico e luminoso de sistemas de iluminação natural que utilizam a luz direta do Sol.** Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 2002.

MOORE, F. **Concepts and practice of architecture daylighting.** NewYork: Van Nostrand Reinhold, 1991.

NABIL, Azza, and MARDALJEVIC, John. **Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors.** *Energy and Buildings* (30), 2006. pag. 905 – 913.

NISSOLA, Liliane Janine. **A Influência da Luz Natural na Probabilidade de Ocorrência de Ofuscamento em Ambientes com Terminais de Vídeo um Estudo de Caso.** 2005. 205 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Curso de Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

OAKLEY, G.; RIFFAT, S. B. and SHAO, L. **Daylight performance of lightpipes.** *Solar Energy* Vol. 69, No. 2, pp. 89–98, 2000.

OETZEL, Marcus; SCHUSTER, Heide G. **Testing - Innovative daylight and shading systems.** PLEA 2001. *The 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, vol. 2, p. 909 e 910. Florianópolis, 2001.

ONAYGIL, Sermin, and GÜLLER, Önder. **Determination of the energy saving by daylight responsive lighting control system with an example from Istanbul.** *Building and Environment* 38 (2003), pag. 973 – 977.

ROBBINS, Claude L. **Daylighting, design and analysis.** New York: An Nostrand Reinhold Company, 1986. 325 p.

SAMPACENTRO. **Edifício Copan.** Disponível em <<http://sampacentro.terra.com.br/>> Acesso em 10 de nov. 2008.

SANTIAGO, Toma´s Claros; SOLER, Alfonso. **Indoor Daylight Climate-Comparison Between Light Shelves And Overhang Performances In Madrid For Hours With Unit Sunshine Fraction And Realistic Values Of Model Reflectance.** *Solar Energy* Vol. 71, pag. 233-239, 2001.

SHARPLES, S. and LASH, D. **Reflectance distributions and vertical daylight illuminances in atria.** *Lighting Res. Technol.* 36,1 (2004) pag. 45–57

SOUZA, Marcos Barros de. **Impacto da luz natural no consumo de energia elétrica em um edifício de escritórios em Florianópolis.** Florianópolis, 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 1995.

SOUZA, R. V. G. **Iluminação natural em edificações: cálculo de iluminância internas – desenvolvimento de ferramenta simplificada e sua aplicação à legislação construtiva.** 1997. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós - Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SOUZA, Marcos Barros de. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica.** Florianópolis, 2003. 208p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

SVENDENIUS, Nils, PERTOLA, Peter. **Searching for useful lighting desing software: developing technical specifications based on real needs.** In: *3rd European Conference on Energy-Efficient Lighting.* Proceedings... New Castle: Northern Eletric, v. 1, p. 19-24, 18-21 jun. 1995.

TREGENZA P.R. **Daylighting Algorithms.** *School of Architectural Studies- University of Sheffield.* U.K.,1993.

VIANNA, Nelson Solano. GONÇALVES, Joana Carla Soares. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo, SP: Virtus s/c Ltda, 2001. 378 p.

YAMAMOTO, Isabel, KRÜGER, Eduardo, DUMKE, Eliane. **Avaliação do potencial de prateleiras de luz na redução do consumo de energia elétrica em ambientes escolares**. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. Depto Construção Civil. CEFET – Paraná.

ZEILMANN, Solange Maria Leder. **Iluminação natural por aberturas zenitais com elementos de controle**. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - PEPS, UFSC, 1999.

APÊNDICE A

Cálculo das latitudes, utilizando as fórmulas de Treguenza (1993):

Para Equinócio – 21/03

Hora Solar – 12hr

Orientação - Norte

Altitude Solar:

- 100% insolado – 60°
- 50% insolado – 73,90°
- 0% insolado – 89,9°Sul

Solar declination [δ_s]

$$\delta_s = [0,006918 - 0,399912 \cos \tau_d + 0,070257 \sin \tau_d - 0,006758 \cos 2 \tau_d + 0,000907 \sin 2 \tau_d - 0,002697 \cos 3 \tau_d + 0,001480 \sin 3 \tau_d]$$

Equação 4

$$\tau_d = 2 \pi (J - 1) / 365$$

Equação 5

$$J = 1 (01/01) \text{ e } 365 (31/12) * \text{ fev. } 28 \text{ days}$$

Equação 6

$$* \tau_d = 2 \pi (80 - 1) / 365$$

$$\tau_d = 1,359922299 \text{ radians}$$

$$* J = [\text{jan } (31) + \text{fev } (28) + \text{mar } (21)]$$

$$J = 80 \text{ day number}$$

$$* \delta_s = -0,001146591734 \text{ radians}$$

Equation of Time [ET]

$$ET = 0,17 \sin [4 \pi (J - 80) / 373] - 0,129 \sin [2 \pi (J - 80) / 365] \quad \text{Equação 7}$$

* **ET = 0 hours**

True Solar Time [TST]

$$TST = LT + [(\lambda_s^0 - \lambda^0) / 15] + ET - TD \quad \text{Equação 8}$$

* LT = Local Clock Time (hours of midnight)

λ_s^0 = Longitude of Standard Meridian

λ^0 = Longitude of Site (positive West of Greenwich)

ET = Equation of Time

TD = Summer time (positive when the clock time later than standard)

$$* TST = 12 + [(0 + 0) / 15] + 0 - 0$$

TST = 12 hr

Hour Angle [ξ]

$$\xi = (\pi / 12) TST \quad \text{Equação 9}$$

* **$\xi = \pi$ radians**

Solar altitude [Y] – Latitude [φ]

$$\sin Y_s = \sin \varphi \sin \delta_s - \cos \varphi \cos \xi \cos \delta_s \quad \text{Equação 10}$$

* Y = Solar Altitude

φ = Latitude of Site (positive north of equator)

δ_s = Solar Declination

$$* \sin Y_s = \sin \varphi \sin \delta_s - \cos \varphi (- 1) \cos \delta_s$$

$$\sin Y_s = \sin \varphi \sin \delta_s + \cos \varphi \cos \delta_s$$

$$\sin Y_s = - 0,001146591483 \sin \varphi + 0,999999342 \cos \varphi$$

$$\{ - 0,999998684 \sin^2 \varphi - 0,002293182966 \sin (Y_s) \sin \varphi + [0,999998684 - \sin^2 (Y_s)] \} = 0$$

- **Grupo 1 – 100% insolado – Altitude Solar $60^\circ = \pi / 3$ radians:**

$$\{ - 0,999999998 \sin^2 \varphi - 0,002293182966 \sin (\pi / 3) \sin \varphi + [0,999998684 - \sin^2 (0,999998684)] \} = 0$$

$$\varphi^1 = - 0, 542618041 \text{ radians} = 31^\circ 5' \text{Sul}$$

$$\varphi^2 = 0,540300593 \text{ radians} = 30^\circ 57' \text{Norte}$$

- **Grupo 2 – 50% insolado – Altitude Solar $73,90^\circ = 1,289798317$ radians:**

$$\{ - 0,999999998 \sin^2 \varphi - 0,002293182966 \sin (1,289798317) \sin \varphi + [0,999998684 - \sin^2 (1,289798317)] \} = 0$$

$$\varphi^1 = - 0,282144599 \text{ radians} = 16^\circ 10' \text{Sul}$$

$$\varphi^2 = 0,279851414 \text{ radians} = 16^\circ 2' \text{Norte}$$

- **Grupo 3 – 0% insolado – Altitude Solar $89,90^\circ \text{S} = 1,572541656$ radians:**

$$\{ - 0,999999998 \sin^2 \varphi - 0,002293182966 \sin (1,572541656) \sin \varphi + [0,999998684 - \sin^2 (1,572541656)] \} = 0$$

$$\varphi^1 = - 0,002891540195 \text{ radians} = 0^\circ 10' \text{Sul}$$

$$\varphi^2 = 0,0005983567239 \text{ radians} = 0^\circ 2' \text{Norte}$$

APÊNDICE B

GRUPO 1 – 100% INSOLADO

- MODELO SP:

Tabela 2 – Resultados Grupo 1 – Modelo SP

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 5586 | 0 | 1657 | 3929 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 89185 | 77302 | 86240 | 2945 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 8559 | 0 | 5293 | 3266 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 6286 | 0 | 3008 | 3278 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 4857 | 0 | 1829 | 3028 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 3807 | 0 | 1164 | 2643 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 3016 | 0 | 789 | 2227 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 2401 | 0 | 553 | 1848 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 1935 | 0 | 401 | 1534 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 1586 | 0 | 296 | 1290 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 1340 | 0 | 227 | 1113 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 1173 | 0 | 174 | 999 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 1101 | 0 | 141 | 960 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 1159 | 0 | 112 | 1047 |
| MÉDIAS | | | 3906.357 | | 1755.857 | 2150.5 |

- MODELO 1P 85%:

Tabela 3 - Resultados Grupo 1 – Modelo 1P 85%.

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 528 | 0 | 99 | 429 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 4650 | 0 | 4266 | 384 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 3178 | 0 | 2749 | 429 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 2221 | 0 | 1769 | 452 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 1622 | 0 | 1169 | 453 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 1235 | 0 | 797 | 438 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 980 | 0 | 566 | 414 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 798 | 0 | 411 | 387 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 663 | 0 | 302 | 361 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 569 | 0 | 228 | 341 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 511 | 0 | 183 | 328 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 469 | 0 | 140 | 329 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 475 | 0 | 115 | 360 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 577 | 0 | 93 | 484 |
| MÉDIAS | | | 1319.714 | | 920.5 | 399.2143 |

- MODELO 1P 0%:

Tabela 4 - Resultados Grupo 1 – Modelo 1P 0%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|------------|--------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 502 | 0 | 99 | 403 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 4616 | 0 | 4266 | 350 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 3158 | 0 | 2749 | 409 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 2209 | 0 | 1769 | 440 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 1614 | 0 | 1169 | 445 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 1230 | 0 | 797 | 433 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 977 | 0 | 566 | 411 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 795 | 0 | 411 | 384 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 661 | 0 | 302 | 359 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 568 | 0 | 228 | 340 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 510 | 0 | 183 | 327 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 468 | 0 | 140 | 328 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 474 | 0 | 115 | 359 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 576 | 0 | 93 | 483 |
| MÉDIAS | | | 1311.286 | | 920.5 | 390.7857 |

- MODELO 2P 85%:

Tabela 5 - Resultados Grupo 1 – Modelo 2P 85%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | ErfI (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 2212 | 0 | 24 | 2188 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 6768 | 0 | 3333 | 3435 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 5533 | 0 | 2761 | 2772 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 3984 | 0 | 1876 | 2108 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 2855 | 0 | 1253 | 1602 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 2089 | 0 | 860 | 1229 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 1580 | 0 | 602 | 978 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 1239 | 0 | 439 | 800 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 1000 | 0 | 327 | 673 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 828 | 0 | 245 | 583 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 717 | 0 | 194 | 523 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 647 | 0 | 154 | 493 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 628 | 0 | 122 | 506 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 710 | 0 | 95 | 615 |
| MÉDIAS | | | 2199.286 | | 877.5 | 1321.786 |

- MODELO 2P 0%:

Tabela 6 - Resultados Grupo 1 – Modelo 2P 0%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|------------|--------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 407 | 0 | 24 | 383 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 3673 | 0 | 3333 | 340 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 3159 | 0 | 2761 | 398 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 2307 | 0 | 1876 | 431 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 1691 | 0 | 1253 | 438 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 1288 | 0 | 860 | 428 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 1009 | 0 | 602 | 407 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 822 | 0 | 439 | 383 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 686 | 0 | 327 | 359 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 585 | 0 | 245 | 340 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 521 | 0 | 194 | 327 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 482 | 0 | 154 | 328 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 482 | 0 | 122 | 360 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 575 | 0 | 95 | 480 |
| MÉDIAS | | | 1263.357 | | 877.5 | 385.8571 |

- MODELO 4P 85%:

Tabela 7 - Resultados Grupo 1 – Modelo 4P 85%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 3383 | 0 | 7 | 3376 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 8516 | 0 | 3037 | 5479 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 6852 | 0 | 2773 | 4079 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 4905 | 0 | 1907 | 2998 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 3487 | 0 | 1278 | 2209 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 2535 | 0 | 873 | 1662 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 1892 | 0 | 607 | 1285 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 1472 | 0 | 441 | 1031 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 1169 | 0 | 329 | 840 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 955 | 0 | 239 | 716 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 821 | 0 | 189 | 632 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 738 | 0 | 161 | 577 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 703 | 0 | 118 | 585 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 795 | 0 | 100 | 695 |
| MÉDIAS | | | 2730.214 | | 861.3571 | 1868.857 |

- MODELO 4P 0%:

Tabela 8 - Resultados Grupo 1 – Modelo 4P 0%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 378 | 0 | 7 | 371 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 3367 | 0 | 3037 | 330 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 3161 | 0 | 2773 | 388 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 2328 | 0 | 1907 | 421 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 1707 | 0 | 1278 | 429 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 1292 | 0 | 873 | 419 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 1007 | 0 | 607 | 400 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 818 | 0 | 441 | 377 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 683 | 0 | 329 | 354 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 574 | 0 | 239 | 335 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 513 | 0 | 189 | 324 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 486 | 0 | 161 | 325 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 475 | 0 | 118 | 357 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 580 | 0 | 100 | 480 |
| MÉDIAS | | | 1240.643 | | 861.3571 | 379.2857 |

- MODELO 8P 85%:

Tabela 9 - Resultados Grupo 1 – Modelo 8P 85%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 5186 | 0 | 3 | 5183 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 9634 | 0 | 2773 | 6861 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 7604 | 0 | 2653 | 4951 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 5540 | 0 | 1873 | 3667 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 3984 | 0 | 1255 | 2729 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 2905 | 0 | 855 | 2050 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 2168 | 0 | 596 | 1572 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 1684 | 0 | 439 | 1245 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 1322 | 0 | 316 | 1006 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 1076 | 0 | 234 | 842 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 918 | 0 | 189 | 729 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 813 | 0 | 158 | 655 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 773 | 0 | 121 | 652 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 847 | 0 | 94 | 753 |
| MÉDIAS | | | 3175.286 | | 825.6429 | 2349.643 |

- MODELO 8P 0%:

Tabela 10 - Resultados Grupo 1 – Modelo 8P 0%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 356 | 0 | 3 | 353 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 3090 | 0 | 2773 | 317 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 3026 | 0 | 2653 | 373 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 2277 | 0 | 1873 | 404 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 1668 | 0 | 1255 | 413 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 1260 | 0 | 855 | 405 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 983 | 0 | 596 | 387 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 805 | 0 | 439 | 366 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 660 | 0 | 316 | 344 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 561 | 0 | 234 | 327 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 505 | 0 | 189 | 316 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 477 | 0 | 158 | 319 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 471 | 0 | 121 | 350 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 559 | 0 | 94 | 465 |
| MÉDIAS | | | 1192.714 | | 825.6429 | 367.0714 |

APÊNDICE C

GRUPO 2 – 50% INSOLADO

- MODELO SP:

Tabela 11 - Resultados Grupo 2 – Modelo SP

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|------------|-----------------|-------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 5249 | 0 | 2464 | 2785 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 8610 | 0 | 6801 | 1809 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 5601 | 0 | 3675 | 1926 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 3956 | 0 | 2089 | 1867 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 2962 | 0 | 1278 | 1684 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 2273 | 0 | 819 | 1454 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 1786 | 0 | 558 | 1228 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 1424 | 0 | 393 | 1031 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 1158 | 0 | 287 | 871 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 962 | 0 | 213 | 749 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 825 | 0 | 164 | 661 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 734 | 0 | 126 | 608 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 703 | 0 | 102 | 601 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 755 | 0 | 81 | 674 |
| MÉDIAS | | | 2642.714 | | 1360.714 | 1282 |

- MODELO 1P 85%:

Tabela 12 - Resultados Grupo 2 – Modelo 1P 85%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 434 | 0 | 105 | 329 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 3337 | 0 | 3043 | 294 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 2301 | 0 | 1974 | 327 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 1615 | 0 | 1271 | 344 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 1183 | 0 | 840 | 343 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 904 | 0 | 573 | 331 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 719 | 0 | 407 | 312 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 588 | 0 | 296 | 292 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 490 | 0 | 218 | 272 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 422 | 0 | 165 | 257 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 380 | 0 | 133 | 247 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 349 | 0 | 102 | 247 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 355 | 0 | 84 | 271 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 430 | 0 | 68 | 362 |
| MÉDIAS | | | 964.7857 | | 662.7857 | 302 |

- MODELO 1P 0%:

Tabela 13 - Resultados Grupo 2 – Modelo 1P 0%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 414 | 0 | 105 | 309 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 3311 | 0 | 3043 | 268 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 2286 | 0 | 1974 | 312 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 1606 | 0 | 1271 | 335 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 1178 | 0 | 840 | 338 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 901 | 0 | 573 | 328 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 717 | 0 | 407 | 310 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 586 | 0 | 296 | 290 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 489 | 0 | 218 | 271 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 421 | 0 | 165 | 256 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 379 | 0 | 133 | 246 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 349 | 0 | 102 | 247 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 354 | 0 | 84 | 270 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 430 | 0 | 68 | 362 |
| MÉDIAS | | | 958.6429 | | 662.7857 | 295.8571 |

- MODELO 2P 85%:

Tabela 14 - Resultados Grupo 2 – Modelo 2P 85%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 1332 | 0 | 25 | 1307 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 4507 | 0 | 2403 | 2104 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 3655 | 0 | 1957 | 1698 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 2633 | 0 | 1327 | 1306 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 1899 | 0 | 888 | 1011 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 1402 | 0 | 611 | 791 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 1070 | 0 | 429 | 641 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 847 | 0 | 314 | 533 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 689 | 0 | 235 | 454 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 575 | 0 | 176 | 399 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 502 | 0 | 140 | 362 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 456 | 0 | 111 | 345 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 446 | 0 | 89 | 357 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 507 | 0 | 69 | 438 |
| MÉDIAS | | | 1465.714 | | 626.7143 | 839 |

- MODELO 2P 0%:

Tabela 15 - Resultados Grupo 2 – Modelo 2P 0%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | ErfI (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 317 | 0 | 25 | 292 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 2663 | 0 | 2403 | 260 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 2260 | 0 | 1957 | 303 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 1654 | 0 | 1327 | 327 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 1219 | 0 | 888 | 331 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 933 | 0 | 611 | 322 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 735 | 0 | 429 | 306 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 601 | 0 | 314 | 287 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 504 | 0 | 235 | 269 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 431 | 0 | 176 | 255 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 386 | 0 | 140 | 246 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 358 | 0 | 111 | 247 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 359 | 0 | 89 | 270 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 428 | 0 | 69 | 359 |
| MÉDIAS | | | 917.7143 | | 626.7143 | 291 |

- MODELO 4P 85%:

Tabela 16 - Resultados Grupo 2 – Modelo 4P 85%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-------------|------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 2080 | 0 | 7 | 2073 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 5613 | 0 | 2166 | 3447 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 4516 | 0 | 1952 | 2564 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 3239 | 0 | 1341 | 1898 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 2315 | 0 | 901 | 1414 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 1695 | 0 | 618 | 1077 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 1275 | 0 | 431 | 844 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 999 | 0 | 315 | 684 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 800 | 0 | 235 | 565 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 658 | 0 | 172 | 486 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 571 | 0 | 136 | 435 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 518 | 0 | 116 | 402 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 496 | 0 | 86 | 410 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 565 | 0 | 73 | 492 |
| MÉDIAS | | | 1810 | | 610.6429 | 1199.357 |

- MODELO 4P 0%:

Tabela 17 - Resultados Grupo 2 – Modelo 4P 0%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 289 | 0 | 7 | 282 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 2419 | 0 | 2166 | 253 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 2247 | 0 | 1952 | 295 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 1660 | 0 | 1341 | 319 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 1225 | 0 | 901 | 324 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 933 | 0 | 618 | 315 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 732 | 0 | 431 | 301 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 597 | 0 | 315 | 282 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 500 | 0 | 235 | 265 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 423 | 0 | 172 | 251 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 379 | 0 | 136 | 243 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 360 | 0 | 116 | 244 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 353 | 0 | 86 | 267 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 430 | 0 | 73 | 357 |
| MÉDIAS | | | 896.2143 | | 610.6429 | 285.5714 |

- MODELO 8P 85%:

Tabela 18 - Resultados Grupo 2 – Modelo 8P 85%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 3249 | 0 | 3 | 3246 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 6380 | 0 | 1966 | 4414 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 5051 | 0 | 1863 | 3188 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 3695 | 0 | 1313 | 2382 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 2676 | 0 | 883 | 1793 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 1966 | 0 | 604 | 1362 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 1478 | 0 | 423 | 1055 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 1155 | 0 | 313 | 842 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 911 | 0 | 226 | 685 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 746 | 0 | 169 | 577 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 639 | 0 | 136 | 503 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 570 | 0 | 115 | 455 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 545 | 0 | 88 | 457 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 600 | 0 | 68 | 532 |
| MÉDIAS | | | 2118.643 | | 583.5714 | 1535.071 |

- MODELO 8P 0%:

Tabela 19 - Resultados Grupo 2 – Modelo 8P 0%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 272 | 0 | 3 | 269 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 2208 | 0 | 1966 | 242 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 2147 | 0 | 1863 | 284 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 1619 | 0 | 1313 | 306 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 1194 | 0 | 883 | 311 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 909 | 0 | 604 | 305 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 713 | 0 | 423 | 290 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 586 | 0 | 313 | 273 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 484 | 0 | 226 | 258 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 413 | 0 | 169 | 244 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 373 | 0 | 136 | 237 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 353 | 0 | 115 | 238 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 350 | 0 | 88 | 262 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 415 | 0 | 68 | 347 |
| MÉDIAS | | | 859.7143 | | 583.5714 | 276.1428 |

APÊNDICE D

GRUPO 3 –0% INSOLADO

- MODELO SP:

Tabela 20 - Resultados Grupo 3 – Modelo SP

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 3130 | 0 | 2674 | 456 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 5071 | 0 | 4695 | 376 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 3032 | 0 | 2605 | 427 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 1967 | 0 | 1522 | 445 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 1385 | 0 | 950 | 435 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 1028 | 0 | 619 | 409 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 801 | 0 | 427 | 374 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 644 | 0 | 304 | 340 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 532 | 0 | 224 | 308 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 451 | 0 | 167 | 284 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 396 | 0 | 130 | 266 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 361 | 0 | 100 | 261 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 359 | 0 | 82 | 277 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 420 | 0 | 65 | 355 |
| MÉDIAS | | | 1398.357 | | 1040.286 | 358.0714 |

- MODELO 1P 85%:

Tabela 21 - Resultados Grupo 3 – Modelo 1P 85%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 367 | 0 | 106 | 261 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 2465 | 0 | 2231 | 234 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 1743 | 0 | 1483 | 260 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 1241 | 0 | 967 | 274 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 918 | 0 | 645 | 273 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 707 | 0 | 443 | 264 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 566 | 0 | 317 | 249 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 465 | 0 | 232 | 233 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 390 | 0 | 172 | 218 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 337 | 0 | 131 | 206 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 305 | 0 | 106 | 199 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 282 | 0 | 82 | 200 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 288 | 0 | 67 | 221 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 350 | 0 | 55 | 295 |
| MÉDIAS | | | 744.5714 | | 502.6429 | 241.9285 |

- MODELO 1P 0%:

Tabela 22 - Resultados Grupo 3 – Modelo 1P 0%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 351 | 0 | 106 | 245 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 2445 | 0 | 2231 | 214 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 1732 | 0 | 1483 | 249 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 1234 | 0 | 967 | 267 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 914 | 0 | 645 | 269 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 704 | 0 | 443 | 261 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 564 | 0 | 317 | 247 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 464 | 0 | 232 | 232 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 389 | 0 | 172 | 217 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 337 | 0 | 131 | 206 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 304 | 0 | 106 | 198 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 281 | 0 | 82 | 199 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 287 | 0 | 67 | 220 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 349 | 0 | 55 | 294 |
| MÉDIAS | | | 739.6429 | | 502.6429 | 237 |

- MODELO 2P 85%:

Tabela 23 - Resultados Grupo 3 – Modelo 2P 85%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 447 | 0 | 25 | 422 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 2309 | 0 | 1766 | 543 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 1936 | 0 | 1442 | 494 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 1428 | 0 | 991 | 437 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 1058 | 0 | 672 | 386 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 809 | 0 | 468 | 341 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 636 | 0 | 332 | 304 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 519 | 0 | 245 | 274 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 433 | 0 | 184 | 249 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 370 | 0 | 139 | 231 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 330 | 0 | 111 | 219 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 306 | 0 | 89 | 217 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 306 | 0 | 71 | 235 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 361 | 0 | 56 | 305 |
| MÉDIAS | | | 803.4286 | | 470.7857 | 332.6428 |

- MODELO 2P 0%:

Tabela 24 - Resultados Grupo 3 – Modelo 2P 0%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | ErfI (lux) |
|---------------|------|------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 257 | 0 | 25 | 232 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 1973 | 0 | 1766 | 207 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 1683 | 0 | 1442 | 241 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 1251 | 0 | 991 | 260 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 935 | 0 | 672 | 263 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 724 | 0 | 468 | 256 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 575 | 0 | 332 | 243 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 474 | 0 | 245 | 229 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 399 | 0 | 184 | 215 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 343 | 0 | 139 | 204 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 309 | 0 | 111 | 198 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 288 | 0 | 89 | 199 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 291 | 0 | 71 | 220 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 347 | 0 | 56 | 291 |
| MÉDIAS | | | 703.5 | | 470.7857 | 232.7142 |

- MODELO 4P 85%:

Tabela 25 - Resultados Grupo 3 – Modelo 4P 85%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 555 | 0 | 8 | 547 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 2353 | 0 | 1575 | 778 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 2067 | 0 | 1424 | 643 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 1533 | 0 | 994 | 539 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 1133 | 0 | 678 | 455 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 860 | 0 | 471 | 389 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 670 | 0 | 332 | 338 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 543 | 0 | 244 | 299 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 451 | 0 | 184 | 267 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 380 | 0 | 136 | 244 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 338 | 0 | 108 | 230 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 318 | 0 | 93 | 225 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 312 | 0 | 69 | 243 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 373 | 0 | 59 | 314 |
| MÉDIAS | | | 849 | | 455.3571 | 393.6428 |

- MODELO 4P 0%:

Tabela 26 - Resultados Grupo 3 – Modelo 4P 0%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 231 | 0 | 8 | 223 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 1777 | 0 | 1575 | 202 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 1659 | 0 | 1424 | 235 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 1248 | 0 | 994 | 254 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 935 | 0 | 678 | 257 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 721 | 0 | 471 | 250 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 571 | 0 | 332 | 239 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 469 | 0 | 244 | 225 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 396 | 0 | 184 | 212 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 337 | 0 | 136 | 201 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 303 | 0 | 108 | 195 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 289 | 0 | 93 | 196 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 286 | 0 | 69 | 217 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 349 | 0 | 59 | 290 |
| MÉDIAS | | | 683.6429 | | 455.3571 | 228.2857 |

- MODELO 8P 85%:

Tabela 27 - Resultados Grupo 3 – Modelo 8P 85%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 805 | 0 | 3 | 802 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 2442 | 0 | 1421 | 1021 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 2159 | 0 | 1353 | 806 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 1629 | 0 | 969 | 660 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 1206 | 0 | 662 | 544 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 913 | 0 | 459 | 454 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 709 | 0 | 325 | 384 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 575 | 0 | 243 | 332 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 469 | 0 | 177 | 292 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 396 | 0 | 133 | 263 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 352 | 0 | 108 | 244 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 328 | 0 | 92 | 236 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 322 | 0 | 70 | 252 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 374 | 0 | 55 | 319 |
| MÉDIAS | | | 905.6429 | | 433.5714 | 472.0714 |

- MODELO 8P 0%:

Tabela 28 - Resultados Grupo 3 – Modelo 8P 0%

| Vért. | X | Y | Etot (lux) | Esol (lux) | Eini (lux) | Erfi (lux) |
|---------------|------|------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|
| 195 | 3,00 | 0.05 | 217 | 0 | 3 | 214 |
| 182 | 3,00 | 0.81 | 1615 | 0 | 1421 | 194 |
| 170 | 3,00 | 1.57 | 1579 | 0 | 1353 | 226 |
| 159 | 3,00 | 2.33 | 1213 | 0 | 969 | 244 |
| 149 | 3,00 | 3.09 | 910 | 0 | 662 | 248 |
| 140 | 3,00 | 3.85 | 701 | 0 | 459 | 242 |
| 132 | 3,00 | 4.61 | 556 | 0 | 325 | 231 |
| 125 | 3,00 | 5.37 | 460 | 0 | 243 | 217 |
| 119 | 3,00 | 6.13 | 382 | 0 | 177 | 205 |
| 114 | 3,00 | 6.89 | 328 | 0 | 133 | 195 |
| 110 | 3,00 | 7.65 | 298 | 0 | 108 | 190 |
| 107 | 3,00 | 8.41 | 284 | 0 | 92 | 192 |
| 105 | 3,00 | 9.18 | 283 | 0 | 70 | 213 |
| 0 | 3,00 | 9.95 | 336 | 0 | 55 | 281 |
| MÉDIAS | | | 654.4286 | | 433.5714 | 220.8571 |