

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E AMBIENTAL

**Matheus Peixoto de Paula Marques**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE ELEMENTOS DE PROTEÇÃO SOLAR  
EM RELAÇÃO AO SOMBREAMENTO E A ILUMINAÇÃO NATURAL  
ESTUDO DE CASO: SALAS DE AULA DO CAMPUS I DA UFPB**

João Pessoa  
2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E AMBIENTAL

**Matheus Peixoto de Paula Marques**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE ELEMENTOS DE PROTEÇÃO SOLAR  
EM RELAÇÃO AO SOMBREAMENTO E A ILUMINAÇÃO NATURAL  
ESTUDO DE CASO: SALAS DE AULA DO CAMPUS I DA UFPB**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Solange Maria Leder

João Pessoa  
2012

M357a Marques, Matheus Peixoto de Paula.

Análise da eficiência de elementos de proteção solar em relação ao sombreamento e a iluminação natural estudo de caso: salas de aula do campus I da UFPB / Matheus Peixoto de Paula Marques.-- João Pessoa, 2012.

197f. : il.

Orientadora: Solange Maria Leder

Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT

1. Engenharia Urbana. 2. Elementos de proteção solar. 3. Iluminação natural. 4. Sombreamento. 5. Simulação computacional.

UFPB/BC

CDU: 62:711(043)


**“ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE ELEMENTOS DE PROTEÇÃO SOLAR EM  
RELAÇÃO AO SOMBREAMENTO E A ILUMINAÇÃO NATURAL –  
ESTUDO DE CASO: SALAS DE AULA DO *CAMPUS I* DE UFPB”**


**MATHEUS PEIXOTO DE PAULA MARQUES**

Dissertação aprovada em 29 de março de 2012

Período Letivo: 2011.2

  
Prof. Dr. SOLANGE MARIA LEDER – UFPB  
Orientador

  
Prof. Dr. EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA – UFPB  
Examinador Interno

  
Prof. Dr. ALDOMAR PEDRINI – UFRN  
Examinador Externo

João Pessoa-PB  
2012

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meus pais e irmãos por todo apoio e motivação na realização deste trabalho.

À minha esposa Marieta pelo apoio dado durante o período da pesquisa. O companheirismo e, sobretudo a paciência que sempre demonstrou, deram-me segurança para vencer as dificuldades.

Aos colegas de mestrado e de laboratório pela convivência e troca de informações.

A Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Solange Maria Leder, por ter se disponibilizado em ser minha orientadora, pelos ensinamentos transmitidos e oportunidades dadas.

## RESUMO

Este trabalho aborda temas como elementos de proteção solar, sombreamento e iluminação natural. Tem como objetivo a verificação da eficiência de proteções solares encontradas em edificações de salas de aula no campus I da UFPB, no que diz respeito ao sombreamento e à iluminação natural. Os resultados da investigação centram-se no diagnóstico das soluções encontradas no estudo de caso, através da utilização de modelos tridimensionais (3D) e simulação computacional. Os modelos digitais foram construídos a partir de dados coletados em levantamento de campo. Os programas computacionais utilizados foram o *Solar Tool*, *Daysim* e o *Ecotect*. Em paralelo, foi investigado um conjunto de situações hipotéticas, considerando todas as soluções encontradas no levantamento, com objetivo de identificar o desempenho das soluções em outras orientações. A avaliação dos modelos foi feita a partir de medidas de desempenho como o percentual de sombreamento, percentual de visibilidade do céu e do *useful daylight illuminances* (UDI). Com os resultados obtidos foi possível observar que: a) fachadas com aberturas sem proteção orientadas para o Sul geram ambientes com melhores níveis e distribuição da iluminação natural; b) em grande parte das orientações analisadas, exceto na Noroeste e Leste, mais de 50% da amostra obteve um bom desempenho da iluminação natural; c) o percentual de sombreamento não é suficiente para afirmar se um sombreamento é eficaz ou não, podendo gerar conclusões equivocadas quando utilizado isoladamente; d) a correlação da performance da iluminação natural e do desempenho do sombreamento com o percentual de visibilidade do céu, mostrou que para cada orientação existe uma relação ideal do percentual de sombreamento com o percentual de visibilidade do céu, sendo que para as orientações analisadas os valores destas medidas se encontraram, em geral, próximo de 88,7% de sombreamento da abertura e 8,1% de visibilidade do céu.

**Palavras-Chave:** Elementos de Proteção Solar. Iluminação Natural. Sombreamento. Simulação Computacional.

## ABSTRACT

This work addresses topics such as shading devices, shading and daylighting. It aims at verifying the efficiency of shading devices found classroom buildings at UFPB's campus I, with respect to shading and daylighting. The results of the research focus in the diagnosis of the solutions in the case study, by using three dimensional models (3D) and computer simulation. The digital models were constructed from data collected in field surveys. The computer programs used were the Solar Tool, Ecotect and Daysim. In parallel, we investigated a set of hypothetical situations, considering all the solutions found in the survey, in order to identify the performance of the solutions in other orientation facade. The evaluation of the models was made from performance measures such as the percentage of shading, percentage of sky visibility and useful daylight illuminances (UDI). From the results, we observed that: a) south-oriented façades with unprotected openings allow for environments with higher levels and better distribution of natural lighting; b) a large part of the orientation facade analyzed, except in the northwest and east, more than 50% of the samples obtained a good performance of daylighting; c) the percentage of shading is not enough to say whether an element of sunscreen is effective or not, which can generate misleading conclusions when used alone; d) the correlation of the performance of daylighting and performance of shading with the percentage of sky visibility, showed that for every orientation facade there is an optimal ratio between the percentage of shading and the percentage of sky visibility, and for the facade analyzed, the values of these measures are generally around 88.7% of shading of the opening and 8.1% of sky visibility.

**Key-Words:** Shading Device. Daylighting. Shading. Computational Simulation.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b> – Diagrama de Contribuição Relativa de Luz (DCRL) para céu claro, com altitude solar de 15°.....	23
<b>Figura 02</b> – Diagrama de Contribuição Relativa de Luz (DCRL) para céu encoberto. ....	23
<b>Figura 03</b> – Componentes da luz natural.....	24
<b>Figura 04</b> – Imagens da distribuição das luminâncias para os diferentes tipos de céu adotado pela CIE.....	27
<b>Figura 05</b> - Distribuição do percentual dos cinco níveis de suficiência luminosa na área do plano de trabalho referente aos 15 tipos de céus. ....	28
<b>Figura 6</b> - Exemplo do modelo da tabela utilizada no estudo de Mardaljevic, Reinhart e Rogers.....	33
<b>Figura 07</b> - Modelos utilizados na demonstração do UDI e os métodos de tratamento dos dados.....	34
<b>Figura 08</b> - Método gráfico para análise da iluminação natural. ....	35
<b>Figura 09</b> - Distribuição do Daylight Autonomy e do Useful Daylight Illuminance em um ambiente de escritório com iluminação lateral.....	36
<b>Figura 10</b> - Junção do DA com UDI para compor o Daylight Availability. ....	36
<b>Figura 11</b> - Representação gráfica das faixa do Useful Daylight Illuminances. ....	37
<b>Figura 12</b> – Gráfico da distribuição da área do plano de trabalho em grupos de acordo com o tempo de permanência na faixa útil-UDI.....	38
<b>Figura 13</b> - Profundidade da área iluminada (valor indicado pelos guias multiplicado por "y") de acordo com diferentes versões.....	44
<b>Figura 14</b> - As três componentes da luz natural em relação a localização do ponto "P". ....	45
<b>Figura 15</b> - Relação do posicionamento da abertura com a parte do céu visível. ....	45
<b>Figura 16</b> - Representação esquemática do conceito da Janela do Céu Preferível. ....	46
<b>Figura 17</b> - Influência do tamanho da Janela no consumo de energia para cada orientação.....	47
<b>Figura 18</b> - Desempenho da luz natural em relação ao tamanho da abertura.....	48
<b>Figura 19</b> - Radiações recebidas nas superfícies verticais segundo orientação nos períodos quentes e frios. Latitude 30°. ....	51



<b>Figura 20</b> - Radiação solar recebida pelas superfícies verticais.....	51
<b>Figura 21</b> – Gráfico do fluxo de calor de diferentes componentes construtivos.....	56
<b>Figura 22</b> – Gráfico do percentual de redução de energia com resfriamento em relação a diferentes PAF% e configurações de proteção solar (H=marquise e E=misto).....	57
<b>Figura 23</b> - Sistemas de proteção solar analisados.....	58
<b>Figura 24</b> - Desempenho das diversas soluções de proteção solar analisadas. ....	59
<b>Figura 25</b> - Análise comparativa do desempenho da iluminação natural: (1) sem proteção solar e sem iluminação artificial; (2) com proteção solar e sem iluminação artificial; (3) com proteção e iluminação artificial. ....	60
<b>Figura 26</b> - Configurações das proteções solar utilizadas. a) porcentagem da área superior do elemento visível. b) porcentagem da área insolada. ....	61
<b>Figura 27</b> - Esquema de visualização da abóbada celeste das diferentes soluções de proteção solar.....	62
<b>Figura 28</b> - Diferentes tipos de proteção solar com sua respectiva máscara de sombreamento. ....	64
<b>Figura 29</b> - Modelo do método <i>cellular</i> . ....	67
<b>Figura 30</b> - Método utilizado no Ecotect a forma ideal da proteção solar. a) Extrusão do perfil da abertura em direção ao sol para determinar no plano projetado sobre a janela a forma ideal da proteção; b) O processo é repetido para as horas e os dias escolhidos. ....	69
<b>Figura 31</b> - Mapeamento da radiação solar incidente no plano de sombreamento. .	69
<b>Figura 32</b> - Diferentes contornos de sombreamento necessário para fornecer diferentes níveis de proteção. ....	70
<b>Figura 33</b> - Modelo 3D interativo utilizado pelo programa.	70
<b>Figura 34</b> - Alguns exemplos de soluções de proteção solar possíveis de serem analisadas.....	71
<b>Figura 35</b> - Saídas de dados gerados pelo Solar Tool: a) projeção da sombra no modelo 3D; b) máscara de sombra 100% e 50%; c) percentual de sombreamento; d) tabela com os percentuais de sombreamento.....	71
<b>Figura 36</b> - Procedimento do cálculo do percentual do sombreamento: a) raios que incidem no plano da abertura; b) divisão da abóbada adotada no processo. ....	72
<b>Figura 37</b> - Análise da radiação através do método STIMAP.....	73
<b>Figura 38</b> - Quadro resumo da metodologia.....	76

<b>Figura 39</b> - Campus I da Universidade Federal da Paraíba. ....	77
<b>Figura 40</b> – Indicação das orientações. ....	78
<b>Figura 41</b> - Síntese do processo de simulações. ....	81
<b>Figura 42</b> - Malha de pontos para a orientação Norte (15°). ....	85
<b>Figura 43</b> - Diagrama da distribuição da radiação solar incidente em planos verticais para nebulosidade média de 5/10. ....	89
<b>Figura 44</b> - Sobreposição da mancha de radiação >500W na carta solar para a fachada Sudoeste 240°. ....	89
<b>Figura 45</b> - Diagrama temporal da distribuição horária da incidência da radiação solar no plano vertical. ....	90
<b>Figura 46</b> - Médias mensais de nebulosidade. ....	91
<b>Figura 47</b> - Método gráfico utilizado na análise do sombreamento. ....	93
<b>Figura 48</b> - Exemplo do gráfico utilizado na análise gráfica da eficiência do sombreamento para a fachada Norte. ....	94
<b>Figura 49</b> - Exemplo da análise gráfica do comportamento das faixas do UDI em relação a profundidade da sala de aula. ....	95
<b>Figura 50</b> - Exemplo do gráfico do desempenho dos modelos de acordo com a média do UDI <sub>útil</sub> e o desvio padrão. ....	95
<b>Figura 51</b> – Identificação da amostra no mapa do campus I da UFPB. ....	99
<b>Figura 52</b> – Gráfico da frequência de ocorrência dos valores das variáveis do comprimento e largura. ....	101
<b>Figura 55</b> – Gráfico da frequência de ocorrência dos valores da variável do PAF. ....	102
<b>Figura 53</b> – Gráfico da frequência de ocorrência do valor da variável do peitoril. ...	102
<b>Figura 54</b> – Gráfico da frequência de ocorrência do valor da variável do pé direito. ....	102
<b>Figura 56</b> – Gráfico da frequência de ocorrência das orientações das fachadas. ...	103
<b>Figura 57</b> – Tipologias identificadas na amostra. ....	104
<b>Figura 58</b> – Tipologias de proteção solar identificadas em cada orientação. ....	104
<b>Figura 59</b> - Tipologia padrão da sala de aula do campus I da UFPB - modelo base. ....	105
<b>Figura 60</b> - Período de necessidade de sombreamento para a cidade de João Pessoa: <b>a)</b> até 22 de junho; <b>b)</b> após 22 de junho. ....	113
<b>Figura 64</b> – Identificação do período de necessidade de proteção solar para as fachadas a partir do método 01. ....	114

<b>Figura 62</b> - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Norte. ....	115
<b>Figura 63</b> - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Nordeste. ....	116
<b>Figura 64</b> - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Leste. ....	116
<b>Figura 65</b> - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Sudeste. ....	117
<b>Figura 66</b> - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Sul. ....	117
<b>Figura 67</b> - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Noroeste. ....	118
<b>Figura 68</b> – Diagrama da distribuição horária da incidência da radiação solar para fachada Norte (15°). ....	119
<b>Figura 69</b> - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Norte. ....	119
<b>Figura 70</b> – Diagrama da distribuição horária da incidência da radiação solar para fachada Nordeste (60°). ....	120
<b>Figura 71</b> Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Nordeste. ....	120
<b>Figura 72</b> – Diagrama da distribuição horária da incidência da radiação solar para fachada Leste (105°). ....	121
<b>Figura 73</b> - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Leste. ....	121
<b>Figura 74</b> – Diagrama da distribuição horária da incidência da radiação solar para fachada Sudeste (150°). ....	122
<b>Figura 75</b> - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Sudeste. ....	122
<b>Figura 76</b> – Diagrama da distribuição horária da incidência da radiação solar para fachada Sul (195°). ....	123
<b>Figura 77</b> - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Sul. ....	123
<b>Figura 78</b> – Diagrama da distribuição horária da incidência da radiação solar para fachada Noroeste (330°). ....	124

<b>Figura 79</b> - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Noroeste. ....	124
<b>Figura 80</b> – Desempenho das soluções projetadas M1 e M2 para cada orientação analisada.....	129
<b>Figura 81</b> – Análise gráfica através diagramas do período de sombreamento - Conjunto 01 fachada Norte.....	131
<b>Figura 82</b> – Gráfico do desempenho do sombreamento dos modelos para a fachada Norte - Conjunto 01.....	132
<b>Figura 83</b> – Gráficos da distribuição dos valores das faixas do UDI em relação a profundidade - Conjunto 01 fachada Norte(15°).....	133
<b>Figura 84</b> – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação a iluminação natural - Conjunto 01 fachada Norte.....	135
<b>Figura 85</b> – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação à iluminação natural - Conjunto 01 fachada Norte.....	136
<b>Figura 86</b> – Análise gráfica através diagramas do período de sombreamento - Conjunto 01 fachada Nordeste.....	137
<b>Figura 87</b> – Gráfico do desempenho do sombreamento dos modelos para a fachada Nordeste - Conjunto 01.....	138
<b>Figura 88</b> – Gráficos da distribuição dos valores das faixas do UDI em relação a profundidade - Conjunto 01 fachada Nordeste.....	139
<b>Figura 89</b> – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação a iluminação natural - Conjunto 01 fachada Nordeste.....	140
<b>Figura 90</b> – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação a iluminação natural - Conjunto 02 fachada Nordeste.....	142
<b>Figura 91</b> – Análise gráfica através diagramas do período de sombreamento - Conjunto 01 fachada Leste.....	142
<b>Figura 92</b> – Gráfico do desempenho do sombreamento dos modelos para a fachada Leste - Conjunto 01.....	144
<b>Figura 93</b> – Gráficos da distribuição dos valores das faixas do UDI em relação a profundidade - Conjunto 01 fachada Leste.....	144
<b>Figura 94</b> – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação à iluminação natural - Conjunto 01 fachada Leste.....	146
<b>Figura 95</b> - Análise detalhada do desempenho do sombreamento dos modelos 1B e 3C.....	147

<b>Figura 96</b> – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação à iluminação natural - Conjunto 02 fachada Leste.....	149
<b>Figura 97</b> – Análise gráfica através diagramas do período de sombreamento - Conjunto 01 fachada Sudeste.....	149
<b>Figura 98</b> – Gráfico do desempenho do sombreamento dos modelos para a fachada Sudeste - Conjunto 01.....	151
<b>Figura 99</b> – Gráficos da distribuição dos valores das faixas do UDI em relação a profundidade - Conjunto 01 fachada Sudeste.....	151
<b>Figura 100</b> – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação a iluminação natural - Conjunto 01 fachada Sudeste.....	153
<b>Figura 101</b> – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação à iluminação natural - Conjunto 02 fachada Sudeste.....	154
<b>Figura 102</b> – Análise gráfica através diagramas do período de sombreamento - Conjunto 01 fachada Sul.....	155
<b>Figura 103</b> – Gráfico do desempenho do sombreamento dos modelos para a fachada Sul - Conjunto 01.....	157
<b>Figura 104</b> - Análise detalhada do desempenho do sombreamento dos modelos 7C e 2B.....	158
<b>Figura 105</b> - Penetração solar no modelo 2B no horário de 12h30min do dia 03 de Março.....	158
<b>Figura 106</b> – Gráficos da distribuição dos valores das faixas do UDI em relação a profundidade - Conjunto 01 fachada Sul.....	159
<b>Figura 107</b> – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação a iluminação natural - Conjunto 01 fachada Sul.....	160
<b>Figura 108</b> – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação a iluminação natural - Conjunto 02 fachada Sul.....	161
<b>Figura 109</b> – Análise gráfica através diagramas do período de sombreamento - Conjunto 01 fachada Noroeste.....	162
<b>Figura 110</b> – Gráfico do desempenho do sombreamento dos modelos para a fachada Noroeste - Conjunto 01.....	164
<b>Figura 111</b> – Gráficos da distribuição dos valores das faixas do UDI em relação a profundidade - Conjunto 01 fachada Noroeste.....	164
<b>Figura 112</b> – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação à iluminação natural - Conjunto 01 fachada Noroeste.....	166

<b>Figura 113</b> – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação à iluminação natural - Conjunto 02 fachada Noroeste.....	167
<b>Figura 114</b> - Correlação das medidas de desempenho para cada fachada. ....	168

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b> – Caracterização das condições do céu – ABNT.....	26
<b>Tabela 02</b> - Modelos de Céu adotados pela CIE. ....	26
<b>Tabela 03</b> - Programas de simulação computacional de iluminação natural dinâmica. .....	39
<b>Tabela 04</b> - Níveis de Iluminância para ambientes escolares.....	41
<b>Tabela 05</b> – Modelo da tabela utilizada para o levantamento das edificações. ....	78
<b>Tabela 06</b> – Modelo da tabela utilizada para a caracterização dos elementos de proteção encontrados na amostra.....	79
<b>Tabela 07</b> - Agrupamento e nomenclatura atribuída aos modelos.....	80
<b>Tabela 08</b> - Características ópticas dos materiais dos modelos. ....	84
<b>Tabela 09</b> - Dados de entrada para modelos sem proteção solar. ....	84
<b>Tabela 10</b> - Dados de entrada para modelos com proteção solar. ....	84
<b>Tabela 11</b> - Modelo de tabela utilizada na obtenção das medidas de desempenho para cada modelo.....	86
<b>Tabela 12</b> - Temperatura média mensal das máximas e mínimas.....	87
<b>Tabela 13</b> - Valores de ajuste da curva horária de temperatura adaptado para Natal/RN.....	87
<b>Tabela 14</b> - Verificação da semelhança do desempenho da iluminação natural dos modelos 8C, 9C e 10C. ....	107
<b>Tabela 15</b> - Medidas de desempenho de cada modelo para cada orientação.....	108
<b>Tabela 16</b> - Temperatura horária média mensal e temperatura neutra mensal para cidade de João Pessoa. ....	111
<b>Tabela 17</b> - Limites mensais da zona de conforto térmico.....	112
<b>Tabela 18</b> - Temperaturas horárias mensais calculadas e classificadas em função da temperatura neutra.....	112
<b>Tabela 19</b> - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Norte (método 01).....	115
<b>Tabela 20</b> - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Nordeste (método 1).....	115
<b>Tabela 21</b> - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Leste (método 1).....	116

<b>Tabela 22</b> - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Sudeste (método 1).....	116
<b>Tabela 23</b> - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Sul (método 01).....	117
<b>Tabela 24</b> - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Noroeste (método 01).....	117
<b>Tabela 25</b> - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Norte. ....	119
<b>Tabela 26</b> - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Nordeste. ....	120
<b>Tabela 27</b> - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Leste. ....	121
<b>Tabela 28</b> - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Sudeste... ..	122
<b>Tabela 29</b> - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Sul.....	123
<b>Tabela 30</b> - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Noroeste. ....	124
<b>Tabela 31</b> – Dados da solução projetada (M1) a partir do método 01. ....	125
<b>Tabela 32</b> – Dados da solução projetada (M2) a partir do método 02. ....	125
<b>Tabela 33</b> – Dados da solução projetada (M1) a partir do método 01. ....	126
<b>Tabela 34</b> – Dados da solução projetada (M2) a partir do método 02.. ....	126
<b>Tabela 35</b> – Dados da solução projetada (M1) a partir do método 01. ....	126
<b>Tabela 36</b> – Dados da solução projetada (M2) a partir do método 02. ....	127
<b>Tabela 37</b> – Dados da solução projetada (M1) a partir do método 01. ....	127
<b>Tabela 38</b> – Dados da solução projetada (M2) a partir do método 02. ....	127
<b>Tabela 39</b> – Dados da solução projetada (M1) a partir do método 01. ....	128
<b>Tabela 40</b> – Dados da solução projetada (M2) a partir do método 02. ....	128
<b>Tabela 41</b> – Dados da solução projetada (M1) a partir do método 01. ....	128
<b>Tabela 42</b> – Dados da solução projetada (M2) a partir do método 02. ....	129
<b>Tabela 43</b> - Percentagens dos modelos classificados com desempenho bom para cada orientação analisada. ....	174
<b>Tabela 44</b> – Limites e médias dos valores do percentual de sombreamento e do percentual de visibilidade do céu encontrados nos modelos classificados com desempenho bom.....	175
<b>Tabela 45</b> - Levantamento das Características construtivas e informações necessárias para a construção dos modelos e definição da sala de aula padrão... ..	185
<b>Tabela 46</b> - Levantamento das Características construtivas das soluções de proteção solar.....	190



# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>1 - REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
1.1. ILUMINAÇÃO NATURAL .....	21
1.1.1. Fontes de Luz Natural .....	22
1.1.2. Tipos de Céu .....	25
1.1.3. Medidas Dinâmicas de Avaliação da Luz Natural .....	28
1.1.4. Simulações da Luz Natural Baseadas no Clima .....	38
1.1.5. Edificações Educacionais e Iluminação Natural .....	40
1.2. ABERTURAS LATERAIS .....	42
1.3. CONFORTO TÉRMICO .....	49
1.3.1 Radiação Solar .....	50
1.3.2 Sombreamento como estratégia de projeto para regiões de climas quente úmido .....	52
1.3.3 Necessidade de sombreamento .....	53
1.4. ELEMENTOS DE PROTEÇÃO SOLAR .....	55
1.4.1 Elementos externos de proteção solar e iluminação natural .....	57
1.4.2 Classificação dos sistemas de proteção solar .....	62
1.4.3 Métodos de projeto e avaliação .....	65
<b>2 - METODOLOGIA</b> .....	<b>74</b>
2.1 LEVANTAMENTO DE CAMPO .....	76
2.2 DEFINIÇÃO DA TIPOLOGIA PREDOMINANTE .....	79
2.3 MODELOS .....	79
2.4. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS .....	80
2.4.1 Base Climática para Simulações .....	81
2.5. OBTENÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO .....	82
2.5. IDENTIFICAÇÃO DO PERÍODO DE NECESSIDADE DE PROTEÇÃO SOLAR PARA A CIDADE DE JOÃO PESSOA/PB E PARA CADA ORIENTAÇÃO DE FACHADA .....	86
2.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	92
<b>3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>98</b>
3.1 LEVANTAMENTO DE CAMPO .....	98

3.2. DEFINIÇÃO DA TIPOLOGIA PADRÃO.....	105
3.3. MODELOS .....	105
3.4. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS - OBTENÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO .....	107
3.5. IDENTIFICAÇÃO DO PERÍODO DE NECESSIDADE DE PROTEÇÃO SOLAR PARA A CIDADE DE JOÃO PESSOA/PB E PARA CADA ORIENTAÇÃO DE FACHADA .....	111
3.6. PROJETO DAS SOLUÇÕES DE PROTEÇÃO SOLAR - M1 E M2.....	124
3.7. ANÁLISE DO SOMBREAMENTO E ILUMINAÇÃO NATURAL.....	130
3.7.1. Fachada Norte (15°).....	130
3.7.2. Fachada Nordeste (60°) .....	137
3.7.3. Fachada Leste (105°).....	142
3.7.4. Fachada Sudeste (150°) .....	149
3.7.5. Fachada Sul (195°) .....	154
3.7.6. Fachada Noroeste (330°).....	162
3.8. CORRELAÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO .....	167
<b>4 - CONCLUSÕES.....</b>	<b>171</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>177</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>185</b>

## INTRODUÇÃO

A preocupação com o conforto lumínico e térmico nas salas de aula é um fator decisivo no desenvolvimento do processo educativo, uma vez que, em ambientes confortáveis o desempenho de qualquer atividade pode ser otimizado, direcionando com mais eficácia a atenção do aluno na dinâmica do aprendizado.

Um estudo de HESCHONG MAHONE GROUP (1999) mostrou que os alunos que estudam em salas de aula com maior incidência de luz natural progrediram mais nos testes de matemática e de leitura quando comparados a alunos que estudaram em salas com menor quantidade de luz natural.

Além dos benefícios qualitativos advindos da utilização da iluminação natural em salas de aula, o uso da luz natural como fonte de luz tem um potencial enorme na conservação de energia, principalmente quando se trata de edificações escolares. Romero (1994) verificou que o sistema de iluminação artificial da Universidade de São Paulo era responsável por 65,5% do consumo de eletricidade total do campus, havendo um grande potencial para a utilização da iluminação natural como estratégia de eficiência energética. Assim, os benefícios oferecidos pelo uso da luz natural em edificações escolares representam redução do gasto energético e dos conseqüentes impactos ambientais, como também o aumento da qualidade de vida de seus ocupantes.

Apesar desses benefícios, a utilização da iluminação natural como estratégia de projeto deve ser feita com cautela, visto que toda energia, natural ou artificial, empregada para iluminar se transforma em energia térmica ao final do processo, e por isso seu uso indiscriminado pode gerar um indesejável incremento de carga térmica nas edificações. Além disso, ressalta-se que a entrada excessiva de luz natural pode aumentar a sensação de desconforto visual, devido ao ofuscamento e a contrastes produzidos no campo visual (CORBELLA; YANNAS, 2003).

Estes efeitos negativos decorrentes do uso da luz natural se agravam quando se projeta edificações para climas tropicais, característicos por apresentar grande disponibilidade de luz natural e altos níveis de radiação solar.

Para cada demanda climática existe sempre uma variedade de respostas arquitetônicas. As estratégias bioclimáticas para projetos situados em climas tropicais de clima quente e úmido normalmente priorizam soluções de proteção

solar. Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) apontam que dificilmente a iluminação natural é adotada como foco principal nos projetos de edifícios para este tipo de clima, ficando subordinada à questão térmica, onde os requisitos de proteção solar e ventilação influenciam consideravelmente o projeto das aberturas

Em regiões de baixa latitude, como é o caso da cidade de João Pessoa, a radiação solar representa uma importante parcela do calor total que atinge as edificações. Parte desta radiação pode ser obstruída através da utilização de elementos de proteção solar. Estes elementos apresentam como função primordial bloquear a incidência da radiação direta nas superfícies verticais das edificações, sobretudo nas transparentes e translúcidas. De forma secundária, são empregados para controlar o excesso de luminosidade (GUTIERREZ e LABAKI, 2005).

No entanto, a proteção solar que ajuda a barrar a radiação solar direta também impede a visão de partes da abóbada celeste (OLGYAY e OLGAYAY, 1957), interferindo diretamente na admissão e distribuição da luz natural no espaço. Desta forma, o projeto de proteções solares deve prever um cuidadoso dimensionamento para garantir o conforto térmico e lumínico no ambiente construído.

A proposição de um tema relacionado com edificações escolares de ensino superior e eficiência de proteções solares, justifica-se, inicialmente, na atual expansão das instituições de ensino superior, com a participação da UFPB no programa governamental REUNI - Reestruturação e Expansão das Universidades Federais, a partir do qual o campus I da UFPB se transformou em um verdadeiro canteiro de obras, com a multiplicação de edifícios, em sua grande parte de salas de aula e laboratórios. Segundo a coordenação do programa REUNI na UFPB, o programa de reestruturação da UFPB, no quadriênio 2008-2011, viabilizou a construção de 41.150m<sup>2</sup> de novas edificações e a reforma de 17.185m<sup>2</sup> das edificações atuais. Somente em 2008 foram licitadas 9610,74m<sup>2</sup> de novas edificações, distribuídas entre 72 novas salas de aula, 31 laboratórios, além das áreas de apoio ao ensino de graduação. Em 2009, foram concluídas e entregues mais 47 obras em todos os campi da universidade, representando investimentos da ordem de R\$36.200.100,82.

No entanto, como bem observado por Venâncio (2007) em relação ao contexto a que estão submetidos os arquitetos responsáveis pelos projetos da UFRN, e que se assemelha bastante a realidade da UFPB, freqüentemente não há tempo suficiente para reflexão e os projetos são ajustados para compatibilizar

demandas aquém dos recursos disponíveis, que sempre estão sujeitos a cortes, e em outros casos, projetos devem ser desenvolvidos em tempo exíguo para aproveitar recursos que estão prestes a expirar.

Diante deste contexto, questiona-se se a quantidade é traduzida em qualidade. É importante observar que a ausência de soluções voltadas para garantir uma melhor qualidade e eficiência destas edificações irá gerar reflexos negativos na aprendizagem dos alunos e no consumo de energia da instituição.

Desta forma, levando em conta as considerações anteriores, coloca-se como objeto de estudo deste trabalho os elementos de proteção solar, tendo como estudo de caso as edificações de salas de aula localizadas no campus I da UFPB.

O **Objetivo Geral** do trabalho é verificar a eficiência de proteções solares encontradas em edificações de salas de aula no campus I da UFPB, no que diz respeito ao sombreamento e à iluminação natural.

Os **Objetivos Específicos** são:

- Levantar informações referentes às edificações de salas de aula do campus I da UFPB, indicando as tipologias de proteções solares utilizadas, as orientações da edificação e as características físicas das salas de aula necessárias para a identificação da tipologia padrão da sala de aula do campus I da UFPB;
- Identificar o período de necessidade de proteção solar para a cidade de João Pessoa e para cada orientação de fachada;
- Analisar o comportamento dinâmico da luz natural no ambiente interno e o sombreamento das diversas soluções de proteção solar através da simulação computacional;
- Correlacionar o desempenho da iluminação natural com o desempenho do sombreamento e o percentual de visibilidade da abóbada celeste.

Os resultados da investigação centram-se no diagnóstico das soluções encontradas no estudo de caso, através da utilização de medidas de desempenho, como o percentual de sombreamento, percentual de visibilidade da abóbada celeste e do *useful daylight illuminances* (UDI). Em paralelo, pretende-se também investigar uma situação hipotética, considerando todos os modelos, com objetivo de identificar o desempenho das soluções em outras orientações, além daquelas encontradas no levantamento de campo, e apontar qual a melhor para determinada fachada. A partir

da correlação da performance da iluminação natural com o desempenho do sombreamento obtido ao final da pesquisa, este trabalho pretende contribuir com informações que ajudem ao projetista a atingir o equilíbrio entre a necessidade de sombreamento e a admissão da luz natural no desenho de elementos de proteção solar.

Os objetivos propostos nesta pesquisa estão relacionados com as etapas do trabalho e aos temas a serem discutidos. Neste sentido, o estudo se encontra estruturado em quatro capítulos.

O capítulo 1 corresponde à revisão bibliográfica, onde se procurou promover uma atualização do tema proposto na dissertação, de acordo com a literatura existente, com que tem sido feito a respeito e com a forma como outros pesquisadores tem tratado o tema.

No capítulo 2 é descrita detalhadamente a metodologia adotada para atingir os objetivos propostos no trabalho: descreve como foi feito o levantamento de campo e organizadas as informações obtidas para definir a tipologia padrão e as soluções de proteção solar; aponta qual o método utilizado para identificar o período de necessidade de proteção solar para cada fachada e os procedimentos adotados para a realização das simulações e para as análises do sombreamento, da iluminação natural e da correlação destas duas variáveis.

No capítulo 3, são mostrados e discutidos os resultados encontrados no levantamento de campo, no processo da identificação das zonas de desconforto e nas simulações computacionais.

Por fim, o capítulo 4 onde são apresentadas as considerações finais com as sugestões para trabalhos futuros.

# 1 - REFERENCIAL TEÓRICO

## 1.1. ILUMINAÇÃO NATURAL

A decisão de usar a luz natural como estratégia de projeto de edifícios deve se basear mais do que apenas em uma compreensão da estética de luz e do espaço. A percepção do arquiteto e de cada profissional que faz parte do processo da construção do edifício em relação as implicações da luz natural em todos os aspectos da concepção, construção e uso do um edifício é fundamental.

Uma das dificuldades na identificação de uma boa iluminação natural é que diferentes profissionais ligados ao projeto de um edifício são responsáveis por diferentes aspectos da iluminação natural. O estudo desenvolvido por Galasiu e Reinhart (2008) abordou mais de 170 arquitetos e engenheiros em todo o mundo e apresentou cinco alternativas de definição da iluminação natural. Cada definição enfatizou um dos seguintes aspectos: o conforto do usuário, a economia de energia elétrica de iluminação, a poupança energética global na construção, redução da demanda de pico de energia ou benefícios econômicos gerais. Os arquitetos priorizaram o conforto do usuário, enquanto que os engenheiros a economia de energia e benefícios econômicos.

No entanto, existe o consenso comum que o uso da luz natural em edifícios é crucial, uma vez que permite uma alta qualidade da iluminação nos ambientes internos e uma economia de energia elétrica nas edificações. Benefícios adicionais da iluminação natural incluem, melhoria da saúde dos usuários, do bem estar e melhoria da produtividade.

Robins (1986) cita como razões para utilização da luz natural, dentre outras:

- qualidade da luz;
- importância da luz como elemento de projeto;
- conservação de energia resultante do uso da luz natural como fonte primária ou secundária de iluminação;
- benefícios psicológicos e fisiológicos não obtidos com iluminação elétrica.

Além dessas razões, acrescenta-se o reduzido custo para utilização da iluminação natural.

Quando a iluminação natural é considerada nas fases iniciais de projeto, pode representar um sistema praticamente sem custos adicionais à edificação. A desconsideração do potencial da luz natural resulta, ainda, na dependência excessiva de sistemas artificiais de iluminação, inclusive no período diurno, elevando significativamente o desperdício de energia elétrica. Segundo Vianna e Gonçalves (2001), os sistemas de iluminação artificial são responsáveis por uma considerável parcela do consumo de energia e a utilização da luz natural pode alcançar uma economia da ordem de 30% a 70% em edificações não-residenciais.

Os benefícios advindos da iluminação natural são dependentes de um cuidadoso planejamento e controle, e só podem ser alcançados se o conforto visual e térmico forem assegurados. É preciso não só tentar aumentar a disponibilidade e a utilização da luz natural no interior do edifício, como também garantir a sua qualidade. Para isso, é necessário conhecer as características das diferentes fontes de luz natural e os critérios e medidas de avaliação da iluminação natural.

#### **1.1.1. Fontes de Luz Natural**

Moore (1985) divide as fontes de luz natural em direta: luz do sol ou da abóbada celeste, e indireta: luz de difusores reflexivos ou translúcidos iluminados por outra fonte de luz primária ou secundária.

A luz do sol é direcionada e de grande intensidade, e o seu alto conteúdo energético (luz e calor) é geralmente excluído do ambiente construído devido aos possíveis efeitos adversos sobre o ambiente térmico (superaquecimento) e o ambiente luminoso (ofuscamento). Devido à importância da contribuição da luz direta do sol para iluminação e aquecimento solar, o método de visualização da posição do sol no céu é fundamental para o processo projetual de soluções de proteção solar.

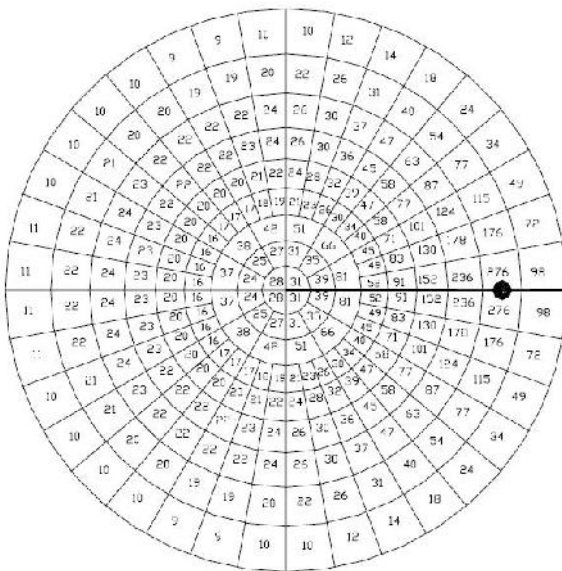
A outra fonte de luz natural direta é a luz da abóbada celeste que se caracteriza por ser uma luz difusa, gerada por refração e reflexão da luz ao passar pela atmosfera. Caracteriza-se por níveis de iluminação muito mais baixos que a luz do sol, entretanto mais constantes, variando de 5000 a 2000 lux. Em estratégias de projeto com utilização de iluminação natural, a iluminação difusa é a mais importante e a mais utilizada, uma vez que a luz direta causa problemas como o ofuscamento e excessivos índices de brilho.



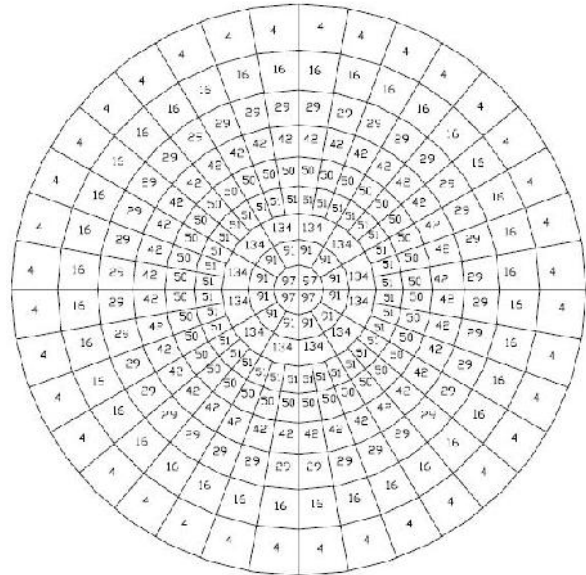
A disponibilidade da luz natural em um determinada superfície é largamente influenciada pelos níveis e distribuições das luminâncias do céu. Para analisar a iluminação produzida por esta fonte, subdivide-se a abóbada em zonas e determinam-se as concentrações de fluxo emitidas por cada uma dessas zonas.

A norma NBR 15215-3 (2005) subdivide a abóbada celeste em 244 zonas e apresenta uma proposta da contribuição relativa de cada zona para iluminância no plano horizontal desobstruído, em função da altitude do sol, através de diagramas que representam a projeção estereográfica da abóbada celeste. Essas zonas apresentam variações angulares de altura e azimute múltiplas de  $10^\circ$  e valores de luminância único. A contribuição relativa consiste em valores que representam a razão entre a iluminância em um ponto sobre um plano horizontal devida àquela parcela do céu e a iluminância total (proveniente de toda a abóbada) sobre um ponto em plano horizontal para um céu claro ou céu encoberto e completamente desobstruído (figura 01 e 02).

**Figura 01** – Diagrama de Contribuição Relativa de Luz (DCRL) para céu claro, com altitude solar de  $15^\circ$ .



**Figura 02** – Diagrama de Contribuição Relativa de Luz (DCRL) para céu encoberto.



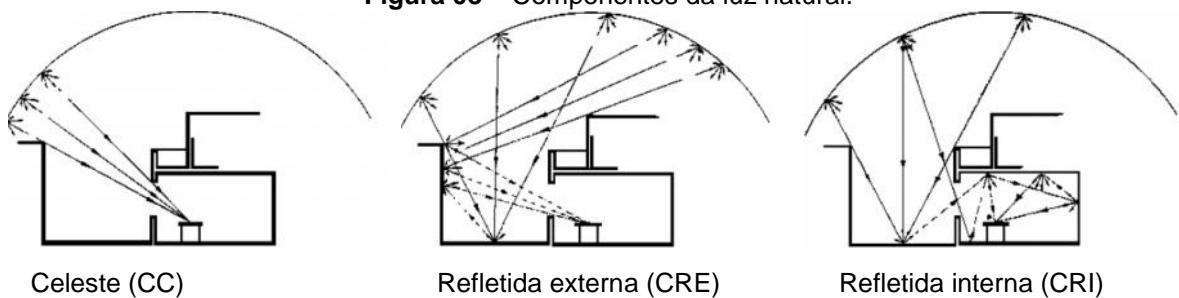
Fonte: NBR 15215-3 (2005)

O nível de iluminância em um ponto no ambiente interno é diretamente influenciado pela luminância da área do céu visível deste ponto, enquanto que as outras partes do céu contribuem para a iluminância interna através das reflexões dos materiais (TREGENZA e WATERS 1983, apud CABÚS 2002). Segundo Tregenza (1993), a divisão da abóbada em zonas permite que cada zona seja tratada, com mínimos erros, como uma fonte pontual. Na sua pesquisa, o método de subdivisão

da abóbada celeste é utilizado com o objetivo de aplicar o conceito de coeficiente da luz natural, que é a razão entre a luminância de determinada parte do céu e a iluminância em um ambiente interno devido a luz proveniente dessa parcela.

Para entender como a luz natural proveniente dessas fontes se propaga em ambientes internos, utiliza-se o conceito de divisão de fluxo da NBR 15215-3 (2005), em que a luz natural incidente é dividida em três componentes: celeste (CC), refletida interna (CRI) e refletida externa (CRE). A soma dessas componentes gera o total de luz natural que atinge determinado ponto no ambiente (figura 03).

**Figura 03** – Componentes da luz natural.



Fonte: NBR 15215-3 (2005)

A luz natural proveniente da componente celeste é a fonte ideal de iluminação para espaços internos. Algumas das características principais dessa fonte são sua inconstância e sua variabilidade.

Essa variação pode acontecer pelas mudanças do horário, da época do ano, da latitude, da longitude, da contaminação do lugar, da quantidade de nuvens e da posição do sol, todas esses fatores contribuem para definir numericamente o tipo de céu e a disponibilidade de luz natural. A disponibilidade de luz natural se refere à quantidade de luz natural proveniente do sol e do céu para uma localidade, data, hora e condição de céu específicas (IESNA, 2000).

Informações sobre disponibilidade da luz natural são importantes para a definição de estratégias para uso da luz natural. Dados de frequência de ocorrência de tipos de céu podem definir os períodos do ano em que haverá maior disponibilidade de luz natural. Associada às iluminâncias médias de cada tipo de céu, esta informação poderá ser utilizada para estimar a economia energética potencial para projetos que integram sistemas de iluminação natural e artificial (TOLEDO, 2008). Por essa razão, é necessário caracterizar a distribuição de luminâncias da abóbada celeste a partir de céus padronizados – chamados por

modelos ou padrões de céu. Eles são usados para a maioria das aplicações de simulação de luz natural em interiores (PEREIRA 2009).

### 1.1.2. Tipos de Céu

O conhecimento da luminosidade da abóboda celeste local, junto a alguns parâmetros de projeto, permite 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.

Muitos sistemas de iluminação natural apresentam melhor desempenho para um determinado tipo de céu, o que condiciona a escolha do sistema mais adequado ao conhecimento do céu típico do local (LAM, 1986; ROBBINS, 1986).

Para o cálculo da estimativa da disponibilidade de luz natural, a NBR 15215-2 (2005) adota três tipos de céu: céu claro, céu encoberto e céu parcialmente encoberto ou intermediário, assim descritos:

- **Céu claro** – inexistência de nuvens ou baixa nebulosidade, é mais brilhante em torno do sol e próximo ao horizonte. A parte mais escura estará a 90° em relação ao sol. É caracteristicamente azul devido à existência de pequenas partículas de água em suspensão, fazendo com que apenas os menores comprimentos de onda venham em direção à superfície da terra. A luminância de qualquer ponto na abóbada é relacionada à luminância do zênite e à altura solar;
- **Céu encoberto** – a superfície da abóbada celeste é completamente preenchida por nuvens. Grandes partículas de água em suspensão na atmosfera refletem e refratam a luz direta do sol, para todos os comprimentos de onda. O céu é tipicamente cinza-claro, e a luminância da porção em torno do zênite é três vezes maior que da área próxima à linha do horizonte;
- **Céu parcialmente encoberto** - condição de céu intermediária entre céu claro e céu encoberto na qual a luminância em qualquer ponto da abóbada celeste é definida em função do posicionamento do sol no céu (altura solar). O sol e sua auréola ao redor não são considerados na distribuição de luminâncias. Análises da iluminação natural sob condições de céus parcialmente encobertos dependem do azimute, altura e declinação solar.

Para caracterização das condições do céu, a NBR 15215-2 utiliza o método da cobertura do céu recomendado pela NOAA – *National Oceanic and Atmospheric*

*Administration* – EUA, sendo que a cobertura é estimada visualmente pela observação do montante de cobertura de nuvens, segundo os parâmetros apresentados na tabela 01.

**Tabela 01** – Caracterização das condições do céu – ABNT.

TIPO DE CÉU	COBERTURA DE NUVENS
Claro	0% a 35%
Parcialmente encoberto	35% a 75%
Encoberto	75% a 100%

Fonte: NBR 15215-2

Segundo Souza (2004) esses são os tipos de céus mais empregados em estudos sobre iluminação natural. Porém, a partir de 2002, a *Commission Internationale de L'Eclairage* (CIE) adotou uma nova classificação de modelos teóricos de céu. O resultado são quinze modelos de céu, cinco nublados (I), cinco parcialmente nublados (II) e cinco claros (III), que são usados nas avaliações dinâmicas de luz natural (tabela 02).

**Tabela 02** - Modelos de Céu adotados pela CIE.

TIPO	DESCRIÇÃO
01 (I)	Céu encoberto padrão, graduação intensa de luminâncias em direção ao zênite, com uniformidade nos azimutes.
02 (I)	Céu encoberto, graduação intensa de luminâncias em direção ao zênite, com suave brilho em direção ao Sol
03 (I)	Céu encoberto, moderadamente graduado, com uniformidade nos azimutes
04 (I)	Céu encoberto, moderadamente graduado, com suave brilho em direção ao Sol
05 (I)	Céu de Luminância Uniforme
06 (II)	Parcialmente nublado, sem graduação de luminâncias em direção ao zênite, com suave brilho em direção ao Sol
07 (II)	Parcialmente nublado, sem graduação de luminâncias em direção ao zênite, com região circunsolar brilhante
08 (II)	Parcialmente nublado, sem graduação de luminâncias em direção ao zênite, com coroa solar distinta
09 (II)	Parcialmente nublado, com o sol obscurecido
10 (II)	Parcialmente nublado, com região circunsolar brilhante
11 (III)	Céu Branco-Azul, com coroa solar distinta
12 (III)	Padrão Céu Claro CIE, com luminâncias de baixa turbidez.
13 (III)	Padrão Céu Claro CIE, com atmosfera poluída
14 (III)	Céu Turvado Sem Nuvens, com ampla coroa solar
15 (III)	Céu Turvado Branco-Azul, com ampla coroa solar

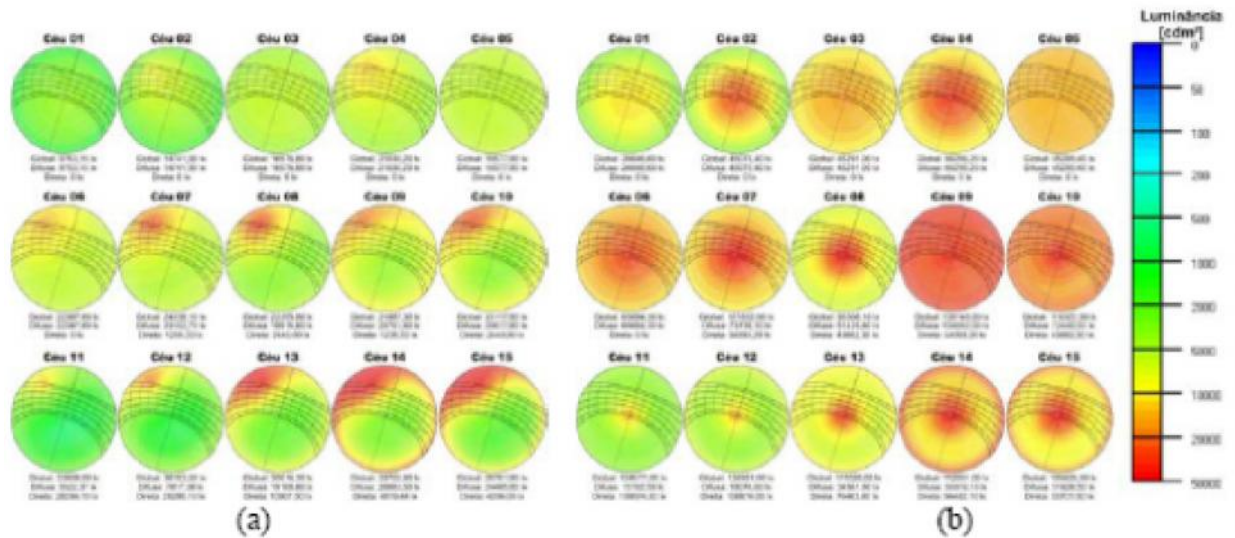
Fonte: ISO 15469:2004 Spatial distribution of daylight - CIE standard general sky.

Estas definições, juntamente com outros parâmetros como a localização geográfica e a data, são importantes para uma maior precisão e confiabilidade das avaliações qualitativas e quantitativas.

Para visualizar os efeitos desses modelos, Claro et al. (2010) geraram imagens com a distribuição das luminâncias para cada tipo de céu. Foi considerado

o dia 21 de junho às 15 horas (a) e o dia 21 de dezembro às 12 horas (b) para a cidade de Florianópolis (figura 04).

**Figura 04** – Imagens da distribuição das luminâncias para os diferentes tipos de céu adotadas pela CIE.



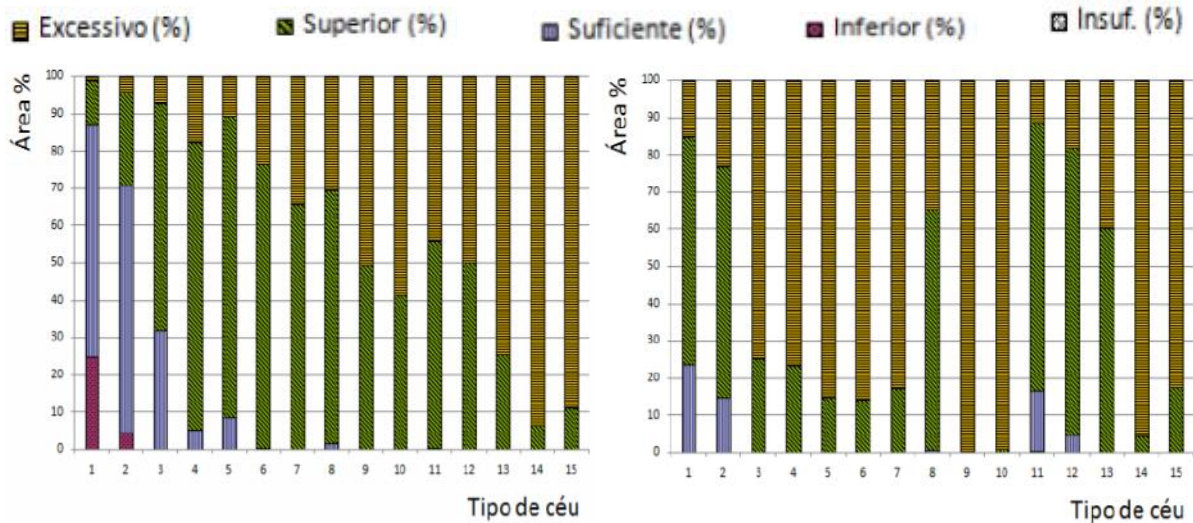
Fonte: Claro et al. (2010)

Claro et al (2010) também analisaram a suficiência luminosa no plano de trabalho a partir da divisão dos valores da iluminância em cinco níveis:

- I - 0 a 150 lux (Insuficiente);
- II - 150 a 350 lux (Transição inferior);
- III - 350 a 650 lux (Suficiente);
- IV - 650 a 2000 lux (Transição superior);
- V - maior que 2000 lux (Excessiva);

Através desta divisão, foi comparado o comportamento da distribuição do percentual destes níveis dos 15 tipos de céus, nas datas e horários citados anteriormente (figura 05).

**Figura 05** - Distribuição do percentual dos cinco níveis de suficiência luminosa na área do plano de trabalho referente aos 15 tipos de céus.



Fonte: adaptado de Claro et al. (2010)

Dentre essas distribuições, Cabús (2002), aplicando para Maceió um método simplificado desenvolvido por ele, propõe a escolha de três tipos de céu para a região: o céu uniforme (Céu 5), o céu parcialmente nublado (Céu 10) e o céu claro (Céu 14). De acordo com Cabús (2002), o céu parcialmente nublado é a forma mais comum em locais de clima quente e úmido, onde a incidência da radiação solar direta se dá de diversos modos diferentes, no decorrer do dia e do ano, para cada fachada da edificação. A padronização da intensidade de sua iluminância é a maior dificuldade para esse tipo de céu, pois, como já foi dito, ela varia ao longo das horas e pode apresentar-se muito diferente de um dia para o outro, dependendo da quantidade de nuvens formadas na atmosfera (MOORE, 1985).

### 1.1.3. Medidas Dinâmicas de Avaliação da Luz Natural

Embora haja uma grande preocupação em criar espaços bem iluminados naturalmente, a capacidade de descrever parâmetros para qualificar a luz natural nos ambientes não avançou na última década. Os níveis de iluminação da luz natural nos espaços construídos são dinâmicos, mudam constantemente a intensidade e o padrão de distribuição, devido a interação das fontes de luz natural, o sol e o céu, com as geometrias e as propriedades físicas do espaço, o contexto exterior e as condições do interior (HESCHONG et al. 2009).

Esta natureza dinâmica da luz natural apresenta muitos desafios para definir a quantidade e a qualidade de iluminação natural que efetivamente ilumina o ambiente interior. Medidas de iluminação natural estáticas e dinâmicas, ou também chamadas

de medidas baseadas no clima, foram desenvolvidas para informar e orientar na escolha de determinada solução.

A principal medida utilizada para avaliar a iluminação natural, até pouco tempo atrás, era o *Daylight factor* (DF), uma medida estática que consiste na relação da iluminância interna de um ponto no interior do ambiente com a iluminância horizontal externa desobstruída sob céu nublado padrão da *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE). Este parâmetro é considerado insuficiente e simplista por não considerar algumas variáveis essenciais na análise da iluminação natural, como a orientação, a latitude, a penetração da luz do sol e o clima. Em consequência disto, foram criadas as medidas dinâmicas para quantificar a performance da luz natural a partir de uma base anual (MARDALJEVIC et al., 2006).

Estudos recentes sobre as simulações de iluminação natural tem mostrado que o método do *daylight coefficient* pode ser usado para calcular com precisão séries anuais de iluminâncias e luminâncias em edifícios (Mardaljevic 2000, Reinhart e Walkenhorst 2001 Reinhart e Andersen, 2006). Essas séries são utilizadas para calcular as medidas dinâmicas de desempenho da luz natural para quantificar a qualidade da luz natural de um determinado ambiente (Nabil e Mardaljevic 2005) e a economia de energia devido a redução do uso da iluminação elétrica. Dentre estas medidas dinâmicas destacam-se duas: *Daylight autonomy* (DA) (Reinhart and Walkenhorst 2001) e *Useful daylight illuminances* (UDI) (Nabil and Mardaljevic 2005).

Diferentes do convencional *Daylight Factor*, o DA, o UDI ajuda na interpretação do arquivo climático, que é capaz de descrever a variação temporal e espacial do céu, a ocorrência de insolação direta e os níveis horários de iluminação natural absoluta (DIDONÉ e PEREIRA, 2010).

#### **1.1.3.1. Daylight autonomy - DA**

É a porcentagem das horas ocupadas por ano, nas quais um nível mínimo de iluminância requerido para determinado ambiente pode ser mantido, apenas pela iluminação natural. O nível de iluminância mínimo corresponde à exigência de iluminação mínima<sup>1</sup> que tem de ser mantida em todos os momentos, para que uma determinada tarefa possa ser realizada com segurança e sem cansar o usuário do espaço. O DA é utilizado para caracterizar o potencial da iluminação natural no

---

<sup>1</sup> No Brasil o nível mínimo de iluminância é dado pela norma NBR 5413 (1992) e é atribuído de acordo com a atividade a ser exercida em cada ambiente.

espaço e ao contrário do DF, o DA considera as orientações das fachadas e o perfil do usuário, além de todas as condições de céu ao longo do ano. No entanto, ele não concede créditos para aqueles níveis de iluminância encontrados abaixo do nível mínimo, o qual pode ser também benéfico, além de não considerar os níveis altos de iluminância que podem causar desconforto para os usuários.

Levando em consideração estas deficiências, Rogers (2006) fez uma modificação básica no DA, criando uma nova medida chamada *Continuous Daylight Autonomy* ( $DA_{con}$ ), a partir de uma pesquisa em salas de aula. Ela se diferencia do DA por conceder créditos parciais a cada momento em que o nível de iluminância em um determinado ponto se encontra abaixo do nível mínimo atribuído, tornando-a mais flexível. Por exemplo, no caso onde o valor mínimo da iluminância para um determinado ambiente for de 500 lux e o valor provido pela iluminação natural em um determinado ponto e período foi de 400 lux, então, um crédito parcial de  $400/500 = 0.8$  é dado para o período. Essa medida reconhece que mesmo que seja ainda uma contribuição parcial da luz natural, ela é benéfica. Uma segunda medida foi proposta por Rogers para ser avaliada juntamente com  $DA_{con}$ , chamada de *Maximum Daylight Autonomy* ( $DA_{max}$ ), para indicar a porcentagem de horas no ano que um local é ocupado, na qual o nível de iluminância mínimo em um determinado ponto do plano de trabalho é excedido em dez vezes e pode fornecer a frequência e a área onde se encontram os altos níveis de contraste da iluminância no espaço.

### **1.1.3.2. Useful daylight illuminances - UDI**

Diferentemente do DA, essa medida, como o próprio nome sugere, visa determinar a frequência em que uma determinada faixa de iluminância, considerada útil, é alcançada ao longo do ano (MARDALJEVIC e NABIL, 2005). Os níveis de iluminância úteis são definidos como aqueles situados dentro do intervalo de 100lux a 2000lux. A definição desse intervalo foi baseada em uma revisão abrangente dos dados mais recentes dos estudos sobre o comportamento dos ocupantes sob condições de iluminação natural. Fora desse intervalo das iluminâncias úteis, encontram-se duas faixas: a considerada aquém da faixa útil ( $UDI_{<100lux}$ ) e a que excede a faixa útil ( $UDI_{>2000lux}$ ), assim o sistema do UDI leva em conta não apenas a faixa útil de iluminância no plano de trabalho, mas também a probabilidade de excesso de luz, que pode causar desconforto visual e/ou térmico, e as situações em



que o nível se encontra insuficiente para ser a única fonte de iluminação ou para contribuir significativamente para a iluminação artificial.

Com essa divisão, essa medida conserva a simplicidade interpretativa presente no *daylight factor*, onde apenas três parâmetros são necessários para caracterizar a performance da iluminação natural no ambiente, e inclui a possibilidade de detectar a propensão para níveis excessivos da luz que estão associados com o desconforto dos usuários e o ganho solar indesejado. Devido a essa característica, é possível fazer uma rápida avaliação comparativa de várias variantes do projeto. Mardaljevic e Nabil (2005) citam por exemplo a sensibilidade da medida do UDI para mudanças nas dimensões de um protetor solar horizontal com o intuito de otimizar sua eficiência em relação ao sombreamento e a iluminação natural.

#### **1.1.3.3. Estudos Antecedentes**

Em estudos recentes, sugeriu-se que a estrutura do UDI poderia ser aprimorada a partir da divisão da faixa de  $UDI_{100-2000lux}$  em duas novas faixas:  $100-500lux$  e  $500-2000lux$ , sendo chamadas de  $UDI_{100-500lux}$  suplementar e  $UDI_{500-2000lux}$  autônomo (HESCHONG et al., 2009). Para a faixa do UDI-suplementar, existe a possibilidade da utilização conjunta da luz natural e artificial, através da dimerização. Já para a faixa do UDI-autônomo, não há necessidade de iluminação artificial complementar. No estudo da Iluminância, o cálculo do UDI provou ser muito mais útil e preciso do que uma simples análise do *daylight factor* (CANTIN e DUBOIS, 2011).

O significado da palavra medida, utilizada nos estudos citados, está relacionada, segundo Heschong et al. (2009), com uma combinação matemática de medições e/ou dimensões e/ou condições representadas em uma escala contínua. O objetivo de uma medida é combinar vários fatores que vão predizer com sucesso os resultados de melhor ou pior desempenho, e assim informar a melhor opção. O desempenho pode ser descrito por mais de uma medida, não é necessário combinar todos os fatores significativos em uma medida.

Mardaljevic et al.(2006) relatam que a análise da iluminação natural no espaço realizada a partir do cálculo das medidas dinâmicas tem sido feita a partir de uma malha de pontos-sensores distribuídos uniformemente no espaço, onde o

resultado tem sido apresentado tanto como em gráficos, como também em mapas com os valores indicados através de contornos e faixas de cores. Essas apresentações gráficas são valiosas para mostrarem como a luz natural é distribuída no espaço. No entanto, para um sistema de classificação é mais desejável, se possível, chegar a uma medida única do espaço.

Apesar de não haver ainda nenhuma norma ou regulamento que estipule faixas valores a serem alcançados, há estudos que apontam alguns procedimentos de tratamento das medidas dinâmicas.

Reinhart (2005) relaciona a profundidade da área iluminada naturalmente (*daylit area*), através de aberturas laterais, com o *daylight autonomy*, estipulando o valor de DA50%, ou seja, o limite da profundidade da área iluminada naturalmente corresponde aos pontos em que o DA cai para a metade do valor máximo. Os resultados mostraram que os valores obtidos se aproximaram daqueles indicados por guias e regulamentos, concluindo que a utilização do DA50% apresentou-se consistente e confiável para esta abordagem.

Mardaljevic et al. (2006) analisam vários exemplos de escritórios com o objetivo de demonstrar o benefício da utilização de medidas dinâmicas sobre o *daylight factor* na escolha de soluções de projeto. Foram utilizadas as medidas dinâmicas *daylight autonomy*, *continuous daylight autonomy* juntamente com o *maximum daylight autonomy* e *useful daylight illuminances*. O DF e o DA foram calculados a partir de uma linha central com sensores localizados a 2m e 6m, respectivamente, da fachada. Esses sensores correspondem a dois postos de trabalho, um na frente e outro na parte dos fundos do ambiente. Para as medidas do DA<sub>con</sub>, do DA<sub>max</sub> e do UDI foi considerada uma malha de 50x50cm, onde foram inseridos os sensores. Na análise do DA<sub>con</sub>, foram consideradas as faixas propostas por Rogers (2006) >40%, >60% ou >80% e identificada a percentagem de sensores que apresentaram valores dentro de cada faixa. O DA<sub>max</sub> também foi analisado a partir do valor considerado por Rogers, sendo indicada a percentagem de sensores que apresentaram valores dez vezes o valor do nível de iluminância mínimo, tendo como limite máximo o valor de 5%. Na análise do UDI foi utilizada a metodologia da pesquisa de Mardaljevic e Nabil (2005), onde o ambiente foi dividido pela metade, criando-se duas zonas, a da frente e de trás. Dentro destas zonas os valores obtidos em cada sensor foi agrupado nas diferentes faixas do UDI, resultando no percentual do ano em que ocorre o valor de cada faixa nas duas zonas (figura 06).

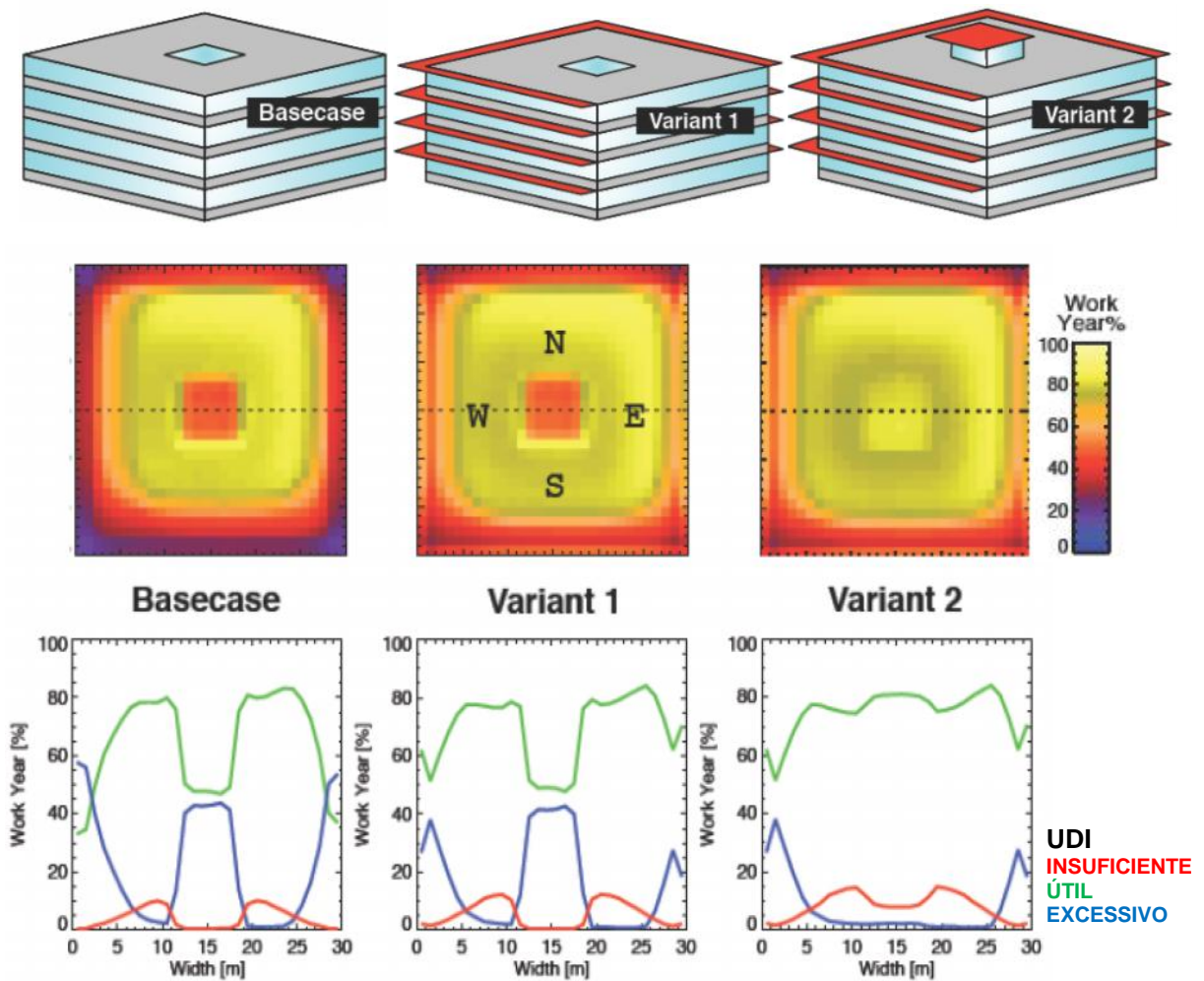
**Figura 6** - Exemplo do modelo da tabela utilizada no estudo de Mardaljevic, Reinhart e Rogers.

Work Place (front/back)		f	b
Daylight Factor (DF)		2.2%	0.4%
Daylight Autonomy (DA)		97%	53%
Continuous DA ( $DA_{con}$ )	> 40%	100%	
	> 60%	100%	
	> 80%	77%	
Maximum DA ( $DA_{max}$ )	> 5%	24%	
UDI <sub>&lt;100</sub>		9%	42%
UDI <sub>100-2000l</sub>		47%	58%
UDI <sub>&gt;2000</sub>		44%	0%

Fonte xx: Mardaljevic et al. (2006)

Em outro estudo, Mardaljevic (2006), com o objetivo de demonstrar a aplicação das medidas baseadas no clima, apresenta algumas aplicações práticas. No exemplo em que o autor demonstra a utilização do *useful daylight illuminances*, a análise dos dados se dá a partir de imagens e gráficos. As imagens representam a distribuição no espaço das porcentagens do ano em que o UDU<sub>útil</sub> foi alcançado e o gráfico complementa a análise, mostrando a relação da porcentagem de ocorrência no ano das três faixas do UDI com a largura do espaço. Com essa abordagem foi possível compreender como é que no modelo base, que não apresentava nenhum dispositivo de sombreamento, a ocorrência do UDU<sub>útil</sub> foi menor. Essa situação ocorreu devido a constatação de altos valores de iluminância (>2000lux), próximos a fachada e no centro, no modelo base. A partir da inserção de dispositivos de sombreamento, o UDI<sub>excessivo</sub> diminui, ocasionando uma melhor distribuição (figura 07).

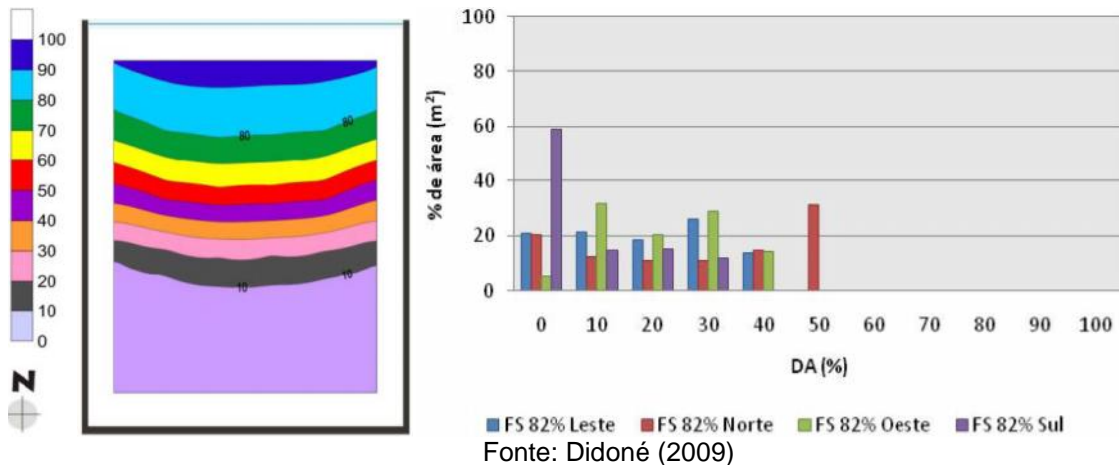
**Figura 07** - Modelos utilizados na demonstração do UDI e os métodos de tratamento dos dados.



Fonte: Mardaljevic (2006)

Na avaliação da eficiência energética, considerando o aproveitamento da luz natural na redução do consumo energético em edificações não residenciais, Didoné (2009) analisa o desempenho da iluminação natural através da medida dinâmica do DA. Para melhor ilustrar os valores obtidos, a análise é apresentada pelo método gráfico, com curvas isoDA (*Iso Daylight Autonomy*), onde cada valor do DA é representado por uma cor e por gráficos, através do *Microsoft Excel*, que mostram a relação da porcentagem de área de cada ambiente com os valores de DA obtidos nas simulações para cada orientação. Desta forma, pode-se identificar o comportamento da iluminação natural e conhecer os diferentes valores de DA por metro quadrado no plano de trabalho (figura 08).

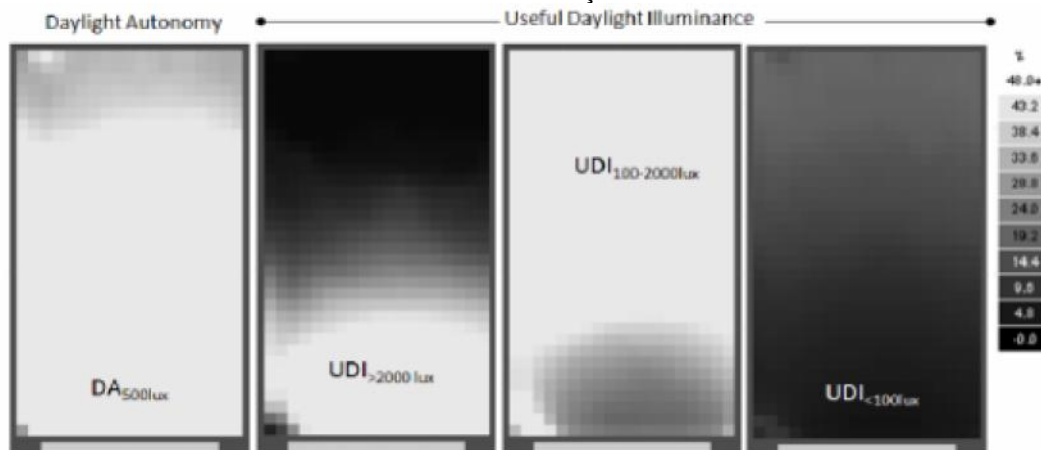
**Figura 08** - Método gráfico para análise da iluminação natural.



Segundo Robbins (1986), a delimitação de zonas de iluminação diferenciadas, num mesmo ambiente interno, as quais são demarcadas de acordo com os níveis de iluminamento, podem representar áreas de análise que posteriormente influenciarão no desenho da iluminação artificial. Souza (2003) sugere que a determinação das zonas de iluminação deve-se procurar por padrões de distribuição de iluminâncias que possam ser agrupados. No estudo de Rice (2006), o ambiente é dividido em três zonas para comparar a contribuição de diferentes tipos de solução de fachada no valor do *daylight autonomy*. Foi calculada a média do DA para cada zona e analisada graficamente.

Reinhart e Wienold (2011), em pesquisa recente, consideraram o valor mínimo do DA sendo 48%, valor semelhante adotado e testado por Reinhart (2005). A figura 09 mostra a distribuição de DA e UDI em um determinado ambiente. O ambiente foi dividido em duas zonas:  $DA > 48\%$ , representando a área que é iluminada apenas com luz natural e  $DA < 48\%$ , representando a área com iluminação natural parcial. A escala de cinza, na parte de trás da sala, indica valores de DA variando entre 0% a 48%. A figura da distribuição do DA sugere que a área iluminada naturalmente (*daylit*) corresponde a dois terços da sala.

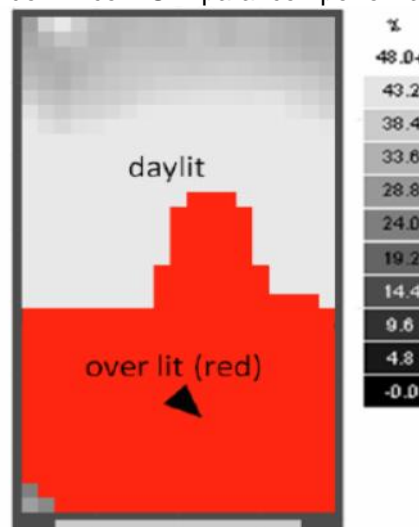
**Figura 09** - Distribuição do Daylight Autonomy e do Useful Daylight Illuminance em um ambiente de escritório com iluminação lateral.



Fonte: Reinhart e Wienold (2011)

A mesma figura mostra também a distribuição das três faixas do UDI. A imagem do  $UDI_{100-2000lux}$  sugere que há iluminação útil em dois terços da sala, enquanto que a imagem do  $UDI_{>2000lux}$  mostra um excesso de luz próximo a janela. Os autores propõem uma nova medida chamada de *Daylight Availability*, com a junção do DA com  $UDI_{>2000}$ , que está representada na figura 10. A área vermelha, perto da janela, corresponde a iluminação em excesso (*over lit*). Essa área representa um sinal de alerta que é dado quando o excesso de luz ultrapassa a frequência de 5% do ano (figura 10).

**Figura 10** - Junção do DA com UDI para compor o Daylight Availability.



Fonte: Reinhart e Wienold (2011)

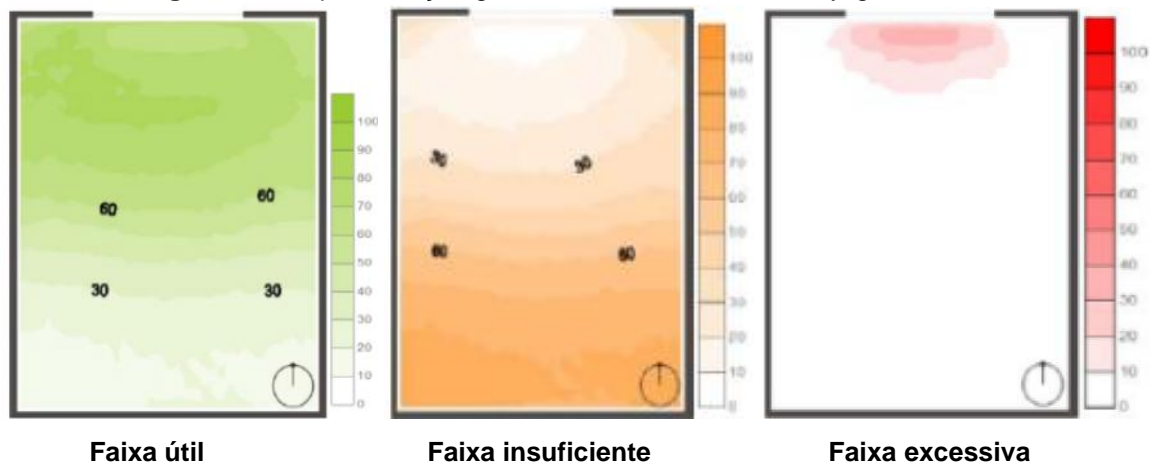
Esse valor foi selecionado a partir do método para avaliações térmicas do *British Standard BS EN 15251* (BSI 2007), a qual define limites para várias categorias de conforto que pode ser excedido em 3 a 5% do tempo ocupado no ano. O excesso de luz é assumido quando o nível de iluminância supera dez vezes o

nível mínimo de iluminância. Esse critério corresponde a medida do  $DA_{max}$  proposto por Rogers (2006).

Diante da impossibilidade de analisar a uniformidade da iluminação natural através dos valores do UDI, Diaz (2011) optou por calcular a média e o desvio padrão das percentagens do tempo em que o nível luminoso permanece na faixa útil, a fim de conhecer o grau de dispersão dos dados. Quanto menor o valor do desvio padrão mais uniforme a distribuição luminosa. Segundo o autor, embora estas medidas estatísticas não consigam substituir a utilidade do perfil de uniformidade ao longo do ano, fornecerão uma idéia global da distribuição.

Os valores da faixas UDI foram representadas através de gráficos com a ajuda do software *Winsurf* com o objetivo de avaliar a admissão e a distribuição da luz natural em planta e sua variabilidade em relação a mudanças de orientação e de soluções de fachada (figura 11).

**Figura 11** - Representação gráfica das faixa do Useful Daylight Illuminances.



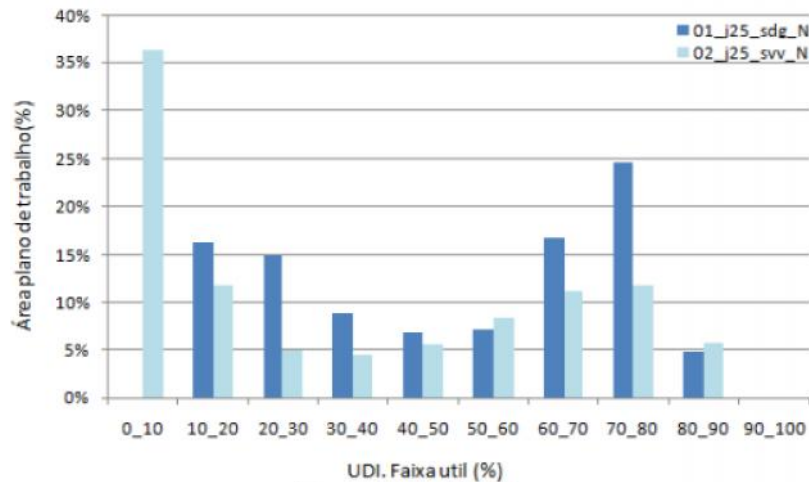
Média UDI faixa útil =50.38%

Desvio padrão=23.35

Fonte: Diaz (2011)

Para complementar a análise gráfica, Diaz (2011) elaborou um gráfico, semelhante ao de Didoné (2009), que mostra a distribuição da área do plano de trabalho em grupos de acordo com o tempo de permanência de cada ponto da malha na faixa útil (figura 12). Todos esses dados foram utilizados para fazer uma análise comparativa de modelos com diferentes soluções de fachada.

**Figura 12** – Gráfico da distribuição da área do plano de trabalho em grupos de acordo com o tempo de permanência na faixa útil-UDI.



Fonte: Díaz (2011)

Os resultados obtidos nos estudos citados, mostraram que a análise do comportamento da iluminação natural no ambiente contruído através da medida do *Useful Daylight Illuminances*, possibilita um avaliação da iluminação natural mais abrangente e informativa do que aquela realizada através do *Daylight Autonomy*.

#### 1.1.4. Simulações da Luz Natural Baseadas no Clima

De acordo com uma pesquisa realizada em 2005, 177 projetistas, sendo a maioria profissionais creditados pelo LEED, ainda dependem muito de experiências de trabalhos passados e de regras elaboradas para o desenvolvimento de estratégias de iluminação natural. No entanto, simulação computacional foi a ferramenta principal, citada na pesquisa, para auxiliar na escolha e na avaliação de uma boa estratégia de iluminação natural para o projeto de edifícios (GALASIU e REINHART 2008).

Considerando que a luz natural é muito variável - devido ao movimento do sol, às mudanças das estações e às diversas condições climáticas - adotar métodos de simulação que analisam apenas um momento do ano, uma hora do dia ou uma única condição de céu nublado, resulta em análises incompletas. Nesse sentido é que surge a necessidade de medidas baseadas no clima, como o *daylight autonomy* e o *useful daylight illuminances* (ANDERSEN et al., 2008).

A simulação da luz natural baseada no clima - *climate based daylight modelling* - termo utilizado por Mardaljevic (2006), vem sendo utilizada como alternativa para as simulações estáticas, com o objetivo de superar algumas limitações identificadas neste tipo de simulação. Essa abordagem é considerada



atualmente como a mais promissora, talvez a única, linha de pesquisa que permite uma avaliação eficaz e realista do comportamento da luz natural em edifícios (MARDALJEVIC, 2008).

Simulações da luz natural baseadas no clima, chamadas também de simulações dinâmicas, estão relacionadas com a predição de diversas variáveis radiantes ou luminosas, como por exemplo irradiação, radiação, iluminância e luminância, a partir das condições do sol e do céu, e que são derivadas de um padrão de dados meteorológicos referentes a um ano inteiro. Este tipo de simulação fornece predições de quantidade, como por exemplo iluminâncias, que são dependentes tanto do local como também da orientação das aberturas, isto é, leva em consideração as posições do sol e as condições do céu. Soma-se a isto a geometria do espaço e as propriedades dos materiais. O funcionamento do ambiente pode ser considerado, nestes tipos de simulações, em diferentes graus de precisão, dependendo do tipo do dispositivo (luminárias, venezianas, brises móveis, etc.) e da estratégia de controle assumida.

Várias ferramentas computacionais são utilizadas para fazer essa análise dinâmica da luz natural. No quadro abaixo se pode observar alguns destes programas (tabela 03).

**Tabela 03-** Programas de simulação computacional de iluminação natural dinâmica.

PROGRAMA	PROGRAMA SIMULADOR	ALGORITMOS DE SIMULAÇÃO DINÂMICA	SITES
Adeline	Radiance	céu estatístico	<a href="http://www.ibp.fhg.de/wt/adeline/">www.ibp.fhg.de/wt/adeline/</a>
Daysim	Radiance	daylight coefficients & Perez	<a href="http://www.daysim.com">www.daysim.com</a>
ESP-r	Radiance	daylight coefficients & Perez	<a href="http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm">www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm</a>
Ligtswitch Wizard	Radiance	daylight coefficients & Perez	<a href="http://www.buildwiz.com">www.buildwiz.com</a>
SPOT	Radiance	céu de simulação anual da CIE	<a href="http://www.archenergy.com/SPOT">www.archenergy.com/SPOT</a>

Fonte: adaptado de MARDALJEVIC et al., 2006.

#### 1.1.4.1. Daysim

O programa escolhido para realizar as simulações computacionais da luz natural neste trabalho foi o *DAYSIM*. Este programa consiste em uma ferramenta de análise da iluminação natural baseada no algoritmo do *RADIANCE*<sup>2</sup> e foi

<sup>2</sup> O *RADIANCE* é um programa de simulação baseado no comportamento físico da luz, desenvolvido nos Estados Unidos, na Universidade da Califórnia. O programa prediz a distribuição de iluminâncias

desenvolvido pelo *National Research Council of Canada (NRCC)*. Ele utiliza o método do *daylight coefficient* - combinado com o modelo de céu de Perez para calcular de maneira eficaz a distribuição da iluminância luminânica sob todas condições de céu durante o ano. O *Daysim* divide a abóbada celeste em várias zonas e calcula a contribuição de cada uma das zonas no valor da iluminância de um determinado ponto no ambiente. O programa trabalha com dados anuais através de arquivos climáticos TRY (*Test Reference Year*).

O uso do método utilizado pelo *Daysim* viabiliza o tempo de simulação para todas as horas do ano, evitando a necessidade de simular todas as condições de céu para se traçar o perfil anual de iluminação (REINHART, 2006).

A simulação é realizada a partir da importação de um modelo tridimensional do ambiente com todas as propriedades ópticas das superfícies já definidas. A construção do modelo pode ser realizada, tanto no *Ecotect*, como no *Autocad* ou no *Sketchup*. Para cada simulação, o programa produz um relatório no formato *htm* com os valores do *Daylight Factor (DF)*, *Useful Daylight Illuminance (UDI)*, *Daylight Autonomy (DA)*, *Continuous Daylight Autonomy (DA<sub>con</sub>)*, *Maximum Daylight Autonomy (DA<sub>max</sub>)* e do *Daylight Saturation Percentage (DSP)* para cada ponto de referência, de forma tabular e não gráfica, necessitando de outros programas, como o *Ecotect* ou *Winsurf*, para traduzir graficamente os dados obtidos.

#### **1.1.5. Edificações Educacionais e Iluminação Natural**

A iluminação natural sempre foi um fator importante na concepção e funcionamento de ambientes escolares. Até a década de 1950, predominou o uso da luz natural nas salas de aula. Com a redução do custo da energia e a flexibilidade que a iluminação artificial oferecia, a iluminação natural foi ficando em segundo plano. Porém, com a crise do petróleo, durante a década de 70, a preocupação com a conservação de energia começou a se esboçar nos projetos de escolas. Todavia, essa preocupação se concentrou inicialmente na redução da carga térmica para o ar condicionado, e uma forma de atingir esse objetivo era reduzindo a área da abertura. Na década de 80, ainda relacionado com a questão da necessidade da economia de energia, as discussões sobre as vantagens da luz natural voltam a aparecer. Apenas

---

e luminâncias em edificações sob condições de céu definidas. Possui um mecanismo baseado no método de cálculo Ray-trace largamente utilizado e aceito na avaliação da iluminação natural em edificações (DIDONÉ 2009 apud WARD, 1993).

a partir dos anos 90 é que uma série de pesquisas começa a ser desenvolvida com o objetivo de avaliar não só as questões envolvidas com a conservação de energia, mas também relacionadas com a qualidade e a influência da iluminação natural na saúde e no desempenho dos estudantes.

O manual elaborado pelo Departamento de Energia do governo dos Estados Unidos - *National Best Practices Manual for Building High Performances Schools* (CHPS, 2002) reconhece a iluminação natural como a principal estratégia para escolas energeticamente eficientes e aponta, baseado em resultados de várias pesquisas e estudos realizados anteriormente, os benefícios propiciados pela luz natural: aumento do desempenho acadêmico, conservação de energia, melhor qualidade da iluminação, conexão com a natureza e melhorias para a saúde.

No Brasil, as orientações sobre iluminação natural contidas nos manuais e recomendações das entidades responsáveis pela normatização de projetos para edifícios escolares no país, apresentam apenas princípios gerais para se obter uma boa iluminação, mas não indicam como atingir esses objetivos (BERTOLOTTI, 2007).

Bertolotti (2007) sintetiza de maneira geral, de acordo com recomendações, leis e manuais para a orientação do projeto de ambientes escolares, três fatores básicos de desempenho que devem ser levados em consideração em relação às condições de iluminação em ambientes educacionais:

- Níveis mínimos de iluminância: quantidade mínima de luz no plano de trabalho que possibilite a realização das atividades pretendidas com esforço visual que não comprometa a saúde . Esses níveis estão estabelecidos na norma NBR 5413 “Iluminâncias de interiores – Especificação” da ABNT (1991), conforme tabela 04 abaixo.

**Tabela 04** - Níveis de Iluminância para ambientes escolares.

AMBIENTES ESCOLARES	ILUMINÂNCIAS RECOMENDADAS (lux)
Sala de aula	200-300-500

Fonte: NBR 5413.

A norma diz que das três iluminâncias, deve-se considerar o valor do meio em todos os casos, com exceção:

- a) se a tarefa se apresentar com refletâncias e contrastes bastante baixos;
- b) se erros forem de difícil correção;
- c) se o trabalho visual for crítico;

- d) se a alta produtividade ou precisão são de grande importância;
- e) se a capacidade visual do observador está abaixo da média.

Deve-se considerar o valor mais alto. O valor mais baixo pode ser usado quando:

- a) refletâncias ou contrastes são relativamente altos;
  - b) a velocidade e/ou precisão não são importantes;
  - c) a tarefa é executada ocasionalmente.
- Boa uniformidade da luz no ambiente: ou seja, da distribuição uniforme dos níveis mínimos de iluminância pelo ambiente; depende basicamente da forma, dimensões e posição das janelas;
  - Ausência de ofuscamento: em relação à iluminação natural está relacionado a evitar a incidência de luz solar direta nos planos de trabalho, como lousas, carteiras, brinquedos e monitores de computadores. Ofuscamento pode ser causa de distração e desconforto, prejudicando as tarefas visuais.

No estudo da influência das variáveis de projeto no consumo de energia de salas de aula, Perez e Capeluto (2009) identificaram o sistema de controle de iluminação como a variável mais impactante. Segundo os autores, utilizar estratégias que otimizem a iluminação das salas de aula, através da divisão do ambiente em zonas e do uso de dimmers e elementos de proteção solar, é essencial para se obter um ambiente escolar de alta performance. A outra variável identificada que influenciou bastante no consumo de energia nas salas de aula foi o tamanho da aberturas e sua orientação. Juntas, essas variáveis foram capazes de reduzir o consumo de energia em aproximadamente 39%.

## **1.2. ABERTURAS LATERAIS**

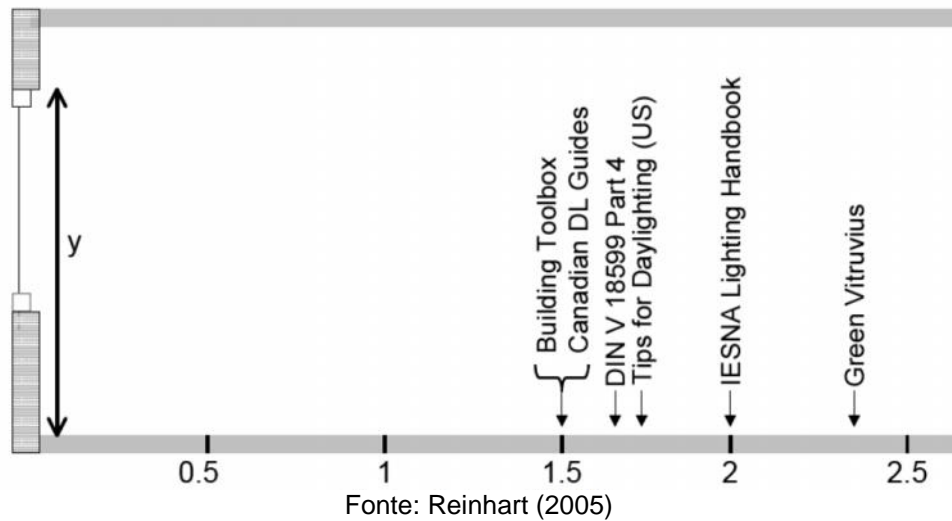
Dentre as funções da abertura (ventilação, visão do exterior e iluminação) a principal é a iluminação natural (BAKER et al., 1993). O projeto da iluminação natural baseia-se nas relações geométricas entre o espaço a ser iluminado e o tamanho, forma e localização das aberturas. Compreender essas relações de proporcionalidade entre o espaço e as características das aberturas permite a manipulação da penetração, da distribuição, da quantidade e da qualidade da luz natural no ambiente (ROBBINS,1986). O estudo dessas relações têm grande influência no desempenho global das edificações, exigindo um projeto adequado, visto que as aberturas influenciam não só no desempenho luminoso, como também visual, térmico e acústico.

Para fins de iluminação no plano horizontal, Moore (1985) recomenda que a abertura tenha, entre outros, os seguintes objetivos: maximizar a transmissão da luz; controlar a penetração da luz solar direta no plano de trabalho; controlar o contraste do brilho no campo visual do ocupante; minimizar o ganho de calor durante o período de aquecimento.

No entanto, alguns destes objetivos são contraditórios, e a importância de cada um varia de acordo com a orientação, com a estação do ano, com a hora do dia, com a latitude, com a carga térmica do edifício, e com o tipo de ocupação. Em particular, os objetivos do controle da luz solar direta e do controle do ganho de calor implica em diferentes configurações para cada orientação devido ao movimento diário e sazonal do sol.

Kremer (2002) aponta que a abertura lateral é a forma mais comumente utilizada, mesmo que apresente várias desvantagens, como por exemplo a rápida redução dos níveis luminosos desde o plano da janela até o fundo do ambiente. Como consequência desta situação, são verificados ofuscamentos na área próxima à janela e grandes contrastes na distribuição da luz no interior do espaço. Normalmente, se considera a profundidade da área iluminada (*daylit area*) como dependente da relação entre a altura do piso e a parte superior da abertura, porém há controvérsias quanto o valor dessa relação. Reinhart (2005) aponta as diferentes abordagens dadas por normas, regulamentos e guias em relação a profundidade da área iluminada naturalmente alcançada pela luz natural através de aberturas laterais (figura 13).

**Figura 13** - Profundidade da área iluminada (valor indicado pelos guias multiplicado por "y") de acordo com diferentes versões.

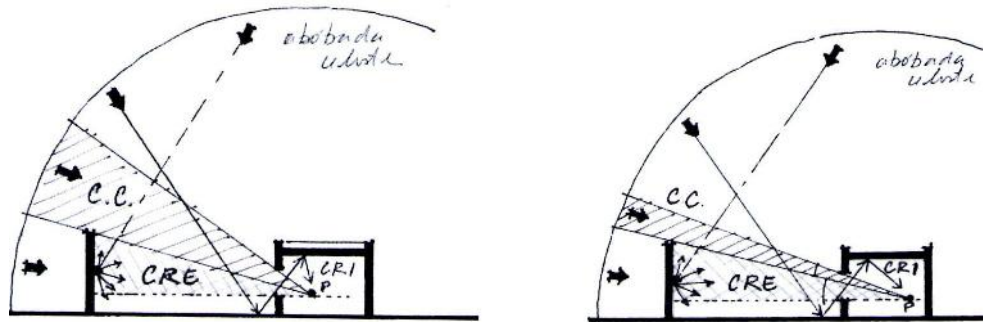


Estes valores se aproximam dos resultados de sua pesquisa, que através de simulações computacionais, concluiu-se que em aberturas laterais com elementos de proteção solar o valor da profundidade está relacionado com 1,5 (uma vez e meia) a altura do chão até a parte superior já abertura, e 2,5 (duas vezes e meia) para aberturas sem proteção solar .

Lam (1986) descreve que esse tipo de abertura é mais fácil de se utilizar em edifícios com plantas estreitas, já que em ambientes profundos existe a dificuldade de se iluminar as áreas mais afastadas e que as localidades com o ângulo solar alto (fachada norte e sul em localidades próximas a linha do equador) são mais indicadas para empregar as janelas laterais.

Como já mencionado anteriormente, no item que aborda as fontes da iluminação natural, a soma das componentes que compõem a luz diurna (componente celeste, componente de reflexão externa e componente de reflexão interna), resulta no total da luz natural admitida em um determinado ponto no ambiente interno, pela abertura lateral. A relação de contribuição de luz dessas componentes depende da localização do ponto "P" no interior do espaço, um vez que dependendo do lugar onde estiver, pode-se visualizar mais ou menos a abóbada celeste, assim como as obstruções externas (figura 14).

**Figura 14** - As três componentes da luz natural em relação a localização do ponto "P".



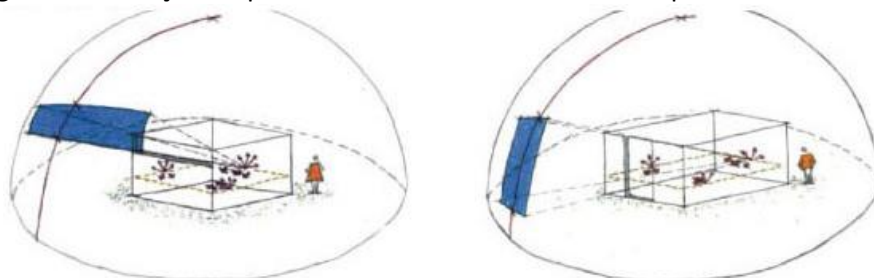
Fonte: Viana e Gonçalves (2001)

Ünver et al.(2003) consideram a obstrução do céu como um dos fatores de maior influência na luz natural no ambiente construído. Neste sentido, Hopkinson et al. (1975), Littlefair (1991), Capeluto (2003), NG (2005) e Leder (2007) propõem parâmetros de controle da obstrução do céu para preservar o acesso à iluminação proveniente da abóbada celeste.

Para aproveitar o máximo as vantagens que as aberturas laterais apresentam e minimizar seus pontos negativos, é necessário conhecer as variáveis envolvidas no projeto desse componente arquitetônico e o efeito que cada uma delas tem na distribuição da luz natural no ambiente e no controle da radiação solar, e conseqüentemente na eficiência energética do edifício.

Em relação à posição, Baker et al. (1993) afirmam que aberturas laterais quanto mais altas favorecem uma maior penetração da luz no ambiente, produzindo uma distribuição da luz natural mais uniforme, porém com intensidade reduzida. O posicionamento das aberturas deve ser projetado em função da área de céu visível (FONSECA, 2010) uma vez que diferentes zonas do céu apresentam diferentes valores de luminância (TREGENZA, 1993 apud LEDER 2007) (figura 15).

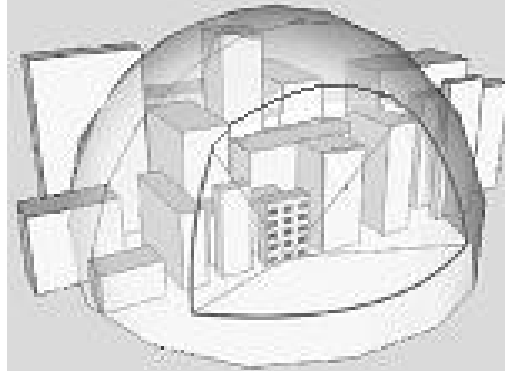
**Figura 15** - Relação do posicionamento da abertura com a parte do céu visível.



Fonte: Fonseca (2010).

Com a intenção de maximizar o uso da luz natural no ambiente interno, Leder (2007) propôs o parâmetro Janela do Céu Preferível (JCP). Este parâmetro representa a zona do céu com maior potencial de iluminação da abóbada celeste no ambiente interno (figura 16).

**Figura 16** - Representação esquemática do conceito da Janela do Céu Preferível.



Fonte: Leder et al. (2007).

A caracterização deste parâmetro foi baseada em três aspectos: na contribuição relativa de cada zona do céu, no ângulo de incidência da luz e na visibilidade do céu a partir do ambiente interno.

Uma outra variável importante a ser considerada no projeto é o percentual da abertura na fachada (PAF%). Esse percentual pode ser dado a partir de uma única abertura ou da distribuição ao longo da fachada de várias janelas. Quando se compara um abertura única com área igual a várias aberturas, se observa que o total da luz admitida é muito parecido, porém a distribuição e a visão do exterior são diferentes (BAKER et al., 1993).

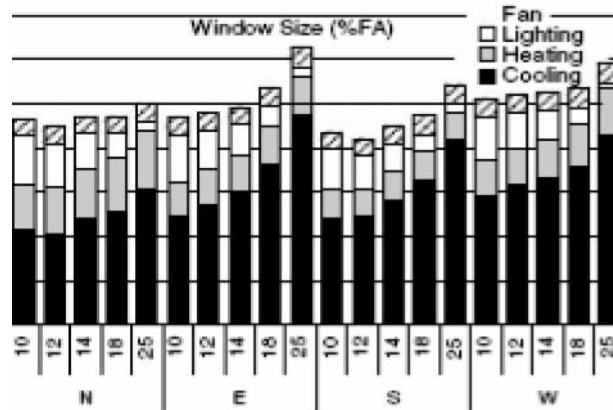
O valor do PAF para diversos climas e regiões encontra-se definido em diversas normas e regulamentos. Segundo Venâncio (2007), as principais normas cujas prescrições abarcam o clima quente e úmido brasileiro são a norma 90.1 ASHRAE (2004b) e a ABNT (2005). A ASHRAE (2004b) afirma que a área de superfície translúcida vertical deve ser menor do que 50% do total de parede, já a ABNT (2005) indica 40% da área do piso.

Com objetivo de criar um banco de dados com recomendações para o desenvolvimento de edificações escolares em clima quente-úmido, mais eficientes energeticamente, Perez e Capeluto (2009) pesquisaram a influência de diversas variáveis do projeto na redução do consumo de energia, considerando o conforto térmico e visual. Através de simulações computacionais, identificaram para cada variável um valor recomendado para alcançar um ambiente escolar de alta performance térmica e luminosa. Em relação às aberturas, os autores observaram que para a orientação Norte e Sul, o tamanho recomendado foi de 12% da área do piso, que corresponde no caso do modelo utilizado, um PAF de aproximadamente



30%. Para as fachadas Oeste e Leste, o valor recomendado foi de 10% da área do piso (PAF%=25.5%) (figura 17).

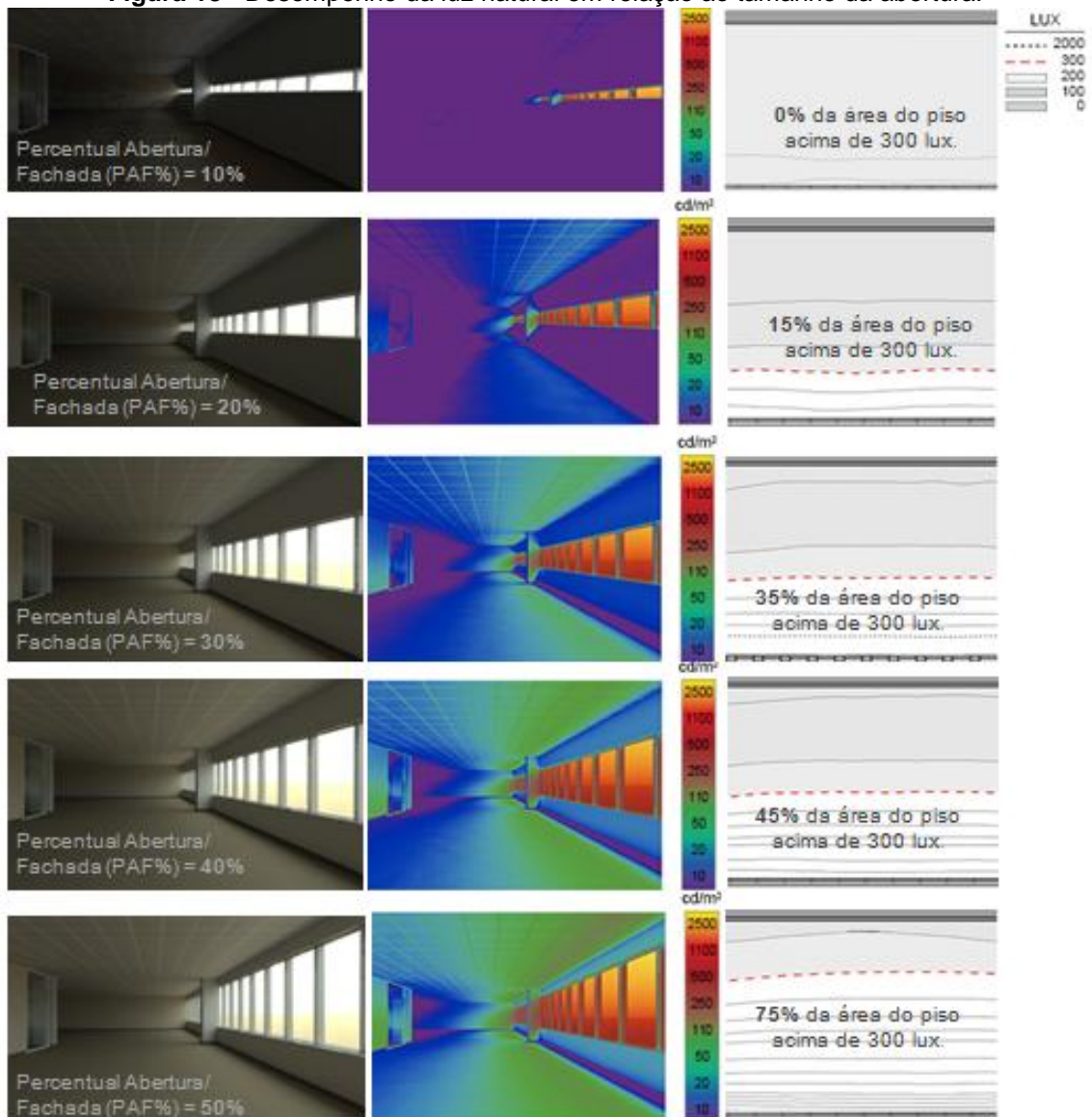
**Figura 17** - Influência do tamanho da Janela no consumo de energia para cada orientação.



Fonte: Perez e Capeluto (2009).

Os resultados abaixo fazem parte de um estudo de caso baseado no edifício do Banco Banner nos Estados Unidos, realizado pelo *New Buildings Institute* em parceria com a Universidade de Idaho e de Washington, e mostra a influência do PAF e do posicionamento da abertura na distribuição da luz natural no ambiente (figura 18).

**Figura 18** - Desempenho da luz natural em relação ao tamanho da abertura.



Fonte: adaptado de <http://patternguide.advancedbuildings.net/home>

Quanto a orientação, é importante considerar a trajetória do sol, já que este tem uma grande influência no ganho de calor, na admissão da luz natural e no ofuscamento. Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975), afirmam que dependendo da latitude, existem zonas mais brilhantes da abóbada celeste para as quais as janelas deveriam ser orientadas visando um maior aproveitamento do recurso da luz natural. Segundo Lam (1986), o ofuscamento pode ser minimizado através da orientação da edificação, com as fachadas mais longas voltadas para Sul e Norte. Esta decisão projetual facilita o controle do ganho de calor pela janelas e torna o redirecionamento da luz do sol mais eficaz, permitindo um maior controle sobre a redução do consumo de energia.

Kremer (2002) comparou, entre outras situações, o desempenho da iluminação natural em uma sala de aula de duas orientações de abertura para a cidade Florianópolis, uma para Norte e outra para Leste. Foi identificado que, para o Norte, o nível e a distribuição da iluminação foram melhores, sendo o nível de iluminância médio mais elevado, assim como ocorreu uma maior presença da zona luminosa com valores aceitáveis.

### **1.3. CONFORTO TÉRMICO**

A análise aprofundada da questão do conforto ambiental demonstra que o conforto térmico é o aspecto que se constitui no problema mais grave em ambientes escolares (KOWALTOWSKI et al., 2009). Esta situação está intimamente relacionada com a orientação das aberturas em salas de aula (Leste e Oeste) e a inadequação dos elementos de proteção solar, gerando insolação excessiva (KOWALTOWSKI et al., 1999).

O conforto térmico pode ser definido como a sensação psicológica que expressa satisfação com as características do ambiente térmico ao redor, sendo essencial para a sensação de bem estar e o desenvolvimento de atividades. Olgyay (1998) destaca as principais variáveis climáticas que interferem nas características do ambiente térmico: temperatura do ar (temperatura de bulbo seco), temperatura das superfícies envolventes (temperatura radiante), movimento do ar e umidade. A radiação solar, por exemplo, afeta tanto na temperatura do ar do ambiente como na das superfícies; exposição solar direta causa a sensação de aquecimento; e a radiação absorvida pela vestimenta ou pele converte-se em calor percebido como aumento de temperatura.

A importância das definições do conforto térmico aparece em várias fases do projeto, desde o programa com o levantamento dos dados do clima, o horário de ocupação, análise das atividades desenvolvidas em cada espaço e a necessidade de sombreamento para a região, passando pelo anteprojeto com o estudo da forma e orientação do prédio, análise da insolação nas superfícies do edifício, o estabelecimento de critérios sobre a proporção de área envidraçada e os métodos de proteção, até chegar no projeto com o detalhamento das aberturas e proteções.

### 1.3.1 Radiação Solar

A radiação solar chega até a Terra, essencialmente, na forma de radiação direta -  $I_D$  e de radiação difusa do céu -  $I_d$ , sendo a intensidade de radiação solar incidente global -  $I_g$  ( $W/m^2$ ) assim composta.

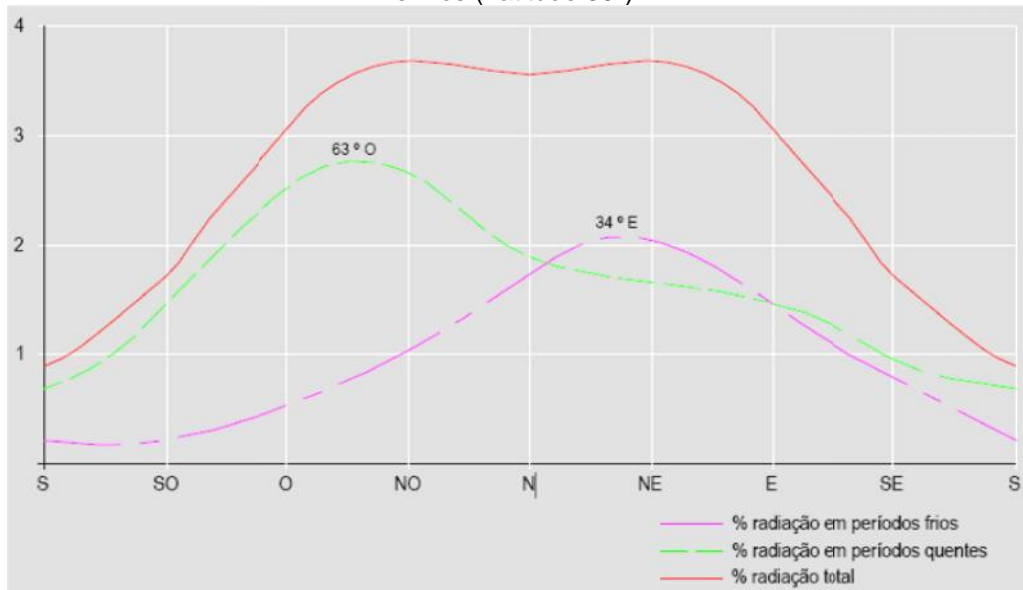
Em locais com climas predominantemente quentes, a radiação solar pode ser considerada como uma das variáveis de maior impacto da arquitetura. O ganho de calor excessivo, produzido pela absorção de energia solar através das superfícies da edificação, é uma das principais causas de desconforto térmico (FROTA e SCHIFFER, 2001). Este ganho de calor é processado através dos fechamentos opacos e transparentes. Parte da radiação incidente nos fechamentos opacos é refletida, e parte é absorvida e transferida para o interior da edificação. Nos fechamentos transparentes ocorre o mesmo processo, no entanto, deve-se acrescentar a parcela de radiação que penetra devido a transparência e que acaba gerando o efeito estufa e aumentando a temperatura do ar no ambiente interno. O fechamento transparente constitui um ponto fraco da envoltória de um edifício, necessitando de cuidados especiais.

As principais estratégias recomendadas para controlar a incidência e a penetração da radiação nos espaços internos das edificações são: localizar e orientar o edifício de modo a minimizar o ganho de calor, controlar as proporções e as orientações das janelas e sombrear as superfícies nos períodos identificados como necessários.

A projeção geométrica da trajetória solar aparente e da radiação incidente, tanto na forma de calor quanto de luz, que cada fachada recebe em função da orientação, permitem estabelecer alguns parâmetros a serem utilizados como critérios em projetos das diversas tipologias funcionais (FRANDOLOSO, 2001).

Frاندoloso (2001), a partir de dados da radiação solar para cada fachada, analisou o comportamento térmico das fachadas nos períodos quentes e frios para a cidade de Passo Fundo - RS (figura 19).

**Figura 19** - Radiações recebidas nas superfícies verticais segundo orientação nos períodos quentes e frios (Latitude 30°).

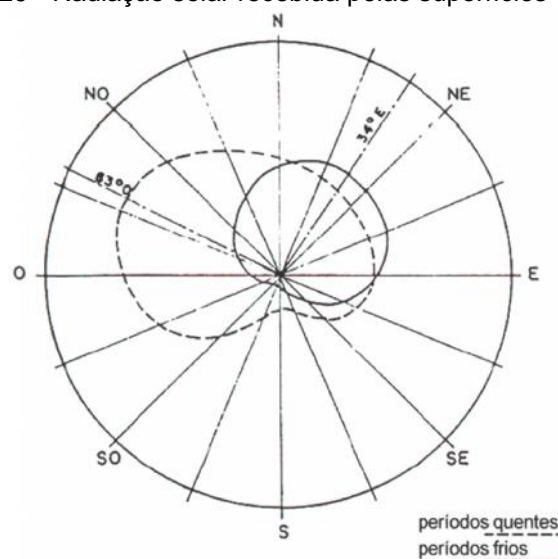


a) nas fachadas nordeste e noroeste foram identificados uma insolação mais equilibrada durante todo o ano. Porém, são mais frias no inverno e mais quentes no verão que as superfícies com orientação norte;

b) as fachadas leste e oeste, comparadas com as fachadas norte, nordeste e noroeste, tornam os ambientes mais quentes no verão e mais frios no inverno.

Frandoloso mostra ainda que a máxima radiação para o período quente está situada a 63° Oeste, enquanto no período frio a 34° Leste (figura 20).

**Figura 20** - Radiação solar recebida pelas superfícies verticais.



A partir da identificação da insolação das fachadas é possível elaborar diagramas que indiquem as orientações e horários em que o sombreamento das superfícies se faz necessário.

### **1.3.2 Sombreamento como estratégia de projeto para regiões de clima quente e úmido**

Para cada demanda climática existe sempre uma variedade de respostas arquitetônicas. Nesse sentido o clima é de fundamental importância na arquitetura por estar diretamente relacionado a soluções arquitetônicas e ao conforto dos usuários.

Se em regiões de clima frio a procura pelo calor do sol é um permanente e óbvio desejo, em um clima tropical com intensa radiação solar o ano inteiro, a sombra é absolutamente essencial para o bem-estar do homem. A expressão muito utilizada "por um lugar ao sol", válida para locais de clima frio e temperado, pode ser certamente modificada e utilizada para o Brasil tropical, passando a valer "por um lugar à sombra"..

O sombreamento é uma das estratégias bioclimáticas mais indicadas para o Brasil. O clima tropical no qual se insere a maior parte do país se divide em duas categorias: a quente e seca e a quente e úmida, sendo nesta última onde encontra-se inserida a cidade objeto de estudo da pesquisa, caracterizado por ter praticamente duas estações: verão e inverno. No entanto, o inverno, neste tipo de clima, é geralmente uma estação de chuvas com temperaturas elevadas. Desta forma, o período de superaquecimento é estendido e a necessidade de sombreamento também se faz presente.

A norma NBR 15220-2 aborda o desempenho térmico de edificações no Brasil e faz uma zoneamento bioclimático do país com recomendações projetuais específicas para cada zona. Uma das estratégias de condicionamento térmico passivo indicado pela norma para zona bioclimática 8, onde se localiza o objeto de estudo, é o sombreamento das aberturas.

Nas recomendações projetuais de Holanda (1976), que objetivam orientar a criação de espaços arquitetônicos adequados ao clima do Nordeste brasileiro, uma das estratégias passivas de condicionamento mais eficaz é o sombreamento.

Venâncio (2007) afirma que o desempenho da envoltória depende primeiramente da adequada proteção de suas aberturas (sombreamento).

Bittencourt (2004) ressalta a importância de evitar ganhos de calor advindos da radiação solar e recomenda que, devido as característica do clima quente-úmido, as potencialidades plásticas e espaciais das grandes sombras devem ser exploradas.

### **1.3.3 Necessidade de sombreamento**

O estudo dos elementos de proteção solar na fase inicial do projeto pode contribuir para o controle eficaz da quantidade de radiação solar no edifício. Para isso é preciso identificar os limites de temperatura nas quais a incidência solar é indesejável, através da definição de zonas de conforto térmico específicas para cada cidade, que é dada em função da adoção de um índice de conforto adaptativo. Este índice é capaz de representar a adaptação natural das pessoas a diferentes tipos de clima e a variação anual da temperatura de um clima. No entanto, Pereira e de Assis (2010) afirmam que ainda não existe um consenso sobre qual índice usar, uma vez que existem vários modelos desenvolvidos no mundo, mas nenhum modelo desenvolvido para o Brasil.

Pereira e de Assis (2010) discutiram a aplicação de índices adaptativos em diferentes condições climáticas do país, com o objetivo de identificar um modelo que possa servir como critério de escolha de soluções projetuais nas etapas iniciais de projeto. Os autores compararam os modelos desenvolvidos por Humphreys em 1978, Aluciemis em 1981, De Dear e Brager em 2002 e Nicol e Humphreys também em 2002, com os índices de conforto térmico definidos para algumas cidades do Brasil. Para Fortaleza, os modelos foram comparados para o ano inteiro, com os limites da zona de conforto térmico definida por Araújo (2001)<sup>3</sup>. De acordo com Araújo (2001), a zona de conforto para este tipo de clima se encontra dentro dos limites de 25,1°C a 28,1°C de temperatura de bulbo seco e de 69% a 92% de umidade relativa. Dentre os modelos analisados, observou-se que a zona de conforto do modelo desenvolvido por Humphreys foi a que apresentou maior aproximação com a zona de conforto definida por Araújo (2001). Contudo, o índice que demonstrou melhor compatibilidade quando utilizado no projeto de dispositivos de proteção solar foi o de Aluciemis.

---

<sup>3</sup> Araújo (2001), na sua pesquisa, encontrou índices de conforto térmico para cidade de Natal. Foram avaliados 933(novecentos e trinta e três) alunos em escolas de nível médio, técnicas e universidades, realizando atividade sedentária e em salas de aula naturalmente ventiladas. De acordo com a autora, os índices encontrados podem ser expandidos para outras cidades de clima tropical úmido do litoral nordestino.

Araújo (2001) comparou o índice de conforto térmico encontrado na sua pesquisa com outros índices mais utilizados no Brasil, quais sejam: índice de temperatura efetiva, zona de conforto de Olgay, zona de conforto de Givoni, modelo de Fanger e o índice da temperatura efetiva padrão. Constatou-se, à exceção do índice de temperatura efetiva, a inadequação de todos os índices para o caso estudado.

Pereira e Souza (2008) discutiram uma metodologia para definição de critérios para o uso de dispositivos de proteção solar para as cidades brasileiras, que posteriormente foi incorporada no Regulamento Técnico da Qualidade – RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. A pesquisa considerou as seguintes variáveis: latitude local, incidência da radiação solar nas fachadas, uso da edificação, aclimatação da população e área das aberturas, para definir os limites mostrados nas equações abaixo que representam as áreas na carta solar onde a admissão de sol pelas aberturas deve ser eliminada e onde é desejável. As equações abaixo estão relacionadas com edificações de uso comercial ou de serviço público.

- Indesejabilidade da incidência da radiação solar

- Aberturas inferiores a 25% da área do piso:  $T_{ar} > T_n + 2^{\circ}\text{C}$  e  $I_g > 500 \text{ W}$  (**eq. 1**)
- Aberturas superiores a 25 % da área do piso:  $T_{ar} > T_n + 2^{\circ}\text{C}$  e  $I_g > 600\text{W}$  (**eq. 2**)

Onde:

$T_{ar}$  é a temperatura do ar média mensal horária,

$T_n$  é a temperatura neutra ( $^{\circ}\text{C}$ )

$I_g$  é a radiação solar global incidente sobre a fachada ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

- Desejabilidade da incidência da radiação solar

Nas duas situações do tamanho das aberturas, não deverá haver qualquer proteção solar quando a temperatura for inferior à temperatura neutra menos  $4^{\circ}\text{C}$  ( $T_n - 4^{\circ}\text{C}$ ).

A metodologia apresentada é estruturada nas seguintes etapas: (1) tratamento dos dados das Normais Climatológicas para a obtenção dos valores horários da temperatura; (2) cálculo da temperatura neutra<sup>4</sup> mensal; (3) classificação das temperaturas horárias em relação as equações apresentadas anteriormente; (4)

---

<sup>4</sup> Temperatura neutra é aquela na qual uma população aclimatada, em atividade sedentária, se sente confortável. Ela fornece variações acima das quais a insolação deve ser bloqueada ou permitida.



transposição da classificação da temperatura obtida para a carta solar; (5) marcação das manchas de radiação solar incidente de 500 e 600W por fachada na carta solar.

As temperaturas horárias ( $T_j$ ) e a temperatura neutra ( $T_n$ ) serão calculadas através das equações abaixo:

$$T_j = T_{\max} - (T_{\max} - T_{\min}) \times F_j \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (\text{eq. 3})$$

onde:

$T_j$ = Valor horário da temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ );

$T_{\max}$ = Temperatura média máxima para cada mês ( $^\circ\text{C}$ );

$T_{\min}$ = Temperatura média mínima para cada mês ( $^\circ\text{C}$ );

$F_j$ = Coeficiente de ajuste da curva horária de temperatura do ar.

$$T_n = 0,31T_e + 17,6^\circ\text{C} \quad (\text{eq. 4})$$

Sendo:

$T_n$  = a temperatura neutra

$T_e$  = a temperatura média mensal do ar, em  $^\circ\text{C}$ , extraída das Normais Climatológicas ou de arquivos de dados TRY - *test reference Year*.

Esta avaliação com a marcação das manchas de radiação é importante porque mostra que mesmo que as temperaturas externas não sejam tão elevadas, a incidência de níveis de radiação acima de 500W ou 600W representará para a abertura um excesso de carga térmica, levando conseqüentemente a um aumento da temperatura do ar interno.

Esta metodologia foi utilizada por Pereira e de Assis (2010) e por Souza et al. (2010) para definir o período do ano onde a incidência da radiação solar é considerada desejável e indesejável.

Outros métodos foram utilizados em diferentes pesquisas para definição do período de necessidade de sombreamento. Leite (2003) e Silva (2007) utilizaram o método proposto por Koenigsberger et al. em 1977 e Evans em 1991, que sugerem a utilização de diagramas de isopletras de temperatura para identificar o período de calor excessivo a partir da observação variação da temperatura anual e diária. No estudo de Leite, considerou-se a faixa de conforto proposta por Araújo (2001). Já Fernandes (2007), baseou-se no método de Olgyay e Olgyay (1957).

#### 1.4. ELEMENTOS DE PROTEÇÃO SOLAR

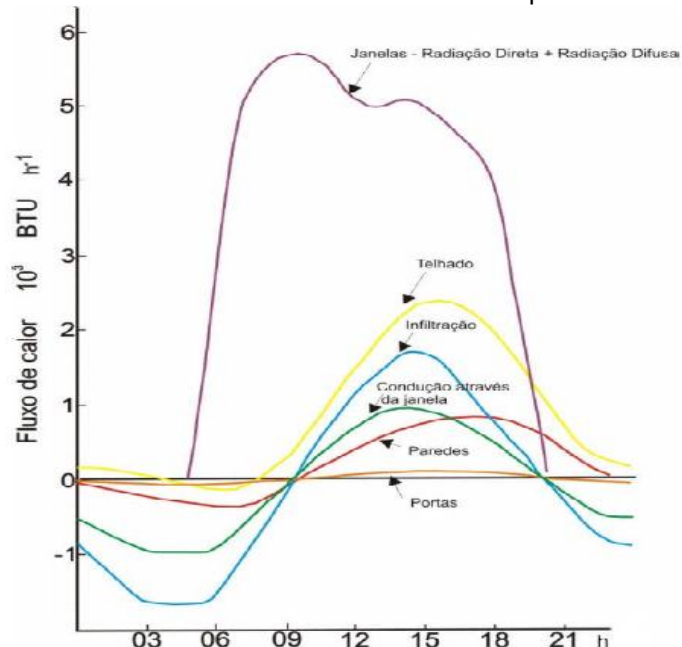
Como visto anteriormente, o sombreamento é uma estratégia fundamental para redução dos ganhos solares através das aberturas. Quando as temperaturas

estão dentro ou acima da zona de conforto, a penetração da radiação solar vai contribuir para o desconforto dos usuários, tanto térmico, onde a radiação absorvida pelas superfícies do ambiente vai levar a um aumento da temperatura do ar, como também lumínico, onde a alta intensidade de radiação solar direta pode causar ofuscamento. A função dos elementos de proteção solar é eliminar estes dois efeitos, porém sem deixar afetar outros fatores como: a manutenção da ventilação natural e a visibilidade de zonas da abóbada celeste, que possibilita o uso da luz difusa do céu para a iluminação natural e a visão do exterior. A proteção solar ideal é aquela que proporciona o equilíbrio entre a necessidade de sombreamento, o ganho solar e a iluminação natural.

Os principais objetivos para utilização dos elementos de proteção solar, segundo Almeida (2001), são: controle da radiação solar, durabilidade de materiais, conforto, temperatura do ambiente, controle de iluminação natural e visual externo. Conciliar essas condições na estratégia de sombreamento é uma tarefa complicada.

A importância do controle solar é mostrada por Olgay (1973) através da comparação da quantidade de calor que entra na edificação através de seus diferentes componentes (figura 21).

**Figura 21** – Gráfico do fluxo de calor de diferentes componentes construtivos.

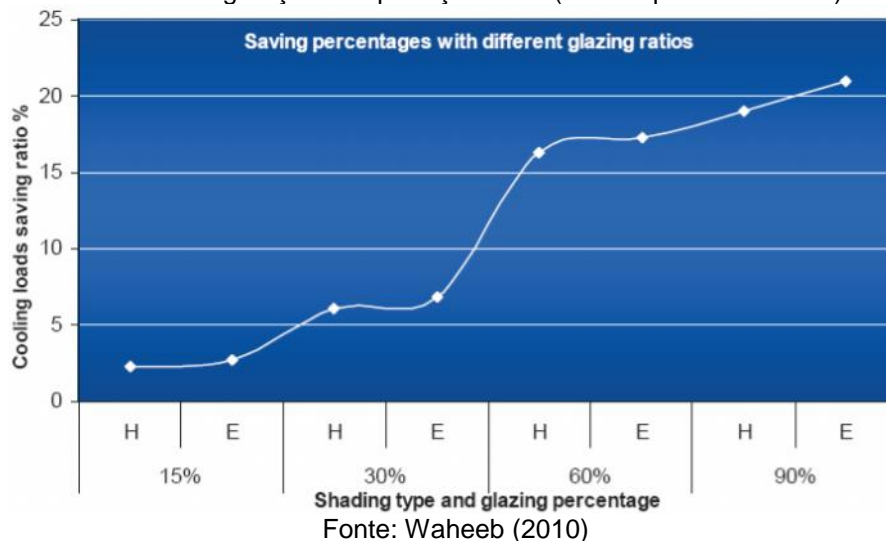


Fonte: Olgay (1973), adaptado por Martins (2007).

Através deste gráfico é possível observar a importância de se pensar, ao projetar, estratégias que possam reduzir a quantidade de radiação incidente nas aberturas. Ao integrar soluções de proteção solar às janelas, consegue-se diminuir o

ganho de calor, conseqüentemente o consumo de energia elétrica. Lee et al. (2001) verificaram uma redução de aproximadamente 30% no gasto energético com resfriamento do ar ao utilizar proteções solares integradas a prateleiras de luz. Waheeb (2010) mostra que o potencial de redução de energia com resfriamento aumenta com o aumento do percentual de abertura na fachada (PAF), considerando que as aberturas apresentam proteção solar (figura 22).

**Figura 22** – Gráfico do percentual de redução de energia com resfriamento em relação a diferentes PAF% e configurações de proteção solar (H=marquise e E=misto).



Rodrigues et al. (2011), considerando as características climáticas do clima quente e úmido e um PAF de 90%, identificaram que o sombreamento reduziu em 5,6% o consumo total de energia elétrica anual para a orientação Norte, 4,6% para sul, 2,8% para Leste e 10,3% para Oeste.

Porém, como dito anteriormente, as proteções solares modificam as condições de luz admitida, podendo beneficiar ou prejudicar a distribuição da iluminação no espaço. Assim como Robbins (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.

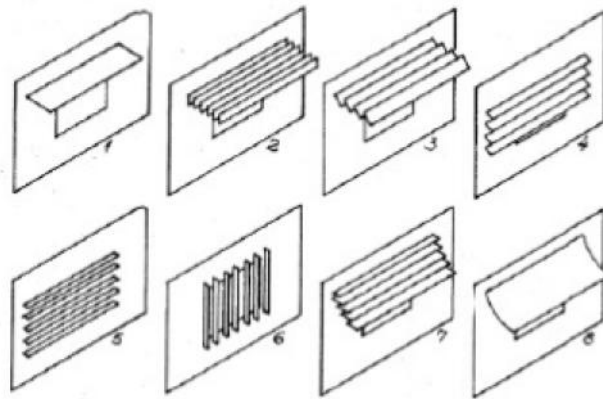
#### 1.4.1 Elementos externos de proteção solar e iluminação natural

A proteção solar que ajuda a barrar a radiação solar direta também impede a visão de partes da abóbada celeste (OLYGYAY, 1957). Dessa forma interfere diretamente na admissão e distribuição da luz natural no espaço.

A influência dos elementos externos de proteção solar, como varandas, beirais, marquises, *brise-soleil* e cobogós sobre a iluminação natural está muito relacionada com a otimização da distribuição da luz no ambiente, como também na questão do conforto visual do usuário, através do controle do ofuscamento e da redução de contraste.

Na análise comparativa da influência de oito sistemas diferentes de proteção solar, no desempenho da iluminação natural, Basso e Argout (2007) identificaram, entre outros aspectos, que as proteções 1,2,3 e 7, para as orientações Noroeste, Norte e Nordeste têm uma influência menor na iluminação natural, ao contrário dos sistemas 4,5 e 6, que apresentaram uma interferência significativa (figura 23).

**Figura 23** - Sistemas de proteção solar analisados.



Fonte: Basso e Argout, (1997).

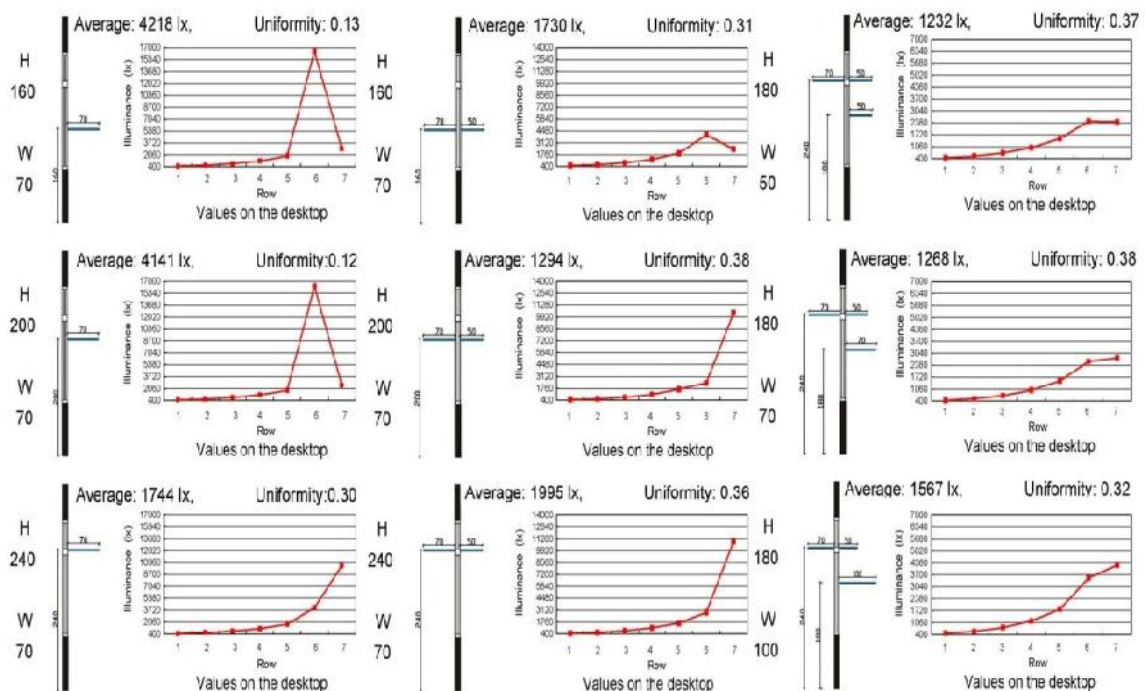
Bogo (2007) e Fiuza (2008) afirmam que a utilização destes elementos modifica a quantidade admitida e a distribuição da luz no ambiente interno em função das características geométricas e da refletância dos elementos de proteção solar. Esta modificação pode significar aumento ou diminuição dos níveis de iluminância e da qualidade da distribuição da luz no interior. Os resultados da pesquisa de Bogo mostraram que uma proteção solar composta de 1 placa horizontal apresenta variações significativas na admissão da luz natural quando comparada a outra solução, com mesmo ângulo de sombreamento, composta de dez placas horizontais. No entanto, quando se comparou a solução de 10 placas com outra de 5 placas, novamente com o mesmo ângulo de sombreamento, a variação foi mínima.

Em relação a influência de sistemas de proteção solar no nível e na distribuição interna de iluminação solar, Kremer (2002) comparou, através de simulação computacional, o desempenho de quatro tipos de proteção (prateleira de

luz, elemento horizontal, brise vertical e brise inclinado) em relação à ausência deles. Verificou-se que, para as orientações utilizadas, Norte e Leste, a presença dos elementos de sombreamento provocaram, na maioria das situações, a diminuição da zona excessiva de iluminância próxima às aberturas e melhoria da distribuição interna da iluminação, porém o nível de iluminação interno foi reduzido, aumentando a zona de iluminância insuficiente.

Essa situação também foi identificada na pesquisa de Ho et al (2008), onde foi analisado o comportamento da iluminação natural de um modelo representativo de sala de aula em Taiwan, com iluminação unilateral, a partir da inserção de diversas soluções de proteção solar. Uma série de simulações foi realizada para determinar o valor de iluminância média e a uniformidade da distribuição de iluminância. Os resultados mostraram que a solução com uma prateleira de luz e um elemento horizontal representa uma boa solução para se obter uma uniforme distribuição da luz natural na sala de aula (figura 24).

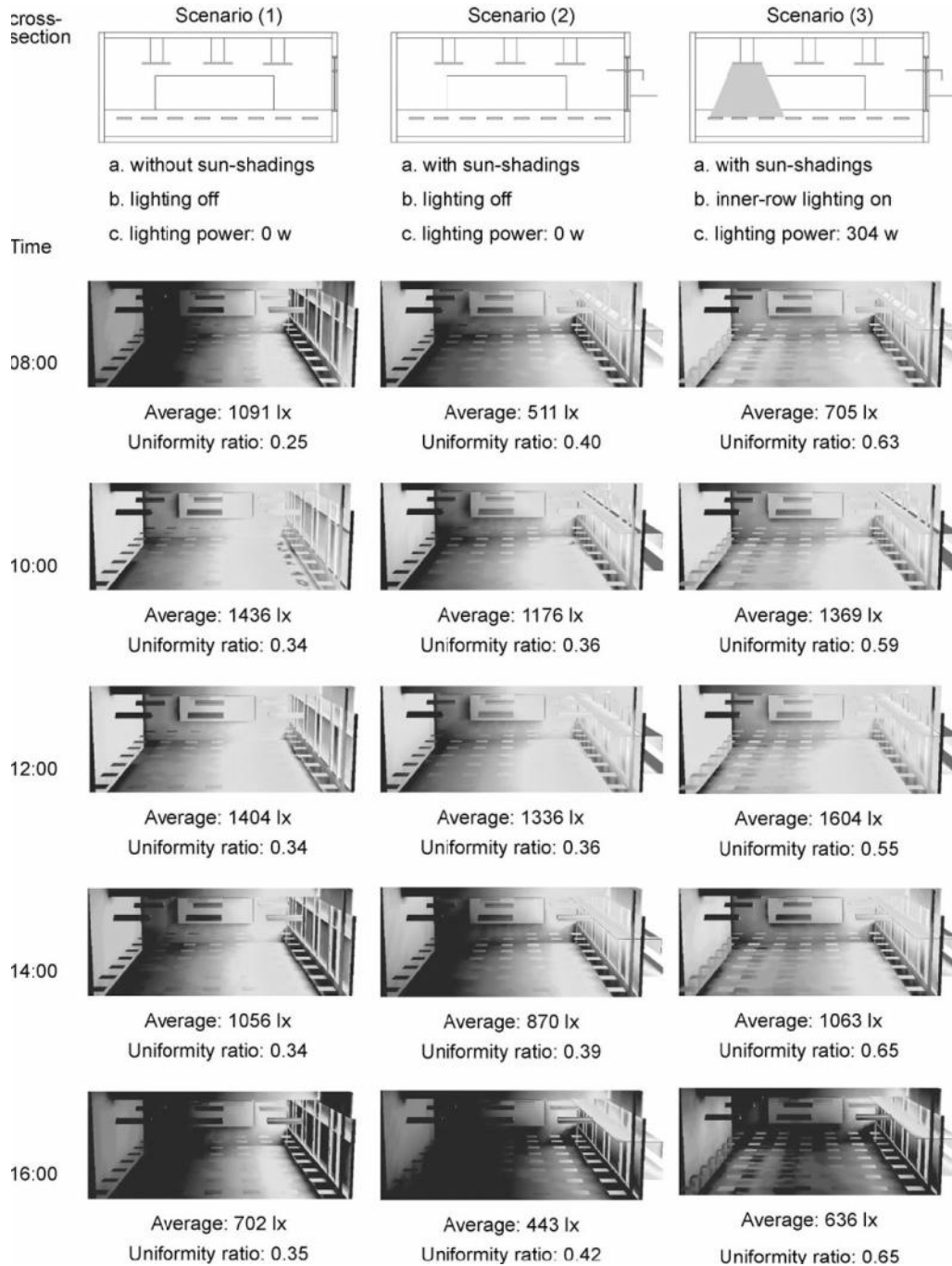
**Figura 24** - Desempenho das diversas soluções de proteção solar analisadas.



Fonte: Adaptado de Ho et al (2008).

Observa-se, ainda, que para atingir uma uniformidade de 0.50, padrão mínimo exigido, basta ligar uma das três fileiras de iluminação artificial (figura 25).

**Figura 25** - Análise comparativa do desempenho da iluminação natural: (1) sem proteção solar e sem iluminação artificial; (2) com proteção solar e sem iluminação artificial; (3) com proteção e iluminação artificial.



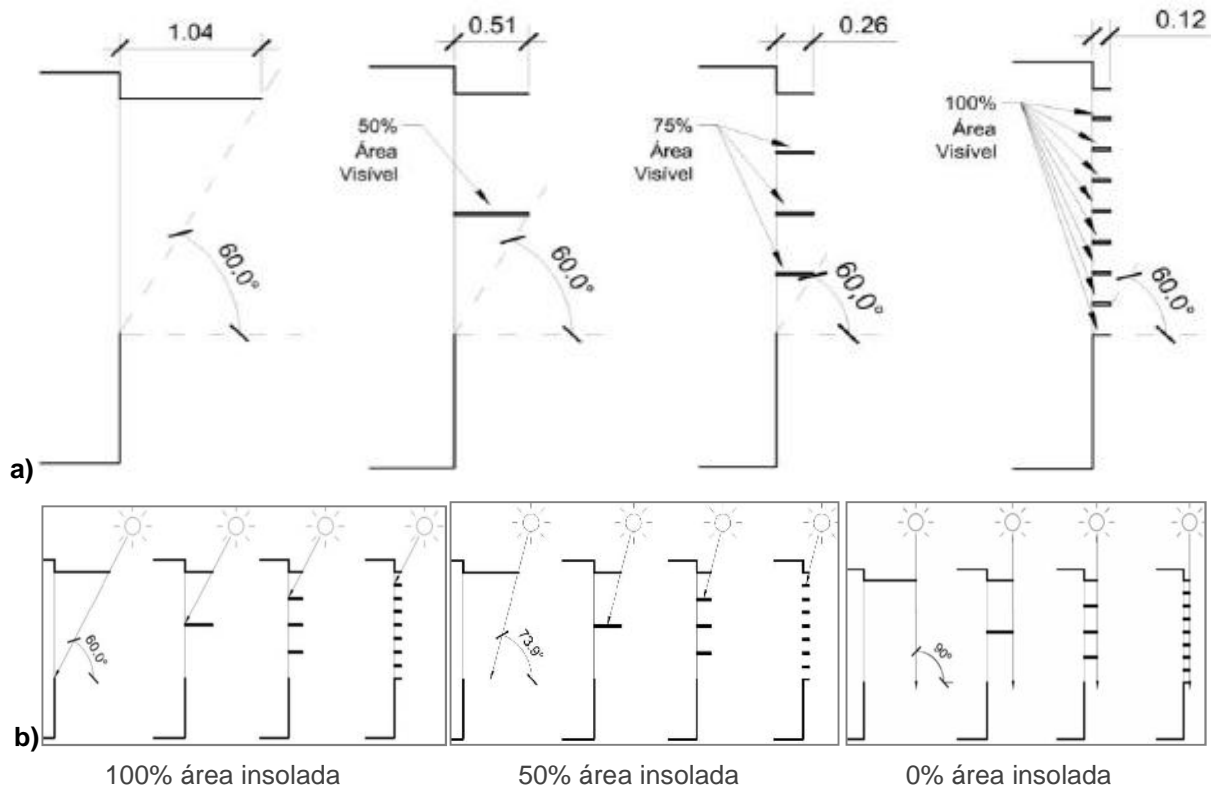
Fonte: Ho et al (2008).

Os autores concluem que a inserção de elementos de proteção solar bem dimensionados melhora, não só as condições de iluminação natural dentro da sala de aula, como também reduz o custo de iluminação em 71,5%, quando comparado com soluções de iluminação artificial que não levam em consideração a autonomia da luz natural.

Planejar estratégias de proteção solar e de iluminação natural exigem tratamentos diferentes. Pereira (1994) comenta que o acesso à insolação está ligado a questões térmicas e sofre influência direta das trajetórias aparentes do Sol, significando obstruir ou não a visão de determinadas porções do céu em diferentes épocas do ano. Já o acesso à iluminação natural envolve garantir a visão de uma porção do céu independente da orientação.

Fiuzza (2008) investigou como elementos de proteção solar horizontais interferem nas condições de iluminação natural, a partir da porcentagem de área superior do elemento que é vista pelo interior do ambiente e da porcentagem da área desta superfície superior do protetor que recebe insolação direta (figura 26).

**Figura 26** - Configurações das proteções solar utilizadas. a) porcentagem da área superior do elemento visível. b) porcentagem da área insolada.



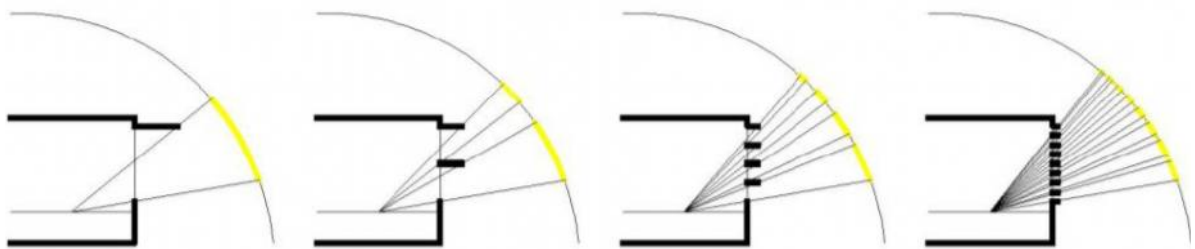
Fonte: Fiuzza et al (2009).

Máscaras de visualização da abóbada celeste, em determinado ponto comum entre os modelos, foram analisadas com o objetivo de verificar a visibilidade de áreas de maior brilho. Os resultados da pesquisa foram analisados graficamente e analiticamente. Na análise gráfica, foram utilizados gráficos de curva isolux em plano de trabalho hipotético e máscaras solares de visibilidade da abóbada, para caracterizar a tendência de distribuição do fluxo luminoso e compreender a forma de visualização da abóbada celeste. Na análise analítica, foram utilizados gráficos

relacionando a profundidade com a relação percentual da iluminância obtida no modelo base.

A análise dos resultados mostrou que a medida em que se aumentou o número de elementos, foram obtidos melhores resultados na admissão do fluxo e na distribuição da luz natural, porém, foi identificado um grande aumento na quantidade de luz admitida na região mais próxima a janela. Esta relação é justificada devido a solução com maior número de elementos possibilitar uma maior visualização a partir do ambiente interno de regiões do céu de maior intensidade luminosa (figura 27).

**Figura 27** - Esquema de visualização da abóbada celeste das diferentes soluções de proteção solar..



Fonte: Fiuza (2008).

Robbins (1986) destaca que essa relação do exato controle do Sol e da permissão adequada da luz natural é difícil de assegurar. Para isto o projeto do elemento de proteção deve levar em consideração o estudo do período onde há necessidade de sombreamento, para não criar sombras desnecessárias e prejudicar a admissão da luz natural. Fiuza (2008) aponta que ao considerar sistemas que redirecionam a luz direta do sol é importante refletir quais os objetivos a serem alcançados, seja: reorientação de luz para locais profundos; melhoramento da luz natural para iluminação de tarefas; melhoramento da adaptação, do conforto visual e do controle de ofuscamento; sombreamento solar e controle térmico.

#### **1.4.2 Classificação dos sistemas de proteção solar**

A classificação dos sistemas de proteção solar está relacionada com a necessidade de se prever situações a que estes podem e devem responder no nível técnico e funcional na obtenção de um ambiente mais confortável e energeticamente mais eficiente. Eles são classificados em função de sua localização em relação a fachada (interior ou exterior) e em relação a sua mobilidade (fixos ou móveis).

No entanto, dentro destas duas classificações, existe uma ampla e complexa diversidade de sistemas. Reiter e De Herde (2004) afirmam que o seu funcionamento pode ser embasado em vários fenômenos físicos: a absorção




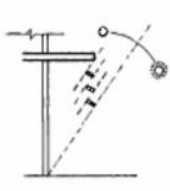

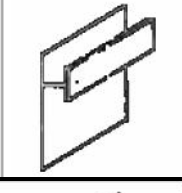
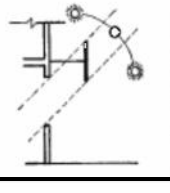

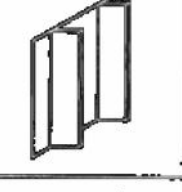
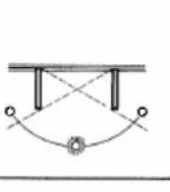

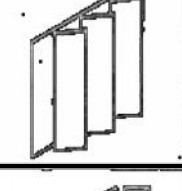
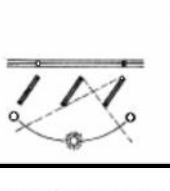

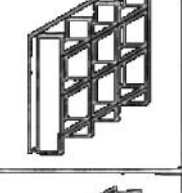
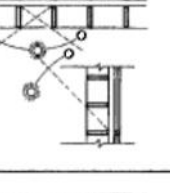

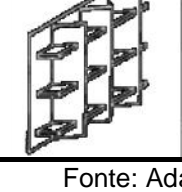

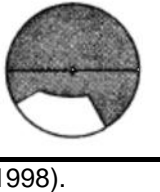
(marquise), a reflexão (prateleiras de luz), a refração (vidros prismáticos) e difração (elementos holográficos ópticos). Prateleiras de luz, vidros prismáticos e elementos holográficos são sistemas avançados de sombreamento, por serem capazes de redirecionar a luz solar em um espaço mais profundo, melhorando a uniformidade da luz, e ao mesmo tempo, de controlar a luz solar direta, servindo assim, tanto como um sistema de iluminação natural, como de sombreamento.

Robbins (1986) coloca que a diferença entre o protetor solar externo e interno é que o externo divide mais a visibilidade da abóbada, de modo que, quando há necessidade de sombreamento para reduzir o calor e utilizar a luz natural, é melhor usar protetor externo.

Frota e Schiffer (2001) afirmam que a proteção externa tende a ser mais eficiente devido a quantidade de radiação possível de ser barrada antes de sua penetração. Isso porque enquanto uma janela com proteção interna permite a passagem de 40% a 80% dos ganhos de calor relativos a uma janela de vidro comum desprotegida, uma janela com sombreamento externo pode admitir apenas 5% a 30% dos mesmos ganhos. Isto se deve ao fato que vidro é transparente à radiação de onda curta (Sol), porém opaco à radiação de onda longa (materiais aquecidos), fazendo com que o calor que entra em forma de onda curta transforme-se em onda longa, e fica retido no ambiente (RIVERO, 1985).

Em relação aos elementos de proteção solar externos, Olgyay e Olgyay (1957), dividem três categorias: horizontais, verticais e mistos, podendo-se gerar inúmeras outras possibilidades combinando-os entre si, como *brises-soleil*, varandas, beirais, marquises, cobogós, pérgulas, entre outros. As proteções horizontais respondem ao ângulo de altura solar e protegem principalmente ao meio-dia quando o sol está alto, sendo mais eficazes nas fachadas sul, no hemisfério Norte, e nas fachadas Norte, no hemisfério Sul. Os verticais são mais eficazes para a variação do azimute solar através de seu movimento ao redor do horizonte. Em nosso hemisfério, nas faces Norte e Sul, eles protegem no início e no final do dia, nos solstícios de inverno e verão, e são indicados para as fachadas Leste e Oeste. Os protetores mistos englobam os conceitos de protetores horizontais e verticais (figura 28).

**Figura 28** - Diferentes tipos de proteção solar com sua respectiva máscara de sombreamento.

TIPO	PERSPECTIVA	CORTE	MÁSCARA DE SOMBREAMENTO
Horizontais			
			
Verticais			
			
Mistos			
			

Fonte: Adaptado de Olgyay (1998).

Quanto à mobilidade, as proteções fixas são sistemas mais fáceis para instalar e manter, além de mais econômicos, sendo indicados principalmente para os menores ângulos solares típicos das fachadas norte no hemisfério sul. As proteções móveis possibilitam a adequação em relação ao movimento do sol e as necessidades dos usuários de mais ou menos luz natural. São especialmente úteis para as situações com grandes ângulos de incidência, como por exemplo as fachadas leste e oeste.

Um sistema de proteção solar externo fixo é parte integrante da envoltória da edificação e por isso devem ser levadas em consideração algumas atenções como

altura, comprimento e profundidade do elemento e sua exata fixação em relação às dimensões da abertura, de modo a obter um maior desempenho no sombreamento, ao mesmo tempo que otimiza a visualização de partes do céu que se encontram fora do percurso do sol.

### **1.4.3 Métodos de projeto e avaliação**

A incidência da radiação solar nas superfícies externas exerce grande influência na performance do edifício, interferindo diretamente no conforto interno, no uso da energia e na iluminação. O correto dimensionamento e aplicação da proteção solar permite minimizar os efeitos negativos desta insolação, sem prejudicar os efeitos positivos. Do ponto de vista do projeto, dados detalhados do sombreamento de cada superfície em um modelo, representam um rico conjunto de informação que ajuda nas tomadas de decisões do projeto e no correto dimensionamento das proteções. A definição de critérios para utilização de dispositivos de proteção solar pode ser uma tarefa complexa, principalmente para arquitetos não familiarizados com o estudo da geometria solar.

Inicialmente, deve-se caracterizar a localização geográfica a partir de dois fatores: as coordenadas geográficas (latitude e longitude) e os dados climáticos. A latitude e longitude são fatores fundamentais na definição da geometria solar e portanto dos ângulos de sombreamento a adotar. Os dados climáticos permitem definir o período de necessidade de sombreamento, como mostrado no item 3.3. O período do dia durante o qual é necessário sombrear resulta da orientação da abertura e do tipo de utilização do edifício. Após esta análise preliminar, o projetista pode passar para a fase de concepção formal e avaliação (PALHINHA, 2009).

Nesta fase é imprescindível o domínio dos conceitos de geometria solar. Conforme a latitude em que o observador se encontra, o percurso aparente do sol será percebido de forma diferente, sendo a altura solar e o azimute as coordenadas angulares que localizam qualquer posição do sol na abóbada celeste. As cartas solares, juntamente com o transferidor auxiliar, ainda é a melhor forma de interpretar a trajetória do sol e sua incidência nas diferentes fachadas do edifício. Esses dois gráficos permitem o traçado de máscara de sombra utilizada para dimensionar as proteções solar.

Um trabalho pioneiro e de grande importância, até os dias atuais, para o projeto e a avaliação de sistemas de proteção solar é o estudo de Olygyay e Olgyay (1957). A pesquisa apresenta respostas sobre quando, onde e como proteger uma edificação da radiação solar, por meio de uma metodologia que compreende: (1) determinação do período de sombra necessária, em função das características climáticas locais; (2) determinação do sol nesses períodos; (3) determinação do tipo e da posição das proteções solares e (4) projeto e dimensionamento das proteções solares a partir de máscaras de sombra. Metodologia semelhante é utilizada por Pereira e Souza (2008).

O conceito de mascaramento, citado por Olygyay e descrito claramente por Bittencourt (2004), permite observar a parcela de visão da abóbada 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 ( $AVS^\circ$ ) e horizontais ( $AHS^\circ$ ) de sombreamento dos objetos formam a máscara de sombra. Uma mesma máscara possibilita diversos tipos de proteção solar, no que diz respeito à forma e ao tamanho, devendo o profissional considerar as características do edifício como a orientação das fachadas, localização, tamanho e tipos de aberturas, uso dos espaços e a conformação do entorno.

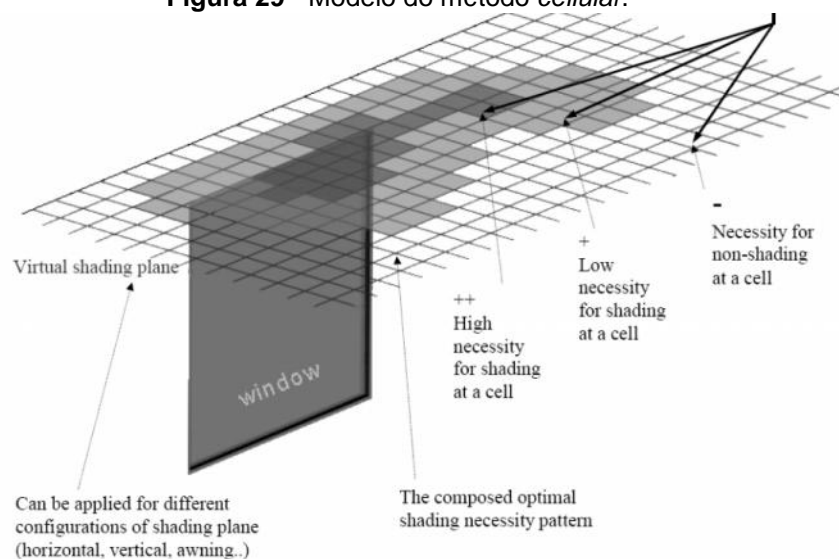
A máscara de sombra é um recurso gráfico importante para dimensionar e avaliar proteções solares, sendo capaz de lidar com qualquer geometria de abertura e obstrução. Os  $AVS^\circ$  e  $AHS^\circ$  são caracterizações mais simplificadas de representação de uma proteção solar, sendo insuficientes para caracterizar o período de sombreamento (RODRIGUES et al., 2011). Marsh (2005) afirma que a falta de controle na modelagem, juntamente com a incapacidade de ver em detalhe o efeito final é, muitas vezes, o motivo pelo qual a proteção solar é tratada superficialmente em muitos casos. Nesse sentido, o autor propõe o uso de máscaras de sombreamento como uma solução para este problema.

O método de Olygyay tem sido adotado nas últimas décadas para a determinação da geometria do elemento de proteção. No entanto, ele gera proteções de formas retangulares que geralmente resultam em excesso de sombra. Esforços adicionais para fornecer formas mais precisas de sombreamento foram feitas por Etzion (1985) apud Kaftan (2001), utilizando o método *one point* e por Saleh (1988) apud Kaftan (2001), utilizando um modelo de sombreamento gráfico. Mais recentemente, McCluney (1990), Grau and Johnsen (1995) apud Kaftan (2001),

Setiadarma (1995) e Kabre (1998) utilizaram métodos computacionais para avaliar o desempenho dos dispositivos de sombreamento, que indiretamente contribuíram no estudo para determinar a forma ideal de sombreamento.

Na sua pesquisa, Kaftan (2001) desenvolveu o método *cellular* para determinar a forma de sombreamento ideal para um determinado período, produzindo máxima eficiência energética. O método examina varias células localizadas em um plano proposto de sombreamento externo para o período de necessidade de sombreamento (figura 29).

**Figura 29** - Modelo do método *cellular*.



Fonte: Kaftan (2001).

A necessidade de sombreamento periódico de uma célula representa a importância global relativa de sombreamento ou não sombreamento, proporcionando o equilíbrio entre a necessidade de proteção solar, o ganho solar e a iluminação natural.

Este método utiliza três modelos para determinar a necessidade horária de sombreamento de cada célula: o modelo da Projeção de Sombreamento Horária (*Hourly Shading Projection - HSP*), o modelo do Efeito do Sombreamento Horária (*Hourly Shading Effect - HSE*) e o modelo da Programação de Sombreamento Horária (*Hourly Shading Schedule - HSS*).

O modelo HSP realiza avaliações para determinar a radiação solar direta que passa por cada célula e que está atingindo a abertura durante uma hora examinada. São considerados os seguintes parâmetros no processo de avaliação deste modelo: configurações da abertura (forma, dimensão, inclinação e orientação), a posição dinâmica do sol, obstruções entre o sol e a abertura e a inclinação do plano de

sombreamento. O valor 0 é atribuído para não permitir a passagem e o valor 1 para permitir. Ao fim da avaliação o modelo fornece os limites da sombra projetada.

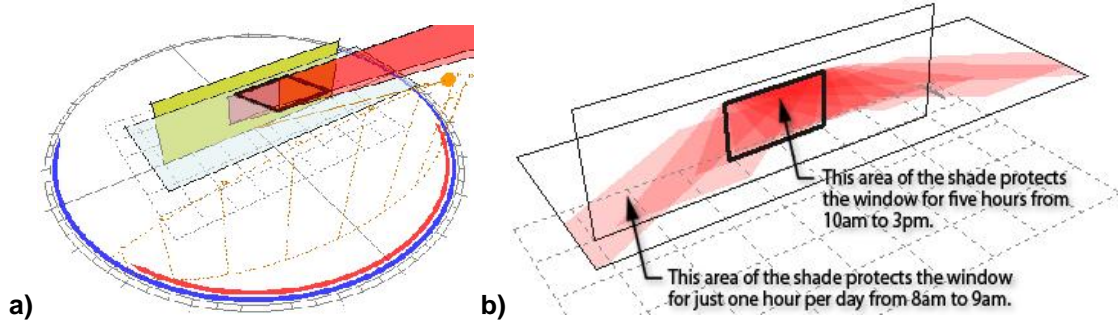
O modelo HSE ( $W/m^2$ ) determina o potencial de obstrução da radiação solar a partir da relação da quantidade de radiação que penetra no ambiente sem o sombreamento de cada célula e a quantidade bloqueada com o sombreamento da cada célula. Em outras palavras, ele calcula a redução na radiação que ocorre entre a fonte de radiação - o sol - e o ambiente. Este modelo serve para quantificar a conservação de energia.

O modelo HSS (%) avalia as condições térmicas e visuais no ambiente interno para determinar se o sombreamento é benéfico ou indesejável. É atribuído um valor positivo quando é benéfico e um valor negativo quando é indesejável. A avaliação feita por este modelo consiste em três fases: análise dos dados climáticos, análise do conforto térmico e visual, programação da necessidade de sombreamento.

Esse método foi implementado como plug-in para o software Ecotect (MARSH, 2003). Essa implementação possibilitou um grande avanço no processo de otimização da concepção de elementos de proteção solar, uma vez que permite a avaliação de qualquer solução de proteção solar. Kaftan e Marsh (2005) destacam que o nível de precisão do projeto de proteções solares é essencial para atender aos níveis, cada vez maiores, de conservação de energia requeridos pelas normas e regulamentos

Segundo Marsh (2007), nem todas as partes de um elemento de proteção solar são igualmente eficazes ou mesmo necessário. Com a implantação do método de celular no *Ecotect*, tornou-se possível mapear e visualizar as variações da eficácia de uma determinada geometria de uma proteção solar. Essa técnica de avaliação pode ser utilizada também no processo de projeto para mapear o potencial de sombreamento de uma solução de proteção solar. O autor afirma que em vez de primeiro definir a sombra e depois analisar o seu efeito sobre a abertura, é possível inverter o processo, onde primeiro se projeta a eficácia desejada do sombreamento para depois determinar a forma ideal do elemento de proteção solar e definir a melhor localização para ele (figura 30).

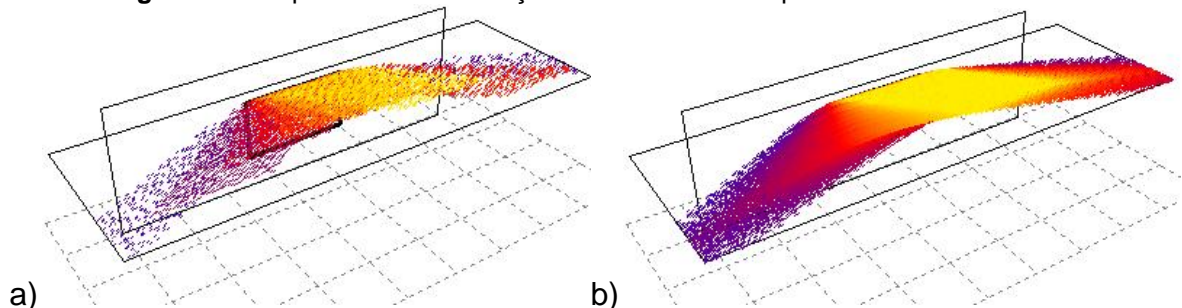
**Figura 30** - Método utilizado no Ecotect a forma ideal da proteção solar. a) Extrusão do perfil da abertura em direção ao sol para determinar no plano projetado sobre a janela a forma ideal da proteção; b) O processo é repetido para as horas e os dias escolhidos.



Fonte: Marsh (2007).

No método mostrado por Marsh (2007), a utilização do tempo isoladamente não é suficiente para determinar o grau de importância de cada sombra projetada no plano sobre a abertura. O autor aponta que a proteção solar deve bloquear principalmente a radiação solar direta, desta forma a intensidade relativa da radiação solar que passa através da sombra em cada intervalo também deve ser considerada. Uma maneira de mapear a intensidade da radiação solar é gerar uma série de pontos no plano de sombreamento. Cada ponto de intersecção é representado com cores que mostram a intensidade da radiação a cada intervalo. Este processo pode ser repetido não só a cada hora do dia (figura 33a), mas também a cada dia do ano (figura 33b), possibilitando a visualização do potencial de eficácia de diferentes partes da sombra (figura 31).

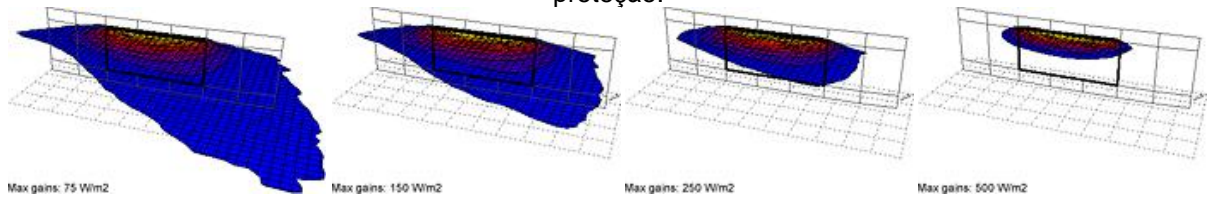
**Figura 31** - Mapeamento da radiação solar incidente no plano de sombreamento.



Fonte: Marsh (2007).

Marsh (2007) destaca que uma das características mais importantes deste método é a capacidade de mapear e comparar qualquer intervalo de tempo para mostrar o potencial de sombreamento. Através do mapeamento de contorno, é possível definir um valor mínimo dentro da grelha de análise, e comparar as formas do dispositivo geradas a partir deste valor. A figura abaixo mostra a variação na forma de sombreamento necessário em relação ao valor mínimo de radiação estipulado, 75, 150, 250 e 500 W/m<sup>2</sup> (figura 32).

**Figura 32** - Diferentes contornos de sombreamento necessário para fornecer diferentes níveis de proteção.

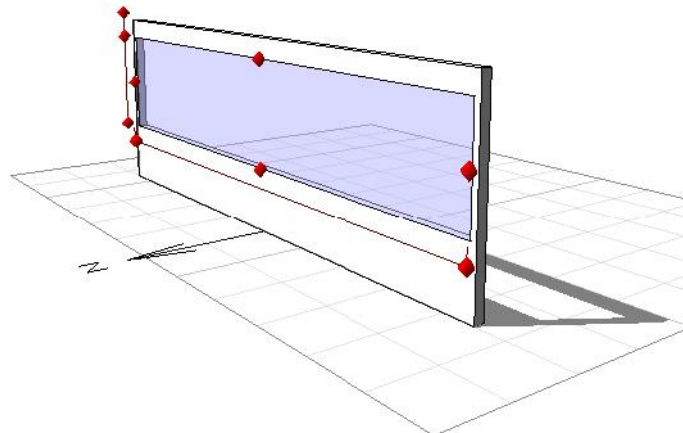


Fonte: Marsh (2007).

O Ecotect traz ainda uma ferramenta específica para dimensionar e estudar a eficiência de proteções solares chamada *Solar Tool* (MARSH, 2001). Esta ferramenta se caracteriza por ser de fácil aprendizado e por permitir avaliações rápidas e eficientes na definição de elementos de proteção solar, possibilitando a integração da análise da solução da proteção com o processo projetual.

Para o cálculo do sombreamento, o programa utiliza um modelo 3D simples com uma parede e uma abertura, onde é possível manipulá-lo de maneira interativa e perceber a influência das variáveis da proteção solar sobre o sombreamento da abertura (figura 33).

**Figura 33** - Modelo 3D interativo utilizado pelo programa.

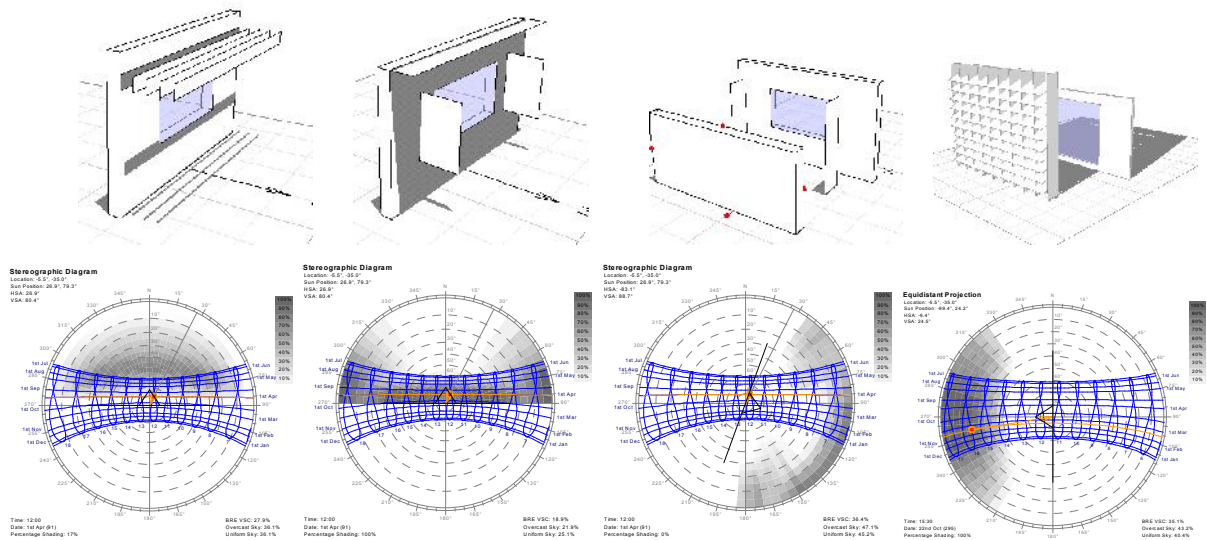


Fonte: Solar Tool.

Neste modelo é possível inserir inúmeras soluções de proteção solar para avaliar seu desempenho em qualquer hora, data ou local, ao mesmo tempo o programa permite modificar variáveis da proteção para otimizar sua performance, verificando imediatamente o sombreamento resultante (figura 34).



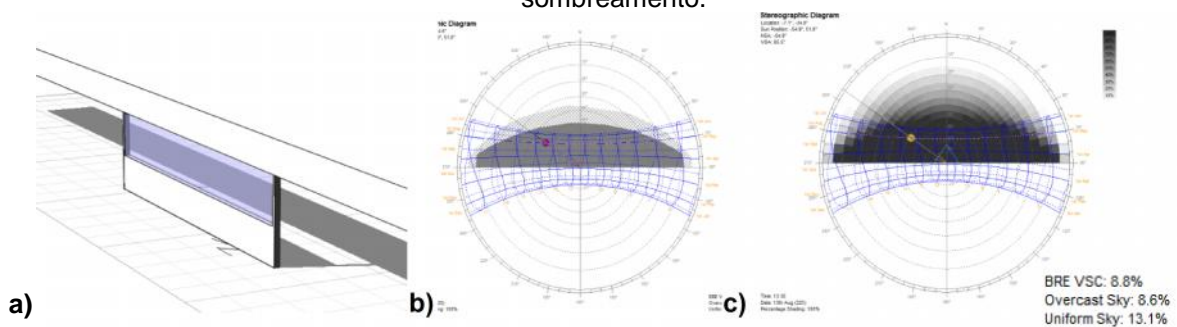
Figura 34 - Alguns exemplos de soluções de proteção solar possíveis de serem analisadas.



Fonte: Rodrigues et al. (2011).

Os resultados são expressos tanto no modelo, através da projeção das sombras como também através de diagramas e tabelas que apresentam a trajetória do sol, máscaras de sombreamento, percentual de sombreamento diário, mensal ou anual, entre outros dados (figura 35).

Figura 35 - Saídas de dados gerados pelo Solar Tool: a) projeção da sombra no modelo 3D; b) máscara de sombra 100% e 50%; c) percentual de sombreamento; d) tabela com os percentuais de sombreamento.



**Effective Shading Coefficients**

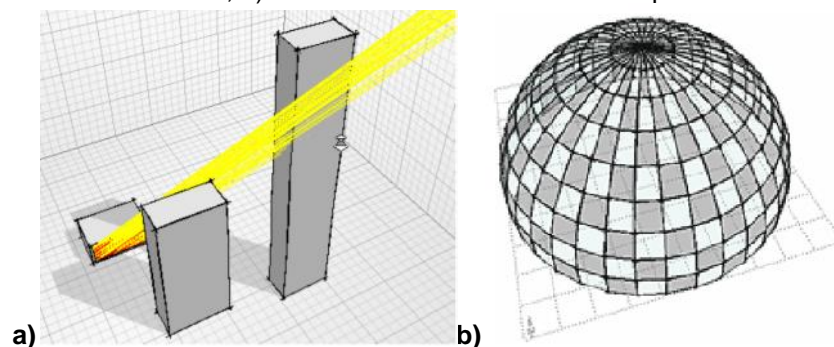
Latitude: -7.1°  
 Longitude: -34.6°  
 Timezone: -45.0° [-3.0hrs]  
 Orientation: 0.0°

Month	Avg.SC	Max.SC	Min.SC
January	[Behind]	--	--
February	[Behind]	--	--
March	96.6%	100.0%	22.0%
April	85.3%	100.0%	0.0%
May	75.7%	100.0%	0.0%
June	76.1%	100.0%	0.0%
July	81.1%	100.0%	0.0%
August	88.3%	100.0%	0.0%
September	100.0%	100.0%	99.0%
October	[Behind]	--	--
November	[Behind]	--	--
December	[Behind]	--	--
Summer	0.0%	0.0%	100.0%
Winter	77.6%	100.0%	0.0%
Annual	50.3%	58.3%	51.8%

Fonte: Solar Tool

O percentual de sombreamento é obtido através de um rápido processo do método *Ray-tracing*. Inicialmente a superfície da janela é sobreposta a uma malha 10x10cm. Um único raio aleatoriamente posicionado dentro de cada quadrante da malha é gerado e cruzado com os dispositivos de sombreamento e os objetos externos em direção ao sol. Nesse processo são gerados 100 raios paralelos sobre toda a extensão da superfície da janela. O número de raios que se cruzam com um ou mais objetos resulta na fração da superfície da janela que está sendo sombreada em uma dada posição do sol. Este processo considera a divisão da abóbada a cada 5° (figura 36).

**Figura 36** - Procedimento do cálculo do percentual do sombreamento: a) raios que incidem no plano da abertura; b) divisão da abóbada adotada no processo.

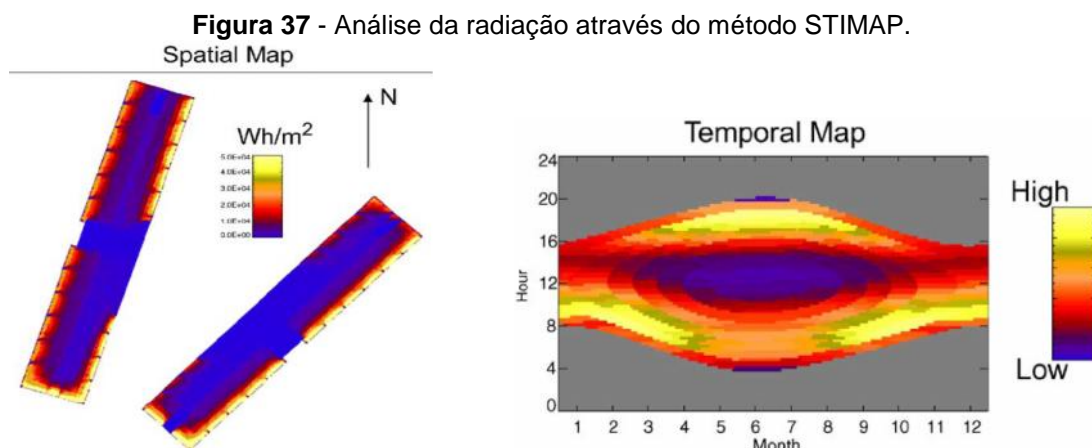


Fonte: Marsh (2007).

Como observado ao longo deste capítulo, o céu é uma fonte de luz anisotrópica, isto quer dizer que a contribuição de diferentes partes do céu não é igual. Neste sentido, a quantidade de céu visível a partir de um ponto localizado no plano vertical é considerado um importante indicador de sua exposição à luz natural e à radiação solar. Esse parâmetro é dado pelo *Solar Tool* a partir do fator Componente Vertical do Céu (*Vertical Sky Component - VSC*) que é calculado automaticamente a partir da máscara de sombreamento, gerada no procedimento descrito anteriormente. O VSC é descrito pelo *Building Research Establishment (BRE)* como a relação entre a iluminância incidente sobre uma superfície vertical e a iluminância observada no plano horizontal para um céu desobstruído (LITTLEFAIR, 1991), e está baseado na iluminância do céu que atinge o plano vertical proveniente do céu encoberto (*CIE Overcast Sky*). Considerando o efeito do ângulo de incidência e a distribuição da radiação difusa no modelo do céu encoberto da CIE, observa-se que a concentração da radiação no zênite incide na superfície vertical de forma tangencial, portanto, tem pouco efeito. O resultado disto é que o máximo

possível de radiação visível no céu encoberto em uma superfície vertical é de 39,6%, ao contrário do céu uniforme (CIE *Uniform Sky*) que é de 50%.

Abordagem diferente utilizada em alguns estudos da avaliação das proteções solares é dada através de seqüências de imagens de sombra padrão para mostrar a progressão da penetração ao longo de determinados períodos do dia e do ano. Mardaljevic (2004) coloca que os métodos tradicionais utilizados neste tipo de análise são essencialmente qualitativos, permitindo identificar apenas quando a penetração solar ocorre, sem apresentar uma medida quantitativa e a probabilidade de penetração solar ao longo do ano. Neste sentido, Mardaljevic apresenta um novo método, chamado de *Spatio-Temporal Irradiation Mapping (STIMAP)*, baseado na avaliação da radiação solar direta utilizando o arquivo de dados climáticos TRY de hora em hora durante todo o ano. Além da saída numérica, são geradas imagens que revelam a variação espacial (*spatial maps*) e temporal (*temporal maps*) da radiação solar, onde é possível identificar a quantidade e a distribuição da radiação anual total incidente em uma superfície. Esta abordagem apresenta como vantagem a possibilidade de realizar uma análise comparativa através de medidas quantitativas de duas ou mais variáveis do projeto. A figura 37 mostra a representação gráfica produto da aplicação deste método.



Fonte: Mardaljevic (2004).

Ferramentas computacionais, a exemplo das citadas neste capítulo, estão se tornando cada vez mais importantes no processo de projetos de alta performance e energeticamente mais eficientes. Os projetistas não podem contar apenas com as regras encontradas em manuais e regulamentos, e práticas comuns de projeto de elementos de proteção solar precisam utilizar ferramentas que otimizem o máximo possível seu desempenho. Os impactos no longo prazo de um projeto inadequado são demasiadamente elevados.

## **2 - METODOLOGIA**

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para atingir os objetivos desta pesquisa, que é analisar o desempenho, tanto em relação ao sombreamento como a iluminação natural, de elementos de proteção solar encontrados nas edificações de salas de aula do Campus I da UFPB. Ela se encontra dividida em cinco etapas:

A **primeira etapa** está relacionada com o levantamento de campo, onde, inicialmente, foi identificada a amostra a ser avaliada, composta por edificações com uso predominante de salas de aula e que contêm algum tipo de proteção solar. Em seguida, foram levantadas a quantidade, as dimensões e as orientações das salas de aula de cada edifício pertencente na amostra, juntamente com o tipo de elemento de proteção solar e o percentual de abertura na fachada. A partir dos dados obtidos nesta parte, foi possível identificar a tipologia de sala de aula predominante no Campus I da UFPB, as orientações de fachada e as soluções de proteção solar.

A **segunda etapa** consistiu na construção dos modelos a serem investigados neste trabalho. Estes modelos foram construídos a partir conjugação do modelo base, que representa a tipologia padrão da sala de aula sem proteção, com as soluções de proteção solar identificadas no levantamento de campo. Os modelos foram agrupados de acordo com o tipo de elemento de proteção solar com o objetivo de facilitar a avaliação.

A **terceira etapa** se destinou à realização das simulações computacionais para obtenção das medidas de desempenho a serem utilizadas na pesquisa, como o percentual de sombreamento e o percentual de visibilidade da abóbada celeste, estas duas geradas com a ferramenta computacional *Solar Tool*, e a medida dinâmica da luz natural *Useful Daylight Illuminances* (UDI), obtida com o software de simulação da luz natural *Daysim*.

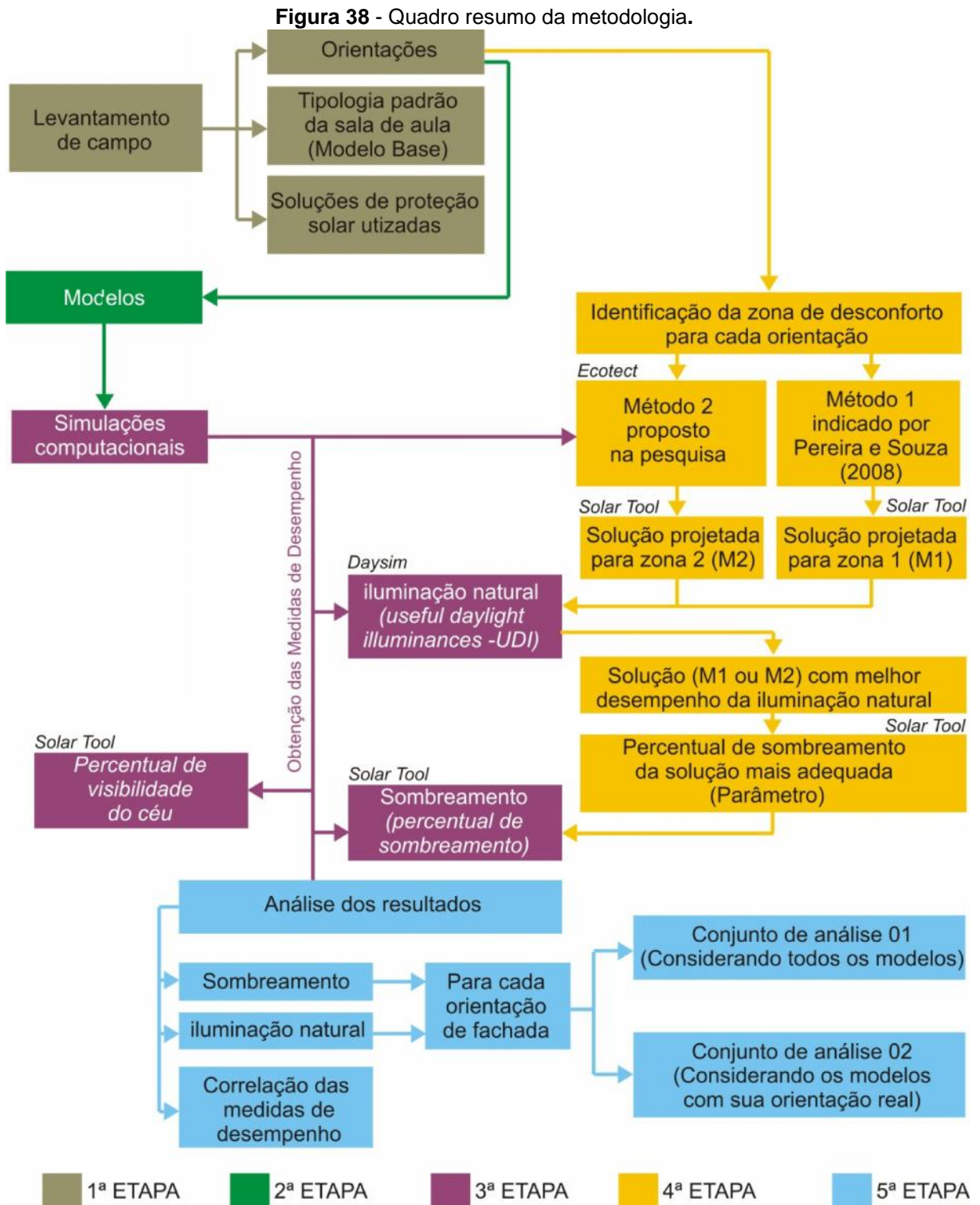
Na **quarta etapa**, através da metodologia proposta por Pereira e Souza (2008), descrita no capítulo 1, item 3.3, foi realizado um estudo para identificação do período de necessidade de sombreamento para cada orientação de fachada selecionada, de acordo com o levantamento de campo, para analisar os modelos. Decidiu-se realizar algumas modificações no método proposto por Pereira e Souza (2008), com o objetivo de aproximar a análise o máximo possível da realidade

climática da região onde se encontra o objeto de estudo. Uma dessas modificações está relacionada com a análise da influência da radiação solar incidente, onde além do método indicado pelos autores (método 01), decidiu-se incluir uma nova abordagem (método 02) utilizando diagramas de distribuição horária da radiação incidente ao longo do ano, gerados no software Ecotect a partir do uso do arquivo climático TRY para a cidade de Recife-PE. Com esta modificação, foram obtidas duas zonas de desconforto térmico para cada orientação estudada: a primeira resultante da aplicação do método indicado na metodologia e a segunda decorrente da modificação realizada, representando uma situação mais próxima da realidade climática do local. Para cada zona foi projetado, com a ajuda da ferramenta computacional *Solar Tool*, um dispositivo de sombreamento com eficiência 100% (M1 e M2), isto é, proteção total da zona de desconforto, e depois obtido o percentual de sombreamento de cada um.

O objetivo do procedimento adotado nesta etapa está relacionado com as duas abordagens feitas nesta pesquisa: eficiência do sombreamento gerado pelas soluções de proteção solar e desempenho da iluminação natural de cada solução. Na primeira, a partir das máscaras de sombra e dos percentuais de sombreamento auferidos de cada elemento projetado (M1 e M2) para a zona de desconforto de cada orientação de fachada, foi escolhido aquele que obteve o melhor desempenho da iluminação natural para ser utilizado como parâmetro para cada orientação na análise comparativa do percentual de sombreamento dos modelos. Na segunda, as duas soluções projetadas (M1 e M2) foram incluídas na análise do desempenho da iluminação natural dos modelos, a fim de comparar a eficiência dos métodos (método 01 e método 02) para dimensionar elementos de proteção solar com bom desempenho da iluminação natural.

Por fim, a **quinta etapa** contém a análise comparativa do desempenho dos modelos em relação ao sombreamento e iluminação natural, e a correlação do percentual de sombreamento e do percentual de visibilidade da abóbada celeste com o desempenho da iluminação natural.

De forma geral, esta metodologia pode ser apresentada da seguinte forma:

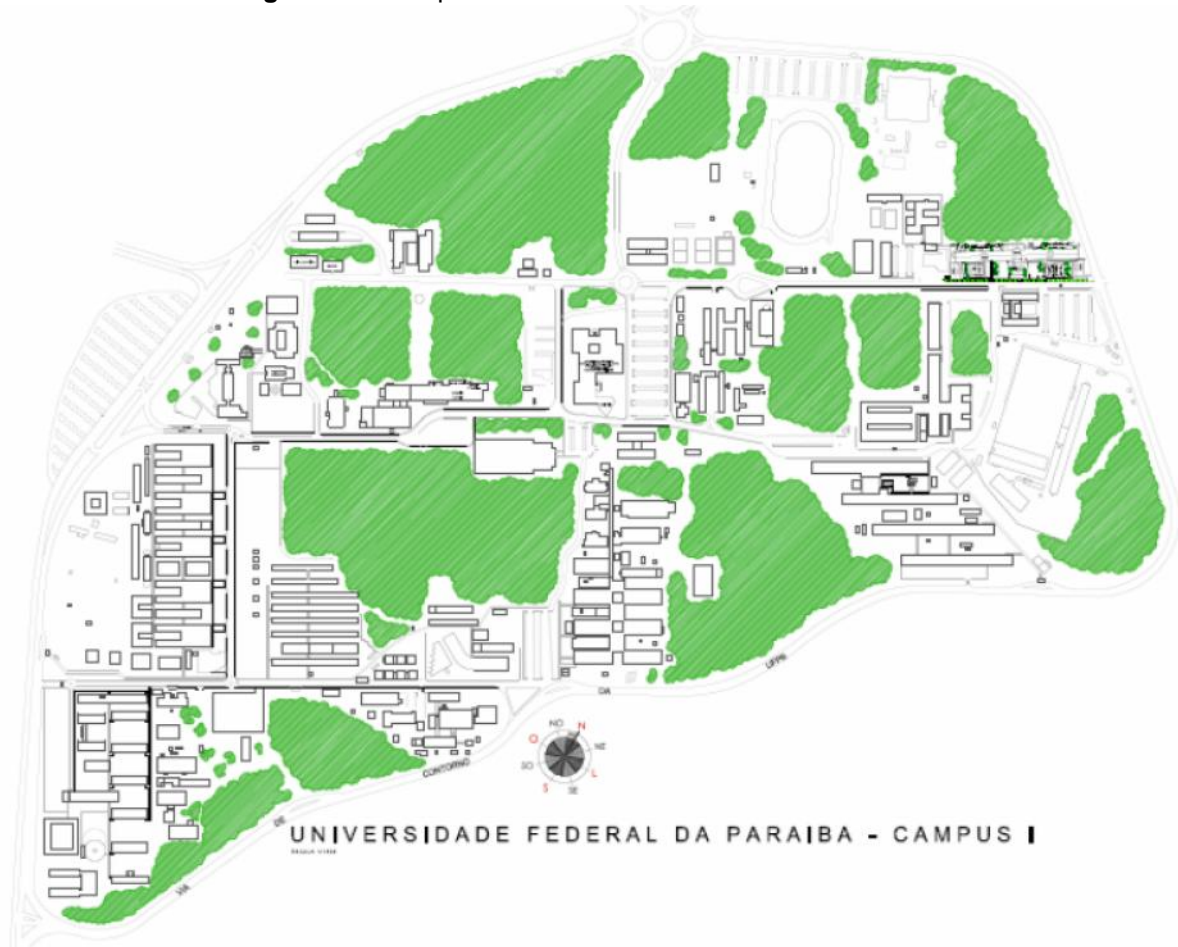


Este procedimento metodológico é detalhado a seguir.

## 2.1 LEVANTAMENTO DE CAMPO

O universo da pesquisa é delimitado fisicamente pela área do Campus I da UFPB, localizado no bairro de Castelo Branco na cidade de João Pessoa/PB (figura 39).

**Figura 39** - Campus I da Universidade Federal da Paraíba.



Fonte: Prefeitura Universitária - UFPB.

A escolha do campus I da UFPB como universo da pesquisa foi um dos aspectos que contribuíram para a viabilidade do trabalho, sobretudo nas etapas de pesquisa de campo e coleta dos dados.

### **2.1.2. Amostra**

Para a seleção da amostra foi considerado todo o conjunto edificado do campus I e também todos os projetos licitados até o ano de 2010. Para selecionar dentre aqueles já construídos, foi feito um percurso a pé pelo campus com a intenção de identificar as edificações com ocupação predominantemente de salas de aula e com algum tipo de proteção solar. Em relação aos projetos já licitados, inicialmente, levantou-se a lista junto à divisão de estudos e projetos da prefeitura universitária. Posteriormente, verificou-se a predominância do uso de salas de aula e da presença de elementos de proteção solar.


### 2.1.3 Levantamento das Características Construtivas da Amostra

O levantamento das características construtivas das edificações presentes na amostra foi obtido através de levantamento *in loco*, por meio de fotografias e de medições, como também através de plantas digitalizadas fornecidas pela divisão de estudos e projetos da prefeitura universitária. A partir desse levantamento, foi possível identificar a frequência de ocorrência das variáveis necessárias para a construção dos modelos, como o percentual de área de abertura na fachada (PAF%), as dimensões das salas de aula e as orientações que mais se repetem, além do tipo do elemento de proteção solar.

Estas informações foram estruturadas em duas tabelas. A primeira (tabela 05) contém dados relacionados com as salas de aula, como: dimensões, orientação e o tipo de proteção solar.

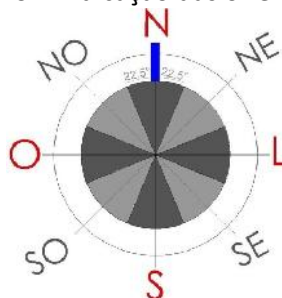
**Tabela 05** – Modelo da tabela utilizada para o levantamento das edificações.

EDIFÍCIO	Nº SALAS DE AULA	COMPRIMENTO x LARGURA	PE DIREITO (m)	PEITORIL (m)	ORIENTAÇÃO (azimute)	PAF %	TIPO DE PROTEÇÃO SOLAR
Bloco A (CT)	01	11.80x7.80	2.95	1.20	Noroeste (330°)	45%	Misto
	03	8.80x7.80					



Para definição da orientação da edificação foi considerada a fachada que apresentava maior área de abertura e também aquela onde se encontrava o elemento de proteção solar. Na indicação da orientação, adotou-se o método utilizado por Ghisi et al. (2005), onde foi definido para cada ponto cardinal um limite de abrangência de 22,5° no sentido horário e anti-horário, conforme figura abaixo (figura 40).

**Figura 40** – Indicação das orientações.





A segunda (tabela 06) foi desenvolvida com o objetivo de caracterizar as soluções de proteção solar encontradas na amostra, e apresenta informações como o tipo, quantas vezes ele foi utilizado, se é fixo ou móvel, os ângulos de sombreamento, suas dimensões em planta e em corte.

**Tabela 06** – Modelo da tabela utilizada para a caracterização dos elementos de proteção encontrados na amostra.

EDIFÍCIO	Nº DE REPETIÇÕES	TIPO DO ELEMENTO	MOBILIDADE	AVS(°)	AHS(°)
Bloco A, D e E (CT)	11	misto	fixo	57°/ 51°	26°

Para o levantamento destas informações, considerou-se sempre a sala de aula localizada no térreo e no centro da edificação, ou no 1º pavimento, quando não havia nenhuma sala no térreo.

## 2.2 DEFINIÇÃO DA TIPOLOGIA PREDOMINANTE

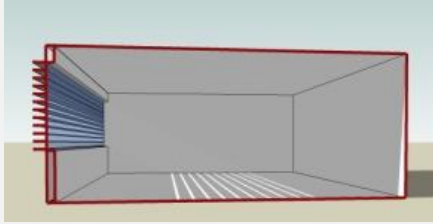
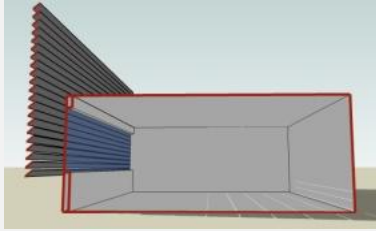
A construção do modelo base que representa a sala de aula padrão do Campus I da UFPB foi realizada a partir da identificação da frequência dos valores de cada variável presente na tabela 05. A sala de aula modelada como tipologia predominante contém as características mais representativas obtidas na etapa do levantamento de dado, porém sem considerar as soluções de proteção solar, já que posteriormente será inserido cada elemento de proteção solar encontrado, com o objetivo de verificar sua eficiência de sombreamento e sua influência no comportamento da luz natural no ambiente.

## 2.3 MODELOS

Os modelos utilizados nesta pesquisa foram construídos a partir da conjunção do modelo base e das tipologias de proteção solar identificadas no levantamento de campo. Com o objetivo de facilitar as análises de eficiência do sombreamento e do

desempenho da iluminação natural, decidiu-se agrupar as proteções em quatro grupos: A (beiral ou marquise), B (brise horizontal), C (misto) e D (cobogó). Cada modelo recebeu um código composto pela ordem numérica dentro do grupo e a letra correspondente do grupo (tabela 07).

**Tabela 07** - Agrupamento e nomenclatura atribuída aos modelos.

<b>Grupo B</b> Brise horizontal	
<b>1B</b> (Bloco Multimidia - CT) 	<b>2B</b> (Bloco A - CCM) 

## 2.4. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Nos últimos anos, com os avanços dos programas de computador, as simulações computacionais se tornaram um meio rápido e confiável de avaliação do desempenho de edifícios. O método de avaliação por simulação computacional apresenta como vantagem a possibilidade de analisar modelos complexos a partir de diversos pontos simultaneamente, gerando resultados através de imagens e tabelas de dados que contribuem para o desenvolvimento do projeto e a análise do desempenho da construção.

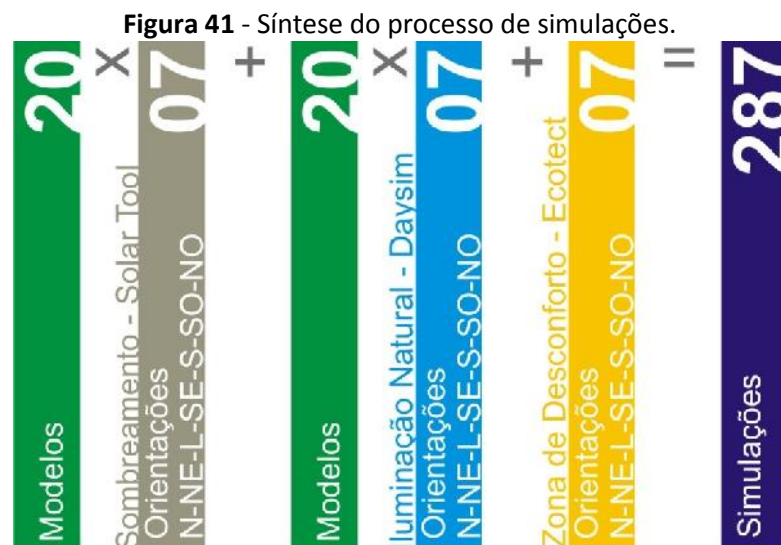
Para o desenvolvimento da pesquisa, foram utilizados três ferramentas computacionais - *Solar Tool*, *Daysim* e *Ecotect*, com a intenção de atingir os objetivos propostos. Procurou-se com o *Solar Tool* avaliar a eficiência do sombreamento das diversas soluções de proteção solar estudadas. Sua escolha baseou-se na sua interface interativa e por permitir avaliações rápidas e eficientes. Seu método de cálculo foi exposto no capítulo 1, item 1.4.3.

A segunda ferramenta destinou-se à análise do desempenho das soluções de proteção em relação a iluminação natural. O *Daysim* é um software validado internacionalmente e foi desenvolvido pelo *National Research Council* do Canadá. O programa realiza simulações dinâmicas da luz natural para o período completo de um ano, considerando condições reais de disponibilidade de luz natural, pois utilizam arquivos de dados climáticos (REINHART, MARDALJEVIC, ROGERS, 2006). O

cálculo da disponibilidade anual da luz natural é realizado através das medidas dinâmicas da iluminação natural como o *daylight autonomy* (DA) e o *useful daylight illuminance* (UDI). Para realizar este cálculo, o programa pede um arquivo de pontos, que funcionam como sensores e caracteriza o plano de análise. O resultado final é dado em forma de tabela, porém são gerados arquivos no formato .DA que pode ser exportado para programas como o Ecotect para serem visualizados graficamente.

Por fim, o Ecotect, a terceira ferramenta que foi usada no estudo da definição do período de necessidade de sombreamento. A partir do arquivo climático TRY, foram gerados diagramas para cada orientação de fachada mostrando a distribuição horária ao longo do ano da radiação solar incidente..

Sintetizando o processo de simulação computacional, foram realizadas nesta pesquisa 287 simulações: 140 simulações no *Solar Tool*, mais 140 no *Daysim* e 7 no Ecotect. Na figura a seguir, pode-se observar o resumo deste processo.



#### 2.4.1 Base Climática para Simulações

Estudos recentes apontam para uma análise detalhada das condições climáticas, que considera, em vez de apenas um dia, o ano climático de referência, que contém valores horários de diversas variáveis climáticas e considera todas as mudanças climáticas ocorridas durante o ano, proporcionando a avaliação do processo dinâmico da relação entre o edifício e o clima. Os métodos atuais utilizados para avaliar a eficiência térmica e lumínica de edificações consideram arquivos

climáticos no formato TRY (*Test Reference Year*), TMY (*Typical Meteorological Year*), WYEC (*Weather Year for energy Calculation*), dentre outros.

Devido a dificuldade de obter dados de qualidade, Carlo e Lamberts (2005) realizaram um trabalho de revisão e correção de arquivos climáticos para 14 cidades brasileiras, além de ajustes de modelos para estimativa de dados de radiação solar e compilação destes arquivos, que estão disponíveis no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE da Universidade Federal de Santa Catarina.

Para a cidade de João Pessoa não há ainda um arquivo climático disponível, de modo que para esta pesquisa, utilizou-se o correspondente, no formato TRY, da cidade de Recife/PE, que é a cidade mais próxima e que apresenta uma maior semelhança com as características climática da cidade em estudo.

## **2.5. OBTENÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO**

As medidas de desempenho utilizadas nesta pesquisa estão relacionadas com as duas abordagens pensadas para analisar a eficiência das soluções de proteção solar: sombreamento e iluminação natural.

### **2.5.1. Percentual de sombreamento**

Esta primeira medida foi obtida com o objetivo de realizar a análise da eficiência do sombreamento gerado pelos elementos de proteção solar identificados no levantamento.

Rodrigues et al. (2011) apontam que no dimensionamento e na avaliação de proteções solares, os ângulos horizontais (AHS) e verticais (AVS) de sombreamento são medidas mais simplificadas para representar uma proteção solar, sendo insuficientes para caracterizar o período de sombreamento e insensíveis a orientação. Ao contrário da máscara de sombreamento, que além de considerar a geometria do sistema de abertura e de sombreamento, também associa essa geometria da abertura com a geometria solar.

Devido a este fator, optou-se por utilizar a máscara de sombreamento para avaliar a eficiência das soluções de proteção em relação ao sombreamento. O programa utilizado na obtenção da máscara de sombreamento de cada modelo foi o *Solar Tool*, que automaticamente informa o percentual de sombreamento da solução em relação a determinada orientação. A partir da entrada dos dados do elemento de

proteção solar, o programa gera uma máscara de sombreamento total e parcial, assim como o percentual de sombreamento mensal e anual. O método de cálculo utilizado pelo programa para obtenção desta variável está exposto no capítulo 1, item 1.4.3. Na pesquisa, foi obtido o percentual de sombreamento para cada orientação de fachada identificada no levantamento de campo, desconsiderando apenas a fachada Oeste por apresentar apenas 01 sala de aula e por ser fortemente desaconselhável, para regiões de clima quente e úmido, a orientação de aberturas para esta orientação.

### **2.5.2. Percentual de visibilidade da abóbada celeste**

A proteção solar que ajuda a barrar a radiação solar direta também impede a visão de partes da abóbada celeste (OLYGYAY, 1957). Dessa forma interfere diretamente na admissão e distribuição da luz natural no espaço.

A quantidade de céu visível a partir do plano da abertura é considerado um importante indicador de sua exposição à luz natural e à radiação solar. Como visto anteriormente no capítulo 1, item 1.4.3., o *Solar Tool* gera automaticamente, ao indicar a máscara de sombreamento, o percentual de visibilidade da abóbada celeste.

Um valor alto desta variável pressupõe um melhor desempenho do elemento de proteção solar em relação à iluminação natural, considerando claro, a necessidade de obstrução da trajetória solar nos climas quentes e úmidos. Neste sentido, o percentual de visibilidade da abóbada celeste foi obtida para cada modelo com a finalidade de, juntamente com o percentual de sombreamento, identificar a relação que estas duas variáveis têm com o desempenho da iluminação natural. Por não variar com a modificação da orientação, o mesmo valor foi usado para todas as orientações.

### **2.5.3. Useful daylight illuminances (UDI)**

Na segunda abordagem da pesquisa, buscou-se analisar o desempenho de cada modelo em relação à iluminação natural.

A medida da luz natural escolhida para realizar esta análise foi UDI (*Useful Daylight Illuminances*). Como visto anteriormente, o UDI indica a porcentagem do tempo ao longo do ano em que o nível luminoso, calculado em um ponto, se

encontra na faixa útil (entre 100 e 2000 lux), na faixa insuficiente (<100lux) e na excessiva (>2000lux).

O cálculo desta variável foi realizado através de simulação computacional no programa *Daysim*. As simulações foram realizadas com o uso do arquivo de dados climáticos do tipo TRY (*Test Reference Year*) para a cidade de Recife/PE, devido a cidade de João Pessoa não possuir ainda um arquivo TRY e por ser a cidade mais próxima com características climáticas semelhantes.

Os modelos analisados foram exportados do *Sketchup* no formato .3ds já com os índices de reflexão de cada material (tabela 08).

**Tabela 08** - Características ópticas dos materiais dos modelos.

<b>Refletância das superfícies dos modelos</b>	<b>Teto</b>	70%
	<b>Paredes</b>	50%
	<b>Piso</b>	30%
	<b>Entorno</b>	20%
	<b>Elemento de proteção solar</b>	20%
<b>Transmitância do vidro</b>	<b>Vidro</b>	80%

Após inserção do modelo no *Daysim*, foi preciso configurar os parâmetros da simulação. O tutorial do programa indica que modelos sem proteção solar devem utilizar a configuração apresentada na tabela 09. Já modelos com proteção solar devem utilizar os dados da tabela 10.

**Tabela 09** - Dados de entrada para modelos sem proteção solar.

Ambient bounces	Ambient division	Ambient Sampling	Ambient accuracy	Ambient resolution	direct threshold	Direct sampling
5	1000	20	0.1	300	0	0

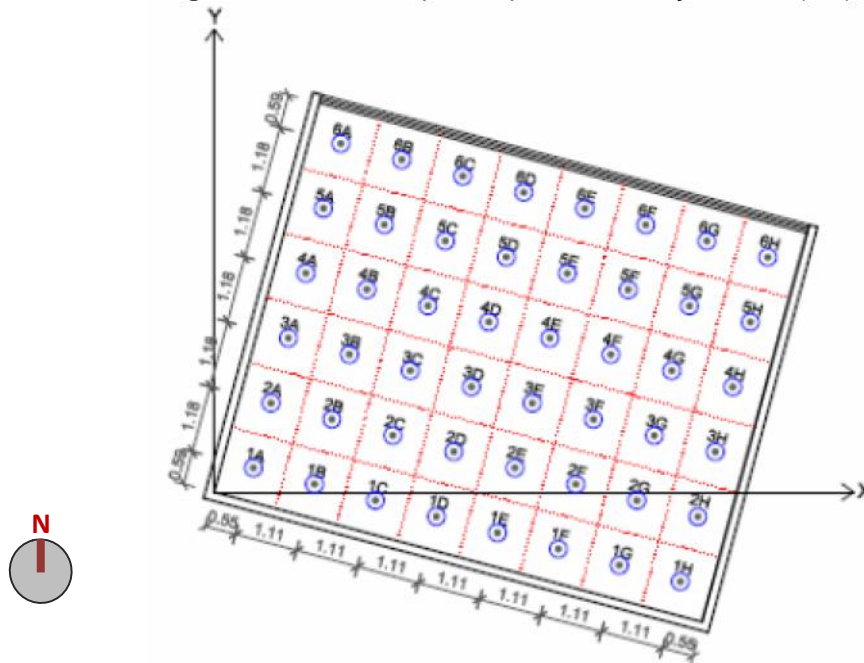
**Tabela 10** - Dados de entrada para modelos com proteção solar.

Ambient bounces	Ambient division	Ambient Sampling	Ambient accuracy	Ambient resolution	direct threshold	Direct sampling
7	1500	100	0.1	300	0	0

Para iniciar a simulação o programa exige ainda um arquivo de pontos no formato .pts, que indica as coordenadas dos pontos no plano de análise que serão utilizados como sensores. Para definir as coordenadas dos pontos, utilizaram-se as recomendações da NBR 15215-4. A norma recomenda que o ambiente interno seja dividido em áreas iguais, formando uma malha onde as medidas são dadas no centro de cada retângulo. Com essa divisão obteve-se a malha de pontos distanciados entre si 1,11m na horizontal e 1,18m na vertical, e elevada 75 cm do piso (figura 42). As coordenadas de cada ponto variam conforme o azimute da

fachada a ser analisada. Em decorrência deste fato, foi necessário criar um arquivo de pontos para cada orientação estudada.

**Figura 42** - Malha de pontos para a orientação Norte (15°).

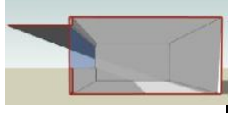


As simulações foram realizadas para todo o ano em intervalos de 60min, das 07h00min às 18h00min, considerando usuários passivos que não fecham as cortinas e o valor de iluminância mínimo recomendado para ambientes escolares, como visto no item 1.1.5 e indicado pela NBR 5413, de 300lux.

Com a intenção de diminuir a quantidade de informação e facilitar a comparação dos resultados dos modelos, decidiu-se utilizar a média dos valores obtidos em cada faixa, juntamente com o desvio padrão das percentagens de tempo-ano em que o nível luminoso permanece na faixa útil. Esta informação possibilitou observar a uniformidade da distribuição do UDI<sub>útil</sub> no plano de análise.

Os valores das variáveis descritas acima foram organizados em uma tabela (tabela 11), onde do lado direito estão informações referentes ao modelo com o código, a edificação a qual ele representa e os ângulos de sombreamento; na parte central estão os valores das variáveis de desempenho do modelo e no lado esquerdo se encontram as orientações analisadas com a marcação daquela que representa a realidade observada in loco para cada modelo.

**Tabela 11** - Modelo de tabela utilizada na obtenção das medidas de desempenho para cada modelo.

<b>Grupo A</b> beiral ou marquise						
	Percentual de visibilidade do céu	Percentual de sombreamento	Useful daylight illuminances			
			<100lux	100-2000lux / Desvio padrão	>2000lux	
<b>1A (Bloco de Musica-CCHLA)</b> 						Norte (15°)
						Nordeste (60°)
						Leste (105°)
						Sudeste (150°)
						Sul (195°)
						Noroeste (330°)

## 2.5. IDENTIFICAÇÃO DO PERÍODO DE NECESSIDADE DE PROTEÇÃO SOLAR PARA A CIDADE DE JOÃO PESSOA/PB E PARA CADA ORIENTAÇÃO DE FACHADA

Para a definição do período de necessidade de sombreamento para a cidade de João Pessoa, foi utilizada a metodologia apresentada no trabalho de Pereira e Souza (2008), já descrita no capítulo 01, item 1.3.3., e que no ano de 2010 foi utilizada pelo Regulamento Técnico da Qualidade - RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais<sup>5</sup>. Ao longo das etapas descritas abaixo, decidiu-se realizar algumas modificações com intuito de tornar a avaliação mais próxima da realidade climática local e incluir uma nova abordagem na etapa do estudo da influência da radiação solar incidente, objetivando comparar o desempenho de proteções solares dimensionadas para atender os períodos de necessidade de proteção resultantes da aplicação das duas abordagens: a indicada na metodologia e a proposta.

### 2.5.1 Obtenção dos valores horários da temperatura e cálculo da temperatura neutra

O processo apontado na metodologia para a definição do período de necessidade de sombreamento, inicia-se com o cálculo das temperaturas médias mensais horárias realizado a partir dos dados obtidos por Carvalho (2001),

<sup>5</sup> Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. Portaria 449/2010, aprova o Regulamento Técnico da Qualidade - RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. 2010.



considerando os valores das temperaturas do ar máxima e mínima mensais para a cidade de João Pessoa (tabela 12), utilizando a equação a seguir:

$$T_j = T_{\max} - (T_{\max} - T_{\min}) \times F_j \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (\text{eq. 3})$$

onde:

$T_j$  = Valor horário da temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ );

$T_{\max}$  = Temperatura média mensal das máximas ( $^\circ\text{C}$ );

$T_{\min}$  = Temperatura média mensal das mínimas ( $^\circ\text{C}$ );

$F_j$  = valor de ajuste da curva horária de temperatura;

**Tabela 12** - Temperatura média mensal das máximas e mínimas.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
$T_{\max}$	30,6	30,6	30,6	30,0	29,5	28,6	27,9	28,2	28,8	29,4	29,9	30,3
$T_{\min}$	23,3	23,4	23,5	23,4	22,6	21,7	21,0	20,7	21,3	22,0	22,8	23,1

Fonte: Carvalho (2001).

Foram considerados, para  $F_j$ , os valores indicados no estudo de Araújo, Araújo e Martins (1998), adaptado para a realidade climática de Natal / RN. A escolha destes valores permitiu obter um período de necessidade de sombreamento mais próximo da realidade climática de João Pessoa (tabela 13).

**Tabela 13** - Valores de ajuste da curva horária de temperatura adaptado para Natal/RN.

06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
1	0,93	0,76	0,57	0,41	0,28	0,15	0,11	0,02	0	0,04	0,08	0,15

Fonte: adaptado de Araújo e Martins (1998).

O cálculo da temperatura neutra ( $T_n$ ) representa o centro da zona de conforto e é considerada aquela temperatura na qual uma população aclimatada em atividade sedentária se sente confortável. Na metodologia utilizada por Pereira e Souza (2008), o cálculo da  $T_n$  é feito através da equação abaixo:

$$T_n = 0,31T_e + 17,6^\circ\text{C} \quad (\text{eq. 4})$$

Onde:

$T_n$  = a temperatura neutra

$T_e$  = a temperatura média mensal do ar, em  $^\circ\text{C}$ , extraída das Normais Climatológicas ou de arquivos de dados TRY - *test reference Year*.

### 2.5.2. Classificação das temperaturas horárias

Após a definição da temperatura neutra de cada mês, que permite conhecer o centro da zona de conforto para a cidade de João Pessoa, procurou-se definir os limites das zonas de conforto. Para a obtenção destes limites, a metodologia utiliza

dois critérios: o uso da edificação e o percentual da área de abertura em relação ao piso.

O uso das edificações analisadas nesta pesquisa pode ser definida como sendo pública e a porcentagem da área da abertura em relação a área do piso adotada na construção do modelo utilizado nas simulações foi de 23,6%, o que corresponde à um percentual de abertura na fachada (PAF) de 56%<sup>6</sup>.

Neste sentido, para edificações comerciais ou públicas e com aberturas inferiores a 25% da área do piso, segundo a metodologia utilizada, deve-se adotar os seguintes limites para classificação das temperaturas horárias, que representa o período de indesejabilidade e desejabilidade da incidência da radiação solar:

1. Temperatura neutra menos 4°C ( $T_n-4$ ): quando a temperatura do ar for menor que este limite é recomendado a ausência de proteção solar (cor azul);
2. Temperatura neutra mais 2°C ( $T_n+2$ ): limite superior da zona de conforto nas edificações comerciais e públicas (cor laranja). Representa a necessidade de proteção solar.

### **2.5.3. Plotagem dos limites da zona de conforto na carta solar**

Após a classificação das temperaturas horárias, a metodologia indica a necessidade de se plotar os dados na carta solar para facilitar a análise da eficiência de proteções solares e ajudar no seu correto dimensionamento.

### **2.5.4. Plotagem da radiação solar na carta solar**

Para indicar com mais precisão os horários que necessitam de proteção em cada fachada, a metodologia destaca a importância de levar em consideração também a incidência de radiação solar, uma vez que esta pode representar um excesso de carga térmica para os ambientes que ficam expostos ao sol, causando a elevação da temperatura do ar interno para valores acima do limite de conforto térmico (PEREIRA e SOUZA, 2008).

Nesta etapa da metodologia, decidiu-se fazer algumas modificações no método (método 1) encontrado no trabalho de Pereira e Souza, e acrescentar uma

---

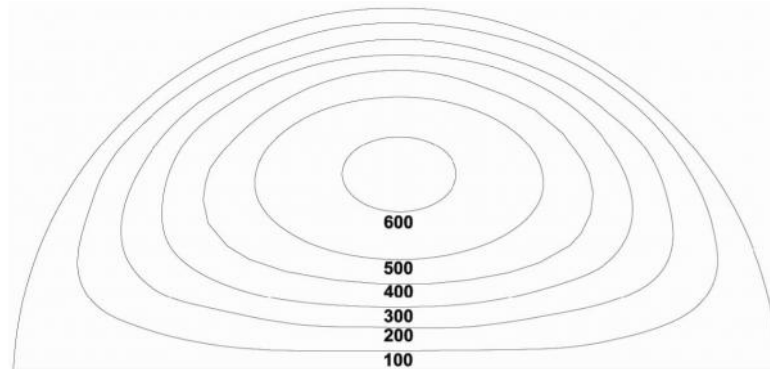
<sup>6</sup> Esse valor foi obtido a partir de um levantamento de todas as edificações do Campus I da UFPB com uso predominante de salas de aula teóricas, e escolhido para representar o PAF da sala de aula padrão.

outra abordagem (método 2) com a finalidade de tornar a identificação da zona de desconforto mais condizente com a realidade climática local.

### 2.5.4.1. Método 1

Pereira e Souza (2008) optaram pela adoção de um método gráfico, proposto por Koenigsberger et al. (1977), para o cálculo dos horários de incidência solar excessiva em função apenas da posição do sol na abóbada celeste em relação à fachada, para nebulosidade média de 5 décimos (figura 43).

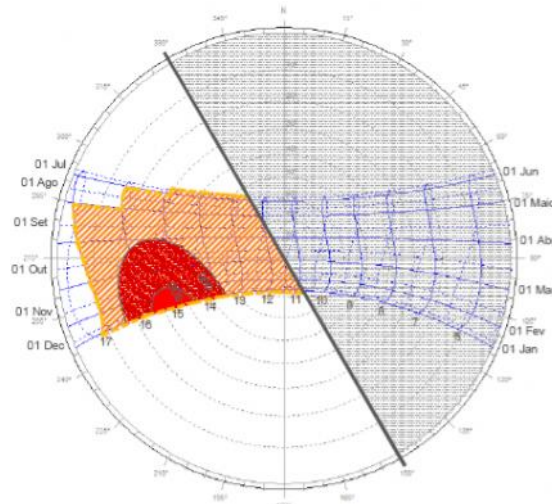
**Figura 43** - Diagrama da distribuição da radiação solar incidente em planos verticais para nebulosidade média de 5/10.



Fonte: Koenigsberger et al. (1977).

A metodologia destaca que para definição mínima dos componentes de proteção solar para determinada orientação de fachada, em edificações comerciais e institucionais, e que apresentam aberturas com área inferior a 25% do piso, deve-se considerar proteção solar quando coincidirem as temperaturas horárias superiores a  $T_{n+2}$  com as manchas de radiação superior a 500W (figura 44).

**Figura 44** - Sobreposição da mancha de radiação >500W na carta solar para a fachada Sudoeste 240°.

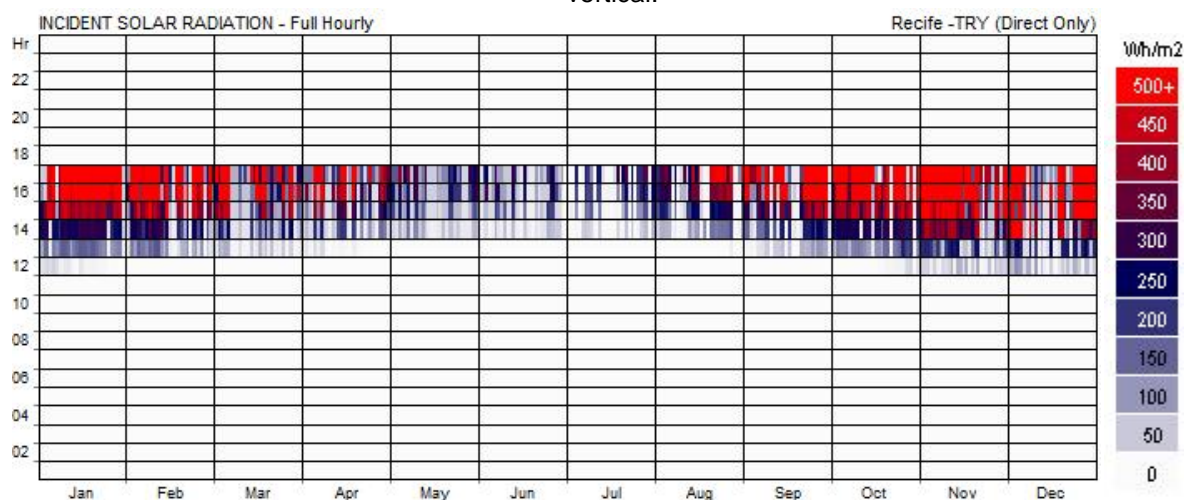


No entanto, é importante observar que esta abordagem está relacionada apenas com o conforto térmico e com edificações comerciais e institucionais de uma forma geral, sendo que em ambientes escolares, como é caso deste trabalho, a questão da iluminação se apresenta também como um fator fundamental para o bom desempenho e conforto dos alunos. Sabe-se que valores elevados de radiação solar causam não só problemas térmicos, como também de iluminação, como por exemplo, o ofuscamento e contrastes excessivos. Neste sentido, levando em consideração a realidade climática local, onde a menor quantidade de radiação solar eleva a temperatura para a zona de desconforto, e também, por estar analisando edificações escolares, decidiu-se incluir uma nova abordagem para análise do período de necessidade de proteção solar para as fachadas, apresentada a seguir.

#### 2.5.4.2. Método 2

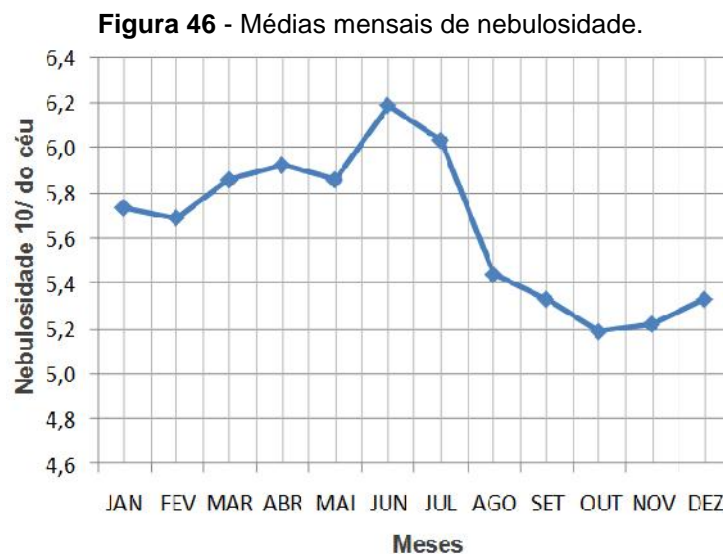
Com o objetivo de comparar as informações resultantes do método 01 com aquelas encontradas a partir da análise de dados que representam mais fielmente a realidade climática local, decidiu-se substituir o diagrama mostrado na figura 43 por diagramas temporais com a distribuição horária da incidência da radiação solar direta nas fachadas ao longo do ano (figura 45). Estes dados foram obtidos no Ecotect a partir do arquivo climático TRY para a cidade de Recife/PE.

**Figura 45** - Diagrama temporal da distribuição horária da incidência da radiação solar no plano vertical.



A partir destes diagramas, foi possível observar a incidência da radiação solar no plano da abertura a cada hora durante todo o ano. A definição do período de necessidade de proteção solar para cada fachada, neste método, foi feita através da análise conjunta destes diagramas com as temperaturas horárias mensais

calculadas e classificadas em função da temperatura neutra. Quanto mais distante a temperatura horária se encontrou do limite de desconforto, mais tolerante foi a análise no sentido de permitir valores maiores de radiação solar. Esta tolerância foi aumentada em condições de céu nublado, uma vez que nos períodos com temperaturas mais baixas e valores de nebulosidade maiores, a incidência de radiação solar se torna, em certas condições, aceitável. Com isso, foi considerada também, a condição de nebulosidade identificada para cada mês para a cidade de João Pessoa (figura 46).



Fonte: Laboratório de Energia Solar - LES/UFPB.

O método descrito acima resultou na identificação de dois períodos de necessidade de sombreamento para cada orientação analisada. As cartas solares com as marcações destes períodos foram utilizadas para o dimensionamento de um elemento de proteção solar. Para cada fachada foram projetados, com a ajuda do *Solar Tool*, duas soluções com proteção total (100%) da zona de desconforto, identificada a partir do método 1 e do método 2, e denominadas de M1 e M2. O percentual de sombreamento gerado pela proteção com melhor desempenho, em relação à iluminação natural, foi utilizado como parâmetro na análise da eficiência do sombreamento dos modelos. O desempenho da iluminação natural destas soluções foram obtidas através do *Daysim*, onde a média do UDI<sub>útil</sub> e o seu desvio padrão foram utilizados como critérios de escolha. Já na análise da iluminação natural, as duas proteções foram incluídas com o objetivo de compará-las com a performance dos elementos de proteção presentes na amostra e de identificar qual dos dois métodos, método 1 ou método 2, contribui melhor para o projeto de soluções de proteção solar mais adequadas para as salas de aula do campus I da UFPB.

## 2.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na avaliação dos resultados foram considerados dois conjuntos de análise, onde se procurou comparar e classificar os desempenhos dos modelos para cada orientação.

- Conjunto 1: contendo todos os modelos, com objetivo de identificar o modelo de melhor desempenho dentre todas as proteções solares analisadas (situação hipotética).

- Conjunto 2: composto por aqueles modelos que, de acordo o levantamento de campo, representam a realidade da orientação analisada. A intenção deste último conjunto foi agrupar, para determinada orientação, apenas aquelas soluções de proteção solar identificadas in loco, e poder apontar qual modelo foi melhor projetado (situação real).

Após estas análises, utilizando os resultados do conjunto 1 (todos os modelos), procurou-se correlacionar o percentual de visibilidade da abóbada celeste com o percentual de sombreamento e com a performance dos modelos em relação a iluminação natural, representado pelo UDIútil e seu desvio padrão, e UDlexcessiva. Esta última análise buscou identificar a influência das duas primeiras medidas na iluminação natural do ambiente.

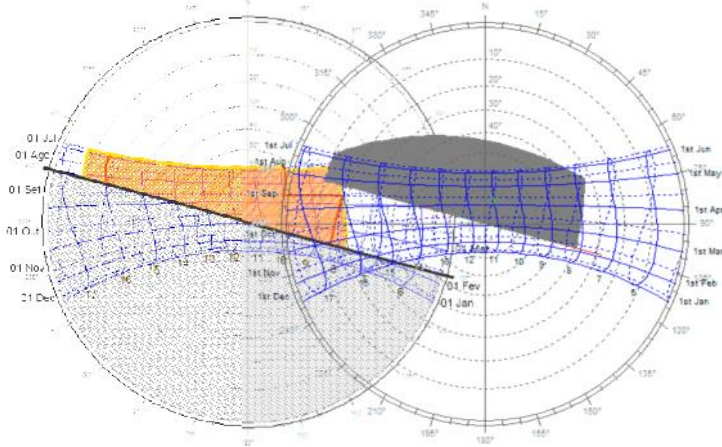
No item a seguir é relatado sobre a análise para cada abordagem: sombreamento e iluminação natural.

### 2.6.1 Análise do Sombreamento

A avaliação da eficiência do sombreamento gerado pelas proteções solares foi feita a partir da utilização do método gráfico. A análise utilizando-se de diagramas permitiu uma visualização rápida e direta do desempenho dos modelos, possibilitando uma avaliação qualitativa, ao contrário dos gráficos que permitiram uma abordagem quantitativa.

A análise com diagramas ocorreu através da sobreposição da máscara de sombreamento, obtida através do *Solar Tool*, com o diagrama da carta solar e a marcação da zona de desconforto, obtida e selecionada de acordo com a metodologia apresentada no capítulo 2, item 2.5. (figura 47).

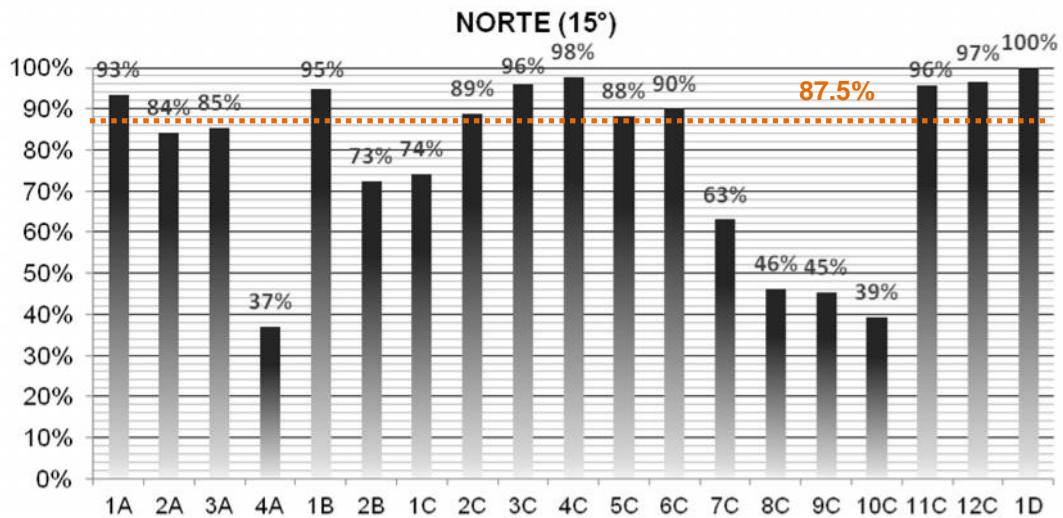
**Figura 47** - Método gráfico utilizado na análise do sombreamento.



O objetivo desta abordagem foi analisar qualitativamente a eficiência da proteção dos dispositivos de sombreamento, não só em relação à real orientação encontrada no levantamento, mas também em situações hipotéticas, nas demais fachadas, considerando sempre o período de necessidade de proteção solar para a orientação analisada. Com a sobreposição dos dois diagramas, foi possível identificar exatamente o horário e os meses em que houve sombreamento em excesso, e também o período de desconforto sem proteção.

Como foi visto no referencial teórico, ao gerar a máscara de sombreamento de determinada proteção, o software *SolarTool* já indica automaticamente o percentual de sombreamento mensal e anual. O percentual anual de cada modelo foi obtido e inserido no *Excel* para criar os gráficos da análise comparativa, que serão utilizados para cada conjunto de análise. Em cada gráfico foi marcado o percentual de sombreamento do M1 ou M2 considerado com parâmetro para a orientação analisada, de modo que os valores dos percentuais de sombreamento encontrados acima do valor do parâmetro indicam sombreamento em excesso e abaixo representam proteção insuficiente, uma vez que este parâmetro representa o percentual de sombreamento gerado pela solução projetada para proteger 100% a zona de desconforto. Este processo foi feito com o objetivo de comparar e identificar a melhor solução de cada conjunto de análise (figura 48).

**Figura 48** - Exemplo da análise gráfica da eficiência do sombreamento para a fachada Norte.



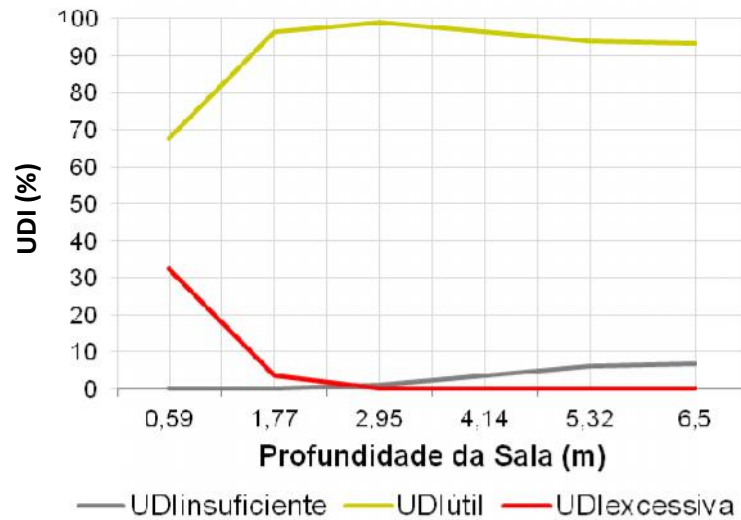
### 2.6.2. Análise da Iluminação Natural

Para a análise da iluminação natural procurou-se destacar as diferenças da distribuição da luz natural no ambiente devido às variações das soluções de proteção solar avaliadas e classificá-las de acordo com seu desempenho. Além dos modelos presentes nos conjuntos de análise descritos anteriormente, foram inseridas no conjunto 1 e 2 as duas soluções projetadas (M1 e M2) para as zonas de desconforto identificadas para cada orientação com o objetivo de avaliar a eficiência dos métodos apresentados no item 2.5.

Esta análise foi feita através da medida dinâmica da luz natural UDI (*Useful Daylight Illuminance*), que indica a percentagem do tempo ao longo do ano em que o nível luminoso permanece na faixa insuficiente (<100lux), útil (entre 100 e 2000lux) e excessiva (>2000lux). Os dados obtidos no *Daysim* foram estruturados e organizados em tabelas no *Excel*, e, posteriormente, foram utilizados para gerar os gráficos necessários para o desenvolvimento da análise comparativa. Estes gráficos mostram o comportamento das três faixas em relação à profundidade do ambiente. Para isso, foi calculada a média dos valores do UDI de cada linha, paralela a abertura, da malha dos pontos de análise (figura 49).

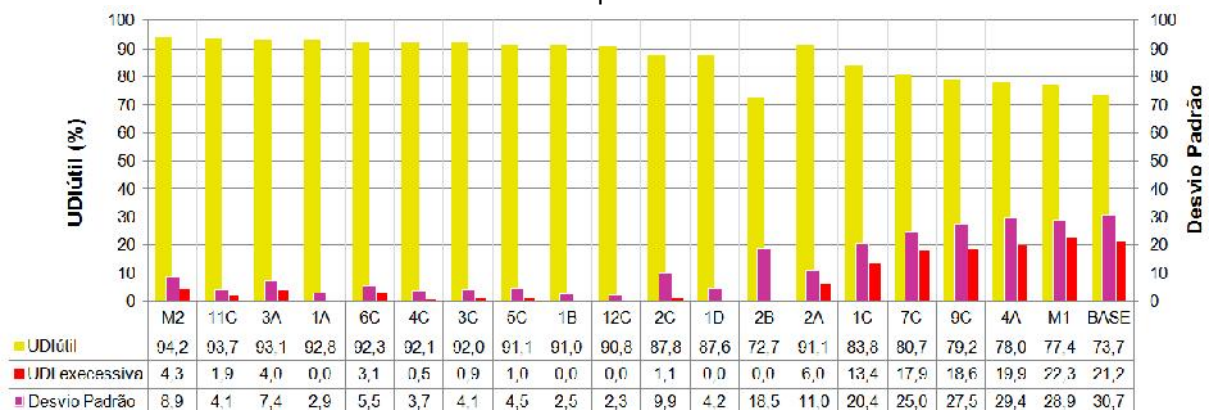


**Figura 49** - Exemplo da análise gráfica do comportamento das faixas do UDI em relação a profundidade da sala de aula.



Com o objetivo de classificar os modelos segundo seu desempenho em relação à iluminação natural, foi elaborado um gráfico (figura 50) que mostra o desempenho dos modelos a partir da média do UDIútil com seu desvio padrão e o UDIexcessivo. O desvio padrão é um indicador qualitativo que está relacionado com a dispersão dos valores obtidos, isto é, quanto menor é o desvio padrão mais uniforme é a distribuição da luz natural.

**Figura 50** - Exemplo do gráfico do desempenho dos modelos de acordo com a média do UDIútil e o desvio padrão.



Além ordenar os modelos de acordo com a média do UDIútil, optou-se também pela classificação segundo as faixas de desempenho: bom, regular e ruim. Como não há ainda nenhuma norma ou regulamento que estipule faixa de valores de UDI a serem alcançados, decidiu-se observar nos estudos anteriores abordagens semelhantes e adaptá-las para a pesquisa. Desta forma, foram utilizados os

intervalos de  $>80\%$ ,  $60-80\%$  e  $<60\%$ <sup>7</sup> para a classificação bom, regular e ruim, respectivamente. Com o objetivo de impor uma abordagem mais qualitativa a esta classificação, adotou-se o limite máximo de 5%, utilizado por Rogers (2006) na medida do  $DA_{max}$ <sup>8</sup>, para o  $UDI_{excessiva}$ . Este critério foi utilizado como fator de rebaixamento dos modelos classificados como bom e como bônus para os modelos situados nas faixas regular e ruim. Desta forma, um modelo será classificado com desempenho bom se sua média do  $UDI_{útil}$  for  $>80\%$  e apresentar média do  $UDI_{excessivo}$   $<5\%$ . Já nas faixas regular e ruim, os modelos que obtiveram  $UDI_{excessivo}$   $<5\%$  subirão de posição, porém continuarão na mesma faixa de classificação.

A escolha destes critérios para faixa de classificação regular e ruim teve como intenção privilegiar a obtenção de valores maiores de  $UDI_{insuficiente}$  do que  $UDI_{excessivo}$ , tendo em vista que o uso da luz artificial pode fazer com que um modelo classificado como regular obtenha o desempenho necessário para ser qualificado como bom, ao contrário da presença de valores altos do  $UDI_{excessivo}$  que causa aumento da carga térmica e de desconfortos visuais, como ofuscamento e contrastes excessivos.

### 2.6.3. Correlação das Medidas de Desempenho

Nesta etapa, procurou-se correlacionar os resultados das abordagens anteriores com o percentual de visibilidade da abóbada celeste. Como visto anteriormente, esta medida é gerada pelo software *Solar Tool*, assim como o percentual de sombreamento, no momento da obtenção da máscara de sombreamento, e está relacionada com o desempenho da iluminação natural, uma vez que quanto maior a visibilidade da abóbada celeste a partir do plano da abertura, maior a admissão da luz natural no ambiente interno. No entanto, ao aumentar o percentual da área do céu visível, o percentual de sombreamento é reduzido, e esta relação interfere diretamente no comportamento da iluminação natural no ambiente interno.

---

<sup>7</sup> Rogers (2006) considerou na análise do *Continuous Daylight Autonomy* ( $DA_{con}$ ) as faixas de 40%, 60% e 80%.

<sup>8</sup> *Maximum Daylight Autonomy* ( $DA_{max}$ ) utilizado para indicar a percentagem de horas no ano que um local é ocupado, na qual o nível de iluminância mínimo em um determinado ponto do plano de trabalho é excedido em dez vezes e pode fornecer a frequência e a área onde se encontram os altos níveis de ofuscamento no espaço.

Diante deste contexto, a partir dos resultados obtidos com a análise do sombreamento e da iluminação natural, procurou-se identificar dentre os valores obtidos, qual relação do percentual de sombreamento e do percentual de visibilidade da abóboda celeste influenciou mais positivamente o desempenho da iluminação natural.

Para finalizar, foi gerado um gráfico, seguindo a classificação dos modelos em relação à iluminação natural, onde foram inseridos os valores das medidas do percentual de sombreamento, do percentual de visibilidade da abóboda, do  $UDI_{\text{excessivo}}$ , do  $UDI_{\text{útil}}$  e do  $UDI_{\text{insuficiente}}$ , com o objetivo de identificar a relação entre as mesmas.

## **3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Este capítulo expõe e discute os resultados obtidos nas etapas descritas na metodologia apresentada no capítulo anterior. A ordem da apresentação seguirá a estruturação dos procedimentos metodológicos, realizada em cinco etapas:

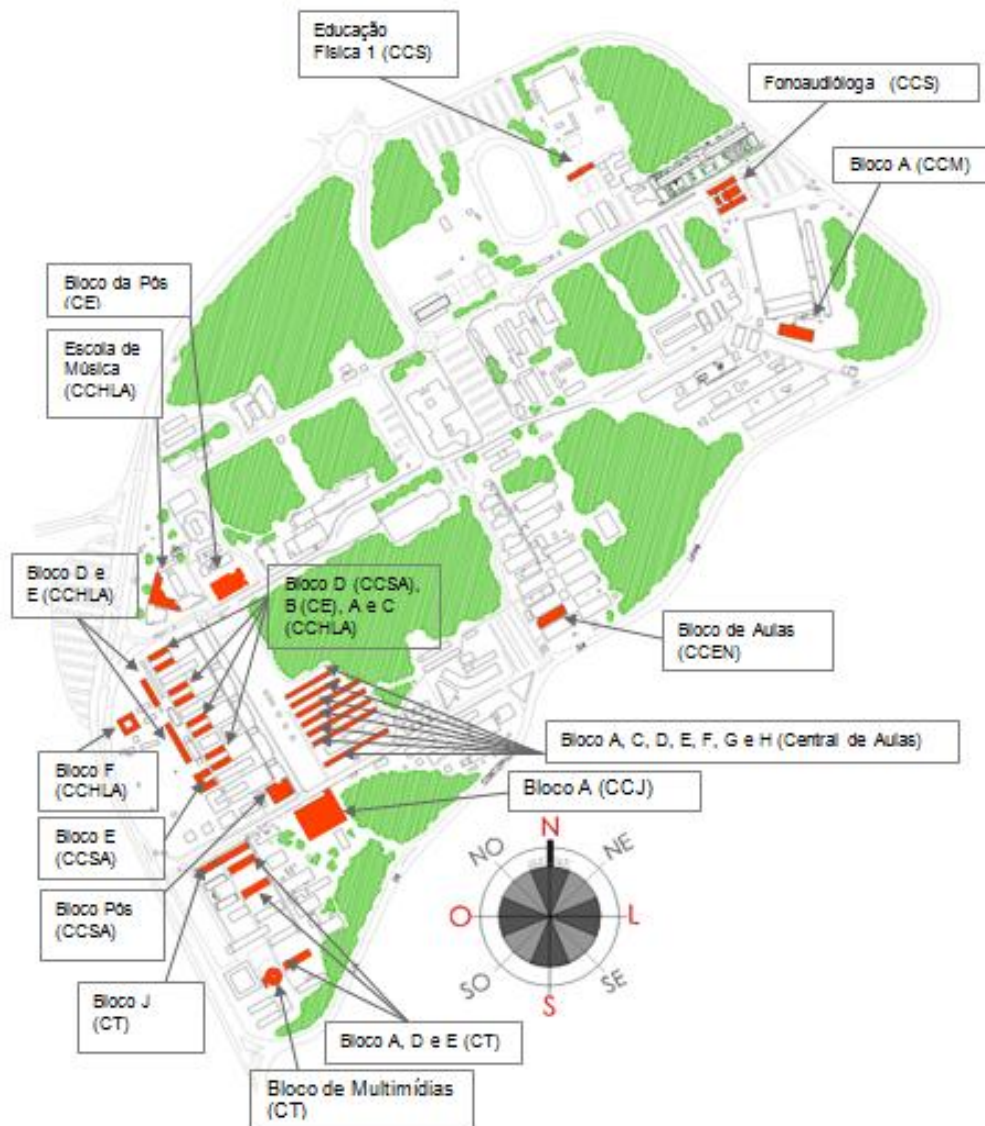
- 1ª Etapa - Levantamento de campo;
- 2ª Etapa - Construção dos modelos;
- 3ª Etapa - Simulação computacional - obtenção das medidas de desempenho;
- 4ª Etapa - Identificação das zonas de desconforto para cada orientação;
- 5ª Etapa - Análise do sombreamento;
  - Análise da iluminação natural
  - Correlação das medidas de desempenho;

### **3.1 LEVANTAMENTO DE CAMPO**

#### **3.1.1 Amostra**

O levantamento de campo resultou em uma amostra de 32 edificações, totalizando 271 salas de aula (figura 51), sendo que apenas 19 destas edificações apresentam tipologias diferentes (quadro 01). Todavia, foi necessário levantar os 32 exemplares, uma vez que algumas edificações apresentaram variações nas dimensões das salas de aula, fator importante para a definição do modelo representativo da sala de aula do campus.

**Figura 51** – Identificação da amostra no mapa do campus I da UFPB.



O quadro a seguir apresenta as tipologias das edificações identificadas. Alguns exemplares estão representados por cortes, por se encontrarem em fase de construção e por não dispor de maquetes eletrônicas.

**Quadro 01** – Tipologias encontradas na amostra.



 <p>Bloco D (CCSA), B (CE), A e C (CCHLA)</p>	 <p>Bloco D e E (CCHLA)</p>	 <p>Bloco F (CCHLA)</p>
 <p>Escola de Música (CCHLA)</p>	 <p>Escola de Música (CCHLA)</p>	 <p>Bloco da Pós (CCSA)</p>
 <p>Bloco E (CCSA)</p>	 <p>Bloco da Pós (CE)</p>	 <p>Fonoaudiologia (CCS)</p>
 <p>Educação Física (CCS)</p>	 <p>Bloco A (CCM)</p>	 <p>Bloco A (CCJ)</p>
 <p>Bloco A, C, D, E, F, G e H (CA)</p>	 <p>Bloco de Aulas (CCEN)</p>	 <p>Bloco de Aulas (CCEN)</p>

### 3.1.2. Variáveis Relacionadas com a Sala de Aula

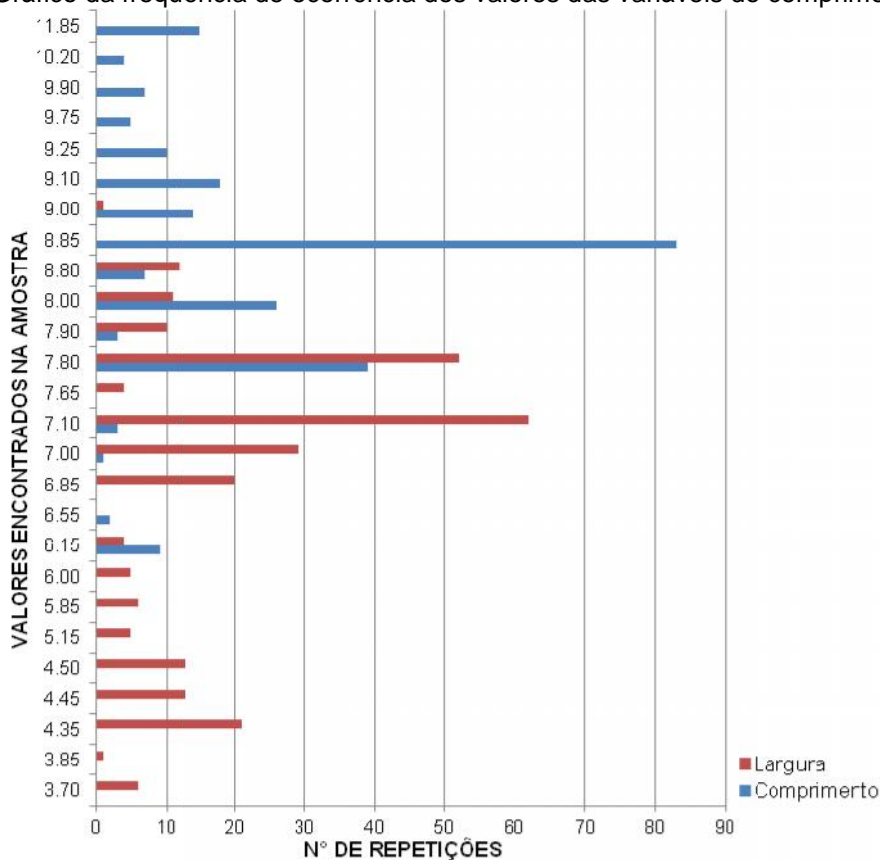
As informações levantadas para caracterizar a tipologia padrão da sala de aula do campus I da UFPB encontram-se estruturadas em tabelas que seguem o modelo apresentado na metodologia (apêndice A). Estes dados foram tratados e analisados através de gráficos que mostram a frequência com que cada valor de cada variável foi utilizado.

#### Dimensões

Em relação às dimensões, pode-se observar nos gráficos abaixo o número de repetições com que os valores de comprimento, largura, altura do pé direito e do peitoril foram identificados.

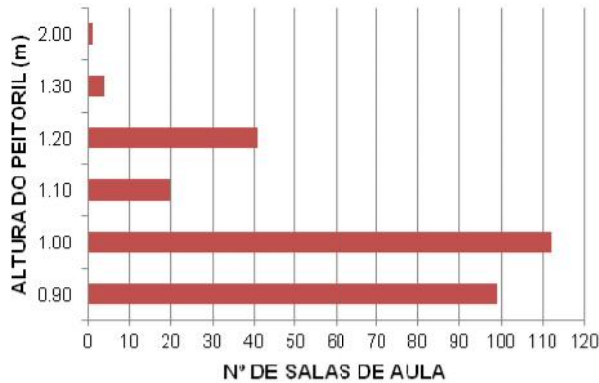
A figura 52 aponta os valores de 8,85m e 7,10m como os mais utilizados para definir o comprimento e a largura, respectivamente, do modelo representativo das salas de aula do campus I da UFPB.

**Figura 52** – Gráfico da frequência de ocorrência dos valores das variáveis do comprimento e largura.



No que diz respeito a altura do peitoril e do pé direito, foi constatado que os valores de 1.00m e 3.00m predominaram (figuras 53 e 54).

**Figura 53** – Gráfico da frequência de ocorrência do valor da variável peitoril.

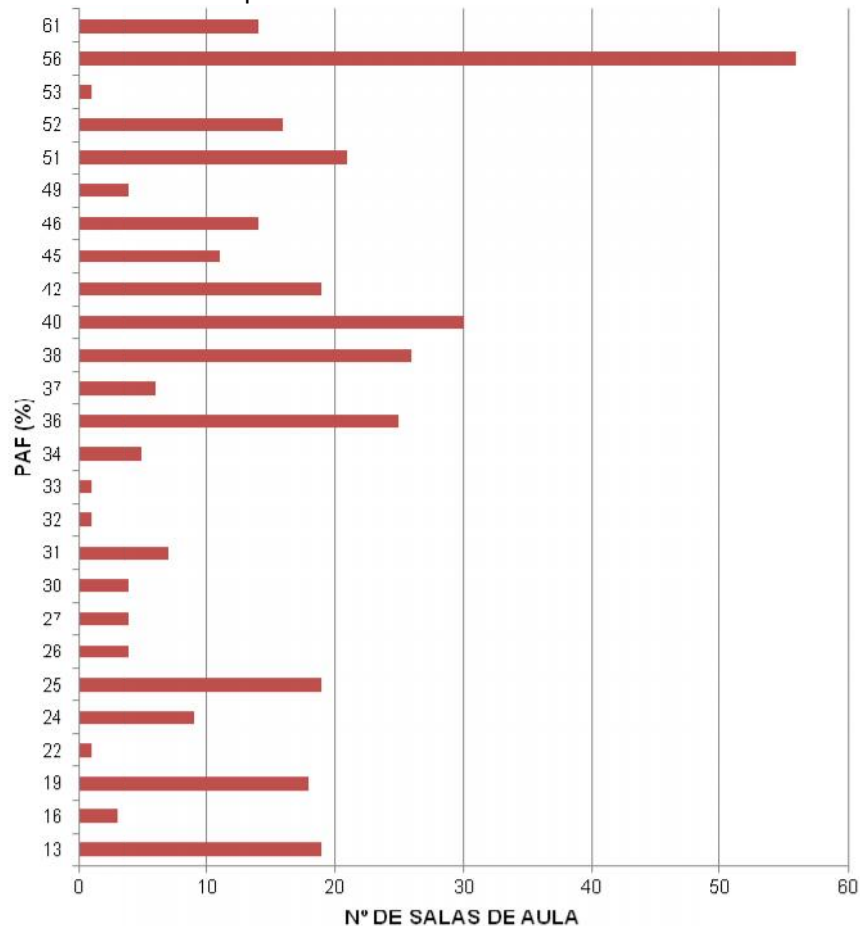


**Figura 54** – Gráfico da frequência de ocorrência do valor da variável pé direito.



Já quanto ao percentual de área de abertura na fachada (PAF), observou-se no levantamento uma variação grande dos valores, sendo 13% o valor mínimo e 61% o valor máximo. No entanto o PAF de 56% foi o que mais se repetiu nas salas de aula presentes na amostra (figura 55).

**Figura 55** – Gráfico da frequência de ocorrência dos valores da variável PAF.

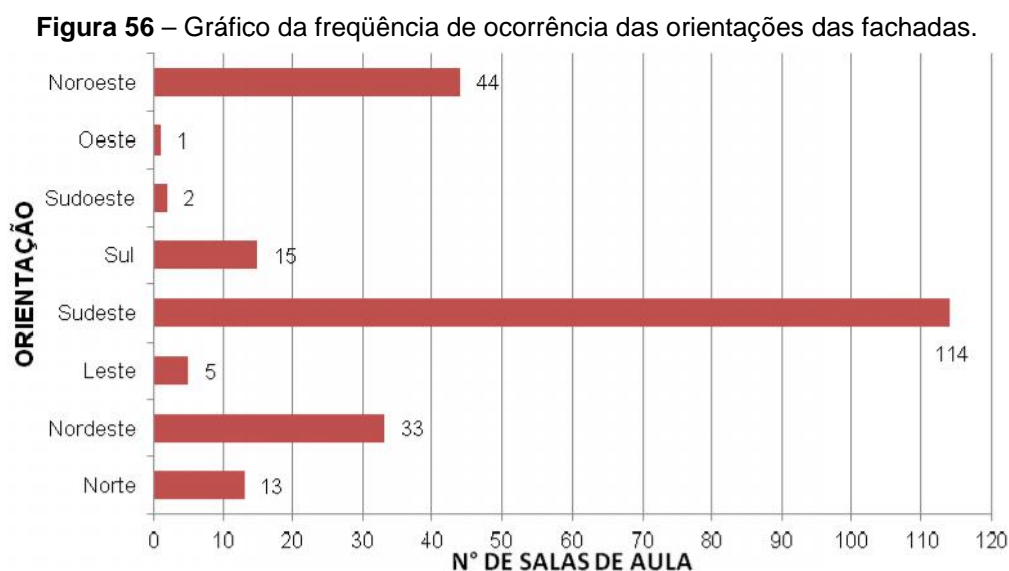


## Orientação

A orientação é uma variável de grande influência nas primeiras etapas da composição de um projeto, decidindo muitas vezes o partido ou a ideia arquitetônica



a ser adotada. A partir do critério descrito na metodologia para definição da orientação das edificações, foi identificado no levantamento a predominância de salas de aula voltadas para o sudeste ( $150^\circ$ ), seguida da orientação noroeste ( $330^\circ$ ) e nordeste ( $60^\circ$ ), como mostra a figura 56.

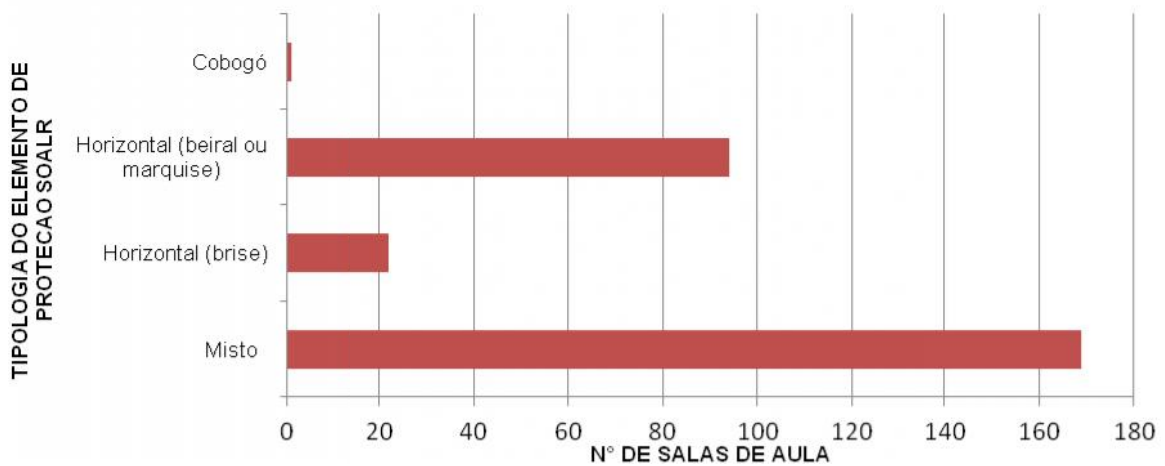


Observou-se no levantamento a ocorrência de salas de aula com aberturas laterais voltadas para duas direções. Isso justifica o fato de haver no gráfico um número maior de exemplares em relação à amostra, uma vez que uma mesma sala de aula contabilizou duas orientações. O resultado do levantamento desta variável serviu para definir quais orientações serão utilizadas nas análises de eficiência do sombreamento e da iluminação natural dos elementos de proteção solar. Foram desconsideradas as orientações Oeste e Sudoeste devido ao pequeno número de ocorrências.

#### Elementos de proteção solar

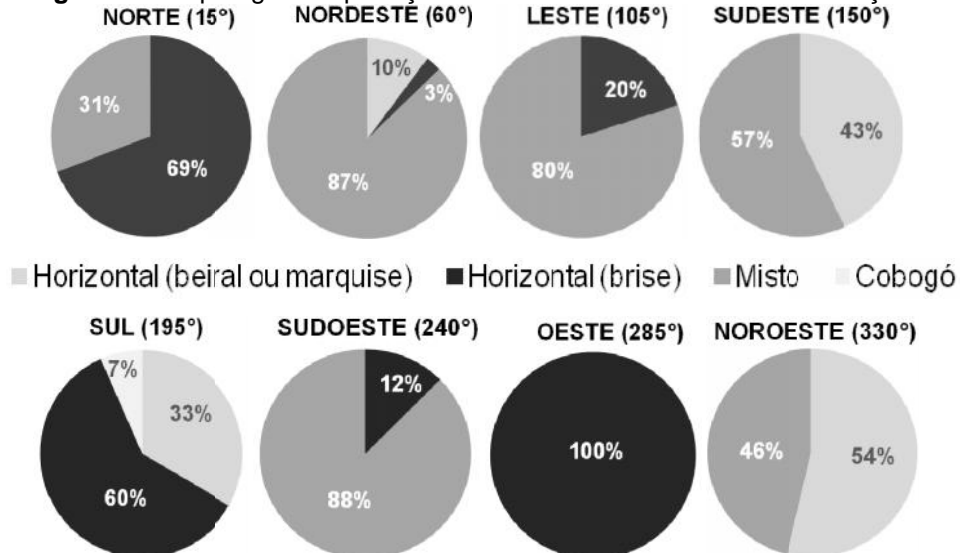
Para cada edificação foi identificada a tipologia de proteção solar adotada, onde observou-se a existência de quatro tipos predominantes, como mostra a figura 57 a seguir.

**Figura 57 –** Tipologias identificadas na amostra.



Ao analisar a figura 57, observa-se a predominância da tipologia mista, composta de elementos horizontais e verticais. Ao relacionar as orientações com os tipos de elementos solares encontrados no levantamento, conclui-se que a orientação predominante (Sudeste) da amostra, identificada anteriormente, apresenta apenas duas soluções: a mista e a horizontal (beiral ou marquise), sendo que a predominância nesta orientação é da tipologia mista. Na figura a seguir, pode-se observar a ocorrência de cada tipologia em cada orientação.

**Figura 58 –** Tipologias de proteção solar identificadas em cada orientação.

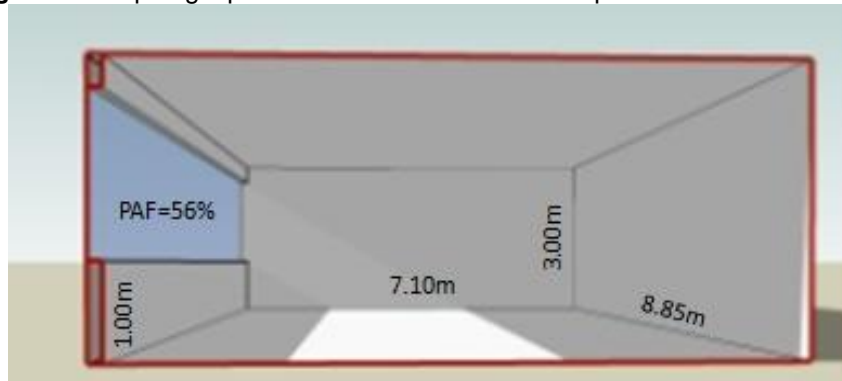


Como exposto na metodologia, foram criadas tabelas com o objetivo de caracterizar as soluções de proteção solar, levantando informações como os ângulos de sombreamento e suas dimensões em planta e em corte (apêndice B). Estas informações serviram como suporte para a construção dos modelos.

### 3.2. DEFINIÇÃO DA TIPOLOGIA PADRÃO

A construção do modelo base que representa a sala de aula padrão do Campus I da UFPB foi realizada a partir da identificação da frequência dos valores de cada variável presente na tabela relacionada com as edificações. Desta forma, após analisar os gráficos apresentados no item anterior, foi construído o modelo base (figura 59).

**Figura 59** - Tipologia padrão da sala de aula do campus I da UFPB - modelo base.

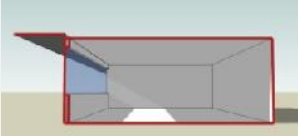
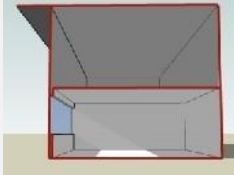
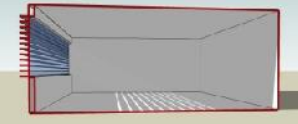
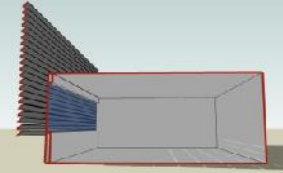
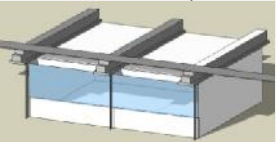
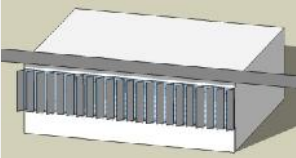
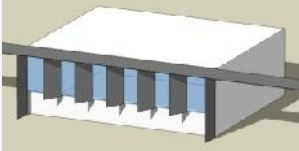
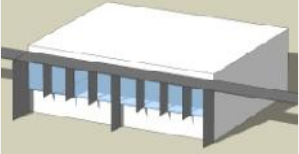
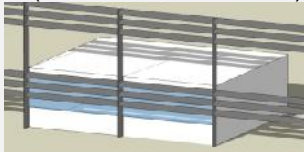

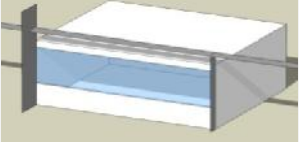
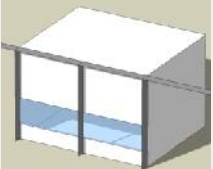
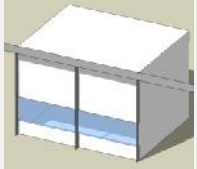
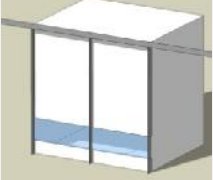
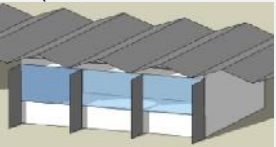
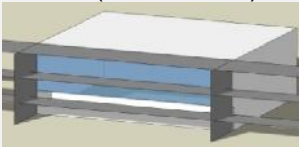


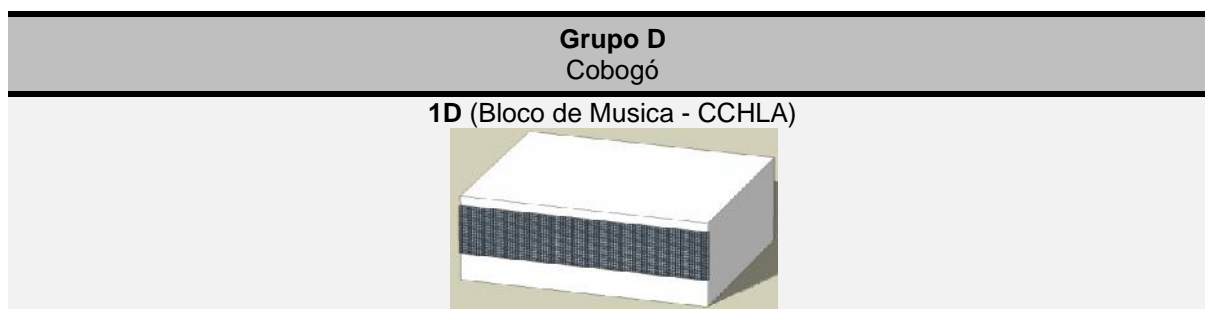
### 3.3. MODELOS

Os modelos utilizados nesta pesquisa foram construídos a partir da conjunção do modelo base e das tipologias de proteção solar identificadas no levantamento de campo. Desta forma, a partir da identificação de dezenove tipologias com suas informações detalhadas, presentes nos apêndices A e B, e da construção do modelo base, foram criados os modelos a serem analisados. Estes modelos, como visto na metodologia, foram agrupados em quatro grupos de acordo com sua tipologia (quadro 02).

**Quadro 02** - Modelos resultantes do levantamento.

<b>Grupo A - Horizontal</b> (beiral ou marquise)	
<p><b>1A</b> (Bloco de Musica-CCHLA)</p>	<p><b>2A</b> (Pós - CCSA e Pós - CE)</p>

<p><b>3A</b> (Central de Aulas)</p> 		<p><b>4A</b> (Bloco J - CCEN)</p> 	
<p><b>Grupo B - Horizontal (brise)</b></p>			
<p><b>1B</b> (Bloco Multimídia - CT)</p> 		<p><b>2B</b> (Bloco A - CCM)</p> 	
<p><b>Grupo C - Misto</b></p>			
<p><b>1C</b> (Bloco D-CCSA, B-CE, A e C-CCHLA)</p> 	<p><b>2C</b> (Bloco J - CCEN)</p> 	<p><b>3C</b> (Bloco de Música-CCHLA)</p> 	
<p><b>4C</b> (Bloco de Música-CCHLA)</p> 	<p><b>5C</b> (Bloco E e D - CCHLA)</p> 	<p><b>6C</b> (Bloco A - CCJ)</p> 	
<p><b>7C</b> (Bloco A Ed. Física -CCS)</p> 	<p><b>8C</b> (Fonoaudiologia - CCS)</p> 	<p><b>9C</b> (Bloco E - CCSA )</p> 	
<p><b>10C</b> (Bloco F - CCHLA)</p> 	<p><b>11C</b> (Bloco A, D e E - CT)</p> 	<p><b>12C</b> (Bloco J - CT)</p> 	



A partir da caracterização das tipologias de proteção solar, observou-se uma grande semelhança nos modelos 8C, 9C e 10C. Com o objetivo de esclarecer se esta semelhança também ocorre no desempenho da iluminação natural, simulações foram realizadas. Observa-se nos resultados uma pequena variação dos valores do UDI para cada modelo (tabela 14).

**Tabela 14** - Verificação da semelhança do desempenho da iluminação natural dos modelos 8C, 9C e 10C.

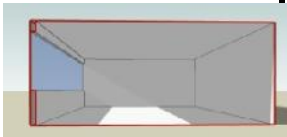
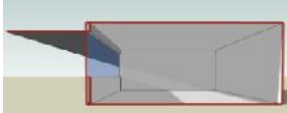


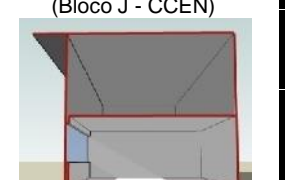
MODELOS	UDIinsuficiente <100lux	UDIútil 100-2000lux	UDIexcessivo >2000lux
<b>8C</b> (Fonoaudiologia - CCS)	2.45%	79.62%	17.91%
<b>9C</b> (Bloco E - CCSA )	2.35%	79.22%	18.41%
<b>10C</b> (Bloco F - CCHLA)	2.37%	79.06%	18.56%

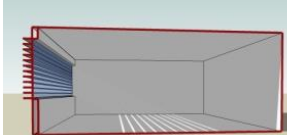
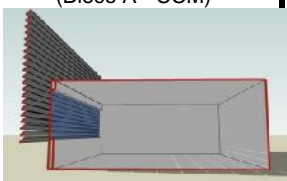
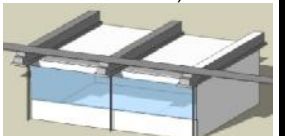
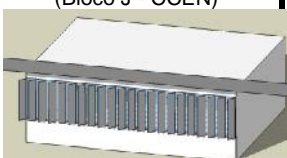

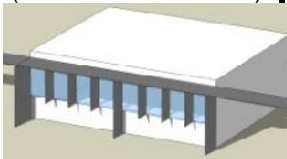
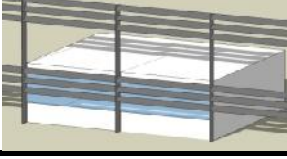
Com base nestas informações, optou-se por utilizar apenas um dos modelos, reduzindo assim o número de modelos a serem investigados.


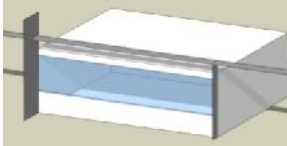
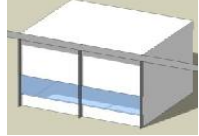
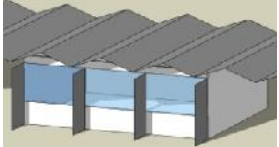
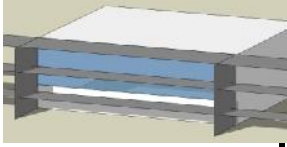
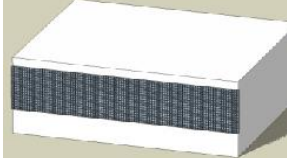
### 3.4. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS - OBTENÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO

As medidas de desempenho utilizadas para as análises do sombreamento e da iluminação natural foram obtidas através da utilização de duas ferramentas computacionais: Solar Tool e Daysim. Os resultados do processo de simulação computacional foram organizados em uma tabela, apresentada a seguir (tabela 15).

Tabela 15 - Medidas de desempenho de cada modelo para cada orientação.

	Percentual de Visibilidade do Céu	Percentual de Sombreamento	Useful Daylight Illuminances – UDI			
			UDIinsuficiente <100lux	UDIútil 100-2000lux / Desvio Padrão	UDIexcessivo >2000lux	
<b>Modelo Base</b> (sem elemento de proteção solar)						
<b>Modelo Base</b> 	50%	0%	2.1%	73.71% / 30.68	21.2%	Norte (15°)
		0%	2.3%	75.3% / 27.8	22.3%	Nordeste (60°)
		0%	2.2%	74.1% / 28.93	23.7%	Leste (105°)
		0%	2.1%	77.5% / 30.0	20.3%	Sudeste (150°)
		0%	1.4%	78.4% / 28.7	20.2%	Sul (195°)
		0%	0.5%	72.2% / 32.33	27.3%	Noroeste (330°)
<b>Grupo A - Horizontal</b> (beiral ou marquise)						
<b>1A</b> (Bloco de Música-CCHLA) 	6.4%	93.3%	7.22%	92.77% / 2.86	0%	Norte (15°)
		84.1%	7.9%	91.8% / 2.3	0.3%	Nordeste (60°)
		81.8%	7.8%	90.1% / 13.54	2.1%	Leste (105°)
		89.8%	7.6%	90.3% / 13.4	2.1%	Sudeste (150°)
		<b>88.6%</b>	<b>5.0%</b>	<b>94.6% / 2.1</b>	<b>0.4%</b>	Sul (195°)
		90.3%	2.9%	93.8% / 13.98	3.2%	Noroeste (330°)
<b>2A</b> (Pós - CCSA e Pós - CE) 	14.4%	84.3%	2.89%	91.10% / 11.00	6%	Norte (15°)
		<b>62.4%</b>	<b>3.2%</b>	<b>88.5% / 11.9</b>	<b>8.4%</b>	Nordeste (60°)
		59.2%	3.0%	87.3% / 16.36	9.5%	Leste (105°)
		<b>76.3%</b>	<b>3.0%</b>	<b>91.0% / 15.1</b>	<b>5.9%</b>	Sudeste (150°)
		82.9%	2.0%	92.1% / 9.7	5.9%	Sul (195°)
		<b>77.1%</b>	<b>0.7%</b>	<b>85.8% / 20.17</b>	<b>13.5%</b>	Noroeste (330°)
<b>3A</b> (Central de Aulas) 	13.1%	85.4%	2.95%	93.08% / 7.37	3.95%	Norte (15°)
		65.6%	3.2%	90.1% / 9.1	6.7%	Nordeste (60°)
		62.0%	3.1%	88.6% / 15.15	8.2%	Leste (105°)
		<b>78.4%</b>	<b>3.0%</b>	<b>92.5% / 14.2</b>	<b>4.4%</b>	Sudeste (150°)
		80.0%	2.1%	93.6% / 7.0	4.3%	Sul (195°)
		<b>79.3%</b>	<b>0.8%</b>	<b>87.6% / 17.92</b>	<b>11.6%</b>	Noroeste (330°)
<b>4A</b> (Bloco J - CCEN) 	32.3%	36.9%	2.10%	77.95% / 29.38	19.93%	Norte (15°)
		21.6%	2.2%	76.2% / 26.9	21.6%	Nordeste (60°)
		20.1%	2.1%	75.3% / 27.99	22.6%	Leste (105°)
		<b>34.6%</b>	<b>2.0%</b>	<b>78.5% / 29.4</b>	<b>19.4%</b>	Sudeste (150°)
		42.8%	1.4%	79.4% / 27.7	19.2%	Sul (195°)
		37.0%	0.5%	73.0% / 31.63	26.6%	Noroeste (330°)

Grupo B – Horizontal (brise)						
<b>1B</b> (Bloco Multimídia - CT) 	5.5%	94.7%	9.02%	90.97% / 2.49	0%	Norte (15°)
		85.1%	7.9%	89.5% / 2.94	0.3%	Nordeste (60°)
		83.0%	9.9%	88.0% / 13.38	2.1%	Leste (105°)
		90.7%	41.3%	55.5% / 27.7	3.2%	Sudeste (150°)
		93.2%	6.5%	93.5% / 2.3	0.0%	Sul (195°)
		91.3%	4.1%	93.4% / 13.85	2.5%	Noroeste (330°)
<b>2B</b> (Bloco A - CCM) 	14.8%	72.5%	27.3%	72.66% / 18.52	0%	Norte (15°)
		79.5%	25.7%	74.5% / 17.9	0.0%	Nordeste (60°)
		78.6%	25.0%	72.9% / 21.34	2.1%	Leste (105°)
		68.5%	28.7%	69.3% / 22.6	2.1%	Sudeste (150°)
		53.8%	26.3%	73.7% / 17.5	0.0%	Sul (195°)
		76.2%	22.7%	75.2% / 18.44	2.1%	Noroeste (330°)
Grupo C - Misto						
<b>1C</b> (Bloco D-CCSA, B-CE, A e C-CCHLA) 	20.8%	74.2%	2.8%	83.8% / 20.35	13.3%	Norte (15°)
		42.6%	3.0%	82.2% / 18.8	14.8%	Nordeste (60°)
		43.6%	2.9%	81.1% / 20.75	15.8%	Leste (105°)
		66.4%	2.9%	85.2% / 19.8	11.8%	Sudeste (150°)
		79.2%	1.9%	86.6% / 17.6	11.5%	Sul (195°)
		65.7%	0.8%	79.7% / 25.45	19.5%	Noroeste (330°)
<b>2C</b> (Bloco J - CCEN) 	8.8%	88.7%	11.25%	87.83% / 9.86	1.06%	Norte (15°)
		68.3%	11.2%	85.6% / 8.8	3.1%	Nordeste (60°)
		74.9%	11.3%	85.3% / 16.91	3.4%	Leste (105°)
		96.9%	11.3%	86.7% / 18.2	2.1%	Sudeste (150°)
		89.8%	8.2%	89.7% / 9.1	2.1%	Sul (195°)
		94.0%	8.3%	88.9% / 15.55	2.7%	Noroeste (330°)
<b>3C</b> (Bloco de Música-CCHLA) 	6.7%	96.1%	6.97%	92.04% / 4.07	0.91%	Norte (15°)
		72.4%	12.7%	82.9% / 5.5	4.4%	Nordeste (60°)
		81.1%	12.5%	82.3% / 12.03	5.2%	Leste (105°)
		99.1%	12.3%	85.5% / 12.3	2.2%	Sudeste (150°)
		98.0%	10.3%	88.8% / 3.0	0.9%	Sul (195°)
		98.1%	9.5%	86.9% / 12.46	3.6%	Noroeste (330°)
<b>4C</b> (Bloco de Música-CCHLA) 	6.7%	97.8%	7.35%	92.14% / 3.72	0.5%	Norte (15°)
		78.1%	7.9%	89.9% / 3.2	2.2%	Nordeste (60°)
		74.5%	7.6%	88.0% / 13.20	4.5%	Leste (105°)
		96.3%	7.7%	90.0% / 13.9	2.2%	Sudeste (150°)
		99.2%	6.0%	94.0% / 3.9	0.0%	Sul (195°)
		94.9%	3.8%	92.0% / 13.89	4.2%	Noroeste (330°)
<b>5C</b> (Bloco E e D - CCHLA) 	13.6%	88.3%	7.83%	91.14% / 4.49	0.97%	Norte (15°)
		73.3%	8.7%	89.2% / 3.9	2.0%	Nordeste (60°)
		71.8%	8.5%	87.7% / 13.59	3.8%	Leste (105°)
		84.0%	8.5%	89.2% / 14.2	2.3%	Sudeste (150°)
		87.6%	5.9%	92.8% / 3.74	1.3%	Sul (195°)
		84.5%	4.4%	89.1% / 14.15	6.4%	Noroeste (330°)

<b>6C</b> (Bloco A - CCJ) 	13.1%	90.1%	4.62%	92.27% / 5.54	3.06%	Norte (15°)
		<b>61.0%</b>	<b>4.9%</b>	<b>90.1% / 7.1</b>	<b>5.1%</b>	Nordeste (60°)
		57.2%	4.8%	88.4% / 14.11	6.9%	Leste (105°)
		<b>84.3%</b>	<b>4.7%</b>	<b>91.3% / 13.9</b>	<b>3.9%</b>	Sudeste (150°)
		92.9%	3.3%	94.1% / 4.8	2.6%	Sul (195°)
		83.2%	1.7%	89.7% / 16.09	8.6%	Noroeste (330°)
<b>7C</b> (Bloco A Ed. Física - CCS) 	25.7%	63.0%	2.43%	80.73% / 24.97	16.83%	Norte (15°)
		33.2%	2.5%	78.8% / 23.3	18.6%	Nordeste (60°)
		26.8%	2.4%	77.8% / 24.38	19.8%	Leste (105°)
		<b>50.7%</b>	<b>2.5%</b>	<b>81.6% / 24.4</b>	<b>15.8%</b>	Sudeste (150°)
		80.2%	1.7%	83.1% / 22.7	15.2%	Sul (195°)
		49.4%	0.6%	75.5% / 29.05	23.9%	Noroeste (330°)
<b>9C</b> (Bloco E e F - CCSA / Fonoaudiologia - CCS) 	31.4%	45.4%	2.35%	79.22% / 27.53	18.41%	Norte (15°)
		17.3%	2.4%	77.4% / 25.3	20.2%	Nordeste (60°)
		20.4%	2.3%	76.5% / 26.39	21.3%	Leste (105°)
		<b>49.6%</b>	<b>2.3%</b>	<b>80.0% / 27.4</b>	<b>17.7%</b>	Sudeste (150°)
		64.5%	1.5%	81.0% / 25.8	17.5%	Sul (195°)
		<b>43.0%</b>	<b>0.5%</b>	<b>74.5% / 30.56</b>	<b>25%</b>	Noroeste (330°)
<b>11C</b> (Bloco A, D e E - CT) 	10.1%	95.8%	4.41%	93.7% / 4.06	1.85%	Norte (15°)
		68.4%	4.6%	90.6% / 4.7	4.7%	Nordeste (60°)
		62.6%	4.4%	89.3% / 12.99	6.3%	Leste (105°)
		92.9%	4.3%	92.9% / 12.3	2.8%	Sudeste (150°)
		97.6%	3.1%	95.4% / 2.9	1.5%	Sul (195°)
		<b>90.6%</b>	<b>1.6%</b>	<b>91.1% / 13.99</b>	<b>7.3%</b>	Noroeste (330°)
<b>12C</b> (Bloco J - CT) 	6.4%	96.6%	9.18%	90.81% / 2.29	0%	Norte (15°)
		81.1%	14.8%	84.6% / 3.0	0.8%	Nordeste (60°)
		77.1%	14.7%	83.4% / 12.14	1.9%	Leste (105°)
		<b>93.1%</b>	<b>9.6%</b>	<b>88.3% / 13.3</b>	<b>2.1%</b>	Sudeste (150°)
		96.9%	6.9%	92.8% / 2.5	0.2%	Sul (195°)
		93.3%	10.0%	87.7% / 12.11	2.3%	Noroeste (330°)
<b>Grupo D - Cobogó</b>						
<b>1D</b> (Bloco de Musica - CCHLA) 	4.0%	100%	12.37%	87.62% / 4.18	0%	Norte (15°)
		90.3%	12.4%	86.6% / 3.5	0.9%	Nordeste (60°)
		79.9%	17.6%	78.6% / 11.32	3.9%	Leste (105°)
		98.9%	17.2%	80.8% / 11.6	2.0%	Sudeste (150°)
		<b>99.9%</b>	<b>10.7%</b>	<b>89.4% / 4.5</b>	<b>0.0%</b>	Sul (195°)
		98.0%	8.4%	89.0% / 13.61	2.5%	Noroeste (330°)

Para cada modelo foram marcadas as orientações que correspondem a situação encontrada em campo.



### 3.5. IDENTIFICAÇÃO DO PERÍODO DE NECESSIDADE DE PROTEÇÃO SOLAR PARA A CIDADE DE JOÃO PESSOA/PB E PARA CADA ORIENTAÇÃO DE FACHADA

O estudo do projeto de elementos de proteção solar na fase inicial do projeto pode contribuir para o controle eficaz da quantidade de radiação solar no edifício. Para isso, é preciso identificar os limites de temperatura nas quais a incidência solar é indesejável, através da definição de zonas de conforto térmico

A partir do processo apontado na metodologia para a definição do período de necessidade de sombreamento, foram obtidos os seguintes resultados para cada etapa do método proposto por Pereira e Souza (2008).

#### 3.5.1 Obtenção dos valores horários da temperatura e Cálculo da temperatura neutra

A tabela 16 mostra as temperaturas horárias obtidas para cada mês, juntamente com a temperatura neutra mensal.

**Tabela 16** - Temperatura horária média mensal e temperatura neutra mensal para cidade de João Pessoa.

Horário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
06:00	23,3	23,4	23,5	23,4	22,6	21,7	21,0	20,7	21,3	22,0	22,8	23,1
07:00	23,8	23,9	23,9	23,8	23,1	22,2	21,4	21,2	21,8	22,5	23,3	23,6
08:00	25,0	25,1	25,2	24,9	24,2	23,3	22,6	22,5	23,1	23,7	24,5	24,8
09:00	26,4	26,5	26,5	26,2	25,5	24,6	23,9	23,9	24,5	25,1	25,8	26,1
10:00	27,6	27,6	27,7	27,3	26,5	25,7	25,0	25,1	25,7	26,3	26,9	27,3
11:00	28,5	28,5	28,6	28,1	27,5	26,6	25,9	26,1	26,7	27,3	27,9	28,2
12:00	29,5	29,5	29,5	20,0	28,4	27,5	26,8	27,0	27,6	28,2	28,8	29,2
13:00	39,7	29,8	29,8	29,2	28,7	27,8	27,1	27,3	27,9	28,5	29,1	29,5
14:00	30,4	30,4	30,4	29,8	29,3	28,4	27,7	28,0	28,6	29,2	29,7	30,1
15:00	30,6	30,6	30,6	30	29,5	28,6	27,9	28,2	28,8	29,4	29,9	30,3
16:00	30,3	30,3	30,3	29,7	29,2	28,3	27,6	27,9	28,5	29,1	29,6	30,0
17:00	30,0	30,0	30,0	29,4	28,9	28,0	27,3	27,6	28,2	28,8	29,3	29,7
18:00	29,5	29,5	29,5	29,0	28,4	27,5	26,8	27,0	27,6	28,2	28,8	29,2
<b>Tn</b>	<b>25,9</b>	<b>25,9</b>	<b>25,9</b>	<b>25,7</b>	<b>25,6</b>	<b>25,2</b>	<b>25,0</b>	<b>25,1</b>	<b>25,3</b>	<b>25,5</b>	<b>25,7</b>	<b>25,8</b>

É importante observar que as temperaturas neutras mensais encontradas se aproximam bastante daquela identificada por Araújo (2001) para edificações escolares e com atividades sedentárias, que foi de 25,9°C.

### 3.5.2 Classificação das temperaturas horárias

A tabela 17 apresenta os resultados obtidos da faixa de conforto térmico em função da temperatura neutra para o mês, que vai estar compreendida entre  $T_n-4$  a  $T_n+2$ , ou seja, todos os horários ao longo do ano que apresentaram valores de temperatura dentro desta zona, não necessitam de proteção solar.

**Tabela 17** - Limites mensais da zona de conforto térmico.

Limites da faixa de conforto	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
$T_n-4$	21,9	21,9	21,9	21,7	21,6	21,2	21,0	21,1	21,3	21,5	21,7	21,8
$T_n$	25,9	25,9	25,9	25,7	25,6	25,2	25,0	25,1	25,3	25,5	25,7	25,8
$T_n+2$	27,9	27,9	27,9	27,7	27,6	27,2	27,0	27,1	27,3	27,5	27,7	27,8

Desta forma, observa-se na tabela acima que a faixa de conforto para a cidade de João Pessoa se encontra dentro do intervalo de 21°C a 27,9°C. Quando comparado com os limites da zona de conforto encontrada por Araújo (2001), verifica-se que o limite máximo identificado para Natal (28,1°C), cidade com características climáticas muito parecidas, foi muito próximo ao encontrado para João Pessoa.

A tabela 18 apresenta a classificação dos resultados horários em função dos limites obtidos, identificando os horários de desconforto térmico para a cidade, seja por frio (azul) ou por calor (laranja).

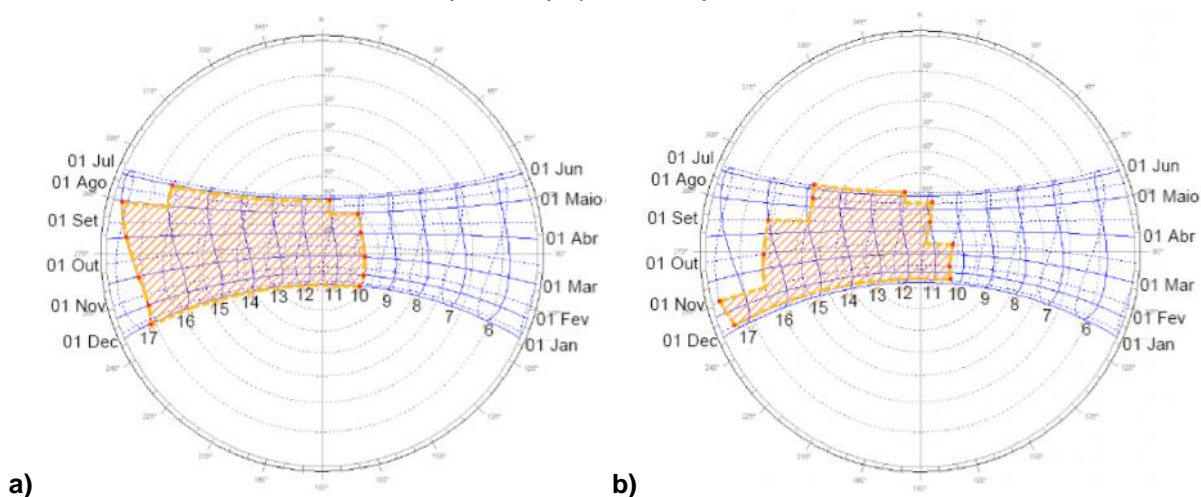
**Tabela 18** - Temperaturas horárias mensais calculadas e classificadas em função da temperatura neutra.

Horário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
06:00	23,4	23,5	23,6	23,5	22,7	21,8	21,1	20,8	21,4	22,1	22,9	23,2
07:00	23,4	23,5	23,6	23,5	22,7	21,8	21,1	20,8	21,4	22,1	22,9	23,2
08:00	25,2	25,3	25,3	25,1	24,4	23,5	22,8	22,6	23,2	23,9	24,6	25,0
09:00	26,9	27,0	27,0	26,7	26,0	25,6	24,4	24,4	25,0	25,7	26,3	26,7
10:00	28,5	28,5	28,5	28,1	27,5	26,6	25,9	26,0	26,6	27,2	27,8	28,2
11:00	29,4	29,4	29,5	28,9	28,4	27,5	26,8	27,0	27,6	28,2	28,7	29,1
12:00	30,2	30,2	30,2	29,7	29,6	28,3	27,5	27,8	28,4	29,0	29,5	29,9
13:00	30,6	30,6	30,6	30,0	29,5	28,6	27,9	28,2	28,8	29,4	29,9	30,3
14:00	30,6	30,6	30,6	30,0	29,5	28,6	27,9	28,2	28,8	29,4	29,9	30,3
15:00	30,1	30,1	30,1	29,5	29,0	28,1	27,4	27,7	28,3	28,9	29,4	29,8
16:00	29,4	29,4	29,5	28,9	28,4	27,5	26,8	27,0	27,6	28,2	28,7	29,1
17:00	28,5	28,5	28,5	28,1	27,5	26,6	25,9	26,0	26,6	27,2	27,8	28,2
18:00	27,3	27,4	27,4	27,0	26,4	25,6	24,8	24,8	25,4	26,0	26,7	27,0

### 3.5.3 Plotagem dos limites da zona de conforto na carta solar

Devido ao fato da carta solar representar duas trajetórias solares ao longo do ano (a primeira de 22 de dezembro a 22 de junho e a segunda de 22 de junho a 22 de dezembro), foi necessário utilizar duas vezes a carta solar para marcar os dois períodos (figura 60). Observa-se na figura abaixo, marcado em amarelo, o período em que há a necessidade de sombreamento. Todo o horário que se encontra fora desta zona, representa a zona de conforto, onde não há necessidade de se utilizar proteção solar.

**Figura 60** - Período de necessidade de sombreamento para a cidade de João Pessoa: **a)** até 22 de junho; **b)** após 22 de junho.



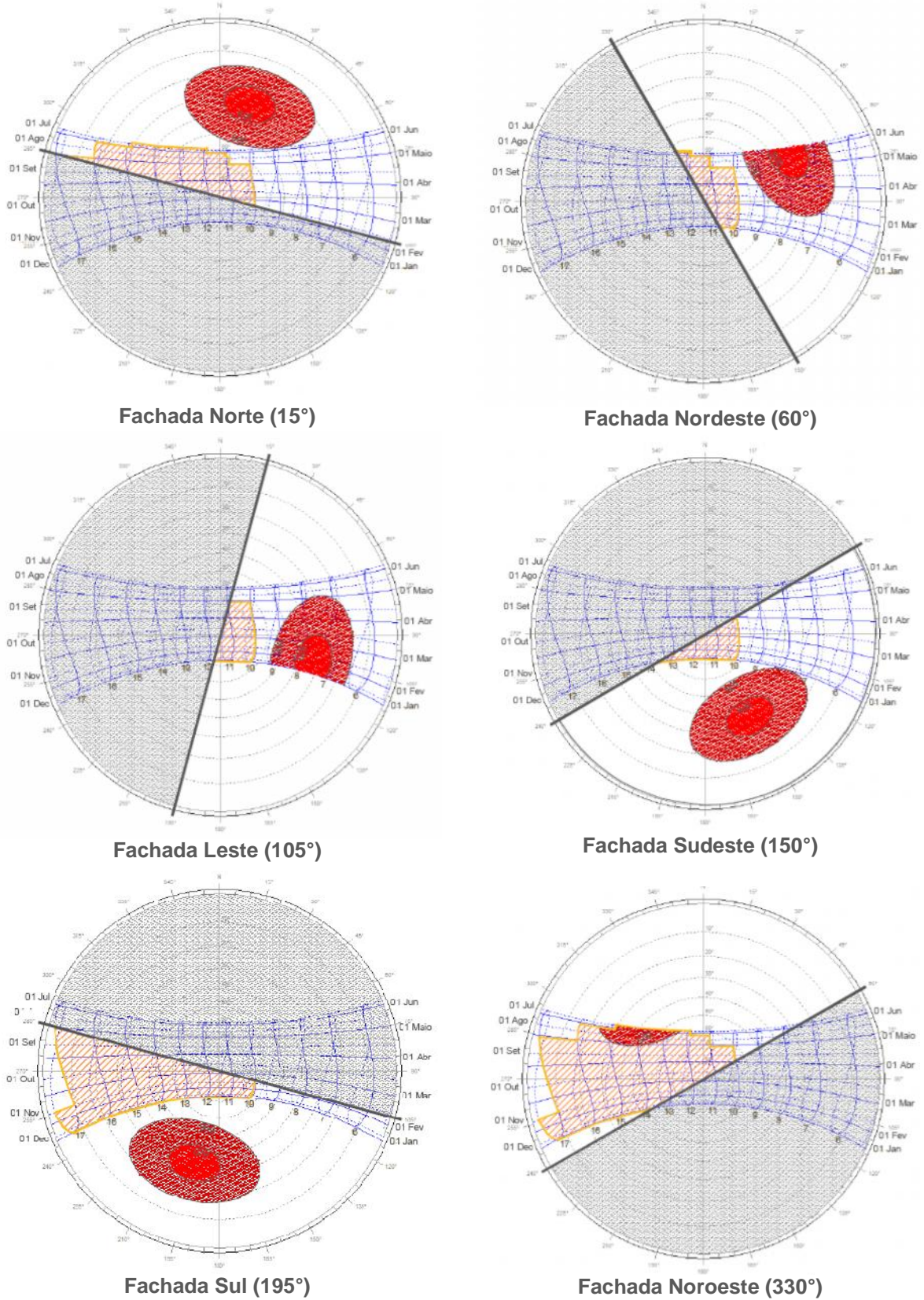
É interessante ressaltar que a figura 60b, que representa o período que vai do solstício de inverno (Junho) ao solstício de verão (dezembro), passando pelo equinócio da primavera (setembro), fica sobrepujada pela maior exigência de sombra da figura 60a, que representa o período que vai do solstício de verão (dezembro) ao solstício de inverno (junho), passando pelo equinócio de outono (março).

### 3.5.4 Plotagem da radiação solar na carta solar

Com a intenção de tornar a análise mais próxima da realidade climática do local de estudo e de comparar as informações resultantes do método indicado na metodologia (método 01), com aquelas encontradas a partir da avaliação dos dados que representam mais fielmente as condições climáticas da cidade, foi proposta a inclusão do método 02. Os resultados encontrados a partir da utilização dos dois métodos se encontram apresentados a seguir.

### 3.5.4.1 Método 01

**Figura 61** – Identificação do período de necessidade de proteção solar para as fachadas a partir do método 01.



A partir dos diagramas acima e da recomendação indicada no método 01, que aponta que para definição mínima dos componentes de proteção solar para determinada orientação, deve-se considerar proteção solar quando for observada uma das situações: temperaturas horárias superiores a  $T_n+2$  e/ou manchas de radiação superior a 500W.

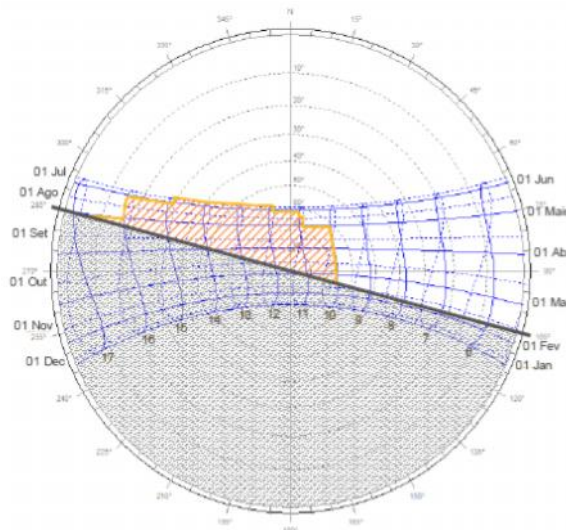
Para as orientações Norte, Sudeste, Sul e Noroeste, o período de necessidade de proteção é baseado apenas na ocorrência de  $T_n+2$ . Já para as fachadas Nordeste e Leste, foram observadas as duas situações, fazendo com que a zona de desconforto fosse expandida até os períodos onde as manchas de radiação solar maiores de 500W foram identificadas. Abaixo se encontram os períodos de necessidade de proteção para cada fachada, apresentados em tabela e marcados na carta solar.

#### Fachada Norte (15°)

**Tabela 19** - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Norte (método 01).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
João Pessoa	---	Início 10:00	Início 10:00	Início 10:00	11:00 às 16:00	11:00 às 16:00	12:00 às 15:00	12:00 às 15:00	Início 11:00	Início 11:00	---	---

**Figura 62** - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Norte.

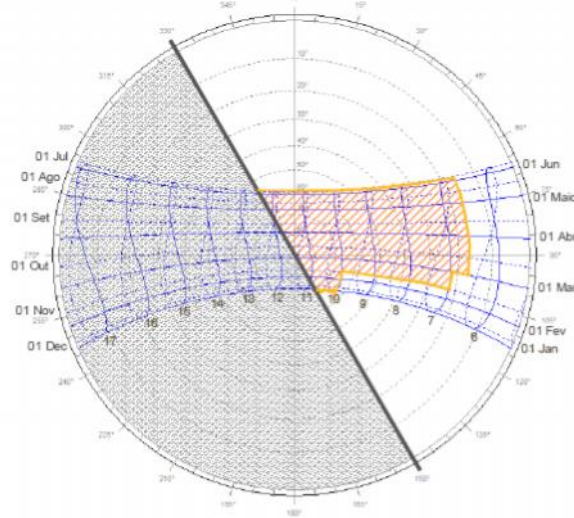


#### Fachada Nordeste (60°)

**Tabela 20** - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Nordeste (método 1).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
João Pessoa	Início 10:00	Início 10:00	Início 6:40	Início 6:40	Início 6:40	Início 6:40	Início 6:40	Início 6:40	Início 6:40	Início 6:40	Início 7:00	Início 10:00

**Figura 63** - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Nordeste.

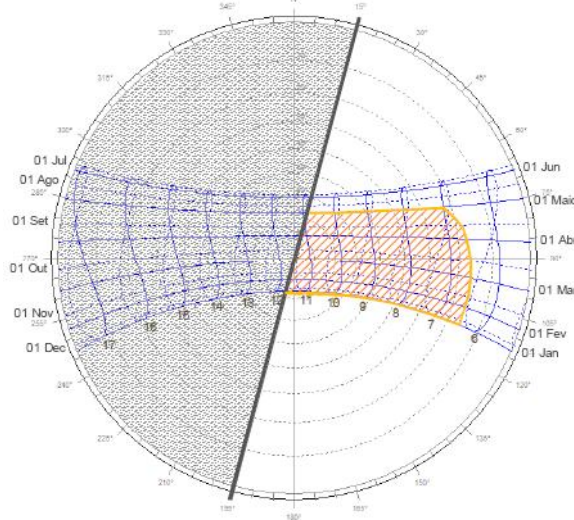


Fachada Leste (105°)

**Tabela 21** - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Leste (método 1).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
João Pessoa	Início 6:30	Início 6:30	Início 6:40	Início 6:40	Início 7:00	Início 11:00	Início 12:00	Início 11:00	Início 7:00	Início 6:30	Início 6:30	Início 6:30

**Figura 64** - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Leste.

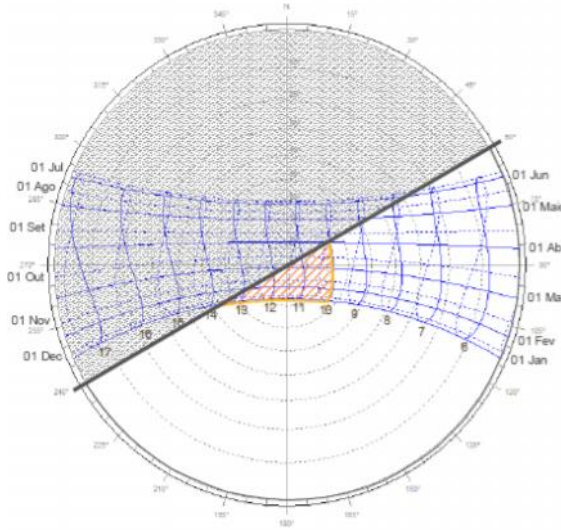


Fachada Sudeste (150°)

**Tabela 22** - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Sudeste (método 1).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
João Pessoa	Início 10:00	Início 10:00	Início 7:30	Início 10:00	Início 10:00	Início 11:00	Início 12:00	Início 11:00	Início 11:00	Início 10:00	Início 10:00	Início 10:00

**Figura 65** - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Sudeste.

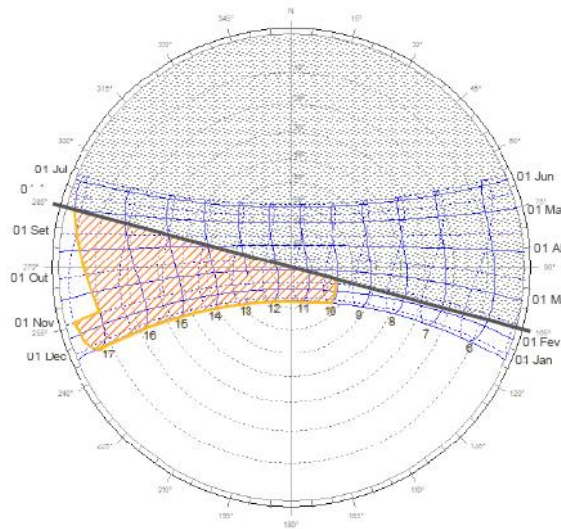


Fachada Sul (195°)

**Tabela 23** - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Sul (método 01).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
João Pessoa	10:00 às 17:00	10:00 às 17:00	11:00 às 17:00	14:00 às 17:00	----	----	----	----	15:00 às 17:00	12:00 às 17:00	10:00 às 17:00	10:00 às 17:00

**Figura 66** - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Sul.

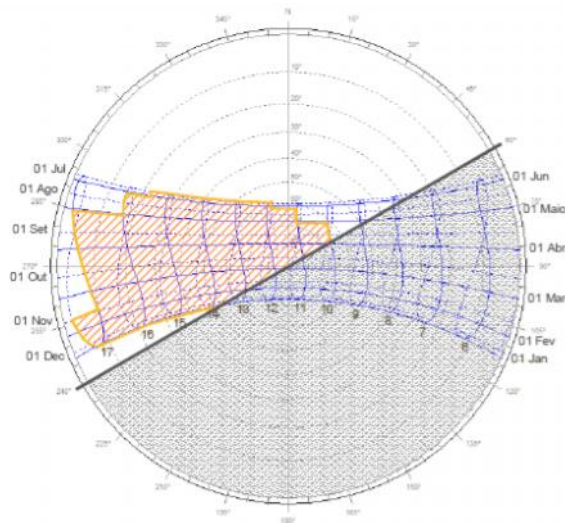


Fachada Noroeste (330°)

**Tabela 24** - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Noroeste (método 01).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
João Pessoa	14:00 às 17:00	13:00 às 17:00	11:30 às 17:00	10:00 às 17:00	11:00 às 17:00	11:00 às 16:00	12:00 às 15:00	11:00 às 15:00	10:00 às 17:00	11:00 às 17:00	12:00 às 17:00	14:00 às 17:00

**Figura 67** - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Noroeste.



### 3.5.4.2 Método 02

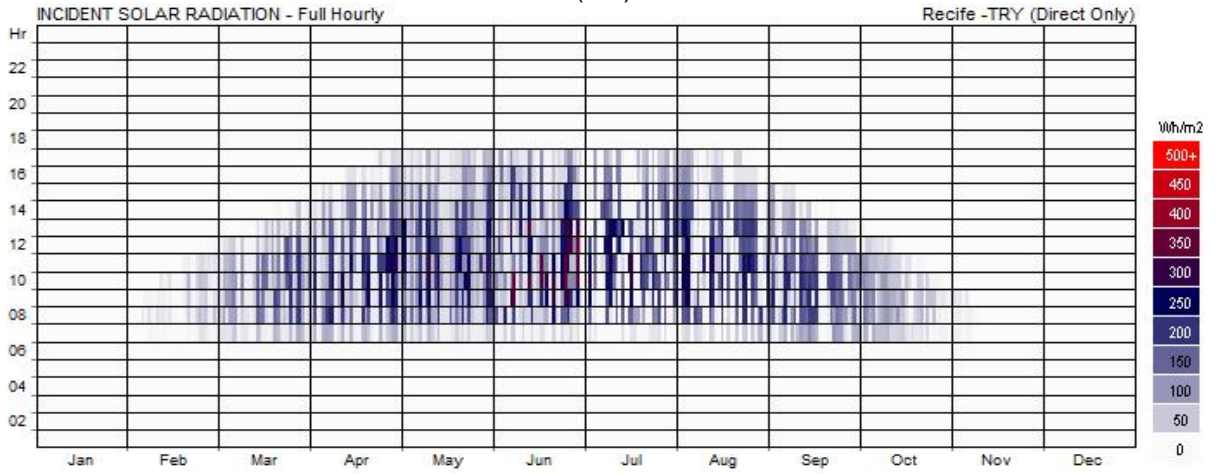
Como visto na metodologia, no processo adotado pelo método 02 para definição dos períodos de necessidade de proteção solar para fachadas foram considerados os diagramas com a distribuição horária da radiação solar direta incidente, os limites de desconforto, as temperaturas horárias e os valores de nebulosidade encontrados para cada mês para a cidade de João Pessoa.

A partir dos diagramas a seguir, observa-se em algumas orientações a frequência de valores maiores da incidência da radiação solar a partir das 07h00min da manhã, como é o caso das fachadas Nordeste e Leste, e a partir das 08h00min, fachadas Norte e Sudeste. No entanto, quando verificadas as temperaturas horárias nestes horários (ver tabela 20), observa-se uma diferença de aproximadamente 6°C a 3°C entre as temperaturas horárias encontradas dentro deste horário e os limites de desconforto. Quanto maior foi esta diferença, maior foi a tolerância da incidência de valores maiores da radiação solar direta.



Fachada Norte (15°)

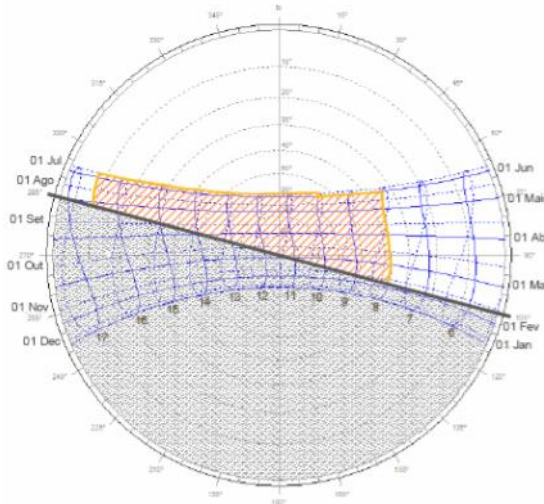
**Figura 68** – Diagrama da distribuição horária da incidência da radiação solar para fachada Norte (15°).



**Tabela 25** - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Norte.

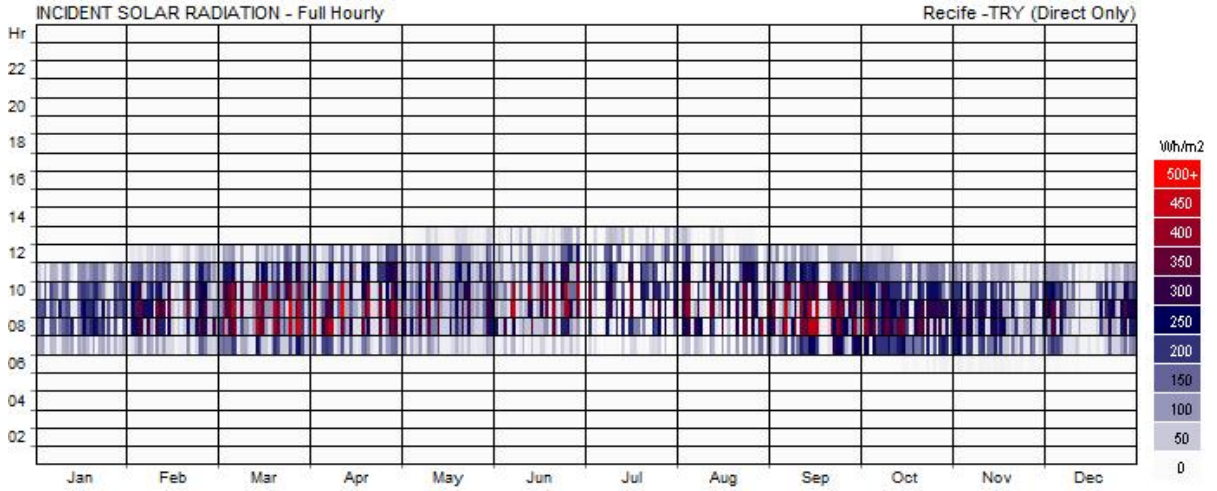
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
João Pessoa	----	Início 8:00	Início 8:00	Início 8:00	08:00 às 16:30	10:00 às 16:30	10:00 às 16:00	09:00 às 16:00	Início 8:00	Início 8:00	----	----

**Figura 69** - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Norte.



Fachada Nordeste (60°)

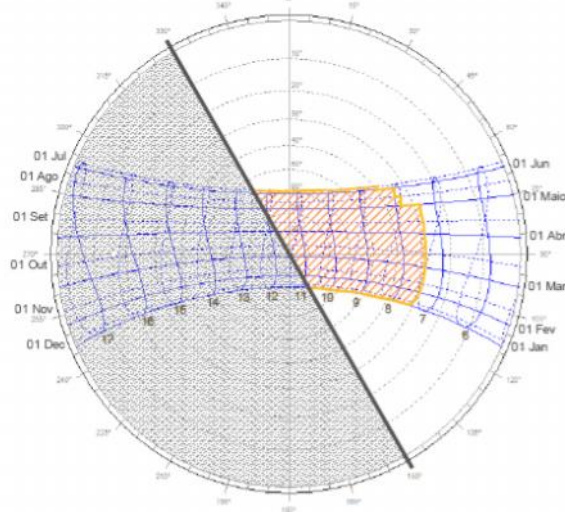
**Figura 70** – Diagrama da distribuição horária da incidência da radiação solar para fachada Nordeste (60°).



**Tabela 26** - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Nordeste.

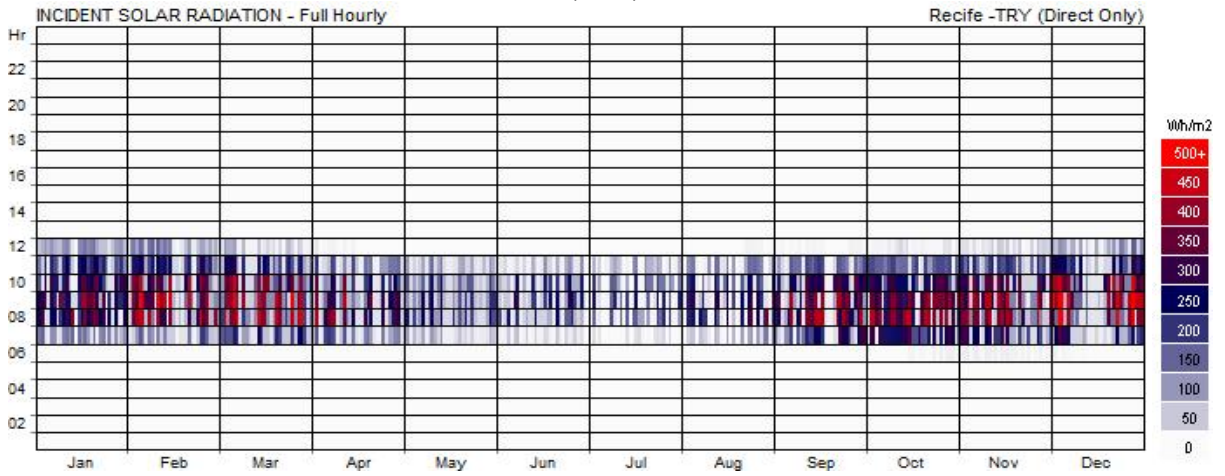
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
João Pessoa	Início 7:30	Início 7:30	Início 7:30	Início 7:30	Início 8:00	Início 8:30	Início 8:30	Início 8:00	Início 7:30	Início 7:30	Início 7:30	Início 7:30

**Figura 71** Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Nordeste.



Fachada Leste (105°)

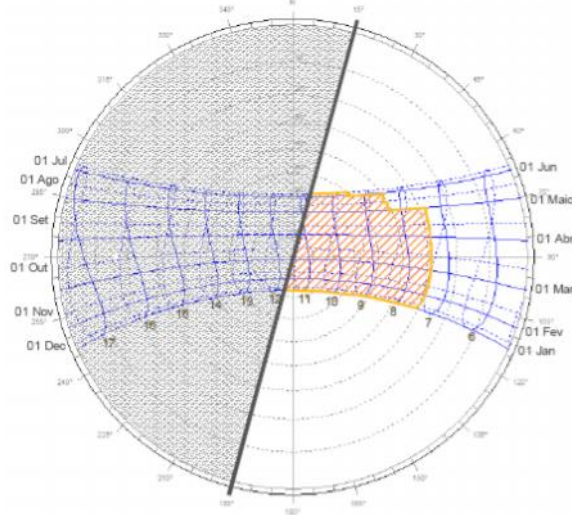
**Figura 72** – Diagrama da distribuição horária da incidência da radiação solar para fachada Leste (105°).



**Tabela 27** - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Leste.

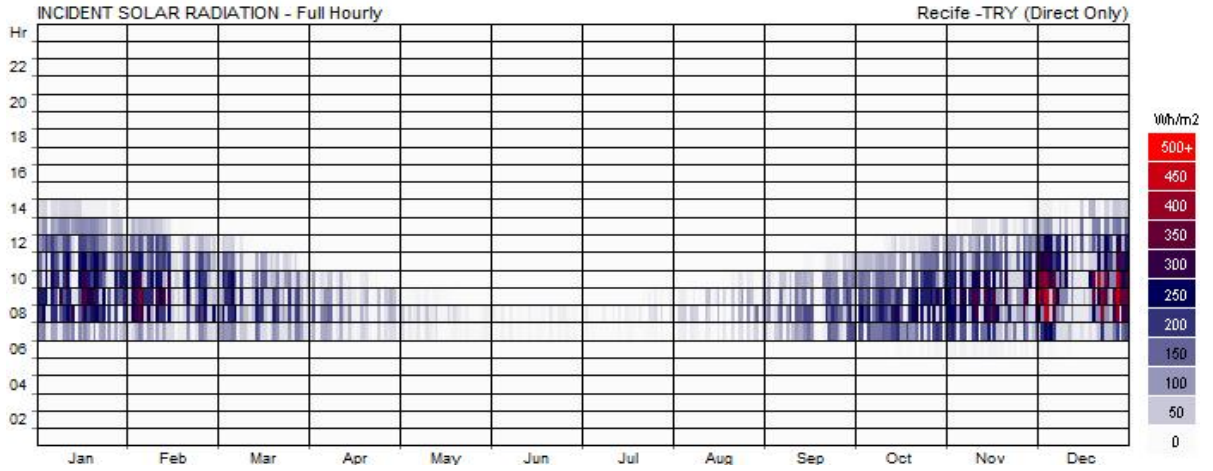
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
João Pessoa	Início 7:30	Início 7:30	Início 7:30	Início 7:30	Início 8:30	Início 9:30	Início 9:30	Início 8:30	Início 7:30	Início 7:30	Início 7:30	Início 7:30

**Figura 73** - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Leste.



Fachada Sudeste (150°)

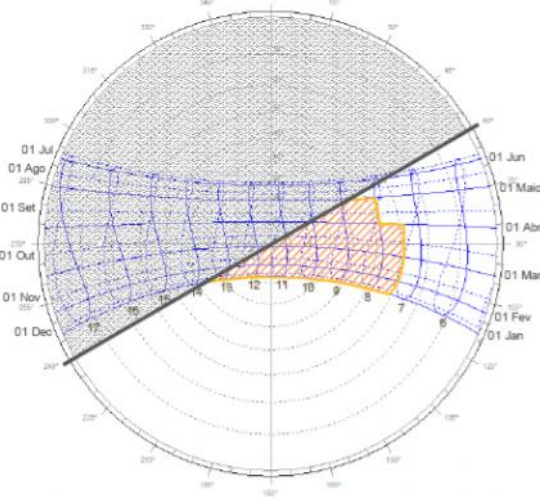
**Figura 74** – Diagrama da distribuição horária da incidência da radiação solar para fachada Sudeste (150°).



**Tabela 28** - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Sudeste.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
João Pessoa	Início 7:30	Início 7:30	Início 7:30	Início 8:30	----	----	----	-----	Início 8:00	Início 7:30	Início 7:30	Início 7:30

**Figura 75** - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Sudeste.



Fachada Sul (195°)

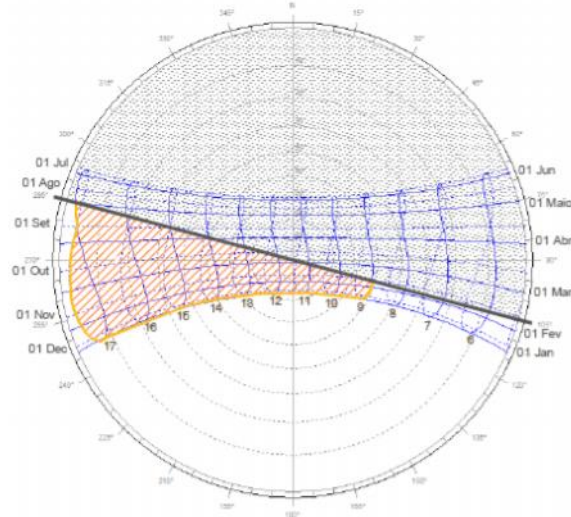
**Figura 76** – Diagrama da distribuição horária da incidência da radiação solar para fachada Sul (195°).



**Tabela 29** - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Sul.

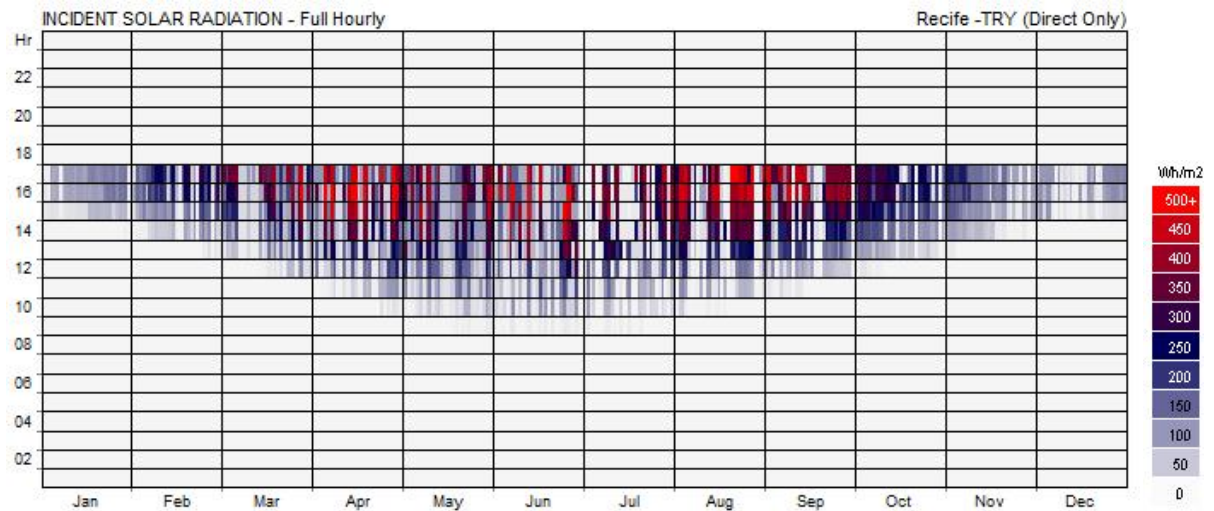
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
João Pessoa	09:00 às 17:00	09:00 às 17:00	12:00 às 17:00	14:00 às 17:00	---	---	---	---	15:00 às 17:00	12:00 às 17:00	09:00 às 17:00	09:00 às 17:00

**Figura 77** - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Sul.



Fachada Noroeste (330°)

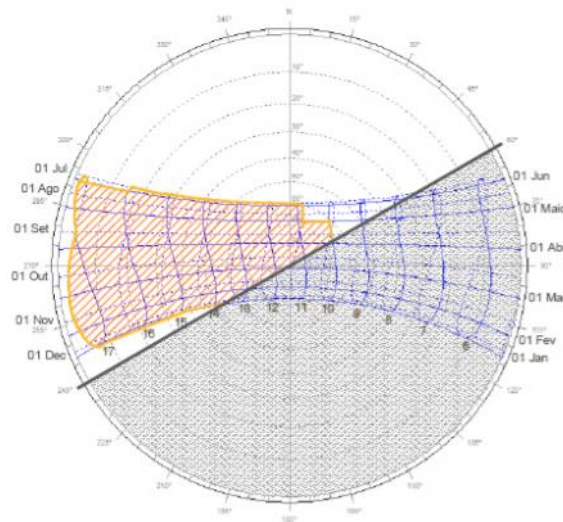
**Figura 78** – Diagrama da distribuição horária da incidência da radiação solar para fachada Noroeste (330°).



**Tabela 30** - Período de necessidade de proteção solar para a fachada Noroeste.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
João Pessoa	14:00 às 17:00	13:00 às 17:00	11:30 às 17:00	10:00 às 17:00	11:00 às 17:00	11:00 às 17:00	11:00 às 17:00	11:00 às 17:00	10:00 às 17:00	11:00 às 17:00	12:00 às 17:00	14:00 às 17:00

**Figura 79** - Carta solar com a marcação do período de necessidade de proteção solar para a fachada Noroeste.



**3.6. PROJETO DAS SOLUÇÕES DE PROTEÇÃO SOLAR - M1 E M2**

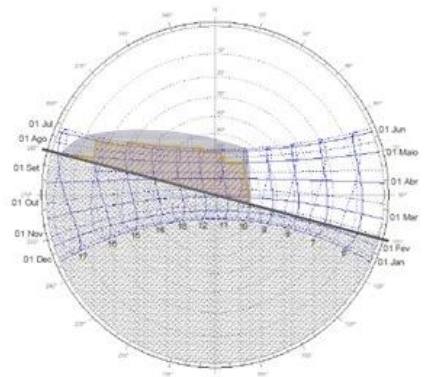
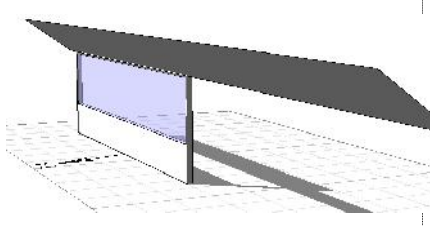
Após a identificação dos períodos de necessidade de proteção solar para cada fachada, serão apresentadas nesta etapa as soluções de proteção solar projetadas para proteger 100% as zonas de desconforto encontradas para cada orientação. Foram considerados os resultados obtidos através dos métodos 01 e 02.

As soluções relacionadas com os resultados do método 01 foram denominadas de M1 e aquelas voltadas para atender os períodos de indesejabilidade de incidência solar identificados pelo método 02 de M2.

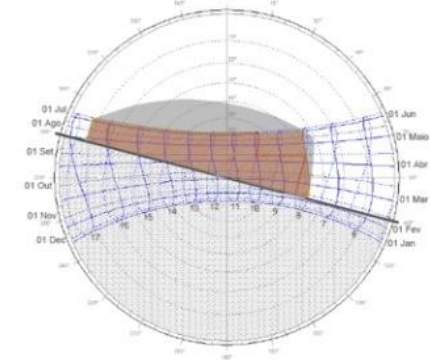
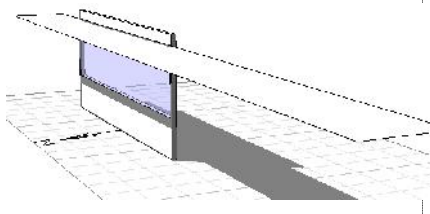
A seguir serão apresentadas as soluções M1 e M2 para cada orientação, juntamente com seus percentuais de sombreamento (PS) e de visibilidade do céu (PVC), e seus desempenhos em relação à iluminação natural (UDI<sub>útil</sub> e desvio padrão). A comparação dos resultados auxiliará na escolha do valor do percentual de sombreamento a ser utilizado como referência para cada orientação investigada na análise do sombreamento.

### Fachada Norte (15°)

**Tabela 31** – Dados da solução projetada (M1) a partir do método 01.

Máscara de sombreamento	Proteção solar projetada	PVC (%)	PS (%)	UDI <sub>útil</sub> (%) / desvio padrão
		20.6	71.3	77.3 / 28.8

**Tabela 32** – Dados da solução projetada (M2) a partir do método 02.

Máscara de sombreamento	Proteção solar projetada	PVC (%)	PS (%)	UDI <sub>útil</sub> (%) / desvio padrão
		10.0	87.5	94.2 / 8.85

### Fachada Nordeste (60°)

Tabela 33 – Dados da solução projetada (M1) a partir do método 01.

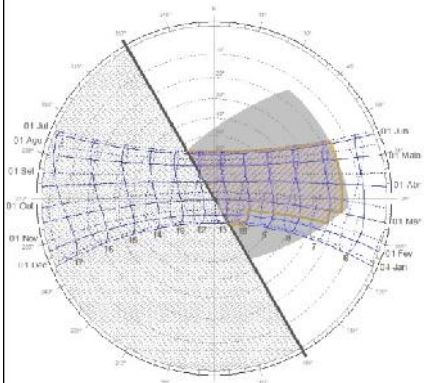
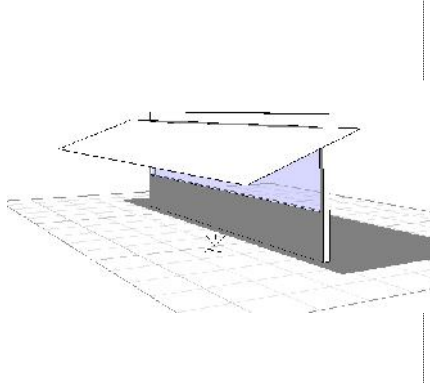
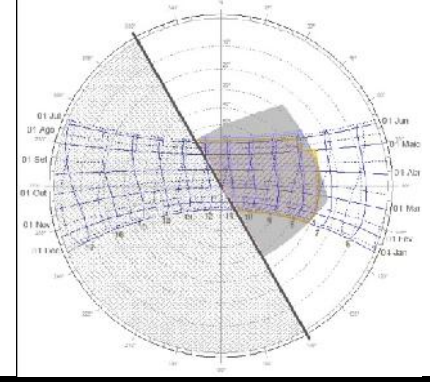
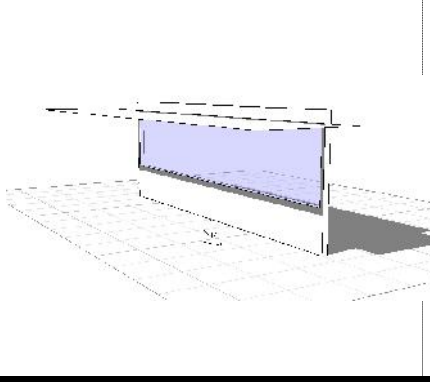
Máscara de sombreamento	Proteção solar projetada	PVC (%)	PS (%)	UDIútil (%) / desvio padrão
		2.5	95.8	78.7 / 5.08

Tabela 34 – Dados da solução projetada (M2) a partir do método 02..

Máscara de sombreamento	Proteção solar projetada	PVC (%)	PS (%)	UDIútil (%) / desvio padrão
		7.2	83.6	87.4 / 2.57

### Fachada Leste (105°)

Tabela 35 – Dados da solução projetada (M1) a partir do método 01.

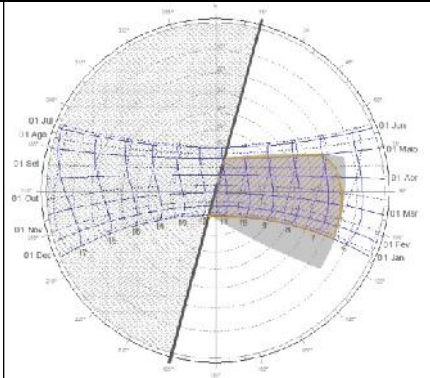
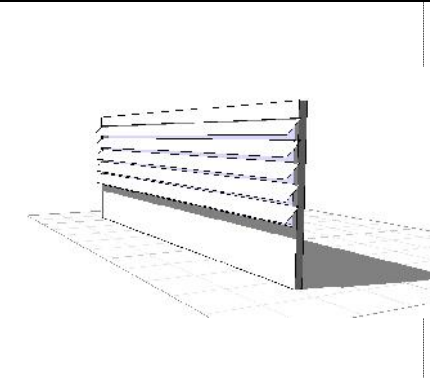
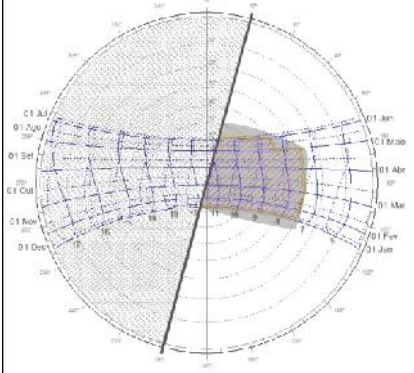
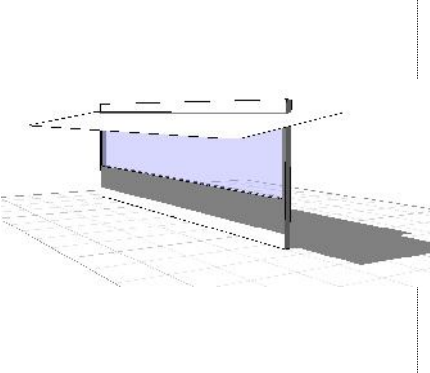
Máscara de sombreamento	Proteção solar projetada	PVC (%)	PS (%)	UDIútil (%) / desvio padrão
		1.0	97.1	63.4 / 16.9



Tabela 36 – Dados da solução projetada (M2) a partir do método 02.

Máscara de sombreamento	Proteção solar projetada	PVC (%)	PS (%)	UDIútil (%) / desvio padrão
		5.8	86.2	84.8 / 12.3

## Fachada Sudeste (150°)

Tabela 37 – Dados da solução projetada (M1) a partir do método 01.

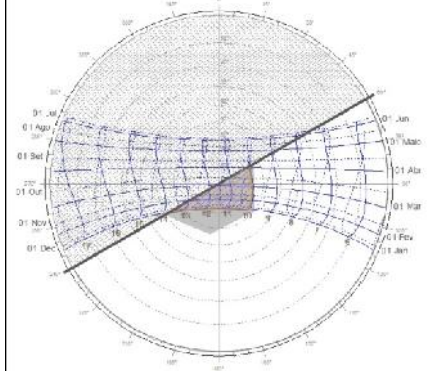
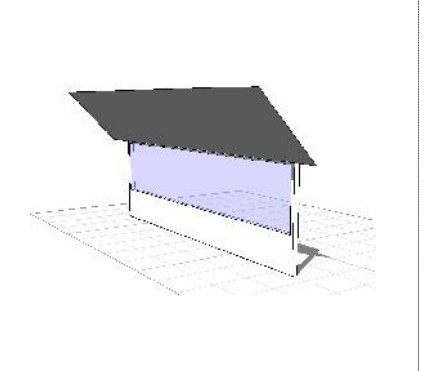
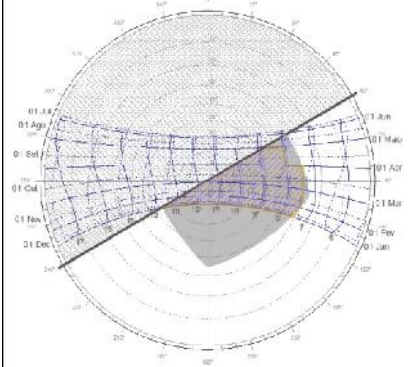
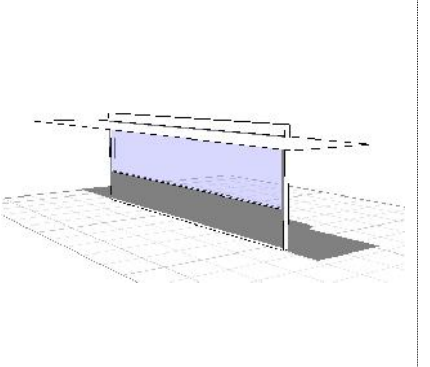
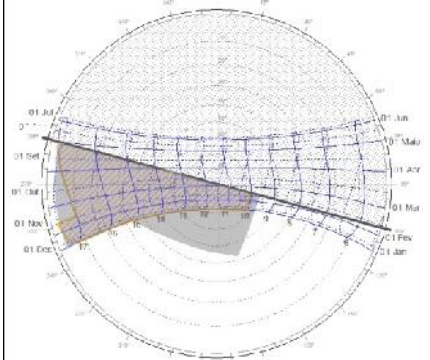
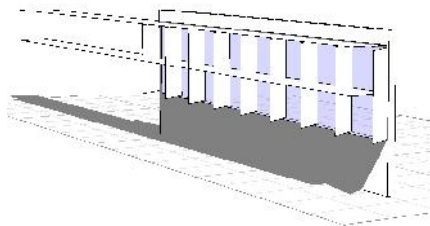
Máscara de sombreamento	Proteção solar projetada	PVC (%)	PS (%)	UDIútil (%) / desvio padrão
		23.2	51.2	82.4 / 23.2

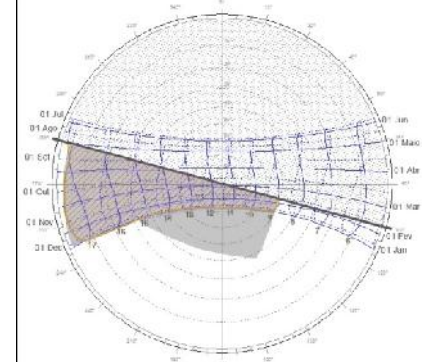
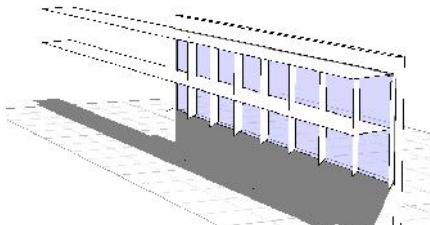
Tabela 38 – Dados da solução projetada (M2) a partir do método 02.

Máscara de sombreamento	Proteção solar projetada	PVC (%)	PS (%)	UDIútil (%) / desvio padrão
		8.8	81.5	92.9 / 14.06

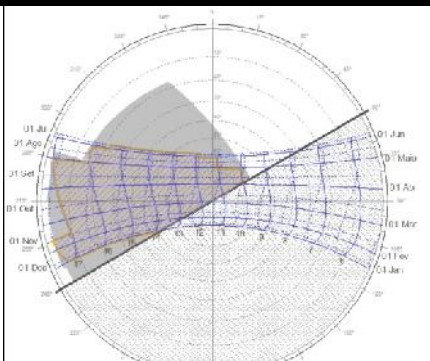
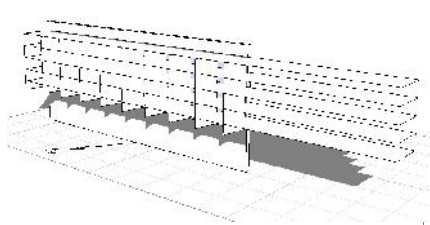
Fachada Sul (195°)**Tabela 39** – Dados da solução projetada (M1) a partir do método 01.

Máscara de sombreamento	Proteção solar projetada	PVC (%)	PS (%)	UDIútil (%) / desvio padrão
		5.4	99.8	87.17 / 4.07

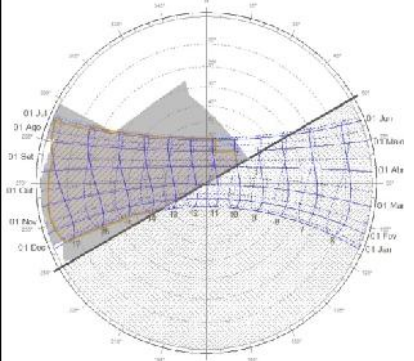
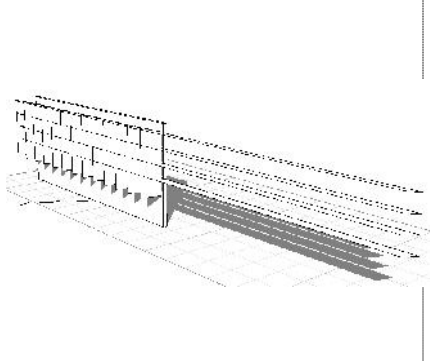
**Tabela 40** – Dados da solução projetada (M2) a partir do método 02.

Máscara de sombreamento	Proteção solar projetada	PVC (%)	PS (%)	UDIútil (%) / desvio padrão
		4.7	99.8	83.67 / 8.09

Fachada Noroeste (330°)**Tabela 41** – Dados da solução projetada (M1) a partir do método 01.

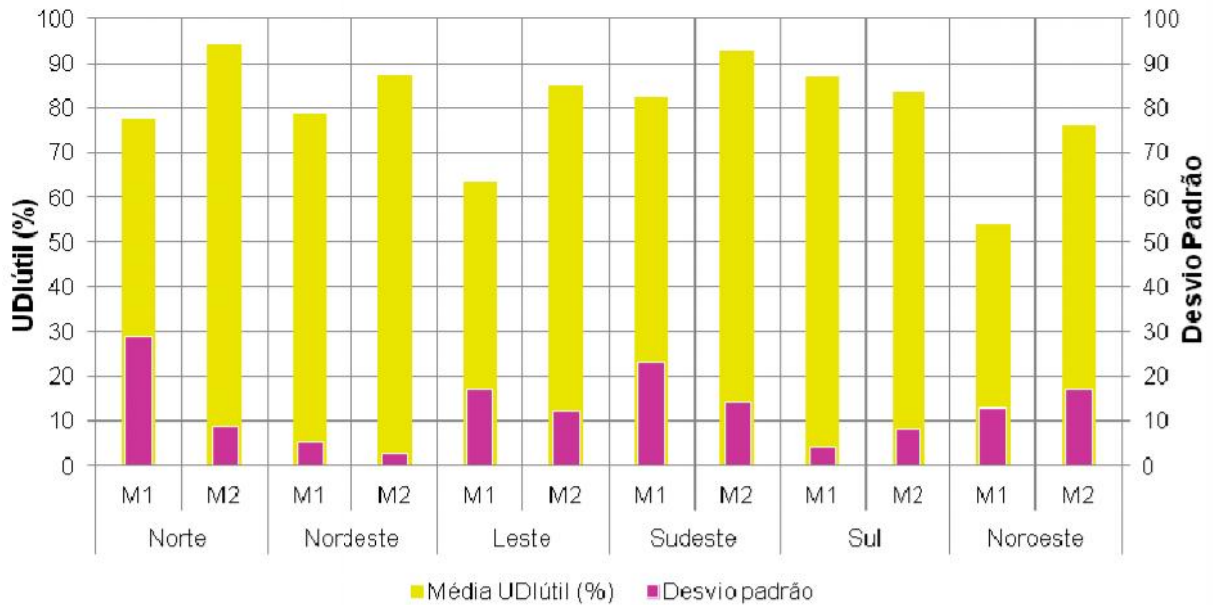
Máscara de sombreamento	Proteção solar projetada	PVC (%)	PS (%)	UDIútil (%) / desvio padrão
		1.9	99.3	54.2 / 12.95

**Tabela 42 – Dados da solução projetada (M2) a partir do método 02.**

Máscara de sombreamento	Proteção solar projetada	PVC (%)	PS (%)	UDIútil (%) / desvio padrão
		3.1	99.9	76.2 / 16.97

A partir dos valores do UDIútil e do desvio padrão apresentados para cada solução projetada acima, foi elaborado um gráfico (figura 80) com o desempenho de cada uma para cada orientação, para facilitar a visualização e identificação da proteção mais adequada para cada fachada.

**Figura 80 – Desempenho das soluções projetadas M1 e M2 para cada orientação analisada.**



Pode-se concluir com este gráfico que as soluções M2 apresentaram melhor desempenho para todas as orientações, exceto para a fachada Sul, onde a proteção M1 obteve uma performance ligeiramente superior ao M2. Isto evidencia que, para 83,4% das situações analisadas, o método 02 foi mais eficiente do que o método 01 (16,6%), no sentido de fornecer informações para o dimensionamento de proteções solares.

A partir deste resultado, na análise posterior da eficiência do sombreamento dos modelos, os valores dos percentuais de sombreamento das soluções M2 serão

utilizados como parâmetro para as fachadas Norte, Nordeste, Leste, Sudeste e Noroeste. Já a fachada Sul terá o percentual de sombreamento da solução M1 como parâmetro.

### **3.7. ANÁLISE DO SOMBREAMENTO E ILUMINAÇÃO NATURAL**

Com o objetivo de facilitar a visualização e a compreensão da influência das diversas variações dos elementos de proteção solar no desempenho da iluminação natural, decidiu-se apresentar os resultados do sombreamento e da iluminação natural para cada conjunto de análise de forma conjunta, de modo que se permita a visualização imediata da influência que cada solução de proteção solar tem no comportamento e distribuição da luz natural no ambiente.

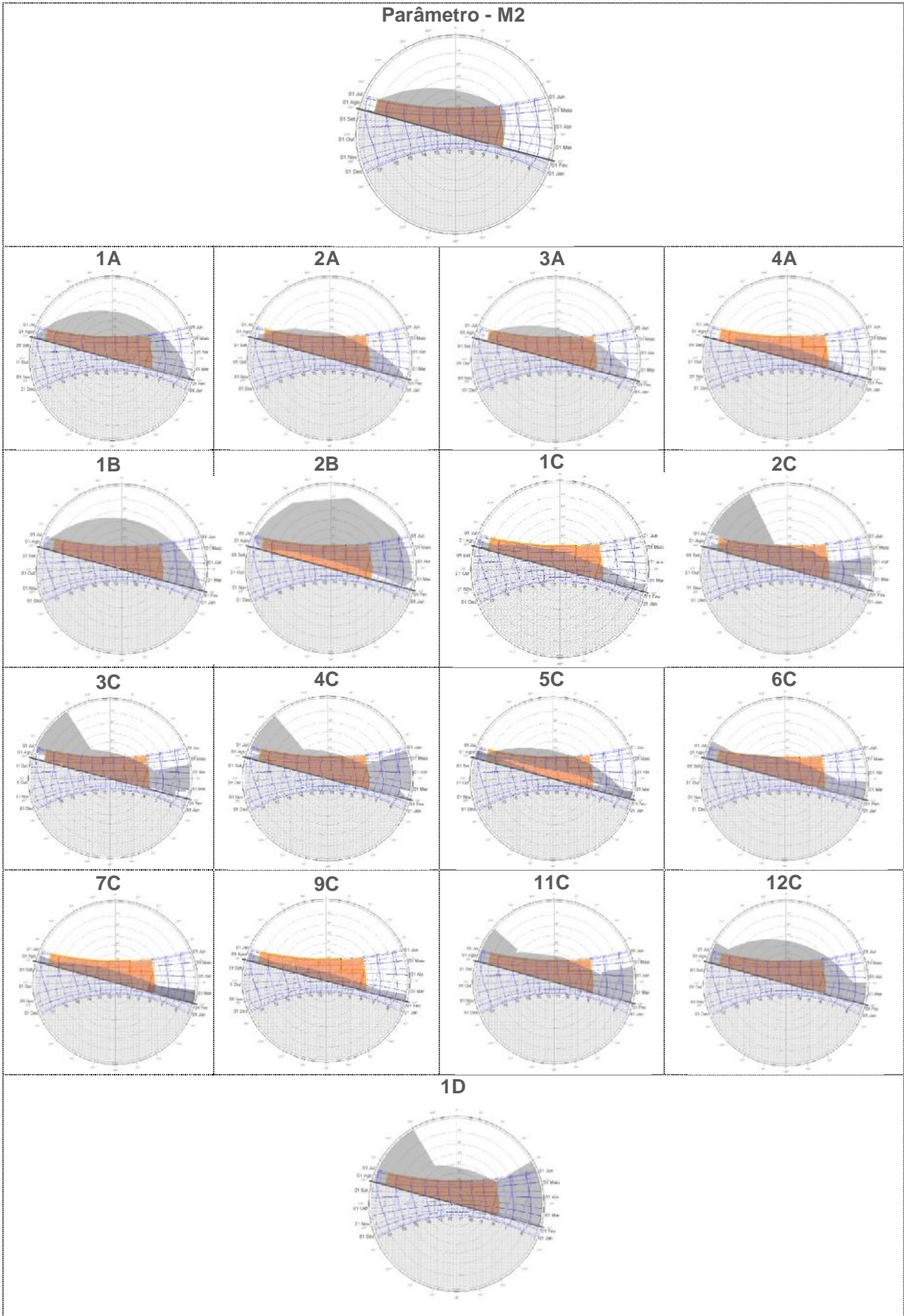
A avaliação do sombreamento se inicia com a análise das máscaras de sombreamento de cada modelo em relação à zona de desconforto, identificando os sombreamentos gerados pelas proteções em excesso e os períodos da zona de desconforto que se encontram desprotegidos, passando posteriormente para a análise comparativa do desempenho dos modelos, tendo como parâmetro o percentual de sombreamento da solução projetada com melhor performance da iluminação natural. Logo após a apresentação e análise dos resultados do sombreamento, serão mostrados os efeitos da inserção de cada elemento de proteção no comportamento da iluminação natural no espaço e feita a classificação do desempenho dos modelos.

#### **3.7.1. Fachada Norte (15°)**

##### **3.7.1.1. Conjunto 01**

Como visto na metodologia, na análise do sombreamento e da iluminação natural para cada orientação foram considerados dois conjuntos de análise: 01 e 02. O conjunto 01, que será analisado em seguida, tem um abordagem hipotética através da verificação do desempenho de todas as soluções de proteção solar identificadas no levantamento de campo para cada orientação, tentando avaliar como seria a performance de determinada solução em orientações nas quais não foram projetadas, e identificar a melhor solução.

**Figura 81 – Análise gráfica através de diagramas do período de sombreamento - Conjunto 01 fachada Norte.**



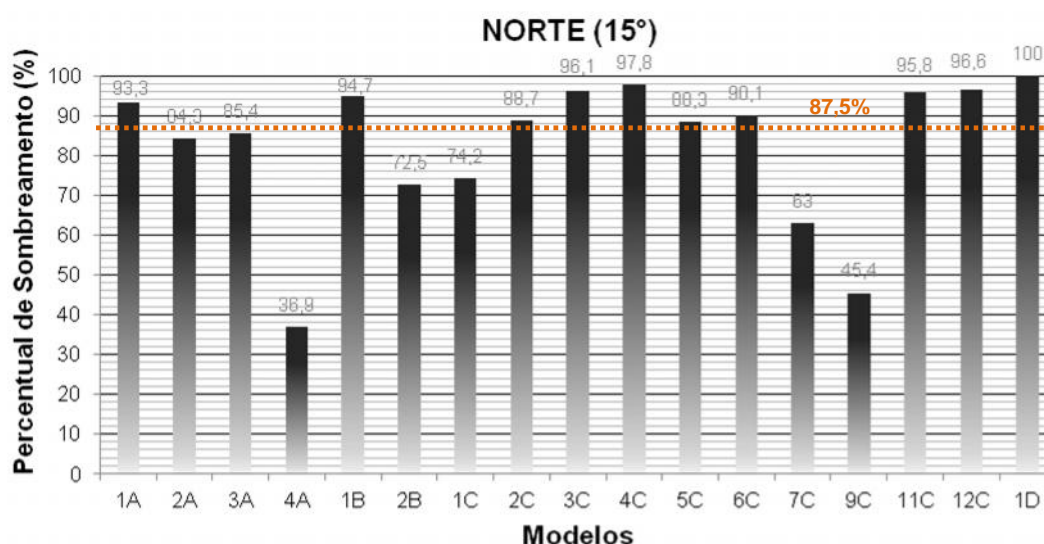
A partir da figura 81 e considerando o período de necessidade de proteção para a orientação em estudo, pode-se observar que dentro do grupo A o modelo 3A foi o que apresentou uma proteção mais eficiente, gerando um sombreamento excessivo apenas no início da manhã e deixando só o horário de 08h00min nos meses de Junho, Julho e Agosto desprotegidos.

No grupo B, os dois modelos apresentaram sombreamento excessivo, porém o modelo 2B, devido ao afastamento da proteção em relação à fachada, permitiu a incidência solar nos meses mais quentes, Fevereiro, Março, Abril, Setembro e Outubro, ao contrário do modelo 1A que protegeu, pode-se dizer de forma excessiva, o ano inteiro das 07h00min às 17h00min.

Já no grupo C, aqueles modelos que ofereceram uma proteção mais equilibrada, sem muito sombreamento excessivo e períodos da zona de desconforto expostos a incidência solar, foram os modelos 2C, 3C, 6C e 11C. As soluções presentes nos modelos 1C, 9C e 7C geraram um sombreamento insuficiente, deixando grande parte da zona de desconforto desprotegida.

Os únicos dispositivos de sombreamento que protegeram 100% o período crítico foram aqueles inseridos nos modelos 1A, 1B, 12C e 1D, porém ao mesmo tempo foram os que geraram mais sombreamento excessivo. Por fim, o grupo D que contém apenas um modelo, composto por proteção solar do tipo cobogó. Este modelo obteve o maior percentual de sombreamento quando comparado com todos os outros analisados para fachada Norte, com uma obstrução completa do percurso do sol em todos os meses do ano e em todas as horas (figura 82).

**Figura 82** – Gráfico do desempenho do sombreamento dos modelos para a fachada Norte - Conjunto 01.

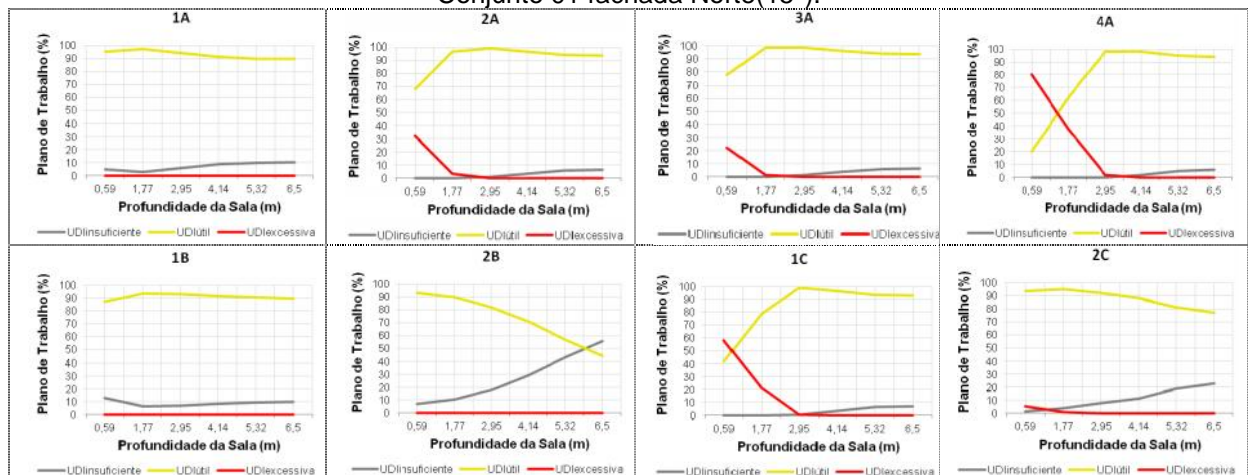


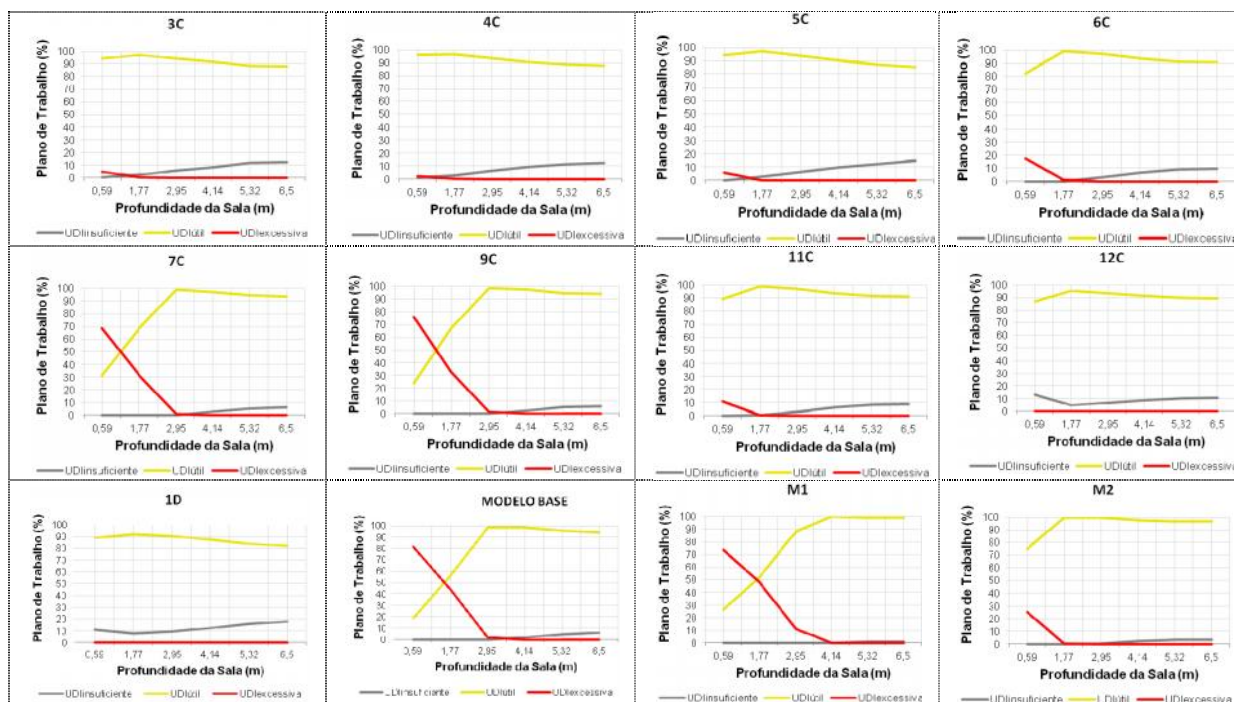
A partir do gráfico acima, é possível comparar de forma mais objetiva o desempenho de cada modelo do conjunto 01, tendo como parâmetro o percentual de sombreamento do elemento de proteção solar projetado (M2) a partir do método 02. Partindo do pressuposto que a máscara de sombreamento gerada pelo M2 seria a ideal para atender a zona de desconforto identificada para a orientação analisada, pode-se afirmar que todo o percentual de sombreamento que ultrapassou a linha de marcação do parâmetro corresponde ao sombreamento excessivo gerado pelos modelos, e aqueles que ficaram abaixo da linha representa áreas da zona de desconforto desprotegidas, ou seja, sombreamento insuficiente.

Nesse sentido, observa-se que os percentuais de sombreamento dos modelos 2A, 3A, 4A, 2B, 1C, 7C e 9C não atingiram a linha do parâmetro e os dos modelos 1A, 1B, 2C, 3C, 4C, 5C, 6C, 11C, 12C e 1D ultrapassaram a valor tido como referência. Aquele que obteve o melhor desempenho, com o valor do percentual de sombreamento muito próximo daquele gerado pelo modelo M2, foi o 5C, seguido muito perto pelo 2C e 3A.

Na análise da iluminação natural foi observada inicialmente, a relação da profundidade com o comportamento das três faixas do UDI (figura 83), com o objetivo de verificar a influência de cada elemento de proteção solar na distribuição da luz natural no espaço. Além disso, foi possível constatar se aqueles modelos que tiveram um melhor desempenho em relação ao sombreamento também obtiveram uma boa performance no que diz respeito à iluminação natural, através da análise comparativa e da classificação dos desempenhos dos modelos segundo o UDIútil e o desvio padrão.

**Figura 83** – Gráficos da distribuição dos valores das faixas do UDI em relação a profundidade - Conjunto 01 fachada Norte(15°).





É possível observar, através da correlação destes gráficos com os dados relacionados com o sombreamento, que aquelas proteções solares que deixaram de proteger períodos da zona de desconforto apresentaram uma relação diretamente proporcional com o comportamento do  $UDI_{excessiva}$ , ou seja, quanto maior foi a área do período de necessidade de sombreamento desprotegida, maior foi a porcentagem da área do plano de trabalho, próximo a abertura, com valores de iluminância acima de 2000 lux. Este fato pode ser visualizado claramente no modelo base (sem proteção solar), onde próximo a janela, na primeira linha da malha de pontos, o valor do  $UDI_{excessiva}$  foi detectado em 80% do ano. A consequência direta do aumento do  $UDI_{excessiva}$  foi a diminuição do  $UDI_{útil}$  no ambiente.

Em geral, os modelos apresentaram valores do  $UDI_{insuficiente}$  próximos de zero perto da abertura, exceto os modelos pertencentes ao grupo B (brises horizontais), ao grupo D (cobogó) e o modelo 12C, os quais geraram níveis de iluminância menores que 100lux, na linha de pontos mais próxima da janela, em aproximadamente 9,5% do ano. Ao associar com os diagramas da máscara de sombra, percebe-se que, à medida que a sombra avança além da trajetória solar, impedindo a visualização das zonas da abóbada celeste fora do percurso do sol, os valores de  $UDI_{insuficiente}$  apresentam um acréscimo.

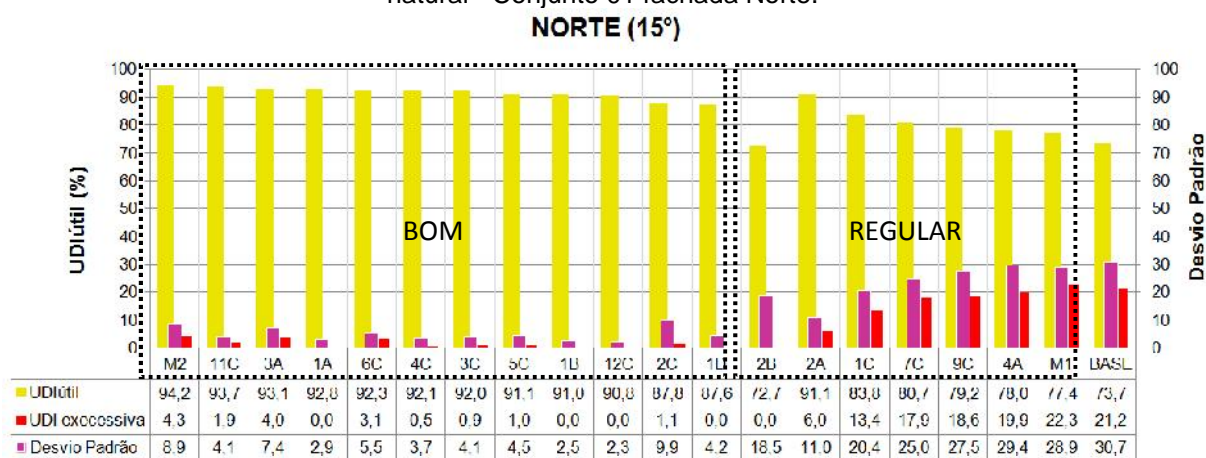
Em relação às soluções de proteção solar projetadas M1 e M2, observa-se que o método 02, para a orientação Norte, contribui de maneira mais eficiente no fornecimento de dados para o dimensionamento de elementos de proteção solar. A



solução M2 apresentou uma distribuição bem mais uniforme e uma presença maior de níveis de iluminância dentro da faixa útil, além de gerar um ambiente com menos probabilidade de ocorrência de ofuscamento.

A figura 84 a seguir mostra a classificação dos modelos, já ordenados segundo o desempenho da iluminação natural, onde M2 corresponde ao melhor modelo e o M1 ao pior. O modelo base foi inserido para verificar o efeito da inserção das soluções de proteção solar. Para esta orientação não foi classificado nenhum modelo como ruim, 63% dos elementos analisados foram classificados como bom desempenho e 37% como regular. Pode-se observar que os modelos 2A, 1C e 7C obtiveram médias de  $UDI_{\text{útil}}$  maiores que 80%, valores que os colocariam na faixa boa, porém apresentaram  $UDI_{\text{excessiva}}$  maiores que 5%. Ao relacionar os resultados expostos neste gráfico com os valores dos percentuais de sombreamento dos modelos, percebe-se que todas as soluções que foram classificadas como regular, obtiveram percentuais de sombreamento abaixo do valor utilizado como parâmetro.

**Figura 84** – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação a iluminação natural - Conjunto 01 fachada Norte.



### 3.7.1.2. Conjunto 02

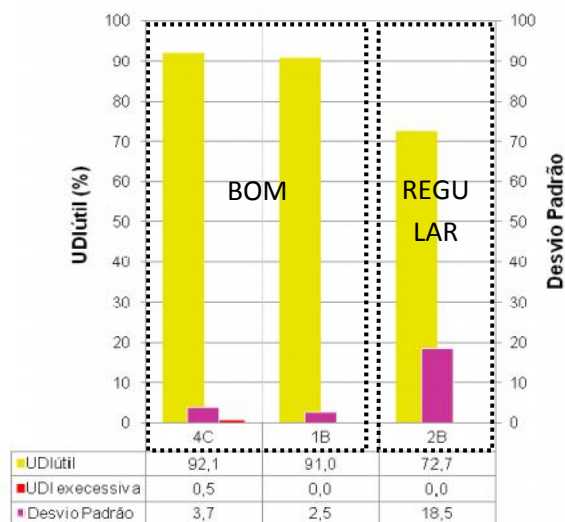
Os modelos que compõem o conjunto de análise 02 correspondem àquelas soluções de proteção solar encontradas nas fachadas voltadas para a orientação Norte (15°) identificadas no levantamento de campo. Dentre os três modelos que fazem parte deste conjunto (1B, 2B e 4C), pode-se constatar, a partir das máscaras de sombreamento, que o elemento de proteção solar presente no 4C conseguiu proteger de forma mais eficiente a zona de desconforto, seguido dos modelos 1B e 2B, este último gerou a pior máscara de sombreamento, com sombreamento excessivo e períodos críticos da zona de desconforto desprotegidos.

Observa-se que o percurso solar é quase que totalmente coberto pela máscara de sombreamento do modelo 4C, o que resultou em um percentual de sombreamento de 97,8%. Dos três modelos, apenas o 2B apresentou valor abaixo do percentual de sombreamento utilizado como referência (M2).

Correlacionando os resultados da análise do sombreamento com os gráficos da distribuição da iluminação natural, pode-se concluir que as áreas sombreadas dentro do percurso solar influenciam diretamente o valor do percentual de sombreamento, diferentemente das zonas fora da trajetória do sol, que quando obstruídas não interferem no percentual de sombreamento, mas sim nos valores do  $UDI_{insuficiente}$ . Isto pode ser observado através dos resultados do 2B que apresentou uma máscara de sombreamento maior em relação àquelas geradas pelos modelos 1B e 4C, porém a maior parte do sombreamento ocorre fora da trajetória solar. Quando observada a área do percurso do sol, o modelo 2B foi o que protegeu menos. Esta maior obstrução da abóbada celeste, em comparação com os outros modelos, resultou em valores maiores do  $UDI_{insuficiente}$  no fundo da sala.

No processo de classificação dos modelos, o 4C apresentou o melhor resultado com um  $UDI_{útil}$  de 92,1%, seguido do 1B com 91%, e por último, com um desempenho classificado como regular, o modelo 2B com 72,7% e um desvio padrão de 18,5. Isto mostra o quanto os valores do  $UDI_{útil}$  variaram, resultando em uma uniformidade menor da iluminação natural no ambiente (figura 85).

**Figura 85** – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação à iluminação natural - Conjunto 01 fachada Norte.  
NORTE (15°)



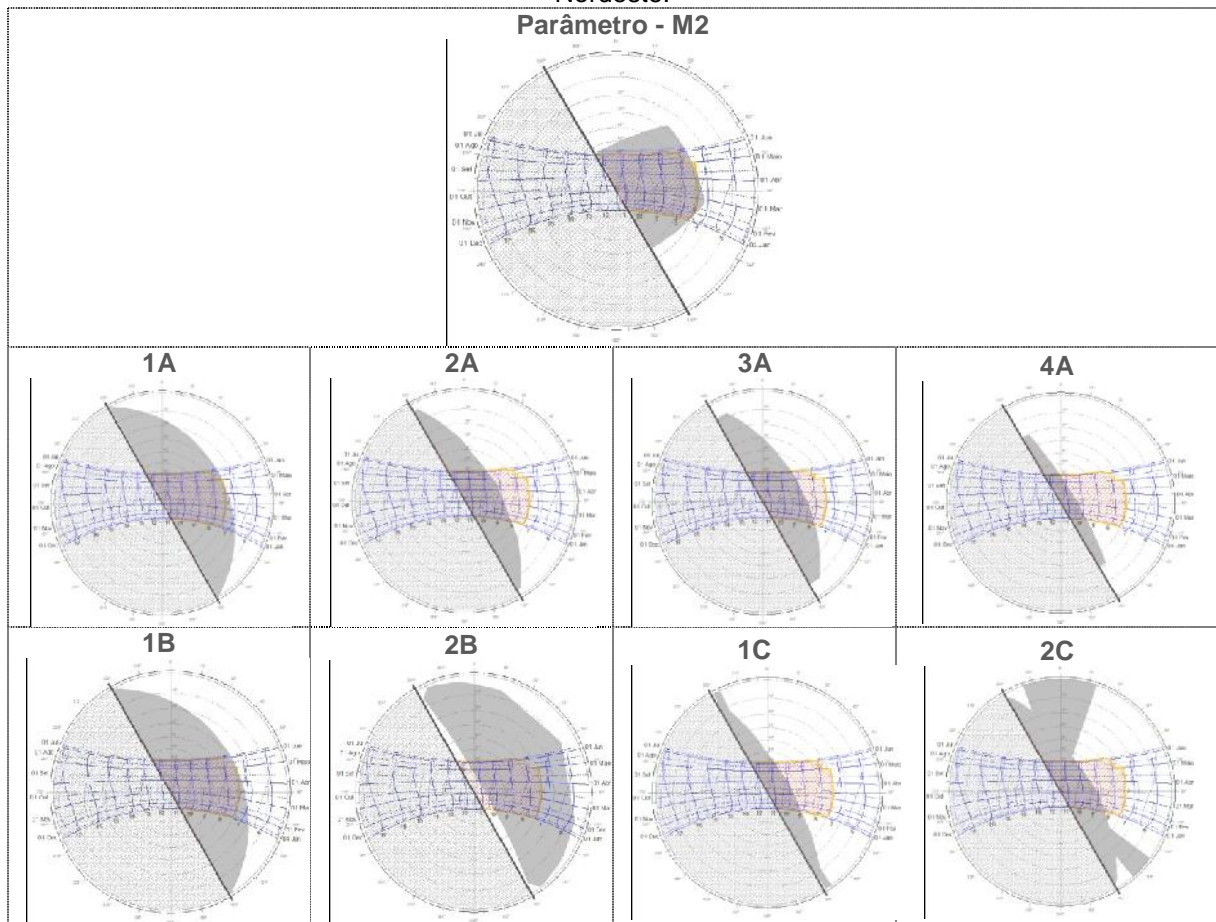
### 3.7.2. Fachada Nordeste (60°)

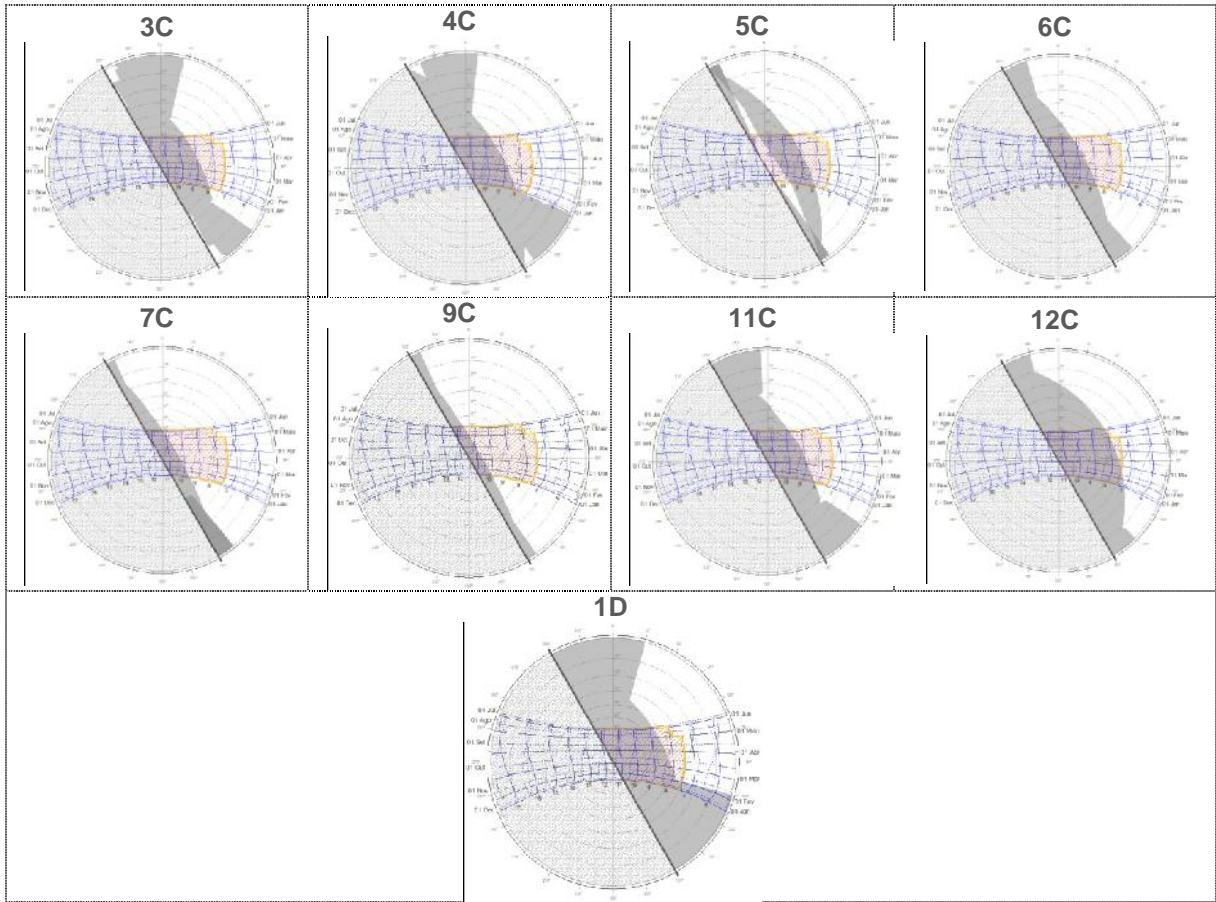
#### 3.7.2.1. Conjunto 01

Considerando como base a solução projetada M2 e o período de necessidade de sombreamento, para a fachada Nordeste, observa-se que a máscara de sombreamento indicada como parâmetro, protege estritamente a zona de desconforto, sem obstruir outras partes da abóbada celeste.

Ao analisar as máscaras geradas pelos modelos (figura 86), constata-se que todas avançam além do percurso solar e que apenas dois modelos conseguem obter uma proteção 100% do período de necessidade de proteção, 1A e 1B, porém com o ônus de causarem as maiores obstruções da abóbada celeste, juntamente com 2B, 12C e 1D. Estes três últimos ainda apresentam como fator negativo o fato de permitirem a entrada de radiação direta em alguns períodos situados dentro da zona de desconforto.

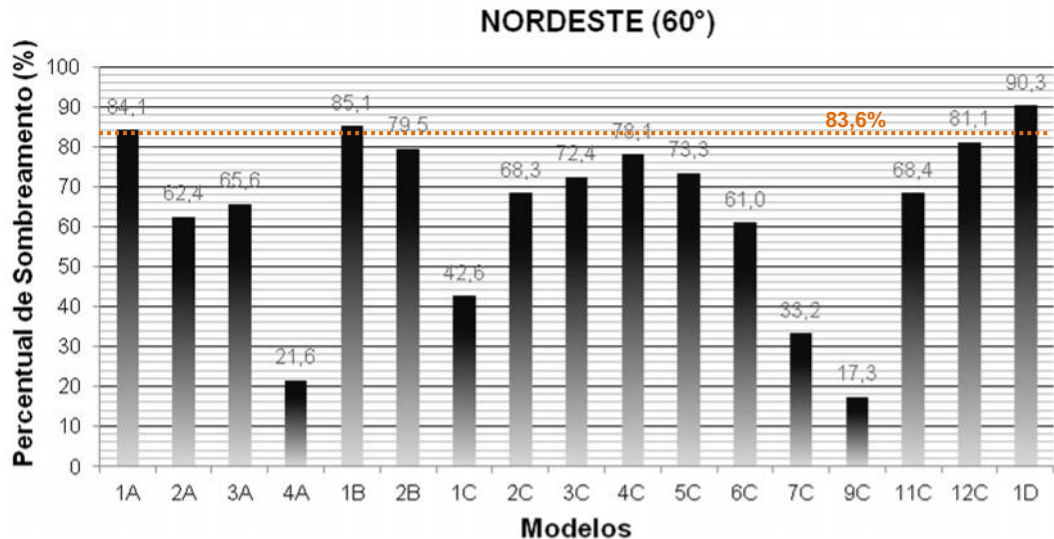
**Figura 86** – Análise gráfica através diagramas do período de sombreamento - Conjunto 01 fachada Nordeste.





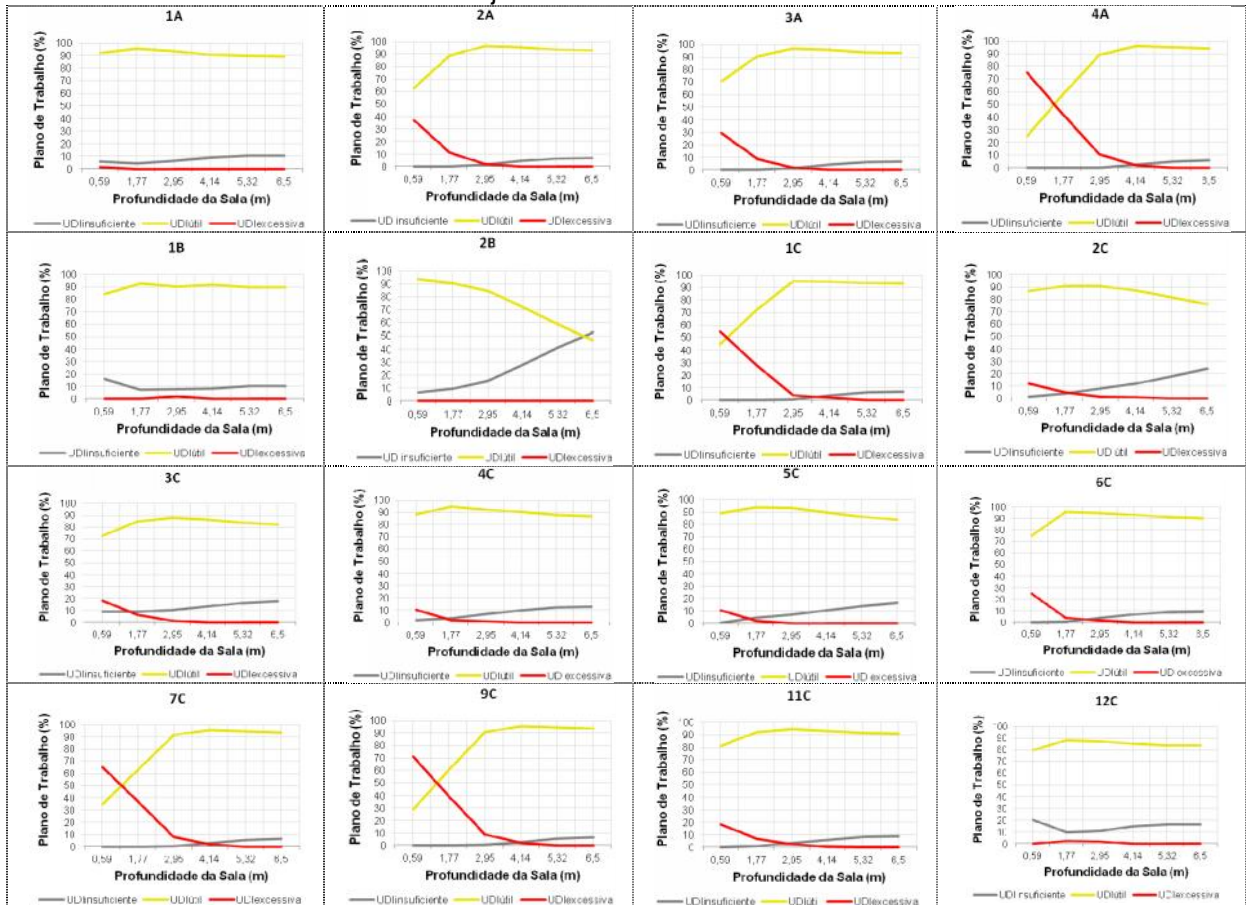
A análise a partir dos valores do percentual de sombreamento de cada modelo (figura 87) aponta que apenas três modelos obtiveram valores maiores do que o do M2. Os modelos 4A e 9C apresentaram resultados muito abaixo em comparação aos demais modelos, gerando um sombreamento apenas quando o Sol se encontra próximo do zênite.

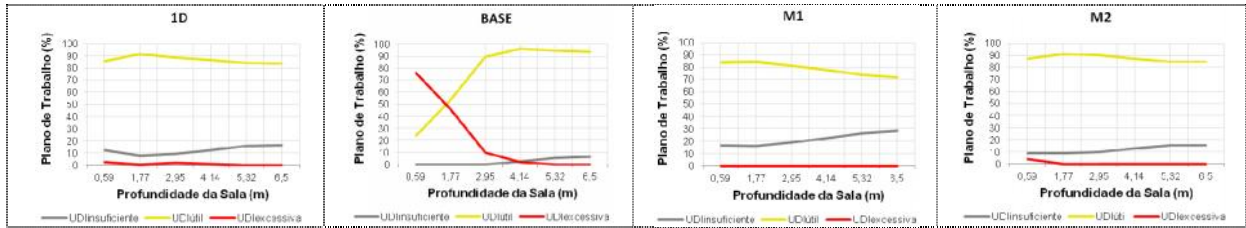
**Figura 87** – Gráfico do desempenho do sombreamento dos modelos para a fachada Nordeste - Conjunto 01.



Na análise da distribuição da iluminação natural no ambiente (figura 88), verificou-se a influência dos valores do percentual de sombreamento no comportamento das faixas do UDI. A medida que os valores do percentual de sombreamento foram decaindo, foi detectado um aumento do  $UDI_{\text{excessivo}}$  próximo à abertura. Como apontado na análise da fachada Norte, o percentual de sombreamento está relacionado com a obstrução da área do céu correspondente ao percurso solar, desta forma quanto menor for a proteção desta área maior será a incidência solar e, conseqüentemente, maiores serão os níveis de iluminância. O sombreamento que excede, obstruindo partes da abóbada celeste, a exemplo do modelo 2B, influencia diretamente no aumento da iluminância abaixo de 100lux, como pode ser visto nos resultados dos modelos 1B, 2B, 2C, 3C, 12C e 1D através da relação dos diagramas da máscara de sombreamento e nos gráficos abaixo.

**Figura 88** – Gráficos da distribuição dos valores das faixas do UDI em relação a profundidade - Conjunto 01 fachada Nordeste.



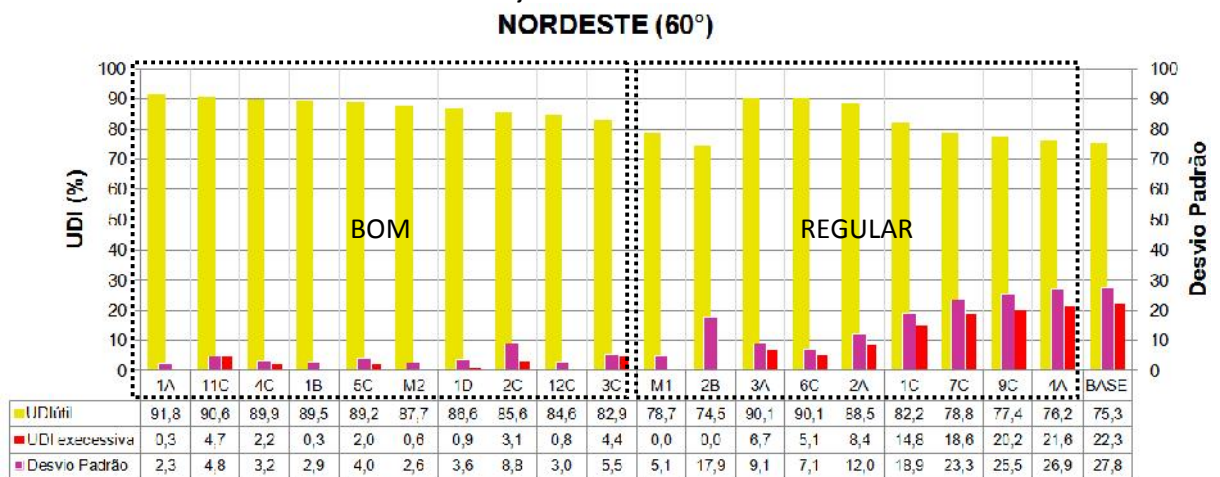


Como destacado no referencial teórico, a entrada excessiva da luz natural favorece a criação de ambientes com altos contrastes e grandes níveis de ofuscamento. Neste sentido, os maiores valores de UDI<sub>excessivo</sub> foram detectados nos modelos 4A, 1C, 7C e 9C, que na classificação dos modelos, segundo o desempenho da iluminação natural, obtiveram as piores posições. Em comparação com o modelo base, observa-se que os elementos de proteção solar inseridos nestes modelos influenciaram pouco o desempenho da iluminação natural.

Em relação às duas proteções solares projetadas a partir dos métodos utilizados para identificação do período de necessidade de proteção solar, pode-se concluir que, igualmente à fachada Norte, o método 2 favoreceu mais positivamente para o projeto de soluções de sombreamento eficientes.

Na análise do desempenho dos modelos para a fachada Nordeste, constatou-se que 52,6% apresentaram uma boa performance e 47,4% uma performance regular (figura 89).

**Figura 89** – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação a iluminação natural - Conjunto 01 fachada Nordeste.



Para esta orientação, quatro modelos que deviam estar na faixa de classificação bom (3A, 6C, 2A e 1C), foram rebaixados devido a identificação de valores do UDI<sub>excessivo</sub> maior que 5%. No grupo classificado de regular, foi feito um remanejamento dos modelos M1 e 2B, que pela análise do UDI<sub>útil</sub> eram para estar atrás do 7C e último, respectivamente, no entanto, por não terem sido detectados

valores de iluminância acima de 2000lux ( $UDI_{\text{excessiva}}=0\%$ ) em nenhum momento do ano, foram classificados dentre aqueles com melhor desempenho da faixa de classificação regular. Esta modificação pode ser justificada a partir da análise dos gráficos da distribuição das faixas do UDI ao longo do ambiente, onde se observa que os modelos M1 e 2B apresentaram valores altos de iluminância abaixo de 100lux no fundo da sala, sendo que o simples acionamento da luz artificial nesta zona tornaria o ambiente com níveis adequados. Ao contrário dos modelos que apresentaram valores excessivos de iluminância, ocasionando o aumento do ganho térmico e de desconfortos visuais como ofuscamento, que necessitaria de soluções mais dispendiosas.

Dentre todos os modelos, aquele com melhor desempenho foi o 1A, que obteve excelente desempenho da faixa do  $UDI_{\text{útil}}$  e com uma boa uniformidade, além de um baixíssimo  $UDI_{\text{excessivo}}$  (0,3%).

Em relação às soluções projetadas M1 e M2, assim como na fachada Norte, o método 02 gerou informações mais condizentes com a necessidade climática da cidade, obtendo melhores resultados.

### **3.7.2.2. Conjunto 02**

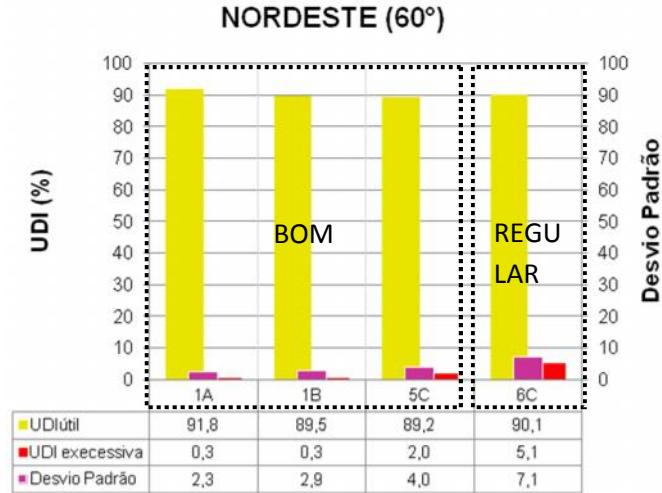
Os modelos que compõem o conjunto de análise 02 são 1A, 1B, 5C e 6C. Dentre eles, os dois primeiros obtiveram 100% de sombreamento do período de necessidade de proteção solar e os dois últimos admitiram a incidência solar no início da manhã nos períodos dentro da zona de desconforto, sendo que o 5C também deixou desprotegidos períodos considerados críticos, onde as temperaturas se encontram mais elevadas.

Apesar de serem compostos por tipologias de proteção solar diferentes, as soluções inseridas nos modelos 1A e 1B têm, praticamente, o mesmo ângulo de sombreamento vertical, 30° e 31° respectivamente, e isto se reflete nos valores dos percentuais de sombreamento.

Com a análise comparativa, que resultou na classificação dos modelos (figura 90), conclui-se que para a orientação Nordeste, considerando a realidade identificada no levantamento in loco, 75% das proteções foram consideradas boas e 25% regular. Vale salientar que o modelo classificado como regular (6C) obteve valores do  $UDI_{\text{útil}}$ , que de acordo com critérios adotados nesta pesquisa seria

classificado como bom, porém o critério relacionado com o UDI<sub>excessivo</sub> o inseriu na faixa regular.

**Figura 90** – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação a iluminação natural - Conjunto 02 fachada Nordeste.

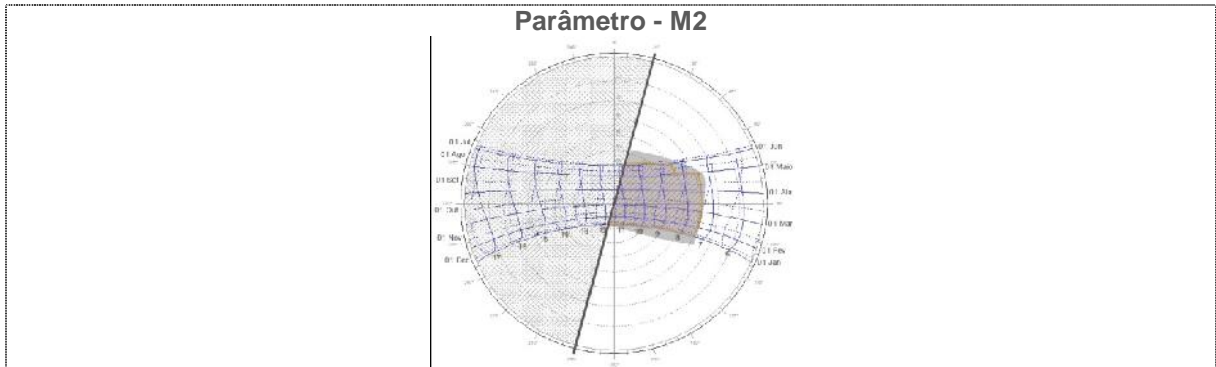


### 3.7.3. Fachada Leste (105°)

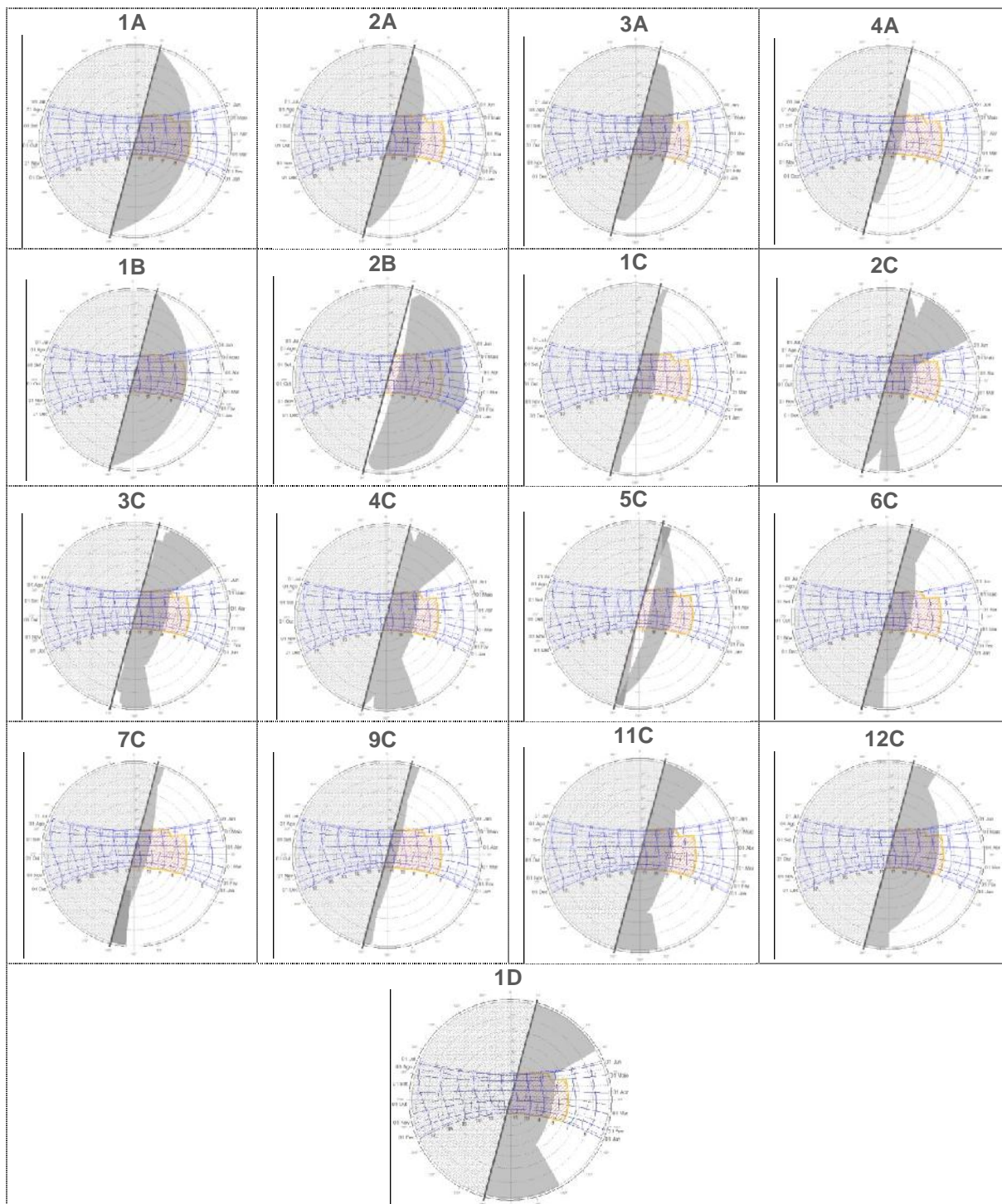
#### 3.7.3.1. Conjunto 01

Com relação ao projeto de elementos de proteção solar, o que se verificou na fachada Leste, assim com na Nordeste, foi a necessidade de se trabalhar com soluções finitas e com ângulos verticais de sombreamento menores, devido ao período de necessidade de sombreamento identificado para estas orientações. No entanto, ao considerar a situação hipotética, presente no conjunto de análise 01, o que se observa é o inverso, proteções solares infinitas e com o valor do AVS° alto.

**Figura 91** – Análise gráfica através de diagramas do período de sombreamento - Conjunto 01 fachada Leste.

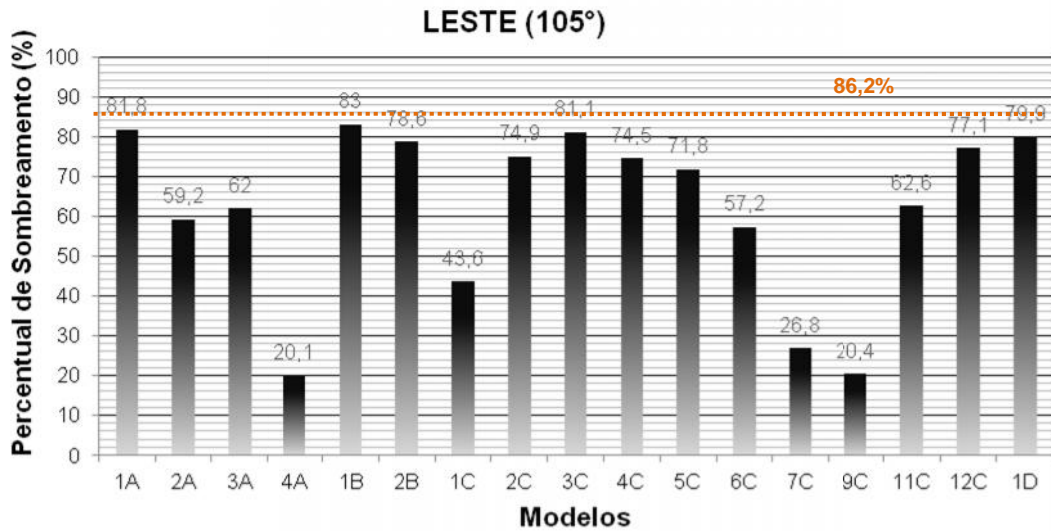






Apenas os modelos 1A e 1B conseguiram obter uma proteção de 100% da zona de desconforto quando utilizados nas fachadas com azimute de 105°. Caracterizam-se por apresentar apenas elementos horizontais e AVS° praticamente iguais (30° e 31°), porém pertencentes a grupos de tipologia diferentes. Esta semelhança se refletiu nos valores dos percentuais de sombreamento (figura 92).

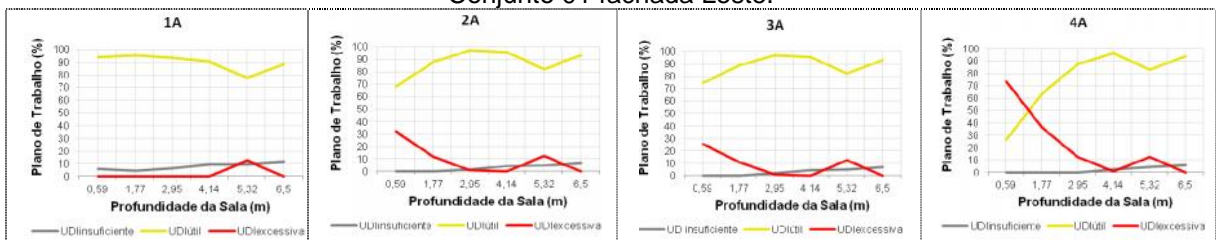
**Figura 92** – Gráfico do desempenho do sombreamento dos modelos para a fachada Leste - Conjunto 01

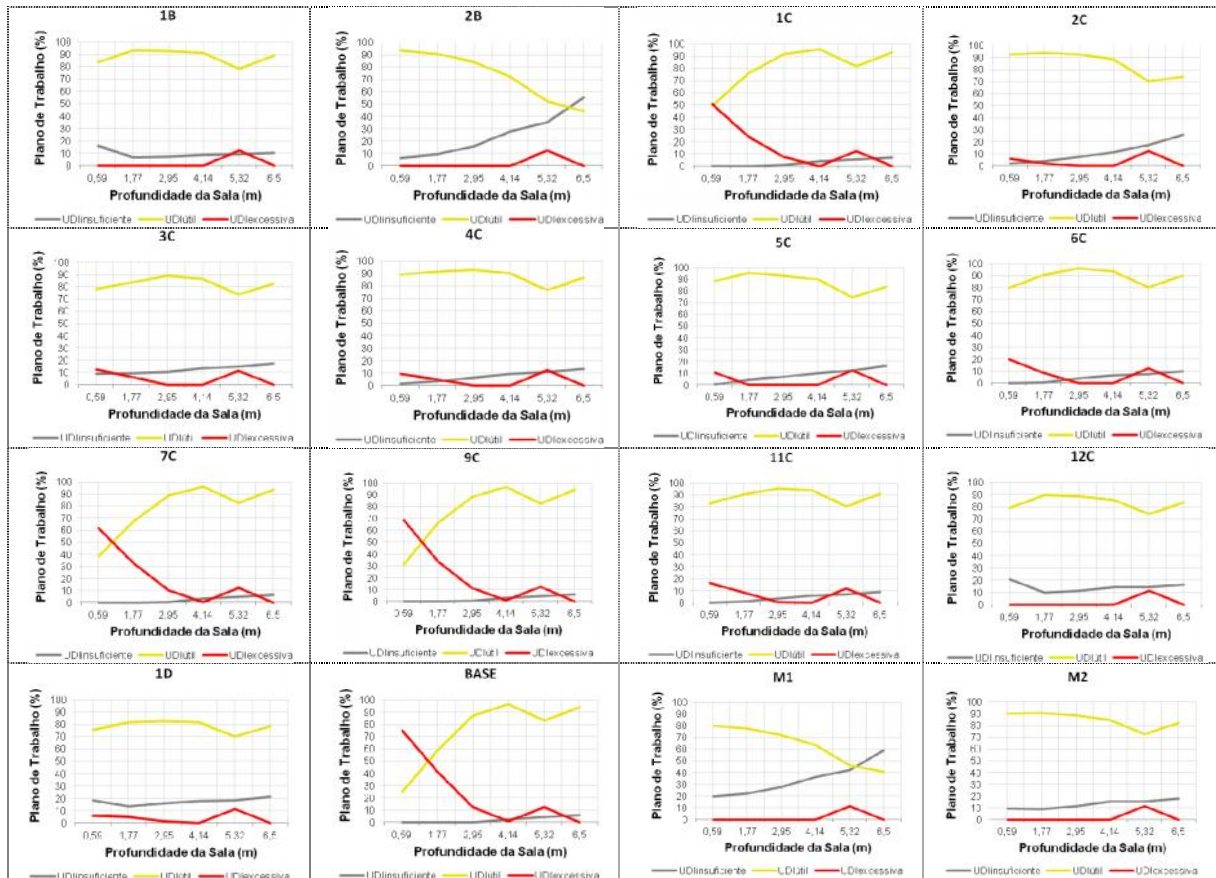


No gráfico acima, observa-se que nenhum modelo conseguiu atingir o valor do percentual de sombreamento utilizado como parâmetro para a fachada Leste, apesar da análise dos diagramas da máscara de sombreamento apontar os modelos 1A e 1B com 100% de proteção do período crítico. Alguns modelos como o 4A, 1C, 7C e 9C obtiveram percentuais de sombreamento baixos, o que resultou em uma elevada incidência solar direta próxima a janela (figura 93).

Como foi visto no referencial teórico, o que irá influenciar no desempenho dos modelos, em casos como os dos modelos 1A e 1B que apresentam o mesmo ângulo de sombreamento, serão as características ópticas do material do elemento e o percentual de visibilidade do céu. Como nesta pesquisa foi atribuído valor do coeficiente de reflexão igual para todos os modelos, o que fez a diferença no desempenho da iluminação natural foi a quantidade de céu visível a partir do plano da abertura. O modelo 1A obteve um percentual de visibilidade da abóbada celeste de 6,4% e o modelo 1B 5,5%. Esta diferença foi refletida nos valores do UDI, como mostra a figura 93.

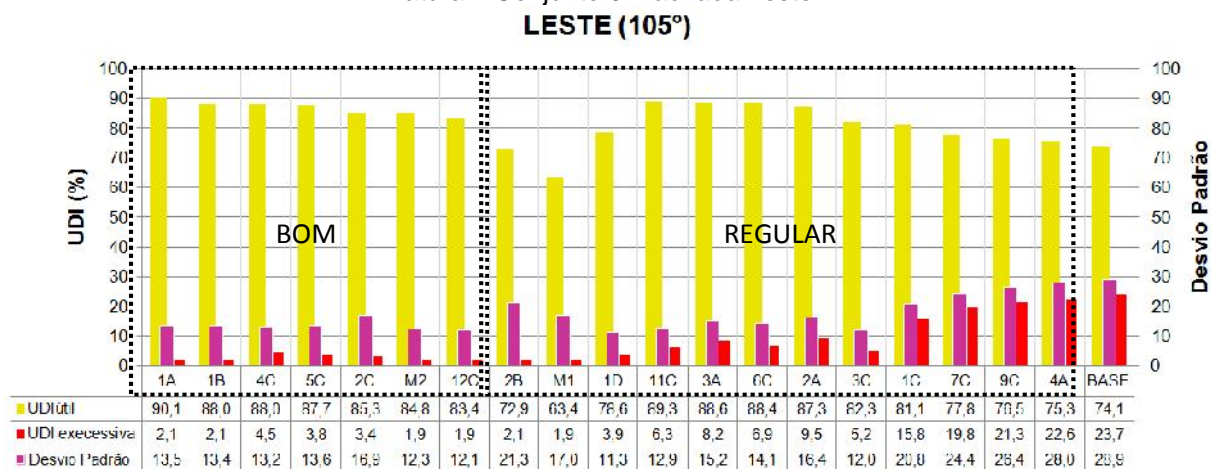
**Figura 93** – Gráficos da distribuição dos valores das faixas do UDI em relação a profundidade - Conjunto 01 fachada Leste.





A partir dos gráficos apresentados na figura 93, é possível constatar que todos os modelos apresentaram no fundo do ambiente, na 5ª linha de pontos do plano de análise, valores do  $UDI_{excessiva}$  semelhantes. Isto pode ser explicado pelo fato de que em todos os modelos ocorreu a penetração solar no início da manhã, no intervalo de 06h00min às 07h00min. O baixo ângulo de incidência do sol deste horário contribuiu para que os raios solares atingissem o fundo da sala. Além desta área do ambiente, modelos como o 2A, 3A, 4A, 1C, 7C e 9C, também geraram altos valores do  $UDI_{excessiva}$  próximo à abertura, ao contrário dos modelos M1 e 2B que apresentaram níveis de iluminância abaixo de 100lux em grande parte do ano. Em relação aos modelos M1 e M2, mais uma vez, a solução de proteção solar projetada baseada nos dados resultantes do método 02 obteve uma melhor distribuição da iluminação natural (figura 94).

**Figura 94** – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação à iluminação natural - Conjunto 01 fachada Leste.



No geral, 36,8% dos modelos foram classificados com desempenho bom e 63,2% como regular. Este resultado mostra a dificuldade de se projetar elementos fixos de proteção solar eficientes para a fachada Leste. A variação da posição do sol durante os meses (azimute) e sua altura nas primeiras horas do dia, torna difícil o dimensionamento de proteções fixas que tenham uma boa eficiência durante todo o ano.

Assim como nas fachadas Norte e Nordeste, alguns modelos foram rebaixados por apresentarem um  $UDI_{excessivo}$  maior que 5%, como por exemplo o 11C, 3A, 6C, 2A, 3C e 1C. Também houve o caso de modelos dentro da faixa regular terem subido de posição por terem obtido valores do  $UDI_{excessivo}$  menores que 5%, todavia, continuaram classificados como regular por não terem alcançado valores do  $UDI_{útil}$  maiores que 80%.

### 3.7.3.2. Conjunto 02

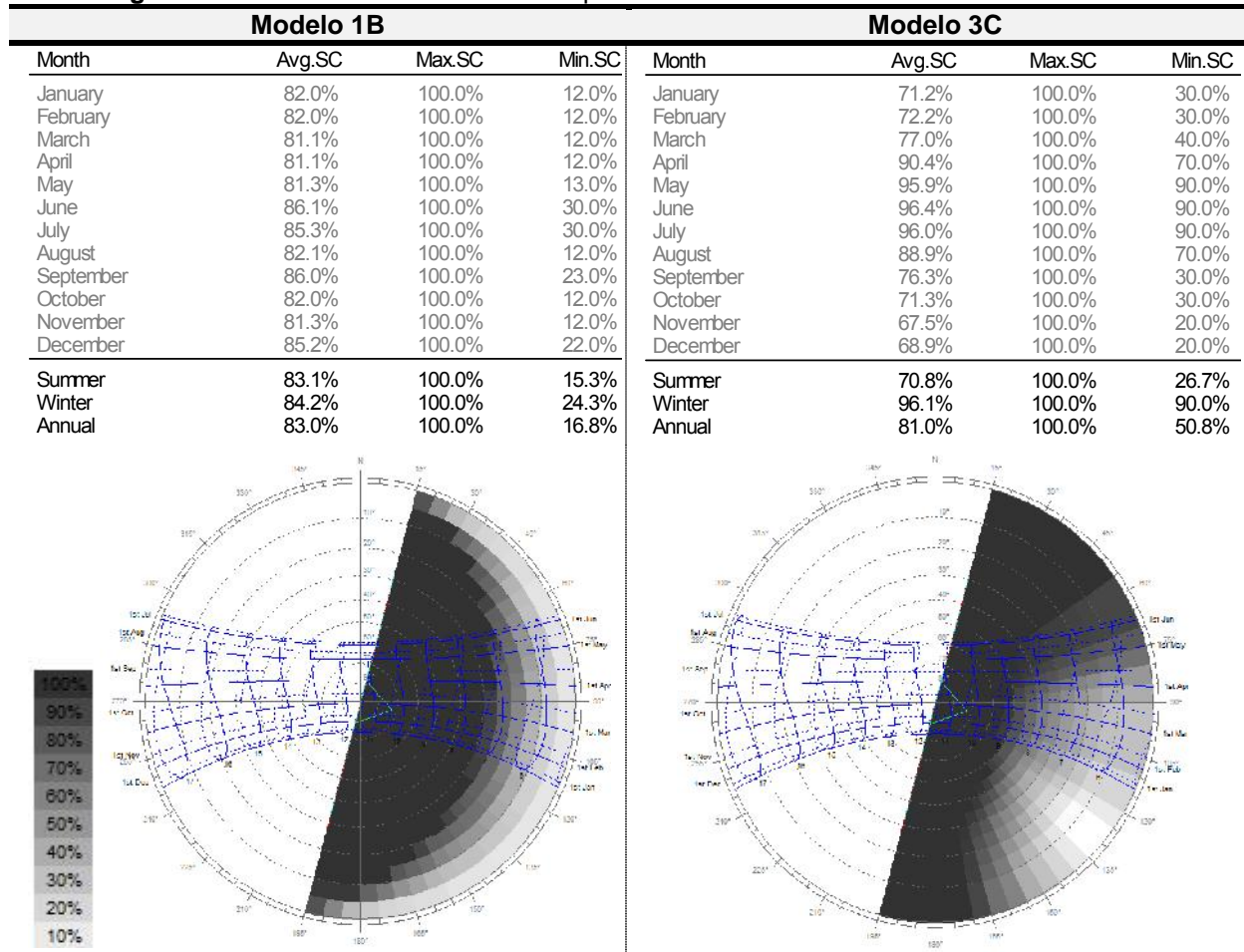
Para a fachada Leste, o levantamento de campo identificou apenas duas soluções de proteção solar, uma composta por brises horizontais, presente no edifício de multimídia do CT, e a outra por elementos verticais e horizontais, encontrada no projeto do prédio da escola de música. Estas proteções solares foram utilizadas para compor os modelos 1B e 3C, respectivamente.

A análise dos diagramas revelou que a proteção presente no modelo 1B se mostrou bem mais eficiente em relação à proteção da zona de desconforto identificada para a fachada Leste. No entanto, quando observados os valores do

percentual de sombreamento de cada solução, o que se viu foi uma proximidade grande do desempenho.

Esta contradição fez levantar a seguinte questão: como um dispositivo de sombreamento que tem uma máscara de sombreamento total mais eficiente do que outra pode gerar um percentual de sombreamento semelhante? Com o objetivo de tentar responder esta questão e de entender melhor esta relação, foi analisado mais detalhadamente o sombreamento de cada mês, através de tabelas com os valores mensais do percentual de sombreamento e da distribuição destes valores na carta solar (figura 95).

**Figura 95 - Análise detalhada do desempenho do sombreamento dos modelos 1B e 3C.**



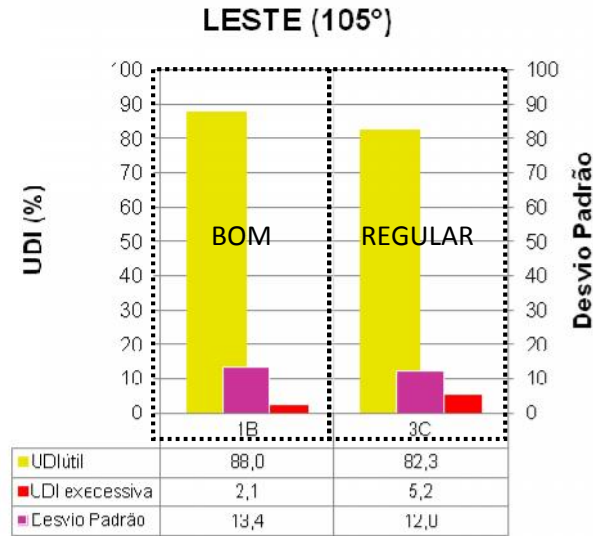
A partir destas informações, foi verificado que nos meses que compõem a estação do inverno o modelo 3C obteve maiores percentuais de sombreamento, resultando no valor total de 96,1%. Já a solução do 1B gerou uma média do percentual de sombreamento de 84,2% no inverno. Esta situação se inverteu quando analisado o desempenho dos modelos no verão, onde o 1B alcançou 83,1% e o 3C 70,8%.

Outro fato observado foi que a proteção solar do 3C resultou menores variações entre os valores máximos e mínimos em comparação ao 1B. Isto pode ser constatado na distribuição dos valores na carta solar, onde o diagrama resultante do 1B mostrou que, apesar da abertura estar 100% sombreada durante todo o ano a partir das 07h30min da manhã, entre 05h00min e 07h30min este sombreamento varia de 10% a 70% de forma gradual para todos os meses. Já o diagrama do 3B apresentou nos meses do inverno valores de 80% a 95%, no equinócio valores de 40% a 85% e no verão de 30% a 55%, entre os horários de 05h00min e 07h30min. Diante destes dados, conclui-se que os maiores valores do percentual de sombreamento do modelo 3C no horário que vai de 05h00min as 07h30min da manhã, no período do inverno e equinócio, contribuiu para elevar sua média anual do percentual de sombreamento. No entanto, isso não quer dizer que a solução inserida no 3C seja tão eficiente na proteção da zona de desconforto quanto aquela presente no 1B. Isto pode ser observado no comportamento da iluminação natural através dos gráficos que mostram a relação da distribuição dos valores do UDI com a profundidade da sala.

Por permitir uma maior incidência solar direta, o 3C apresentou valores de iluminância maiores que 2000lux em 13% do ano na área mais próxima da abertura, ao contrário do modelo 1B, onde não foi detectado em momento algum do ano valores de iluminância acima de 2000lux perto da janela.

Na classificação de desempenho, o modelo 1B foi considerado como bom, e o 3C foi classificado como regular devido ao valor do  $UDI_{\text{excessivo}}$ , já que o valor do  $UDI_{\text{útil}}$  o colocava dentro da faixa Bom (figura 96).

**Figura 96** – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação à iluminação natural - Conjunto 02 fachada Leste.

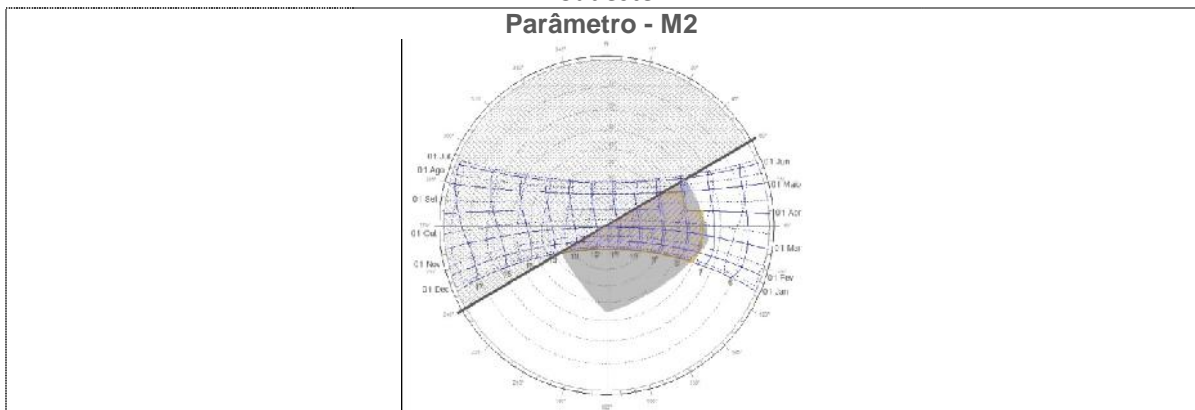


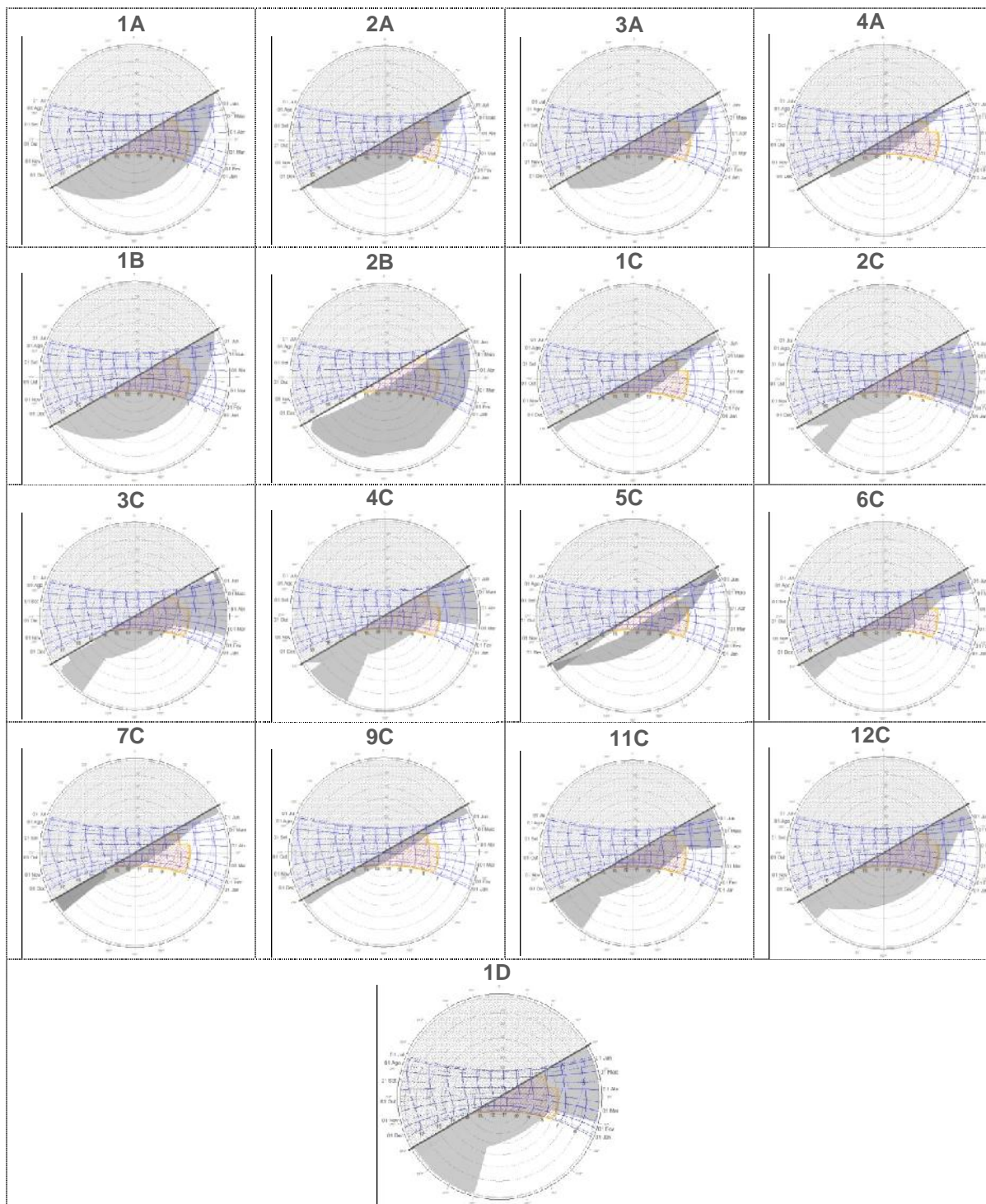
### 3.7.4. Fachada Sudeste (150°)

#### 3.7.4.1. Conjunto 01

De acordo com os diagramas a seguir, é possível afirmar que a maioria dos modelos obteve um sombreamento eficiente, com a proteção dos horários mais críticos e poucos períodos desprotegidos. Aqueles que permitiram uma incidência solar direta maior foram os modelos 4A, 1C, 7C e 9C, sendo este último o pior de todos. Outra observação que se pode destacar dos dados a seguir, é que algumas soluções, principalmente aquelas compostas por tipologia mista, apresentaram um sombreamento excessivo no período do inverno e equinócio, sombreamento desnecessário e que influenciará nos valores do UDI, gerando níveis de iluminância abaixo de 100lux com mais frequência durante o ano.

**Figura 97** – Análise gráfica através diagramas do período de sombreamento - Conjunto 01 fachada Sudeste.



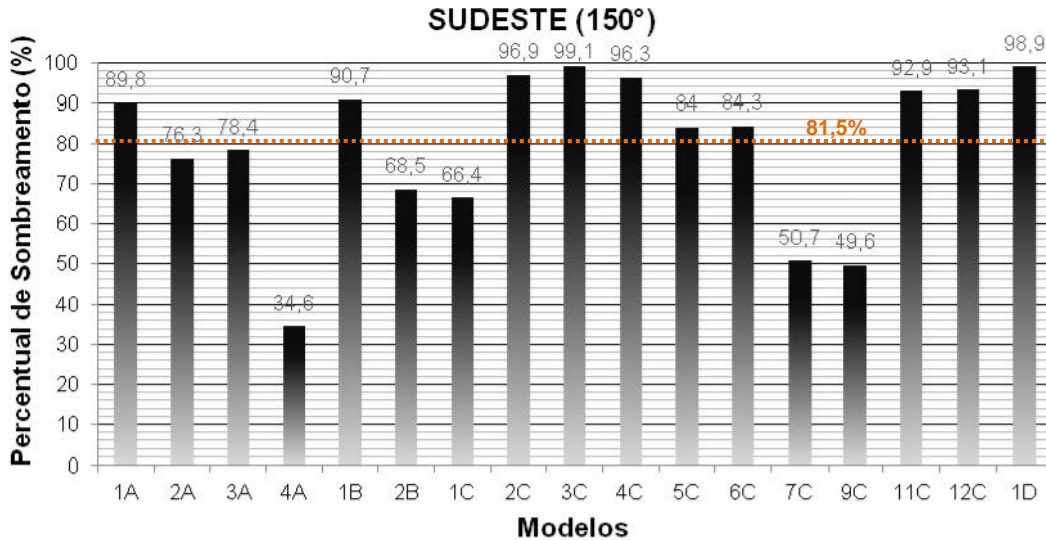


Na análise comparativa do desempenho dos modelos a partir dos valores do percentual de sombreamento, constatou-se que dez modelos obtiveram valores maiores do que aquele utilizado como referência (M2) para a fachada Sudeste. É interessante observar que, o que se mostrou ser o pior (9C), através da análise da máscara de sombreamento, na verdade, obteve percentual de sombreamento superior ao 4A, que acabou gerando a menor proteção da abertura ao longo do ano. Esta situação foi confirmada nos valores obtidos da iluminação natural. Este fato



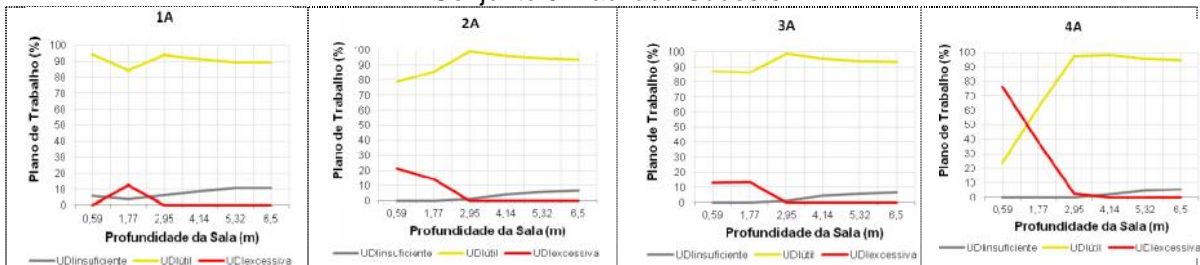
pode ser justificado pela proteção que os elementos verticais oferecem à penetração solar em períodos com menor ângulo de incidência solar e menor azimute.

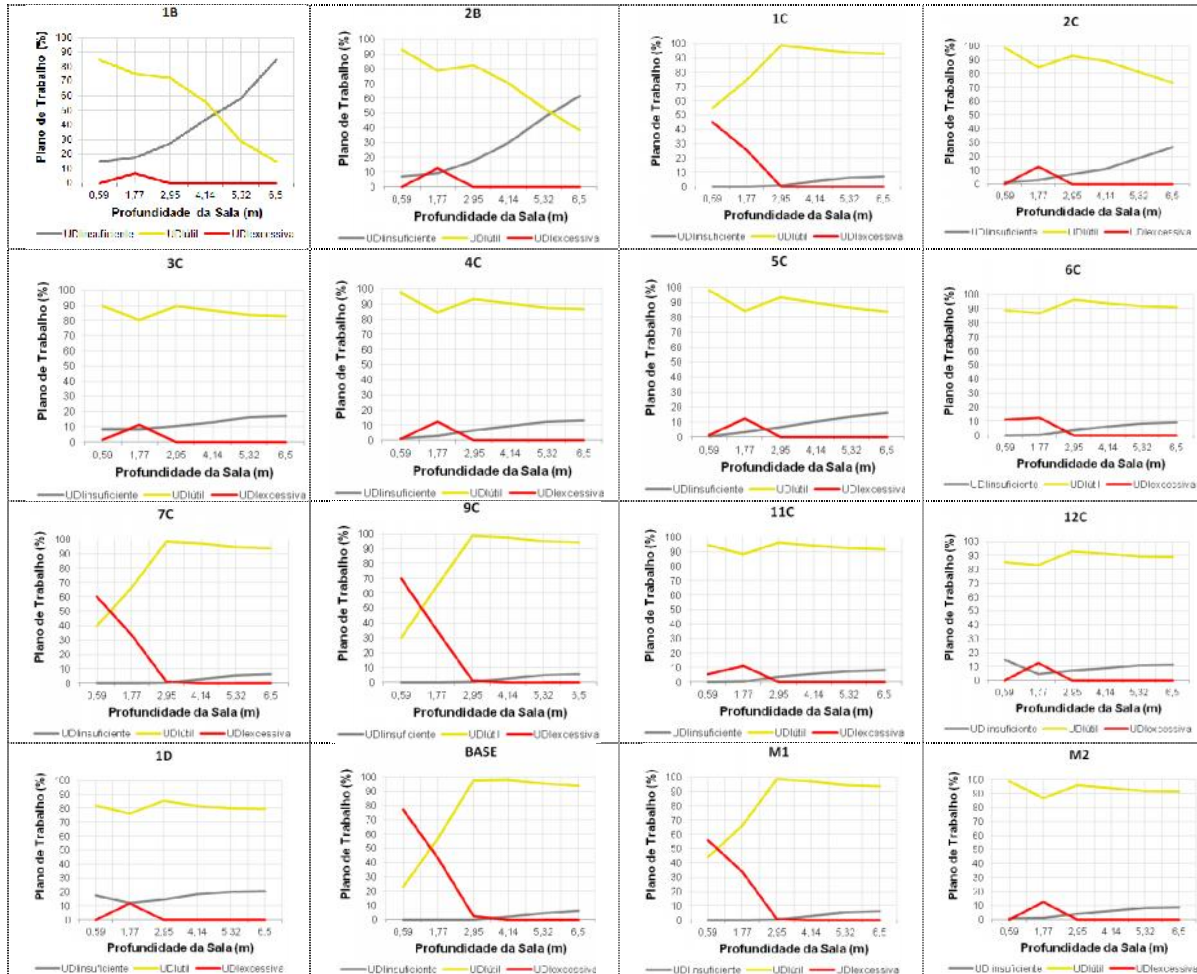
**Figura 98** – Gráfico do desempenho do sombreamento dos modelos para a fachada Sudeste - Conjunto 01.



Como visto na avaliação das máscaras de sombreamento, vários modelos permitiram a penetração solar nos horários de 05h00min até as 08h00min, o que gerou valores de iluminância maiores que 2000lux na segunda linha de pontos do plano de análise. A medida que as soluções foram permitindo uma maior incidência solar, os valores do UDI<sub>excessivo</sub> foram aumentando próximo a abertura. No entanto, observa-se que por maior que seja o período de incidência solar, valores de UDI<sub>excessivo</sub> só foram identificados até a metade da sala. Um fato que tem sido constatado nas análises das outras orientações e que nesta ficou mais evidente, foi a ocorrência de altos valores de UDI<sub>insuficiente</sub> nos modelos que apresentam como solução de proteção solar brises horizontais.

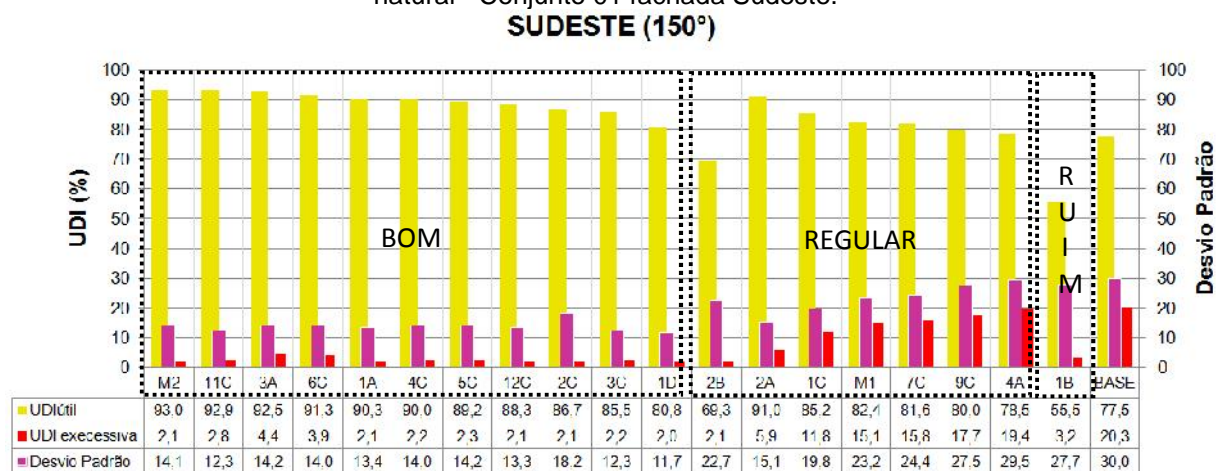
**Figura 99** – Gráficos da distribuição dos valores das faixas do UDI em relação a profundidade - Conjunto 01 fachada Sudeste.





Diferentemente das outras orientações, onde não foi identificado nenhum modelo com desempenho ruim, a fachada sudeste apresentou 57,9% das soluções classificadas como boa, 36,8% como regular e 5,3% ruim. Classificados como regular, os modelos 2A, 1C, M1 e 9C obtiveram valores do UDIútil acima do parâmetro utilizado para definir a faixa de desempenho bom, porém não atenderam o outro critério do UDIexcessivo < 5%, sendo desta forma rebaixados para a classificação regular. Já o modelo 2B subiu de posição dentro do grupo com desempenho regular por apresentar valor do UDIexcessivo menor que 5%. Em relação aos modelos M1 e M2, mais uma vez o M2 foi classificado como a melhor solução e o M1 com desempenho regular (figura 100).

**Figura 100** – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação a iluminação natural - Conjunto 01 fachada Sudeste.



### 3.7.4.2. Conjunto 02

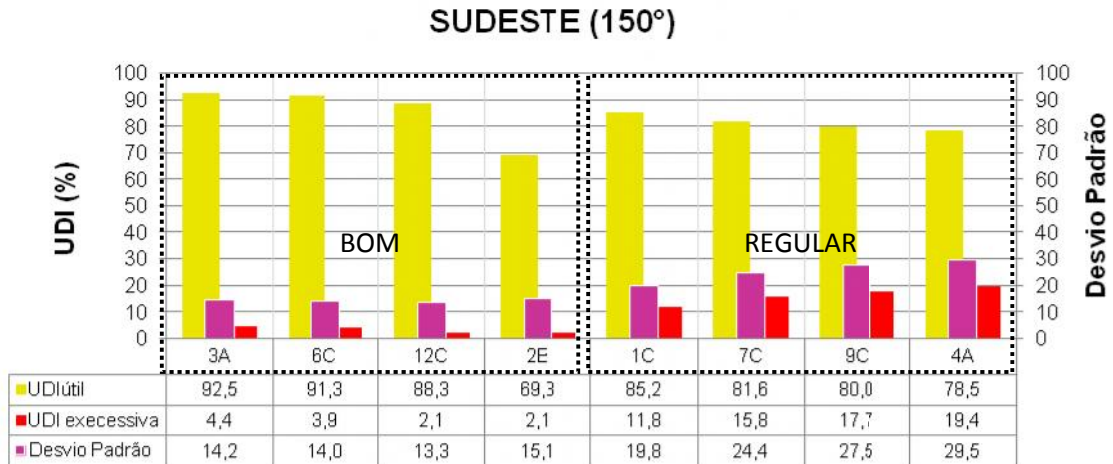
De acordo com o levantamento de campo, dentre todas as fachadas analisadas, a Sudeste foi a que apresentou o maior número de exemplares de soluções de proteção solar, oito no total, sendo eles: 2A, 3A, 4A, 1C, 6C, 7C, 9C e 12C.

Ao analisar os diagramas das máscaras de sombreamento, constata-se que apenas o modelo 12C ofereceu proteção completa da zona de desconforto. O 4A, 7C e 9C apresentaram grandes períodos sem sombreamento, gerando percentuais de sombreamento menores. Dentre todos, apenas o 12C e o 6C conseguiram valor acima do percentual de sombreamento do M2, tido como referência para esta orientação.

A proximidade dos percentuais de sombreamento se reflete nos perfis de distribuição dos valores das faixas do UDI. No entanto, como já foi observado anteriormente, um valor maior da medida de sombreamento nem sempre implica em melhor desempenho da iluminação natural.

Isto pode ser constatado comparando o modelo 3A com o 6C. O 6C possui percentual de sombreamento superior ao 3A e uma distribuição dos valores do UDI bastante semelhante, porém na classificação dos modelos, que utiliza o critério da maior média do UDI útil, o 3A apresentou melhor desempenho (figura 101).

**Figura 101** – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação à iluminação natural - Conjunto 02 fachada Sudeste.



No geral 50% foram classificados como bom e 50% como regular. Todavia esta classificação poderia ter sido 88,9% bom e 11,1% regular, mas os percentuais do UDI<sub>excessivo</sub> superiores ao limite de 5% obtidos pelos modelos 1C, 7C e 9C fizeram aumentar o grupo de modelos considerados regulares.

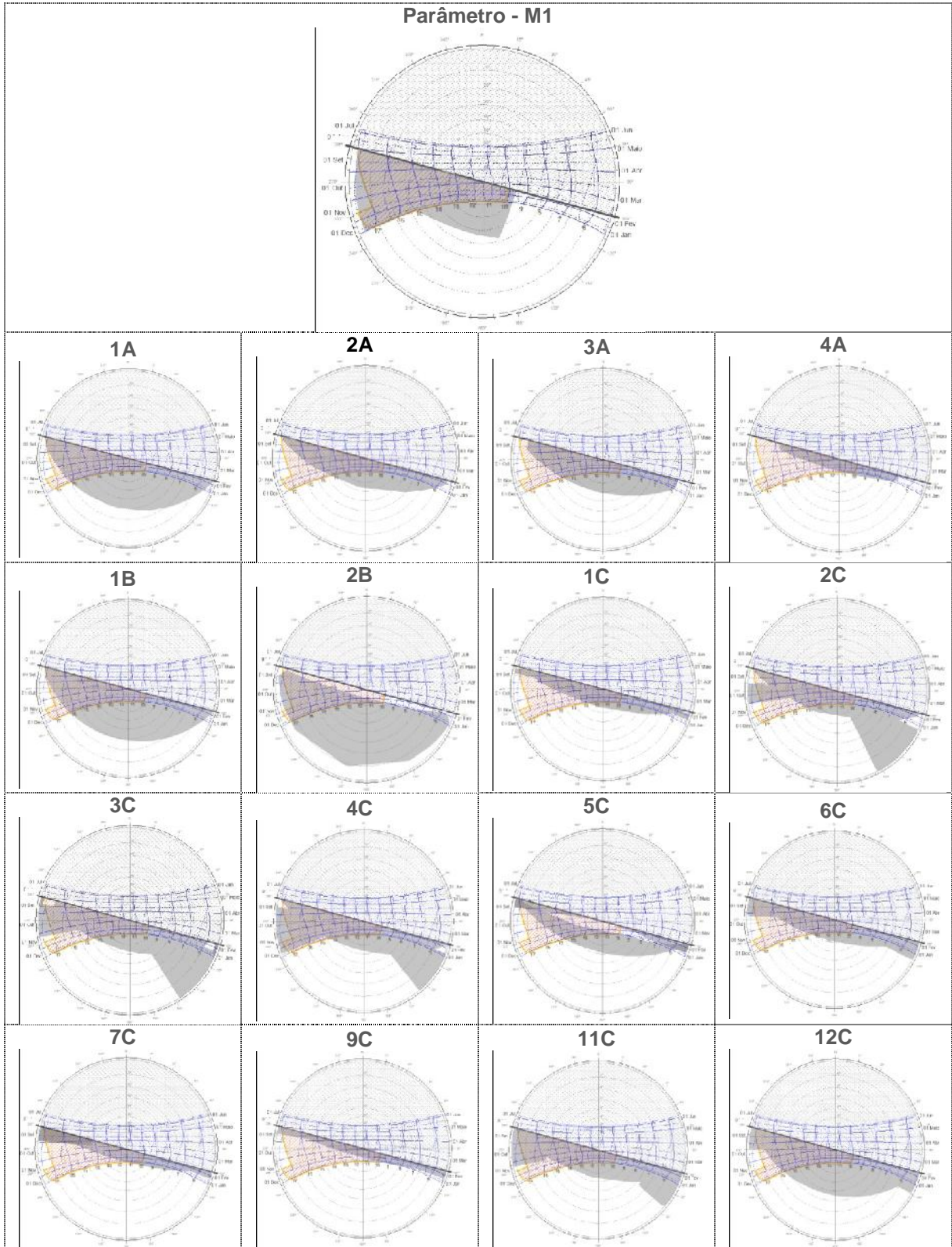
### 3.7.5. Fachada Sul (195°)

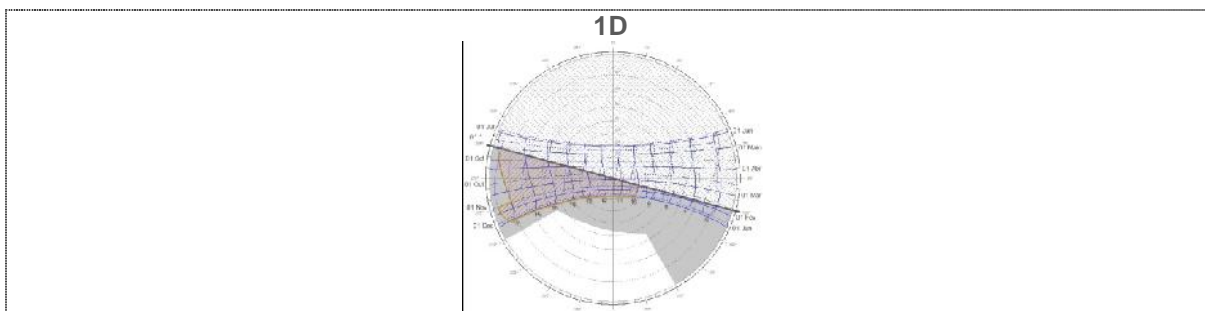
#### 3.7.5.1. Conjunto 01

A fachada Sul, identificada no levantamento de campo, tem uma exposição maior ao sol da tarde ao longo do ano. Em consequência, o ângulo de incidência solar em alguns meses e horários é maior, o que faz com que os raios solares alcancem áreas do plano de trabalho mais afastadas da abertura. Ao contrário do período da manhã, onde os raios solares são quase paralelos à fachada, como resultado, a penetração solar ocorre próxima da janela.

A seguir estão apresentadas as máscaras de sombreamento dos modelos, relacionados com o conjunto de análise 01, e a eficiência de cada uma em relação à zona de desconforto identificada para esta orientação (figura 102).

**Figura 102 – Análise gráfica através diagramas do período de sombreamento - Conjunto 01 fachada Sul.**



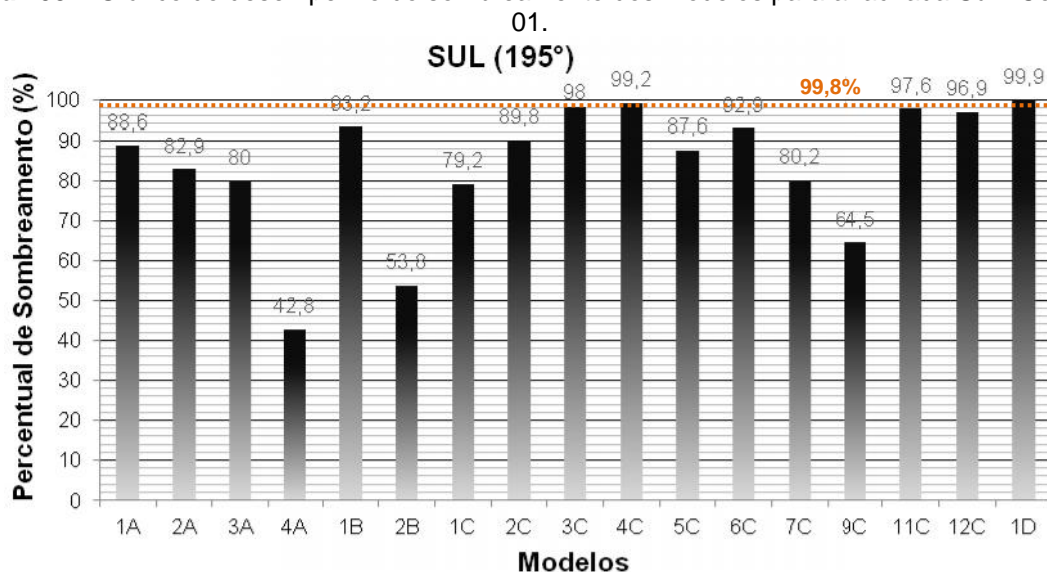


Observa-se que o período de necessidade de proteção solar se dá a partir das 10h00min da manhã e vai até as 17h00min. As soluções que obtiveram a melhor proteção deste período foram 1A, 1B, 2B, 4C, 11C 12C e 1D. Destes, apenas o modelo 1D obteve 100% de sombreamento da zona de desconforto. O 4A, 1C, 7C, 9C apresentaram um desempenho inferior em comparação aos demais modelos, permitindo a penetração solar na maior parte dos meses ao longo do ano no período da tarde.

Na análise comparativa do desempenho do sombreamento dos modelos foi utilizado como referência o percentual de sombreamento 99,8%, referente à solução projetada M1. Em todas as fachadas, exceto esta, o M2 foi escolhido para servir como parâmetro para os demais modelos na análise do sombreamento, por sempre ter obtido um melhor desempenho da iluminação natural em comparação ao M1. No entanto, o que se observa no caso da orientação Sul, com azimute 195°, é que o fato de ter permitido uma incidência solar maior no período da manhã, em relação a zona de desconforto obtida através do método 2, o M1 acabou gerando valores maiores do UDI<sub>útil</sub> sem obter níveis de iluminância acima de 2000lux em nenhum momento do ano. Isto mostrou que a incidência direta do sol até as 10h00min da manhã, para esta fachada, favoreceu o aumento dos níveis de iluminação natural.

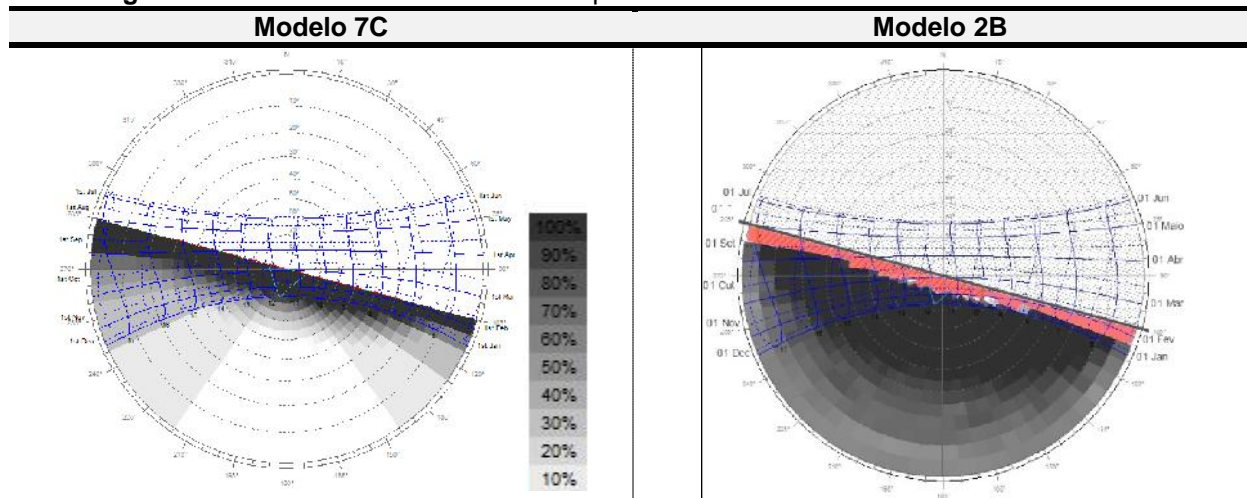
Na figura 103, onde se encontra marcado o percentual de sombreamento do M1, observa-se que apenas o modelo 1D obteve valor superior ao parâmetro. Os demais apresentaram desempenho inferior, sendo que o 4A foi o que menos protegeu a abertura ao longo do ano.

**Figura 103** – Gráfico do desempenho do sombreamento dos modelos para a fachada Sul - Conjunto

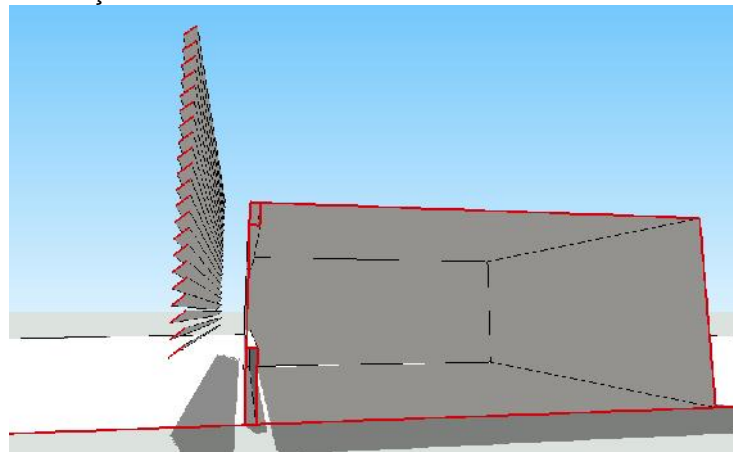


Na análise das máscaras de sombreamento, o modelo 2B, assim como nas outras fachadas, pressupunha a obtenção de um percentual de sombreamento maior do que outras soluções, que apresentaram uma máscara de sombreamento menor, como por exemplo, a do 7C. No entanto, se for analisado mais detalhadamente e considerar, como já foi dito anteriormente, que o percentual de sombreamento só considera a área da trajetória solar, pode-se verificar a razão do modelo 2B apresentar valor menor do que o 7C.

Os diagramas a seguir mostram a distribuição dos valores do percentual de sombreamento na carta solar dos modelos 2B e 7C. No diagrama do 2B, a mancha de sombreamento se estende além do percurso solar, ao mesmo tempo, há a incidência solar direta nos períodos marcados em vermelho, que foi exatamente esta área, por apresentar 0% de sombreamento, que puxou o seu valor do percentual de sombreamento para baixo. O modelo 7C, apesar de possuir mancha de sombreamento menor, é mais eficiente no sombreamento, permitindo menor incidência de radiação solar sobre a abertura (figura 104).

**Figura 104** - Análise detalhada do desempenho do sombreamento dos modelos 7C e 2B.

A incidência de radiação solar direta no modelo 2B pode ser atribuída a um detalhe de projeto ou execução, já que o elemento de proteção está inserido distante da fachada, como pode ser observado no detalhe apresentado na figura 105.

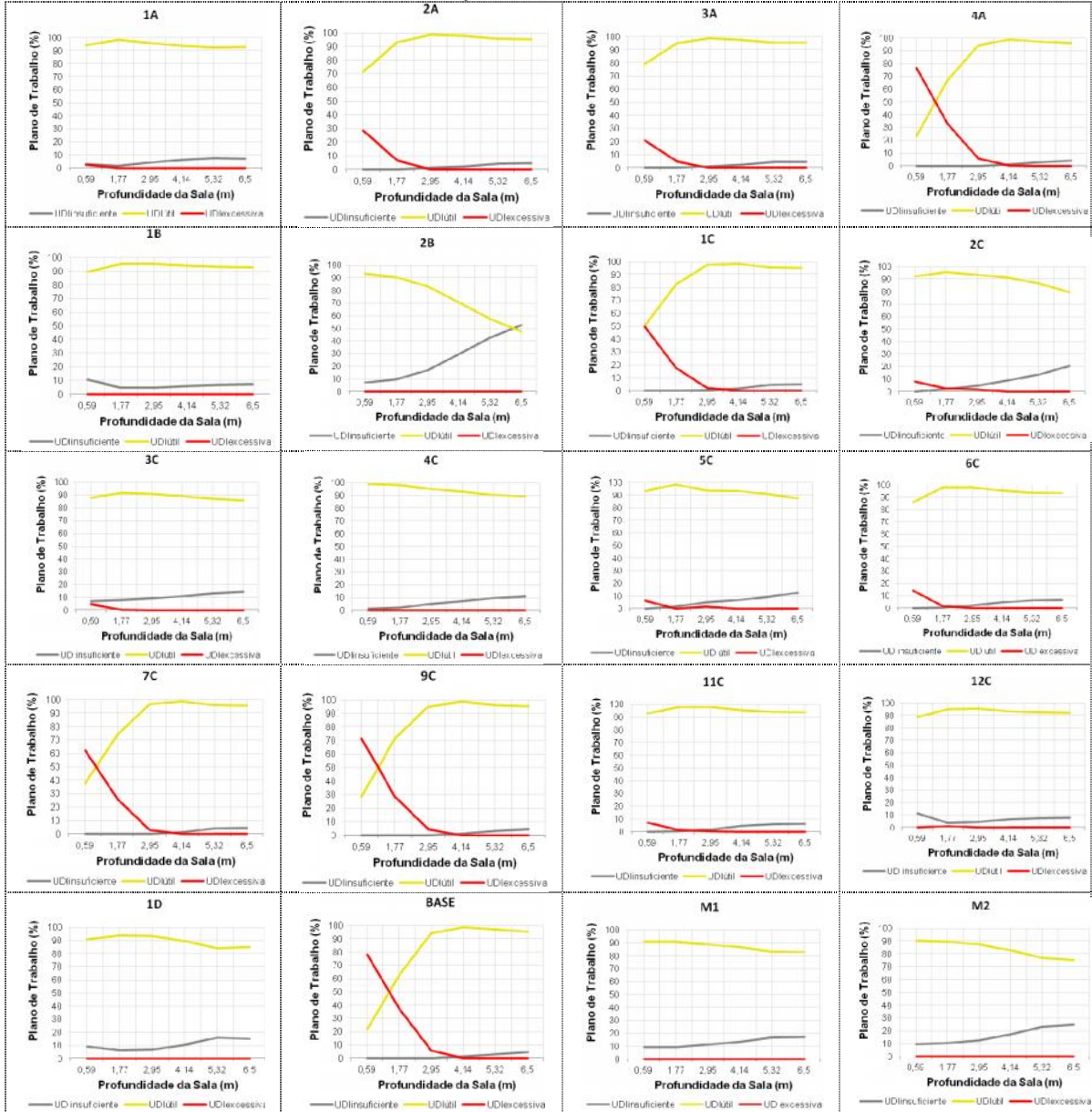
**Figura 105** - Penetração solar no modelo 2B no horário de 12h30min do dia 03 de Março.

Mesmo apresentando uma máscara de sombreamento total menor do que a do 2B, o modelo 7C obteve valores do percentual de sombreamento acima de 30%. No entanto, isto não garantiu um desempenho melhor da iluminação natural. O fato do 2B não proteger os períodos com incidência solar, não influenciou no aumento do  $UDI_{\text{excessivo}}$ , pois como pode-se observar na figura 105 a penetração solar ocorre muito próxima à abertura e em uma área mínima. Além do mais, nos períodos em que a incidência solar ocorre de forma mais perpendicular à fachada, que corresponde aos meses do verão e à tarde, a proteção solar presente no 2B gera percentuais de sombreamento maiores do que aqueles obtidos pela solução de proteção solar inserida no modelo 7C. Por isso, ao observar os gráficos da



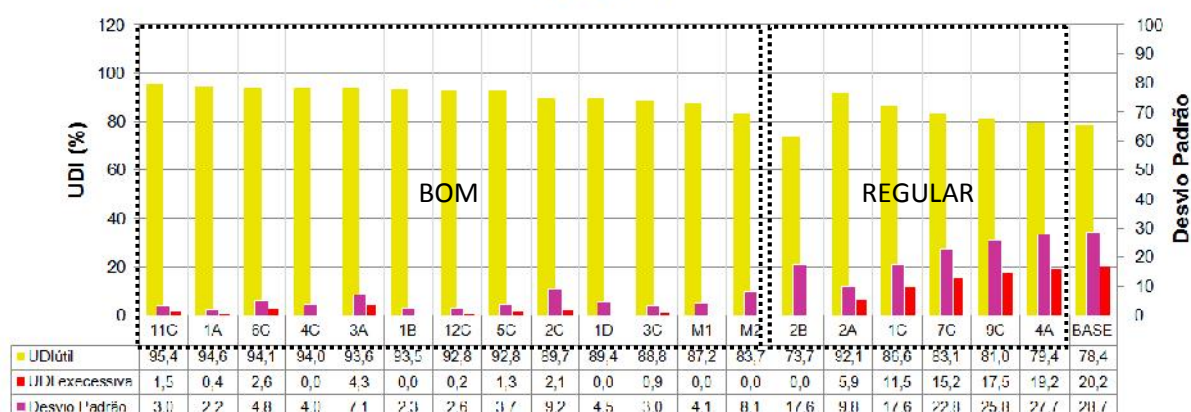
distribuição das faixas do UDI (figura 106), constata-se um comportamento da iluminação natural no 7C oposto ao do 2B.

**Figura 106** – Gráficos da distribuição dos valores das faixas do UDI em relação a profundidade - Conjunto 01 fachada Sul.



Para a orientação Sul, os maiores valores de UDIútil com uma melhor distribuição foi observado no plano de trabalho do modelo 11C, seguido do 1A. Este dado pode ser conferido no gráfico com a classificação da performance dos modelos (figura 107).

**Figura 107** – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação a iluminação natural - Conjunto 01 fachada Sul.  
SUL (195°)



A fachada Sul apresentou a menor porcentagem de modelos classificados com desempenho regular. Dos 19 modelos apenas, 6 foram inseridos dentro desta faixa, representando 31,6% do total. Destes 6, apenas 2 obtiveram média do UDIútil dentro do intervalo que define o limite da faixa regular. Os outros 4 modelos foram considerados com desempenho regular por apresentar valor do UDIexcessivo acima de 5%, já que os UDIútil destes modelos estavam acima do parâmetro adotado. O restante, 68,4%, obteve uma performance boa, segundo os critérios utilizados.

Em relação ao desempenho das soluções M1 e M2, pela primeira vez o M2 se encontra em uma posição inferior ao M1, porém com resultados próximos. O que pôde se observar dos gráficos da distribuição das faixas do UDI, é que no caso do M2, foi verificado um aumento dos valores de UDIinsuficiente no fundo do ambiente, conseqüentemente uma diminuição dos valores do UDIútil nesta região da sala.

### 3.7.5.2. Conjunto 02

Na avaliação das soluções que representam a situação identificada no levantamento de campo, observa-se a presença de três tipologias: horizontal (beiral ou marquise, horizontal (brises) e cobogó. Nenhuma proteção utilizando o sistema misto foi constatada nas edificações orientadas para o Sul (195°), contrariando o resultado da classificação dos modelos do conjunto de análise 01, onde a tipologia mista mostrou ser uma solução eficiente para esta orientação, inclusive o modelo (11C) que obteve o melhor desempenho é composto por elementos horizontais e verticais.

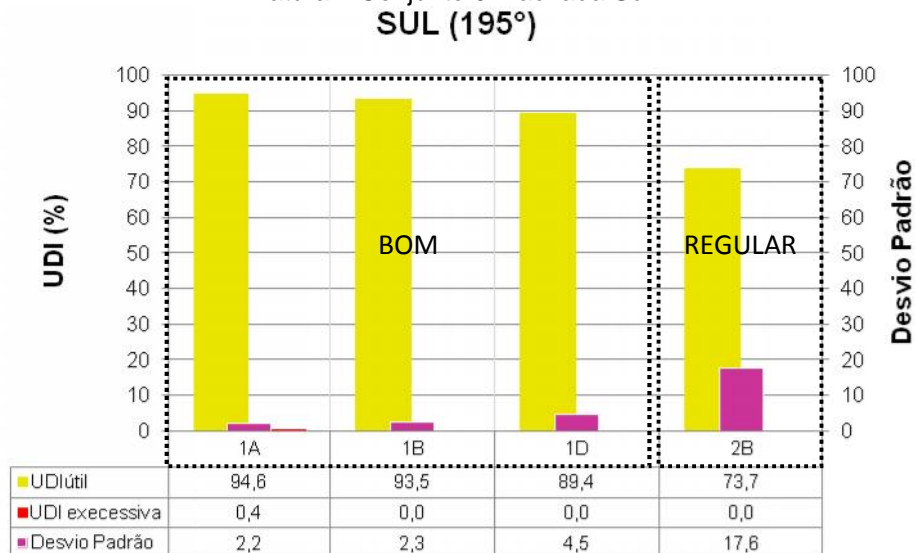
No entanto, as proteções que fazem parte da realidade encontrada no campus I da UFPB (1A, 1B, 2B e 2D) apresentaram boa proteção da zona de desconforto identificada para a fachada Sul.

Dentre os modelos presentes neste conjunto de análise, tem-se apenas o modelo 1D com percentual de sombreamento superior ao valor adotado como referência (99,8%) para esta fachada. As soluções inseridas nos modelos 1A e 1B geraram valores acima de 85% e a do 2B próximo de 50%.

Quanto maior o sombreamento gerado fora do percurso solar, maior o valor do  $UDI_{insuficiente}$  no fundo da sala. Neste sentido, observa-se, a partir dos gráficos da relação da distribuição dos valores do  $UDI$  com a profundidade da sala, que a solução de proteção solar presente no 2B resultou em um ambiente com contrastes maiores, devido a má distribuição da luz natural. Os modelos 1A e 1B apresentaram resultados semelhantes, mas a solução do 1B obteve uma maior uniformidade na distribuição dos valores do  $UDI_{útil}$ , com um desvio padrão de 2,3, já o do 1D foi de 4,8. O único modelo que gerou valores de  $UDI_{excessivo}$  foi o 1A, onde foi constatado 2,6% de  $UDI_{excessivo}$  apenas na primeira linha de pontos do plano de análise.

Deste conjunto de análise, apenas um (2B) foi classificado como regular (25%) por apresentar média do  $UDI_{útil}$  abaixo de 80%. Os outros três obtiveram um bom desempenho, sendo o 1A o melhor de todos, apresentando em 94,6% do ano níveis de iluminância dentro do intervalo da faixa útil (100-2000lux) e o menor desvio padrão, o que corresponde a uma menor variação dos valores do  $UDI_{útil}$  no ambiente (figura 108).

**Figura 108** – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação a iluminação natural - Conjunto 02 fachada Sul.



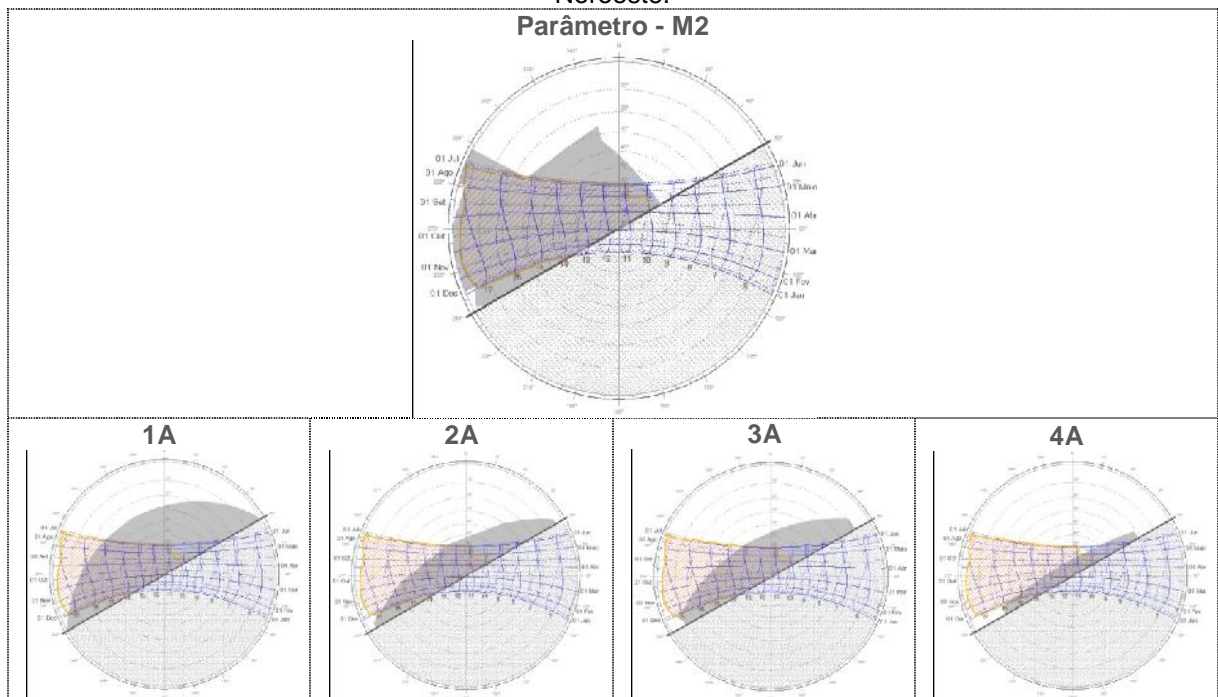
### 3.7.6. Fachada Noroeste (330°)

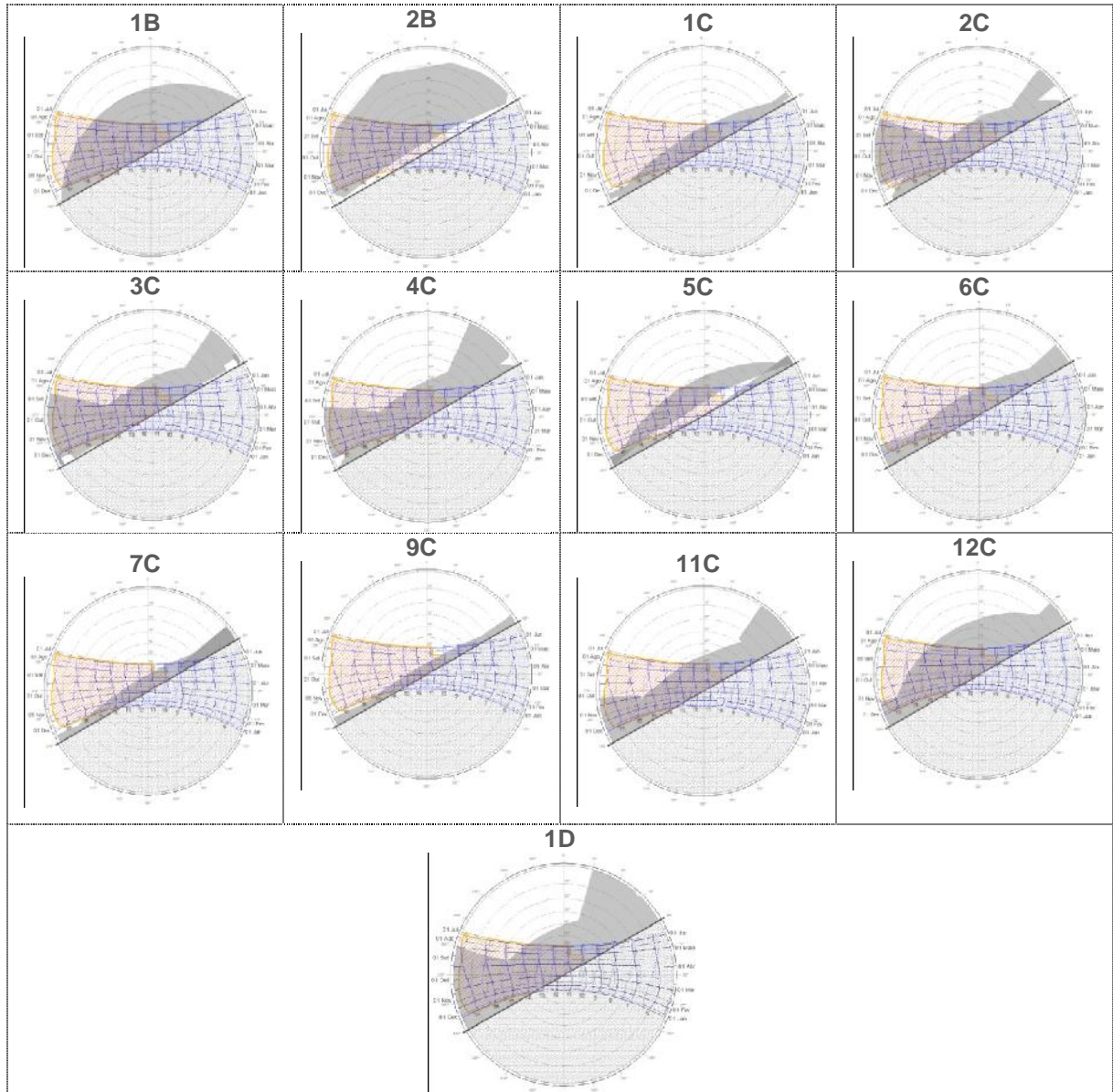
A fachada Noroeste (330°) por apresentar, predominantemente, incidência solar direta no período da tarde, onde as temperaturas se encontram mais elevadas, possui zona de desconforto em praticamente todos os períodos do percurso solar visível. Apenas em alguns horários pela manhã nos meses de Maio, Junho, Julho e Agosto não houve necessidade de proteção solar. A seguir estão os resultados obtidos pelos modelos do conjunto de análise 01.

#### 3.7.6.1. Conjunto 01

Pode-se observar no diagrama do M2 que máscara de sombreamento considerada como parâmetro fornece um sombreamento total da abertura do período que vai das 10h00min da manhã até as 17h00min durante todo o ano, permitindo a incidência direta da luz solar apenas nos horários antes das 10h00min nos meses de Abril, Maio, Junho, Julho e Agosto.

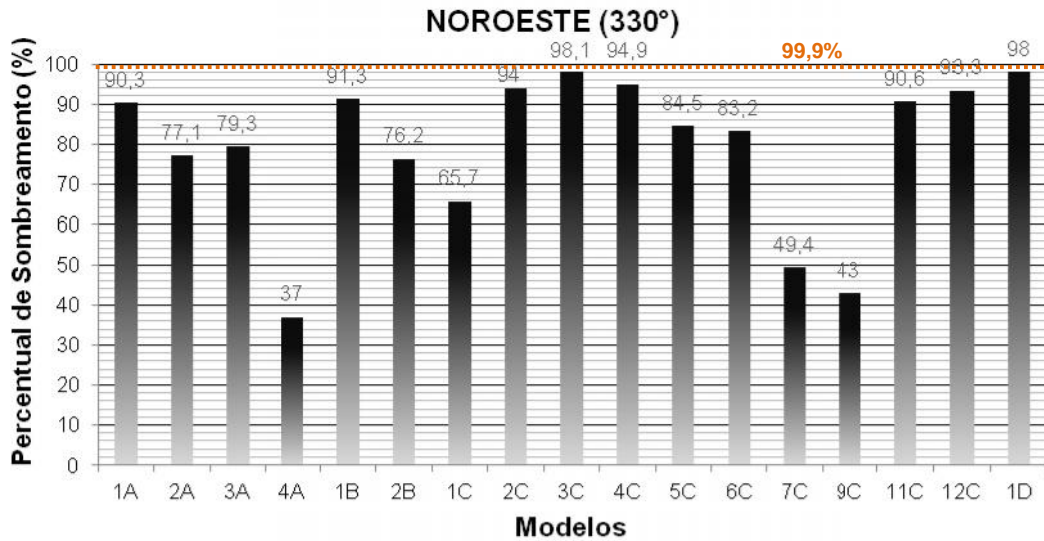
**Figura 109** – Análise gráfica através diagramas do período de sombreamento - Conjunto 01 fachada Noroeste.





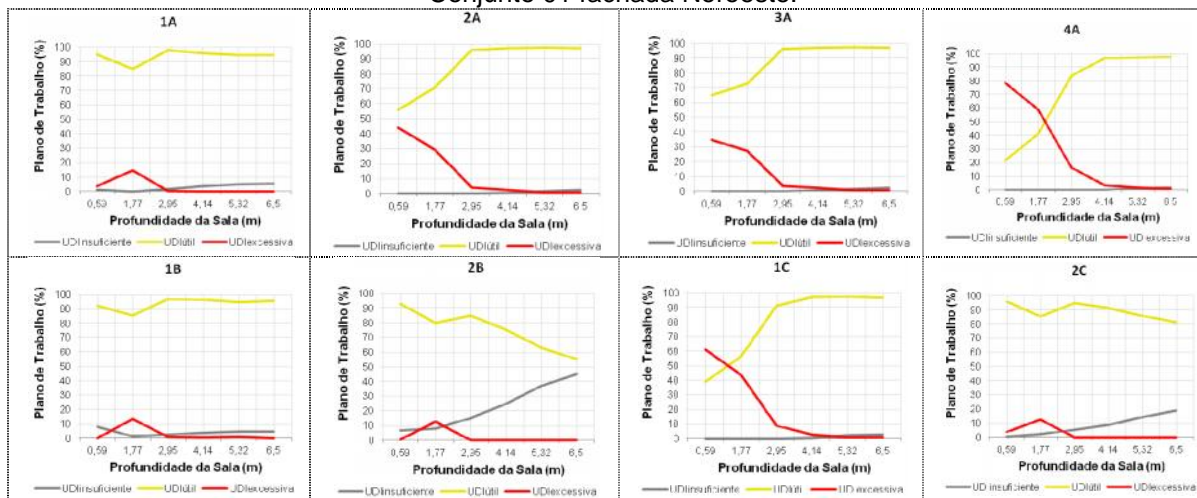
A máscara de sombreamento da solução de proteção solar que mais se aproximou daquela gerada pelo M2 foi a do modelo 3C, seguida de perto pelo 1D, que pôde ser confirmada através do valor do percentual de sombreamento (figura 110). No entanto, nenhuma solução conseguiu uma proteção 100% do período onde foi apontada a necessidade de sombreamento, e isto pode ser visto também na figura 110, onde nenhum modelo conseguiu atingir o valor adotado como parâmetro. Algumas soluções obtiveram um desempenho muito baixo, não conseguindo sombrear nem metade da abertura durante o ano, como por exemplo, os modelos 4A, 7C e 9C.

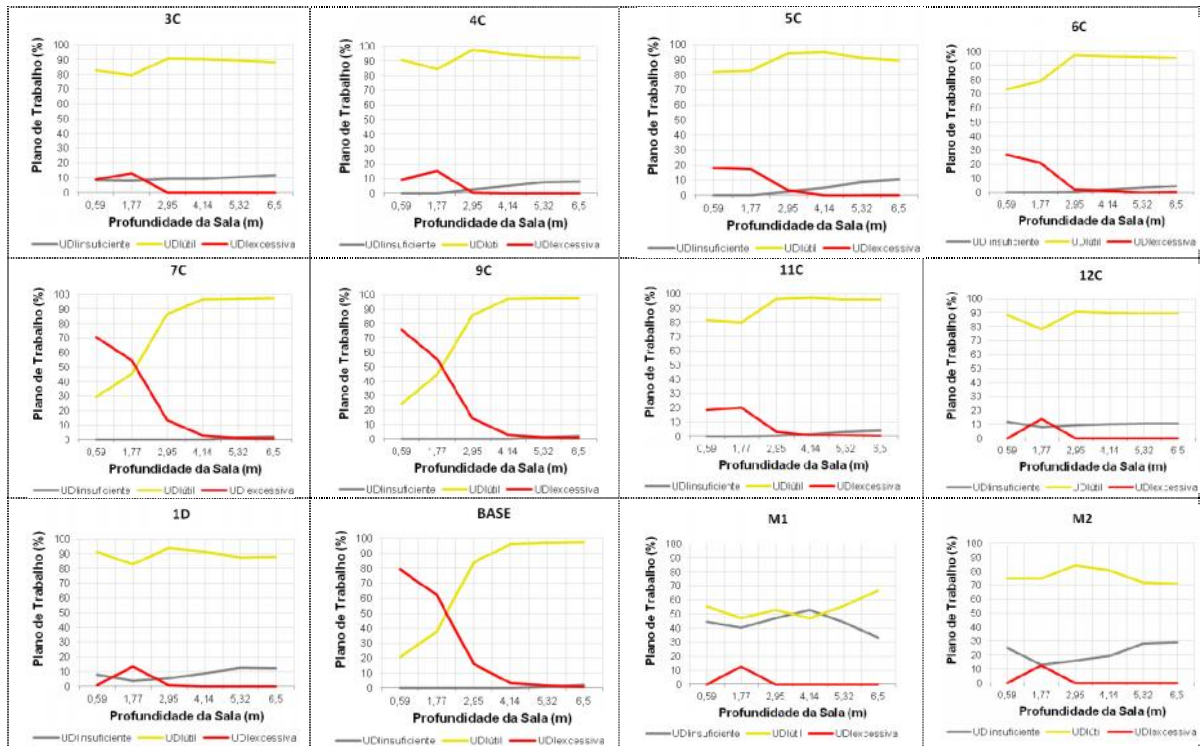
Figura 110 – Gráfico do desempenho do sombreamento dos modelos para a fachada Noroeste - Conjunto 01.



Observa-se na figura dos diagramas das máscaras de sombreamento que várias soluções permitiram que houvesse incidência solar direta em grande parte da zona de desconforto, o que resultou em altos níveis de iluminância nos ambientes destes modelos (figura 111). Em alguns modelos este valores foram observados em níveis mais altos perto da abertura e decrescendo a medida que se distancia da janela. Outros apresentaram valores de  $UDI_{\text{excessivo}}$  baixo em todo o ambiente e apenas na segunda linha de pontos do plano de análise, distante 1,77m da abertura, uma incidência direta da luz solar mais intensa, como por exemplo os modelos 1A, 1B, 2B, 2C, 1D, M1 e M2.

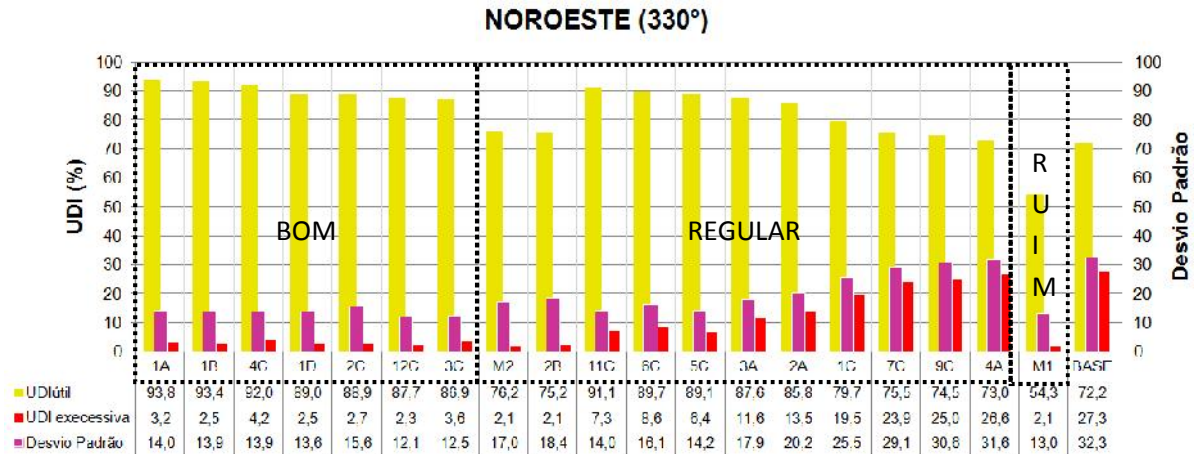
Figura 111 – Gráficos da distribuição dos valores das faixas do UDI em relação a profundidade - Conjunto 01 fachada Noroeste.





Em alguns modelos também foram constatados altos níveis de iluminação abaixo de 100lux no espaço, como o 2B e o 2C que tiveram valores de  $UDI_{insuficiente}$  aumentando em direção ao fundo da sala, chegando a atingir, na última linha de pontos, quase 50% do ano com níveis de iluminação menores que 100 lux. Os modelos M2 e M1, apesar de terem sido projetados com base nos dados climáticos do local, apresentaram desempenho regular e ruim, respectivamente, devido aos valores altos de  $UDI_{insuficiente}$ . A classificação destes modelos pode ser observada no figura 112, onde o 1A obteve o melhor desempenho com  $UDI_{útil}$  de 93,8% e  $UDI_{excessiva}$  de 3,2%. No geral, foram classificados como bom 36,8%, 57,9% como regular e 5,3% como ruim. Com este resultado a fachada Noroeste foi onde as soluções identificadas no levantamento obtiveram os piores desempenhos, evidenciando a dificuldade de projetar elementos de proteção solar nesta fachada.

**Figura 112** – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação à iluminação natural - Conjunto 01 fachada Noroeste.



**3.7.6.2. Conjunto 02**

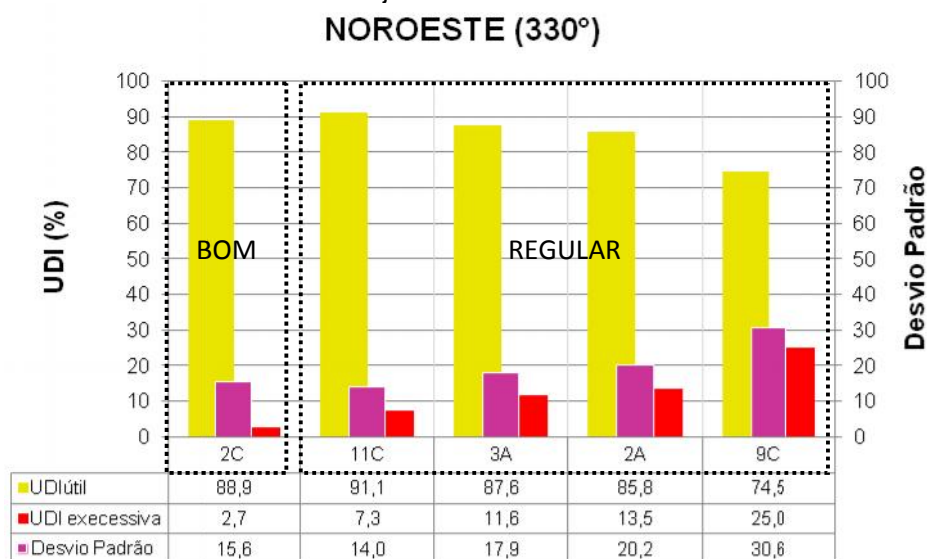
De todos os modelos construídos, apenas cinco se encontram voltados para o Noroeste (330°), são eles: 2A, 3A, 2C, 9C e 11C. O desempenho das soluções de proteção destes modelos, em relação à eficiência de sombreamento da zona de desconforto, podem ser observados nos diagramas que mostram a sobreposição das máscaras de sombreamento dos modelos sobre o período de necessidade de proteção solar para esta fachada.

O modelo 2C apresentou um melhor desempenho, com sombreamento maior da área da trajetória solar. Este fato é refletido no percentual de sombreamento, onde o 2C obteve o maior valor, com 94% da abertura sendo protegida ao longo do ano, seguido do 11C, com 90,6%.

Observa-se que todos os modelos, exceto o 2C, apresentaram valores de iluminância acima de 2000lux na área mais próxima da abertura, gerando para o espaço médias de  $UDI_{excessivo}$  acima de 5%, o que fez com que o 11C, 3A e o 2A fossem rebaixados. Desta forma, para a fachada Noroeste, considerando o conjunto de análise 02, 20% foi o resultado da classificação dos modelos para a faixa boa e 80% para a regular (figura 113).



**Figura 113** – Gráfico da classificação dos modelos segundo o desempenho em relação à iluminação natural - Conjunto 02 fachada Noroeste.

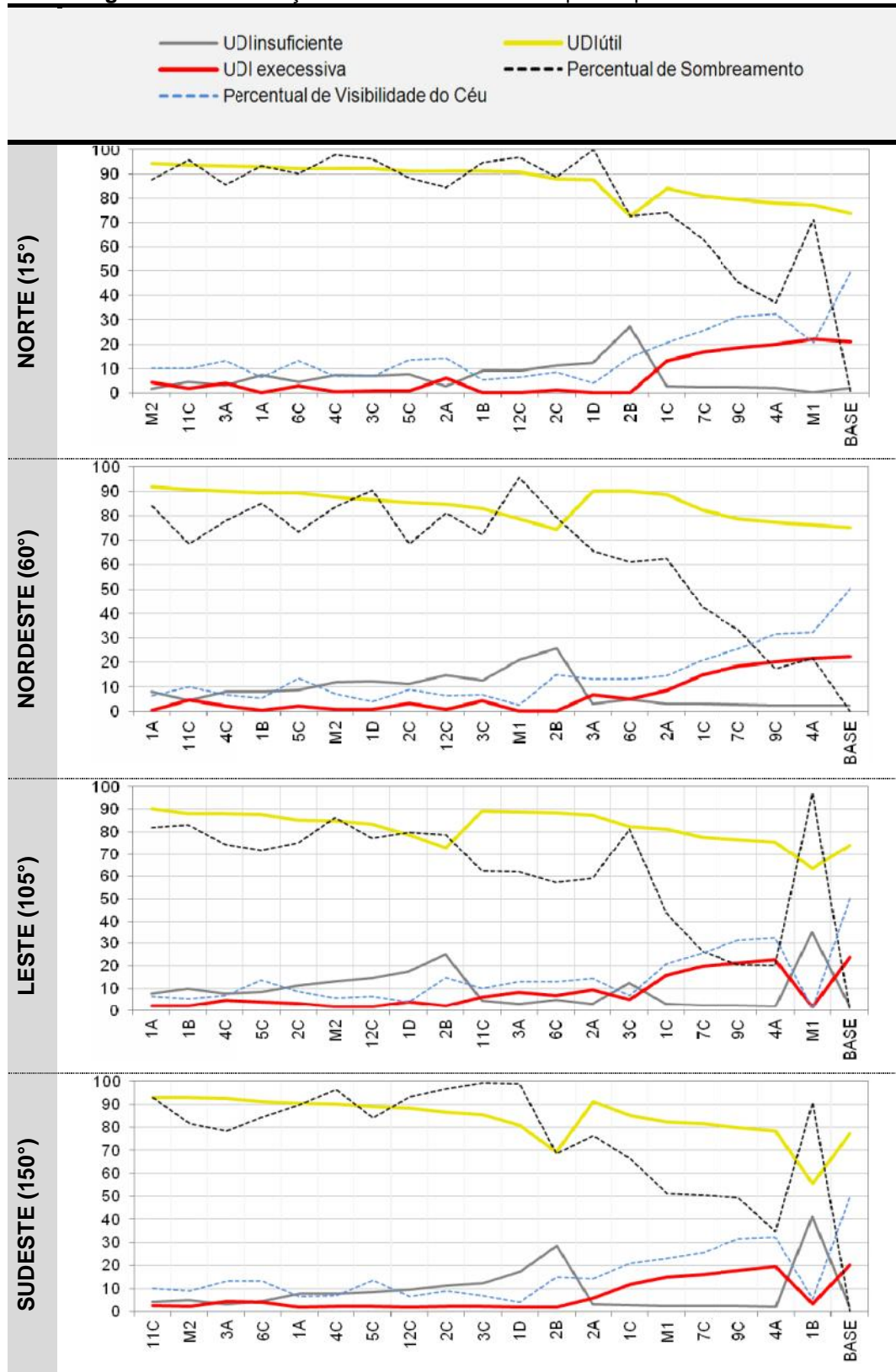


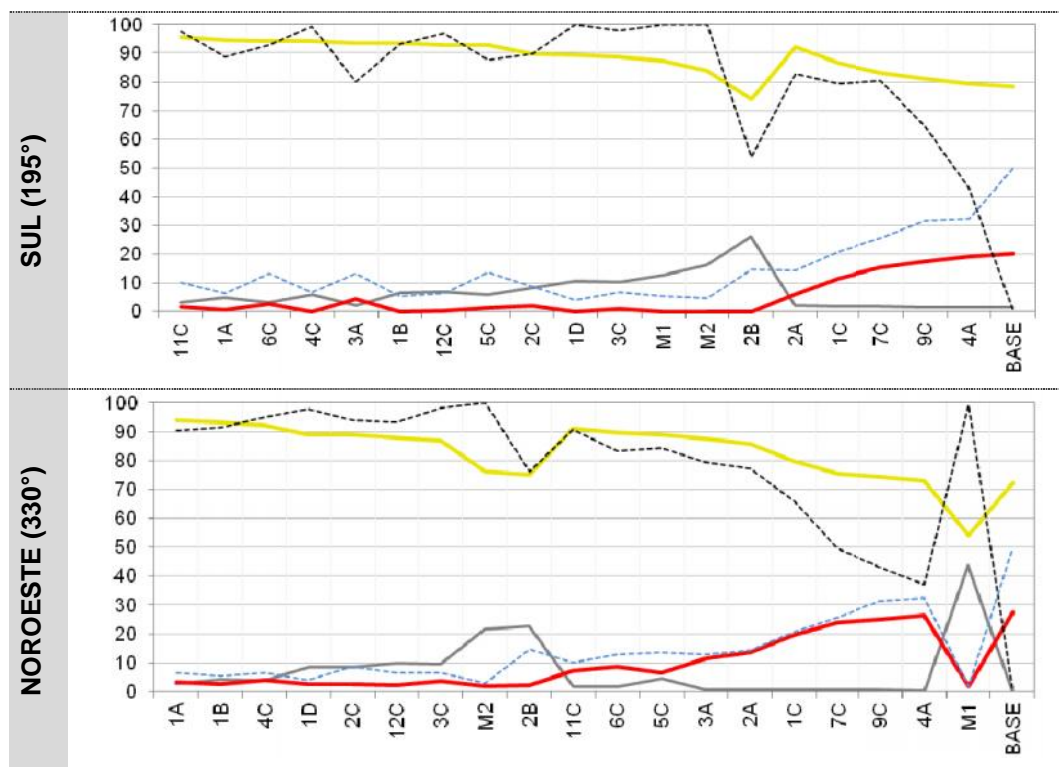
### 3.8. CORRELAÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO

Nesta última etapa da análise dos resultados, procurou-se correlacionar as medidas de desempenho utilizadas na avaliação do sombreamento e da iluminação natural com a medida do percentual de visibilidade da abóbada celeste, obtida no momento da geração das máscaras de sombreamento e que está ligada à performance da iluminação natural.

Foi observado neste trabalho que existe uma relação inversa entre o percentual de sombreamento e o percentual de visibilidade da abóbada celeste que influencia diretamente o desempenho da iluminação natural. No entanto, não foi possível quantificar esta relação, uma vez que não foram utilizados modelos paramétricos, e sim configurações de soluções identificadas em casos reais. Mesmo assim, através dos resultados das simulações, pôde-se constatar que o comportamento do  $UDI_{insuficiente}$  segue a tendência das mudanças de valores do percentual de sombreamento e a linha do  $UDI_{excessivo}$  reflete as variações do percentual de visibilidade da abóbada celeste. Todavia, observa-se um certo limite do  $UDI_{excessivo}$ , onde mesmo com o valor máximo do percentual de visibilidade do céu, correspondente ao modelo base, houve uma resistência em ultrapassar 25% de  $UDI_{excessivo}$  (figura 114).

Figura 114 - Correlação das medidas de desempenho para cada fachada.





Outro fato observado nos gráficos da figura 114 foi que existe para cada fachada uma relação ideal do percentual de sombreamento com o percentual de visibilidade do céu, que permite a criação de espaços com uma distribuição uniforme dos altos valores de  $UDI_{\text{útil}}$ , ao mesmo tempo baixos  $UDI_{\text{excessivo}}$  e  $UDI_{\text{insuficiente}}$ . De forma geral, esta relação pôde ser obtida através da média dos valores do percentual de sombreamento e do percentual de visibilidade do céu dos modelos classificados como bons, que foi de 88,7% e 8,1% respectivamente.

É interessante destacar a influência da orientação no comportamento da iluminação natural e que valores iguais da relação dessas medidas não garantem resultados iguais, tendo em vista a maior e menor exposição à luz solar e as variações dos ângulos de incidência para cada orientação. Este fato pode ser observado através do desempenho do modelo base para cada fachada. O modelo base não contém nenhum tipo de proteção solar, obtendo desta forma 0% de sombreamento e 50% de visibilidade do céu, uma vez que só se consegue enxergar metade da abóbada celeste a partir do plano da abertura. A partir dos gráficos acima, pôde-se observar que a abertura, quando orientada para Noroeste (330°), apresentou o pior desempenho em relação à iluminação natural dentre todas as orientações analisadas, com o maior  $UDI_{\text{excessivo}}$  e o menor  $UDI_{\text{útil}}$ . A fachada orientada para Sul (150°) gerou os melhores resultados. Esse resultado pode ser

justificado pelo fato da fachada Sul apresentar uma incidência solar menor, como pode ser observado na carta solar para a cidade de João Pessoa.

## 4 - CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo geral verificar a eficiência de proteções solares encontradas em edificações de salas de aula no campus I da Universidade Federal da Paraíba, no que diz respeito ao sombreamento e à iluminação natural.

A abordagem deste tema teve a intenção de mostrar a complexidade que envolve o desenho de elementos de proteção solar. Apoiado numa visão holística, vários princípios técnicos foram considerados e destacados, demonstrando que o adequado desempenho dos elementos de proteção solar está associado ao domínio dos conceitos da geometria solar, da radiação solar, do sombreamento e da iluminação natural.

Considerando que o projeto arquitetônico para regiões de clima tropical, o desenho dos fechamentos verticais deve atender a vários requisitos e interesses, entre eles a necessidade de sombreamento de aberturas e admissão e distribuição luminosa no ambiente interno, e que muitas vezes as soluções adotadas geram resultados contrários em relação a alguns destes requisitos, foi analisado um conjunto de soluções de proteção solar, identificadas no estudo de caso, visando perceber com maior detalhe o equilíbrio entre o desempenho do sombreamento e a performance da iluminação natural.

Na análise das soluções de proteção solar foram utilizadas medidas de desempenho para avaliar a eficiência dos modelos em relação ao sombreamento e à iluminação natural, são elas: percentual de sombreamento, percentual de visibilidade do céu e *useful daylight illuminances* (UDI).

A pesquisa se iniciou com o levantamento de campo que visou identificar os tipos de elementos de proteção solar utilizados e a sala de aula padrão do campus I da UFPB. As informações observadas in loco foram utilizadas para a construção dos modelos a serem simulados. Foram construídos vinte modelos, contando com o modelo base que representa a sala de aula padrão sem proteção solar, porém, apenas 18 foram analisados, pois, após um conjunto de simulações iniciais, constatou-se que três modelos (8C, 9C e 10C) apresentaram resultados muito semelhantes.

A utilização das simulações computacionais mostrou-se bastante satisfatória e possibilitou a realização das avaliações pretendidas. O software *Ecotect* foi útil na

geração, a partir do arquivo climático TRY, dos diagramas da distribuição da incidência da radiação solar direta, utilizados no método 02 na etapa da identificação do período de necessidade de proteção solar (zona de desconforto) das fachadas. O uso destes diagramas, ao invés daquele indicado na metodologia de Pereira e Souza (2008), resultou em informações mais coerentes com a realidade local, o que favoreceu no projeto de proteções solares mais eficientes. As soluções projetadas (M2) baseadas nos dados gerados pelo método 02 obteve em 05 das 06 orientações analisadas melhor desempenho da iluminação natural quando comparadas àquelas (M1) baseadas no método 01.

O *Solar Tool*, utilizado na análise do desempenho do sombreamento, mostrou ser uma ferramenta computacional de fácil utilização e eficaz na avaliação da eficiência de proteções solares, oferecendo vários instrumentos de avaliação, como por exemplo: visualização da penetração solar, máscara de sombreamento parcial e total, carta solar com a distribuição dos percentuais de sombreamento ao longo do ano e tabelas com os valores desta medida para cada mês, para as estações do inverno e verão e para o ano. No entanto, apresentou limitações em relação à confecção de algumas formas de elementos de proteção solar e na distribuição destes elementos na fachada.

Assim como o *Solar Tool*, o *Daysim* mostrou ser uma ferramenta de fácil aprendizado e utilização. A única deficiência observada foi o fato de não haver possibilidade de alterar os intervalo das faixas do UDI.

Com os resultados do modelo base, pôde-se observar a influência da orientação na iluminação natural. A fachada Sul, seguida pela Sudeste e Norte, foi a que resultou em um melhor desempenho da iluminação natural, com UDI<sub>útil</sub> de 78,4%. Porém, apesar deste valor ser considerado, segundo os critérios adotados, como regular, a uniformidade da distribuição do UDI<sub>útil</sub> no ambiente foi, em geral, a pior em relação aos modelos com proteção solar. O pior desempenho da iluminação natural foi detectado quando o modelo base foi orientado para o Noroeste, com altos valores de UDI<sub>excessivo</sub>, seguido da Leste.

Comparando o desempenho das proteções solares nas orientações para as quais foram projetadas com o desempenho em situações hipotéticas (outras orientações), constatou-se que 76,5% dos modelos obtiveram melhores valores de UDI<sub>útil</sub> quando avaliadas em orientações diferentes daquelas identificadas na realidade. Somente os modelos 1A, 1B, 4C e 1D tiveram seus melhores

desempenhos nas orientações para as quais foram projetadas, já os elementos de proteção solar presentes nos modelos 2A, 3A, 4A, 2B, 1C, 2C, 3C, 5C, 6C, 7C, 9C, 11C e 12C foram mais eficientes em orientações diferentes daquelas encontradas no levantamento de campo.

Em relação às medidas de desempenho utilizadas nesta pesquisa, pôde-se observar que o percentual de sombreamento não é suficiente para afirmar se um sombreamento é eficaz ou não. A análise apenas a partir do percentual de sombreamento pode gerar conclusões equivocadas, uma vez que um mesmo valor pode corresponder a máscaras de sombreamento diferentes, conseqüentemente proteções de períodos diferentes. Neste sentido, é necessário considerar na avaliação as máscaras de sombreamento e o período de necessidade de proteção solar para auferir um diagnóstico mais preciso e claro. Foram constatadas na pesquisa situações em que modelos com máscaras de sombreamento diferentes geraram percentuais de sombreamento semelhantes, como foi o caso dos modelos 1B e 3C, quando orientados para Leste.

Outro fator relacionado com esta medida e que merece algumas considerações, foi a utilização do percentual de sombreamento dos modelos (M1 ou M2) considerados como referência. Apesar destes modelos terem sido dimensionados para proteger 100% a zona de desconforto, que foi identificada levando em consideração dados climáticos do local, este parâmetro não mostrou ser um bom indicador para afirmar se uma proteção gera sombreamento em excesso ou insuficiente. Foram observados nos resultados obtidos valores que indicavam aparentemente um sombreamento adequado, sem excessos, mas que na verdade, ao analisar o diagrama com a sobreposição da máscara de sombreamento sobre a zona de desconforto, foi possível visualizar sombreamentos em excesso em alguns meses e horários e insuficiente em outros. Como o sombreamento em excesso compensa o sombreamento insuficiente, o valor gerado do percentual de sombreamento, nestes casos, se aproximou do valor tido como referência, levando a crer que a solução apresentava um bom sombreamento.

Outra medida de desempenho utilizada foi o *useful daylight illuminances* (UDI) com suas faixas de classificação: insuficiente (<100lux), útil (100-2000lux) e excessiva (>2000lux). No entanto, para a classificação do desempenho dos modelos em faixas de desempenho foi utilizado apenas o UDI<sub>útil</sub> e o UDI<sub>excessivo</sub>. Como não há ainda nenhuma norma ou regulamento que estipule faixa de valores de UDI a

serem alcançados, decidiu-se utilizar critérios adotados em trabalhos anteriores. Em geral, os modelos obtiveram desempenhos bons nas diversas fachadas, como pode ser visto na tabela a seguir.

**Tabela 43** - Percentagens dos modelos classificados com desempenho bom para cada orientação analisada.

	<b>Conjunto 01</b> (todos os modelos - situação hipotética)		<b>Conjunto 02</b> (situação real)	
	Nº de Modelos Analisados	% Modelos Classificados com Desempenho Bom	Nº de Modelos Analisados	% Modelos Classificados com Desempenho Bom
<b>Norte</b>	19	63%	03	67,6%
<b>Nordeste</b>	19	52,6%	04	75%
<b>Leste</b>	19	36,8%	02	50%
<b>Sudeste</b>	19	57,9%	08	50%
<b>Sul</b>	19	68,4%	04	75%
<b>Noroeste</b>	19	36,8%	05	20%

Apenas nas fachadas Leste e Noroeste o percentual de modelos com classificação bom ficou abaixo de 50%, sendo que na Noroeste esta situação foi observada nos dois conjuntos de análise. Isto demonstra a dificuldade de projetar proteções solares para aberturas voltadas para esta orientação, na cidade de João Pessoa.

Dentre as tipologias de proteções solares analisadas, a horizontal (beiral ou marquise) foi a que obteve melhor resultado nas fachadas Norte (15°), Nordeste (60°), Leste (105°) e Noroeste (330°) e nas demais orientações esteve em segundo lugar. Estes resultados indicam que no mínimo uma proteção horizontal deveria ser uma solução obrigatória nas edificações projetadas para a cidade de João Pessoa, posto que, este tipo de proteção sempre apresentou melhor desempenho que o modelo base (sem proteção). Já nas fachadas Sudeste (150°) e Sul (195°), a tipologia composta por elementos verticais e horizontais (mista) apresentou melhor desempenho.

A terceira medida de desempenho utilizada foi o percentual de visibilidade do céu. Na análise conjunta desta medida com os resultados de desempenho do sombreamento e da iluminação natural, foi observada a influência que a relação do percentual de sombreamento com o percentual de visibilidade do céu exerce na performance da iluminação natural. Constatou-se que, apesar de não ter sido realizado um estudo com modelos parametrizados, é possível observar uma tendência de comportamento e a influência que tanto o percentual de sombreamento como o percentual de visibilidade do céu tem sobre as faixas do UDI. O efeito da



variação do percentual de sombreamento é mais clara e mais forte sobre a faixa do UDI<sub>insuficiente</sub> (<100lux), já o percentual de visibilidade do céu exerce uma influência maior no UDI<sub>excessivo</sub>, ou seja, quanto maior foi o percentual de visibilidade de determinado modelo, maiores foram os valores de iluminância acima de 2000lux, porém não foi possível com este trabalho identificar a relação exata entre estas variáveis.

O que pôde-se observar, considerando os limites desse trabalho, foi que para cada orientação analisada existe uma relação ideal do percentual de sombreamento com o percentual de visibilidade do céu para obter um bom desempenho da iluminação natural. Esta relação ocorreu, em geral, quando 8,1% da abóbada celeste visível se encontrou visível a partir do plano da janela e 88,7% da abertura estava sombreada. Na tabela abaixo, encontram-se os limites do percentual de sombreamento e do percentual de visibilidade do céu relacionados aos modelos classificados dentro da faixa de desempenho boa, e também a média desses limites.

**Tabela 44** – Limites e médias dos valores do percentual de sombreamento e do percentual de visibilidade do céu encontrados nos modelos classificados com desempenho bom.

	Percentual de Sombreamento (%)		Percentual de Visibilidade do Céu (%)	
	Intervalo <sup>(1)</sup> (%)	Média <sup>(2)</sup> (%)	Intervalo <sup>(1)</sup> (%)	Média <sup>(2)</sup> (%)
<b>Norte</b>	84,3 - 100	92,2	14,4 - 4,0	9,1
<b>Nordeste</b>	68,3 - 90,3	78,5	13,6 - 4,0	7,5
<b>Leste</b>	71,8 - 86,2	78,5	13,6 - 5,5	7,6
<b>Sudeste</b>	78,4 - 99,1	90,5	13,6 - 4,0	8,9
<b>Sul</b>	80,0 - 99,9	94,1	13,6 - 4,0	8,0
<b>Noroeste</b>	90,3 - 98,1	94,3	8,8 - 4,0	6,4

(1) Valor mínimo e máximo da medida de desempenho gerada pelos modelos com desempenho bom.

(2) Média da medida de desempenho gerada pelos modelos com desempenho bom.

A utilização destes limites não é garantia de um bom desempenho da iluminação natural, acredita-se contudo, que há uma grande probabilidade de sucesso. Existem outros fatores que podem contribuir negativamente ou positivamente no desempenho da iluminação natural no ambiente interno das edificações, como por exemplo: características ópticas do material da proteção solar, refletância das superfícies do ambiente, obstruções do entorno, entre outras.

Diante disso, colocam-se como sugestões para trabalhos futuros as seguintes abordagens:

- Realizar estudos com modelos paramétricos para identificar com maior precisão a relação do percentual de sombreamento e do percentual de visibilidade do céu no comportamento da luz natural no ambiente

construído. Tabelas, equações ou gráficos abordando as duas variáveis poderiam servir como parâmetros regulatórios em normas e recomendações de auxílio ao projeto;

- Relacionar o consumo de energia e o desempenho térmico com os resultados obtidos;
- Explorar o uso de outra medida de estimativa de luz natural, como por exemplo, o *Daylight Autonomy* (DA), que está relacionado com o consumo de energia;
- Elaboração do arquivo climático TRY para a cidade de João Pessoa.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

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.

ANDERSEN, M.; BODART, M.; KLEINDIENST, S. **Graphical Representation of Climate-Based Daylight Performance to Support Architectural Design**. Leukos, Volume 5, Nº 1, 2008.

ARAÚJO, V. M. D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares**. Natal: EDUFRN: Editora da UFRN, 2001.

ARAÚJO, V.M.D.; ARAÚJO, E. H. S.; MARTINS, T. L. F. **Dias climáticos típicos para o projeto térmico de edificações em Natal/RN**. Natal: EDUFRN – Editora da UFRN, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15215-1: Iluminação Natural - Parte 1: conceitos básicos e definições**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-2: Iluminação Natural – Parte 2: procedimento de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-3: Iluminação Natural – Parte 3: procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-4: Iluminação Natural – Parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações. Método de medição**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro: 2005b.

\_\_\_\_\_. **NBR 5413: Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, 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.

BASSO, Admir, ARGOUT, Daniel Matoso. **Avaliação do desempenho de sistemas de controle de insolação e sua interferência na iluminação natural**. In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC, 1997.

BERTOLOTI, D. **Iluminação natural em projetos de escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia.** Dissertação de mestrado. FAUUSP. 2007

BITTENCOURT, L. S. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos.** 4ª ed. Edufal, Maceió, 2004.

BOGO, A. J. **Método para avaliação da admissão de luz natural através de aberturas com elementos de controle solar.** Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC. Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

BSI - British Standard Institution. **BS EN 15251 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.** London, UK. 2007.

CABÚS, R. C. **Tropical daylighting: predicting sky types and interior illuminance in north-east Brazil.** Tese de doutorado. School of Architectural Studies. 2002.

CAPELUTO, G.I. **The influence of the urban environment on the availability of the daylighting in office buildings in Israel.** Buildings and Environment, v. 38, 2003.

CANTIN, F.; DUBOIS, M.-C. **Daylighting metrics based on illuminance, distribution, glare and directivity.** Lighting Research & Technology, Vol. 43, Nº 2, 2011.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. **Processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações .** AET Nº 02/04 - Elaboração de Regulamentação e Classificação de Edificações Eficientes. Relatório LabEEE.2005.Disponível em <[http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos\\_climaticos/RT200504.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/RT200504.pdf)> Acesso em 26/08/2011.

CARVALHO, H. J. M. **Parâmetros climatológicos para o estudo do balanço termo-energético de edificações da cidade de João Pessoa-PB.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2001.

CIE - COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **Spatial distribution of daylight - CIE standard general sky.** in: ISO15469. 2004.

CHPS - The Collaborative For High Performance Schools. **National best practices manual for building high performances schools.** 2002. Disponível em: <<http://www.chps.net/manual/index.htm>>. Acesso em: 16 nov. 2010.

CLARO, A.; DÍAZ, L.A.; CUNHA, A.V.L.; RAMOS, G. **Comparação dos níveis de iluminação obtidos através de simulações computacionais no software Apolux,**

**usando os 15 modelos de céu adotados pela CIE.** Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2010.

COMITÊ GESTOR DE INDICADORES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA et al. **Manual de Aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C.** Eletrobrás, 2009a.

\_\_\_\_\_. **RTQ-C. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.** 2009b.

\_\_\_\_\_. **RTQ-R. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficência Energética de Edifícios Residenciais.** 2010.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos.** Rio de Janeiro: Revan, 2003.

DIDONÉ, E. L. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC.** Dissertação de mestrado. UFSC. 2009.

DIDONÉ, E.L.; PEREIRA, F.O.R. **Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações.** Ambiente Construído, Vol. 10, nº4, Porto Alegre, 2010.

DÍAZ, L. A. **Ensaio metodológico de avaliação do desempenho de janelas e dispositivos de sombreamento, na integração entre iluminação natural e conveniência da incidência solar, nas fases iniciais do projeto.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

FERNANDES, A. M. C. P. **Arquitetura e Sombreamento: parâmetros para a região climática de Goiânia.** Dissertação de mestrado. Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

FIUZA, J. M. **Influência de elementos de proteção solar horizontais aplicados a abertura laterais, na admissão e distribuição da luz natural.** Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

FONSECA, R. W. **Iluminação natural: a contribuição de suas reflexões no interior do ambiente construído.** Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP, Nº 28, São Paulo, 2010.

FROTA, A.; SCHIFFER, S. **Manual de conforto térmico.** 5 ed. Sao Paulo: Studio Nobel, 2001.

FRANDOLOSO, M.A.L. **Critérios de projeto para escolas fundamentais bioclimáticas.** Dissertação de mestrado. Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GALASIU, A. D.; REINHART, C. F. **Current daylight design practice: a survey.** Building Research & Information, volume 36, issue 2, 2008.

GUTIERREZ, G.; LABAKI, L. **Avaliação do desempenho térmico de três tipologias de brise-soleil fixo.** VII Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído - ENCAC, 2005.

HESCHONG L.; LEE E.S.; MARDALJEVIC J. **Daylight metric and energy savings.** Lighting Research & Technology, Volume 41, nº3, 2009.

HESCHONG MAHONE GROUP. **Daylighting in schools: an investigation into the relationship between daylighting and human performance.** Fair Oaks, California: Pacific Gas and Electric Company, agosto de 1999.

HOPKINSON, R.G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação Natural.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.

HOLANDA, Armando de. **Roteiro para construir no Nordeste.** Recife: UFPE, 1976.

HO, Ming-Chin; CHIANG, Che-Ming; CHOU, Po-Cheng; CHANG, Kuei-Feng; LEE, Chia-Yen. **Optimal sun-shading design for enhanced daylight illumination of subtropical classrooms.** Energy and Building, Vol.40, Issue 10, 2008.

IESNA - ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **Lighting Design Handbook.** 9ª edição. New York: IESNA, 2000.

KAFTAN, E. **The cellular method to design energy efficient shading form to accommodate the dynamic characteristics of climate.** International Conference on Passive and Low Energy Architecture - PLEA, 2001.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K.; SILVA, V.G.; GRAÇA, V.C. **Desafios e realidades: o processo de projeto escolar no estado de São Paulo.** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2009.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K.; BORGES FILHO, F.; LABAKI, L.C.; RUSCHEL, R.C.; BERTOLI, S.R.; PINA, S.A.M.G. **Melhoria do conforto ambiental em edificações escolares na região de Campinas.** Encontro nacional de conforto no ambiente construído - ENCAC, 1999.

KREMER, A. **A influência de elementos de obstrução solar no nível e na distribuição interna de iluminação natural: estudo de caso em protótipo escolar de Florianópolis.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

LAM, W. M. C. **Sunlighting: as formgiver for architecture.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

LEDER, S. M. **Ocupação urbana e luz natural: proposta de parâmetro de controle da abstrução do céu para garantia da disponibilidade à luz natural.** Tese de doutorado. UFSC. 2007.

LEDER, S. M.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A. **Janela de Céu Preferível: proposição de um parâmetro para controle de acesso à luz natural no meio urbano.** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC, 2007.

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.

LEITE, J. S. V. **Análise de elementos arquitetônicos de proteção solar em edificações institucionais na cidade de Natal/RN - diretrizes projetuais.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2003.

LITTLEFAIR, P.J. **Site Layout Planning for daylight and sunlight: a guide to good practice.** Garston: Building Research Establishment report, 1991.

MARDALJEVIC, J. **Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance.** Lighting Research & Technology, Vol.32, Nº 2, 2000.

MARDALJEVIC, J. **Spatio-temporal dynamics of solar shading for a parametrically defined roof system.** Energy and Buildings, Vol. 36, Issue 8, 2004.

MARDALJEVIC, J. **Examples of climate-based daylight modelling.** CIBSE National Conference 2006: Engineering the Future, 21-22 March, Oval Cricket Ground, London, UK, 2006.

MARDALJEVIC, J. **Climate-based daylight analysis.** Conclusão do Relatório R3-26. CIE division, 2008.

MARDALJEVIC J.; NABIL A. **Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm to Access Daylight in Buildings.** Lighting Research & Technology, Vol.37, Nº 1, 2005

MARDALJEVIC J.; NABIL A. **Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors.** Energy and Buildings, Vol. 38, Nº 7, 2006.

MARDALJEVIC, J.; REINHART, C. F.; ROGERS, Z. **Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design.** LEUKOS, Volume 3, Issue 1, 2006.

MARSH, A. J. **The application of shading masks in building simulation.** Building Simulation. Ninth International IBPSA Conference, Montréal, Canada, 2005.

MARSH, A. J. **Solar shading potential.** Natural Frequency, ISSN 1833-7570, Issue nº 004, 2007.

MARSH, A. **SUNTOOL**. Versão 1.10. Perth: Window shading and Overshadowing, 2001.

MARSH, A. **ECOTECH**. Perth: Square one research PTY LTD, 2003.

MOORE, F. **Concepts and practice of architecture daylighting**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1985.

NG, E. **A study of the relationship between daylight performance and height difference of buildings in high density cities using computational simulation**. International Building Performance Simulation Conference, Montreal, Canadá, 2005.

OLGYAY, A.; OLGAYAY, V. **Solar control and shading devices**. New Jersey: Princeton University Press, 1957.

OLGYAY, V. **Design with climate: bioclimatic approach to the architectural regionalism**. New Jersey: Princeton University Press, 1973.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima, manual de diseño bioclimático para arquitectos e urbanistas**. Barcelona: Ed. Gustavo Gili S.A., 1998.

PALHINHA, M. S. J. **Sistemas de Sombreamento em arquitetura: proposta de um novo método de concepção e dimensionamento**. Dissertação de mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

PEREIRA, F. O .R. **Uma metodologia para indicações de ocupação do ambiente urbano: Controle da obstrução do sol e da abóbada celeste**. Monografia de Prof. Titular, Departamento de Arquitetura. Universidade Federal de Santa Catarina. 1994.

PEREIRA, R. C. **Avaliação de ferramentas de simulação natural por meio de mapeamento digital de luminâncias da abóbada celeste e entorno**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2009.

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. **Avaliação de modelos de índices adaptativos para o uso no projeto arquitetônico bioclimático**. Ambiente Construído, Vol. 10, nº1, Porto Alegre, 2010.

PEREIRA, I. M. SOUZA, R. V. G. **Proteção Solar em Edificações Residenciais e Comerciais: desenvolvimento de metodologia**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ANTAC, Fortaleza, 2008.

PEREZ, V. Y.; CAPELUTO, I. G. **Climatic considerations in school building design in the hot-humid climate for reducing energy consumption**. Applied Energy, Vol.86, Issue 3, 2009.

REINHART, C.F.; WALKENHORST, O. **Dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a full-scale test office with outer venetian blinds**. Energy and Buildings, Vol.33, Nº7, 2001.



REINHART, C.F. **A Simulation-based review of the ubiquitous windowhead-height to daylight zone depth rule-of-thumb.** Proceedings of the Buildings Simulation. Agosto 15-18, 2005.

REINHART, C. F . **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design.** Institute for research in Construction National Research Council Canada, Canada. 2006.

REINHART, C.F.; ANDERSEN, M. **Development and validation of a Radiance model for a translucent panel.** Energy and Buildings, Vol. 38, Nº 7, 2006.

REINHART, C. F.; WIENOLD, J. **The Daylighting Dashboard - A Simulation-Based Design Analysis for Daylit Spaces.** Building and Environment Volume 46, Issue 2, 2011.

REITER, S.; DE HERDE, A. **L'éclairage Naturel dès Bâtiments.** Louvain-la-Neuve: Presse Universitaires de Louvain, 2004.

RICE, E.O. **Daylight in façade renewal: using new metrics to inform the retrofitting of aging modern-era façade types.** Master of science in architecture studies at the Massachusetts Intitute of Technology. 2006.

RIVERO, R. Arquitetura e Clima – **Acondicionamento Térmico Natural.** Editora da Universidade, UFRGS. Rio Grande do Sul, 1985.

ROBBINS, C.L. **Daylighting: Design and Analysis.** New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986.

RODRIGUES, C. O. M.; DIAS, A. R. D.; PEDRINI, A. **Grandes aberturas, porém sombreadas: análise da caracterização do sombreamento visando a eficiência energética para o clima quente úmido.** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC. 2011.

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

ROMERO, M.A. **Método de avaliação do potencial de conservação de energia elétrica em campi universitário: o caso da cidade universitária "Armando de Salles Oliveira".** Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Estruturas Ambientais e Urbanas, Universidade de São Paulo, 1994.

SETIADARMA, E. **Shading Mask: A Computer-based Teaching Tool for Sun Shading Devices.** A Master's Thesis, Building Science Program, School of Architecture, University of Southern California, Los Angeles, 1995

SILVA, J. S. **A eficiência do brise-soleil em edifícios públicos de escritórios: estudo de caos no plano piloto de Brasília.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2007.

SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica.** Tese Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SOUZA, R. V. G. **Desenvolvimento de modelos matemáticos empíricos para a descrição dos fenômenos de iluminação natural externa e interna.** Tese Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.

SOUZA, R. V. G.; VELOSO, A. C. O.; MATTOS, R. T. **Proteção solar em edificações – desenvolvimento de metodologia para bonificação no RTQ-R.** Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável, 2010.

TOLEDO, B. G. **Integração de iluminação natural e artificial: métodos e guia prático para projeto luminotécnico.** Dissertação Mestrado. Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. 2008.

TREGENZA, P. R. **Sunlight, Skylight and electric light.** 2º Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ANCAC, 1993.

ÜNVER, R.; Öztürk, L.; Adigüzel, S.; Çelik, Ö. **Effect of the facade alternatives on the daylight illuminance in offices.** Energy and building, London, v.35, 2003.

VENÂNCIO, R. **A influência de decisões arquitetônicas na eficiência energética do Campus/UFRN.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.



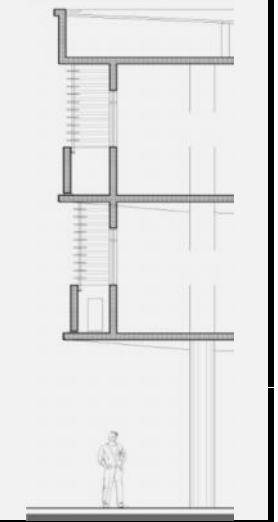
VIANA, N.S.; GONÇALVES, J.C.S. **Iluminação e Arquitetura.** Virtus s/c Ltda. São Paulo, 2001.






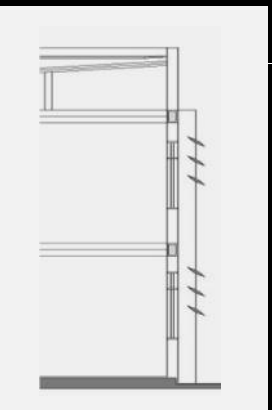
Waheeb, S. A. **Shading design guidelines and reduction of cooling using different glazing ratios and shading devices.** Civil Engineering & Architecture, Vol.2, Nº2, 2010.








## APÊNDICE

**Apêndice A:** Ficha para Levantamento de informações referentes à edificação.

**Tabela 45** - Levantamento das Características construtivas e informações necessárias para a construção dos modelos e definição da sala de aula padrão.

EDIFÍCIO	Nº SALAS DE AULA	COMPRIMENTO x LARGURA	PE DIREITO (m)	PEITORIL (m)	ORIENTAÇÃO (azimute)	PAF %	TIPO DE PROTEÇÃO SOLAR	
<b>CENTRO DE TECNOLOGIA</b>								
Bloco A	01	11.80x7.80	2.95	1.20	Noroeste (330°)	45%	Misto	
	03	8.80x7.80						
Bloco D	02	8.80x7.80						
Bloco E	02	11.80x7.80			Noroeste (330°)	45%		
	02	7.80x5.85						
	01	8.80x7.80						
Bloco J	10	8.00x7.00	2.85	0.90	Sudeste (150°)	56%	Misto	
Multimídia	01	(CxLxL) 8.00x3.70x9.60	3.00	1.10	Norte (15°)	37%	Horizontal (brise)	
	01				Nordeste (60°)			
	01				Leste (105°)			
	01				Sul (195°)			
	01				Sudoeste (240°)			
	01				Oeste (285°)			
<b>CENTRO DE CIENCIAS SOCIAIS APLICADAS (CSSA)</b>								

<b>Bloco E</b>	06	9.25x8.80	3.00	1.20	Sudeste (150°)	42%	Misto	
	06	9.90x8.80			Noroeste (330°)	42%		
	01	8.80x7.90		2.00	Sudoeste (240°)	16%		
<b>Bloco D</b>	06	8.85x7.80	3.00	0.90	Sudeste (150°)	56%	Misto	
	04	7.80x4.35			Sudeste (150°)	56%		
<b>Bloco Pós-graduação</b>	04	8.00x4.50	3.15	1.00	Sudeste (150°)	31%	Horizontal (beiral)	
	02	9.25x8.00			Nordeste (60°)	31%		
		9.25x8.00			Nordeste (60°)	24%		
	02	8.00x4.50			Nordeste (60°)	16%		
	02	8.00x4.50			Noroeste (330°)	31%		
<b>CENTRO DE EDUCACAO (CE)</b>								
<b>Bloco B</b>	06	8.85x7.80	3.00	0.90	Sudeste (150°)	56%	Misto	
	04	7.80x4.35			Sudeste (150°)	56%		
<b>Bloco Pós-graduação</b>	03	8.00x4.50	3.00	1.00	Noroeste (330°)	42%	Horizontal (beiral)	
	02	8.00x4.50			Sudeste (150°)			
	02	9.15x8.00			Sudeste (150°)			
<b>CENTRO DE CIENCIAS HUMANAS LETRAS E ARTES (CCHLA)</b>								
<b>Bloco D</b>	16	7.80x7.00	3.05	0.90	Nordeste (60°)	51%	Misto	
	01	7.00x3.85				53%		
<b>Bloco E</b>	05	7.80x7.00	3.05	0.90	Nordeste (60°)	51%	Misto	

<b>Bloco F</b>	03	9.10x7.80	3.10	1.20	Sudeste (150°)	40%	Misto	
	03	9.10x7.80			Noroeste (330°)	40%		
	03	9.10x7.80			Sudeste (150°) / Nordeste (60°)	40%/40%		
	03	9.10x7.80			Noroeste (330°) / Nordeste (60°)	40%/40%		
	03	9.10x7.80			Sudeste (150°) / Sudoeste (240°)	40%/40%		
	03	9.10x7.80			Sudoeste (240°) / Noroeste (330°)	40%/40%		
<b>Bloco A</b>	08	8.85x7.80	3.00	0.90	Sudeste (150°)	56%	Misto	
<b>Bloco C</b>	02	6.55x7.80	3.00	0.90	Sudeste (150°)	56%	Misto	
	13	7.80x4.35						
<b>Bloco Escola de Musica</b>	01	9.90x5.85	2.85	1.10	Sul (195°)	22%	cobogó	
	05	6.15x6.00	2.85	1.10	Sul (195)	34%	Horizontal (marquise)	
	04	6.15x5.15	2.85	1.10	Leste (105°)	49%	Misto	
	04	9.75x6.15	2.85	1.30	Norte (15°)	27%	Misto	
<b>CENTRO DE CIENCIAS DA SAUDE (CCS)</b>								
<b>Bloco Fonoaudiologia</b>	08	8.85x6.85	2.85	1.00	Noroeste (330°)	52%	Misto	
	08	8.85x6.85			Sudeste (150°)	52%		
<b>Bloco A Ed. Fisica</b>	04	10.20x6.85	3.00	1.10	Sudeste (150°)	30%	Misto	

CENTRO DE CIENCIAS MEDICAS (CCM)								
Bloco A	01	8.00x5.15	3.00	0.90	Sul (195°)	32%	Horizontal (brise)	
	03	8.00x4.45				36%		
	03	9.00x8.00				36%		
	01	9.75x8.00				33%		
	06	8.00x4.45			Norte (15°)	36%	Horizontal (brise)	
	02	9.00x8.00						
CENTRO DE CIENCIAS JURIDICAS (CCJ)								
Bloco A	01	9.25x9.00	3.20	1.00	Nordeste (60°)	46%	Misto	
	05	9.00x7.90						
	04	9.00x7.90						
	03	7.90x4.45			Sudeste (150°)			
	01	9.25x4.45						
CENTRAL DE AULAS (CA)								
Bloco A	05	11.85x7.10	2.90	1.00	Sudeste (150°)	38%	Horizontal (beiral)	
	02	8.85x7.10						
Bloco C	03	11.85x7.10	2.90	1.00	Noroeste (330°)/ Sudeste (150°)	19%/ 19%	Horizontal (beiral)	
	07	8.85x7.10				25%/ 13%		
	01	7.10x5.85				19%/ 19%		
Bloco D	03	11.85x7.10	2.90	1.00	Noroeste (330°)/ Sudeste (150°)	19%/ 19%	Horizontal (beiral)	
	07	8.85x7.10				13%/ 25%		
	01	7.10x5.85				19%/ 19%		

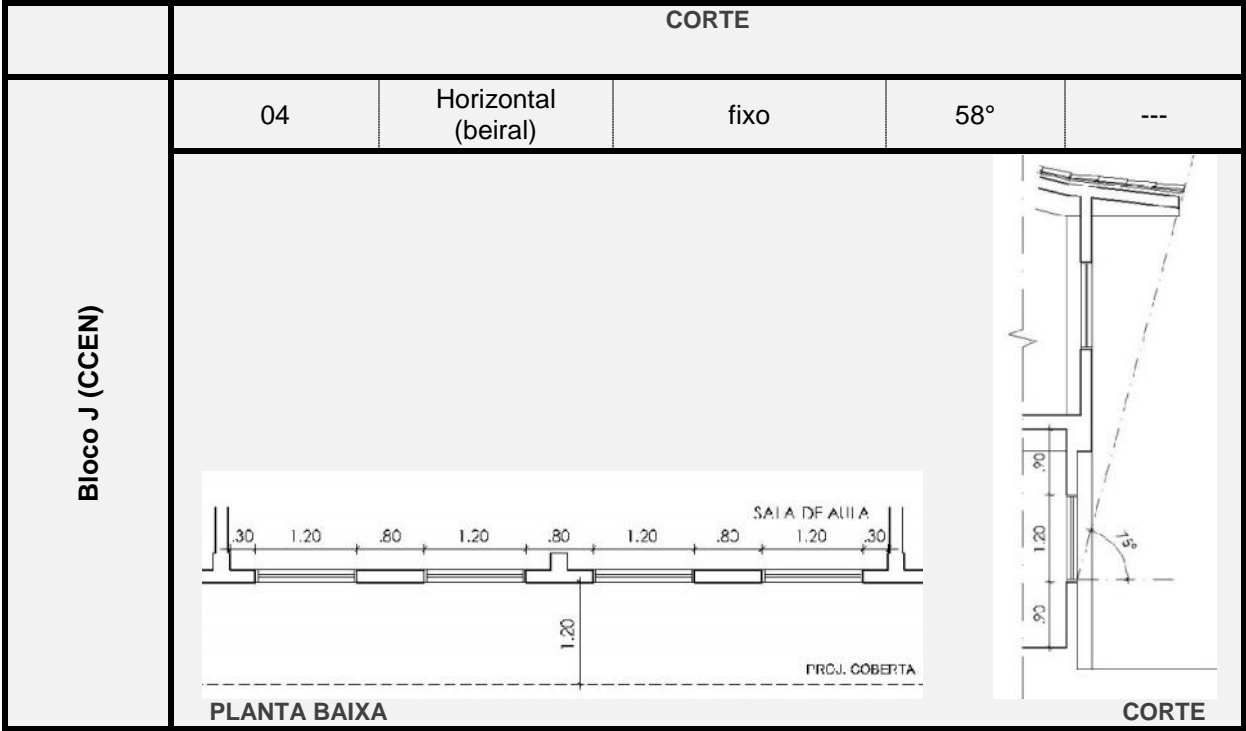
<b>Bloco E</b>	03	11.85x7.10	2.90	1.00	Noroeste (330°)	36%	Horizontal (beiral)	
	07	8.85x7.10						
	01	7.10x5.85						
<b>Bloco F</b>	01	11.85x7.10	2.90	1.00	Noroeste (330°)/ Sudeste (150°)	19%/ 19%	Horizontal (beiral)	
	05	8.85x7.10				13%/ 25%		
<b>Bloco G</b>	10	8.85x7.10	2.90	1.00	Sudeste (150°)	38%	Horizontal (beiral)	
<b>Bloco H</b>	09	8.85x7.10	2.90	1.00	Sudeste (150°)	38%	Horizontal (beiral)	
<b>CENTRO DE CIENCIAS EXATAS DA NATUREZA (CCEN)</b>								
<b>Bloco J</b>	04	7.80x7.65	3.00	0.90	Sudeste (150°)	26%	Horizontal (beiral)	
	01	11.87x8.00			Noroeste (330°)	24%	Misto	
	03	8.00x7.80						

**Apêndice B: Ficha para Levantamento de informações referentes à proteção solar.**

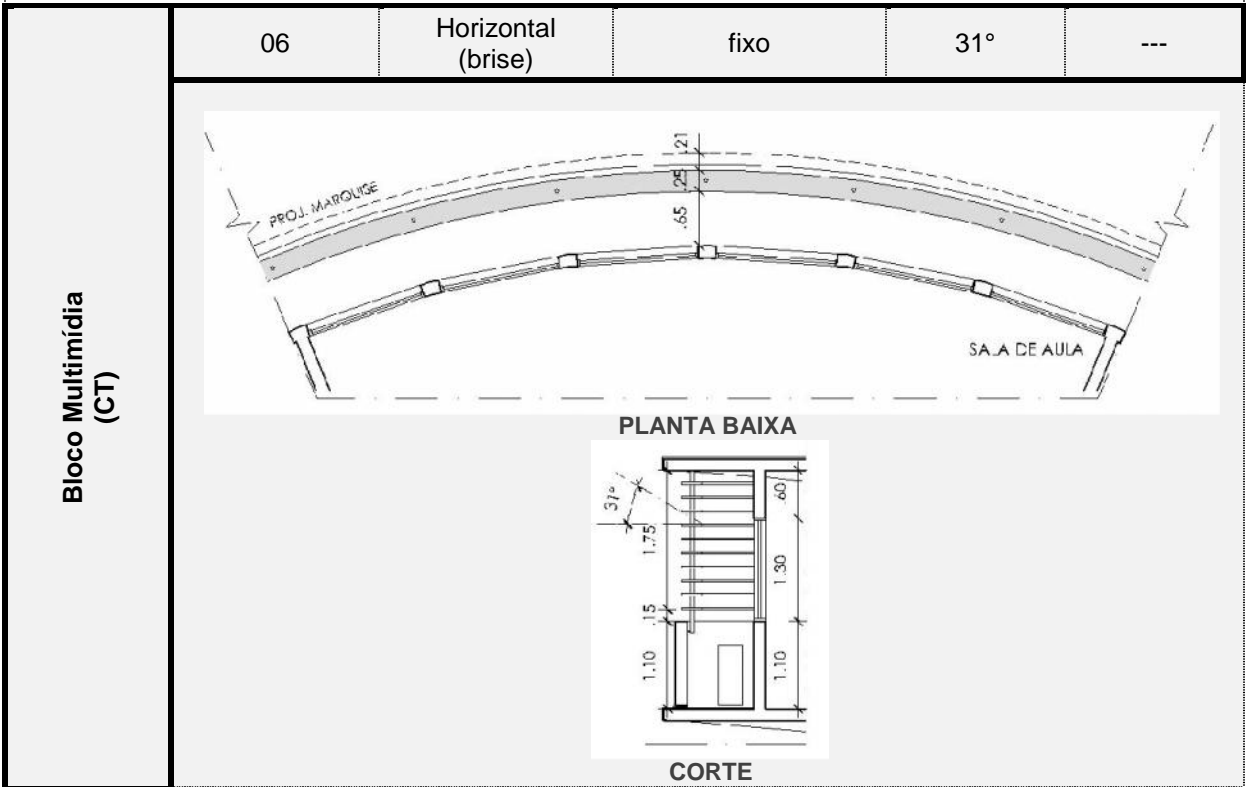
**Tabela 46 - Levantamento das Características construtivas das soluções de proteção solar.**

EDIFÍCIO	Nº DE REPETIÇÕES	TIPO DO ELEMENTO	MOBILDADE	AVS°	AHS°
<b>GRUPO A – Horizontal (beiral e marquise)</b>					
<b>Bloco de Música (CCHLA)</b>	05	Horizontal (marquise)	fixo	30°	--
<b>Pós - CCSA e Pós - CE</b>	17	Horizontal (marquise)	fixo	54°	--
<b>Central de Aulas (CA)</b>	65	Horizontal (beiral)	fixo	50°	--





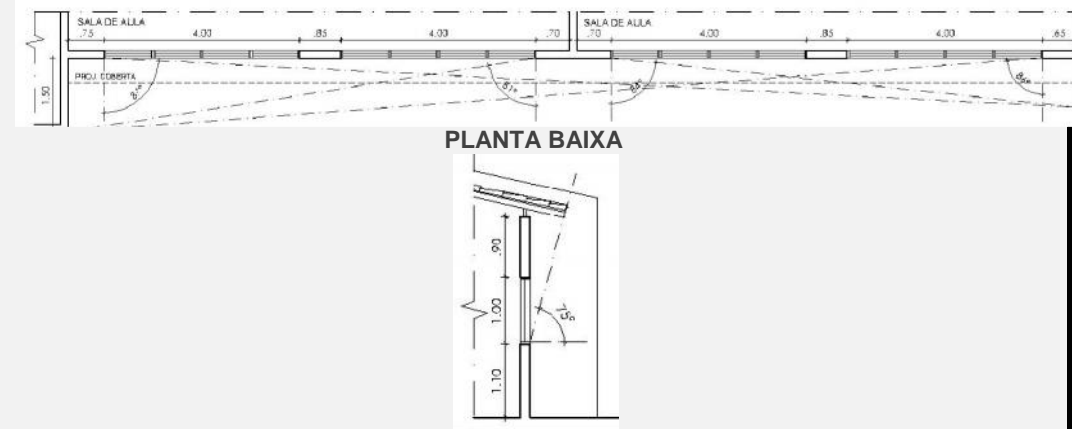
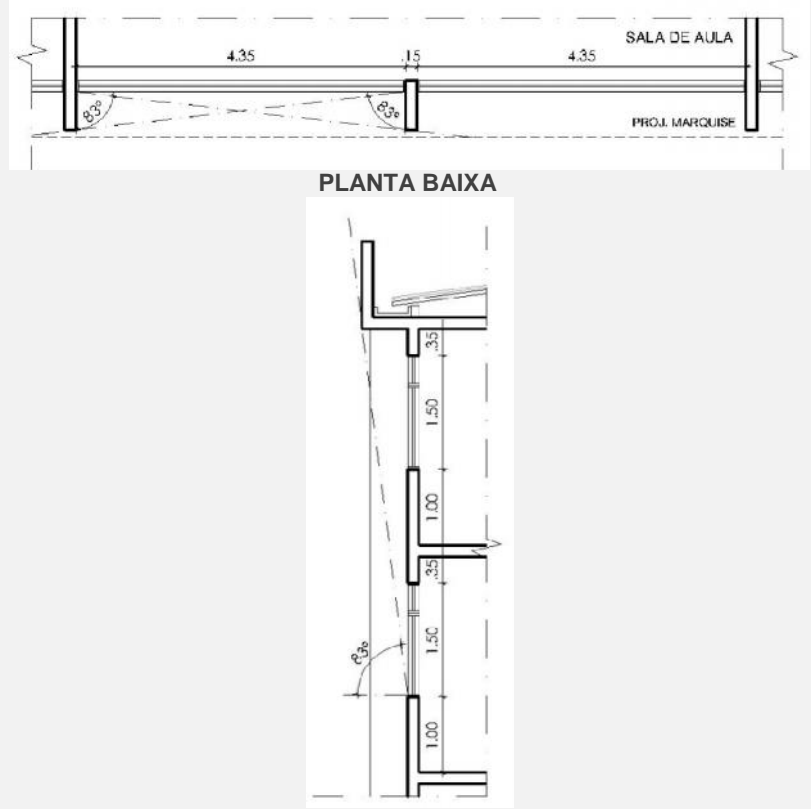
**GRUPO B – Horizontal  
(brise)**

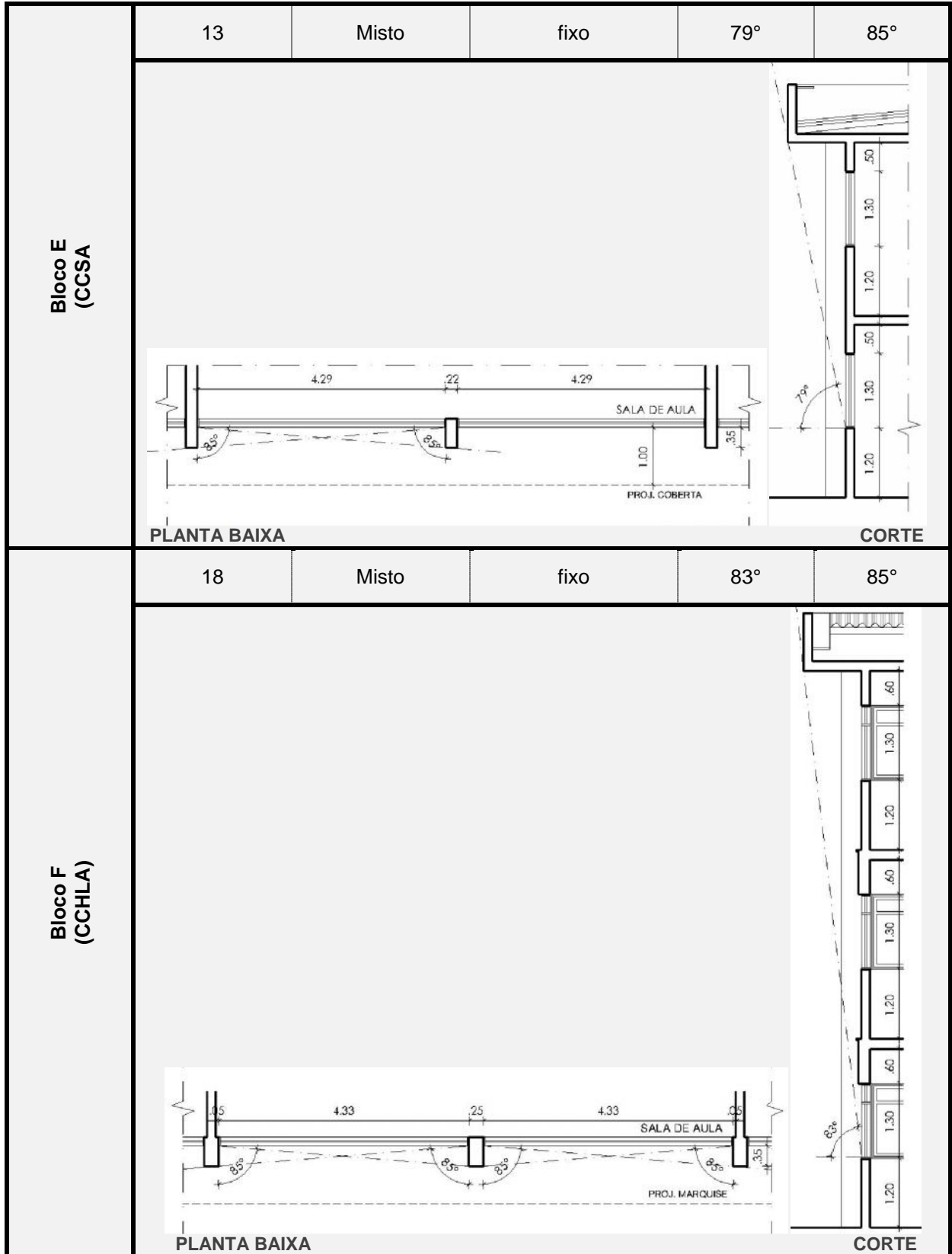


<b>Bloco A (CCM)</b>	16	Horizontal (brise)	fixo	12° / 80°	---
			<b>PLANTA BAIXA</b>	<b>CORTE</b>	
<b>GRUPO C – Misto</b>					
<b>Bloco D (CCSA), B (CE), A e C- (CCHLA)</b>	43	Misto	fixo	56° / 68°	85° / 88°
			<b>PLANTA BAIXA</b>	<b>CORTE</b>	
<b>Bloco J (CCEN)</b>	04	Misto	fixo	58°	26° / 93°
			<b>PLANTA BAIXA</b>	<b>CORTE</b>	



<b>Bloco E e D (CCHLA)</b>	22	Misto	fixo	45° / 56° / 84°	84°
<b>Bloco A (CCJ)</b>	14	Misto	fixo	56°	77°

<b>Bloco A Ed. Física (CCS)</b>	04	Misto	fixo	75°	81° / 84° / 86° / 87°
	 <p style="text-align: center;"><b>PLANTA BAIXA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>CORTE</b></p>				
<b>Bloco Fonoaudiologia (CCS)</b>	16	Misto	fixo	83°	83°
	 <p style="text-align: center;"><b>PLANTA BAIXA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>CORTE</b></p>				



<b>Bloco A, D e E (CT)</b>	11	misto	fixo	57°/ 51°	26°
					CORTE
<b>Bloco J (CT)</b>	10	Misto	fixo	37°	75°
					CORTE
<b>GRUPO D – Cobogó</b>					
<b>Bloco de Música (CCHLA)</b>	01	Cobogó	fixo	45°	39°
					CORTE