

A thermal image of a building facade, showing a balcony with a railing. The image is color-coded by temperature, with warmer areas in red and yellow, and cooler areas in blue and purple. The text is overlaid on the image.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
MESTRADO ACADÊMICO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**MARCELLE VILAR DA SILVA**

**TÉCNICAS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO E LUMÍNICO  
ASSOCIADO A SISTEMAS DE PRATELEIRA DE LUZ EM CLIMA QUENTE E  
ÚMIDO**

**BELÉM - PA  
2013**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
MESTRADO ACADÊMICO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**MARCELLE VILAR DA SILVA**

**TÉCNICAS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO E LUMÍNICO  
ASSOCIADO A SISTEMAS DE PRATELEIRA DE LUZ EM CLIMA QUENTE E  
ÚMIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo PPGAU/ITEC/UFPA, ao curso de Mestrado Acadêmico em Arquitetura e Urbanismo como requisito para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Irving Montanar Franco.

Área de concentração: Análise e concepção do ambiente construído na Amazônia

Linha de Pesquisa: Desempenho Ambiental e Tecnologia

**BELÉM - PA  
2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFPA

---

Silva, Marcelle Vilar da, 1986-  
Técnicas para avaliação do desempenho térmico e  
lumínico associado a sistemas de prateleira de luz em  
clima quente e úmido / Marcelle Vilar da Silva. - 2013.

Orientador: Irving Montanar Franco.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade  
Federal do Pará, Instituto de Tecnologia,  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e  
Urbanismo, Belém, 2013.

1. Arquitetura e clima. 2. Arquitetura e  
radiação solar. 3. Luz na arquitetura. 4.  
Brise-sollei. I. Título.

CDD 22. ed. 720.47

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**TÉCNICAS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO E LUMÍNICO  
ASSOCIADO A SISTEMAS DE PRATELEIRA DE LUZ EM CLIMA QUENTE E  
ÚMIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo PPGAU/ITEC/UFPA, ao curso de Mestrado Acadêmico em Arquitetura e Urbanismo como requisito para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Irving Montanar Franco.

Área de concentração: Análise e concepção do ambiente construído na Amazônia

Linha de Pesquisa: Desempenho Ambiental e Tecnologia

Apresentado em 27 de setembro de 2013.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Irving Montanar Franco - Orientador  
Universidade Federal do Pará - UFPA

---

Prof. Dr. Gustavo da Silva Vieira de Melo – PPGAU/UFPA

---

Profa. Dra. Lucieta Guerreiro Martorano – EMBRAPA/PA e UEPA

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais João Crisóstomo e Marluce Vilar.

## AGRADECIMENTOS

À Deus pelas bênçãos e oportunidades, por me permitir através da minha fé acreditar, me dar saúde e força para realizar e colocar tantas pessoas maravilhosas junto a mim nesta trajetória.

À minha família, meus pais João e Marluce, minha irmã Gabrielle e meu sobrinho e afilhado João Gabriel, por todo o apoio, o amor e o carinho, por acreditarem nos meus sonhos e na minha capacidade.

Aos mestres e mestrandos Dorival Pinheiro, Isabela Rocha, Barbara Carvalho, Monique Sampaio, Andréa Barata e Érica Monteiro, Trycia Sampaio, Dircirene Marinho, Natalia Vinagre, pelo apoio mutuo, pelo companheirismo e pela valiosa amizade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Irving Franco, pelas oportunidades, pelos ensinamentos, pela compreensão e paciência.

À Prof. Dra. Lucieta Guerreiro Martorano, pelo carinho, pelo incentivo, pelas orientações e contribuições no trabalho e pelo empréstimo dos equipamentos junto ao Laboratório de Agrometereologia da EMBRAPA-PA Amazônia Oriental.

À equipe do CEAMAZON: Prof. Dra. Maria Emília de Lima Tostes, Eng. Msc. Thiago Mota Soares pela contribuição e orientação no trabalho e ao José Maria Farias por toda a ajuda.

Aos laboratórios: LADEC/FAU/ITEC/UFGA, LABCONF/CEAMAZON/PCT/UFGA, LAMOTRIZ/CEAMAZON/PCT/UFGA, AGROMET/EMBRAPA-PA e ao CEAMAZON, por fornecer a estrutura física necessária e pelo empréstimo dos equipamentos essenciais para a realização deste trabalho.

Aos bolsistas do LADEC, Avner Rolin, Luíz Fernando Guimarães e Jamile Costa e aos mestrandos Paulo Dantas (PPGAU/UFGA) e Daniel Barros (PPGCAN/UFGA) pela contribuição direta ao trabalho.

Aos demais bolsitas do LADEC e a Profa. Dra. Elcione Lobato, pela força diária, pelos momentos compartilhados e por tornarem meu dia-a-dia mais leve nesta trajetória.

À bibliotecária Marina das Graças Matos Farias (FAU/UFGA) pelo auxílio no trabalho.

Aos meus amigos e familiares, pelo incentivo, pelas energias positivas e pela paciência, em especial à Rejane Togneri, pela contribuição essencial na finalização deste trabalho, disponibilidade e por todo o apoio.

À CAPES e ao PPGAU, pela concessão da bolsa de mestrado, subsídio essencial para a realização deste trabalho e em especial ao coordenador do curso, Prof Dr. José Júlio Lima, por toda a paciência e compreensão e a Nazaré Progênio (Coordenadoria de Pós-Graduação Stricto Sensu/PROPESP).

## RESUMO

Ao utilizar um sistema voltado ao aproveitamento de luz natural em uma região de clima quente e úmido, com elevado número de horas de insolação e alta intensidade de radiação solar, este sistema necessita ser avaliado quanto aos seus efeitos sobre o desempenho térmico e lumínico do ambiente, para que promovam seu potencial de aproveitamento de forma controlada e adequada. Busca-se realizar uma análise de desempenho, mais especificamente um refinamento sucessivo no entendimento de processos metodológicos para avaliação do incremento dos ganhos de calor oriundos da utilização de sistemas de prateleira de luz voltados ao clima quente úmido. Desenvolve-se estudos comparativos de eficiência entre sistemas sem proteção e com proteção tipo *brise* tradicional seja por meio de cálculo dos ganhos de calor solar através do método CSTB (adaptado por Frota e Schiffer), simulações de níveis de iluminâncias internas (RELUX 2006), variação de temperaturas internas (ECOTEC v.2) e, medições sob condição de céu real, com modelos em escala reduzida. Desenvolveu-se a mensuração de temperatura do ar, temperatura de globo e iluminâncias internas e externas, utilizando-se *data loggers*, para cálculo do coeficiente de luz diurna (CLD), imageamento térmico infravermelho no monitoramento das temperaturas superficiais internas e externas. Quanto ao tratamento de dados por curva de regressão buscou-se avaliar o potencial para assegurar a acurácia das medições entre equipamentos e tratamento de dados. A partir dos resultados observou-se os sistemas obtiveram desempenho muito semelhante, porém com alguns indicativos importantes quanto aos níveis de iluminâncias internas. Nota-se que o método CSTB adaptado (Frota e Schiffer), analisa as proteções solares como se fossem iguais, pois analiticamente apresentam ângulos de mascaramento idênticos gerando uma redução de 40,14% da carga térmica da fachada norte onde são aplicados os sistemas. As simulações computacionais indicam que a prateleira de luz ao centro do ambiente tem potencial para elevar sensivelmente os níveis de iluminância, com relação ao *brise* tradicional - indicativo de potencial de para estudos futuros. As temperaturas internas geraram valores muito próximos entre prateleira de luz e *brise*, inconclusivas quanto diferencial de aquecimento. Os estudos em infravermelho demonstram-se eficientes na identificação de ganhos de calor por rebatimento de energia térmica pelas placas de *brise* e prateleira de luz. As medições de iluminâncias internas demonstraram que

a prateleira de luz elevou os níveis significativamente, próximos à janela, ao fundo do ambiente apresentou diferença de 500lux para mais com relação ao *brise* tradicional, tal fato evidenciou-se apenas entre 11h à 13h30min. O CLD indicou que a disponibilidade de luz no centro do ambiente é maior com prateleira de luz do que com *brise soleil* tradicional, ao fundo os dois tem desempenho muito próximos.

**Palavras-chave:** Proteções solares. Iluminação natural. Ganhos térmicos. Infravermelho. Acurácia.

## ABSTRACT

When using a daylight system in a hot and humid climate region, with a elevated number of hours of insolation and high intensity of solar radiation, it is mandatory to evaluated the effects on the thermal performance and environmental luminosity, to identify their potential for use in a controlled and appropriate manner. The aim is to carry out a performance analysis, but more specifically ensure a critic and carefull approach to methodology for assessing the increase of heat, light gains -in hot and humid climate-, through fenestrations with shading protection systems, the comparative studies of efficiency where done to compared systems with and without shading protection through the calculation of solar heat gains using the CSTB method (adapted by Frota e Schiffer), internal illuminance levels where done with computer simulations (RELUX 2006), variation of internal temperatures (ECOTEC v.2) and measurements under real sky condition, with reduced scale models, air temperature measurement, globe temperature and internal and external illuminance, using data loggers, for calculating the daylight coefficient (CLD), infrared thermal imaging to monitor the internal and external surface temperatures. Processing data with auxiliary of regression curves where used to ensure the accuracy of the measurements and identify the quality of the equipment and data refinement. Where verified as results that the systems had very similar performance, but with some relative indicative differences levels for internal illuminance. The shading method analyses shown similar analytical angle generated by the solar protections adopted the prototypes, offering a 40.14% reduction on the thermal load for the north façade. The simulations indicate that the proposed lightshelf could reveal potencial for luminance levels improvements at the center portion of the environment when compared to the tradicional shading device, indicative of potential for future studies. The internal temperature measurements generated very close values between the shelf and the traditional light shading device, what was not enough to demonstrate differential heating. Studies in infrared shown to be efficient to identify surfaces temperatures conditions as thermal energy – heat gains -, drived inside by the boards of the shading device and the lightshelf. For the light shelf the internal illuminance measurements showed significantly increased levels near the window, and at the more inner illuminance measurement point presented an difference of 500lux , this specifically occurred regarding the traditional shading device only

11:00 to 13:30. The DLF – Day Light Factor - indicated that the availability of light in the environment of the center position of the prototype is higher with light shelf than with the traditional shading device and in the more inner illuminance measurement point both indicate mostly similar performances.

**Keywords:** Shading devices. Natural Lighting. Thermal gains. Infra-red. Accuracy

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Edifício Gustavo Capanema .....	23
Figura 2 - Alcance da luz no ambiente .....	25
Figura 3 - Aplicação da prateleira de luz em uma biblioteca .....	26
Figura 4 - À esquerda o ambiente real, ao centro o modelo em escala sem prateleira e à direita o modelo em escala com a implantação da prateleira de luz .....	27
Figura 5 - Corte esquemático, detalhado e descritivo do funcionamento de uma prateleira de luz.....	28
Figura 6 - Island Revenue Offices, em Nottingham, Inglaterra. Projetados por Michael Hopkins e Partners.....	28
Figura 7 - Efeito da incidência de luz direta através da janela .....	29
Figura 8 - Efeito do contraste .....	30
Figura 9 - Efeito do ofuscamento .....	30
Figura 10 - Variação das proteções solares.....	33
Figura 11 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	34
Figura 12 - Propriedades estabelecidas para paredes e coberturas na zona bioclimática 8.....	36
Figura 13 - Abertura (h) em beirais para ventilação do ático.....	37
Figura 14 - Exemplo de gráfico de dispersão para um Temperatura de Globo para o Termômetro de Globo Padrão (de referência).....	46
Figura 15 - Modelos em escala .....	47
Figura 16 - Luxímetro digital HOMIS, REF: H019-005   MOD: 204 .....	48
Figura 17 - Corte esquemático dos pontos de medição internos .....	48
Figura 18 - Pontos de medição em planta.....	49
Figura 19 - HOBO U12 - Data Logger - U12-012 .....	49
Figura 20 - Datalogger Hobo H8 family .....	50
Figura 21 - Sensor de Temperatura TMC50-HD .....	51
Figura 22 – Mini-esfera negra, com cabo TMC50-HD conectado ao Hobo H8 .....	51
Figura 23 - Equipamentos necessário para uso externo da câmera FLIR A320 .....	52
Figura 24 - Câmera infravermelho ThermoVision A320 FLIR.....	52
Figura 25 - Câmera Infravermelho I60 FLIR.....	53
Figura 26 - Plataforma do Software utilizado para tratamentos das imagens IFR.....	54
Figura 27 – Adaptação de câmara de resfriamento para os sensores e os modelos nos experimentos de térmica .....	55
Figura 28 – IFR dos Sensores na câmara de resfriamento, à esquerda os sensores ao serem inseridos em temperatura diferentes e à direita após o resfriamento em temperaturas muito próximas. ....	55
Figura 29 – Deck experimental onde foram realizadas as medições .....	56
Figura 30 - Tomada da foto lente olho-de-peixe.....	56
Figura 31 - Foto lente olho-de-peixe, à esquerda sem proteção, ao centro com brise e à direita com prateleira de luz .....	57
Figura 32 - Procedimento de manuseio dos modelos .....	57
Figura 33 – Diagrama de tipos de sensores.....	58
Figura 34 - Diagrama metodológico da utilização dos sensores. ....	59
Figura 35 - Mapa climatológico simplificado do Brasil.....	60
Figura 36 - Variação Anual da Temperatura Média Mensal .....	62
Figura 37 - Variação anual das temperaturas máximas absolutas.....	63
Figura 38 - Variação anual das temperaturas mínimas.....	63
Figura 39 - Céu Claro, 07/07/2011, 12h10min, Horto Municipal de Belém .....	65

Figura 40 - Céu Parcialmente Encoberto, 20/12/2012, 16h48min, Largo do Carmo .	66
Figura 41 - Céu Encoberto, 20/12/2012, 17h23min, Praça Felipe Patroni. ....	66
Figura 42 - Céu Intermediário, 06/07/2012, 16h51min, Praça Felipe Patroni.....	67
Figura 43 - Variação anual da nebulosidade para Belém.....	68
Figura 44 - Variação Anual da Carga Térmica Incidente Diária para Belém .....	68
Figura 45 - Variação Total Anual da Carga Térmica Incidente (I <sub>g</sub> ) para as superfícies com e sem nebulosidade para Belém .....	69
Figura 46 - Diagrama representativo da trajetória solar para Belém, latitude -1,38°.	70
Figura 47 - Discretização anualizada da variação horária da radiação solar incidente .....	71
Figura 48 – Histograma de Valores de Iluminância (Klux) para Belém - Céu parcialmente encoberto e Planos Verticais .....	73
Figura 49 - Histograma de Valores de Iluminância (Klux) para Belém - Céu parcialmente encoberto e Plano Horizontal.....	74
Figura 50 - Planta Baix.....	75
Figura 51 - Corte da janela.....	76
Figura 52 - Radiação Solar Incidente na Fachada Norte (Wh/m <sup>2</sup> ), Dia 22 de Junho, Nebulosidade: 6.1, Latitude: -1,40.....	77
Figura 53 - À esquerda, o corte com detalhamento do ângulo de proteção gerado, para a volumetria do ambiente com o brise.....	77
Figura 54 - Corte com detalhe da prateleira e dos ângulos de proteção gerados e para a volumetria do ambiente com a prateleira de luz.....	78
Figura 55 - Mascaramento gerado pelo alfa de 54° gerado pelo brise e pela prateleira de luz.....	79
Figura 56 - Variação horária dos ganhos totais de calor solar para a fachada norte, dia 22 de junho e Nebulosidade 6.1 – dados obtidos do programa Arqitrop e luz do sol.....	80
Figura 57 - Totais de ganhos de calor solar para a fachada norte, dia 22 de junho, Nebulosidade 6.1 .....	81
Figura 58 - Modelos simulados no software Ecotect.....	83
Figura 59 - À esquerda: mascaramento para a área da janela com brise, $\alpha=38^\circ$ , à direita: mascaramento para a área da janela com prateleira de luz, $\alpha=21^\circ$ .....	84
Figura 60 - À esquerda: Mascaramento para um ponto central no vértice inferior da janela com brise, $\alpha=58^\circ$ , Mascaramento para um ponto central no vértice inferior da janela com prateleira de luz, $\alpha=55^\circ$ .....	84
Figura 61 - Demonstração da reflexão dos raios solares, para o dia 22 de junho, às 10h, para o recinto com dispositivo de proteção solar tipo brise, onde foi inserida a projeção do albedo, mas que no software não foi considerado.....	85
Figura 62 - Demonstração da reflexão dos raios solares, para o dia 22 de junho, às 10h, para o recinto com prateleira de luz.....	86
Figura 63 - Variação da temperatura interna dos recintos sem proteção, para Belém, em 22 de junho com brise e com prateleira de luz .....	87
Figura 64 - Distribuição dos Níveis de Luminosidade no plano de trabalho (h=0,75cm).....	90
Figura 65 - Vista lateral e Perspectiva do gráfico de iluminâncias internas.....	91
Figura 66 - À esquerda o ambiente sem proteção, à direita em cima: ambiente com brise, em baixo: ambiente com prateleira de luz .....	93
Figura 67 - Níveis de Iluminância em planta (pseudo cores) para luz direta, a esquerda: recinto sem proteção, ao centro com brise e à direita: com prateleira de luz.....	95

Figura 68 - À esquerda: Níveis de Iluminância para luz direta no recinto sem proteção. Ao centro: Níveis de Iluminância para luz direta no recinto com brise. À direita: Níveis de Iluminância para luz direta no recinto com prateleira de luz .....	96
Figura 69 - Medição para regressão dos termômetros de globo, com uma esfera negra tamanho padrão e as mini esferas negras confeccionadas .....	98
Figura 70 - Variação das temperaturas radiantes para regressão – dados brutos.....	99
Figura 71 - Dispersão e regressão linear do sensor TG mini-esfera 01 para o sensor TGpadrão .....	100
Figura 72 - Dispersão e regressão linear do sensor TG mini-esfera 02 para o sensor TGpadrão .....	101
Figura 73 - Dispersão e regressão linear do sensor TG mini-esfera 03 para o sensor TGpadrão .....	101
Figura 74 - Variação das temperaturas internas radiantes com correção de regressão linear.....	102
Figura 75 – Termômetro de globo inserido no modelo, foto externa .....	102
Figura 76 - Variação das Temperaturas Radiantes Internas.....	103
Figura 77 - Ampliação correspondente ao Período de Aquecimento das Temperaturas Internas Radiantes.....	104
Figura 78 - Gráfico de variação da temperatura radiante internas para os três modelos sem proteção .....	105
Figura 79 - Gráfico comparativo das temperaturas radiantes para os modelos sem proteções.....	106
Figura 80 - Demonstração dos Hobos na mesma condição ambiental. ....	107
Figura 81 - Gráfico de variação das temperaturas do ar. – dados brutos .....	108
Figura 82 - Comparativo das medições de temperatura do ar para hobos H08 – dados brutos.....	108
Figura 83 - Gráficos de dispersão e regressão linear para os Hobos U08.....	109
Figura 84 - Gráfico de variação da temperatura do ar corrigida – dados com regressão linear.....	110
Figura 85 - Hobo H08 inserido no modelo.....	110
Figura 86 - Gráfico de Variação das Temperaturas do ar Internas .....	111
Figura 87 - Gráfico de Ampliação do Período de Aquecimento das Temp. Radiantes .....	112
Figura 88 - Comparativos das diferenças de temperatura interna do ar com proteções solares .....	112
Figura 89 - Gráfico de variação da temperatura interna do ar para modelos sem proteções.....	113
Figura 90- Comparativos de mínimas, médias e máximas para todos os modelos sem as proteções solares (brise e prateleira de luz) .....	113
Figura 91 - Imagem térmica e histograma para temperaturas superficiais no início do aquecimento sem proteção .....	115
Figura 92 - Imagem térmica e histograma para temperaturas superficiais sem proteção, já aquecido. ....	115
Figura 93 - Imagem térmica e histograma para temperaturas superficiais no início do aquecimento com brise .....	115
Figura 94 - Imagem térmica e histograma para temperaturas superficiais com brise, já aquecido.....	115
Figura 95 - Imagem térmica e histograma para temperaturas superficiais no início do aquecimento com prateleira .....	115

Figura 96 - Imagem térmica e histograma para temperaturas superficiais com prateleira, já aquecido.....	115
Figura 97 - Imagem térmica e histigramas para interna para temperaturas superficiais da mini esfera negra, sem proteção solar, modelo aquecido. ....	117
Figura 98 - Imagem térmica e histigramas para interna para temperaturas superficiais da mini esfera negra, com proteção solar tipo brise, modelo aquecido. ....	117
Figura 99 - Imagem térmica e histigramas para interna para temperaturas superficiais da mini esfera negra, com prateleira de luz, modelo aquecido. ....	117
Figura 100 - Sistema de inclinação para testes de regressão, hobos U12 em medições simultâneas.....	118
Figura 101 - Gráfico de variação de iluminância – dados brutos.....	119
Figura 102 - Gráfico de dispersão e regressão linear para os Hobos U12.....	120
Figura 103 - Gráfico de variação de iluminância corrigida – dados com regressão linear .....	121
Figura 104 - Definição dos intervalos de dados para aplicação da regressão para cada patamar .....	121
Figura 105 - Gráfico das Médias das iluminâncias dos intervalos.....	122
Figura 106 - Gráficos de aplicação da regressão linear para o sensor U12- 3 contra ele mesmo e do sensores U12-1, 2 e 4 pra o sensor de referência .....	124
Figura 107 - Gráficos de aplicação da regressão linear para o sensor U12- 3 contra ele mesmo e do sensores U12-1, 2 e 4 pra o sensor de referência.....	125
Figura 108 - Medição de Iluminância para luz artificial com hobos U12, à esquerda e a direita o potenciômetro.....	126
Figura 109 - Patamares de medição de iluminâncias para hobos U12 com luz artificial.....	127
Figura 110 - Gráficos de Regressão dos sensores para o sensor de referência U12-1 .....	128
Figura 111 - Gráfico de Regressão das Iluminâncias para sensores U12 com a expressão da 2ª tentativa .....	129
Figura 112 – Gráfico de Regressão das Iluminâncias para sensores U12 com a expressão da 3ª tentativa .....	129
Figura 113 - À direita condição de Céu as 9h54, parcialmente encoberto, e a esquerda as 13:30, céu intermediário à claro, no dia 07 de agosto .....	130
Figura 114 - Foto das Medições com Homis e externo e hobos U12 interno.....	130
Figura 115 - Gráfico de variação da iluminância externa com luxímetro HOMIS e internas com hobos U12 .....	130
Figura 116 - Gráfico de Variação das Iluminâncias Internas próximas a janela .....	131
Figura 117 - Gráfico de variação das iluminâncias internas ao fundo da sala .....	132
Figura 118 - Gráfico de Ampliação do Trecho de melhor desempenho da prateleira .....	132
Figura 119 - Gráfico comparativo dos Totais das Iluminâncias .....	133
Figura 120 - iluminâncias Regredidas através da expressão da 2ª tentativa. ....	134
Figura 121 - Iluminâncias regredidas para medições próximas janela, com brise e sem proteção.....	134
Figura 122 - Medições de iluminâncais internas e externas com luxímetro HOMIS e hobos U12.....	135
Figura 123 - Gráfico de iluminâncias externas e internas com luxímetro Homis e hobos U12, ( 5 min. e 30 s).....	135

Figura 124 - Gráfico de variação das iluminâncias internas com hobos U12, próximas a janela.....	136
Figura 125 - Gráfico comparativo das diferenças das iluminâncias internas próximas a janela para os modelos sem proteção.....	136
Figura 126 - Gráfico de variação das iluminâncias internas com hobos U12, ao fundo, para modelos sem proteção.....	137
Figura 127 - Gráfico comparativo das diferenças das iluminâncias internas próximas a janela para os modelos sem proteção.....	137
Figura 128 – Sistema para inclinação dos luxímetros Homis para medições simultâneas.....	138
Figura 129 - Gráfico de variação das iluminâncias externas.....	139
Figura 130 - Gráficos de dispersão e regressão linear para os Homis.....	139
Figura 131 - Gráfico de variação das iluminâncias externas corrigidas.....	140
Figura 132 - Medições de iluminâncias para luxímetro HOMIS com luz artificial ....	140
Figura 133 – Variação de iluminâncias com luxímetro Homis para luz artificial.....	141
Figura 134 - Variação de iluminâncias com luxímetro Homis para luz artificial para sensor 02 e 04.....	141
Figura 135 – Gráfico comparativo das iluminâncias medidas para os sensores 02 e 04.....	141
Figura 136 – Gráfico de Regressão linear e polinomial do sensor 04 para o sensor 02.....	142
Figura 137 – Gráficos comparativos de iluminâncias de 2,5klux à 12klux entre sensores 02 e 04, acima os dados regredidos e abaixo os dados brutos.....	143
Figura 138 - Condição de céu durante a medição à direita as 10:50h, ao centro as 12:12h e à esquerda as 15:06h, todas céu parcialmente encoberto.....	144
Figura 139 - Luxímetro Homis interno as modelo para medição de CLD.....	144
Figura 140 - Gráficos de variação do CLD para 10h, 12h e 15h.....	146
Figura 141 - Iluminâncias internas registradas com luxímetro HOMIS.....	147
Figura 142 - Condição do céu nas medições de CLD, céu encoberto as 10:19h....	148
Figura 143 - Gráfico de CLD com proteções, dia 19.09.....	148
Figura 144 - Gráfico comparativos de difrenças de CLD com proteções.....	149
Figura 145 - Céu para insolação difusa à esquerda e para insolação direta à direita.....	150
Figura 146 - Comparativo de iluminancias internas sem proteções para insolação difusa.....	150
Figura 147 - Comparativo de iluminancias internas sem proteçõespara insolação direta.....	151
Figura 148 – Gráfico de Iluminâncias com lixímetro Homis parta modelos sem proteção.....	151
Figura 149 - Modelos, mostrando o sombreamento gerado as 10:30h, na fachada externa e no interior do modelo.....	152
Figura 150 - Imegamento térmico das fachadas, à esquerda com prateleira, ao centro om brise e à direita sem proteção.....	153
Figura 151 - Obtenção da imagens IFR frontais dos modelos, com a câmera FLIR I60 portátil.....	156

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estratégias de condicionamento passivo. ....	35
Tabela 2 - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico passivo .....	35
Tabela 3 - Diretrizes construtivas para zona bioclimática 8 .....	36
Tabela 4 - Carga Incidente para Equinócios e Solstícios com ação da nebulosidade .....	69
Tabela 5. Resumo do Cálculo no método cstb, para a fachada norte , 22 de junho. ....	79
Tabela 6 - Totais de ganhos de calor solar para a fachada norte .....	81
Tabela 7 - Ângulos e horários de sombreamento gerados no ecotect, fachada norte, dia 22 de junho.....	85
Tabela 8 - Tabela de Iluminâncias Internas para o dia 07 de agosto .....	133

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>20</b>
2.1	ILUMINAÇÃO E ELEMENTOS DE CONTROLE .....	20
2.2	PARÂMETROS NORMATIVOS VOLTADOS À TÉRMICA E ILUMINAÇÃO .....	34
2.2.1	<b>Norma de Desempenho Térmico de Edificações (NBR 15220-3/2005)</b> .....	<b>34</b>
2.2.2	<b>Regulamento Técnico de Qualidade para Edifícios Comerciais e Públicos (RTQ-C)</b> .....	<b>37</b>
2.2.3	<b>NBR 15215 – Iluminação Natural</b> .....	<b>39</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>41</b>
3.1	DIAGRAMA METODOLÓGICO .....	43
3.2	INTRODUÇÃO AO PROCESSO DE METROLOGIA EM CONFORTO AMBIENTAL .....	44
3.3	METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL .....	47
<b>4</b>	<b>ANÁLISES</b> .....	<b>60</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA .....	60
4.2	ESTUDOS SOBRE OS SISTEMAS DE SOMBREAMENTO: SIMULAÇÕES .....	75
4.2.1	<b>Método CSTB adaptado</b> .....	<b>75</b>
4.2.2	<b>Simulações no software Ecotect v5.2</b> .....	<b>82</b>
4.2.3	<b>Simulações no software Relux</b> .....	<b>92</b>
4.3	MENSURAÇÕES DOS NÍVEIS DE ILUMINÂNCIA E DA VELOCIDADE DE AQUECIMENTO NOS MODELOS EM ESCALA .....	97
4.3.1	<b>Temperatura Interna Radiante</b> .....	<b>98</b>
4.3.2	<b>Temperatura Interna do ar</b> .....	<b>107</b>
4.3.3	<b>Temperatura superficial com Infravermelho (IFR)</b> .....	<b>114</b>
4.3.4	<b>Iluminâncias Internas com Hobos U12</b> .....	<b>118</b>
4.3.5	<b>Iluminâncias e CLD com Luxímetro HOMIS</b> .....	<b>138</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÕES</b> .....	<b>152</b>
5.1	QUANTO AS PROTEÇÕES SOLARES .....	152
5.2	QUANTO AOS MODELOS EM ESCALA .....	154
5.3	QUANTO AO IMAGEAMENTO TÉRMICO INFRAVERMELHO.....	155
5.4	QUANTO AS ILUMINÂNCIAS INTERNAS .....	157
5.5	QUANTO A EQUIVALÊNCIA ENTRE SENSORES E A PONDERAÇÃO DOS RESULTADOS .....	157
	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>159</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>161</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>165</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre as temáticas ligadas a eficiência energética, destaca-se a importância da realização de estudos voltados para o aproveitamento de luz natural em uma região de clima quente e úmido que possui grande disponibilidade de horas de insolação e quantidade de radiação solar incidente que precisam ser mensuradas e trabalhadas para que promovam seu aproveitamento de forma controlada uma vez que captar luz natural também pode significar captar carga térmica incidente.

Para uma região de clima quente e úmido, onde as horas de insolação e conseqüentemente a quantidade de radiação solar incidente são elevadas, recomenda-se um edifício com aberturas grandes (40% da área do piso) com ventilação necessária para dissipar o calor e que sejam sombreadas, recomendação está feita pela NBR 15220-3, atendendo a esse quesito volta-se para o estudo de sistemas de proteção solar, para controlar a radiação incidente na janela, fonte de luz natural e elemento de contato com o exterior.

Segundo FRANCO (2012) os elementos de controle da radiação solar como o *brise*<sup>1</sup>, e a prateleira de luz geram um recorte (redução) de  $I_g^2$  reduzindo os custos energéticos da edificação, uma vez que ela ganhará menos calor, se aquecendo e necessitando menos de resfriamento artificial, passando assim o *brise* a ser equacionado no seu custo/benefício, porém “quanto ao sombreamento total em clima quente e úmido, pode-se dizer que sombrear demais pode não ser adequado, existe a necessidade de promover a higiene por exposição à insolação, mais especificamente à componente ultravioleta” (informação verbal)<sup>3</sup>.

A partir destes questionamentos surge a necessidade de trabalhar com dispositivos de proteção solar que promovam o sombreamento das aberturas, permitam que haja contato visual com o exterior através das mesmas, não obstruam a ventilação e mantenham o nível e a distribuição de iluminação natural adequados no ambiente, para tanto optou-se pelo sistema de *brise* tipo prateleiras de luz (*light shelf*), elemento que divide a abertura (janela) em duas porções, com funções distintas, a superior destinada a iluminação e a inferior a visão e ventilação, que

---

<sup>1</sup> *Brise Soleil*, do francês: sombreador

<sup>2</sup> Intensidade da radiação solar global ( $W/m^2$ )

<sup>3</sup> Informação fornecida pelo orientador Prof. Dr. Irving Montanar Franco, durante orientação, em 2012.

redireciona a radiação solar para o forro reduzindo o ganho de calor solar e uniformizando a distribuição de luz natural. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2004)

Para tanto objetiva-se refinar os processos metodológicos através das ferramentas, buscando uma metodologia de avaliação do desempenho da edificação que se refere à quantificação do desempenho do *brise soleil* e da prateleira de luz, quanto aos ganhos gerados pelos diferentes sistemas em clima quente e úmido e às relações objetivas quanto à necessidade controlar a insolação pelas aberturas (janelamentos) e, ao mesmo tempo, permitir o acesso à iluminação natural, demonstrando-se as ferramentas de cálculo e simulação (CSTB, Relux e Ecotect) utilizadas de modo complementar na busca da obtenção de resultados efetivos. Estudo desenvolvido para o contexto da cidade de Belém, situada na zona bioclimática 8 onde, segundo a NBR 15220-3, as aberturas nas edificações devem ter área maior ou igual a 40% da área do piso e que as mesmas devem ser sempre sombreadas. É importante ressaltar saber que existem diferentes potenciais relativos a cada técnica de sombreamento, tanto para o desempenho térmico como para o desempenho lumínico.

Pretende-se através deste estudo refinar os processos metodológicos de avaliação dos ganhos de calor gerados pela utilização de sistema de sombreamento tipo prateleira de luz, verificando a disponibilidade e a distribuição de luz e os ganhos de calor no interior do ambiente.

Este trabalho surge a partir de questionamentos, como :

- É possível aplicar um sistema passivo de aproveitamento de luz natural, como a prateleira de luz em clima quente e úmido sem que isso eleve consideravelmente os ganhos de calor internos no ambiente? Uma vez que captação de parte da radiação solar incidente representa não somente adição de luz natural, mas ao mesmo tempo de carga térmica.
- Até que ponto o sistema de prateleira de luz pode ser mais eficiente que um *brise* tradicional, quanto à sombrear reduzindo os ganhos de calor e permitir níveis e distribuição adequada de luz natural por todo o ambiente?

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ILUMINAÇÃO E ELEMENTOS DE CONTROLE

A produção da arquitetura está diretamente vinculada ao contexto social, econômico, político, cultural, tecnológico e geoclimático vivenciados pela sociedade, com relação à habitabilidade dos espaços não poderiam ser diferente, uma vez que arquitetura não está relacionada apenas ao conceito de abrigo, mas às condições de conforto que este abrigo proporciona ao indivíduo, conforto este que está ligado a questões fisiológicas, mas também a uma percepção subjetiva, uma vez que o ser humano possui sistemas de percepção de luz, do som, e do calor. Por isso o conceito de conforto abrange à avaliação das exigências humanas, ao princípio de que quanto maior for o esforço de adaptação do indivíduo, maior será sua sensação de desconforto. O esforço de adaptação está relacionado, por exemplo, ao esforço físico do olho para se adaptar as condições de luminosidade e desenvolver de forma adequada sua atividade, ou ao esforço do organismo para poder dormir ou trabalhar na presença de ruídos ou ainda capacidade de suar ou tremer devido a temperaturas quentes ou frias. (VIANNA e GONÇALVES, 2001)

Conforto é, portanto, a interpretação por meio de sensações (inclusive com caráter subjetivo, de difícil avaliação), de estímulos físicos, objetivos e facilmente mensuráveis (VIANNA e GONÇALVES, 2001), interpretações estas geradas pelo indivíduo que usa o espaço e sendo os espaços construídos com única finalidade de atender à necessidade desse indivíduo, seja de morar, trabalhar ou apenas para o lazer, o conforto torna-se indispensável para a arquitetura. Já não podemos mais produzir espaços apenas com finalidades estéticas que perdem sua grande função de abrigar, uma vez que não há quem se sinta abrigado em condições que julgue “ruins”.

Com a crise de energia deflagrada em 2001, a discussão sobre a questão energética brasileira ultrapassou o meio acadêmico e técnico para atingir a população em geral. Nesse contexto, questões relacionadas ao uso eficiente de energia tomaram maior ênfase, principalmente quanto às medidas para a efficientização de usos finais (SIGNOR, 1994).

Com este novo panorama surge a necessidade de redução do consumo de energia no País e promoção da eficiência energética que pode ser alcançada através do melhoramento do desempenho térmico do edifício, com o aproveitamento da luz natural, da ventilação e da redução dos ganhos de calor.

Em hospitais, cerca de 20% a 30% da energia elétrica consumida pode ser atribuída à iluminação artificial, em fábricas 15%, em escolas de 10% a 15%. (VIANNA e GONÇALVES, 2001,). Quanto ao potencial de redução em edifícios não-residenciais a luz natural associada com a artificial pode alcançar economias de 30% a 70%, em edifícios residenciais o potencial é bem menor, mas em projetos que buscam a luz natural, chegam a alcançar a iluminância interna necessária em 80% a 90% das horas diurnas do ano.

Ainda que se conheça a necessidade de proteger os edifícios da insolação direta, uma pesquisa de 2008, apresentada pelo Ministério de Minas e Energia, revela que 15,7% dos edifícios comerciais brasileiros utilizam algum tipo de proteção externa. As proteções tipo toldos e venezianas são os mais usados, mas juntos não chegam a 10% da amostra avaliada. Os *brises* correspondem a 2,8%, prateleiras de luz, a 0,3%. O Ministério reconhece que a ocorrência é baixa, havendo espaço para incentivo de uso desses dispositivos através de programas de eficiência energética (SANTOS e SOUZA, 2012).

A baixa utilização das proteções solares, a princípio poderia ser correlacionada à incerteza da relação custo/ benefício das mesmas, mas acredita-se que na verdade o desconhecimento da população em geral com relação as respostas energéticas das proteções solares e a não difusão desses elementos na produção de edifício principalmente residenciais, devido a priorização de custos reduzidos e lucro maiores influenciam diretamente na ausência dos mesmos, apesar dos estudos acerca desses sistemas terem sido desenvolvidos por diversos pesquisadores no mundo e no Brasil. Santos e Souza (2012) destacam pesquisas sobre a redução do consumo de energia elétrica anual de edifício com a utilização de *brises* através de simulações computacionais, um desses pesquisadores, Graziano Junior (1999) obteve uma redução entre 3% e 14% implantando *brises* horizontais em edifícios de escritórios de diversas capitais brasileiras, M. V. Santana (2006), obteve uma redução de até 11,6%, com *brises* verticais e horizontais com ângulo máximo de 45° em um escritório em Florianópolis e J. C. Carlo (2008) através de variações de características construtivas de protótipos de edificações

comerciais verificou que as proteções solares estão atrás apenas do potencial de redução de área da janela na fachada como medida para conservação de energia (MCE), com maior potencial de proporcionar resultados vantajosos.

De acordo com Gutierrez e Labaki (2003), os primeiros elementos de proteção caracterizados como *brise* foram inspirados em dispositivos de proteção solar oriundos da arquitetura árabe e asiática em sua concepção e foram idealizados por Le Corbusier, em meados do século XX, possuindo o mesmo princípio de atuação tendo como função o controle da radiação solar excessiva em países de clima quente, porém afeta a luminosidade e a visão para o exterior. O *brise* é composto de lâminas paralelas (horizontais, verticais ou combinadas), que interceptam os raios solares impedindo-os de atingir o interior da edificação.

O *brise-soleil* segundo Bill (2003), foi justamente “inventado” por Le Corbusier para solucionar os problemas da utilização de edifícios com cortinas de vidro (fachadas envidraçadas), que virara moda desde que Walter Gropius a utilizou em uma fábrica (1910), em um escritório (1914) e na Bauhaus (1926) e a mesma foi disseminada pelo próprio Le Corbusier e por Mies Van Der Rohe. Uma vez que se percebeu que esta solução era inadequada sem a utilização do sistema de ar condicionado e de serviços de manutenção cuidadoso, o *brise* foi criado, para proteger as superfícies envidraçadas quando a insolação e claridade excessivas se tornavam insuportáveis.

Segundo Franco (2003) o *brise-soleil* é a resposta tecno-estética para equacionar o problema da térmica das áreas envidraçadas sujeitas à insolação direta, que surgiram com a maior transparência e continuidade visual. Nas edificações modernas age no sentido de reduzir a iluminância pelo bloqueio total ou parcial da insolação direta, porém em geral pouco contribuem para o aumento de luz natural para posições mais internas

O edifício Gustavo Capanema ou Palácio Capanema, mais conhecido como sede do Ministério da Educação e Cultura, no Rio de Janeiro, inaugurado em 1947, e projetado por Lucio Costa, Carlos Leão, Oscar Niemeyer, Affonso Eduardo Reidy, Ernani Vasconcellos e Jorge Machado Moreira, com a consultoria de Le Corbusier, marco da arquitetura moderna brasileira, é um bem sucedido exemplo da utilização dos *brises* para proteção da fachada envidraçada como mostra a figura 1.

Figura 1 - Edifício Gustavo Capanema



Fonte: [www.fotolog.com](http://www.fotolog.com)

A luz natural interna aos ambientes é a luz advinda diretamente do sol, juntamente com a luz difundida na atmosfera e a luz refletida no entorno. Os níveis e a distribuição da luz no recinto dependem da disponibilidade da luz natural (quantidade e distribuição variáveis com relação às condições atmosféricas locais), das possíveis obstruções externas, da configuração e orientação das aberturas, das características dos envidraçados, da configuração do ambiente e das refletividades das superfícies internas. (NBR 15215-3, 2004)

As principais grandezas referentes à iluminação natural segundo Bertolotti (2007), são iluminância, luminância e contraste. Os raios luminosos não são visíveis, a sensação de luminosidade é decorrente da reflexão desses raios por uma superfície, a luminosidade vista é chamada de luminância, então pode-se definir de forma sucinta a iluminância como a luz incidente, não visível e a luminância como a luz refletida visível. A iluminância é a sensação de claridade provocada no olho por uma fonte de luz ou por uma superfície iluminada em uma dada direção, representa a intensidade luminosa da superfície dividida pela sua área aparente, dada pela posição do observador, também depende das características de reflexão da superfície.

O contraste é a diferença relativa de brilho entre o objeto e seu entorno, e pode ser expresso em termos de luminância, iluminância e refletividade entre as

superfícies. É também um elemento vital para a percepção visual eficiente necessário entre o objeto ou a tarefa e seu entorno, mas não entre o objeto e seu entorno ambiental e o campo total de visão. (BERTOLOTTI, 2007). O Autor destaca ainda que existem basicamente três tipos de contraste:

- Contraste de brilho: resultado da quantidade de luz refletida ou emitida por uma superfície, como as variações de sombra, mudanças entre o contraste de cores claras e escuras ou forma e textura de uma superfície;
- Contraste de padrões: mudança de percepção de um padrão conhecido;
- Contraste de cor: baseado na justaposição de cores próximas, pares de cores complementares como verde e amarelo, azul e amarelo, resultam em maior contraste visual.

Os estudos sobre aproveitamento de luz natural nos ambientes sempre devem se basear no uso e finalidade dos mesmos, pois há ambientes em que a iluminação uniforme é mais recomendada, enquanto que em outros é desejável uma maior variação. Por exemplo, em ambientes onde os usuários ocupam posições fixas, o critério deve ser diferente daqueles onde os mesmos podem mover-se livremente à procura da configuração de luz mais adequada às atividades que desejem exercer. (NBR 15215-3, 2004).

Segundo Vianna e Gonçalves (2001), em países de clima quente como o Brasil, em edifícios públicos, principalmente em escolas, há um superdimensionamento das proteções solares devido à preocupação com o aquecimento proveniente dos ganhos através da radiação solar direta que resulta em bloqueio da quantidade de luz natural necessária para a realização das atividades e o uso permanente de iluminação artificial, e no conseqüente aquecimento e gastos de energia desnecessários.

Gutierrez e Labaki (2003) afirmam que a efetividade da proteção solar sobre a envoltória depende da distância relativa à fachada, o que influi na transmissão de calor, do coeficiente de reflexão e absorção do material relativo à radiação solar, e da geometria do elemento, a qual influi na capacidade de sombreamento em função da trajetória solar.

Para Steemers, Baker e Fanchiotti (1993), a janela como uma fonte de luz, não é necessariamente um componente eficiente na estrutura do edifício. Sendo a

parte transparente na envoltória do edifício estabelece contato com o mundo exterior, mas também produz ofuscamentos e problemas térmicos, este último de grande preocupação dentro desse estudo sobre as prateleiras de luz, uma vez que se volta para aplicação da mesma em um clima onde a térmica é determinante, pois a radiação solar e as horas de insolação são elevadas. Os dispositivos de sombreamento e vidros de baixa transmitância, absorptivos ou reflexivos, foram usados para restringir os ganhos de calor solar e reduzir o ofuscamento da componente de brilho do céu; contudo vidros reflexivos de controle solar também reduzem a transmitância da luz, é preciso ter atenção ao nível de luz necessário no ambiente. Esses elementos de redução do ofuscamento e a busca pela penetração mais profunda da luz no espaço, há muito tempo estão sob investigação. No início da década de 1950 os estudos sobre prateleira de luz iniciaram com Hopkinson, com o intuito de aumentar o nível de luz diurna e ao mesmo tempo reduzir ofuscamento.

A busca por um modelo de proteção solar mais eficiente nos leva à prateleira de luz uma vez que diversos estudos comprovam a eficiência da prateleira de luz na uniformização dos níveis de iluminância no ambiente. Aspectos relacionados à forma e à configuração deste dispositivo devem ser observados para otimizar o seu uso. Em relação à obstrução da parcela de céu visível, comprovou-se a interferência da prateleira de luz nas proximidades das aberturas, diminuindo a iluminação nessa porção do ambiente. (CÂNDIDO, *et al.*, 2005)

O alcance da luz do dia é cerca de duas vezes a distância entre o piso e a verga da janela e a prateleira de luz pode otimizar essa razão, conforme Figura 2. Se a profundidade de um ambiente excede 2,5 vezes a altura da janela, alguma forma suplementar (natural ou artificial) de sistema de iluminação é necessário, não só para proporcionar um nível adequado iluminação, mas também para proporcionar um ambiente visualmente ótimo. (STEEMERS, BAKER E FANCHIOTTI, 1993)

Figura 2 - Alcance da luz no ambiente



Fonte: TANTERI

Dentro das pesquisas acerca do conforto ambiental, pode-se destacar elementos construtivos de controle e redirecionamento da luz natural, sendo a luz essencial para que se desenvolva qualquer atividade no ambiente. Um desses elementos é a prateleira de luz. A Figura 3, a seguir, apresenta uma aplicação de prateleira de luz interna ao ambiente.

De acordo com Kim *et al.* (2012), o dispositivo de sombreamento externo é muito mais eficaz que qualquer outra forma de dispositivos internos, pois interno absorve o calor solar e irradia para o interior, por isso é necessário atentar não somente para do desempenho lumínico, mas também para o desempenho térmico dos sistemas de proteção solar.

Figura 3 - Aplicação da prateleira de luz em uma biblioteca



Fonte: GONÇALVES, 2009

A investigação sobre prateleiras de luz iniciou em 1950 através das pesquisas de Hopkinson para adequar a iluminação em um espaço profundo de uma enfermaria de um hospital, utilizando apenas a luz do dia, mantendo o conforto visual para os pacientes em camas próximas à janela. As medições em um modelo em escala, realizadas em 1951, revelaram que os fatores de luz diurna, melhoraram com a prateleira de luz ao longo de toda a ala. A luz do dia disponível espalhou-se mais uniformemente, melhorando as condições visuais dentro da enfermaria, especialmente próximo à janela. (CHUTARAT, 2001).

A Figura 4, a seguir demonstra o efeito de uniformidade e a melhoria da distribuição da luz no ambiente com a implantação da prateleira de luz, o que é evidente pela diminuição acentuada do contraste entre as áreas claras e escuras.

Figura 4 - À esquerda o ambiente real, ao centro o modelo em escala sem prateleira e à direita o modelo em escala com a implantação da prateleira de luz

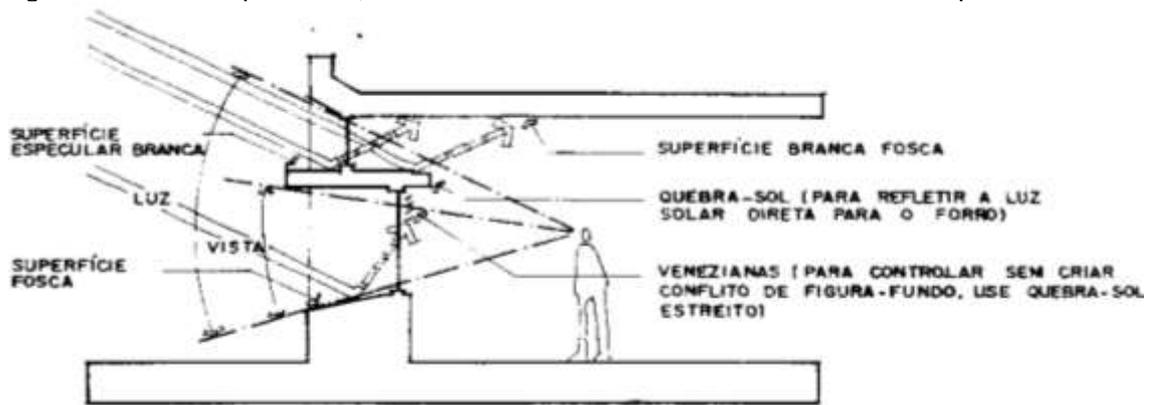


Fonte: MACEDO, 2002

Segundo Steemers, Baker e Fanchiotti (1993), as prateleiras de luz são elementos planos ou curvos na fachada da janela acima do campo visual. Elas redirecionam a luz que entra pela reflexão. Ao mesmo tempo, que protegem os ocupantes de penetração direta do sol.

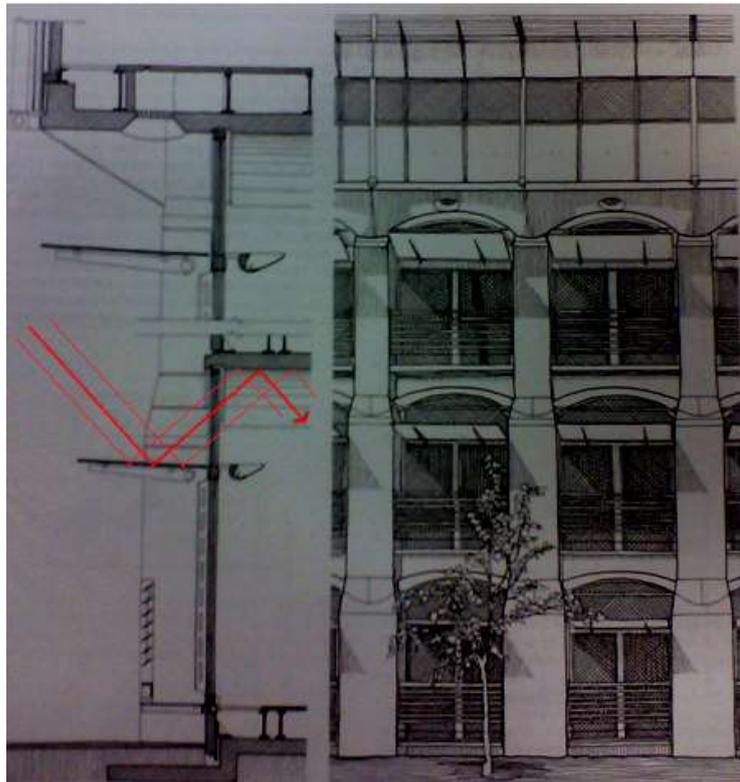
Para Graziano Junior (2010), a prateleira de luz atua como uma bandeja, recebendo a insolação na parte superior e refletindo-a para o teto, redirecionando a luz natural para as áreas mais distantes da janela e sombreando a parte próxima da abertura, que poderia ficar com altos níveis de iluminação causando ofuscamento; o redirecionamento ao fundo, no modelo teórico, não ocorre na sua totalidade, uma vez que apenas parte da luz é redirecionada (ver Figura 5 e Figura 6). Estes elementos também são considerados importantes, pois promovem um bloqueio significativo da insolação na área próxima da janela; proporciona um redirecionamento para o fundo do ambiente de uma parcela da iluminação; a redução das diferenças dos níveis de iluminação entre áreas próximas e distantes da abertura; melhoram a qualidade da iluminação por ficar mais homogênea, permitir acesso visual ao exterior, e potencializar um caráter dinâmico, permitindo variação do ângulo de inclinação com a horizontal e até do seu tamanho, conforme horário e estação do ano, otimizando os ganhos e redirecionamentos.

Figura 5 - Corte esquemático, detalhado e descritivo do funcionamento de uma prateleira de luz



Fonte: Manual ABILUX, 1992

Figura 6 - Island Revenue Offices, em Nottingham, Inglaterra. Projetados por Michael Hopkins e Partners



Fonte: G. Z. e DEKAY, 2004, p. 279.

Um conceito importante em estudos sobre prateleira de luz é a uniformidade, geralmente aplicada na avaliação da distribuição de luminâncias sobre o plano de tarefa, pode ser avaliada pela distribuição balanceada dos níveis de iluminância, quanto mais uniforme a iluminação sobre o plano de trabalho, melhor balanceada será a iluminância no espaço adjacente. É a relação entre a iluminância mínima e média e não pode ser menor que 0,8. (BERTOLOTTI, 2007, p. 50)

Bertolotti (2007) ressalta que o conforto visual pode ser avaliado com base no contraste e no ofuscamento. De acordo com a CIE<sup>4</sup> é a condição de visão na qual existe desconforto ou redução na habilidade de ver detalhes ou objetos, causados por uma inadequada distribuição de luminâncias ou por contrastes externos. O olho humano pode se adaptar a uma grande variação de ambientes luminosos, mas não pode funcionar muito bem quando uma variação tão extrema de níveis de brilho está presente no campo visual ao mesmo tempo.

Segundo Vianna e Gonçalves (2001), as prateleiras de luz são estruturas consideradas úteis para a projeção de luz natural para dentro do edifício e podem estar integradas ou não às paredes das salas ou dos edifícios, ser fixas, ou móveis para acompanhar a trajetória aparente do sol. Além de sua principal função que é de projetar a luz natural para as partes mais profundas das salas, ainda aumentam a uniformidade da iluminação, além de sua parte inferior servir como marquise protegendo as pessoas da incidência direta e/ou do ofuscamento nas áreas mais próximas a janela.

Esses efeitos indesejados da iluminação podem ser entendidos melhor quando observamos as ilustrações a seguir. Na Figura 7, nota-se as aberturas permitindo a incidência de grande quantidade de luz sobre as mesas com elevado potencial de ofuscamento, já na Figura 8 percebe-se o efeito do contraste causado pela luz entrando pelas janelas da fachada oeste em contraponto às áreas menos iluminadas, enquanto que na Figura 9 observa-se uma faixa de luz natural oriunda das janelas da fachada oeste, ofuscando a visão das pessoas sentadas nas mesas.

Figura 7 - Efeito da incidência de luz direta através da janela



Fonte: SOUZA, 2009

---

<sup>4</sup> *Comission Internationale d'Éclairage: Comitê internacional de*

Figura 8 - Efeito do contraste



Fonte: SOUZA, 2009

Figura 9 - Efeito do ofuscamento



Fonte: SOUZA, 2009

Os aspectos térmicos da utilização da luz solar para iluminação, sempre foram preocupantes nos estudos de aproveitamento da luz, de acordo com Steemers, Baker e Fanchiotti (1993), se um elemento de controle utilizando a luz solar como fonte de luz deve ser adotado, então o ganho de calor solar tem de ser comparado com o ganho de calor a partir da iluminação artificial (lâmpadas fluorescentes ou incandescentes) que pode ser compensada. A luz solar tem uma eficácia luminosa maior do que a maioria das lâmpadas, conseqüentemente, a entrada de energia dos sistemas de direcionamento da luz para espaços iluminados lateralmente é menor (ou seja, menos calor por lúmen) do que a maioria das alternativas elétricas.

Somente esta regra de três entre o calor do sistema de luz natural e o gerado pelas lâmpadas em um sistema elétrico não é suficiente para responder aos questionamentos sobre o incremento dos ganhos de calor no ambiente com os sistemas de redirecionamento da luz para os espaços internos, uma vez que a luz natural sofre variações caóticas quando sob céu de transição.

Macêdo (2002) afirmara que ainda não existiam padrões para estabelecer as condições de ganhos de calor solar provenientes desses sistemas, muitas vezes caracterizado através do Fator Solar (FS), razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela pela quantidade de energia solar que nela incide, sendo a quantidade de calor que penetra em um ambiente através de uma janela ou sistema de abertura, onde tem-se um fator solar de 0,87 para um vidro simples exposto a radiação, ou seja ele absorve 87% da radiação solar incidente, enquanto que a prateleira de luz espelhada com vidro duplo horizontal com metade da com insolação direta absorve apenas 58 % da radiação solar incidente (DUTRA, LAMBERT e PEREIRA, 2004)

Franco (2007) estudou as prateleiras de luz através de sistemas passivos e dinâmicos com controle automático de inclinação das mesmas, para as condições de céu de São Paulo e verificou em sua pesquisa que o ganho de calor usando prateleiras de luz aumentou – quando comparado com os dispositivos de sombreamento horizontal padrão – mas não parece ser um sobreaquecimento resultante. Os ganhos de calor foram mantidos em níveis bem abaixo, em comparação com o obtido em fachadas de vidro não sombreadas.

A contribuição da luz natural, com prateleiras de luz depende diretamente dos materiais que utilizados na sua superfície, da sua geometria e da orientação. O céu parcialmente nublado representa a condição de que muitas vezes ocorre em climas tropicais, e é um fator significativo na diminuição da contribuição de luz natural, uma vez que as nuvens impedem a luz de chegar com alta intensidade na superfície (FRANCO, 2007).

De acordo com o programa de simulação e procedimentos experimentais, é possível concluir que a variação na inclinação angular nas prateleiras de luz pode contribuir para melhores resultados na contribuição de luz natural (FRANCO, 2007).

Quanto à avaliação da geometria do sistema, verificou-se que janelas maiores não podem oferecer um melhor desempenho de iluminação. Esta estratégia produz grandes diferenças na distribuição de níveis máximos e mínimos de

luminância. É perfeitamente normal ver venezianas em espaços interiores de grandes fachadas envidraçadas, não só para evitar a incidência solar direta, mas também para evitar que o excesso de luz natural de origem difusa, o que poderia ser feito com o dimensionamento adequado da área da janela. (FRANCO, 2007)

Sistemas de sombreamento padrão, como horizontal, dispositivos opacos de sombreamento e prateleiras de luz, contribuem para menos luz natural quando comparado com janelas não-sombreadas. Estes dispositivos diminuem a contribuição média da luz natural, funcionando como redutores do ganho de calor, pois bloqueiam a incidência direta do sol. (FRANCO, 2007)

Ao adotar prateleiras de luz, a intenção é promover uma melhor distribuição da luz natural através do comprimento do eixo central dos ambientes internos, o mais profundamente possível, o que contribui para uma melhor uniformidade na distribuição da iluminância. (FRANCO, 2007)

Prateleiras de luz passivas, em geral, realizam a tarefa de proporcionar uma melhor distribuição de luz natural, quando comparado com sistemas tradicionais de sombreamento horizontal. No entanto, eles também diminuem a média de iluminação numa sala em que existe apenas a contribuição da luz difusa na condição de céu nublado. (FRANCO, 2007)

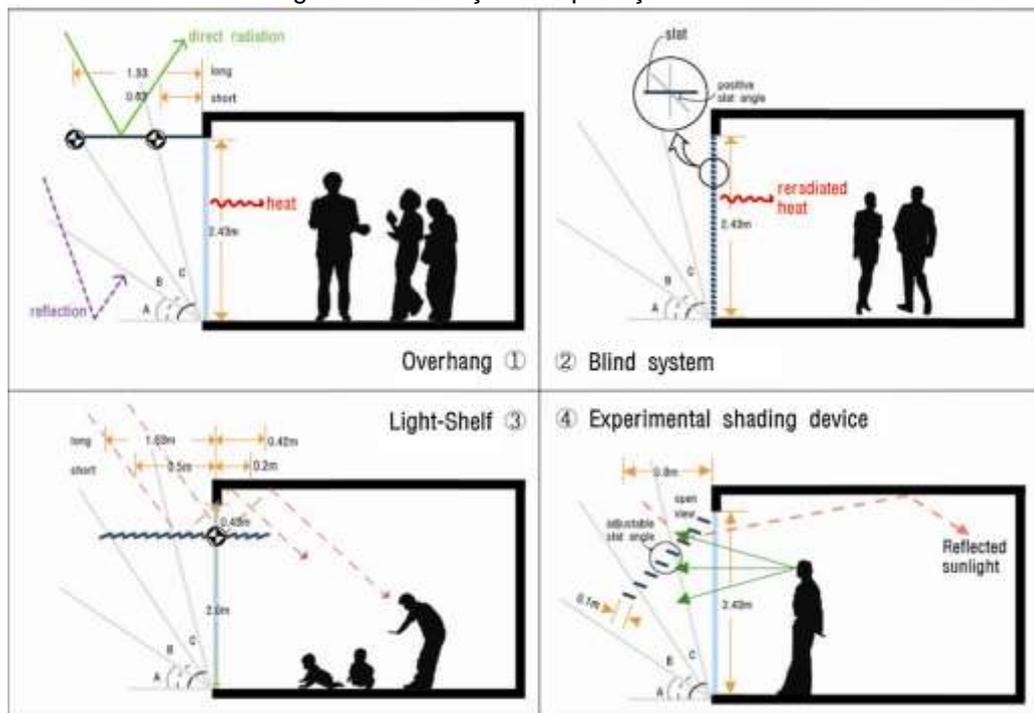
Os experimentos com prateleiras de luz sob condições de clima tropical foram realizados com cuidado especial em relação à transferência de calor. Testes com “células de teste” com janelas orientadas para o Norte, simulando comparativo simultâneo de sistemas de janela, e confirmou-se que a utilização da prateleira de luz em condições de clima tropical, pode reduzir, de forma significativa, ganho de calor quando comparado às janelas não sombreadas. (FRANCO, 2007)

A contribuição da quantidade de calor gerado pela luz natural que entra na sala – quando comparada com a proteção horizontal de dispositivos de sombreamento - não era restritiva. A simultânea adoção de estratégias naturais quanto à ventilação cruzada e prateleiras de luz podem garantir boas condições em ambientes sob clima tropical. (FRANCO, 2007)

As variações de geometria e de materiais podem ser infinitas na busca do melhoramento do desempenho das proteções solares. Kim et. al (2011), fez um comparativo de quatro sistemas de proteções solares, ver Figura 10, sendo: um *brise*, ou beiral com variação mais longa e mais curta (1); um sistema convencional de venezianas móveis (2); um sistema de prateleira de luz interna e externa, com

bandejas pequenas e inclinadas tipo venezianas, mais longo e mais curto (3); e um terceiro sistema de proteção tipo venezianas mais afastadas separadas da fachada (4).

Figura 10 - Variação das proteções solares



Fonte : KIM *et al.* , 2011

Ele verificou que quanto mais horizontal, o objeto economiza energia de resfriamento em até 11%. Uma prateleira de luz tem mais potencial para reduzir a exigência de refrigeração devido ao ajuste de ângulo das bandejas e, também, uma melhor distribuição de luz pode ser esperada.

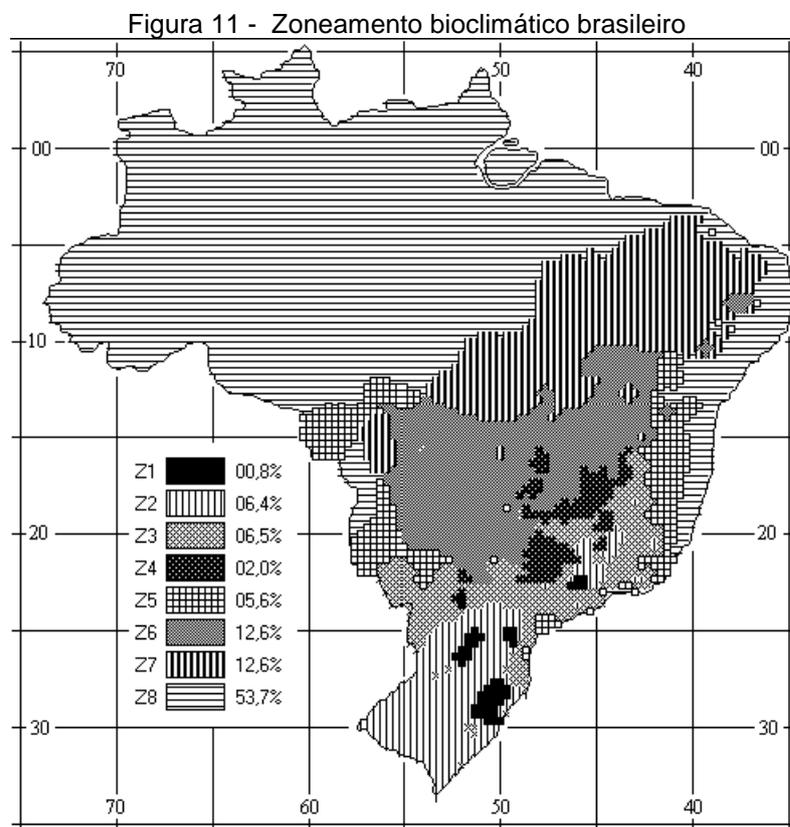
O dispositivo de sombreamento experimental reduz a energia de refrigeração economizando-a, nessa escala de economia temos, primeiramente, a prateleira de luz (longa), seguido pelo *brise* (longo), depois a prateleira luz (curta), o *brise* (curto), e um sistema de venezianas convencional em último. (KIM *et al.*, 2011)

Percebe-se que a adaptação das proteções solares, quanto ao desempenho desejado, à orientação, e ao material utilizado é vasta, o que torna a aplicação dos sistemas de proteções solares abrangente, necessitando apenas que o profissional ao projetar o edifício tenha conhecimento dessas soluções e dos cálculos e cuidados necessários para a manutenção e aplicação das mesmas, pois o potencial de economia de energia com refrigeração e iluminação está consolidado a partir de diversos estudos aqui explanados.

## 2.2 PARÂMETROS NORMATIVOS VOLTADOS À TÉRMICA E ILUMINAÇÃO

### 2.2.1 Norma de Desempenho Térmico de Edificações (NBR 15220-3/2005)

A norma de Desempenho Térmico de Edificações estabeleceu uma subdivisão das condições climáticas brasileiras para projeto em 8 zonas bioclimáticas, que são definidas de acordo com o clima e com as necessidades humanas de conforto. Para cada zona, são relacionadas as estratégias consideradas adequadas para edificações. (ver Figura 11)



Fonte: NBR 15220-3

O estudo de variáveis nesta escala é fundamental para o lançamento do projeto, pois uma série de particularidades climáticas do local influencia nas soluções arquitetônicas mais adequadas ao bem-estar pessoal e na eficiência energética. A

Tabela 1 indica as estratégias de condicionamento passivo por região, enquanto a Tabela 2 as detalha.

Tabela 1 - Estratégias de condicionamento passivo.

Zona	Estação	Estratégias*
1	Inverno	B e C
2	Verão	J
	Inverno	B e C
3	Verão	J
	Inverno	B e C
4	Verão	H e J
	Inverno	B e C
5	Verão	J
	Inverno	C
6	Verão	H e J
	Inverno	C
7	Verão	H e J
8	Verão	J

Fonte: NBR 15220-3

Tabela 2 - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico passivo

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecidas.
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidade).
E	Caracteriza a zona de conforto térmico.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
G e H	Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água, diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21°C e 30°C, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida através da utilização de recipiente com água e do controle da ventilação por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas.

Fonte: NBR 15220-3

A norma traz catálogo de diversas composições de materiais de paredes e coberturas mais utilizadas, fornecendo valores de transmitância térmica (U), capacidade térmica (Ct) e atraso térmico ( $\varphi$ ) em horas, os quais devem ser respeitados. Tais valores podem ser conferidos na Figura 12.

Figura 12 - Propriedades estabelecidas para paredes e coberturas na zona bioclimática 8.

Vedações externas		Transmitância térmica - U W/m <sup>2</sup> .K	Atraso térmico - $\varphi$ Horas	Fator solar - FS <sub>o</sub> %
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: NBR 15220-3

Belém está localizada na zona bioclimática 8. A Tabela 3 resume os parâmetros estabelecidos para essa zona.

Tabela 3 - Diretrizes construtivas para zona bioclimática 8

Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 8		
Sombreamento	Sombrear aberturas	
Verão	Ventilação cruzada permanente	
Aberturas para ventilação	Grandes	A > 40% área do piso
Vedações externas	Paredes leves e refletoras	$U \leq 3,6$ ; $\varphi \leq 4,3$
	Cobertura leve e refletora	$U \leq 2,3 \times FT$ ; $\varphi \leq 3,3$

Nota:

1. Coberturas com telha de barro sem forro, embora não atendam aos critérios das tabelas 23 e C.2 da NBR 15220-3, poderão ser aceitas na Zona 8, desde que as telhas não sejam pintadas ou esmaltadas.
2. FT – fator de correção de transmitância aceitável para coberturas da Zona 8.

\* Limites aceitáveis de transmitância ter mica multiplicados pelo fator  $FT = 1,17 - 1,07 \times h^{-1,04}$

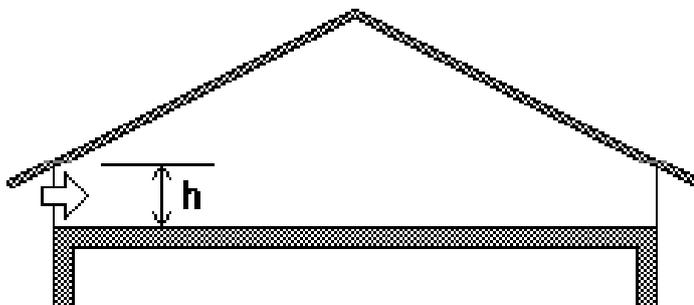
Obs: Na tabela "A" é a área de abertura para ventilação

Fonte: NBR 15220-3

Na Zona 8, também serão aceitas coberturas com transmitâncias térmicas acima dos valores tabelados, desde que: contenham abertura para ventilação em, no mínimo, dois beirais opostos; e as aberturas para ventilação ocupem toda a extensão das fachadas respectivas.

A Figura 13, demonstra a altura ( $h$ ) da abertura em beirais opostos, em centímetros, lembrando que para coberturas sem forro ou com ático não ventilado, deve-se considerar  $FT=1$ .

Figura 13 - Abertura ( $h$ ) em beirais para ventilação do ático.



Fonte: NBR 15220-3

## 2.2.2 Regulamento Técnico de Qualidade para Edifícios Comerciais e Públicos (RTQ-C)

O RTQ-C apresenta os critérios para classificação completa do nível de eficiência energética do edifício através de classificações parciais da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar. Uma equação pondera estes sistemas através de pesos estabelecidos no regulamento e permite somar à pontuação final bonificações que podem ser adquiridas com inovações tecnológicas, uso de energias renováveis, cogeração ou com a racionalização no consumo de água, pretende classificar os edifícios através de uma etiqueta que vai dos níveis A a E, assim como as obtidas para os eletrodomésticos.

Há alguns questionamentos sobre como as proteções solares são avaliadas no RTQ-C, estudos realizados através de simulações por Santos e Souza (2012) obtiveram-se os resultados descritos a seguir.

O RTQ-C é aplicado a um projeto de edificação que não possui tais dispositivos. Proteções são então aplicadas ao edifício e o desempenho energético é calculado pelo método prescritivo do RTQ. Por simulação computacional, as mesmas proteções são inseridas em um ambiente-padrão do prédio e obtêm-se dados de consumo de energia total e com iluminação.

Os principais resultados reforçam a importância de se considerar a geometria e a orientação solar dos dispositivos no desempenho, fatores que não são avaliados pelo RTQ-C prescritivo.

No RTQ-C prescritivo, a influência das proteções solares no consumo é relacionada a apenas uma característica: aos ângulos que formam com as aberturas. Não são considerados geometrias, tipos de acabamento, refletividade da superfície, entre outros fatores relevantes para o desempenho dos dispositivos.

Resultam da média dos ângulos formados entre o plano do vidro e a extremidade da proteção horizontal (AVS) ou vertical (AHS) de todas as aberturas. Pelo Regulamento, o ângulo máximo que pode ser aplicado na equação é 45° para “(...) evitar o uso de proteções excessivas que possam prejudicar a penetração da luz natural difusa nos ambientes internos (...)”

Para efeito de cálculo no RTQ-C, somente o ângulo do dispositivo pode ser considerado, não há outro parâmetro como, por exemplo, a orientação da fachada onde está o *brise*. Além disso, as tipologias de proteção solar que podem ser contabilizadas restringem-se àquelas contínuas em contato direto com a fachada, às vazadas (tipo pergolado ou laminadas), cujas aletas estão paralelas à abertura e sem grande distanciamento entre si, e às proteções paralelas externas à abertura (pórticos, chapas perfuradas e etc.), que estão fisicamente conectadas ao edifício e distanciadas do plano de vidro até uma altura equivalente à do vão. E não há diferenciação de proteções móveis, as quais devem ser avaliadas como fixas considerando seu ângulo máximo de sombreamento.

Quanto ao sistema de iluminação estipula três quesitos para avaliação do mesmo, um deles é a divisão dos circuitos cada ambiente deve ter pelo menos um dispositivo de controle manual da iluminação interna do mesmo, acessível e localizado de tal forma que permita ver os sistemas de iluminação que está sendo controlado pelo dispositivo, caso isso não seja possível informar através de representação gráfica qual a área abrangida pelo controle manual

Outro quesito avaliado é a contribuição de luz natural, o regulamento diz que ambientes voltados para o exterior, ou para átrio não coberto, ou de cobertura translúcida pra propiciar o aproveitamento da luz natural devem conter acionamento independente da fileira de luminárias mais próximas à abertura.

O desligamento automático do sistema de iluminação também é levado em consideração para ambientes acima de 250m<sup>2</sup> devem possuir dispositivo de controle

automático para desligamento da iluminação, que pode ser através de um horário pré-determinado, sensor de presença ou sinal de controle de sistema de alarme que indique que a área está desocupada.

O regulamento determina a eficiência do sistema de iluminação estabelecendo o limite de potência de iluminação interna para os espaços internos os edifícios. Os níveis de eficiência para a potência de iluminação variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

### 2.2.3 NBR 15215 – Iluminação Natural

Além conceituar elementos importantes para a compreensão dos estudos acerca de iluminação natural, esta norma descreve procedimentos de cálculo para estimativa da disponibilidade de luz natural, procedimentos de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos e verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações através do método de medição.

Além dos parâmetros de medição estipulados pela norma, um dos itens importantes neste estudo foi a utilização do coeficiente de luz diurna (CLD).

Segundo a NBR 15215-3, o fator de luz diurna é uma medida da iluminação natural interna num dado local como uma porcentagem da iluminação externa. Para esta medida utiliza-se o *Daylight Factor* (DF), ou fator de luz diurna (FLD), ou coeficiente de luz diurna (CLD), definido como a razão entre a iluminância num ponto ( $E_p$ ) localizado num plano horizontal interno, devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste, com uma distribuição de luminâncias assumida ou conhecida e a iluminância simultânea ( $E_e$ ) num plano externo horizontal, devida à uma abóbada celeste desobstruída, conforme a seguinte expressão:

$$DF = \frac{E_p}{E_e} \times 100\%$$

(Fórmula 1)

A contribuição devido à luz direta do sol não é levada em consideração no cálculo do CLD, devido aos seus atributos direcionais e outros efeitos, como: ganho de calor, degradação dos materiais e ofuscamento, devendo ser considerada

separadamente. Na sua formulação original, o CLD é assumido como uma constante para todos os pontos de um ambiente, independentemente da iluminância horizontal externa produzida por céus com uma distribuição de luminâncias uniformemente constante com relação ao azimute (céus uniformes e encobertos).

Assim, o CLD pode ser utilizado como critério para comparar o desempenho de diferentes sistemas de iluminação natural e ser facilmente convertido em iluminâncias internas, multiplicando-o por uma iluminância externa apropriada.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do trabalho baseia-se na análise dos ganhos de calor, velocidade de aquecimento e desempenho lumínico, analisando a eficiência dos dispositivos de proteção solar, para três tipos de recinto diferentes: sem proteção, com *brise* tradicional e com prateleira de luz, utilizando-se o método de cálculo do CSTB, das medições dos níveis de iluminação e da velocidade de aquecimento desses sistemas em um modelo em escala reduzida e de simulações nos *softwares* Ecotect v5.2 e Relux 2006, considerando sua acurácia e resolução específicas e buscando um refinamento nos resultados de acordo com o objetivo do trabalho. A aproximação é realizada no intuito de analisar o processo metodológico de refinamentos sucessivos dos resultados e não propriamente nos aspectos das vantagens e desvantagens de cada ferramenta.

Os dois *softwares* utilizados nesta análise tiveram tais versões, apesar de não atuais, mantidas pois geraram resultados desenvolvidos em iniciação científica<sup>5</sup>, os quais foram revisitados para a produção deste trabalho. Os programas realizam cálculos tanto para luz natural como para artificial, porém o recorte será direcionado somente para a iluminação natural e aquecimento interno, objetivo desta pesquisa.

Para início do estudo definiu-se as configurações do modelo, baseado nas dimensões de um ambiente existente, e a tipologia do janelamento e dos dispositivos de proteção, realizaram-se os primeiros estudos através dos cálculos no método CTSB adaptado por FROTA e SCHIFFER, 2003, para os três sistemas (sem proteção, com *brise* e com prateleira de luz) para a verificação e comparação do recorte de carga e dos ganhos de calor gerados nos diferentes sistemas de sombreamento.

As avaliações experimentais procederam em modelos em escala reduzida, com escala de 1:15, obedecendo a escala mínima indicada pela norma que é de 1:40, que não visam à reprodução de nenhum ambiente de forma fiel, com todos os componentes necessários para uma boa avaliação da iluminação, como cores, absortância e refletâncias e mobiliários, faz-se um recorte para direcionar o experimento apenas para o objetivo do estudo: verificar a distribuição e a

---

<sup>5</sup> Bolsa de Iniciação Científica Eletrobras/PROCEL-EDIFICA, 2008.

intensidade de luz no ambiente e os aquecimentos dos diferentes sistemas (sem proteção, com *brise* tradicional, com prateleiras de luz).

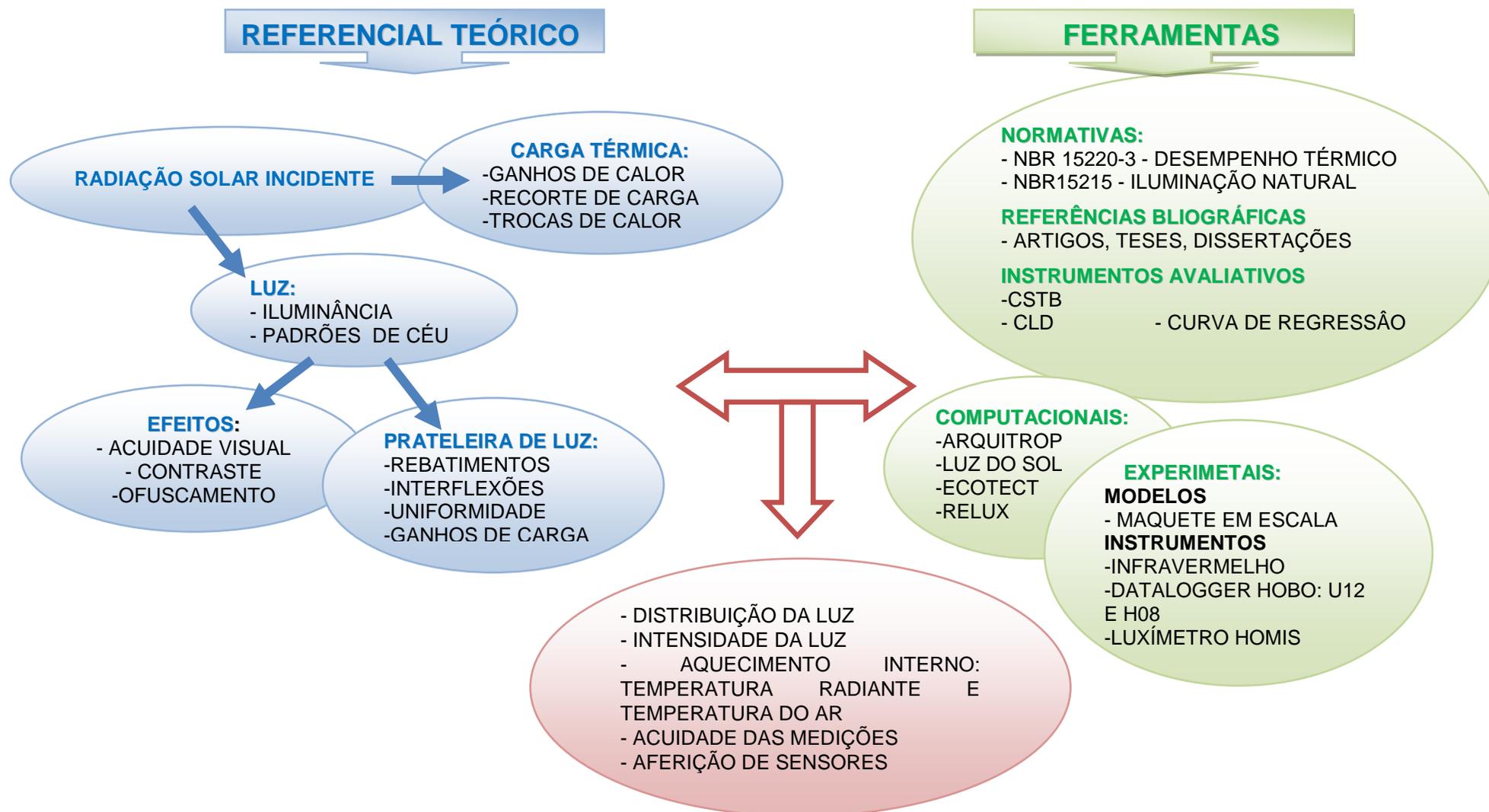
Toda a metodologia de medição no modelo em escala baseia-se na NBR 15215-4/2003 “Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição” que faz todas as recomendações necessárias para a verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações explicitando os métodos de medição que devem ser adotados e os instrumentos a serem utilizados, explicitados no capítulo 3, item 3.2 Parâmetros Normativos.

De acordo com a NBR 15215-4/2003 a iluminância e a luminância podem ser medidas em ambiente reais ou em modelos físicos executados em escala reduzida e deve-se observar a demonstração não deve ter escala menor que 1:40.

Ao contrário de outros modelos térmicos - nos quais o comportamento do fenômeno físico (transmitância térmica, tensões estruturais, fluxo de ar e etc.) sofre distorções pelo efeito da escala - o modelo para iluminação não requer compensações em função da escala. Como o comprimento de onda da luz visível é extremamente reduzido em comparação ao tamanho dos modelos em escala, um modelo arquitetônico que represente com fidelidade um espaço real, exposto às mesmas condições de céu e mantendo a mesma geometria e as mesmas características das superfícies, apresenta um padrão de distribuição da iluminação interna idêntico. (NBR 15215-4/2003)

Portanto, segundo a NBR 15215-4/2003, como a luz não sofre distorções, as medições, neste caso, têm como objetivo avaliar as condições de iluminação do ambiente ainda em fase de projeto, através da execução de maquetes, permitindo a adoção de sistemas de aberturas mais eficientes e uma melhor orientação dos componentes construtivos. Já as medições em ambientes reais (avaliação *in loco*), têm como objetivo avaliar as condições de iluminação natural do ambiente construído, em condições reais de ocupação e utilização.

## 3.1 DIAGRAMA METODOLÓGICO



### 3.2 INTRODUÇÃO AO PROCESSO DE METROLOGIA EM CONFORTO AMBIENTAL

O processo de aprendizagem das técnicas de aferição em conforto ambiental segue uma trajetória implementada ao longo do mestrado, através das disciplinas do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura Urbanismo de Conforto Instrumental, da Participação em Pesquisa em Pesquisa Orientada e ainda da participação no Curso de Estimativa da Incerteza de Medição para Laboratórios e Ensaio e de Calibração oferecido pelo CEAMAZON<sup>6</sup>.

A aprendizagem acerca dos processos de aferição e tratamentos de dados, após as dinâmicas de utilização dos equipamentos em conforto instrumental, só é construída a partir da vivência na coleta e tratamento dos dados a partir da participação no Projeto de Pesquisa intitulado “Condicionantes ambientais urbanas em clima tropical quente-úmido na Amazônia, expressos em indicadores microclimáticos e acústicos na cidade de Belém, Pará”, aprovado pelo CNPQ com vigência de outubro/2011 a novembro/2013, registrado junto à PROPESP/UFPA.

Pode-se destacar neste processo a necessidade de aferição com mais de um instrumento uma mesma variável, pois a redundância é importante para verificar a acurácia dos dados, uma vez que as incertezas estão presentes nas medições no momento da captação dos dados analógicos pelos participantes, por exemplo, que pode ser sanado com a presença de um instrumento digital para uma mesma variável, a veracidade e a exatidão nas anotações de campo é um fator determinante no resultado final, por isso é importante poder confrontar dados analógico e digital para a identificação desses erros e o registro complementar de eventos.

Outro fator importante observado é a saturação das medidas, as primeiras medições são geralmente voltadas para os acertos experimentais, sobre como realizar as leituras, o que deve ser observado no ambiente que possa alterar esses dados, qual a logística necessária para que o experimento ocorra, e o refinamento da metodologia a ser utilizada. A repetitividade nas medições está diretamente ligada ao refinamento do processo necessário para que num segundo momento, o tempo seja despendido somente com a coleta de dados de fato, excluindo quaisquer outros acontecimentos que possam interferir na mesma, a exemplo dos acertos do experimento.

---

<sup>6</sup> Curso realizado no Centro de Eficiência Energética da Amazônia do Parque de Ciência e Tecnologia de UFPA – CEAMAZON/PCT/UFPA e oferecido pela Rede Metrológica do Rio Grande do Sul.

Após a etapa de coleta de dados, um ponto importante é saber como proceder com a devida estratégia para o tratamento dos dados para demonstrar o que se pretende, a organização dos dados e construção de relatórios está ligado ao experimento e deve ser incorporado como tal, não como uma etapa a parte, a quem do mesmo, uma vez que nessa etapa será demonstrado através dos dados, se as hipóteses construídas, serão corroboradas e embasadas em um referencial teórico específico.

A saturação (taxa/tempo de amostragem) de medidas para uma mesma variável nos leva a um outro questionamento essencial, utilizando-se diversos instrumentos sendo modelos iguais e/ou diferentes os dados apresentarão variações inerentes ao ambiente medido, mas intrínsecas ao próprio instrumento em si, uma vez que instrumentos de um mesmo modelo não são iguais, eles variam, ainda que de forma tênue entre eles, o que pode aumentar a incerteza na mensuração dos dados.

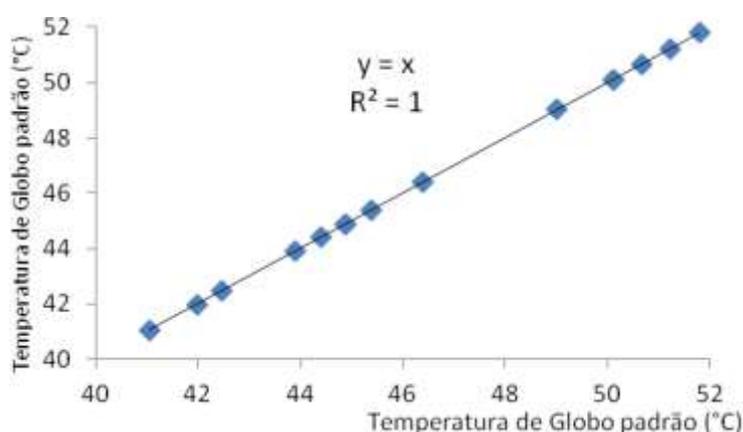
Para sanar a incerteza intrínseca aos instrumentos, é necessária a realização da curva de regressão, onde todos os instrumentos devem ser expostos a uma mesma condição conhecida e os resultados obtidos devem ser regredidos para um instrumento de referência.

Faz-se o que se denomina em estatística de uma associação entre variáveis que de acordo com Magalhães e Lima (2008) busca explicar como se comporta uma variável em função do desempenho de outras, ou seja como os demais sensores irão se comportar em relação ao sensor padrão. Isso envolve alguns conceitos como a covariância que é uma medida de dependência linear, é o valor esperado do produto dos desvios de cada variável em relação a sua média, e o coeficiente de correlação que é o quociente entre a covariância e produto dos desvios-padrão entre as variáveis, essa divisão pelo produto dos desvios padroniza a média, tornando-a possível de ser utilizada para comparações com outras variáveis. Isso significa que tendo vários sensores, um definido como padrão (1) será realizado a primeira regressão deste com o sensor 2, e partir daí ele estará passível de ser comparado com os demais sensores.

Para verificar essa relação entre as variáveis, pode-se obter o coeficiente de correlação entre duas variáveis, ainda não regredida, para verificação, que será sempre menor que 1, valores e quanto mais próximos de 1, melhor indicam correlação forte, o que deve ocorrer uma vez que, para regressão os sensores são do mesmo modelo e estão sob a mesma condição.

Todo esse processo é realizado através do *software* Microsoft Excel, onde faz-se o gráfico de dispersão entre duas variáveis, sempre colocando a variável padrão no eixo x, e a variável a ser regredida no eixo y, - segundo Magalhães e Lima (2008), a variável Y é denominada de variável resposta ou variável dependente e a variável X é chamada de variável independente, explicativa ou covariável, onde o comportamento de Y é explicado em parte por X - gerando-se o gráfico de dispersão, ver Figura 14 (exemplo de dispersão para um Temperatura de Globo padrão x ela mesma, gerando um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 1, ou seja, 100%, já que os valores são iguais para os dois eixos), insere-se uma linha de tendência de regressão linear, que gera uma expressão que deve ser aplicada nos dados do sensor que será regredido ao sensor padrão, obtêm-se também o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é a razão entre a variação explicada e a variação total, isto é , por exemplo  $r^2 = 0,92$ , então, 92% da variação de y pode ser explicada pela relação entre x e y.

Figura 14 - Exemplo de gráfico de dispersão para um Temperatura de Globo para o Termômetro de Globo Padrão (de referência)



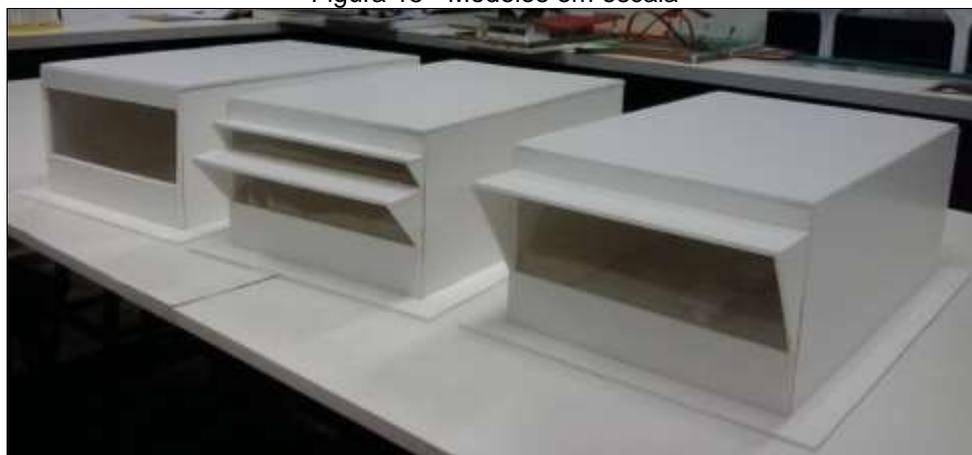
Fonte: Autora

Todo este processo de refinamento é essencial para acurácia dos dados, permitindo que os mesmos demonstrem apenas as variações referentes ao experimento e não a interferências que os sensores possam gerar.

### 3.3 METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

O experimento base para este estudo consiste em avaliar a velocidade de aquecimento e os níveis de iluminância interna e externa, realizando um comparativo entre as diferentes configurações para os sistemas de sombreamento, através dos modelos em escala, maquetes de papel maquete brancas, interna e externamente, com as aberturas das janelas vedadas por acrílico transparente, para não permitir a entrada de ventilação nos modelos, já que esta variável, a ventilação, não é contemplada neste estudo, demonstrados na Figura 15.

Figura 15 - Modelos em escala



Fonte: Arquivo pessoal

Para a mensuração da iluminância externa, e interna para o CLD (coeficiente de Luz Diurna) utilizou-se luxímetro do tipo Digital Homis com escala de 200Lux a 200.000Lux e resolução de 0,1Lux (com filtro de correção espectral e sensor óptico), ver Figura 16, sendo adotado como o sensor de referência para a realização das curvas de regressão iluminância internos medidos nos sensores HOBOS U12 e assim garantir a acurácia dos dados mensurados, garantindo que todos os sensores estão realizando as mesmas medições livre de interferências que possa haver quanto ao tipo de instrumento utilizado. Utilizou-se quatro luxímetros nomeados de 01 à 04, sendo seus números de série: 01 – série 080702168, 02 - série 08072131, 03 - série 080702167 e 04 - série 080702166, cedidos pelo LADEC/FAU/ITEC/UFPA.

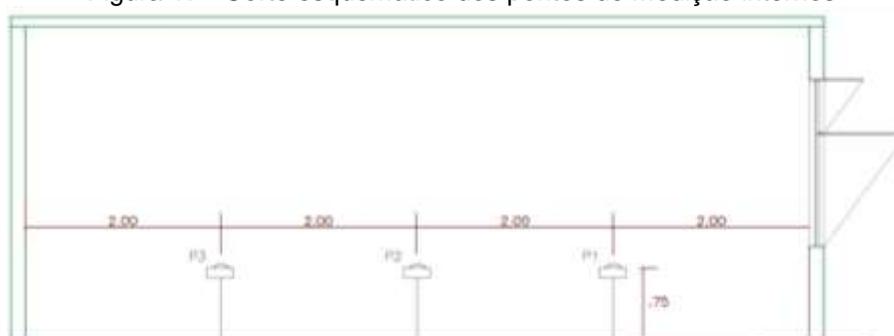
Figura 16 - Luxímetro digital HOMIS, REF: H019-005 | MOD: 204



Fonte: [http://www.homis.com.br/m3\\_print.asp?cod\\_pagina=1231](http://www.homis.com.br/m3_print.asp?cod_pagina=1231)

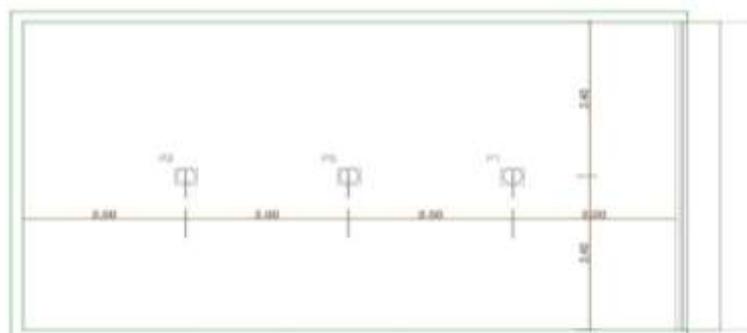
As medições internas ao modelo a princípio seriam realizadas em três pontos internos, ver figura 17 e 18, localizados em uma linha central ao modelo, sendo um próximo à janela, um ao centro e o terceiro próximo ao “fundo” do ambiente, sabe-se que a norma NBR 15215-4/2003, fornece um cálculo que deve ser realizado para obter o número de pontos de medição necessários em um ambiente, porém visando o recorte metodológico e as limitações quanto à disponibilidade dos equipamentos, foram estipulados estes três pontos de medição com base no decaimento dos níveis de iluminância quanto ao distanciamento da fonte de luz (janela), uma segunda aproximação foi necessária reduzindo de três para dois pontos internos, devido ao número de sensores disponíveis, então foram mantidos os pontos extremos o mais próximo à janela e o mais distante e retirado o ponto central, uma vez que este nível que seria medido ao centro pode ser estipulado, por uma curva de iluminância, sabendo-se que o decaimento da mesma com a distância da fonte é linear.

Figura 17 - Corte esquemático dos pontos de medição internos



Fonte: Autor

Figura 18 - Pontos de medição em planta



Fonte: Autora

Os níveis de iluminância foram mensurados com o sensor tipo HOBO U12, da *Onset*, ver Figura 19, cedido pelo Laboratório de Agrometeorologia da EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, coordenado pela Profa. Dra. Lucietta Martorano, uma vez que a partir dos primeiros testes realizados percebeu-se que os níveis de iluminâncias internas ultrapassam a escala medida pelo sensor HOBO H8<sup>7</sup> e, por isso o mesmo não pode ser utilizado para medição de iluminâncias apenas para medição das temperaturas radiantes e temperatura do ar no modelo em questão. O sensor opera na faixa de temperatura: -20 ° a 70 ° C (-4 ° a 158 ° F) e umidade relativa de 5% a 95%, quanto à iluminância foi projetado para medições internas com um alcance de 1 a 3.000 *footcandles* (lumens/ft<sup>2</sup>), ou seja, de 10 a 30.000 lux (lum/m<sup>2</sup>) aproximadamente. Utilizou-se 06 hobos: 01 - série 10120678, 02, série 10120680, 03 - série 10096787, 04 - série 10120682, 05 - série 10096784 e 06 - série 10120665.

Figura 19 - HOBO U12 - Data Logger - U12-012

Fonte: <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-012>

<sup>7</sup> Não se trata da não adequação do HOBO H8 à mensuração de iluminâncias internas, mas que para o devido exercício experimental, as escalas de iluminância excediam a capacidade de registro do equipamento que mede de 0 a 6 Klux.

Para verificação do aquecimento interno utilizou-se o *datalogger* Hobo da Onset, que mensura temperatura interna, intensidade da luz, e umidade, e possui um canal externo que aceita sensores externos e registra até 7943 medidas, ver Figura 20. Ele opera nas temperaturas de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-4\text{ }^{\circ}\text{F}$  a  $158\text{ }^{\circ}\text{F}$ ), e umidade de 0 à 95% RH sem condensação, porém sua temperatura de armazenamento é na faixa de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-40\text{ }^{\circ}\text{F}$  a  $167\text{ }^{\circ}\text{F}$ ), quanto ao níveis de iluminâncias o alcance nominal é de 2 à 600 (lumens/ft<sup>2</sup>); valor máximo pode variar de 300 à 900 lumens/ft<sup>2</sup>), ou seja ele opera em níveis de aproximadamente 20 à 6.000 lux (lum/m<sup>2</sup>), sendo recomendado apenas para medições internas desde que estes níveis internos não ultrapassem esse intervalo. Foi utilizado um hobo ao centro de cada modelo para medições de temperatura interna radiante, juntamente com um sensor de temperatura TMC50–HD (ver Figura 21 - Sensor de Temperatura TMC50-HD) conectado ao canal externo do hobo H8 e inserido em uma mini esfera negra, confeccionada para este estudo, de bola de gude pintada na cor preta furada para receber uma caneleta plástica para auxiliar na inserção do cabo em seu interior (ver Figura 22) posicionada no centro de cada modelo, a faixa de temperatura do termopar TMC é de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+100^{\circ}\text{C}$ ; e precisão de  $\pm 0,21\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Utilizou-se nas medições 04 hobos H08, 01, série 2260849, utilizado no modelo sem proteção, 02 série 2260845 para modelo com *brise*, 03, série 2260841, para o modelo com prateleira de luz e 04 série 2260842, sempre utilizado na esfera negra padrão, como sensor de temperatura radiante externa, cedidos pelo LADEC/FAU/ITEC/UFPA.. Juntamente com os hobos utilizou-se 04 cabos TMC, cedido pelo Prof. Dr. Irving Franco, apenas numerados de 01 à 04, utilizados com as numerações iguais nos hobos.

Figura 20 - Datalogger Hobo H8 family



Fonte: <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/h08-004-02>

Figura 21 - Sensor de Temperatura TMC50-HD



Fonte : <http://www.onsetcomp.com/products/sensors/tmc50-hd>

Figura 22 – Mini-esfera negra, com cabo TMC50-HD conectado ao Hobo H8



Fonte: Arquivo pessoal

Ainda quanto ao aquecimento, para a verificação do aquecimento superficial dos modelos em escala, simultaneamente ao aquecimento interno, utilizou-se câmeras infravermelho, para verificar a influência dos sistemas diferentes de sombreamento na fachada principal com janelamento.

A câmera FLIR A320 funciona com cabo de rede conectado a um *notebook* e ligado à rede elétrica, é uma câmera mais indicada para bancadas internas a laboratórios, devido a quantidade de instrumentos necessários para a sua utilização (*notebook*, tripé ou suporte, extensão, cadeira para locomoção do *notebook*), ver Figura 23, pouco cômodo, porém oportuno, sendo realizadas adaptações para que a mesma pudesse ser utilizada externamente, porém a sua alta resolução até mesmo em baixas temperaturas, que não são nítidas na câmera FLIR I60 justificam a sua inserção neste processo.

Figura 23 - Equipamentos necessário para uso externo da câmera FLIR A320



Fonte: Arquivo pessoal

A câmera FLIR A320 proporciona imagens nítidas e de ondas longas em uma infinidade de paletas, identifica variações de temperatura tão pequenas como  $0.08^{\circ}\text{C}$ . Mede em uma faixa de temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  à  $+120^{\circ}\text{C}$  ( $-4^{\circ}\text{F}$  à  $248^{\circ}\text{F}$ ),  $0^{\circ}\text{C}$  à  $+350^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$  to  $662^{\circ}\text{F}$ ), opcional até  $+1200^{\circ}\text{C}$  ( $2192^{\circ}\text{F}$ ), possui precisão (% da leitura) de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  ou  $\pm 2\%$ , Sua faixa de temperatura operacional é de  $-15^{\circ}\text{C}$  a  $+50^{\circ}\text{C}$  ( $5^{\circ}\text{F}$  a  $122^{\circ}\text{F}$ ) e temperatura de armazenamento de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+70^{\circ}\text{C}$  ( $-40^{\circ}\text{F}$  a  $158^{\circ}\text{F}$ ), quanto à umidade relativa do ar, a mesma opera e armazena valores até 95%. A câmera bem como o notebook com o *software* utilizado para tratamento das imagens, foram cedidos pelo LADEC/FAU/ITEC/UFGA.

Figura 24 - Câmera infravermelho ThermoVision A320 FLIR



Fonte: [http://www.trekequipment.com/flir/a320\\_infrared\\_camera.asp](http://www.trekequipment.com/flir/a320_infrared_camera.asp)

A segunda câmera infravermelho utilizada foi a FLIR I60 (Figura 25), portátil de fácil utilização e extração dos dados, porém com resolução bem inferior a A320, seu foco não detecta as diferenças em baixas temperaturas (resfriamentos). Foi projetada para a detecção de problemas elétricos e mecânicos, manutenção preditiva e inspeção de prédios comerciais e residenciais. Possui câmera digital de 0.6 *Megapixels* (modelo i40) e 2.3 *Megapixels* com um detector infravermelho. Faixa de temperatura -20 à 350°C, precisão  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  ou  $\pm 2\%$ , sensibilidade térmica 100mK, resolução infravermelha 32.400 píxels, campo de Visão (FOV) 25° X 25°. A câmera foi cedida pelo LAMOTRIZ/CEAMAZON/PCT/UFPA.

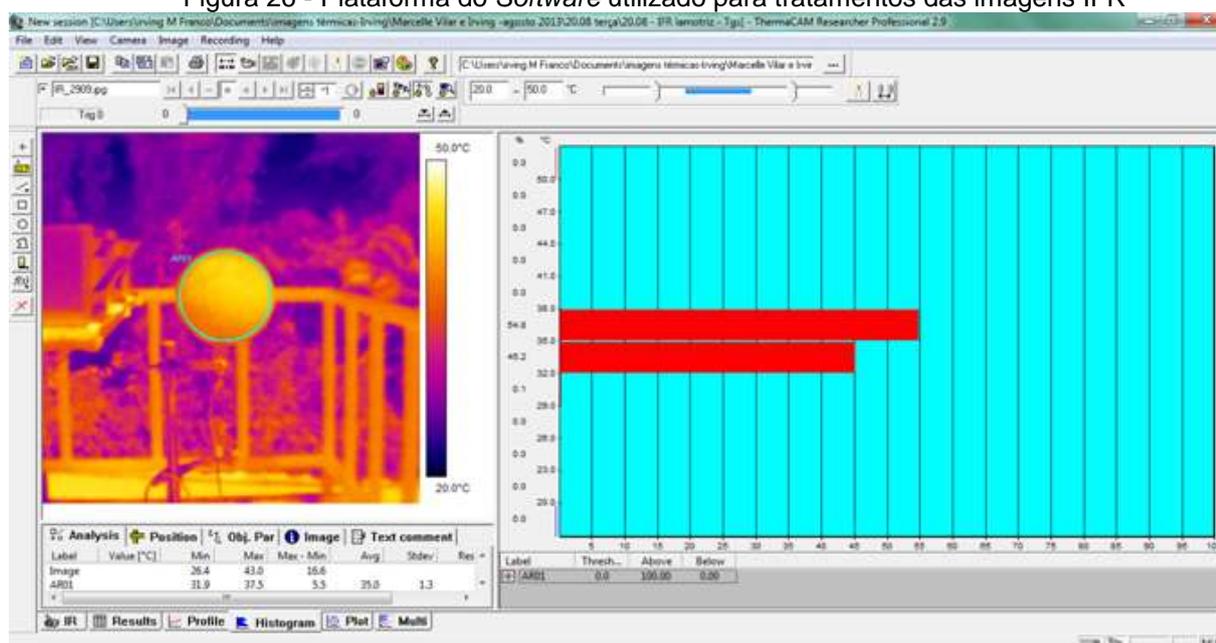
Figura 25 - Câmera Infravermelho I60 FLIR



Fonte: <http://www.flir.com/thermography/americas/br/content/?id=14608>

Todas as imagens obtidas foram tratadas no *software* ThermaCAM Research Professional 2.9, que permite edição das imagens, variando as escalas de temperatura, a emissividade, dentre outras características da imagem, gerando gráfico e histogramas para as temperaturas selecionadas a partir de uma área, uma linha escolhida, delimitação de áreas ou verificação da temperatura pontual sendo estes recursos os mais utilizados neste trabalho para as análises térmicas das temperaturas superficiais.

Figura 26 - Plataforma do *Software* utilizado para tratamentos das imagens IFR



Fonte: ThermoCAM Research Professional 2.9

O método de imageamento térmico, além da verificação da temperatura superficial dos modelos, foi utilizado também para o controle do resfriamento dos sensores e dos modelos em escala, em todas as medições de temperatura foi realizado o resfriamento dos modelos e dos sensores antes que os mesmos fossem expostos a radiação solar, para o aquecimento, para que os mesmos antes de iniciar as medições estivessem na mesma condição ambiental, todos resfriados, a temperaturas basais iguais ou muito próximas.

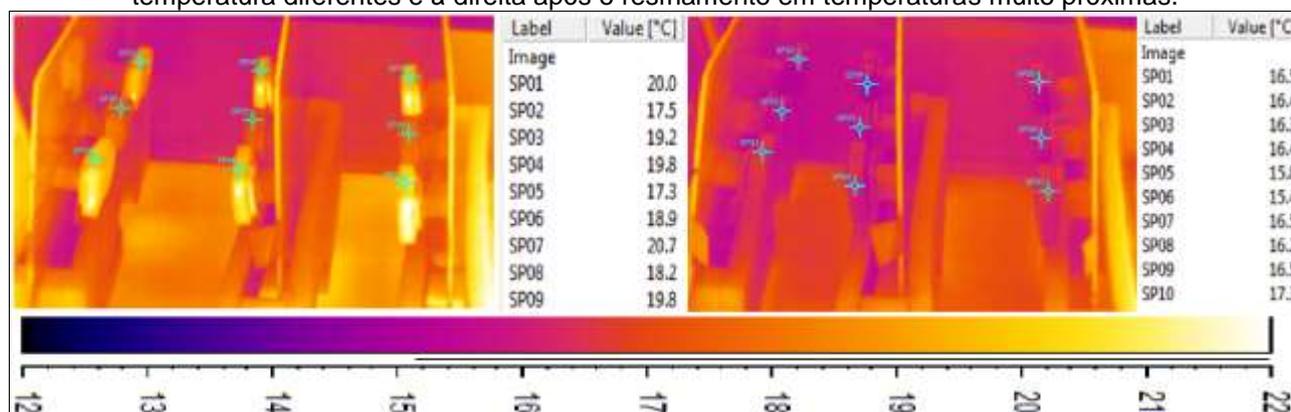
O resfriamento foi realizado inserindo sensores e os modelos em escala em uma câmara de resfriamento adaptada, ver Figura 27, onde os mesmos foram resfriados através de sistema de ar condicionado, a uma temperatura de 16°C, por volta de 15 minutos, sendo o resfriamento verificado através do IFR, obtendo-se na imagem térmica a temperatura superficial dos sensores, que só foram retirados após atingirem a mesma temperatura ou temperaturas próximas.

Figura 27 – Adaptação de câmara de resfriamento para os sensores e os modelos nos experimentos de térmica



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 28 – IFR dos Sensores na câmara de resfriamento, à esquerda os sensores ao serem inseridos em temperatura diferentes e à direita após o resfriamento em temperaturas muito próximas.



Fonte: ThermoCAM Research Professional 2.9

As medições foram realizadas nos modelos em escala com as janelas, voltadas à norte, colocados sobre pranchetas em um deck experimental, localizado CEAMAZON/PCT/UFGA, cedido pelo LABCONF/CEAMAZON, ver Figura 29, com piso revestido com teto verde, em uma área livre de obstruções de edificações na fachada norte, fachada onde está voltada as proteções solares dos modelos, sendo encontradas

apenas obstruções distantes por vegetações, para evitar interferências nas medições. As fotos com câmera lente olho-de-peixe demonstram que como a janela enxerga a abóboda celeste e demonstra que a mesma para todos os modelos está livre de obstruções, por edificações ou vegetações próximas.

Os modelos foram posicionados no limite da prancheta, para evitar a contribuição dos ganhos de calor por albedo, que sendo a capacidade de reflexão de uma superfície, razão entre quantidade de calor refletida e incidente, que possam majorar os ganhos de calor nos modelos, uma contribuição gerada pelo piso que reflete o calor para a fachada do modelo, o piso verde contribui mais ainda para a redução desses ganhos.

Figura 29 – Deck experimental onde foram realizadas as medições



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 30 - Tomada da foto lente olho-de-peixe



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 31 - Foto lente olho-de-peixe, à esquerda sem proteção, ao centro com *brise* e à direita com prateleira de luz



Fonte: Autora

Após o controle do resfriamento com o IFR, houve o cuidado no transporte dos modelos com os sensores da câmara até o deck experimental, onde todos foram levados ao mesmo tempo, tendo sido tomado o cuidado de segurar os modelos pelas arestas para ter o mínimo contato possível das mãos com os mesmos, sendo utilizadas sempre luva para evitar o aquecimento dos modelos resfriados em contato direto com as mãos, ver

Figura 32 - Procedimento de manuseio dos modelos



Fonte: Arquivo pessoal

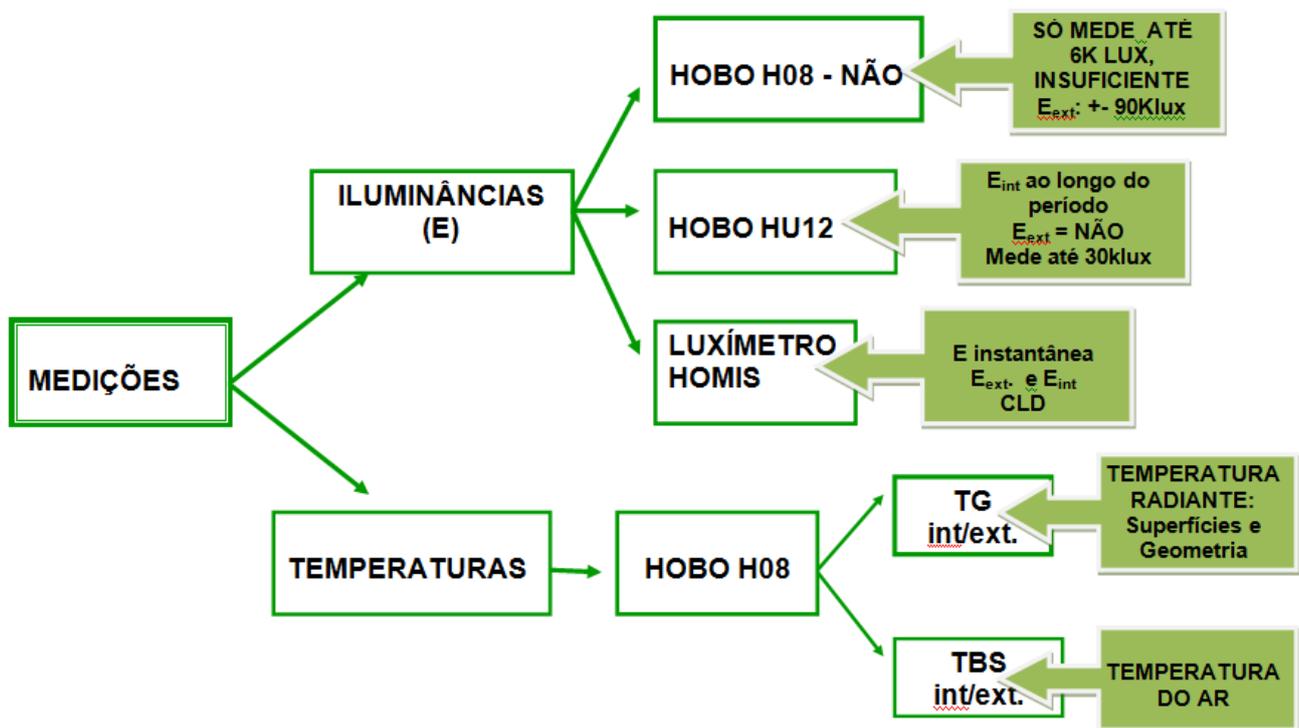
Todas as medições de iluminâncias foram realizadas em céu real que de acordo com a ABNT NBR15125-4:2004 configuram-se em um procedimento mais fácil e barato. Entretanto, a variabilidade das condições pode introduzir erros nos valores absolutos. Para se superar este problema costuma-se realizar medições relativas pela leitura da iluminação externa e produzir taxas percentuais que caracterizem o desempenho do sistema de iluminação natural. Recomenda-se que todas as medições sejam feitas

simultaneamente, uma vez que medições com céu real caracterizam-se pela dificuldade de reprodução das condições experimentais.

A obtenção de dados quantitativos precisos de iluminação é um aspecto importante da modelagem física em escala, uma vez que pelo menos dois sensores são necessários, um para o exterior e outro para o interior, no sentido de produzir dados normalizados para serem usados em análises e comparações com diferentes condições de céu. (ABNT NBR15125- 4:2004)

Os resultados das medições de temperaturas e iluminâncias são analisados sempre realizando um comparativos entre os sistemas avaliados (sem proteção, com proteção tipo *brise* e com proteção tipo prateleira de luz, a utilização de vários tipos de sensores foi necessária visando garantir a acurácia das medições e adequar as escalas do experimento à resposta de cada sensor, como demonstra Figura 33.

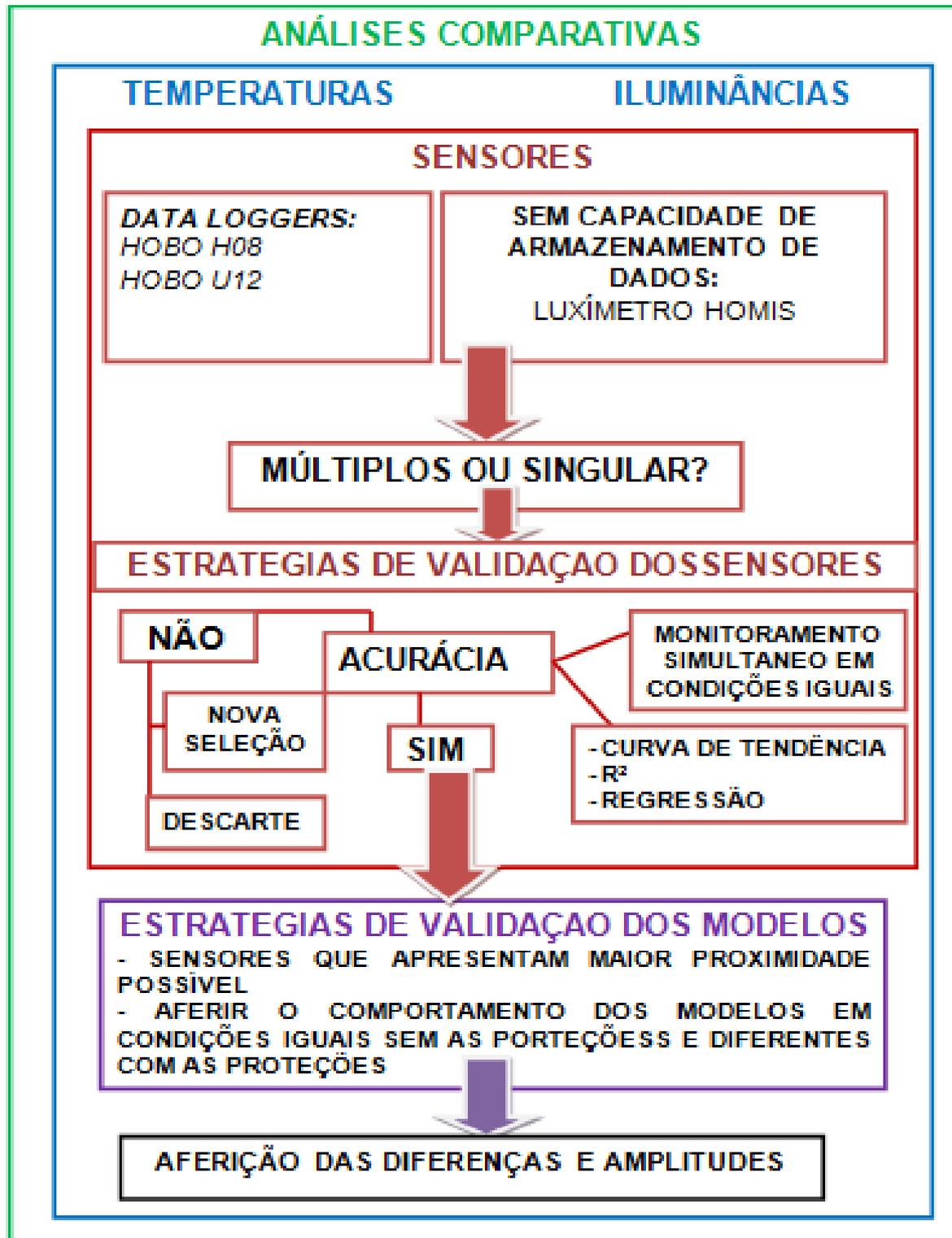
Figura 33 – Diagrama de tipos de sensores.



Fonte: Autora

A seguir, na Figura 34, o diagrama da metodologia de aproximação sucessivo de utilização dos sensores, buscando os resultados com menor interferência possível das características dos mesmos.

Figura 34 - Diagrama metodológico da utilização dos sensores.



Fonte: autora.

## 4 ANÁLISES

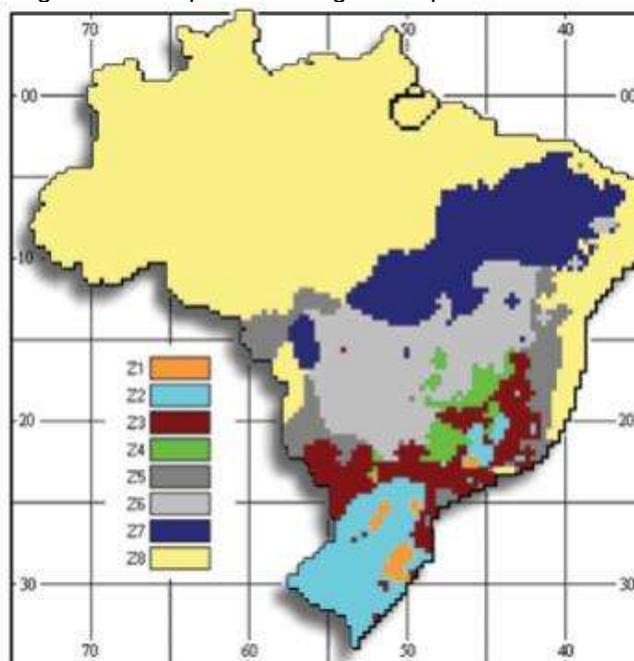
### 4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

Utilizando-se como base para este estudo, a cidade de Belém no Estado do Pará, localizado na região norte do Brasil, com latitude conforme FROTA e SCHIFFER e Programa Arquitrop de latitude 01°28 Sul, longitude 48°27' e altitude 24 m, ou latitude -1,40 e longitude -48,5° de acordo com o programa Ecotect e Luz do Sol<sup>8</sup>.

Segundo VIANNA e GONÇALVES, 2001, em relação ao clima, podemos dizer que os fatores mais importantes e que afetam o padrão de conforto de um determinado ambiente são: a radiação solar, a temperatura, umidade, temperatura radiante média das paredes e tetos, movimento do ar e ainda a quantidade geral de luz a sua distribuição dentro do campo de visão.

O clima de Belém, assim como de toda a região norte é classificado como quente úmido, de acordo com a Figura 35.

Figura 35 - Mapa climatológico simplificado do Brasil



Fonte NBR15220-3/2205

<sup>8</sup> Desenvolvido por Mauricio Roriz. "Dados de radiação solar para Brasil, gráficos de trajetórias, relógio solar, cálculo de manchas solares dentro de cômodos" (CORBELLA;YANNAS, 2003, p.273)

Para o clima quente úmido FROTA e SCHIFFER, 2003, fazem algumas observações: neste clima a variação de temperatura noturna não é significativa, para causar frio, mas para provoca alívio térmico, que é bastante desejável.

Quanto as aberturas as autoras ressaltam que deve-se dimensionar aberturas grandes para ventilar durante o dia, quando a temperatura externa é menor que a interna, protegendo essas aberturas da radiação solar direta, sem que as proteções obstruam a ventilação

Para os fechamentos verticais, paredes e dimensões a inércia da construção deve ser de média à leve para que não dificulte a retirada de calor interno, armazenado durante o dia, prejudicando o resfriamento noturno quando a temperatura externa é menor que a interna.

A cobertura também deve ter inércia média, mas com material isolante ou ventilação nos espaços de ar, para retirar o calor que atravessa as telhas fazendo com que o mesmo não penetre no ambiente interno.

Já no entorno, a vegetação não deve impedir ventilação, o que limita a altura mínima das copas para que gerem sombra, mas não barrem a circulação de ar. As edificações devem estar dispostas de forma alongada no sentido perpendicular ao vento dominante para que a ventilação atinja todos os edifícios e gere a ventilação cruzada nos seus interiores.

A cidade de Belém segundo Koppen, pertence a categoria climática “equatorial úmido” do tipo tropical chuvoso sem estação seca, que tem como principais características, as altas temperaturas (sempre acima de 18°), ventos de pouca velocidade intercalados com frequentes momentos de calmaria, altos índices de umidade relativa do ar e precipitações abundantes com totais oscilando entre 1.500 e 3.000mm anuais.

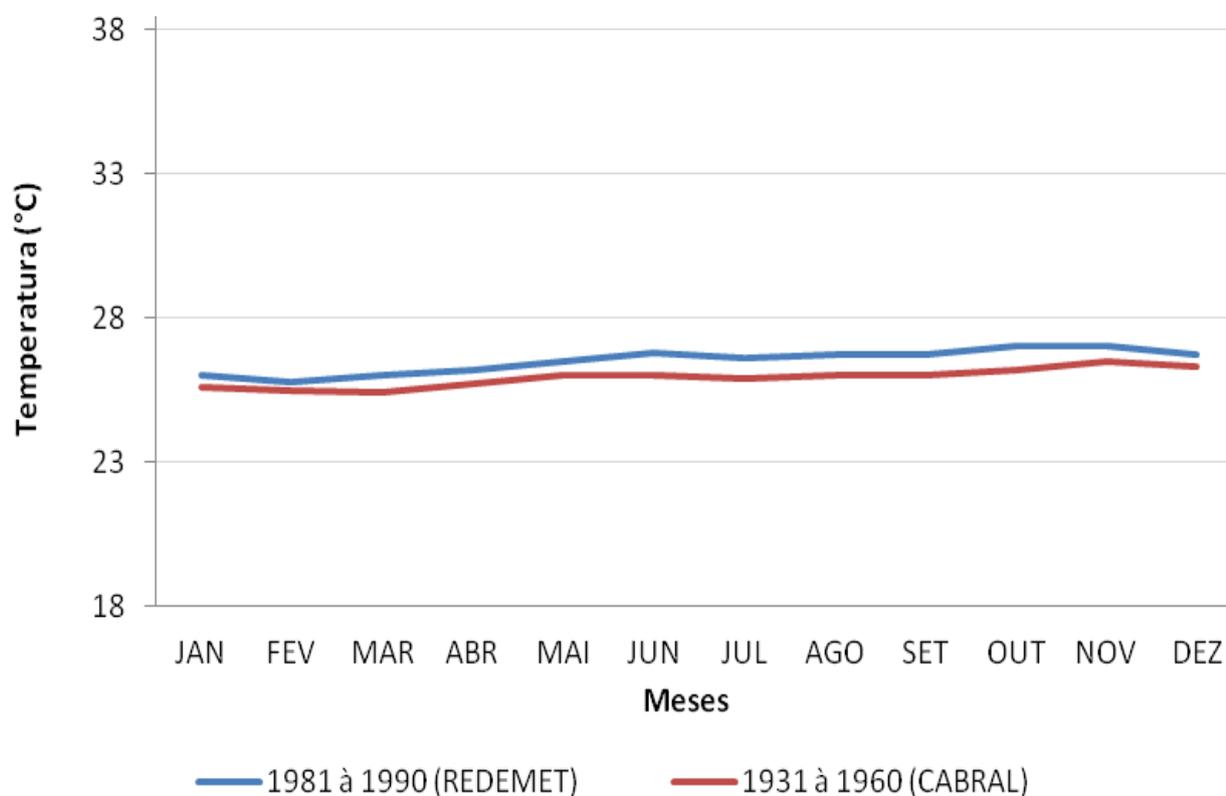
Segundo Cabral (1995), a cidade de Belém está em uma latitude baixa (-1,40°), quase na linha do Equador (0°), a trajetória solar percorre um plano praticamente vertical durante todo o ano o que resulta em carga térmica mais elevada. A temperatura média anual no período de 1931 à 1960 era de 25,9°C com valores anuais máximos e mínimos de 31,4°C e 22,4°C respectivamente. Não há uma amplitude grande com relação a diferença de temperatura média para o mês considerado mais quente, mês de novembro (26,5°C) e o mês considerado mais frio, mês de março (25,4°C) sendo de 1,1°C. Quanto

ao volume de chuva temos os meses de dezembro à maio (inverno) como mais chuvosos e junho à novembro (verão) como menos chuvosos.

Verifica-se na Figura 36 que para o período de 1981 à 1990, as temperaturas médias seguem o mesmo padrão do período de 1931 à 1960, já as temperaturas máximas, ver figura 37, apresentam pouca variação e as temperaturas mínimas não obedecem um padrão, ver figura 38.

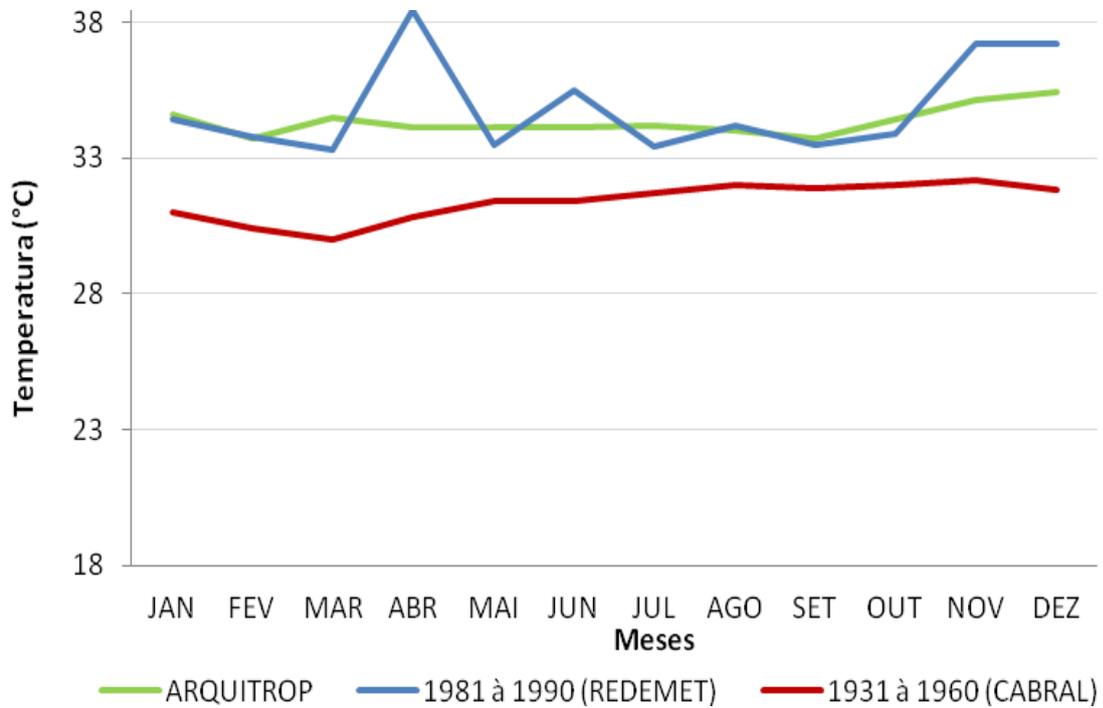
O mês de novembro continua como o mês mais quente, se observarmos as maiores temperaturas máximas e médias e o mês de março, por sua vez, continua entre os meses que registram as menores temperaturas máximas e mínimas, sendo o menos quente. O volume de chuvas permanece com o mesmo padrão com maiores volumes entre dezembro a maio e os menores entre junho e novembro.

**Figura 36** - Variação Anual da Temperatura Média Mensal



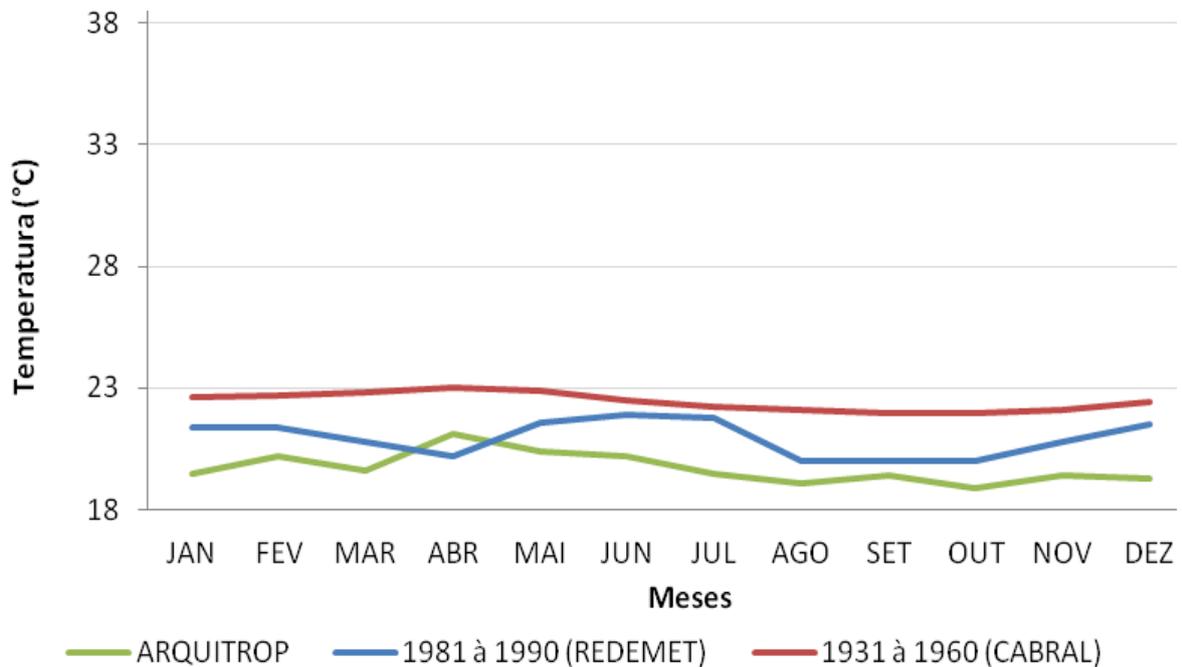
Fonte: Compilação de dados de CABRAL (1995) e Redemet.

**Figura 37 - Variação anual das temperaturas máximas absolutas**



Fonte: Compilação de dados de CABRAL (1995); Redemet e ARQUITROP.

**Figura 38 - Variação anual das temperaturas mínimas**



Fonte: Compilação de dados de CABRAL (1995); Redemet e ARQUITROP.

Existe uma diferença de temperatura entre as médias, as máximas e as mínimas para os dois períodos, causada possivelmente pela urbanização da cidade, inserção de novas superfícies de acumulo de calor, adensamento e barreiras para a ventilação construída pelos edifícios e/ou devido à precisão dos métodos e equipamentos de monitoramento.

As diferenças entre as temperaturas nos dois períodos, onde ocorre justamente o comportamento demonstrado nos gráficos, para as temperaturas médias houve pouca diferença sendo de 0,3°C à 0,8°C, as temperaturas mínimas obtiveram uma amplitude de 0,4°C à 2,8°C, enquanto que a maior variação foi encontrada nas temperaturas máximas com diferenças de 1,6°C à 7,7°C.

Franco *et al.* (2012) afirma que definir o pior cenário no clima quente-úmido tropical (equatorial), forçosamente tem-se que abordar a condição de temperatura ar-sombra e ar-sol, sendo esta última mais crítica quando da ausência de ventilação, em outras palavras, para o clima quente-úmido equatorial nos aproximar-se-á das condições de conforto mais amenas quando se estiver à sombra e com vento disponível.

Um fator de grande importância para o clima é a nebulosidade que está relacionada à porcentagem de recobrimento e da espessura das nuvens no céu e que influencia na quantidade de radiação solar que atinge o solo, pois se for suficientemente espessa e ocupar a maior parte do céu, pode formar uma barreira que impede a penetração de parte significativa da radiação solar direta. (FROTA; SCHIFFER, 2003).

De acordo com COUTINHO, 2009 a CIE estabelece três tipos de céu para os estudos quantitativos e qualitativos da luz natural:

- Céu Claro – o céu encontra-se azul sem nuvens e o Sol é visível. A luminosidade varia tanto no horizonte como no zênite, dependendo também da posição do Sol, onde a zona mais próxima deste chega a alcançar uma intensidade luminosa 40 vezes maior que na linha do horizonte;
- Céu intermédio – representa uma situação intermédia entre céu limpo e céu encoberto. Esta situação representa o céu parcialmente encoberto ou parcialmente limpo e embora seja o tipo de céu mais freqüente, a CIE não recomenda nenhum dos modelos atualmente existentes;

- Céu encoberto – condições de céu completamente coberto por espessas nuvens escuras. Este pode apresentar-se segundo dois modelos: céu encoberto uniforme ou céu encoberto padrão.

No modelo de céu encoberto uniforme a luz é constante em todo o hemisfério do céu, o que não acontece na realidade. No céu encoberto padrão considera-se que a luz emitida no zênite é três vezes superior à luz emitida no horizonte. Este último modelo de céu é o aconselhado para o cálculo da luz natural, por reproduzir as condições mais desfavoráveis de luz.

Seguindo Franco (2012) vale ressaltar que a nebulosidade não acontece como um valor médio durante todo o dia. Ao observarmos as imagens de padrão de céu, referentes ao céu em Belém, verificou-se o padrão de céu aberto no início da manhã, claro, ver Figura 39, já no fim da manhã e início da tarde nota-se um padrão de céu de parcialmente encoberto, ver figura 40, enquanto que o padrão à tarde é de céu parcialmente encoberto a encoberto, ver figura 41. (informação verbal)<sup>9</sup>

Figura 39 - Céu Claro, 07/07/2011, 12h10min, Horto Municipal de Belém



Fonte: Acervo do LADEC/FAU/ITEC/UFPA

---

<sup>9</sup> Informação fornecida pelo orientador Prof., Dr. Irving Montanar Franco, durante orientação, em 2012.

Figura 40 - Céu Parcialmente Encoberto, 20/12/2012, 16h48min, Largo do Carmo



Fonte: Acervo do LADEC/FAU/ITEC/UFPA

Figura 41 - Céu Encoberto, 20/12/2012, 17h23min, Praça Felipe Patroni.



Fonte: Acervo do LADEC/FAU/ITEC/UFPA

Figura 42 - Céu Intermediário, 06/07/2012, 16h51min, Praça Felipe Patroni.

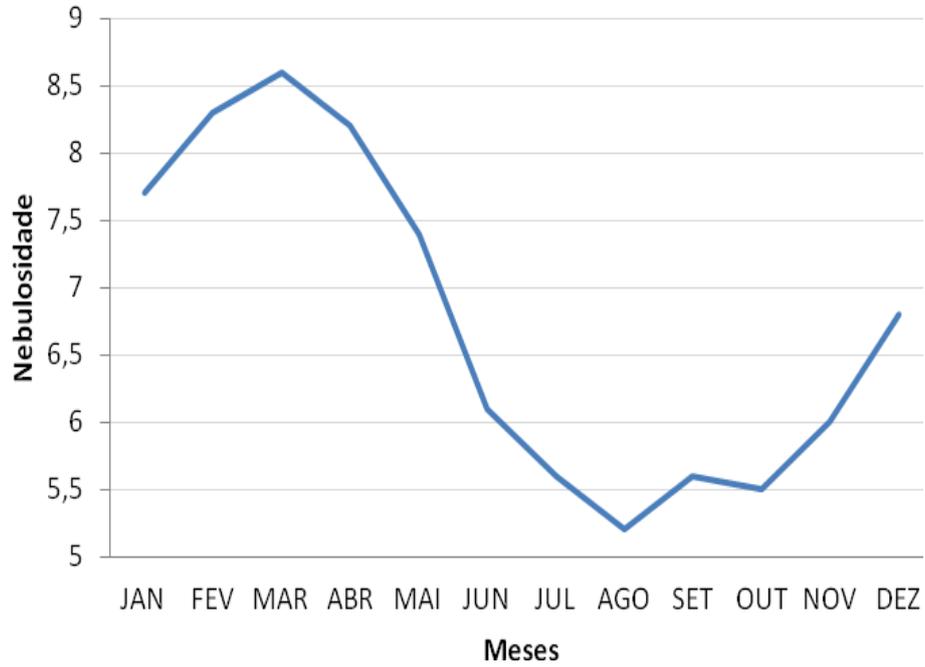


Fonte: Acervo do LADEC/FAU/ITEC/UFGA

Quanto à carga térmica sabe-se que ela é uma variável também de importância, pois por meio do cálculo de carga térmica, é possível saber a quantidade de calor total que deverá ser retirada ou fornecida ao ar do recinto para mantê-lo em condições desejáveis de temperatura e umidade. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004)

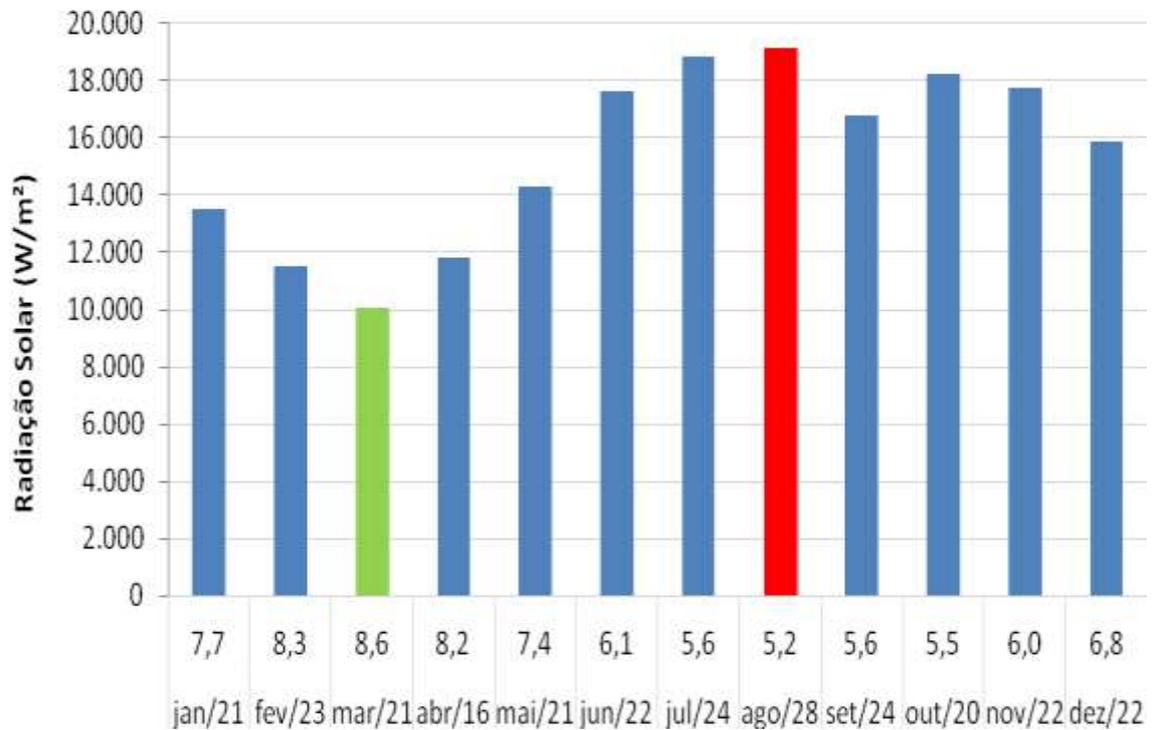
Nota-se na figura 43, a seguir que o mês com maior nebulosidade de mês de março (8,6) e o mês com o valor menor é agosto (5,2), o que influencia diretamente na carga térmica incidente uma vez que ao observarmos a figura 44, nota-se justamente que o mês que possui maior radiação solar incidente é o mês de agosto uma vez que sua nebulosidade de baixa e não impede grande quantidade de carga de incidir sobre o solo, já o mês de março que possui a menor carga e alta nebulosidade é beneficiado pela grande barreira formada pelas nuvens que impede grande quantidade da carga de chegar ao solo

Figura 43 - Variação anual da nebulosidade para Belém



Fonte: Dados do Software ARQUITROP.

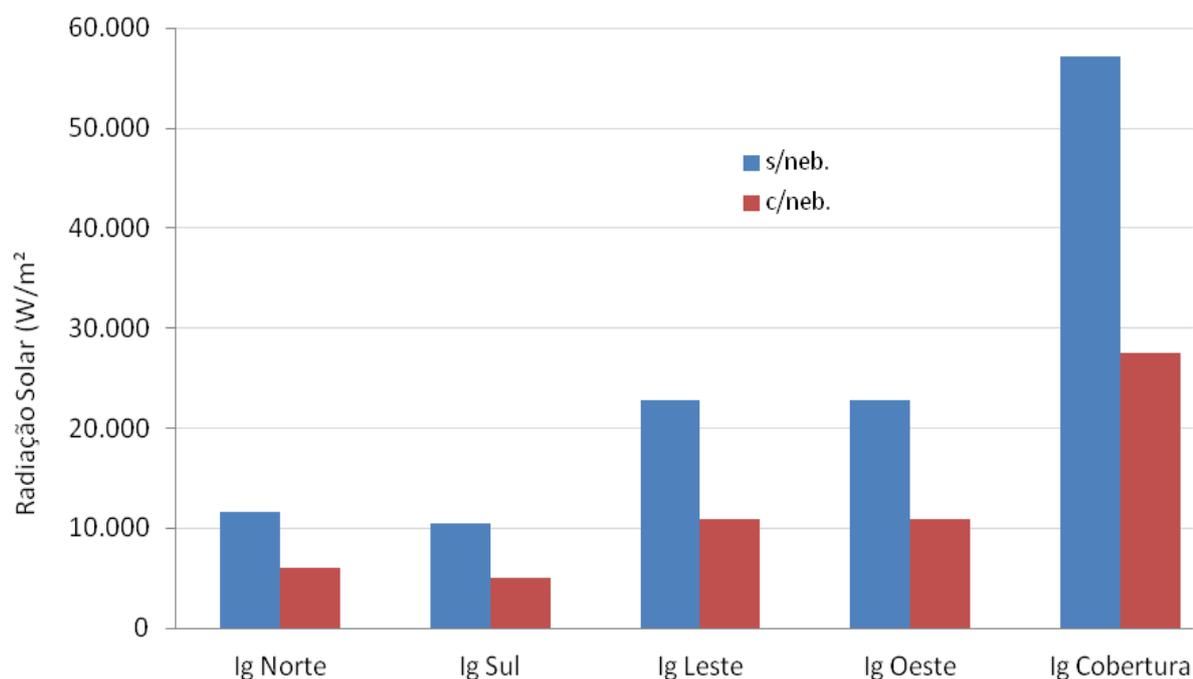
Figura 44 - Variação Anual da Carga Térmica Incidente Diária para Belém



Fonte: Dados do Software LUZ DO SOL.

A influência da nebulosidade, ou seja, da porcentagem de recobrimento do céu, sobre a carga térmica é tão determinante que pode reduzir em mais da metade a carga incidente como podemos observar na Figura 45, que demonstra para cada superfície a carga total com e sem ação da nebulosidade no qual atinge uma redução de até 65,79% da carga incidente no mês de maior nebulosidade que é o mês de março, ver Tabela 4.

Figura 45 - Variação Total Anual<sup>10</sup> da Carga Térmica Incidente (I<sub>g</sub>) para as superfícies com e sem nebulosidade para Belém



Fonte: Dados do Software LUZ DO SOL.

Tabela 4 - Carga Incidente para Equinócios e Solstícios com ação da nebulosidade

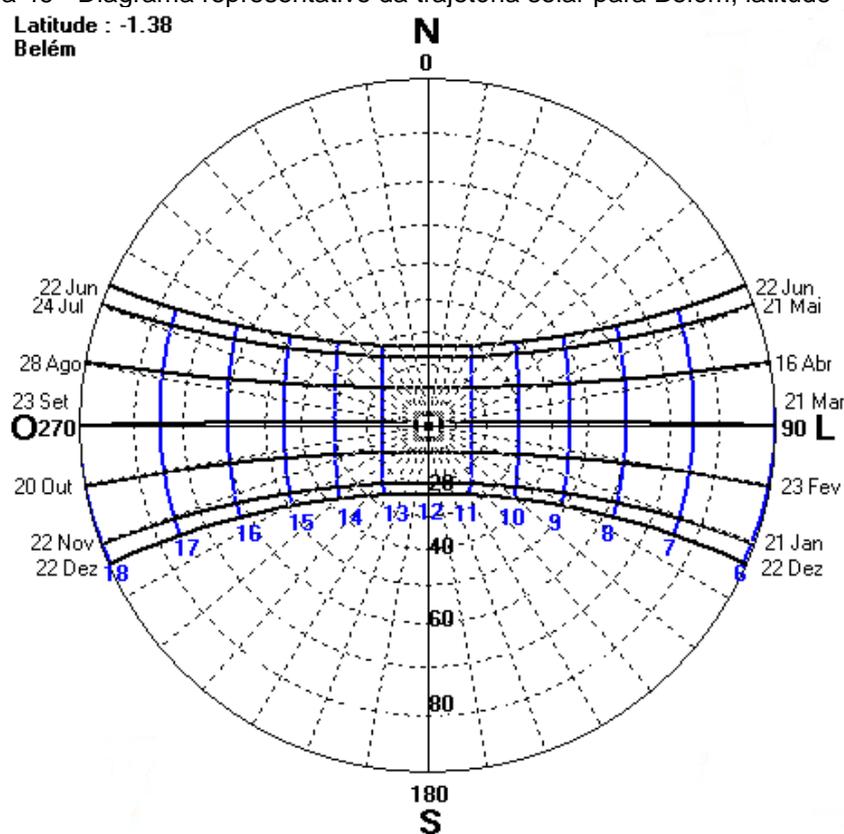
		21/mar	22/jun	24/set	22/dez
	c/ Neb.	10.054	17.605	16.798	15.845
	s/ Neb.	29.388	33.020	29.384	33.028
Redução	W/m <sup>2</sup>	19.334	15.415	12.586	17.183
	%	65,79%	46,68%	42,83%	52,03%

Fonte: Dados do Software LUZ DO SOL.

<sup>10</sup> Discretização para a carga térmica anualizada onde aplica-se a nebulosidade para os solstícios (22 de junho e 22 de dezembro) e equinócios (21 de março e 24 de setembro) método aplicado em estudos da disciplina de conforto II, ministrada pelo Prof. Dr. Irving Franco

Para que seja possível compreender o comportamento dos edifícios, com relação à radiação solar incidente e ao aquecimento, faz-se necessária uma leitura rápida do diagrama abaixo, ver Figura 46, onde está expresso o percurso solar durante todo o ano com relação as orientações das fachadas norte ( $0^\circ$ ), sul ( $180^\circ$ ), leste ( $90^\circ$ ) e oeste ( $270^\circ$ ), onde as linhas horizontais representam a trajetória solar percorrida para cada mês do ano em um dia específico de acordo com a carta e as linhas verticais indicam os horários (6:00 às 18:00h).

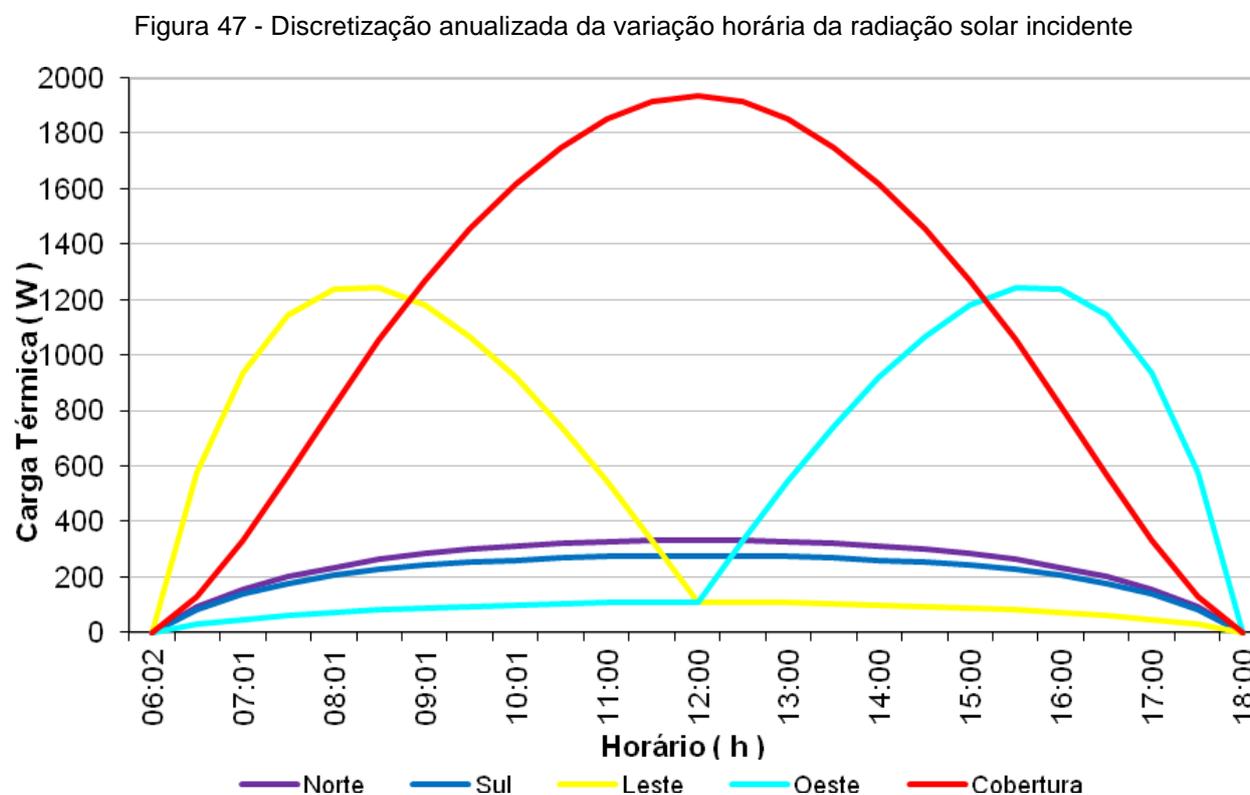
Figura 46 - Diagrama representativo da trajetória solar para Belém, latitude  $-1,38^\circ$ .



Fonte: Programa SOL-AR 6.2

Observando o diagrama e o gráfico da figura 47, pode-se concluir que a fachada norte ( $0^\circ$ ) de um edifício recebe insolação direta ao longo do dia todo, de março a setembro, já de setembro a março o mesmo acontece para a fachada sul ( $180^\circ$ ), superfície que recebe menos carga ao longo do ano como verifica-se no gráfico a seguir. A fachada leste por sua vez recebe insolação direta durante todas as manhãs do ano e a fachada oeste durante todas as tardes do ano, sendo estas duas últimas fachadas as que

recebem mais carga dentre as demais superfícies depois da cobertura (superfície horizontal).



Fonte: Programa SOL-AR 6.2

Assim conhecendo o clima de Belém, pode-se realizar as análises para que adequar a proposta ao clima da cidade tornando-a aplicável quanto aos desempenhos térmico e energético.

A nebulosidade não influencia somente na carga térmica, mas também na disponibilidade de luz natural, pois “registrando-se os níveis de nebulosidade pode-se determinar as condições dominantes em cada mês para o projeto de iluminação” (BROWN, DEKAY, 2004, p. 50). Os principais fatores que determinam essa disponibilidade são a sazonalidade, que de acordo com o movimento do sol estabelece variações de luminosidade natural, variando com a época do ano e a hora do dia, o clima que é o principal agente definidor dos tipos de céu, a qualidade do ar, características físicas e geográficas, que lidam com dados de latitude, continentalidade e altitude, entre outros, e a orientação e configuração morfológica do entorno construído, caso existente. (VIANNA e GONÇALVES, 2001)

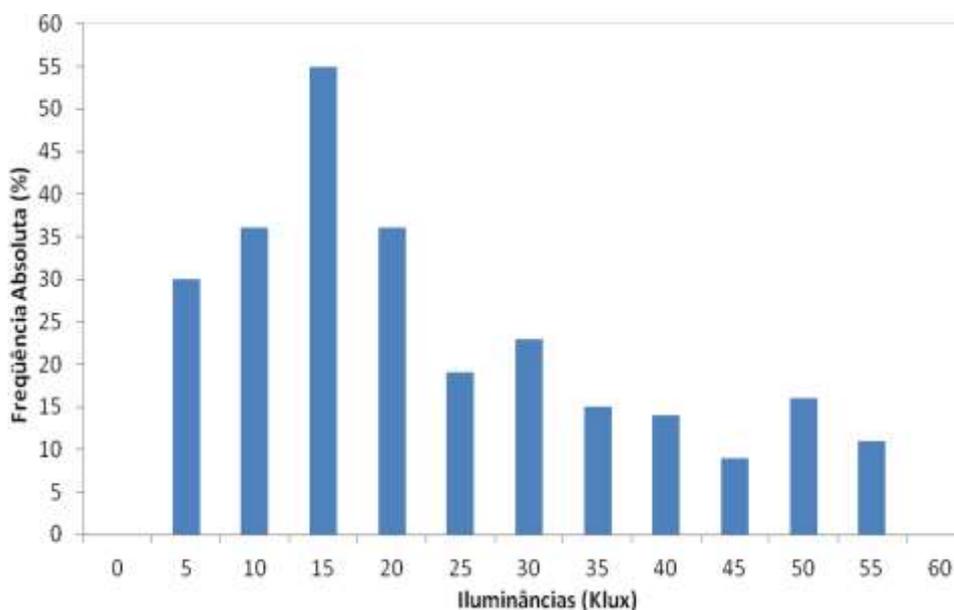
As condições climáticas regionais exercem influência direta na determinação configuração dos tipos de céu. No clima quente e úmido como é o caso de Belém, o céu aparece como parcialmente nublado e com muita luminosidade, em decorrência principalmente, de alta quantidade de vapor d'água na atmosfera. (VIANNA, GONÇALVES, 2001)

Para os cenários de céu parcialmente encoberto ou totalmente encoberto, apesar da presença de nuvens, a angulação dos raios do sol também influencia na luminosidade. Esse fenômeno fica claro quando se traçam comparações entre as condições de iluminância de inverno e de verão para as várias latitudes: a intensidade da luminosidade do céu encoberto nos meses de verão é no mínimo duas vezes a correspondente nos meses de inverno. ” (VIANNA, GONÇALVES, 2001)

SCARAZZATO (1995) reuniu valores de iluminâncias para as cidades brasileiras para as planos verticais (norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste), no verão (22 de junho), no equinócio (21 de março e 24 de setembro) e no inverno (22 de dezembro) distribuídas no intervalo de 8h às 18h e para o plano horizontal dividido em verão, inverno, outono e primavera, no caso de Belém para céu parcialmente encoberto, pois representa a condição típica de céu para a cidade, segundo a pesquisa, e defini para a mesma o dia típico de projeto (aqueles que representam da melhor maneira as condições mais frequentes de nebulosidade em cada uma das localidades) como dia 9 de fevereiro.

Demonstra-se através de um, ver figura 48, a distribuição de ocorrências organizado numa somatória os níveis de “pacotes de iluminâncias” obtidos entre 55 e 0 klux para planos verticais. No entanto explicita ter obtido valores maiores na fachada sudoeste 292klux no verão, sendo a fachada sul que apresentou o menor valor 121klux.

Figura 48 – Histograma de Valores de Iluminância (Klux) para Belém - Céu parcialmente encoberto e Planos Verticais



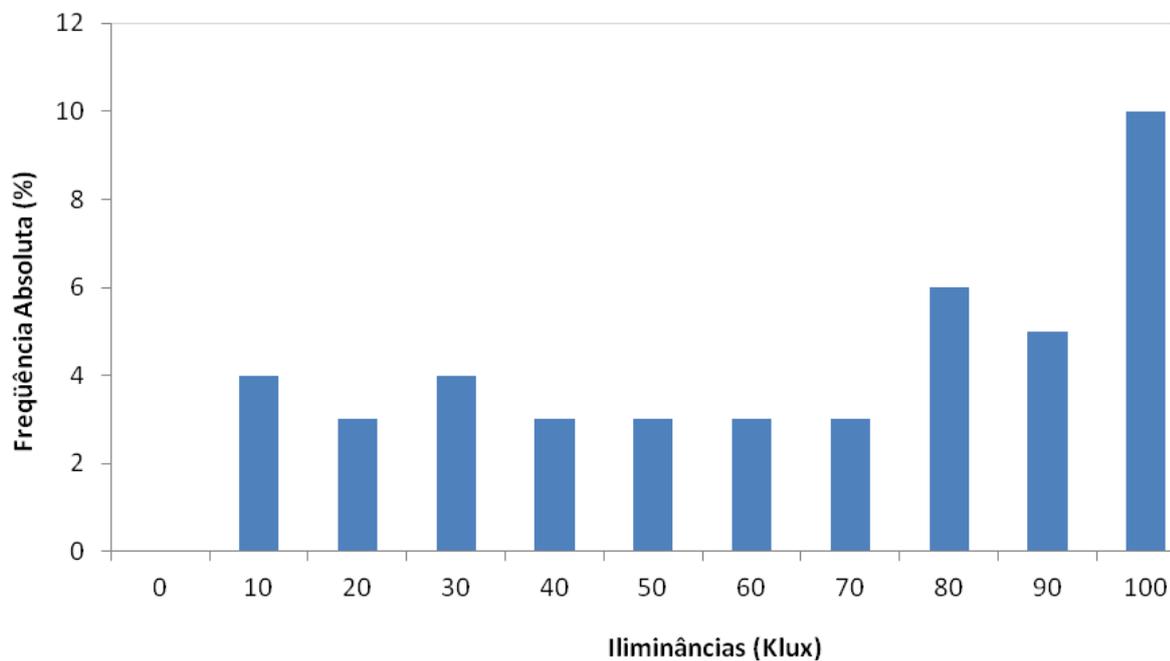
Fonte: SCARAZZATO, 1995.

Para todos os planos verticais observa-se que os valores que são mais frequentes são de iluminâncias de 10,1 à 15 Klux. O valor mínimo (0,5 Klux) encontrado para os planos verticais foi no equinócio para a fachada leste às 18h, uma vez que a fachada leste só recebe insolação direta durante as manhãs, e as 18 horas o sol está completamente atrás da fachada e durante o equinócio o sol está perpendicular ao solo quase não atingindo as superfícies verticais. O máximo observado (52,6 Klux) foi no verão às 10h para a fachada sudeste.

A fachada que apresenta o maior total ao longo do dia é a fachada sudoeste (292,4 Klux) no verão e por sua vez a fachada que apresenta o menor valor é a fachada sul (121,6 Klux) durante o equinócio.

A seguir tem-se o histograma, ver figura 49, para Belém para o plano horizontal, onde os valores que mais ocorrem estão entre 90,1 Klux e 100 Klux.

Figura 49 - Histograma de Valores de Iluminância (Klux) para Belém - Céu parcialmente encoberto e Plano Horizontal



Fonte: SCARAZZATO, 1995.

Conhecer esses parâmetros para a cidade de Belém é importante para podermos estabelecer um parâmetro de iluminância externa para a cidade, e podermos assim calcular a iluminância interna disponível no ambiente através do coeficiente de luz diurna (CLD).

## 4.2 ESTUDOS SOBRE OS SISTEMAS DE SOMBREAMENTO: SIMULAÇÕES

### 4.2.1 Método CSTB adaptado

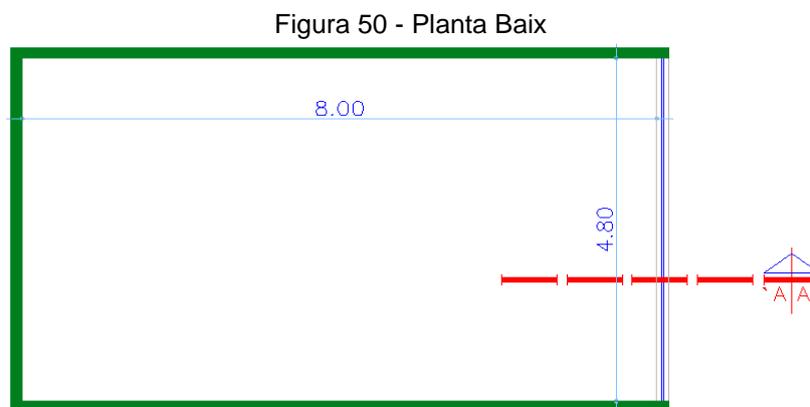
Segundo FROTA e SCHIFFER, 2003, dentre os vários métodos de previsão do desempenho térmico existentes, considera-se o CSTB o mais aplicável, pois baseia-se em dados climáticos disponíveis e numa abordagem acessível no que tange às características dos materiais, baseado em cálculos sob o regime térmico permanente.

Para realização do cálculo dos ganhos de calor gerados pelos sistemas de proteção utilizou-se o método de cálculo CSTB, adaptado por FROTA e SCHIFFER, 2003, trata-se como já descrito pelas autoras desenvolve-se em regime térmico permanente, pois os cálculos são aplicados apenas para um determinado horário onde se encontra o maior valor de ganho de calor par o recinto, este método não integra rebatimento entre superfícies horizontais como acontece no sistema de prateleira de luz.

Os estudos sobre prateleira de luz apresentados neste subitem foram iniciados durante bolsa de iniciação científica em 2008<sup>11</sup> sob a orientação do Prof. Dr. Irving Franco e a colaboração da bolsista Manuela Souza, onde criou-se uma configuração de um recinto para implantação dos sistemas de proteção, *brise* e prateleira de luz este recinto foi baseado nas configurações da sala onde localiza-se o LADEC<sup>12</sup>.

O recinto em questão mede 38,40 m<sup>2</sup>, com abertura voltada para fachada norte de aproximadamente 8,30 m<sup>2</sup>, com as configurações demonstradas na

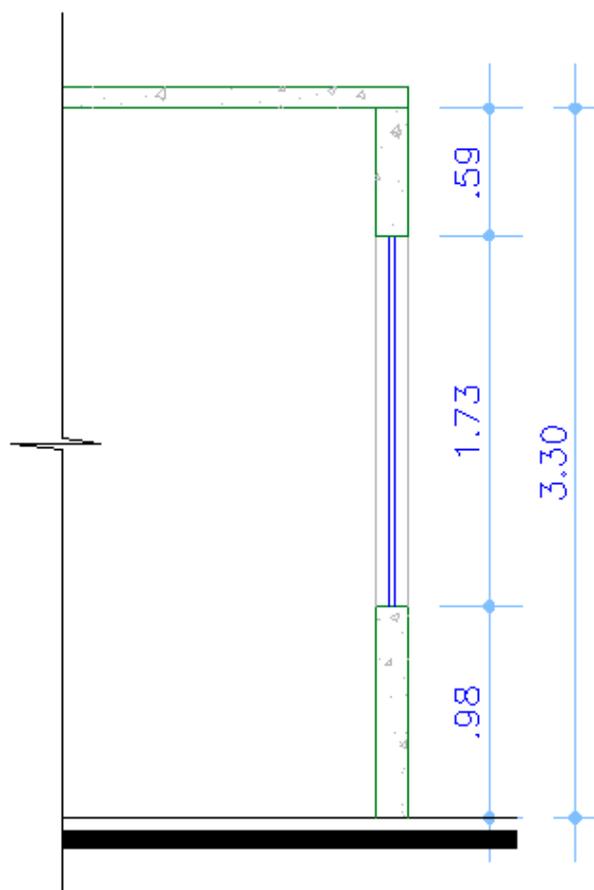
Figura 50 e Figura 51.



Fonte: Autora

<sup>12</sup> Laboratório de Análise e Desenvolvimento do Espaço Construído da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará.

Figura 51 - Corte da janela

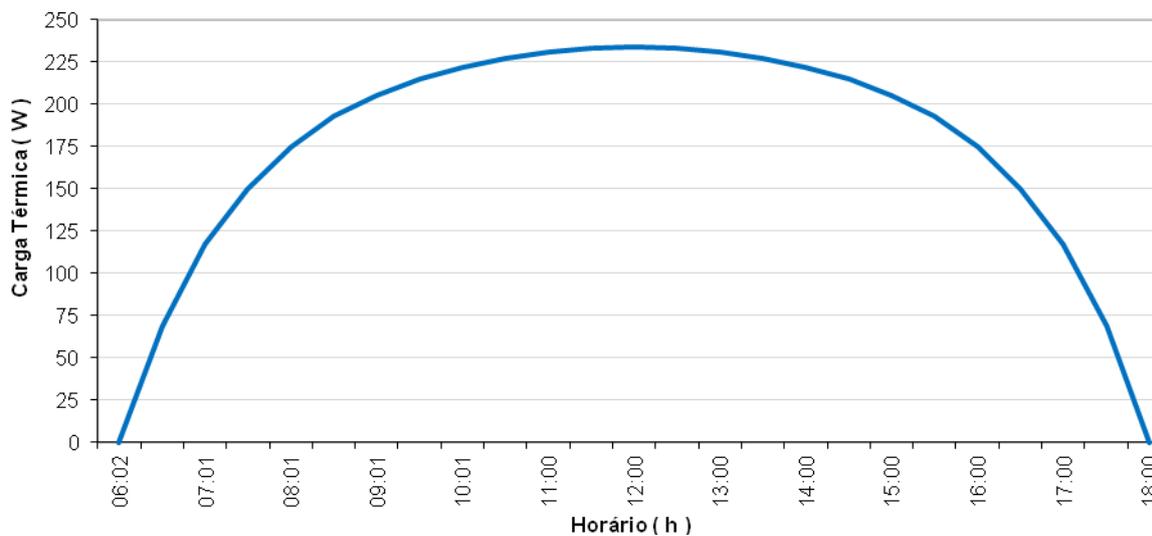


Fonte: Autora

A construção deste recinto tem como única finalidade os estudos do sistema de prateleira de luz, por isso o mesmo não será descrito detalhadamente, uma vez que ele não é o objeto de estudo apenas um suporte para viabilizar os estudos sobre os efeitos da prateleira de luz.

Para que as simulações sejam realizadas, é preciso definir alguns parâmetros, os cálculos e simulações a seguir foram realizados para a cidade de Belém, de latitude igual à aproximadamente  $-1,40^\circ$ ; o dia 22/06 (solstício de junho/verão) por ser considerado o pior cenário (dia mais longo do ano) apesar de não apresentar a maior carga térmica, mas apresenta o maior valor de temperatura medial mensal observado no ano (ver item caracterização climática), nebulosidade igual a 6,1 e o horário a ser sombreado de 8h30 até as 15h30 em função da carga térmica direta incidente na fachada estudada, norte, obtida no *software* Luz do Sol, para esse intervalo horário ser elevada (acima de  $200\text{Wh/m}^2$ ), destacados no gráfico da Figura 52.

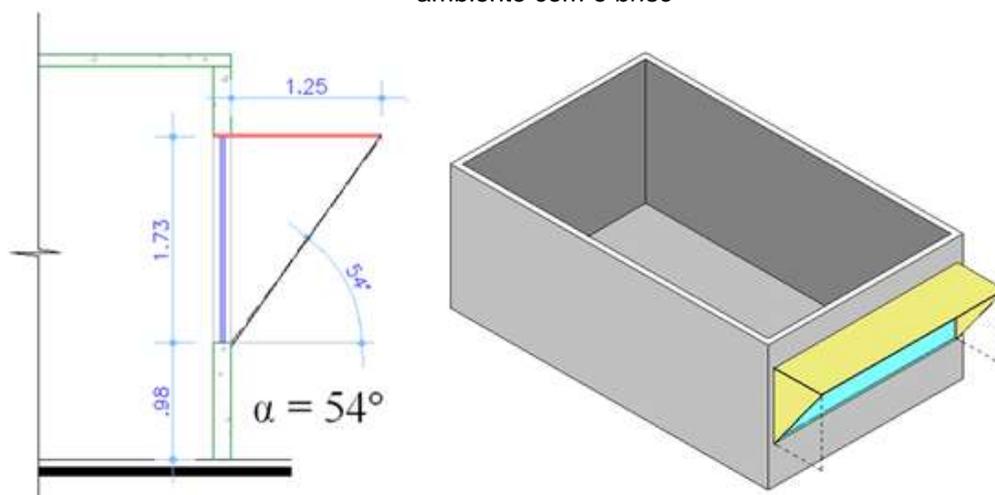
Figura 52 - Radiação Solar Incidente na Fachada Norte ( $Wh/m^2$ ), Dia 22 de Junho, Nebulosidade: 6.1<sup>13</sup>, Latitude: -1,40.



Fonte: Autora

Para sombrear a abertura no horário de destacado na tabela acima, projetou-se um *brise* e posteriormente uma prateleira de luz a partir dos estudos de mascaramento no diagrama solar obtendo um alfa de  $54^\circ$  para os dois dispositivos de proteção, conforme o diagrama a seguir, gerando uma configuração para o *brise*, ver Figura 53 e da prateleira de luz, ver Figura 54.

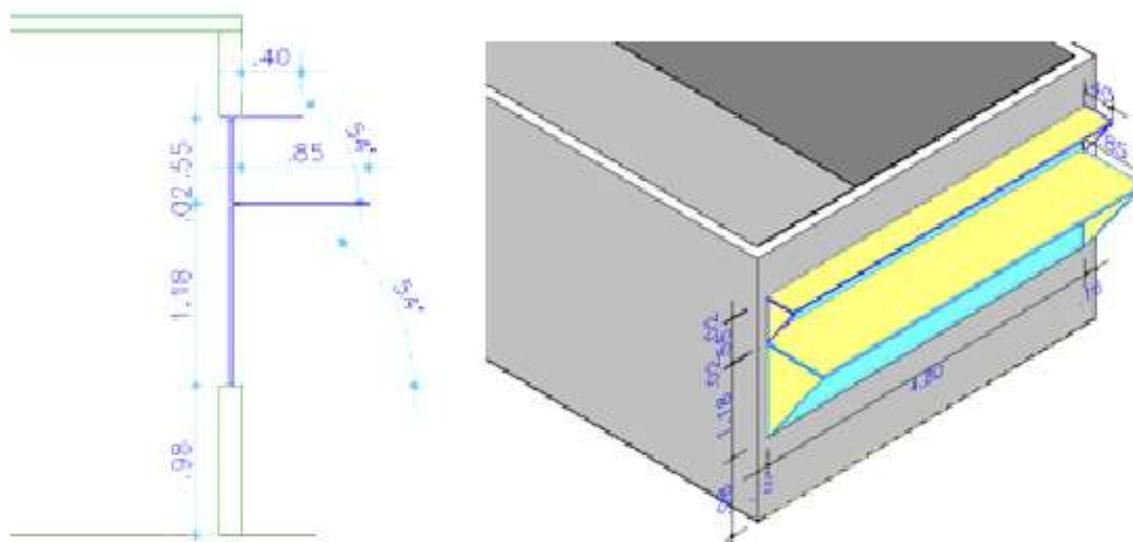
Figura 53 - À esquerda, o corte com detalhamento do ângulo de proteção gerado, para a volumetria do ambiente com o *brise*



Fonte: Autora

<sup>13</sup> Obtida no Programa ARQUITROP

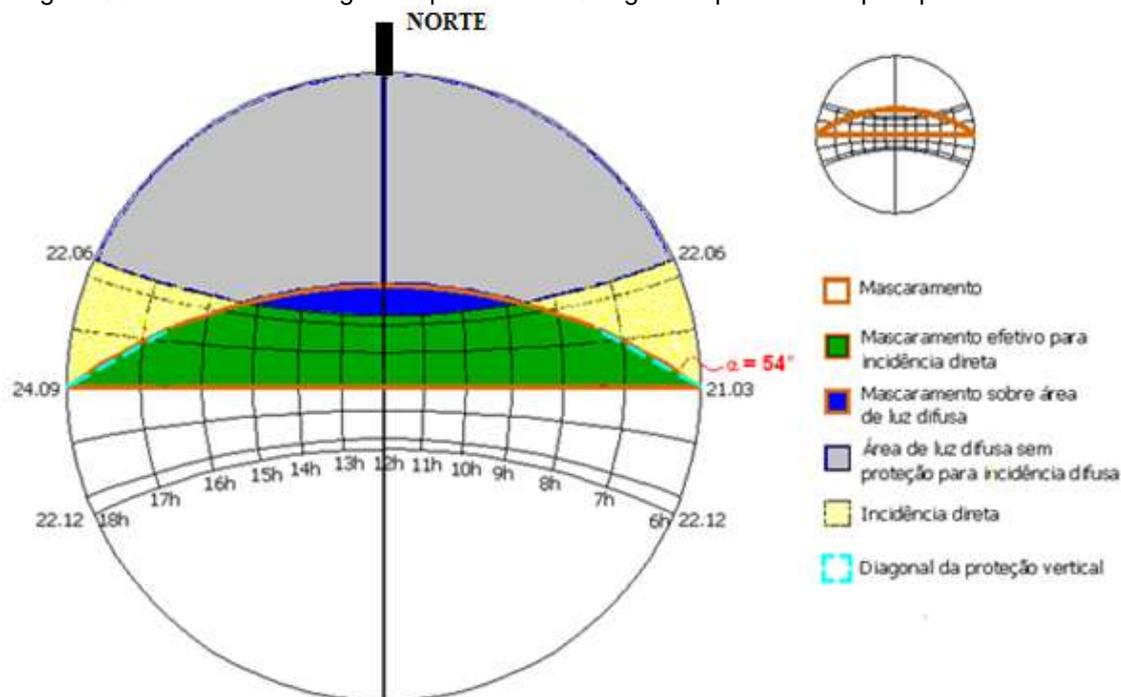
Figura 54 - Corte com detalhe da prateleira e dos ângulos de proteção gerados e para a volumetria do ambiente com a prateleira de luz



Fonte: Autora

Segundo FROTA e SCHIFFER, podem ser utilizados para representação das trajetórias aparentes do Sol, dentre os métodos que mais se destacam o ortográfico, o equidistante e o estereográfico. Sendo a projeção estereográfica a que apresenta maior facilidade para representar as projeções das trajetórias aparentes do Sol. Este método foi utilizado para os estudos no método CSTB adaptado.

Para esta ferramenta de análise, o método CSTB adaptado, considera o sistema de *brise* e de prateleira de luz como dois sistemas que, por terem sido modelados com o mesmo ângulo de proteção, (ver Figura 53 e Figura 54), possuem o mesmo mascaramento (Figura 55), o mesmo recorte de carga térmica e a mesma quantidade de ganhos de carga térmica, como demonstra os resultados a seguir, porém é relevante, na demonstração da redução da carga térmica com a utilização de um dispositivo de proteção solar.

Figura 55 - Mascaramento gerado pelo alfa de 54° gerado pelo *brise* e pela prateleira de luz

Fonte: Autora

Após a obtenção dos resultados das três situações estudadas fez-se comparativos entre elas, observando principalmente a diferença entre os ganhos totais de carga térmica e as temperaturas, inseriu-se ainda mais uma situação de um ambiente sem nenhuma proteção, não levando em conta a nebulosidade e apenas explicitando a diferença por exposição a geometria de insolação, para demonstrarmos como a nebulosidade atua nos ganhos de carga térmica, através desses comparativos obtivemos os resultados, demonstrados na Tabela 5.

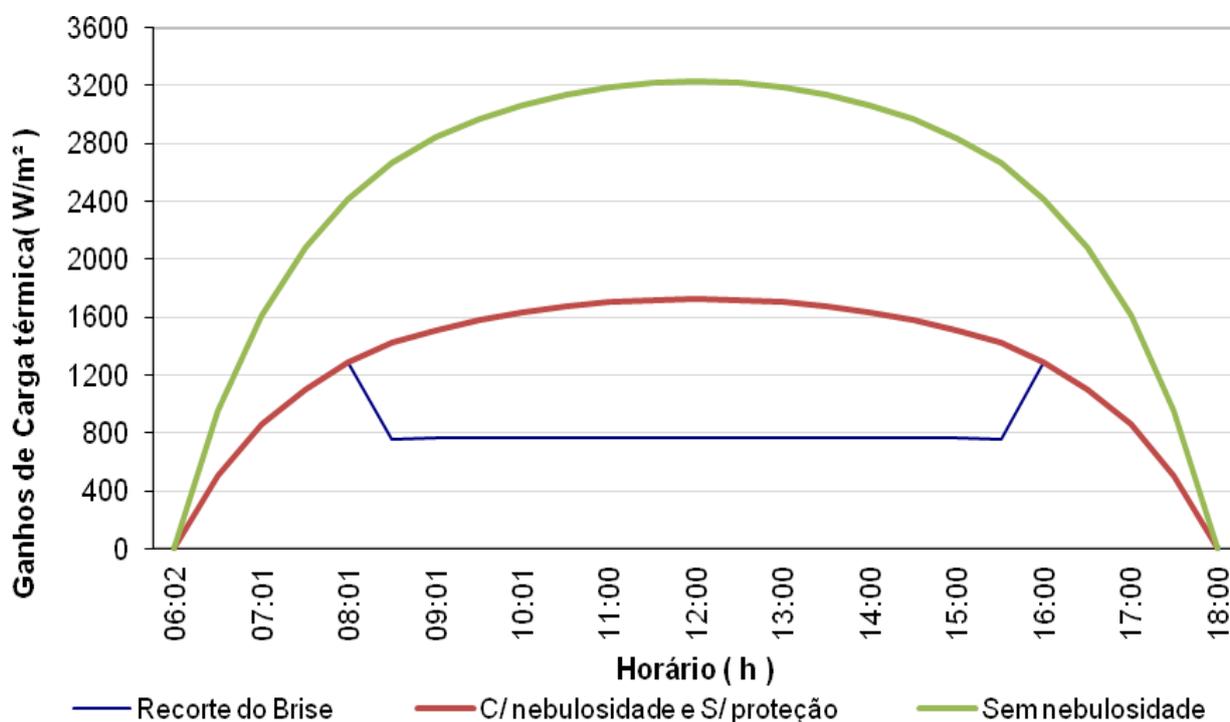
Tabela 5. Resumo do Cálculo no método CSTB adaptado, para a fachada norte em 22 de junho.

Variáveis	Sem prot.	Brise
Ganhos pelo opaco	1.009,8	1.009,8
Ganhos pelo translúcido	30.750,5	18.002,0
<b>Ganhos totais</b>	<b>31.760,3</b>	<b>19.011,8</b>
Temperatura. Int. Máx. Resultante	30,56°C	30,36°C
Temperatura efetiva:		
P/ Vo = 0,1 m/s	28,7°C	28,4°C
P/ Vo = 0,5 m/s	28°C	27,6°C
P/ Vo = 1,0 m/s	27,5°C	27,1°C
P/ Vo = 1,5 m/s	27°C	26,6°C

Fonte: Autora

Observando os resultados percebe-se que o sistema de proteção solar tipo *brise* reduz os ganhos de calor solar diários em 40,14%, ver tabela 6 e figura 67, embutido nessa redução existe um potencial de economia de energia uma vez que a carga térmica "recortada", implica em menos aquecimento, sendo indicativo de redução da necessidade de utilização de resfriamento artificial no recinto, porém o método cstb não oferece diferença quanto à análise para prateleira de luz um vez que apenas considera-se que tanto o *brise* tradicional quanto a prateleira de luz, possui o mesmo ângulo de proteção, logo o mesmo mascaramento e o mesmo recorte de carga, ver figuras 56 e 57. O método de cálculo cstb não contempla as reflexões que podem ocorrer entre as bandejas horizontais que possivelmente depreciariam a carga ali coletada e que é rebatida penetrando no ambiente o que possivelmente aumentaria os ganhos de calor com relação o *brise* tradicional. Neste estudo, não se avalia o potencial de ganhos da fração indireta sobre o piso (pelo efeito albedo<sup>14</sup> da pavimentação externa)

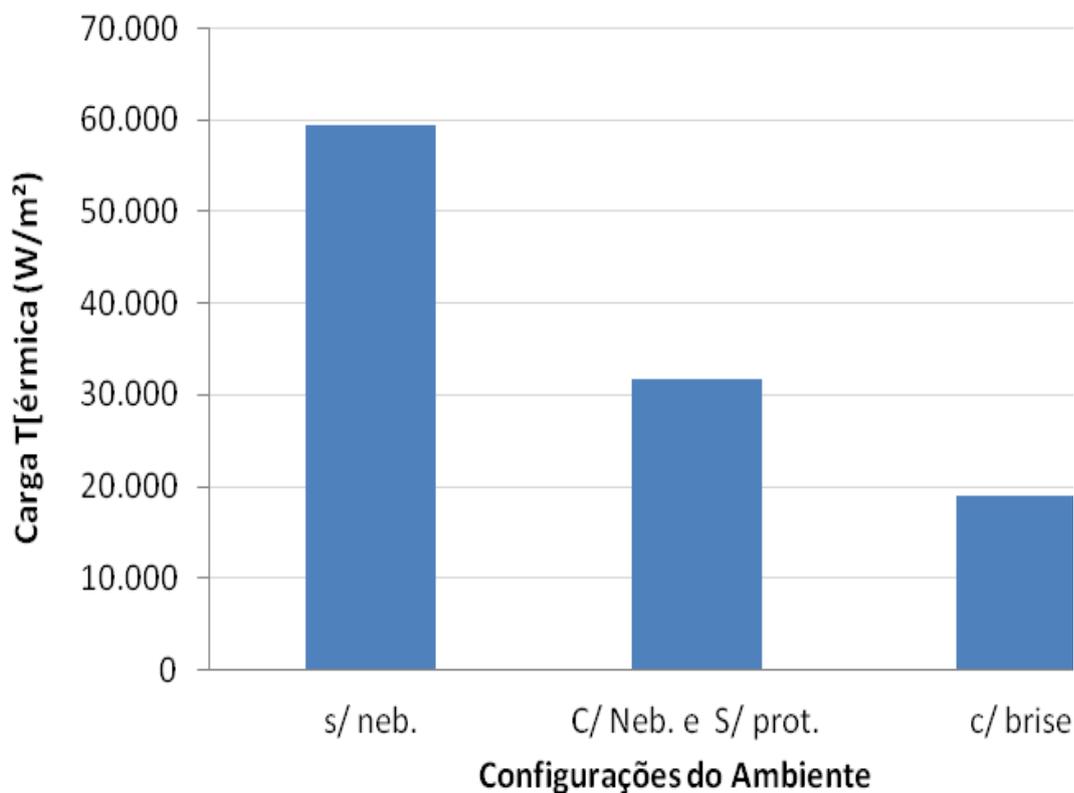
Figura 56 - Variação horária dos ganhos totais de calor solar para a fachada norte, dia 22 de junho e Nebulosidade 6.1 – dados obtidos do programa Arqitrop e luz do sol.



Fonte: Autora

<sup>14</sup> Capacidade de reflexão de uma superfície, razão entre quantidade de calor refletida e incidente.

Figura 57 - Totais de ganhos de calor solar para a fachada norte, dia 22 de junho, Nebulosidade 6.1 – dados do programa Arqutrop e luz do sol.



Fonte: Autora

Tabela 6 - Totais de ganhos de calor solar para a fachada norte

	<b>S/ neb.</b>	<b>Neb. 6.1 , S/ prot.</b>	<b>Brise</b>
Total de ganhos	59.502,67	31.760,32	19.011,85
Diferença (w/m <sup>2</sup> )	-	-27.742,36	-12.748,47
Diferença (%)	-	46,62%	40,14%

Fonte: Autora

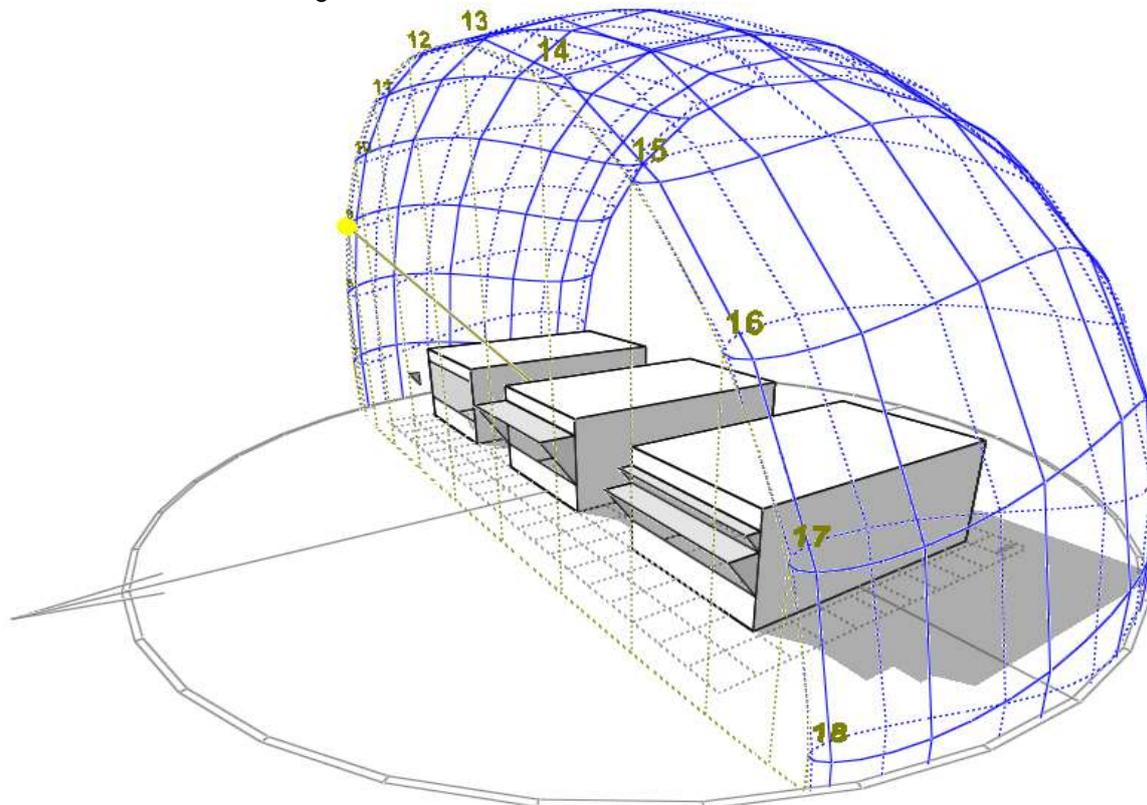
#### 4.1.2 Simulações no *software* Ecotect v5.2

O programa foi desenvolvido pelo Dr. Andrew Marsh e quanto à iluminação natural utiliza apenas luz difusa e possui dois padrões de céu: céu encoberto e céu uniforme, as simulações apresentadas foram calculadas para padrão de céu encoberto, portanto tal ferramenta adequa-se para o padrão de céu da cidade de Belém, que possui um padrão de céu na maioria das horas encoberto.

“Cabe salientar que as reflexões e a penetração solar não são consideradas no cálculo luminotécnico. Conforme a documentação do programa, a ampla variação da luz solar direta resulta que seja raramente tratada no cálculo de iluminação em arquitetura.” (GONÇALVES, VIANNA, MOURA, 2001)

Os mesmos parâmetros utilizados nos cálculos foram replicados nas simulações, exceto o método de projeção da trajetória solar que no Ecotect é utilizado o equidistante, sendo estes, a cidade de Belém, latitude  $-1,40^\circ$ , dia 22 de junho, os dispositivos de proteção e o recinto possuem as mesmas dimensões das utilizadas no cálculo com o método CSTB.

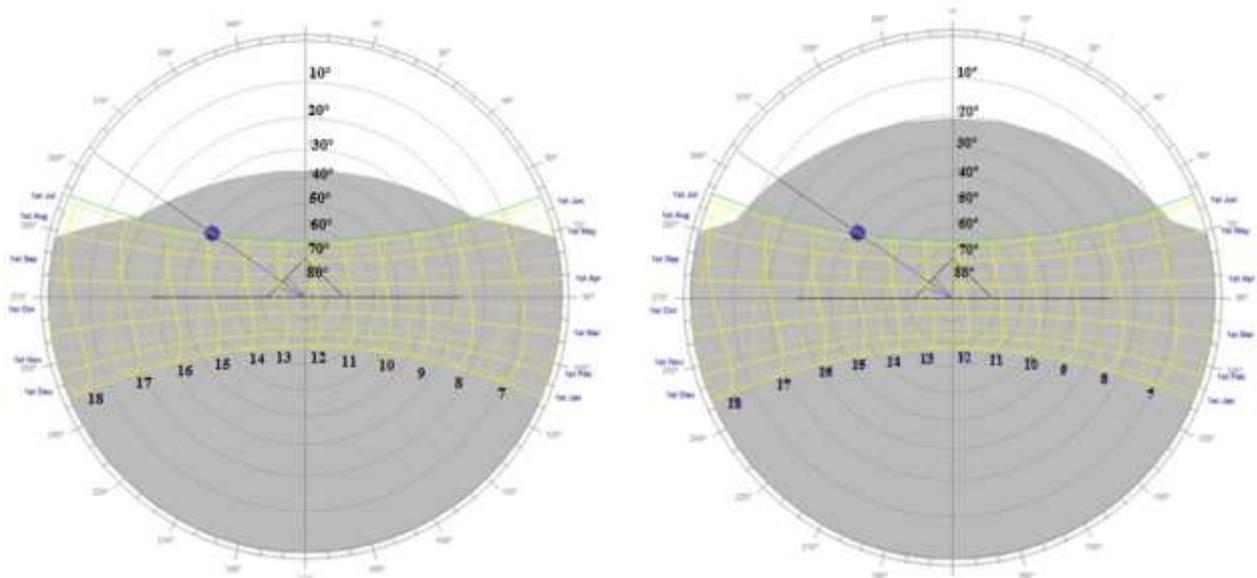
As simulações, diferentemente do método de cálculo do CSTB, trabalham em regime térmico transitório, onde no Ecotect podemos obter gráficos horários mensais e anuais, bem como sendo um *software* que engloba análises térmicas e de iluminação, é uma ferramenta importante de integração entre essas áreas na verificação do desempenho dos sistemas de proteção nessas duas áreas afins. Para as três simulações realizadas utilizaram-se três modelos um sem proteção solar, um com proteção tipo *brise* e outro com proteção tipo prateleira de luz, demonstrados na figura 58.

Figura 58 - Modelos simulados no *software* Ecotect

Fonte: Ecotect v5.2

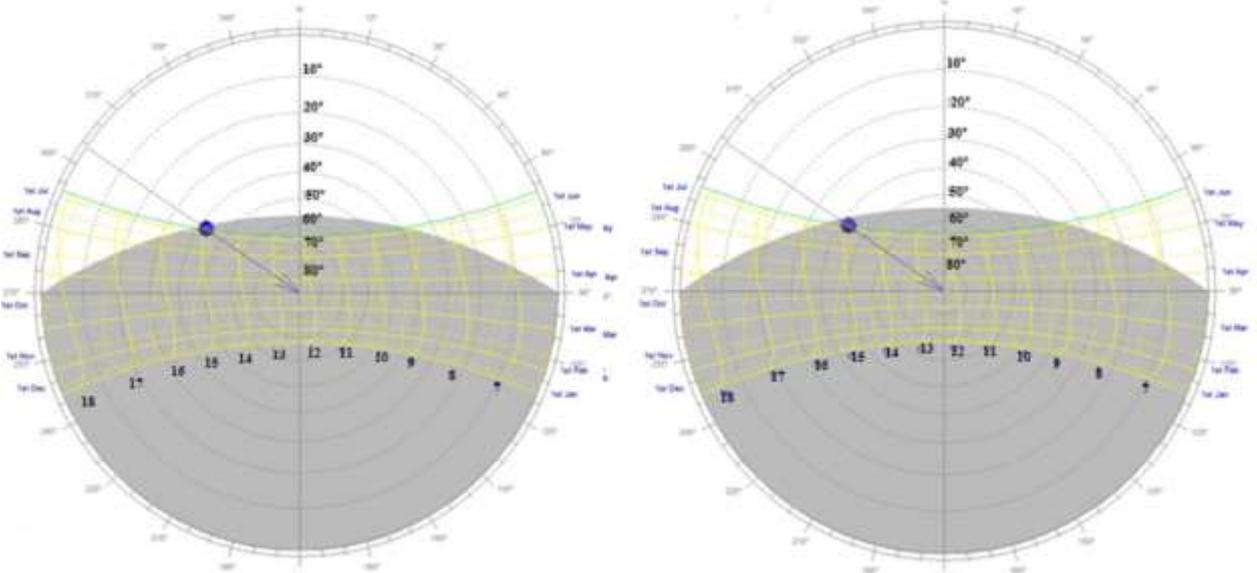
Um dos recursos do programa é a realização do mascaramento, máscara de proteção gerada sobre data e horários sombreados pelo dispositivo de proteção a partir dos ângulos obtidos no mesmo (ver figura 59 e 60), que pode ser realizado de duas maneiras, de acordo com o *software* para toda a área da janela ou para um ponto localizado no centro da aresta inferior da janela (como é realizado no mascaramento à mão) então obteve-se os resultados das figuras a seguir para o *brise* e para a prateleira de luz.

Figura 59 - À esquerda: mascaramento para a área da janela com *brise*,  $\alpha=38^\circ$ , à direita: mascaramento para a área da janela com prateleira de luz,  $\alpha=21^\circ$ .



Fonte: Ecotect v5.2

Figura 60 - À esquerda: Mascaramento para um ponto central no vértice inferior da janela com *brise*,  $\alpha=58^\circ$ , Mascaramento para um ponto central no vértice inferior da janela com prateleira de luz,  $\alpha=55^\circ$ .



Fonte: Ecotect v 5.2

Observando os mascaramentos nota-se que o mascaramento da janela gera ângulos de proteção maiores, em relação ao mascaramento de um ponto. A prateleira de luz gera um mascaramento para um intervalo horário maior que o *brise* de acordo com o *software* Ecotect, como observado na Tabela 7.

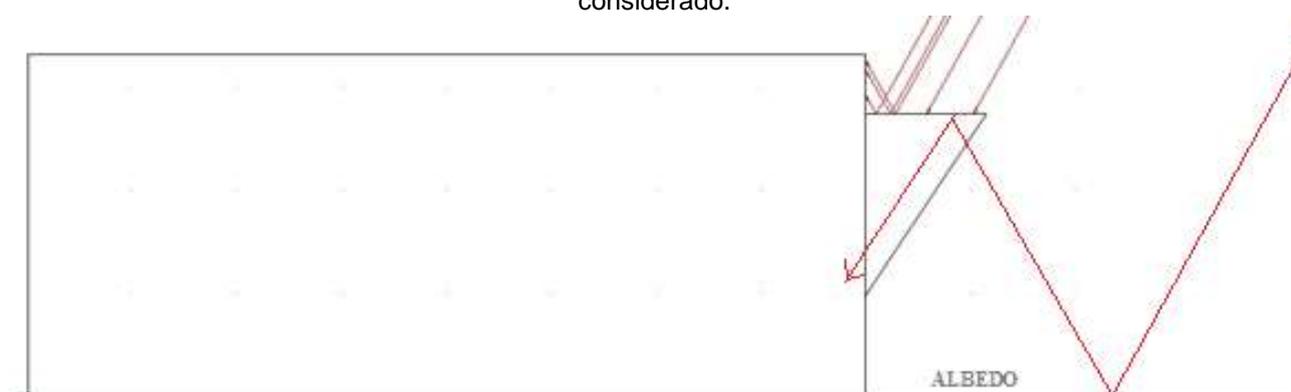
Tabela 7 - Ângulos e horários de sombreamento gerados no ecotect, fachada norte, dia 22 de junho

<b>Mascaramento</b>		<b>Brise</b>	<b>Prateleira</b>
Para o ponto	Ângulo alfa ( $\alpha$ )	58°	55°
	Horário de sombreamento	9:15 às 15:15	8:45 às 15:30
Para a área da janela	Ângulo alfa ( $\alpha$ )	38°	21°
	Horário de sombreamento	7:30 às 17:00	6:45 às 17:30

Fonte: Autora

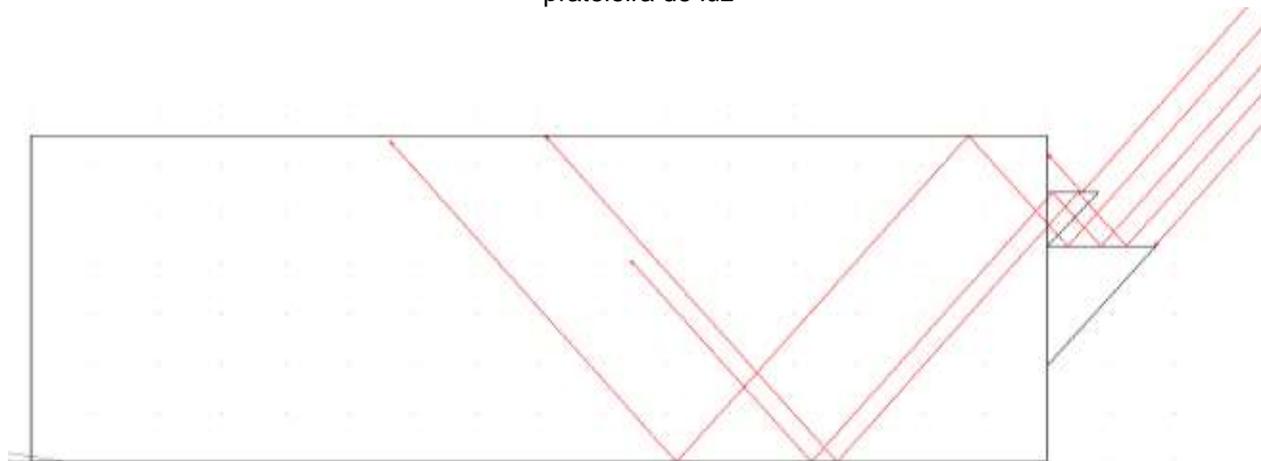
Nas Figura 61 e Figura 62 a seguir verifica-se comportamento dos raios solares quanto às proteções, ressaltando que as Figuras referem-se ao horário de 10:00h, para o dia 22 de junho, nota-se o comportamento distinto das proteções, onde o *brise* bloqueia a incidência dos raios na janela, enquanto que a prateleira de luz capta os raios solares que são conduzidos ao recinto através dos rebatimentos entre as placas horizontais, que potencializam a iluminação natural pois levam os raios solares à atingirem campos mais distantes ao “fundo” do recinto, mas que pode gerar ganhos excessivo de calor no mesmo uma vez que os raios penetraram mais no ambiente.

Figura 61 - Demonstração da reflexão dos raios solares, para o dia 22 de junho, às 10h, para o recinto com dispositivo de proteção solar tipo *brise*, onde foi inserida a projeção do albedo, mas que no *software* não foi considerado.



Fonte: Ecotect v5.2

Figura 62 - Demonstração da reflexão dos raios solares, para o dia 22 de junho, às 10h, para o recinto com prateleira de luz



Fonte: Ecotect v5.2

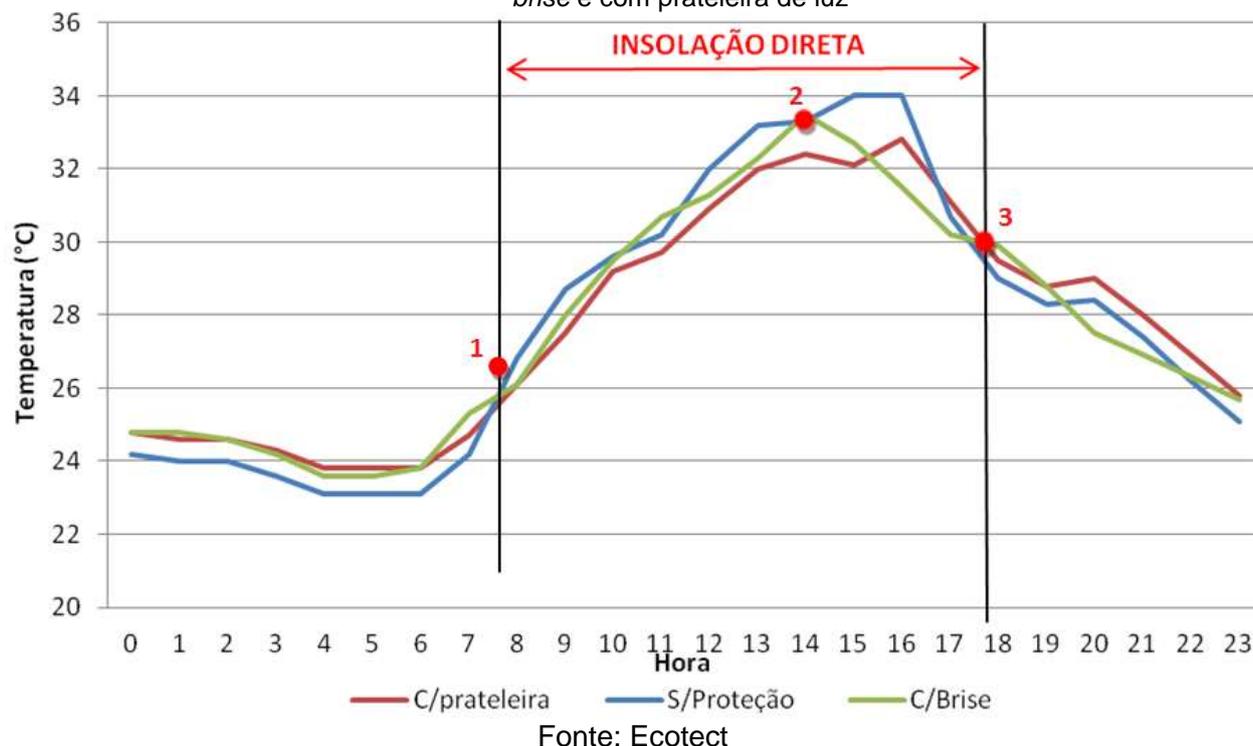
Utilizando-se de um comparativo entre os três modelos de recinto: sem proteção, com *brise* e com prateleira de luz, obtivemos o gráfico a seguir para demonstrar a variação da temperatura interna nos três recintos, onde destaca-se três pontos importantes nas curvas da Figura 63, página 87, que representam:

- 1: Início da Insolação direta: até este ponto os recintos perdem o calor absorvido durante o dia, o recinto sem proteção está mais resfriado, possivelmente porque perde calor, devido a ausência das proteções que obstruem a perda de calor junto a janela.
- 2: A elevação do aquecimento do recinto com o *brise* pode ser devido a interflexão por albedo<sup>15</sup> (ver Figura 61)
- 3: Fim da insolação direta

Para a temperatura interna há variações, ver figura 63, sendo o sistema sem proteção apresentando temperaturas mais elevadas na maioria das horas, exceto no período de 0:00 às 8:00, para *brise* e prateleira as temperaturas internas são bem próximas quase não apresentando diferença.

<sup>15</sup> Capacidade de reflexão de uma superfície, razão entre quantidade de calor refletida e incidente

Figura 63 - Variação da temperatura interna dos recintos sem proteção, para Belém, em 22 de junho com brise e com prateleira de luz



Para as análises de luz natural no Ecotect o programa permite definir alguns parâmetros como a altura do plano de análise, ou realização da análise no volume todo do recinto, a condição de limpeza da janela (limpa, média ou suja), a condição do céu (nublado ou uniforme) e a iluminância externa que pode ser inserida, ou calculada pela latitude ou pela fórmula de *Tregenza* e após as análises pode escolher a visualização dos resultados para Fator de Luz Diurna (%), níveis de luz diurna, luz refletida internamente, luz refletida externamente e componente de céu e alterar a escala de cores apresentada.

Para as análises neste estudo utilizou-se como plano de referência para os cálculos o plano de trabalho ( $h=0,75\text{m}$ ), condição de limpeza da janela média, a condição de céu nublado (mesma utilizada nas simulações do Relux) e a iluminância externa calculada pela latitude (Belém:  $-1,40$ ) que foi de  $19.500\text{ lux}$ , para demonstração dos resultados utilizou-se os níveis de luz diurna em uma escala definida de  $0$  à  $3.000\text{ lux}$  ou mais, definidas em um intervalo de cores de  $300\text{ lux}$ .

Para este programa não há entrada de dados de dia e hora para as análises de iluminação natural e após alguns testes verificou-se que se alterando o dia ou ao horário não existe alteração no resultado, pois com a iluminância externa constante, variando-se o dia e a hora predomina o padrão de céu encoberto e uniforme, isotrópico.

Após a inserção dos dados obtiveram-se os resultados abaixo para os três modelos, onde cada escala de níveis de luminosidade é definida por uma cor, sendo do amarelo, acima de 3.000 lux ao azul Royal, de 0 à 300 lux, conforme Figura 64.

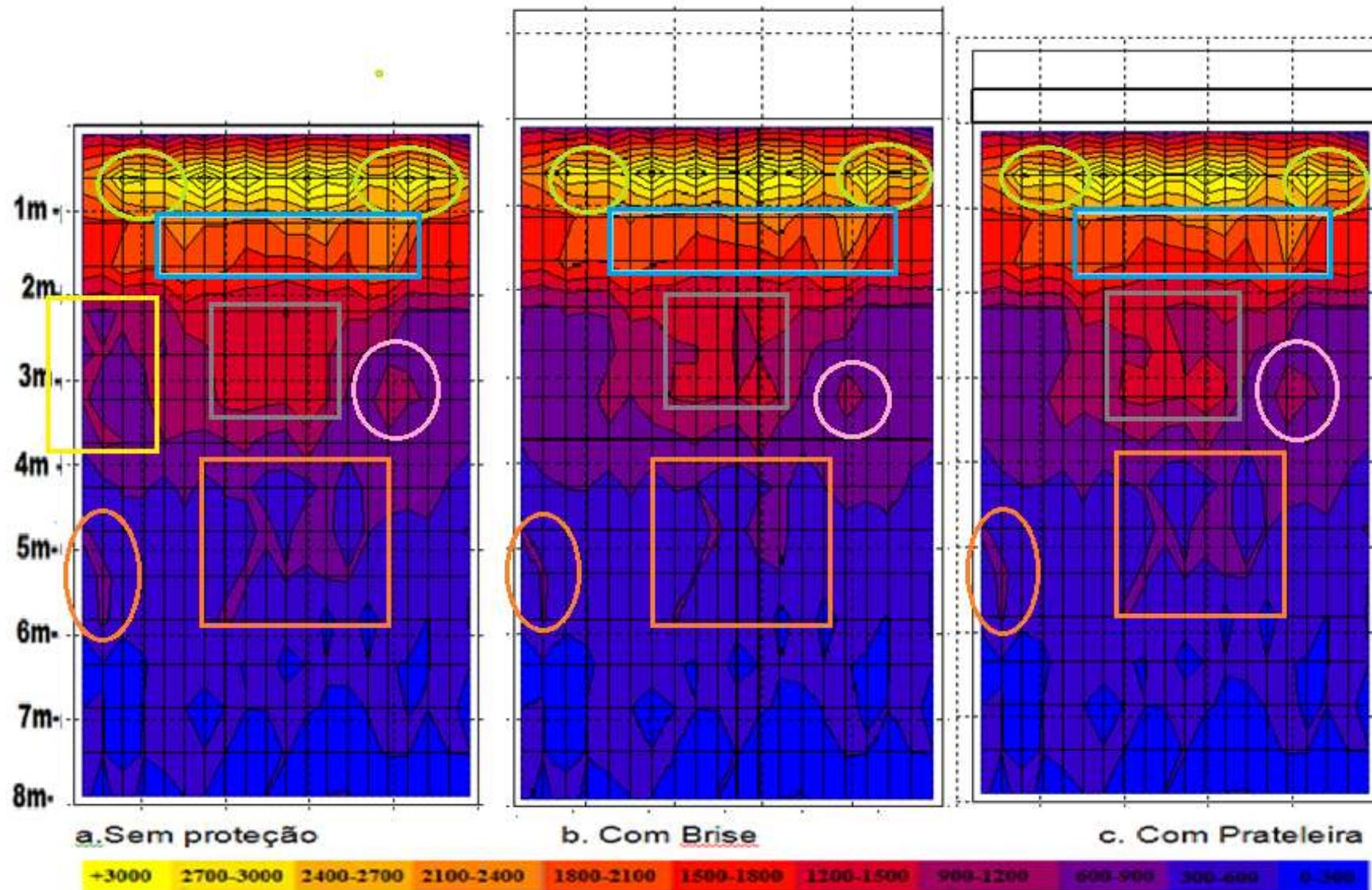
Para as variações de luminosidade internas, no geral percebe-se que existem campos bem definidos de níveis para todos os recintos, até 2m de distância da janela predomina a escala de 1.800 à 2.100 lux, porém pode-se dizer que encontram-se valores de 1.800 à 3.000 lux ou mais, até 4m da janela predomina a escala de 600 à 900 lux mas com valores encontrados de 600 à 1.500 lux, até 6m da janela predominam os valores de 300 à 600 lux e no fundo do recinto predominam valores de até 300 lux, uma vez que quanto mais distante da janela (fonte de luz) menos intensa (mais escuro) é iluminância.

Quanto a comparação entre os sistemas nota-se que:

- **até 1m** de distancia da janela há uma redução nas laterais do recinto de até 2.700 à 3.000 lux para 2.100 à 2.400 lux (circulos verde claro), quando o *brise* é inserido mas que permanece inalterado com a prateleira de luz.
- **De 1 à 2 m** de distância da janela, há uma redução dos níveis de 2.100 à 2.400 lux com o *brise* que não se altera com a prateleira (retângulo azul claro).
- A grande diferenciação entre os sistemas é verificado **entre 2 e 4m** de distância da janela onde existe uma redução dos níveis de 1500 à 1800 lux para 900 à 1200lux com o *brise* (retângulo cinza) ao centro do ambiente que reduz mais ainda com a prateleira, já nas laterais do ambiente há uma redução de 900 à 1200lux para 600 à 900lux, com manchas que se extinguem (retângulo amarelo) com o *brise* e a prateleira e manchas que diminuem com o *brise*, mas aumentam com a prateleira (circulo rosa claro).
- Já **entre 4 e 6m** de distância da janela há uma redução dos níveis de 600 à 900 lux para 300 à 600 lux com o *brise*, mas que voltam a se elevar e manter o mesmo padrão do ambiente sem proteção com a prateleira de luz (marcações lanranja).
- **Mais ao fundo do ambiente de a partir de 6m** de distância da janela não é identificada nenhuma alteração de acordo com o *software* para nos níveis de iluminação seja sem proteção com *brise* ou com prateleira.

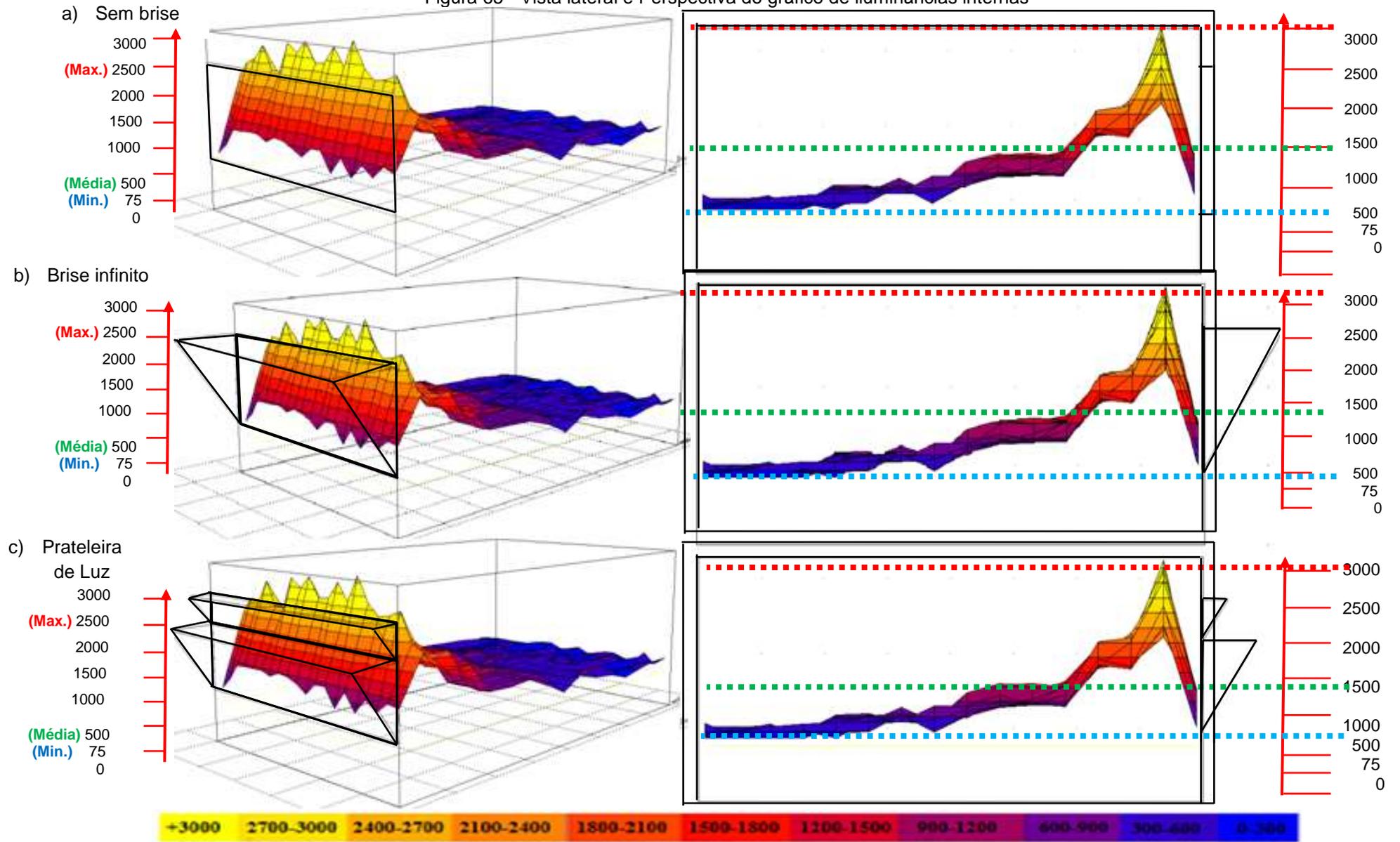
Nota-se no comportamento dos níveis de iluminância nas áreas próximas a janela (até 2m de distância) é reduzido com inserção das proteções, claro, como já era de se esperar uma vez que o a janela não está mais exposta a insolação, que permanece inalterado se compararmos *brise* com prateleira de luz, em distâncias maiores, de 2 à 6m, a prateleira com relação ao *brise* eleva os níveis de iluminância, melhorando o desempenho lumínico do ambiente.

Figura 64 - Distribuição dos Níveis de Luminosidade no plano de trabalho (h=0,75cm)



Fonte: Ecotect v5.2

Figura 65 - Vista lateral e Perspectiva do gráfico de iluminâncias internas



Fonte Ecotect v5.2

É preciso levar em consideração que como descrito na metodologia este *software* não considera no seu cálculo as reflexões e a penetração solar, fator importante para avaliação de dispositivos de proteção solar.

Buscando o refinamento de resultados através das diferentes ferramentas, uma vez que cada programa tem seus níveis de refinamento e suas limitações seguem-se as simulações no próximo item em um programa específico para estudos de iluminação natural e artificial.

### 4.1.3 Simulações no *software* Relux

Para as análises no Relux 2006 é necessário definir alguns parâmetros, como a cidade, onde indica-se através da inserção da latitude, neste estudo utilizou-se os dados de Belém, para o dia 22 de junho e horário de 12h00minh, onde a incidência de radiação solar não é direta sobre a fachada na qual localiza-se a abertura, tal configuração que remeteria a uma análise onde os valores e iluminância seriam muito elevados, talvez levando a uma conclusão precipitada, partindo de uma ideia que valoriza em excesso o bom desempenho lumínico do ambiente.

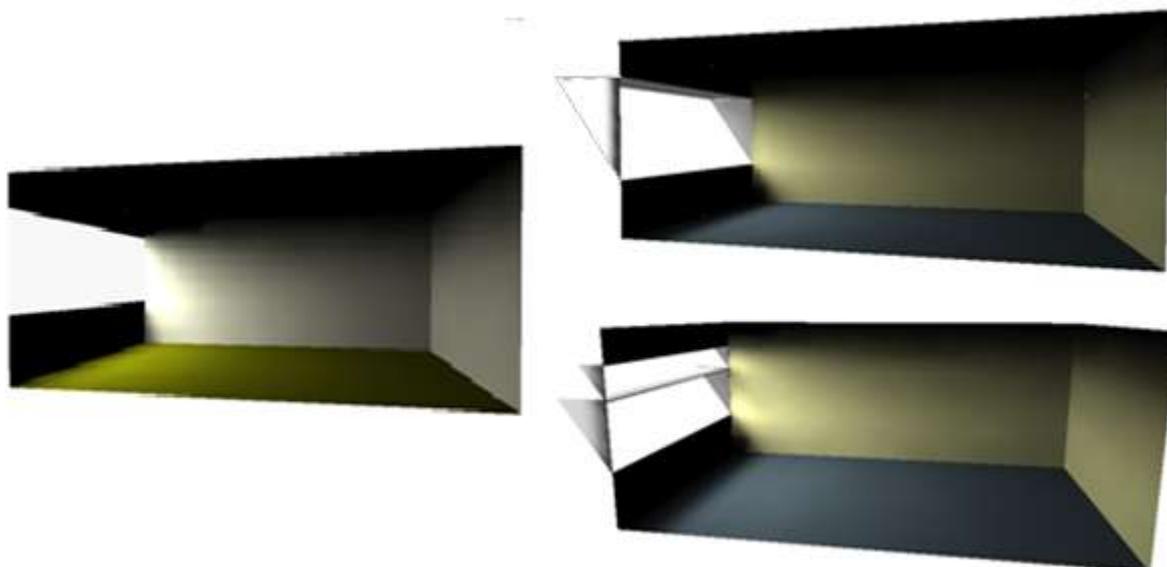
Este programa nos permite a escolha entre dois tipos de padrão de céu, céu claro e céu encoberto, mesmas opções disponíveis no programa Ecotect, porém para os cálculos de iluminâncias, ainda há outros refinamentos disponíveis, quanto a precisão dos cálculos de luz natural como:

- Apenas luz direta
- Luz indireta de baixa intensidade
- Luz indireta de média intensidade
- Luz indireta de alta intensidade

Para estabelecer um recorte, e direcionar o estudo para os pontos de interesse que é a distribuição de luz no ambiente analisaremos aqui apenas a parcela de luz direta.

A partir dessa metodologia as análises de iluminação foram realizadas no Relux para os ambientes sem proteção, com *brise* e com prateleira, ver Figura 66, apenas para luz direta e para luz indireta.

Figura 66 - À esquerda o ambiente sem proteção, à direita em cima: ambiente com *brise*, em baixo: ambiente com prateleira de luz

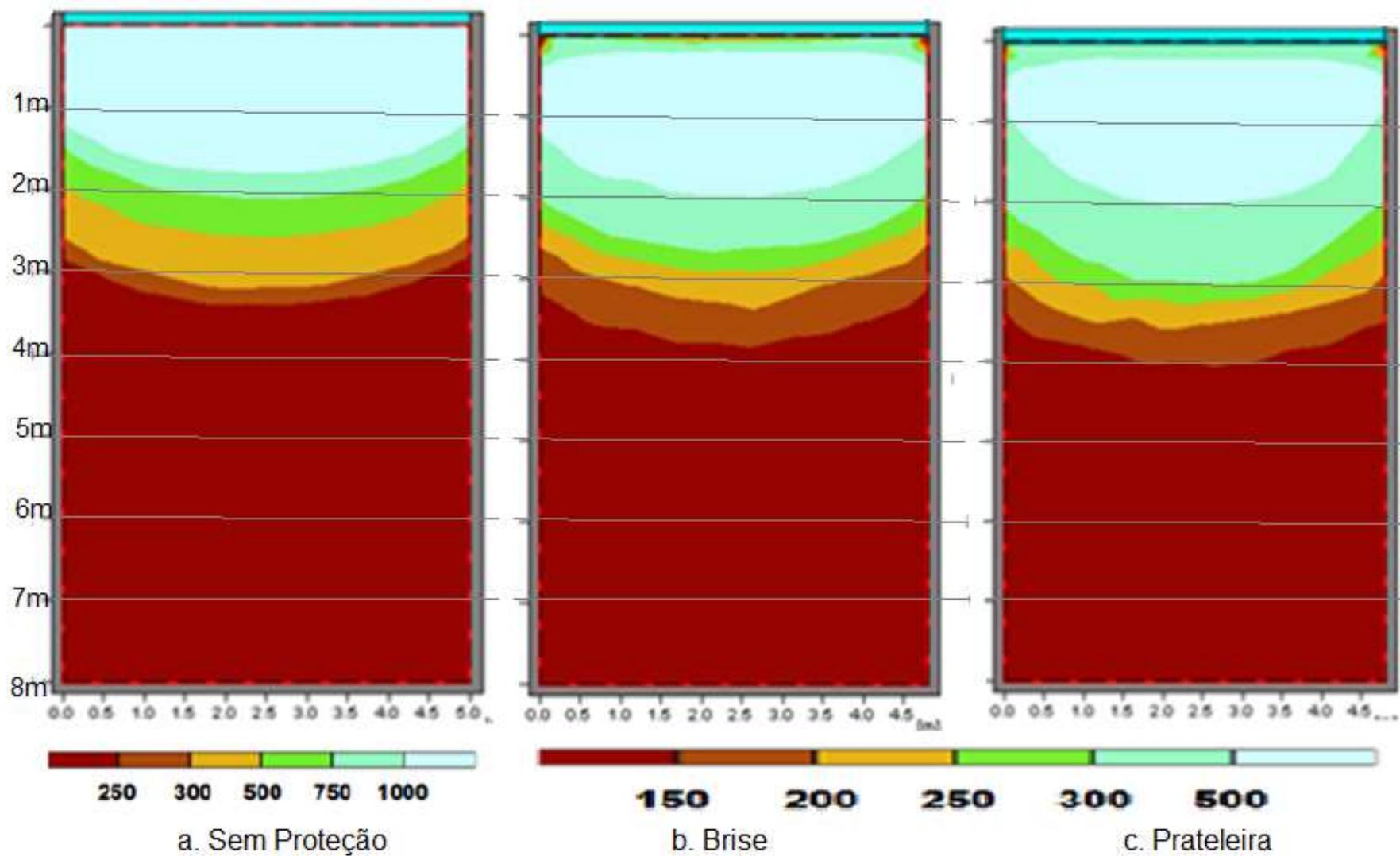


Fonte: Relux, 2006

Para as imagens e a malha de cores (ver Figuras Figura 67 e Figura 68), nota-se que o recinto sem proteção tem níveis de luminosidade predominantemente elevados próximo à janela (mínimo 1000lux) enquanto que os demais níveis de distribuem de camadas finas (de 750 à 300 lux) sendo o penúltimo nível (alaranjado, 250 à 300lux) o que se estende mais ao fundo do ambiente com exceção no nível mínimo de luminosidade (magenta, 250lux), o *brise* provoca na luminosidade interna uma redução dos níveis próximos a janela (mínimo de 500lux) e um encurtamento da distribuição dos níveis (azul à laranja, de 500 à 200lux) na extensão do ambiente, se comparado a prateleira, ou seja, ele reduz a quantidade de luz disponível mais próximo ao fundo da sala, já a prateleira de luz também reduz os níveis de luminosidade junto à abertura, mas aumenta a distribuição dos níveis (azul à laranja, de 500 à 200lux) de luminosidade pela extensão do ambiente ou seja a luz alcança uma parcela maior em direção ao fundo da sala, sendo melhor distribuída, tendo alteração significativa **entre 2 e 3m** de distância da janela, que antes variavam entre 150 à 500lux, com o *brise*, agora predominam níveis de 300 à 500 lux, com a prateleira. **De 3 a 4m** de distância da janela também há mudança significativas, níveis que anteriormente sem proteção era predominantemente de 250 lux, com o *brise* variam de 150 à 250 lux e com a prateleira de 150 à 300 lux.

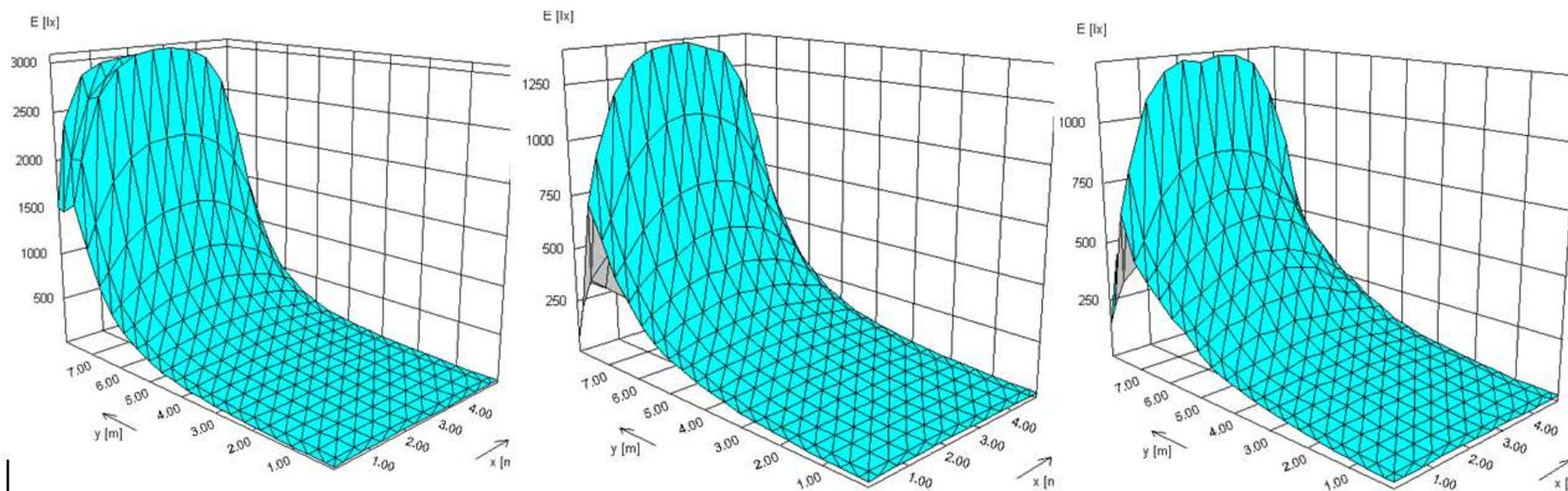
Apesar de reduzir os níveis de iluminância a prateleira de luz consegue prolongar níveis de 150lux a uma distância de além da metade do ambiente (entre 4m 3m de distância do fundo do ambiente), ver Figura 67, enquanto que nos ambiente sem proteção tem-se uma curva de 250lux atingindo no máximo 4,50m de distância do fundo do ambiente, ver Figura 68, e o ambiente com *brise* atinge a mesma faixa de 150lux, mas até no máximo 4m de distância, ver Figura 67.

Figura 67 - Níveis de Iluminância em planta (pseudo cores) para luz direta, a esquerda: recinto sem proteção, ao centro com *brise* e à direita: com prateleira de luz



Fonte: Relux 2006

Figura 68 - À esquerda: Níveis de Iluminância para luz direta no recinto sem proteção. Ao centro: Níveis de Iluminância para luz direta no recinto com *brise*. À direita: Níveis de Iluminância para luz direta no recinto com prateleira de luz



Fonte: Relux 2006

## 4.2 MENSURAÇÕES DOS NÍVEIS DE ILUMINÂNCIA E DA VELOCIDADE DE AQUECIMENTO NOS MODELOS EM ESCALA.

Todas as medições realizadas foram repetidas pelo menos uma vez, já que a primeira medição sempre se trata de acertos com relação a metodologia e os procedimentos experimentais e ainda a partir do tratamento dos dados podem surgir novas aproximações necessárias que muitas vezes necessitam de novas medições para que os dados demonstrem resultados pretendidos nos experimentos.

Como já citado no capítulo sobre a metodologia existe a necessidade de realizar a regressão entre os sensores (ver item “3.2 Introdução ao Processo de Metrologia em Conforto Ambiental, página 41) que são utilizados para excluir as diferenças de medições entre eles, uma vez que sabe-se que mesmo sob condições iguais sensores aparentemente iguais não fornecem dados idênticos, sempre há uma variação entre eles, que poderá interferir no resultados da medição.

Para que seja possível realizar a regressão linear entre sensores é preciso que todos sejam colocados sob uma mesma condição ambiental conhecida, sendo necessário ser realizado um experimento a parte somente para a obtenção dos dados para a aplicação da regressão linear.

Logo as medições apresentadas neste capítulo, de Temperatura Radiante, Temperatura do Ar, e Iluminâncias com hobs U12 e com o luxímetro HOMIS, seguiram sempre esta metodologia: medições realizadas com os sensores inseridos nos modelos em escala sem proteção, com *brise* e com prateleira e geralmente mais um sensor externo e uma segunda medição onde os sensores utilizados nas medições com os modelos, são colocados para medir todos juntos, lado-a-lado sob uma mesma condição ambiental conhecida, para que se obtenha as diferenças de medição entre os mesmo, que devem ser corrigidas a partir da expressão gerada pela regressão que deve tornar a curva de medição entre os sensores iguais ou muito próximas, e esta expressão obtida foi aplicada aos dados brutos medidos nos modelos demonstrando apenas as diferenças entre os sistemas estudados.

Para excluir quaisquer interferências nas medições, foram realizadas ainda como último processos de refinamento visando garantir a acuidade dos dados, as medições para parametrização dos modelos, objetivando excluir as diferenças de leituras que poderiam ser encontradas entre os próprios modelos sendo retiradas as

proteções solares, admitindo-se que os três modelos sem proteção são iguais e devem medir os mesmo valores.

## 4.2.1 Temperatura Interna Radiante

### 4.2.1.1 Regressão Linear para os Termômetros de Globo

Este experimento foi realizado primeiro do dia 27, depois no dia 29 de julho de 2013 onde foram realizados acertos e repetido dia 14 de setembro de 2013, com os resultados aqui apresentados, com uma esfera negra padrão utilizada no termômetros de globo de referência e outras 3 mini esferas negras com intuito de realizar a regressão linear entre a esfera padrão e as esferas criadas, através de medições com o sensor de temperatura externo TMC50-HD conectado ao hobo H08,, inserido nas esferas, ver Figura 69. As medições foram realizadas de 9:00h as 10:20h, com obtenção dos dados a cada 5 minutos.

Figura 69 - Medição para regressão dos termômetros de globo, com uma esfera negra tamanho padrão e as mini esferas negras confeccionadas



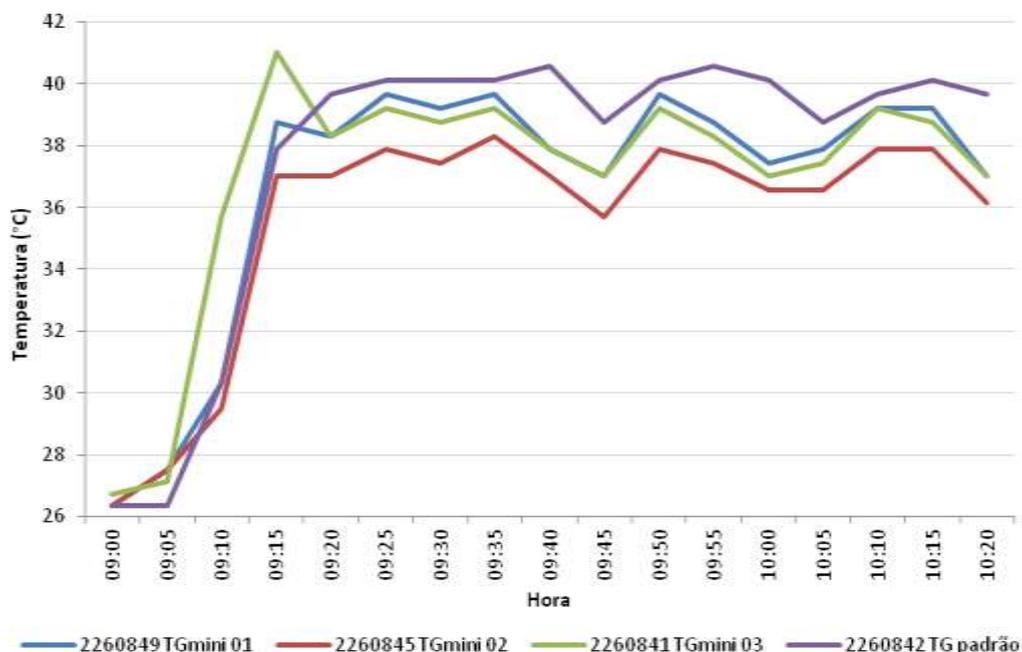
Fonte: Arquivo pessoal

Os termômetros de globo, com o cabo sensor de temperatura inserido em seu interior e conectado ao hobo H08, foram colocados em pedestais distantes entre si de forma igual para que não interferissem na medição um do outro e os mesmos

foram expostos a insolação durante uma hora com medição a cada cinco minutos, obtendo-se os dados demonstrados na Figura 70.

Verificou-se nas medições, como já observado anteriormente, que mesmo sob condição ambiental idêntica e utilizando aos sensores iguais, as leituras não apresentam os mesmos valores, a amplitude de temperatura encontrada foi de 38°C à 40°C de aproximadamente. O sensor de referência, a esfera padrão – TGpadrão (hobo H08, série 2260842), apresenta-se com temperaturas mais elevadas e sua curva tem comportamento diferente das demais, já as mini-esferas apresentam curvas com mesmo comportamento, porém o sensor 02 –TGmini 02 (hobo H08, série 2260845), apresenta-se com temperaturas mais baixas que os demais com diferença de menos de 2°C. Já os sensores com curvas mais próximas 01 (hobo H08, série 2260849) e 03 (hobo H08, série 2260841) apresentam na maior parte da curva diferenças inferiores a 1°C, podem ser destacados como sensores mais indicados para medições e comparativos futuros, pois são sensores com medição intermediária, o que não maximizaria nem minimizaria valores se tomados como referência para a realização da regressão e seu comportamento muito próximo reduziria as interferências nas medições.

Figura 70 - Variação das temperaturas radiantes para regressão – dados brutos

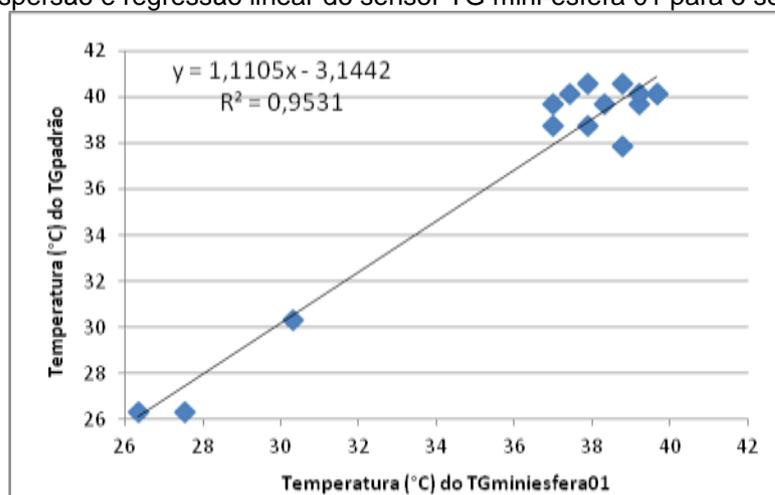


Fonte: Autora

No gráfico anterior o TGpadrão indica temperaturas maiores na amplitude entre 38 e 40,5°C, porém de 26°C até 34°C, mesmo encontra-se praticamente similar aos TG'smini 1 e 2, o TGmini 03 descola-se por apresentar aquecimento muito mais rápido e depois reposicionar-se medianamente entre 38 e 40,5°C.

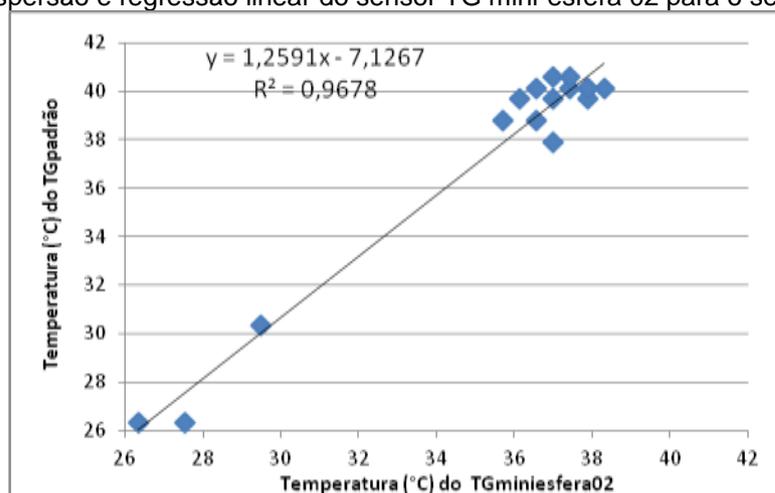
As diferenças apresentadas entre 0°C e 2°C são diferenças inerentes aos sensores e para que sejam excluídas essas diferenças, aplica-se a técnica de regressão linear dos dados, onde tomou-se como base o sensor de esfera padrão como referência, apesar do mesmo apresentar as temperaturas mais elevadas, porém sendo um sensor padrão assumiu-se como o de referência para que os demais dados sejam regredidos a ele através das expressões geradas a partir dos gráficos de dispersão, ver Figura 71, entre cada sensor e o de referência, que foi aplicada aos dados medidos no experimento, com o intuito de regredir os sensores para que os mesmo tenham curvas de leitura iguais a do sensor de referência, para que assim após aplicadas nos dados brutos lidos nas medições nos modelos com as proteções excluam as diferenças de leitura entre sensores restando apenas as diferenças entre os próprios sistemas de proteções aplicados

Figura 71 - Dispersão e regressão linear do sensor TG mini-esfera 01 para o sensor TGpadrão



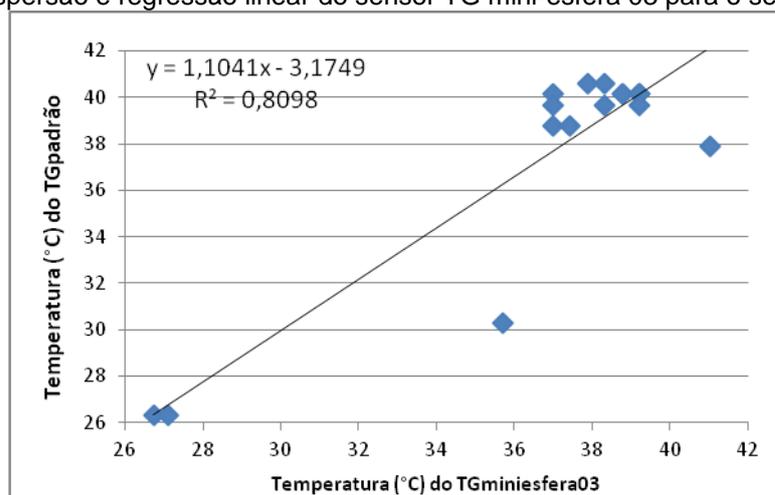
Fonte: Autora

Figura 72 - Dispersão e regressão linear do sensor TG mini-esfera 02 para o sensor TGpadrão



Fonte: Autora

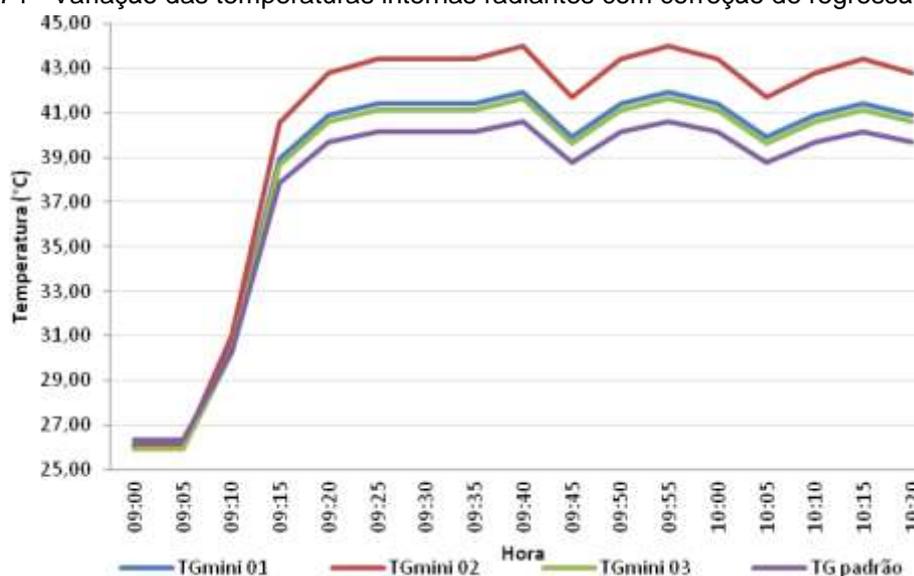
Figura 73 - Dispersão e regressão linear do sensor TG mini-esfera 03 para o sensor TGpadrão



Fonte: Autora

Após aplicadas as expressões obtidas nos gráficos de dispersão, o que percebe-se é que a regressão linear, neste caso, não foi suficiente para aproximar as demais curvas da curva do sensor de referências como se objetivava, ocorreu uma padronização das curvas, excluindo-se as oscilações anteriormente existentes, tornando-as mais paralelas. Os sensores 01 e 03, foram ainda mais aproximados, quase se sobrepõem, porém o sensor 02, que anteriormente apresentava os menores valores, após a regressão supera a curva do sensor padrão, ver Figura 74, a regressão linear não será aplicada aos dados brutos obtidos através das medições nas maquete, para a temperatura radiante, neste momento, por mostrar-se insuficiente para regredi-los.

Figura 74 - Variação das temperaturas internas radiantes com correção de regressão linear



Fonte: Autora

#### 4.2.1.2 Medições da Temperatura Interna Radiante

As mensurações de temperatura interna radiante foram realizadas primeiro no dia 09 de agosto e posteriormente dia 20 de agosto de 2013, aqui apresentadas, realizadas nos três modelos simultaneamente com as mini-esferas negras internas, o modelo sem proteção utilizou-se o sensor hobo H08, série 2260842 (TGpadrão) , o modelo com brise o sensor hobo H08, série 2260845 (TGmini02) e com prateleira de luz o sensor hobo H08, série 2260841 (TGmini 03) (ver Figura 75). Primeiro os modelos e sensores foram resfriados na câmara durante 50 minutos, (8:50h à 9:40h), após o resfriamento foram levados a exposição a radiação solar para aquecimento, ficando expostos durante uma hora (09:45h à 10:45), com obtenção de dados a cada 2 minutos, sendo também realizadas imageamento térmico infravermelho externo e interno, apresentados no item “4.3.2 Temperatura superficial com Infravermelho (IFR)”, página 109.

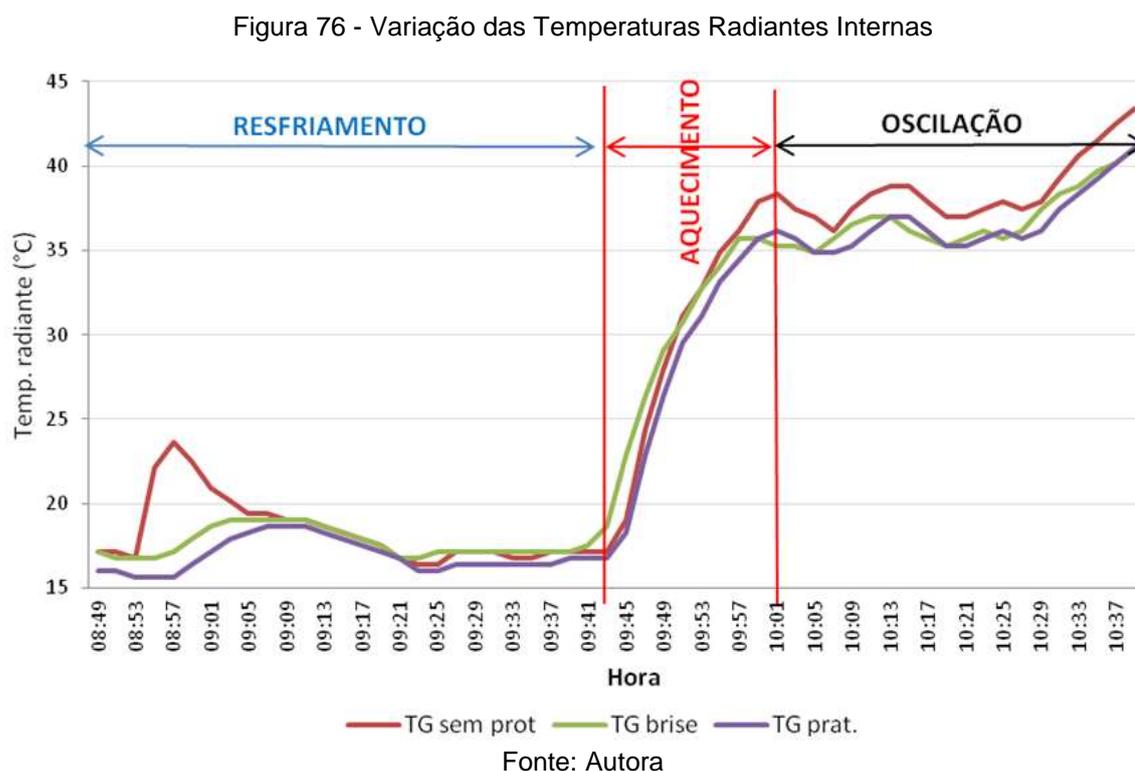
Figura 75 – Termômetro de globo inserido no modelo, foto externa



Fonte: Arquivo pessoal

Essa mensuração demonstra a temperatura média à superfície dos elementos que envolvem a esfera, neste caso, o ambiente estudado, tem como objetivo de verificar as possíveis diferenças de aquecimento entre os sistemas quanto as geometrias das proteções utilizadas nas fachadas, demonstram como estas diferentes proteções contribuem para o aquecimento interno do modelo.

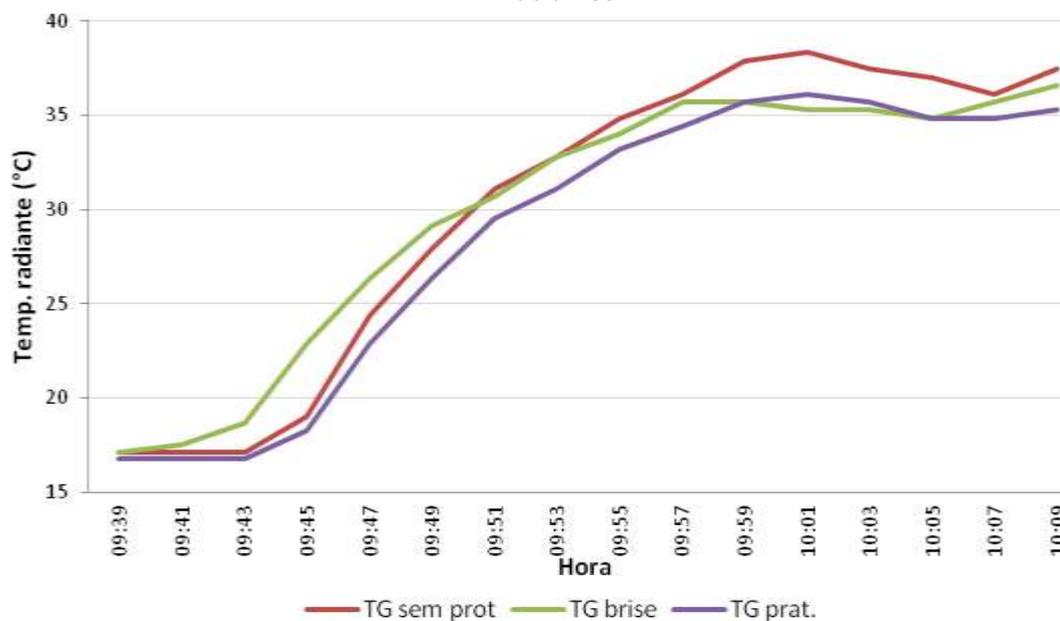
Nota-se no gráfico da figura Figura 76 que os modelos se aquecem com rapidez, levando apenas 15 minutos para atingirem seu pico de aquecimento, depois o que existe é apenas a oscilação, proveniente possivelmente de nuvens que entram e saem bloqueando a radiação solar direta, uma vez que o período de realização das medições é um período de céu me transição, com muita variação de nebulosidade.



Observando-se apenas o recorte de interesse, o aquecimento, ver Figura 77, verifica-se um indicativo de que o modelo sem proteção e com *brise* possuem curva de aquecimento mais elevada, e que a prateleira de luz se aquece menos que os demais. Há um indicativo de que o *brise* se aquece mais rápido que os demais sistemas até um certo momento, no horário de 9:53h a uma temperatura registrada de 32,76°C, depois o modelo sem proteção supera o *brise* em aquecimento e as curvas para o *brise* e para a prateleira de luz se tornam muito próxima sempre

oscilando entre elas, o que indica que não existe um incremento significativo, no aquecimento interno com o implemento da prateleira de luz, para este modelo estudado quanto a temperatura radiante.

Figura 77 - Ampliação correspondente ao Período de Aquecimento das Temperaturas Internas Radiantes



Fonte: Autora

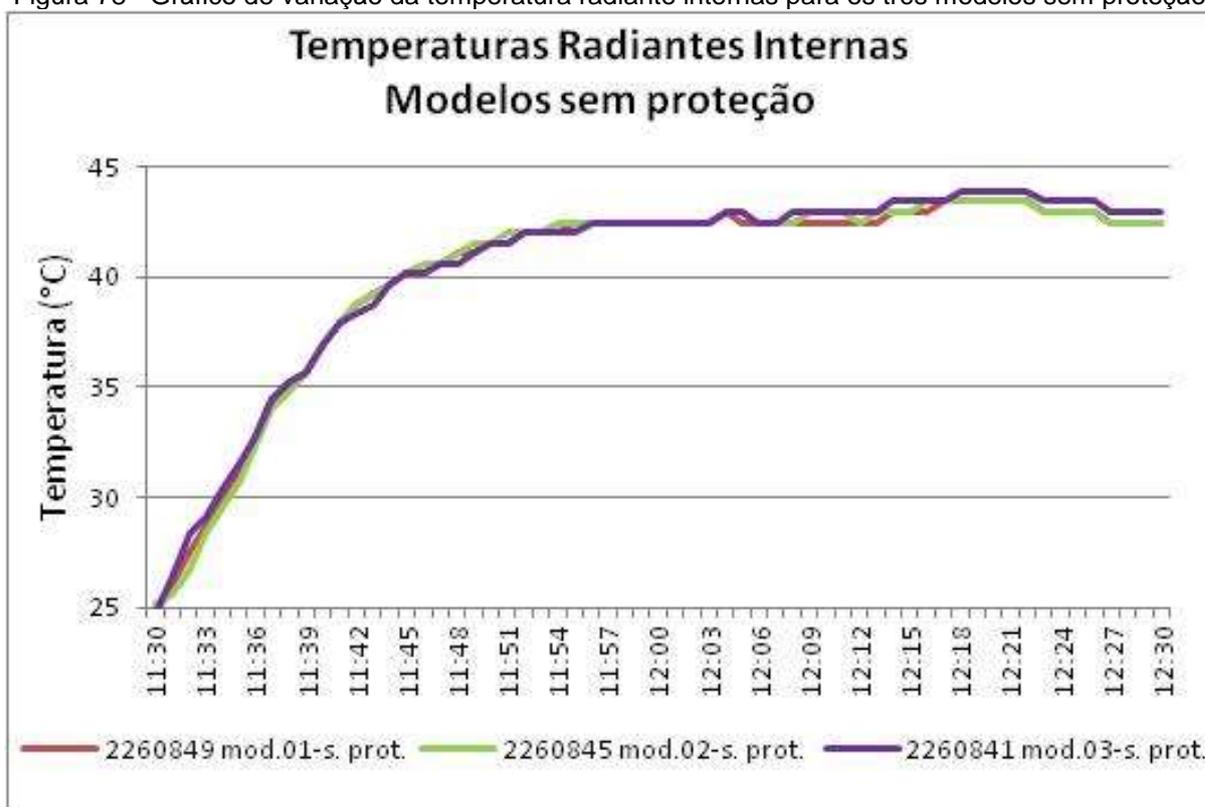
Como as diferenças apresentadas nas curvas de temperaturas medidas para os três foram pequenas e as curvas de regressão não foram aplicadas a estes dados, o que pode ocorrer é que essas diferenças apresentadas podem ser provenientes apenas das diferenças de medição entre sensores, por isso para garantir a acuidade dos dados e a validação dos resultados obtidos, realizou-se um segundo refinamento metodológico no sentido de excluir essas possíveis interferências nas leituras.

Para tal foram realizadas novas medições nos modelos, porém foram retiradas as proteções solares, o *brise* e a prateleira de luz, utilizando-se os três modelos iguais sem proteção, onde no modelo 01, anteriormente sem proteção utilizou-se o sensor nº 2260849 (TGmini01), no modelo 02, anteriormente com *brise* o sensor nº 2260845 (TGmini 02) e no modelo 03, anteriormente com prateleira de luz o sensor nº 2260841 (TGmini03) admitindo-se que as temperaturas internas medidas devem ser iguais ou muitas próximas, e que as diferenças possíveis encontradas, devem ser superiores comparadas com as diferenças entre os dados

medidos com as proteções para que essas diferenças sejam válidas como um indicativo da própria diferenças entre os diferentes sistemas.

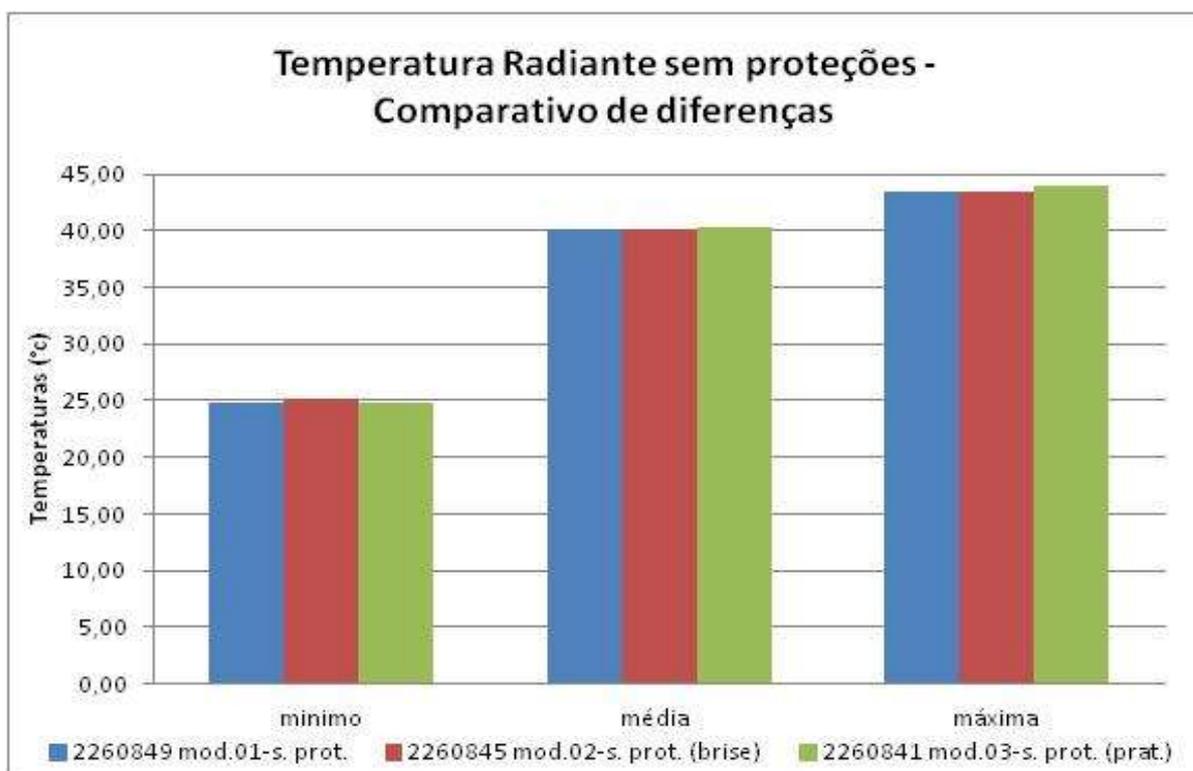
No gráfico das Figura 78 e Figura 79, demonstram-se os dados obtidos da parametrização dos modelos em escala, observa-se que as diferenças entre as curvas nos três modelos são quase insistentes, o que indica que as diferenças anteriormente verificadas com as proteções solares são realmente as diferenças entre as diferentes proteções externas.

Figura 78 - Gráfico de variação da temperatura radiante internas para os três modelos sem proteção



Fonte: Autora

Figura 79 - Gráfico comparativo das temperaturas radiantes para os modelos sem proteções



Fonte: Autora

## 4.2.2 Temperatura Interna do Ar

### 4.2.2.1 Regressão Linear para as Temperaturas do Ar entre Hobos H08 - Dia 03.08

As medições para obtenção dos dados de temperatura do ar com hobo H08, para regressão, foram realizadas no dia 02 de agosto de 2013, com obtenção dos dados a cada 5 segundos, durante uma hora, iniciou-se as 12:33h e terminou as 13:33, onde todos os oito hobos H08, foram colocados em uma placa e expostos a insolação direta como mostra a Figura 80.

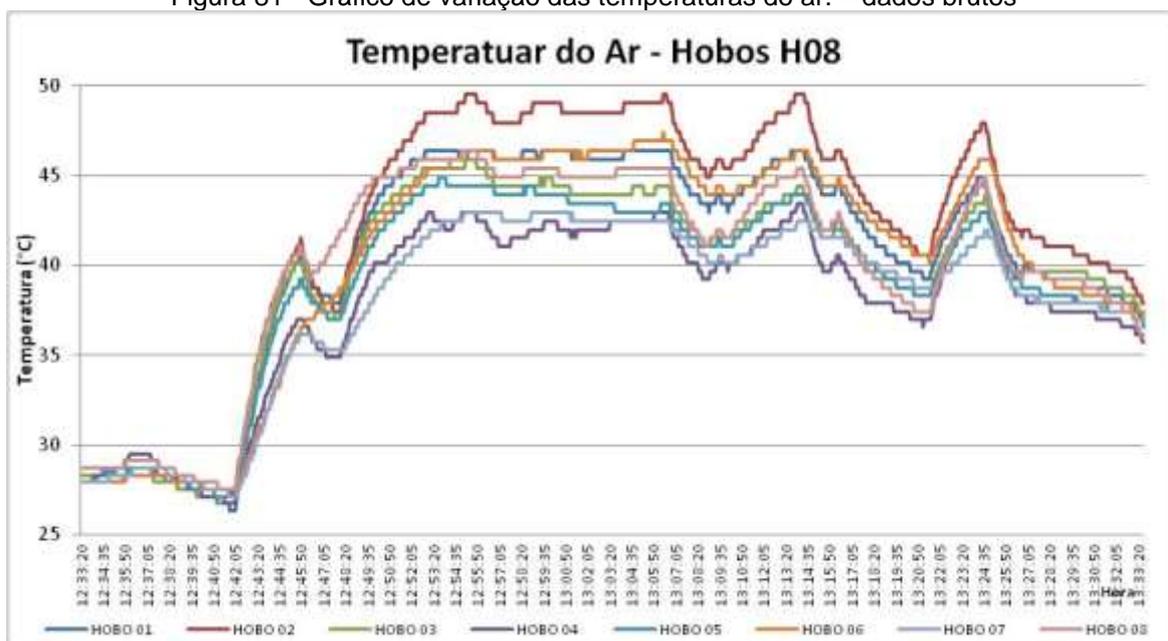
Figura 80 - Demonstração dos Hobos na mesma condição ambiental.



Fonte: Arquivo pessoal

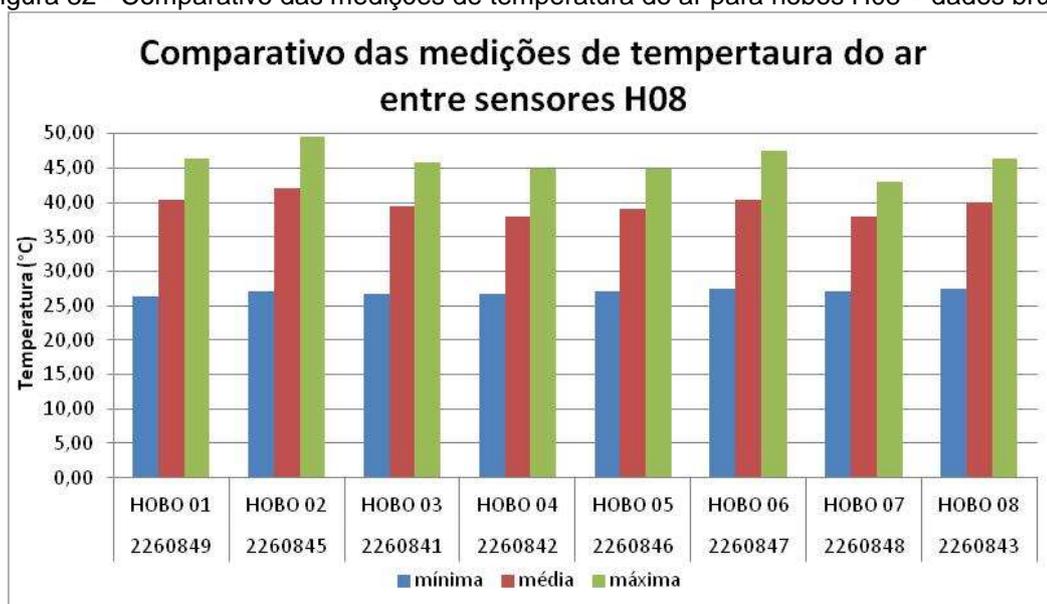
Os dados obtidos, ver Figura 81 e Figura 82, reforçam novamente a condição de que mesmo tendo-se sensores iguais expostos a mesma condição ambiental, as leituras entre eles são diferentes, neste caso as medições de temperatura variam entre 35°C e 50°C, e sensor hobo H08-02 é o que apresenta os maiores valores (curva vermelha) enquanto que o hobo H08-04 (curva roxa ) é o que apresenta os menores valores, o sensor H08-03 (curva verde clara) apresenta-se com o mais intermediário.

Figura 81 - Gráfico de variação das temperaturas do ar. – dados brutos



Fonte: Autora

Figura 82 - Comparativo das medições de temperatura do ar para hobos H08 – dados brutos

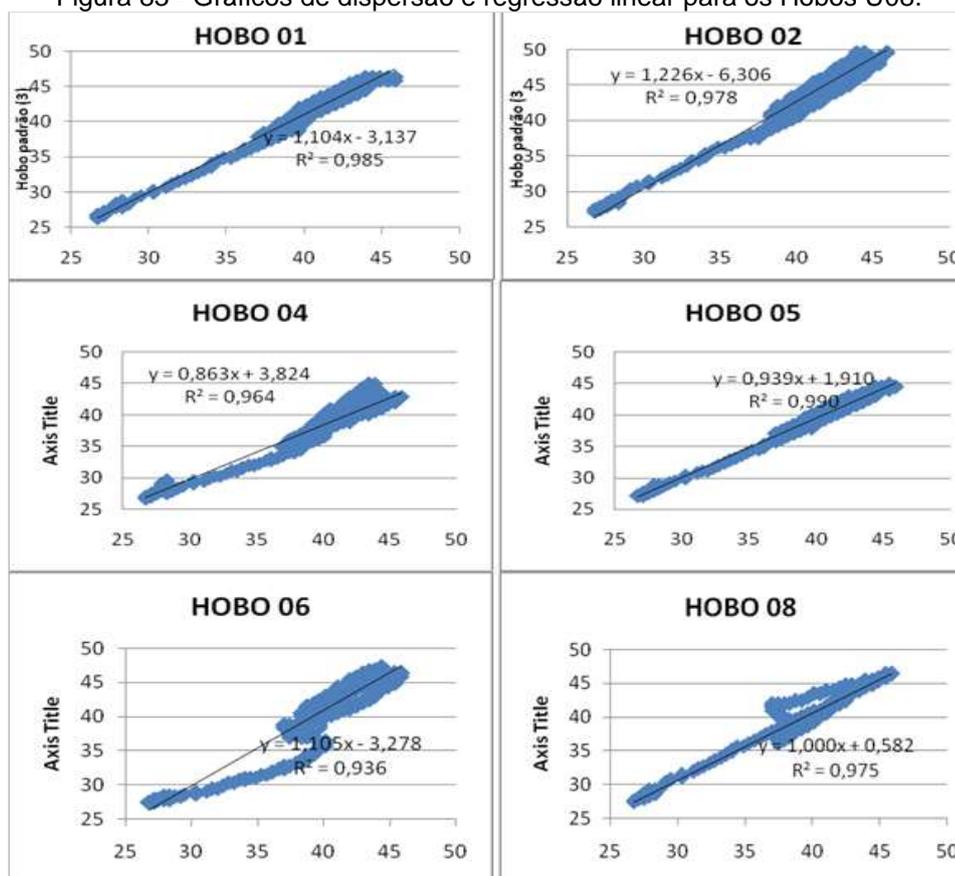


Fonte: Autora

Para os procedimentos da aplicação de regressão linear, admitiu-se o sensor que apresentou a curva de variação de temperatura mais intermediária, como o sensor de referência, sendo este o sensor H08-03, pois de acordo com a Figura 81, observa-se que a curva de cor verde é a curva mais intermediária. Este procedimento permite que não haja maximização ou minimização das temperaturas internas do ar, o que ocorreria com a adoção de sensores com curvas nas extremidades (curva vermelha e curva roxa).

Realizaram-se os gráficos de dispersão individuais entre os sensores e o sensor de referência H08-03, e obtiveram-se as expressões necessárias para a regressão dos dados de cada sensor ao sensor de referência, a partir da linha de tendência e da regressão linear, ver Figura 83.

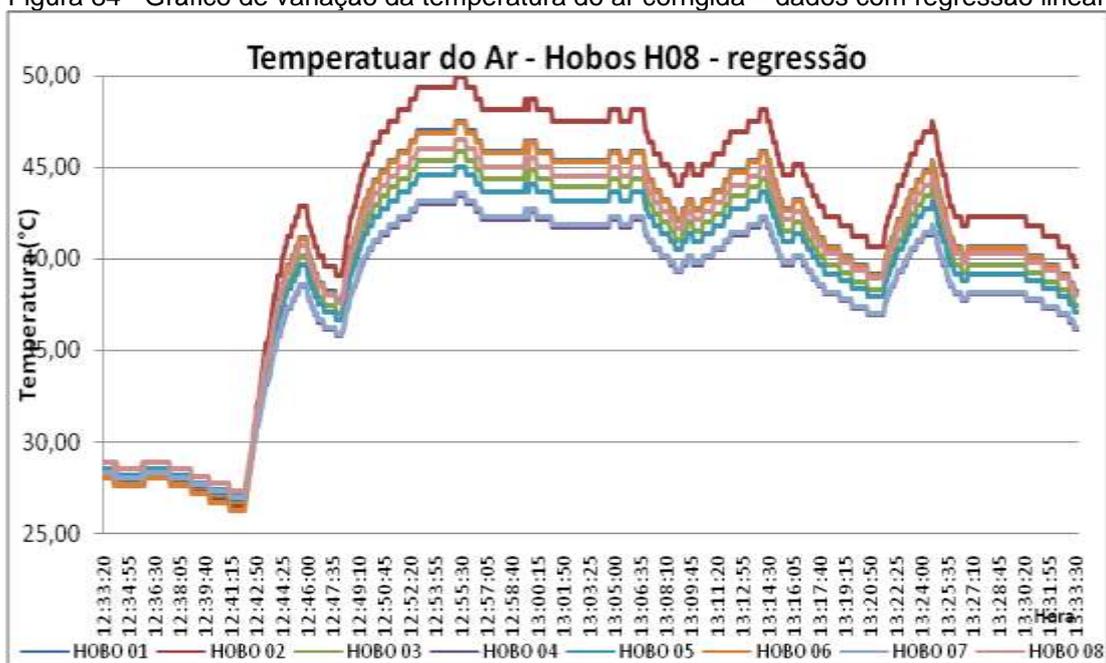
Figura 83 - Gráficos de dispersão e regressão linear para os Hobos U08.



Fonte: Autora

Aplicando-se as expressões para regressão, nos dados medidos obtiveram-se as curvas regredidas no gráfico da Figura 84, onde novamente nota-se que a regressão linear padronizou e aproximou as curvas tornando-as mais paralelas entre si e com menos oscilações, mas não o suficiente para que as leituras dos hobos se interpolassem a curva do sensor de referência H08-03, o que é o objetivo da aplicação da curva de regressão neste estudo, uma vez que não fora atingida nesta aproximação inicial necessita de novas aproximações e, portanto não aplicou-se as expressões de regressão aos dados de temperatura do ar internos mensurados nos modelos.

Figura 84 - Gráfico de variação da temperatura do ar corrigida – dados com regressão linear



Fonte: Autora

#### 4.2.2.2 Medições da Temperatura Interna do Ar

As medições da temperatura interna do ar nos modelos em escala foram realizadas dia 20 de agosto de 2013, onde o hobo H08 foi inserido ao centro do modelo sob a case de apoio elevado a 75cm do piso, ver Figura 85.

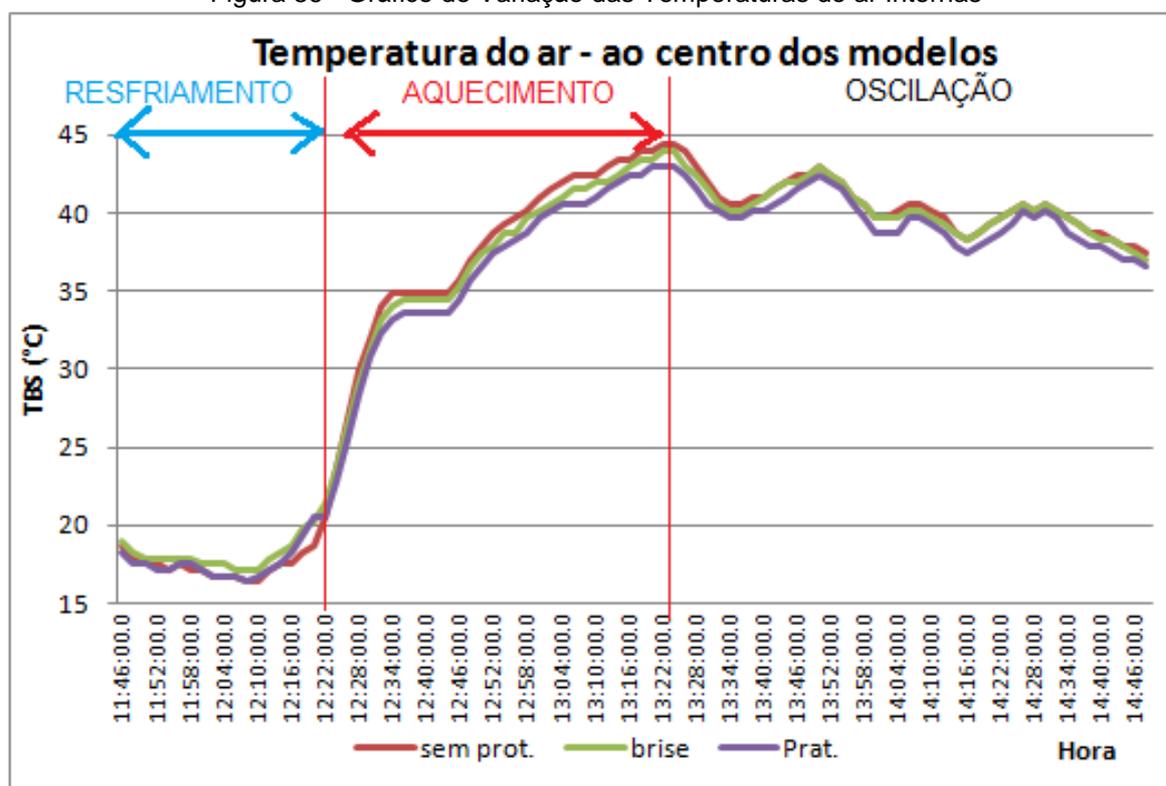
Figura 85 - Hobo H08 inserido no modelo



Fonte: Arquivo pessoal

O experimento iniciou-se as 11:46h, quando os hobos junto com os modelos foram inseridos na câmara de resfriamento para que atingissem a mesma temperatura basal e iniciassem o aquecimento nas mesmas condições, foi resfriado durante aproximadamente 45 minutos iniciando sua exposição à radiação solar direta as 12:22h e encerrando as 14:46, aproximadamente 02 horas e 20 minutos de aquecimento, onde os dados foram obtidos a cada 2 minutos, obtendo o gráfico da Figura 86. Onde nota-se que os modelos levaram uma hora para se aquecerem e atingirem seu pico de temperatura as 13:22h, entre 43°C (prateleira) e 44,5°C (sem proteção).

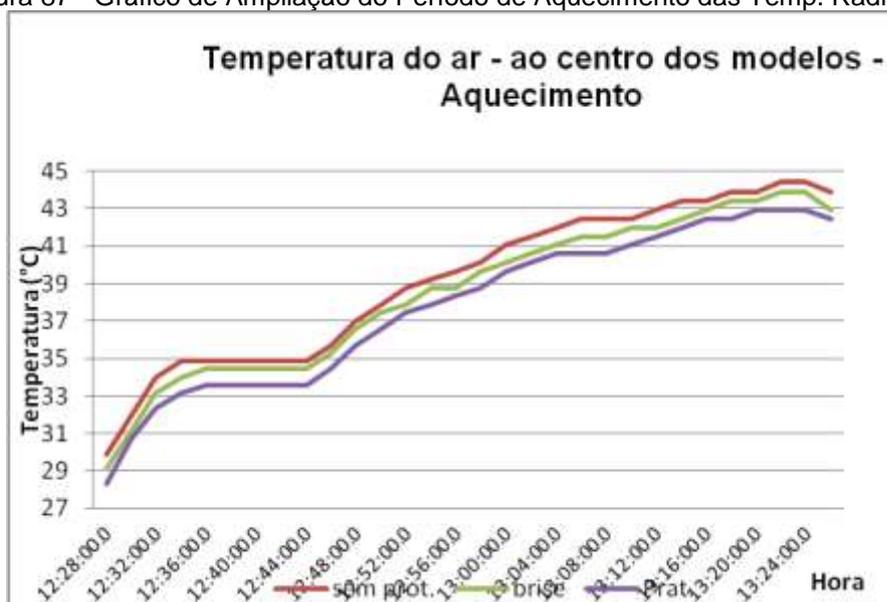
Figura 86 - Gráfico de Variação das Temperaturas do ar Internas



Fonte: Autora

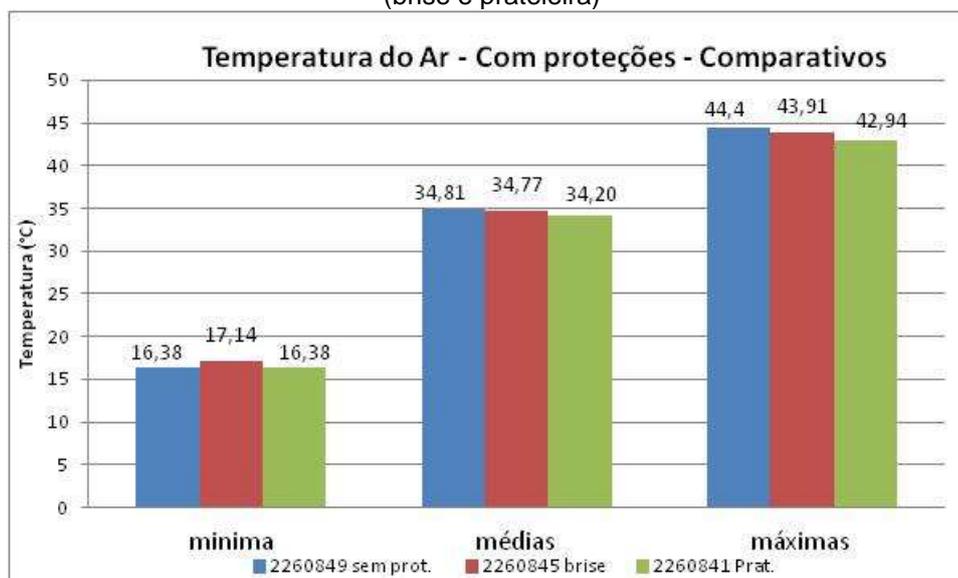
Observando-se apenas o período mais importante, o aquecimento, ver Figura 87, nota-se diferenças muito pequenas entre as curvas geradas pelos diferentes modelos, há um indicativo de que o modelo sem proteção se aqueça mais, o *brise* fica com uma curva intermediária se aquecendo mais que a prateleira de luz, porém as diferenças são muito próximas de até no máximo 1°C entre as curvas, ver Figura 88.

Figura 87 - Gráfico de Ampliação do Período de Aquecimento das Temp. Radiantes



Fonte : Autora

Figura 88 - Comparativos das diferenças de temperatura interna do ar com proteções solares (brise e prateleira)



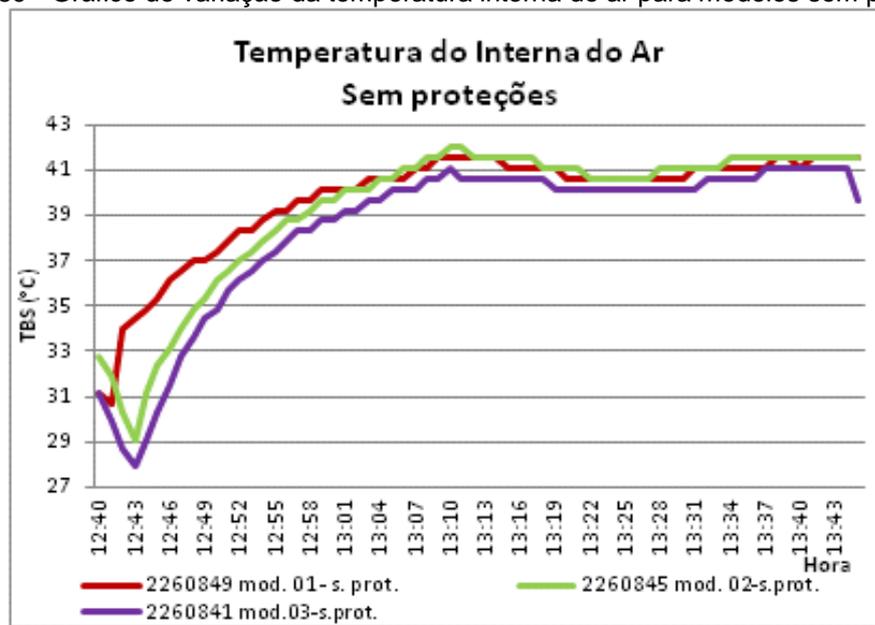
Fonte : Autora

Para garantir a acuidade dos resultados, e permitir uma análise com maior cautela sobre as pequenas diferenças encontradas entre as curvas dos modelos com as proteções, uma segunda aproximação foi necessária para verificar se essas diferenças não se tratam apenas de diferenças de medições entre os sensores.

Realizou-se medições das temperaturas internas do ar nos três modelos excluindo-se as proteções solares, com os três modelos iguais sem proteção obtive-se os resultados dos gráficos das Figura 89 e Figura 90, onde pode-se verificar que

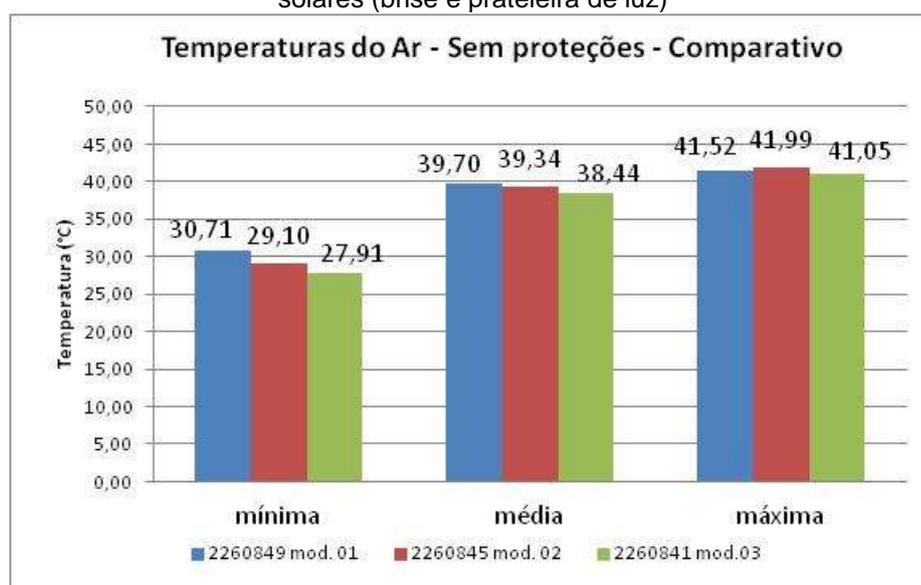
as mesmas diferenças encontradas nos modelos com as proteções foram observadas nos modelos sem as proteções, de aproximadamente 1°C, o que é um indicativo de que não foi verificada diferenças entre os sistemas de proteção solar, *brise* e prateleira de luz, o que nota-se é uma diferenças entre os próprios modelos em si.

Figura 89 - Gráfico de variação da temperatura interna do ar para modelos sem proteções



Fonte : Autora

Figura 90- Comparativos de mínimas, médias e máximas para todos os modelos sem as proteções solares (brise e prateleira de luz)



Fonte : Autora

### 4.2.3 Temperatura superficial com Infravermelho (IFR)

O monitoramento térmico infravermelho, é uma técnica que permite a verificação das temperaturas superficiais, neste caso dos diferentes sistemas de proteções solares, representa o que acontece com a temperatura externa ao edifício, não indica se eles estão mais quentes ou não, internamente.

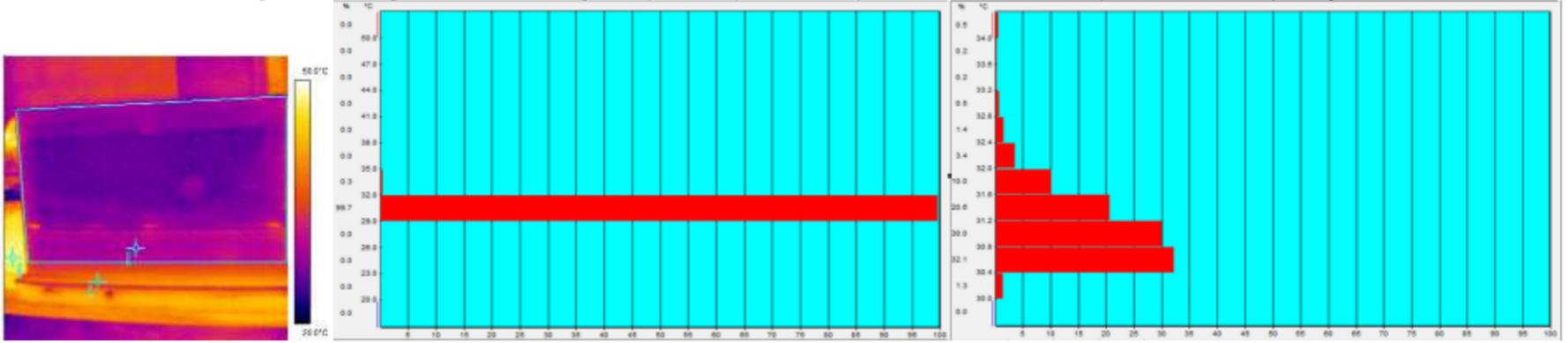
Verifica-se nas imagens térmicas das fachadas dos sistemas de janelamento, no início do aquecimento que como já era esperado a fachada do modelo sem proteção encontra-se com as temperaturas superficiais mais elevadas (99,7% de 29°C à 32°C), uma vez que está exposta a insolação direta. Já nos sistemas com proteções solares, nota-se a fachada da prateleira de luz com temperaturas mais elevadas (98,7% de 29°C à 32°C) que a fachada com o *brise* (89,9% de 29°C à 32°C e 10% de 26°C).

Analisando as ilustrações verifica-se que ao se aquecer, ver Figura 92, as temperaturas superficiais, na fachada sem proteção as temperaturas variam de 27°C a 33°C, sendo predominantes as temperaturas de 27°C a 30°C (74,8%), refinando-se a escala para melhor observação das ocorrências das temperaturas, observa-se que, excluindo as temperaturas que tem ocorrência abaixo de 10% para realizar o recorte do que é mais significativo, as temperaturas mais ocorrem encontram-se no intervalo de 28,1 à 30°C (79,1%), sendo as predominantes de 29,6°C a 30,2° (36,9%) seguida pelo intervalo de 28,9°C a 29,6°C (24,8%).

Após o aquecimento o modelo com o *brise* apresenta temperaturas superficiais na fachada de 27°C a 33°C, ver Figura 93, predominando o intervalo de 27° C a 30°C (84,5%), fazendo-se um recorte de escala, nota-se que as temperaturas mais significantes (acima de 10%) encontram-se no intervalo de 28,4°C a 30°C (82%), sendo a predominante de 29,2°C à 29,6°C (27,6%).

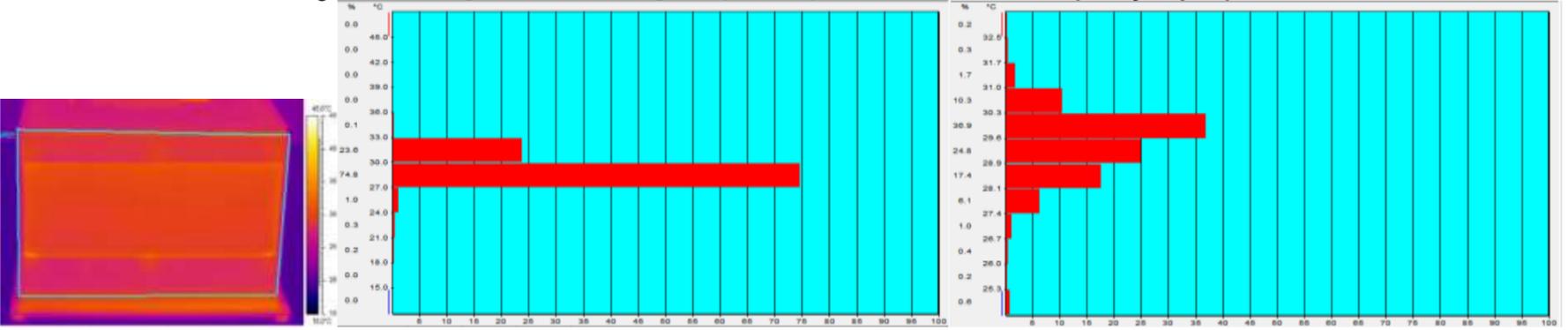
Quanto à prateleira de luz, ao aquecer ela apresenta temperaturas superficiais que variam de 27° C a 33°C, ver Figura 93, sendo as que mais ocorrem temperaturas num intervalo de 30°C à 33°C (89,3%), as temperaturas com ocorrências acima de 10%, estão um intervalo de 29,7 à 31,7°C (90,6%) , sendo dentro deste intervalo predominantes as temperaturas entre 30,5°C e 30,9°C (33,3%).

Figura 91 - Imagem térmica e histograma para temperaturas superficiais **no início do aquecimento sem proteção**



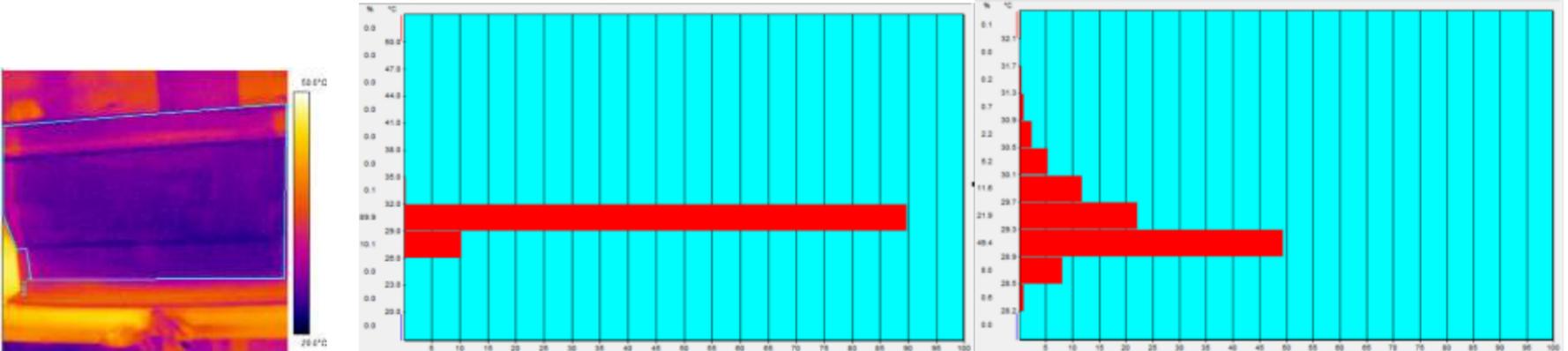
Fonte: ThermaCAM Research Professional 2.9

Figura 92 - Imagem térmica e histograma para temperaturas superficiais **sem proteção, já aquecido.**



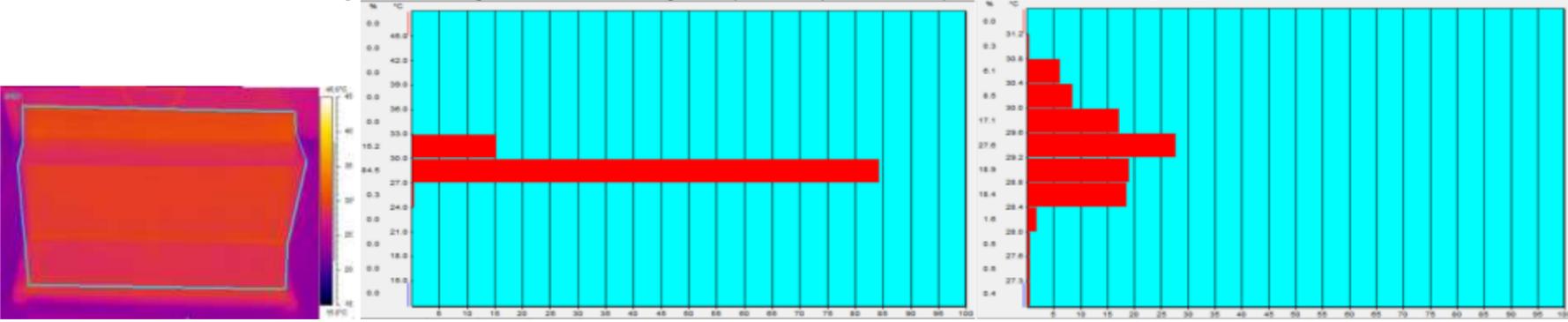
Fonte: ThermaCAM Research Professional 2.9

Figura 93 - Imagem térmica e histograma para temperaturas superficiais **no início do aquecimento com brise**



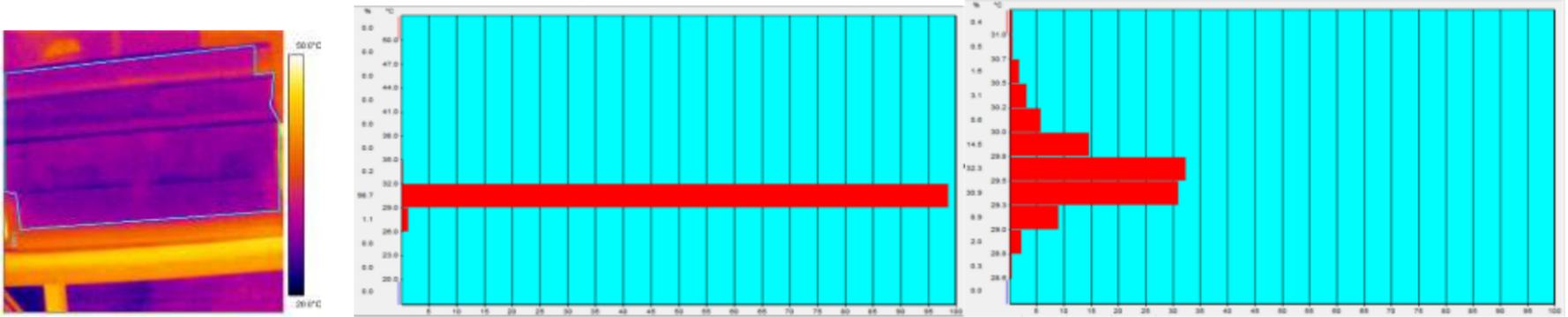
Fonte: ThermaCAM Research Professional 2.9

Figura 94 - Imagem térmica e histograma para temperaturas superficiais **com brise, já aquecido.**



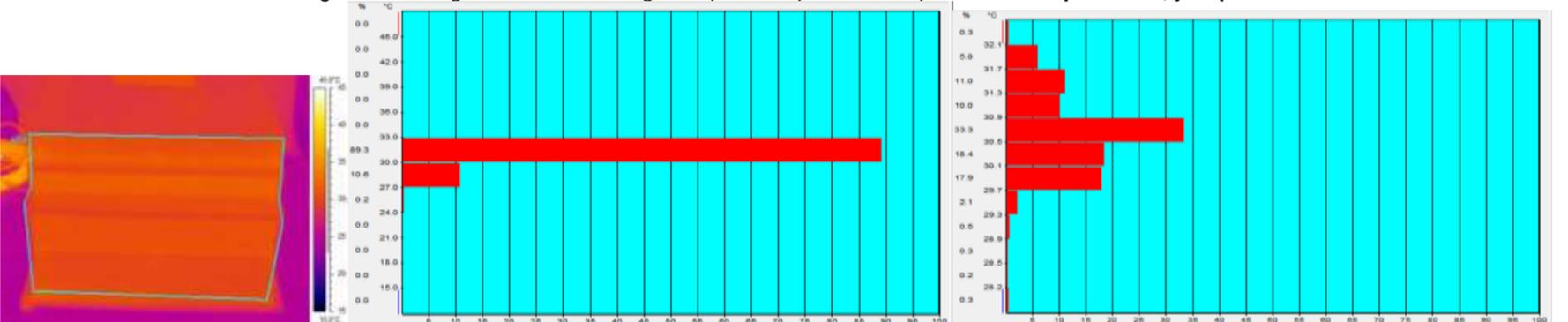
Fonte: ThermaCAM Research Professional 2.9

Figura 95 - Imagem térmica e histograma para temperaturas superficiais **no início do aquecimento com prateleira**



Fonte: ThermaCAM Research Professional 2.9

Figura 96 - Imagem térmica e histograma para temperaturas superficiais **com prateleira, já aquecido.**



Fonte: ThermaCAM Research Professional 2.9

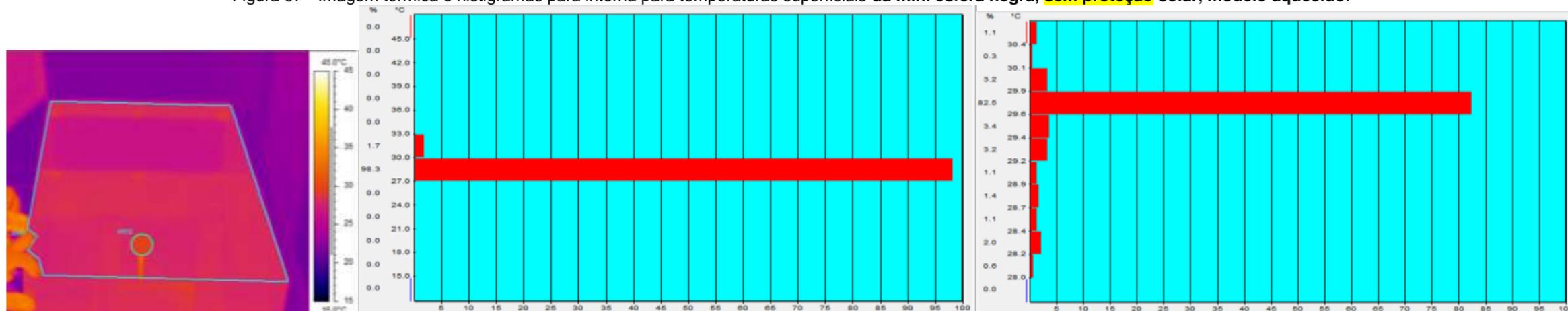
Quanto aos aquecimentos internos, observando apenas as temperaturas superficiais da esfera, verifica-se que, ver Figura 92, as temperaturas superficiais da esfera negra variam de 27°C a 33°C, sendo predominantes as temperaturas de 27°C a 30°C (98,3%), observando-o melhor em uma escala mais específica para a amplitude encontrada no histograma, nota-se que o intervalo de 29,6°C a 29,9, sendo 82,6%, os demais níveis estão todos abaixo de 10%, na verdade abaixo de 3%, ou seja são temperaturas pouco distribuídas onde o aquecimento elevado está presente.

O modelo com *brise* apresenta temperaturas superficiais da esfera negra variando entre 27°C a 33°C, ver Figura 98, predominando o intervalo de 27°C a 30°C (57,9%), no refinamento de escala, nota-se que as temperaturas mais significantes (acima de 10%) encontram-se no intervalo de 29,7°C a 30,4°C (73,6%), sendo a predominante de 29,9°C a 30,1°C (36,7%).

Na prateleira de luz as temperaturas superficiais da esfera negra variam de 30°C a 36°C, sendo as que mais ocorrem temperaturas num intervalo de 30°C à 33°C (87,8%), as temperaturas com ocorrências acima de 10%, estão um intervalo de 32,4 à 31,7°C (81%), sendo dentro deste intervalo predominantes as temperaturas entre 32,6°C e 31,8°C (51,6%).

Fazendo-se um panorama das medições IFR, verifica-se um decaimento da temperatura superficial na esfera negra que com o a implantação do *brise*, e há uma elevação novamente dessas temperaturas com a prateleira de luz, o que possivelmente deve-se ao acúmulo de calor entre as bandejas da prateleira, uma vez que as superfícies horizontais se aquecem e acumulam calor na fachada, e as próprias bandejas dificultam a dissipação do calor junto fachada, fazendo com que sua superfície se aqueça mais, elevando as temperaturas da mesma.

Figura 97 - Imagem térmica e histogramas para interna para temperaturas superficiais da mini esfera negra, **sem proteção solar**, modelo aquecido.



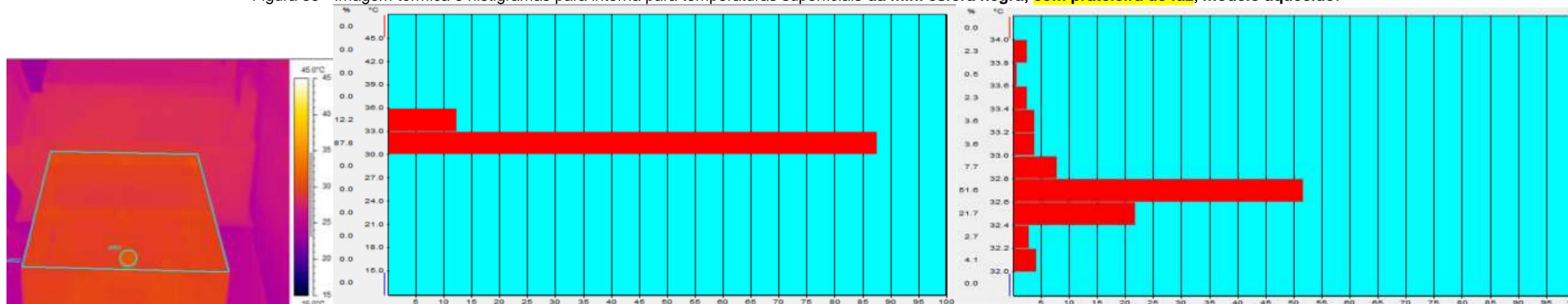
Fonte: ThermaCAM Research Professional 2.9

Figura 98 - Imagem térmica e histogramas para interna para temperaturas superficiais da mini esfera negra, **com proteção solar tipo brise**, modelo aquecido.



Fonte: ThermaCAM Research Professional 2.9

Figura 99 - Imagem térmica e histogramas para interna para temperaturas superficiais da mini esfera negra, **com prateleira de luz**, modelo aquecido.



Fonte: ThermaCAM Research Professional 2.9

## 4.2.4 Iluminâncias Internas com Hobos U12

### 4.2.4.1 Regressão Linear para as Iluminâncias entre Hobos U12 – 21.08 – Luz natural

Com o intuito de garantir a acuidade das medições realizadas com diferentes sensores, foram necessárias medições para realizar a regressão entre os dados dos mesmos, onde neste caso para as medições de iluminâncias utilizaram-se hobos U12, que foram colocados lado-a-lado e expostos a uma mesma condição ambiental. Sabendo-se que os estes hobos possuem nível máximo de medição de 30Klux, não suportando medições externas com exposição a insolação direta, por volta de 90Klux, realizou-se o experimento internamente ao laboratório utilizando-se da luz natural proveniente das superfícies verticais translucidas, ver Figura Figura 100.

Figura 100 - Sistema de inclinação para testes de regressão, hobos U12 em medições simultâneas.

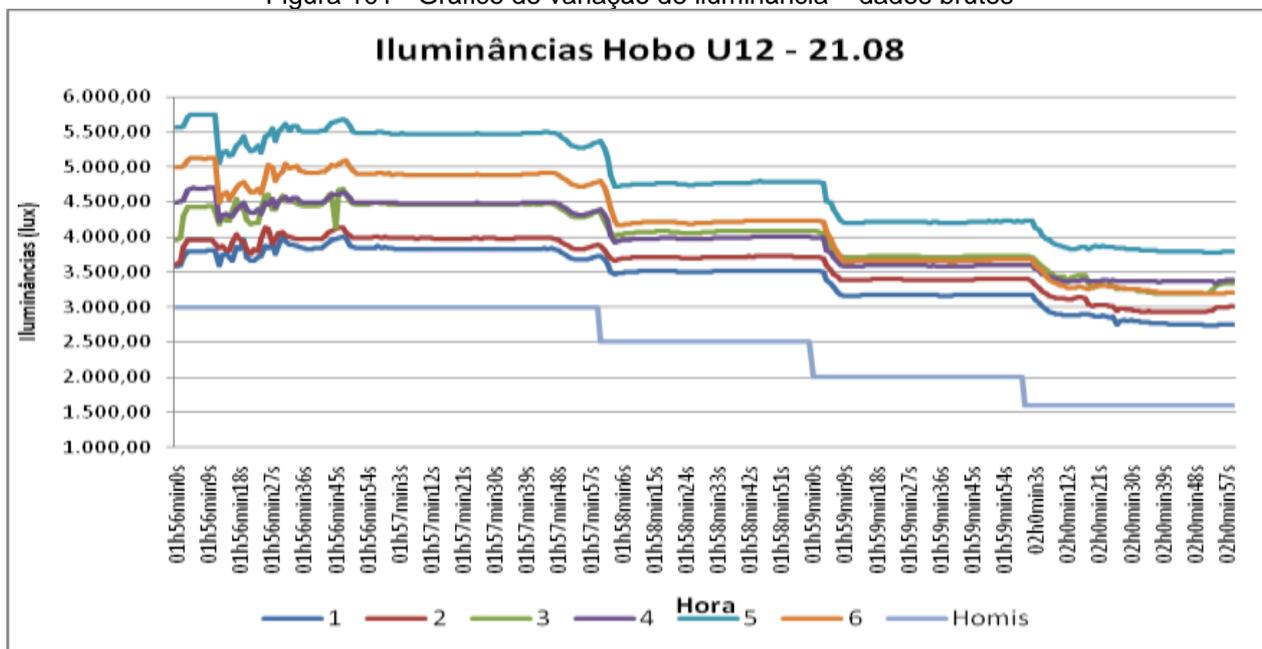


Fonte: Arquivo pessoal

A metodologia utilizada para as iluminâncias trata-se de colocar os hobos U12 juntamente com um luxímetro HOMIS, em um sistema plano onde foi possível obter vários níveis de inclinações, estas inclinações decaem os níveis de iluminância conforme a placa se inclina, verificou-se no luxímetro os níveis de iluminâncias atingidos, então iniciou-se com o nível mais alto atingido com o luxímetro HOMIS e a medida que a placa foi inclinada obteve-se patamares de valores que para o HOMIS foram de 1.500lux a 3.000lux, formando patamares a cada 500 lux sendo estacionado em cada patamar

durante um minuto para que os hobos U12 registrassem os patamares na sua leitura, onde os dados foram registrados a cada segundo. Obteve-se os patamares de acordo como mostra o gráfico da Figura 101.

Figura 101 - Gráfico de variação de iluminância – dados brutos

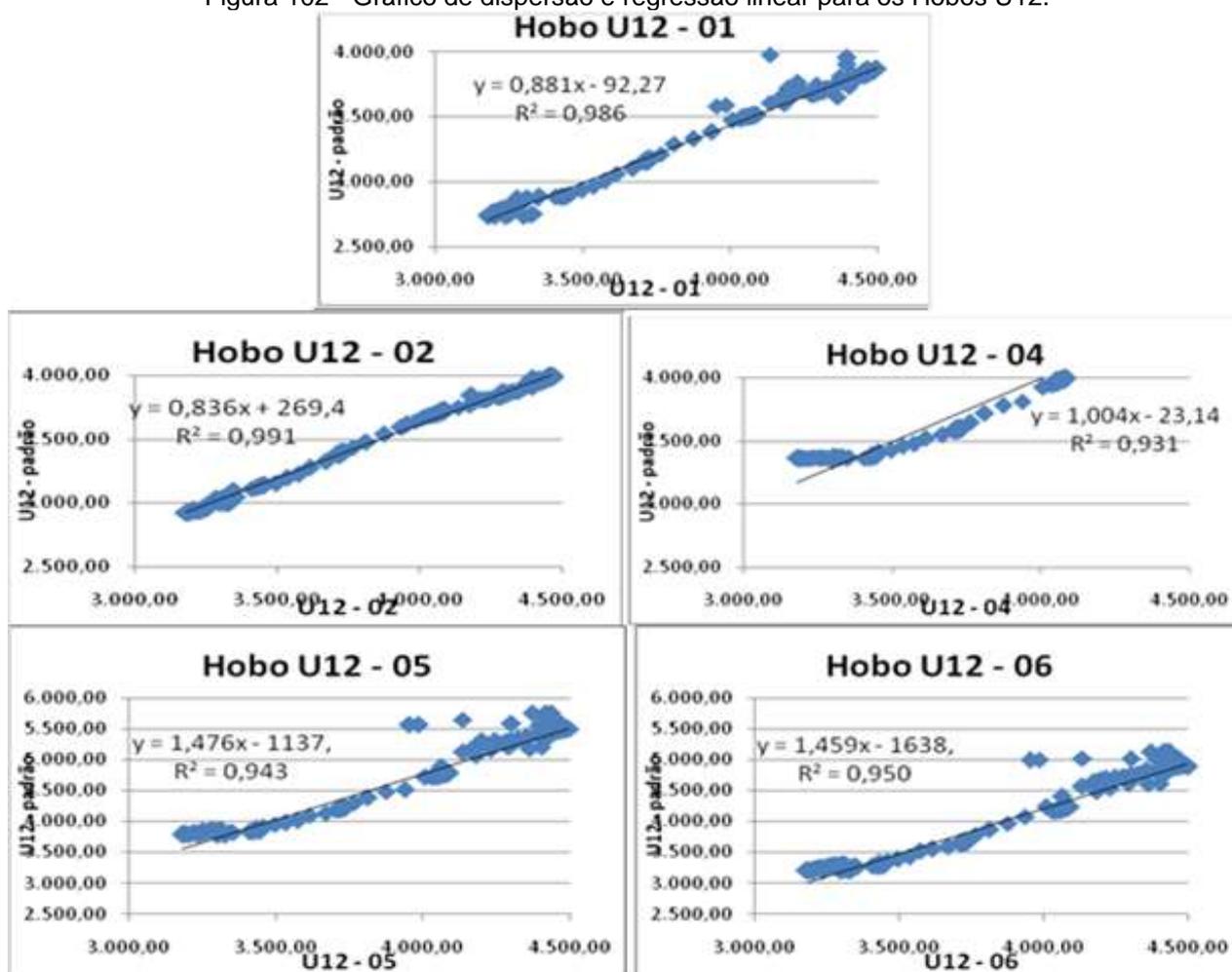


Fonte: Autora

Nota-se os hobos 03 e 04, como os mais intermediários e mais muito próximos entre si, com curvas praticamente sobrepostas, o hobo 01 com a curva com menores valores, mas próximos a curva do hobo 02 e o hobo 05 o mais distante com a curva com os maiores valores, o luxímetro homis possui comportamento diferente dos demais pois, trata-se de valores estacionados, medidos em um instante, diferente dos hobos que são coletados a cada segundo, por isso existe uma grade diferença entre eles e por se tratarem de sensores diferentes, não podendo ser comparados entre si.

Aplicados os gráficos de dispersão utilizando-se como referência o sensor U12-3, como o mais intermediário, obtiveram-se as expressões para regressão dos dados dos demais sensores para o sensor de referência, ver Figura 102.

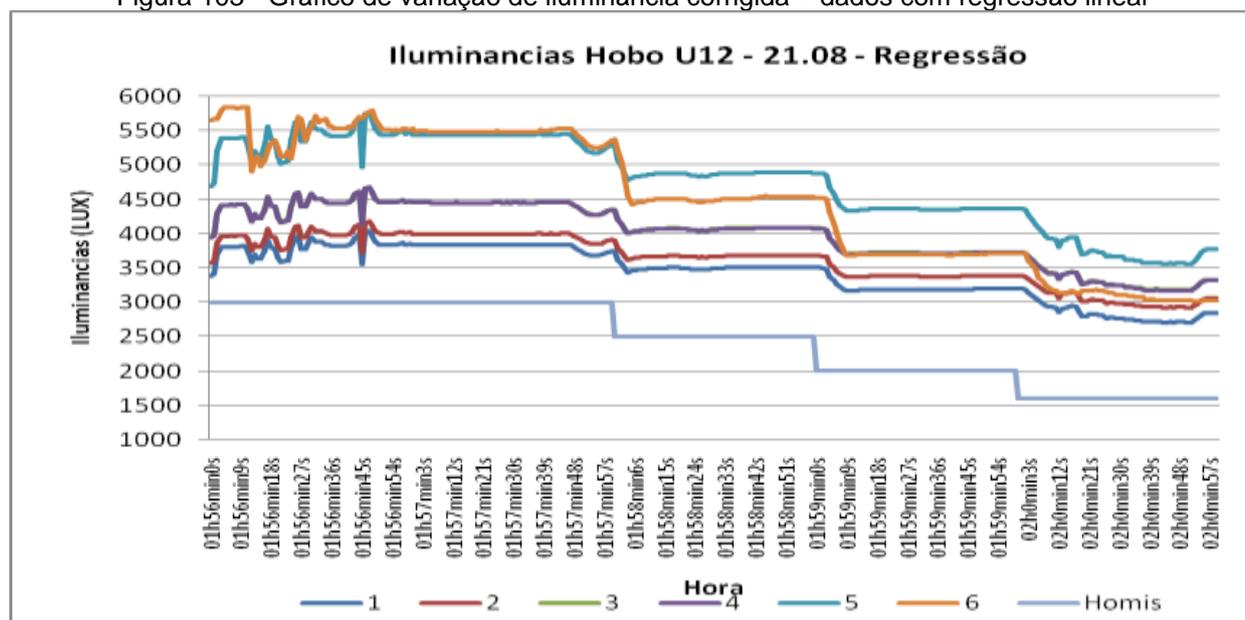
Figura 102 - Gráfico de dispersão e regressão linear para os Hobos U12.



Fonte: Autora

De posse das expressões para regressão de cada sensor ao sensor de referência U12-3, obteve-se os dados demonstrados na Figura 103. Observa-se no gráfico que a regressão igualou a curva do sensor U12-4 (curva roxa) ao de referência U12-3 (curva verde), quanto aos demais para o sensor U12-6 (curva laranja), houve uma sobreposição com o sensor U12-5 (curva azul), no patamar de 5500lux, e com os sensores U12-4 e de referência U12-3, no patamar de aproximadamente 3.250lux, as curvas para U12-1 (curva azul escuro) e U12-2 (curva vermelha) permaneceram praticamente inalteradas, ressalvadas as convergências pontuais observadas não houve resultados satisfatórios de convergências dos sensores ao sensor de referência.

Figura 103 - Gráfico de variação de iluminância corrigida – dados com regressão linear



Como uma segunda aproximação acerca das técnicas de regressão, separou-se nos dados os cinco patamares existentes e dentro deles os intervalos onde os dados encontrados estavam mais constantes, ver Figura 104, isto é com menos oscilação nos valores, destacados em amarelo no gráfico a partir desses dados obteve-se as medias desses intervalos, onde aplicou-se metodologia de segunda aproximação para regressão.

Figura 104 - Definição dos intervalos de dados para aplicação da regressão para cada patamar

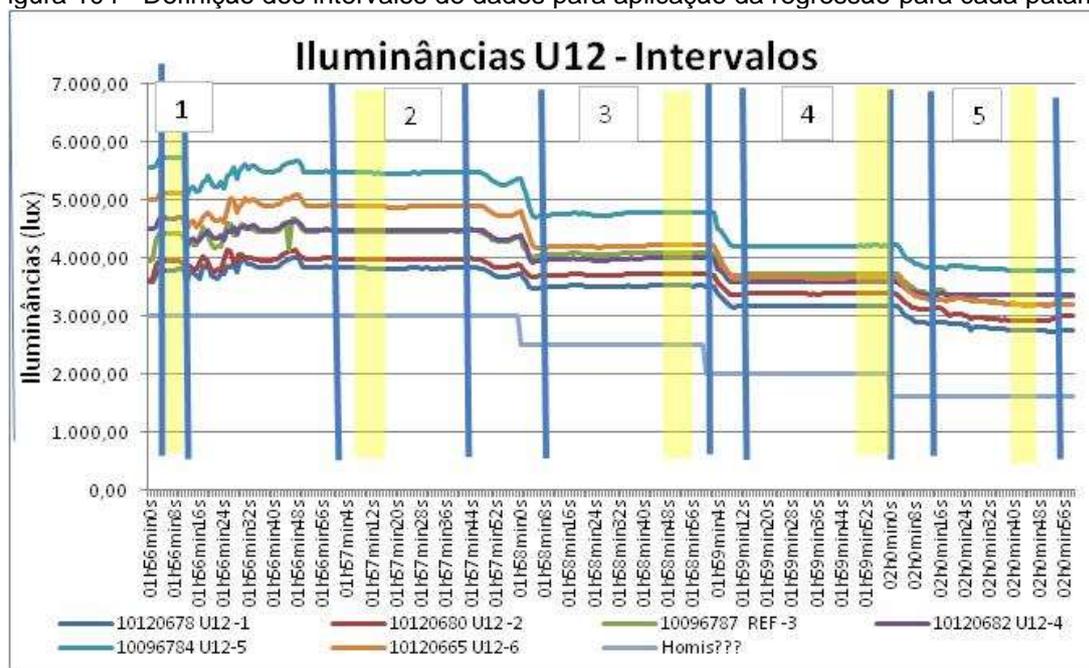
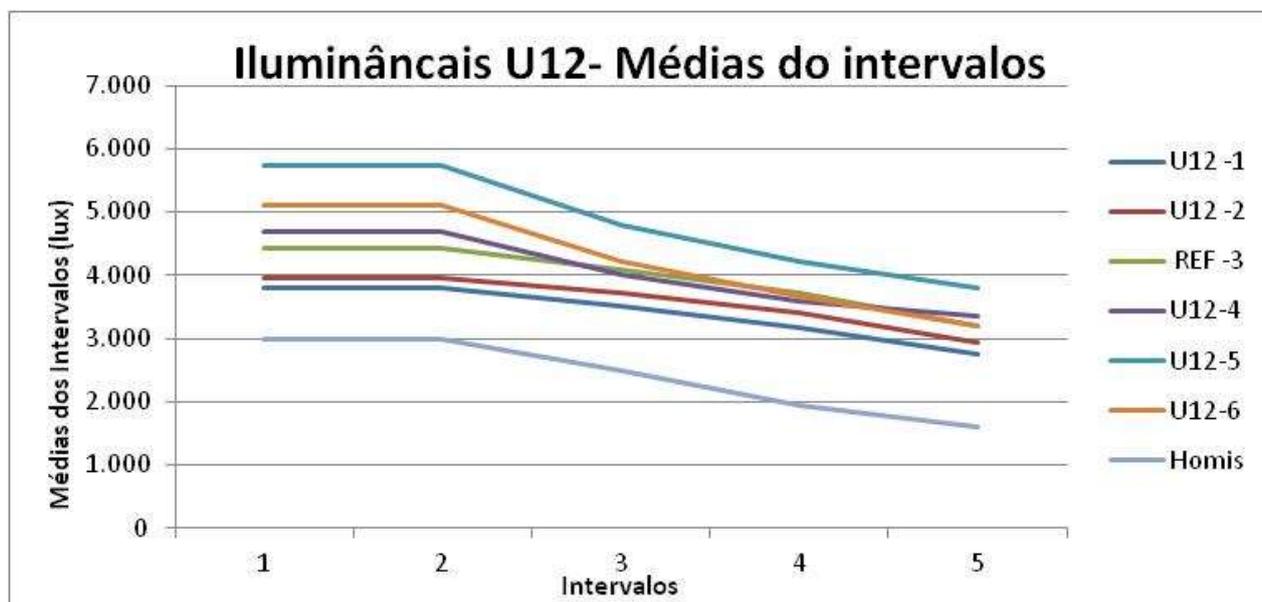


Figura 105 - Gráfico das Médias das iluminâncias dos intervalos



Fonte: Autora

Utilizando-se do mesmo processo de aplicação dos gráficos de dispersão entre os sensores e o sensor de referência individualmente para obtenção da expressão para os sensores, aplicando-as obteve-se os dados dos gráficos das figuras 106 e 107, com os dados já regredidos para o sensor U12-3, referência o que denominou-se de 2ª tentativa e regredindo o sensor U12-3 para um outros sensores procedimento denominado de 3ª tentativa.

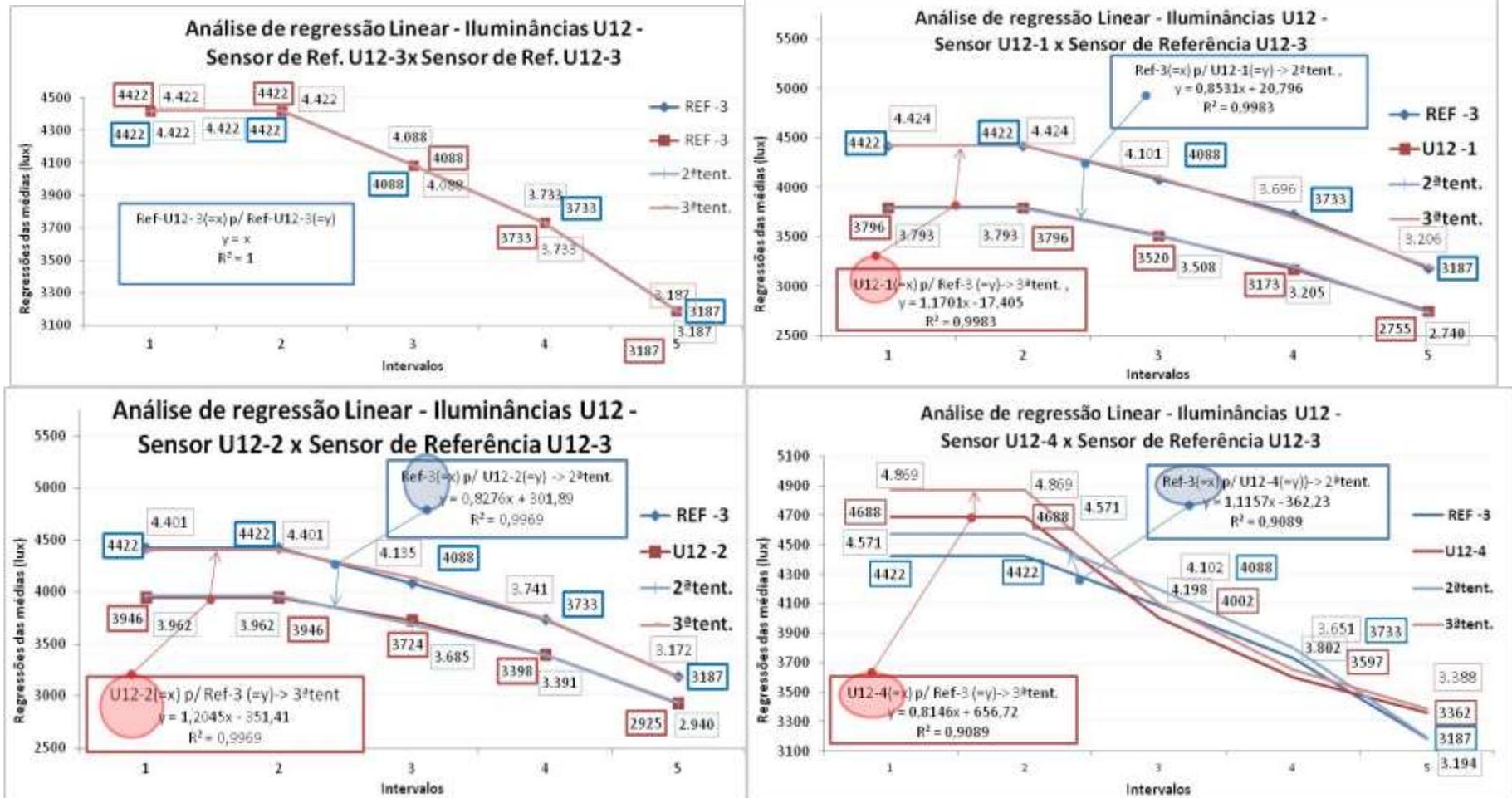
A título de exemplificação na Figura 106, no gráfico superior esquerdo é realizada a regressão entre o sensores de referência U'2-3 e ele mesmo, para demonstrar que quando do dados são iguais as curvas são sobrepostas, tem-se  $x=y$  e  $R^2=1$ .

Analisando-se os resultados, pode-se concluir que os sensores U12-1 e U12-2 são os que mais se aproximaram do sensores de referência com aplicação da regressão, sendo o sensor U12-1 o que mais se aproxima obtendo uma curva que se sobrepõe a do sensor de referência.

A análise destes dados nos permite aferir quanto a eficiência dos sensores, sabe-se que U12-1, U12-2 e U12-3, são os sensores com leituras mais próximas porém não pode ser aplicada aos dados brutos medidos pagar as iluminâncias internas um visa eu a escala dos dados 1 à 6Klux, não engloba a escala dos dados mensurados nos modelos ,

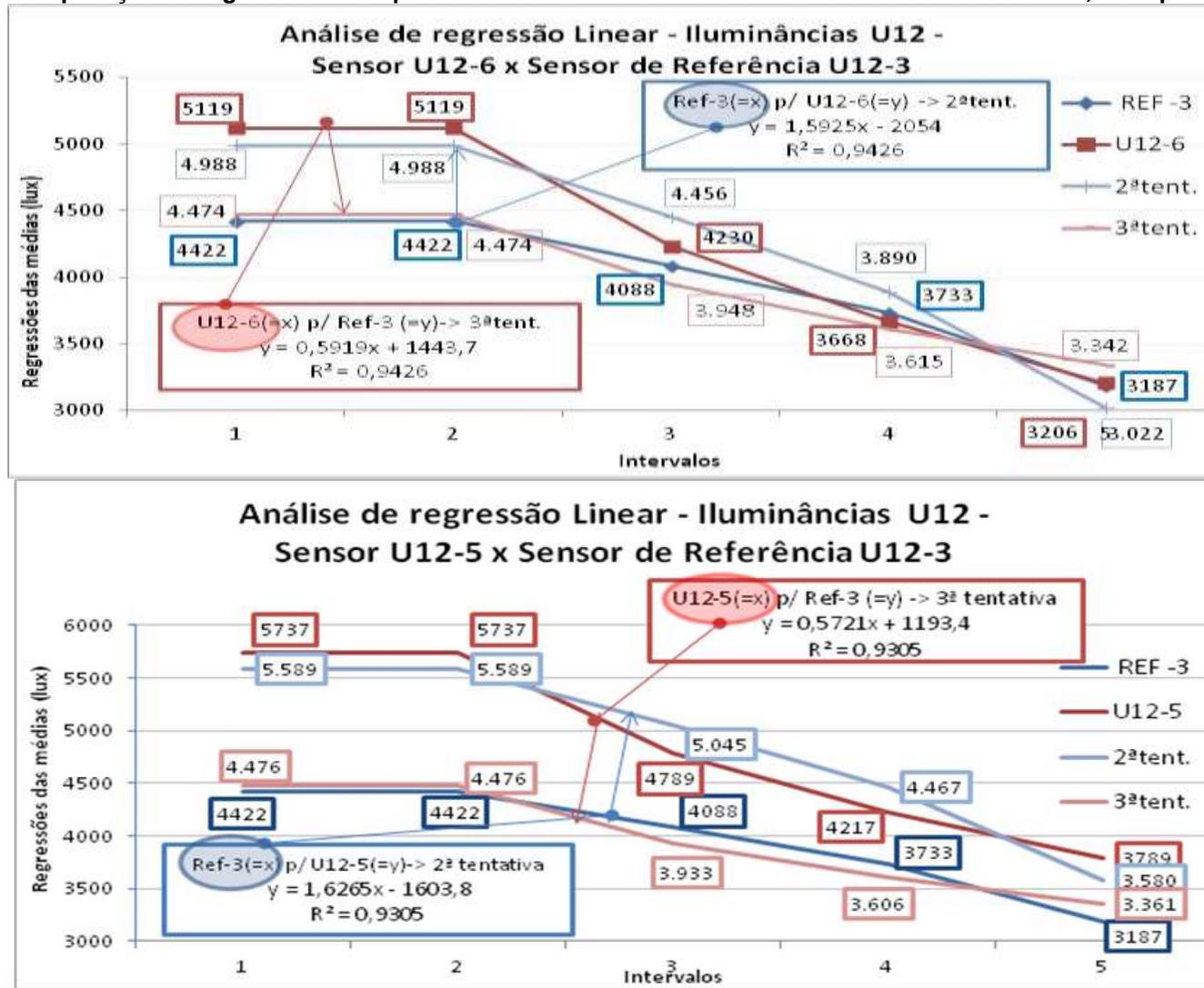
sendo de 0 à 20 Klux, devido as limitações dos hobos U12, uma vez que não podem ser expostos a radiação solar direta para alcançar níveis mais elevados devido a limitação no nível máximo de medição de 30Klux, como já anteriormente citado

Figura 106 - Gráficos de aplicação da regressão linear para o sensor U12- 3 contra ele mesmo e do sensores U12-1, 2 e 4 pra o sensor de referência



Fonte: Autora

Figura 107 - Gráficos de aplicação da regressão linear para o sensor U12- 3 contra ele mesmo e do sensores U12-1, 2 e 4 pra o sensor de referência



Fonte: Autora

#### 4.2.4.2 Regressão Linear para as Iluminâncias entre Hobos U12 – 12.09 – Luz Artificial

Realizando-se uma segunda aproximação com o objetivo de contemplar a escala dos dados brutos mensurados nos modelos com a regressão, realizou-se um novo experimento para regressão dos dados, utilizando-se de uma lâmpada alógena de 300W, controlando os níveis de iluminância a partir de um potenciômetro, ver Figura 108. Esta medição foi realizada no dia 12 de setembro de 2013, somente para os hobos U12-1, 2, 3 e 4, destacados a partir da medição de regressão anterior como os mais próximos juntamente com o luxímetro HOMIS para controle dos níveis de iluminâncias.

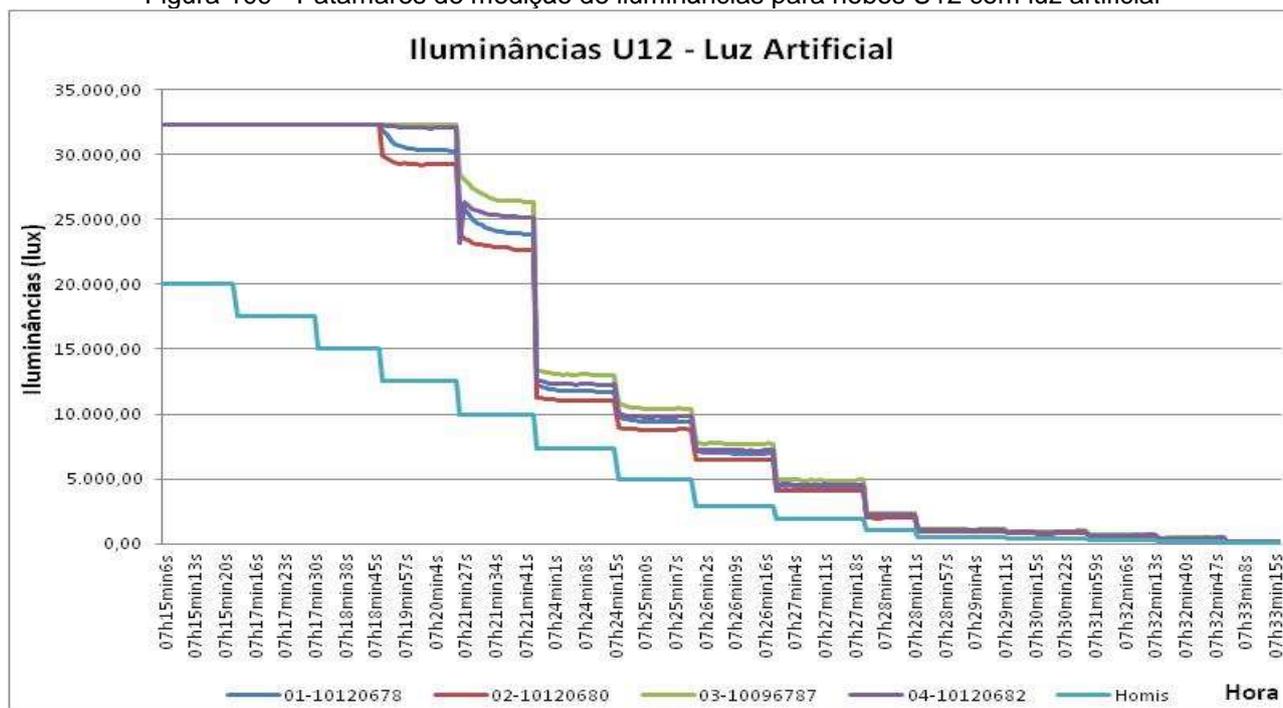
Figura 108 - Medição de Iluminância para luz artificial com hobos U12, à esquerda e a direita o potenciômetro.



Fonte: Arquivo pessoal

O patamar máximo atingido com a lâmpada foi de 20Klux para o luxímetro Homis e 32klux para o hobo U12, foram realizados patamares decaindo sempre 2.500lux, e ao atingir 7.500lx, decaiu-se para 4.000lux e assim decaindo-se sempre 1.000lux e depois indo para 500lux e decaindo 100lux até zerar as medições, assim obteve-se os patamares do gráfico da Figura 109.

Figura 109 - Patamares de medição de iluminâncias para hobos U12 com luz artificial



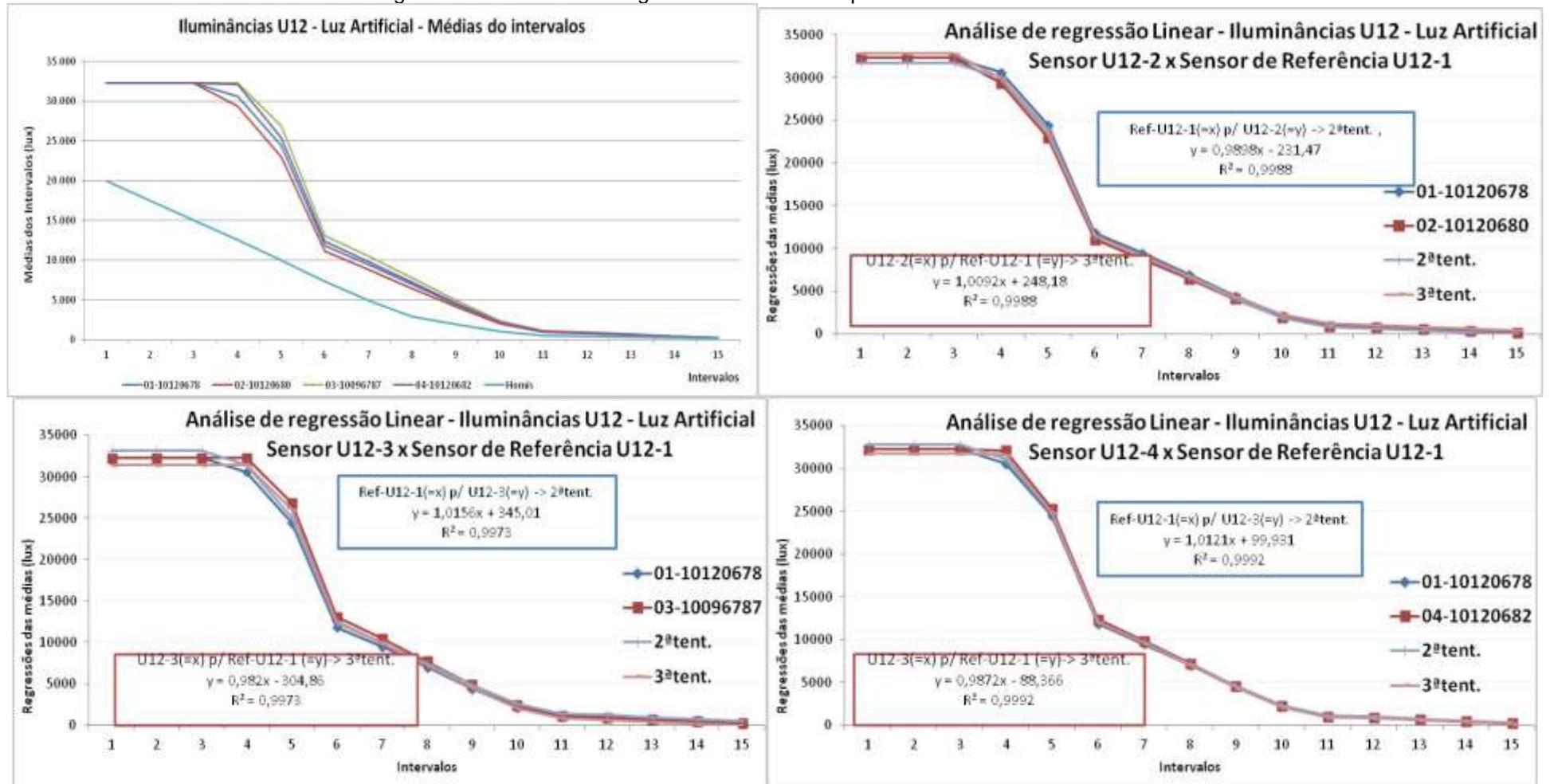
Fonte: Autora

Novamente observa-se que os sensores ainda que tenham tido um bom resultados quanto a convergência das curvas estando próximos, não apresentam leituras iguais sob uma mesma condição conhecida, sendo necessária aplicação das técnicas de regressão para que haja a convergência entre as curvas.

Os mesmos procedimentos de regressão descritos anteriormente foram aplicados aos dados, a partir das médias dos patamares, ver Figura 110, página 128 demonstram uma boa convergência dos dados, gerando curvas bem próximas e em alguns momentos sobrepostas.

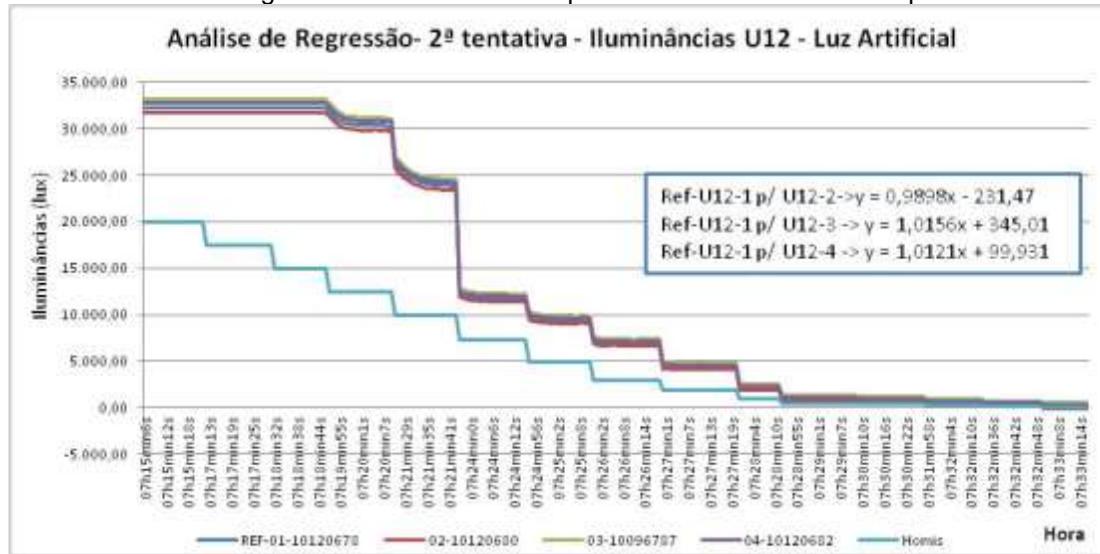
Aplicando-se as expressões nos dados de iluminância para luz artificial, verifica-se na Figura 112, página 129, que a expressão denominada 2ª tentativa aproximou mais as curvas, obtendo-se boa convergência.

Figura 110 - Gráficos de Regressão dos sensores para o sensor de referência U12-1



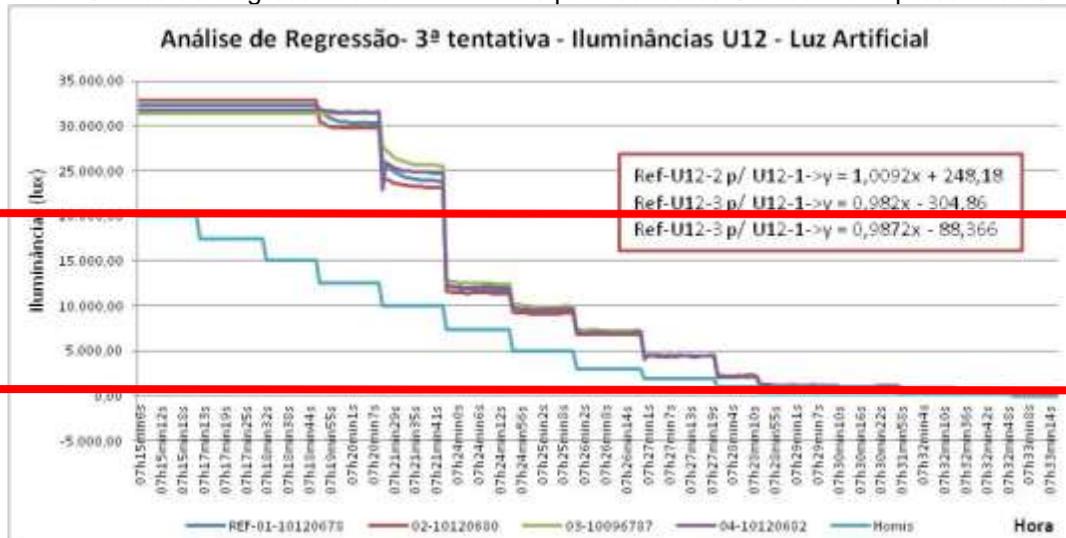
Fonte: Autora

Figura 111 - Gráfico de Regressão das Iluminâncias para sensores U12 com a expressão da 2ª tentativa



Fonte: Autora

Figura 112 – Gráfico de Regressão das Iluminâncias para sensores U12 com a expressão da 3ª tentativa



Fonte: Autora

#### 4.2.4.3 Mensuração das Iluminâncias Internas

Quanto à mensuração das iluminâncias internas com hobo U12 e externa com o luxímetro HOMIS, ver figura 115, realizadas dia 07 de agosto, medição de 9h26 à 03h30, nota-se no gráfico das mesmas, ver figura 116, que demonstram que no horário de até 11h, a condição do céu é caótica, com muitas variações nos níveis o que caracteriza um céu de transição, onde as nuvens entram e saem a todo o momento, impedindo a radiação solar direta constante, após as 11h há uma estabilização na curva o que caracteriza um céu mais uniforme, neste caso de intermediário à claro, ver figura 113.

Figura 113 - À direita condição de Céu as 9h54, parcialmente encoberto, e a esquerda as 13:30, céu intermediário à claro, no dia 07 de agosto



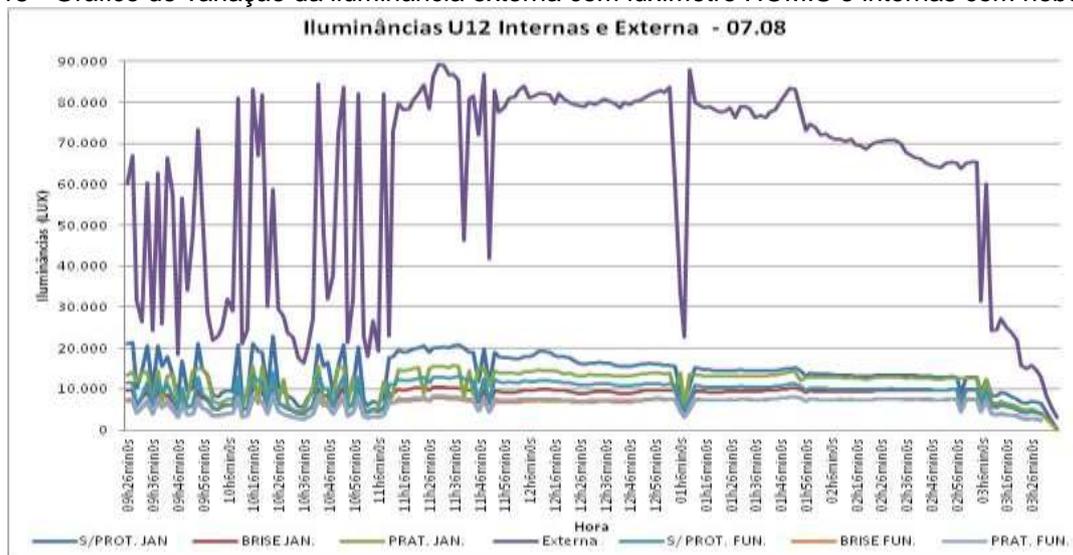
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 114 - Foto das Medições com Homis e externo e hobos U12 interno



Fonte: Arquivo pessoal

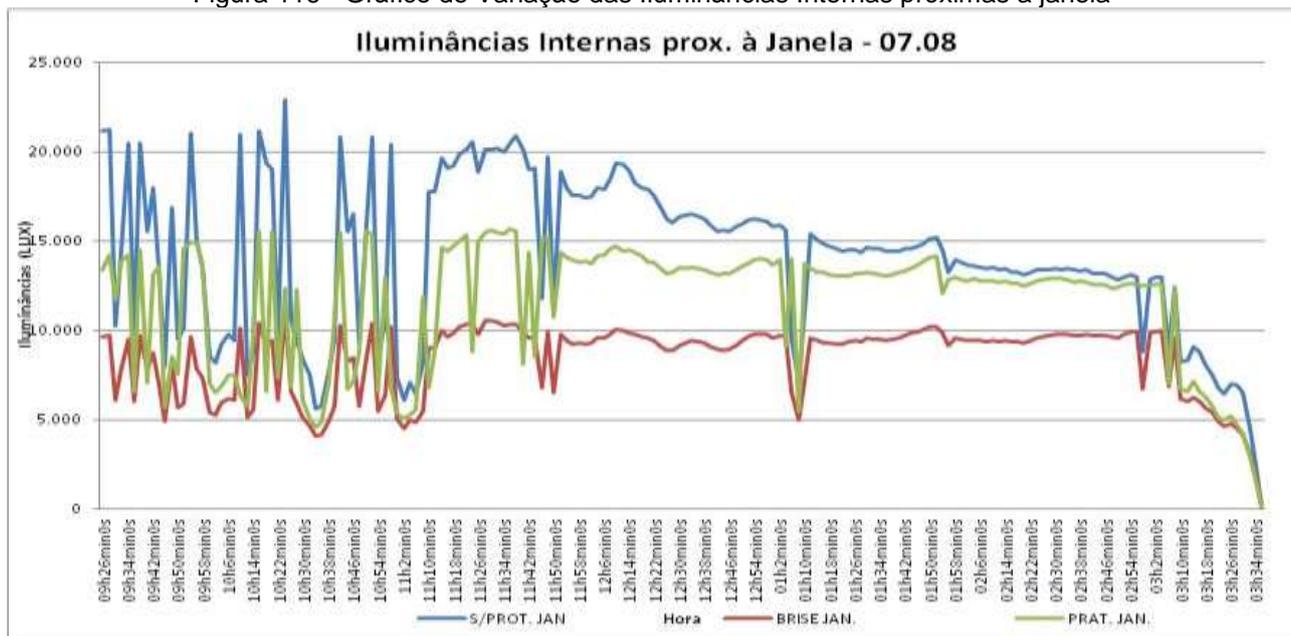
Figura 115 - Gráfico de variação da iluminância externa com luxímetro HOMIS e internas com hobos U12



Fonte: Autora

Quanto aos níveis mensurados nos dois pontos do ambiente, observa-se que quanto aos pontos medidos próximos a janela (2m), ver figura 116, segue um padrão de comportamento esperado, uma vez que sabe-se que o *brise* reduz drasticamente os níveis de iluminâncias internas, uma vez a janela fonte de luz não está mais exposta a radiação solar direta gerando um decaimento de 10klux nos níveis de iluminação internas, já a prateleira melhora os níveis de iluminação natural elevando os níveis do ambiente em 5klux com relação ao *brise*.

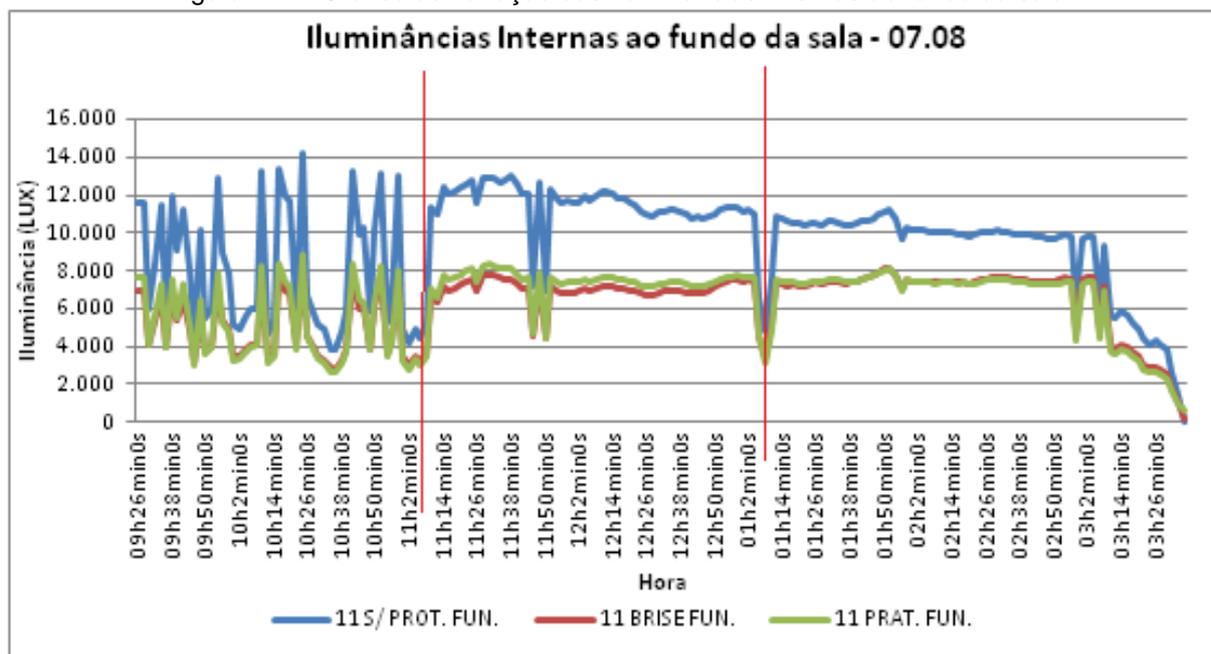
Figura 116 - Gráfico de Variação das Iluminâncias Internas próximas a janela



Fonte: Autora

Quando observamos o ponto de medição ao fundo da sala, percebe-se que o comportamento do *brise* e da prateleira de luz é muito semelhante, o que não era esperado uma vez que a prateleira de luz distribui a luz de forma uniforme nas porções mais distantes da fonte de luz, de acordo com Vianna e Gonçalves (2001) elas projetam a luz natural para as partes mais profundas das salas, ainda aumentam a uniformidade da iluminação. Porém nota-se no horário de 11h a 15h, a prateleira com melhor desempenho que o *brise* com uma diferença em torno de 5klux a mais para o sistema com prateleira de luz (linha verde).

Figura 117 - Gráfico de variação das iluminâncias internas ao fundo da sala



Fonte: Autora

Observando-se apenas o horário onde a prateleira de luz obteve níveis de iluminâncias internas mais elevados que o *brise*, ver Figura 118, intervalo horário (11h a 13h) este que o sol está a perpendicular às bandejas horizontais das proteções solares, o que faz com que ela capte toda a luz incidente nessa bandeja e através das reflexões para qual ela foi projetada eleve os níveis de iluminação internos, este horário geraria uma condição ideal de captação da luz incidente, por permitir uma incidência de quase 90° da luz sob as bandejas horizontais.

Figura 118 - Gráfico de Ampliação do Trecho de melhor desempenho da prateleira



Fonte: Autora

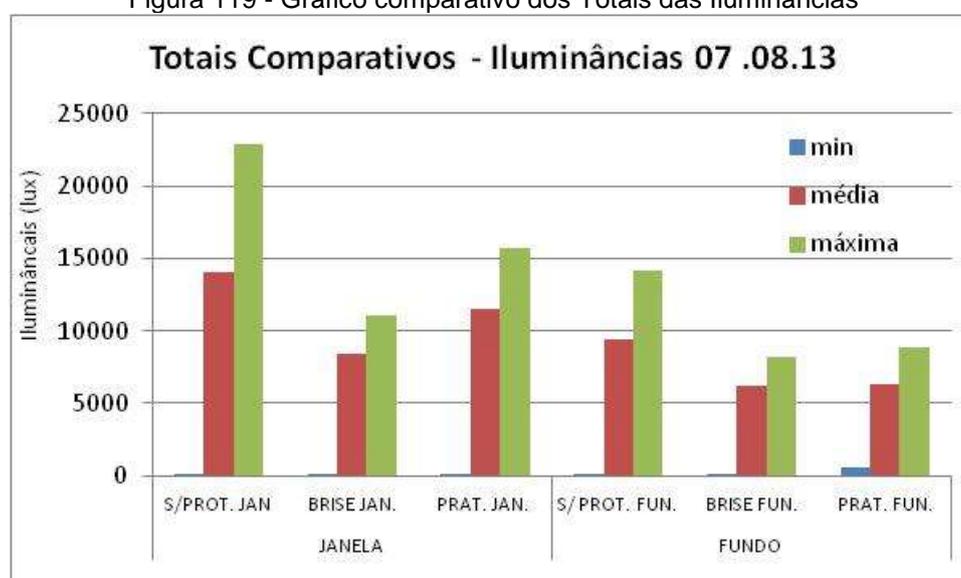
Os possíveis incrementos de iluminação obtidos com a prateleira de luz estão demonstrados na Tabela 8 e Figura 119, e tratam-se de 474lux a mais com a aplicação da prateleira de luz, nos níveis mínimos atingidos no ambiente e 694 lux quanto aos valores máximos atingidas pelo *brise* (8137lux) e pela prateleira (8.831lux).

Tabela 8 - Tabela de Iluminâncias Internas para o dia 07 de agosto

<b>ILUMINANCIAIS INTERNAS (LUX) PARA O DIA 07 DE AGOSTO</b>							
	<b>S/PROT.</b>	<b>BRISE prox. Janela</b>	<b>PRAT. Prox. Janela</b>	<b>S/ PROT. Fundo da sala</b>	<b>BRISE Fundo da sala</b>	<b>PRAT. Fundo da sala</b>	<b>Prat. X Brise</b>
Mínima	99	138	90	67	99	571	+472
Média	14.068	8.394	11.518	9.430	6.197	6.345	+148
Máxima	22.882	11.021	15.671	14.189	8.137	8.831	+694

Fonte: Autora

Figura 119 - Gráfico comparativo dos Totais das Iluminâncias



Fonte: Autora

Com diferenças pequenas encontradas entre os níveis de iluminâncias é necessário aplicação das técnicas de regressão para excluir a possibilidade de que essas diferenças sejam provenientes apenas da variação de medição entre os sensores, a partir das expressões da Figura 111, página 129, obtendo-se os resultados demonstrados na Figura 117 e Figura 118, onde observa-se que apenas foram regredidos os sensores de 01 à 4, para os quais foi realizada a medições, não foram realizadas para os hobos U12-5 e U12-6, hobos que mediram internamente ao modelo com prateleira de luz, e aplicadas a título de demonstração do processo.

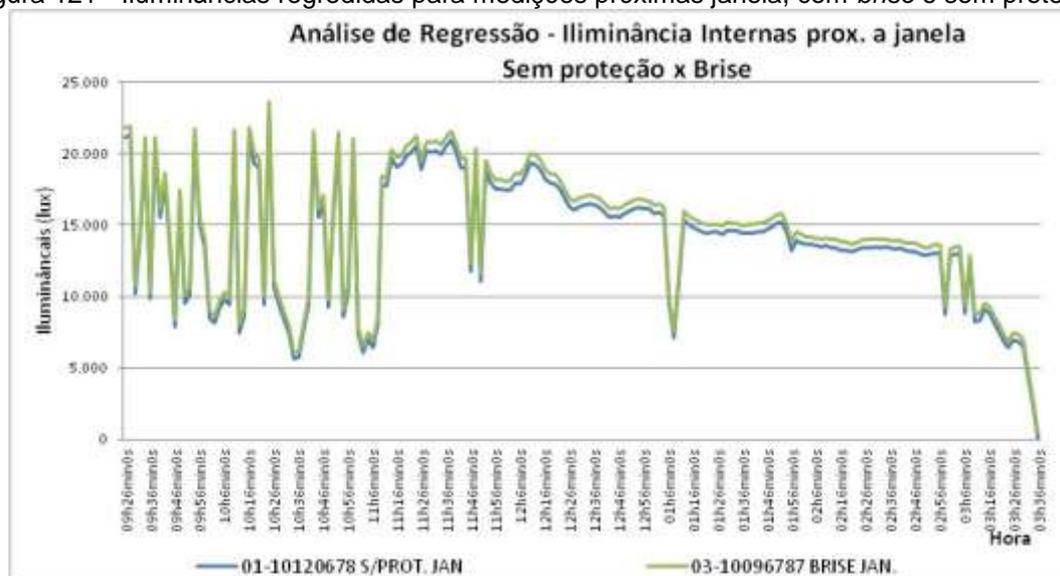
Após a aplicação da regressão, verifica-se que as curvas se aproximaram, porém, destacando-se apenas as medições próximas a janela, as curvas foram invertidas pois o modelo com o *brise* registra maiores iluminâncias com relação aos modelos sem proteção, o que sabe-se que nunca ocorreria uma vez que o modelo sem proteção recebe isolamento direta na fachada, sem quaisquer obstruções por sombreamento de proteções.

Figura 120 - iluminâncias Regredidas através da expressão da 2ª tentativa.



Fonte: Autora

Figura 121 - Iluminâncias regredidas para medições próximas janela, com *brise* e sem proteção.



Fonte: Autora

A regressão aplicada nos dados de iluminâncias demonstrados anteriormente, mostrou-se divergente com relação a resultados já conhecido, portanto surge a necessidade de uma nova aproximação para a garantia da validade das diferenças encontradas entre os sistemas, para tal foram realizadas novas medições com os hobos

U12, retiradas as proteções solares admitindo-se que os modelos são iguais e por isso devem apresentar curvas iguais ou muito próximas.

Foram realizadas medições de iluminâncias internas com os hobos U12- 1 (Ref. 10120678), 2 (Ref. 10120680) e 3 (Ref. 10096787), com curvas de leituras sempre mais próximas de acordo com análises anteriores, um U12-4 (Ref. 10120682) como sensor externo e um luxímetro Homis nº 01 (Ref. 080702168), ver Figura 122. Para que as medições com hobos U12 externas pudessem ser medidas foi necessário ser realizada em um horário baixas iluminâncias, por isso a medição iniciou-se as 17h.

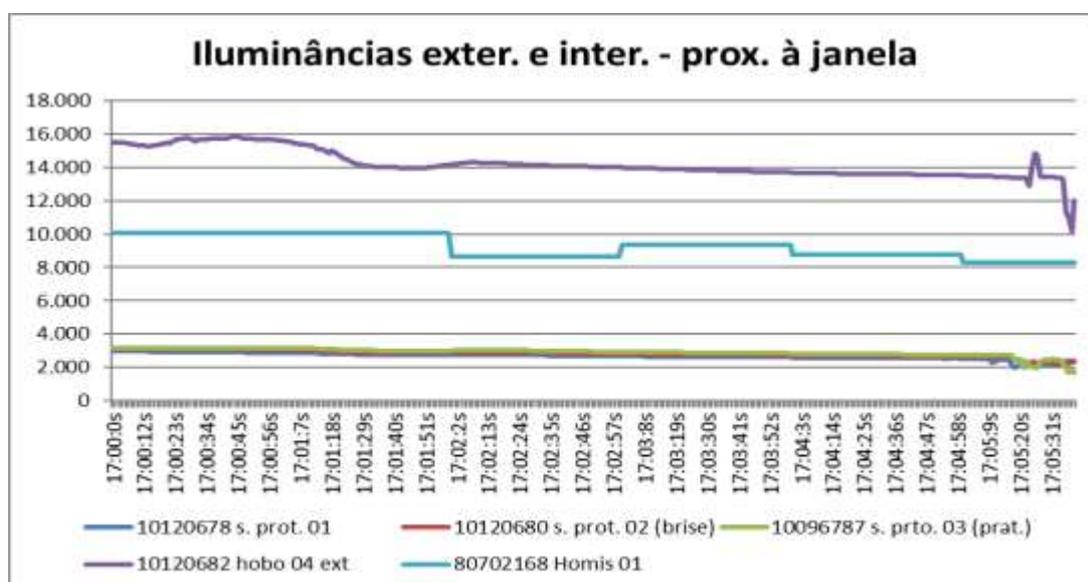
Figura 122 - Medições de iluminâncias internas e externas com luxímetro HOMIS e hobos U12



Fonte: Arquivo pessoal

No gráfico a seguir, destacam-se as escalas de grandeza mensuradas, apenas para efeitos de demonstração, das variações de iluminâncias internas e externas obtidas na medição com todos os modelos sem proteção estão demonstradas na figura 123, onde verifica-se que as iluminâncias externas medidas com hobo U12 variam entre 14klux e 16klux, havendo um distanciamento das iluminâncias medidas com o Homis de aproximadamente 4klux, as medições com o Homis variam entre 8klx e 10kluxm já as medições internas variam entre 2klu e 4klux.

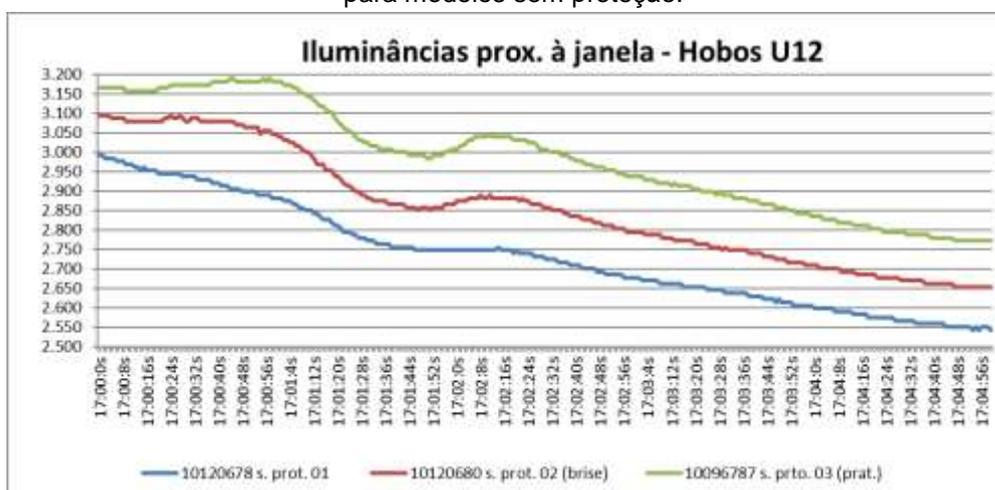
Figura 123 - Gráfico de iluminâncias externas e internas com luxímetro Homis e hobos U12, ( 5 min. e 30 s)



Fonte: Autora

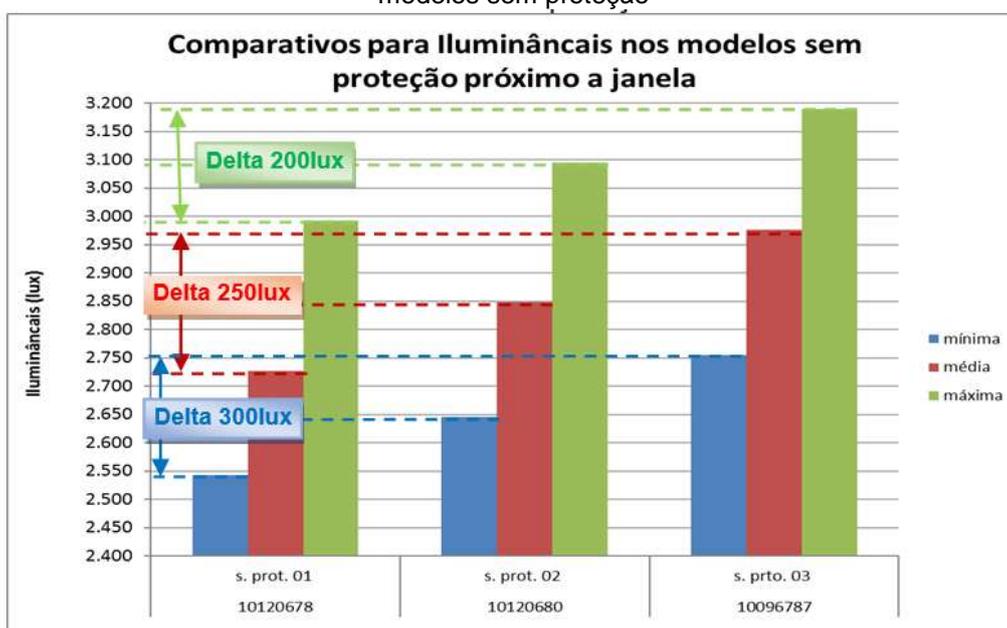
Destacando-se apenas as medições internas para os modelos sem proteção, no ponto próximo à janela, as diferenças encontradas entre os modelos, são de aproximadamente 200lux entre cada curva, ver figura 124 e figura 125, enquanto que as diferença encontradas entre os modelos com as proteções solares chegam até no máximo 5klux (ver figura 116, página 131), o que valida as diferenças existente entre os modelos para as iluminâncias próximas à janela. Pois o que foi identificado como uma margem proveniente possivelmente apenas de diferenças entre os sensores, ou modelos, de 200lux é muito inferior à diferença, quando inseridas as proteções solares de 5klux, não invalidando essa diferença.

Figura 124 - Gráfico de variação das iluminâncias internas com hobos U12, próximas a janela para modelos sem proteção.



Fonte: Autora

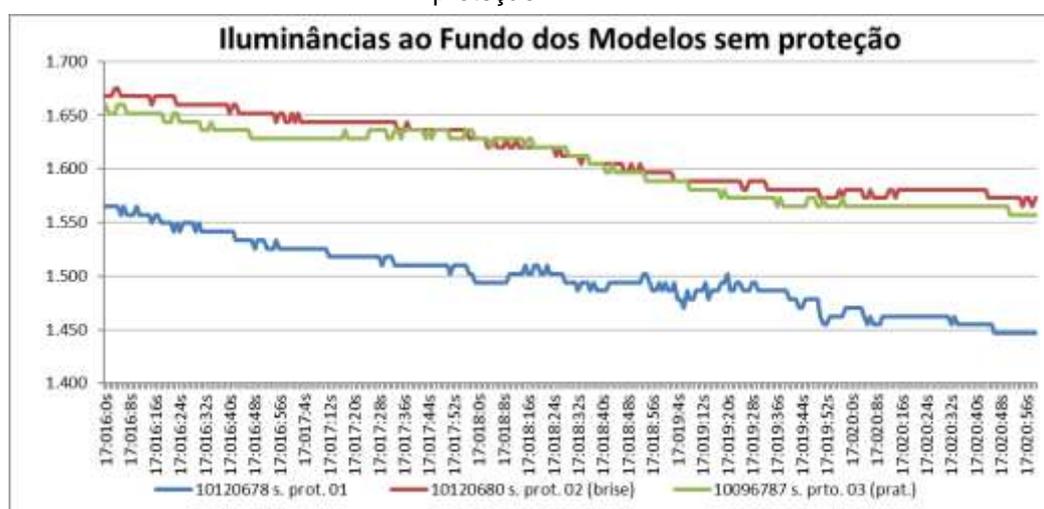
Figura 125 - Gráfico comparativo das diferenças das iluminâncias internas próximas a janela para os modelos sem proteção



Fonte: Autora

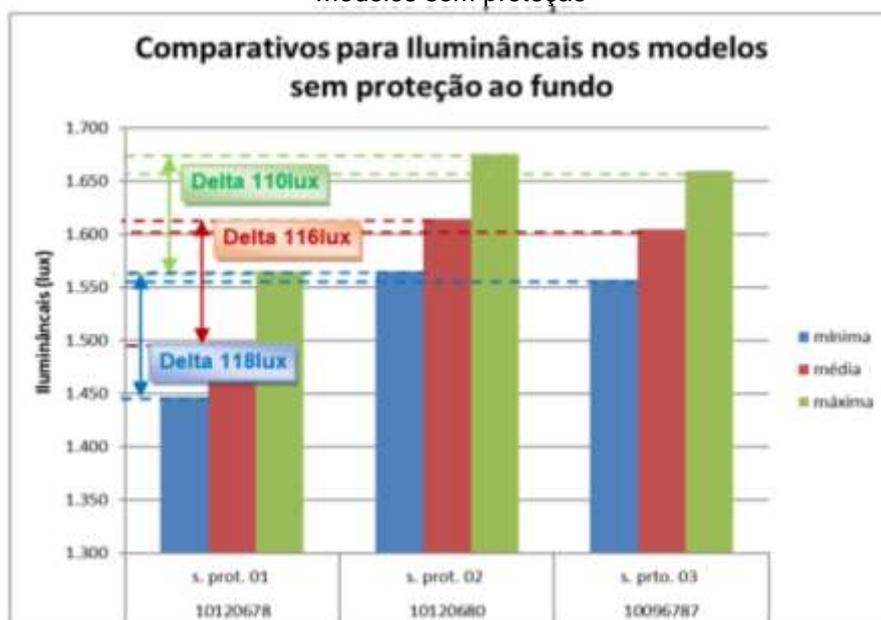
Nas medições para todos os modelos sem proteção ao fundo do ambiente, ver Figura 126, as curvas para os modelos 02 e 03 encontram-se muito próximas, já o modelo 01 encontra-se com a curva um pouco mais distante das demais, essas diferenças derivadas possivelmente da diferença entre os sensores, ou modelos, apresentam-se aproximadamente entre 25 e 125lux , ver Figura 131, enquanto que as diferenças encontradas ao fundo da sala entre os modelos com *brise* e prateleira de luz, apresentam-se na ordem de aproximadamente 500lux, o que percebe-se então é um indicativo de diferença real entre os sistemas de proteção solar, uma vez que excluída a diferença sensor/modelo, então seria entre 475lux e 375lux.

Figura 126 - Gráfico de variação das iluminâncias internas com hobos U12, ao fundo, para modelos sem proteção.



Fonte: Autora

Figura 127 - Gráfico comparativo das diferenças das iluminâncias internas próximas a janela para os modelos sem proteção



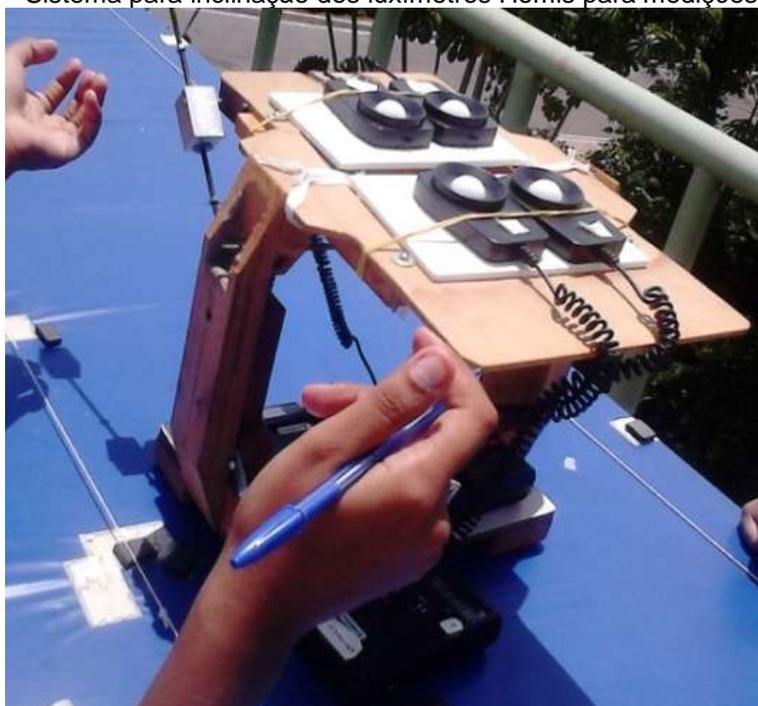
Fonte: Autora

## 4.2.5 Iluminâncias e CLD com Luxímetro HOMIS

### 4.2.5.1 Regressão Linear de Iluminâncias Externas - Luxímetro HOMIS

Este experimento foi realizado do dia 21 de agosto de 2013, com o objetivo de verificar as diferenças nas medições com luxímetro Homis para os 04 sensores utilizados, colocados sob uma mesma condição ambiental expostos a insolação direta sob céu real, ver figura 128, colocados com um sistema que permite a inclinação de uma placa, onde foram buscados patamares de valores que decaem conforme a placa se inclina, encontrando iluminâncias externas de 0 a 90klux, tomando como referência o luxímetro 01, sempre utilizado em todas as medições como o sensor externo.

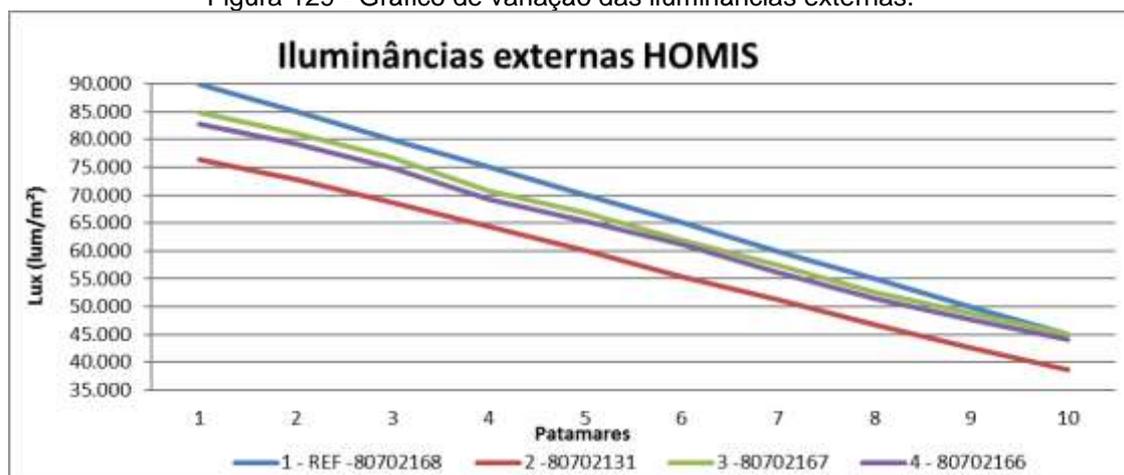
Figura 128 – Sistema para inclinação dos luxímetros Homis para medições simultâneas



Fonte: Arquivo pessoal

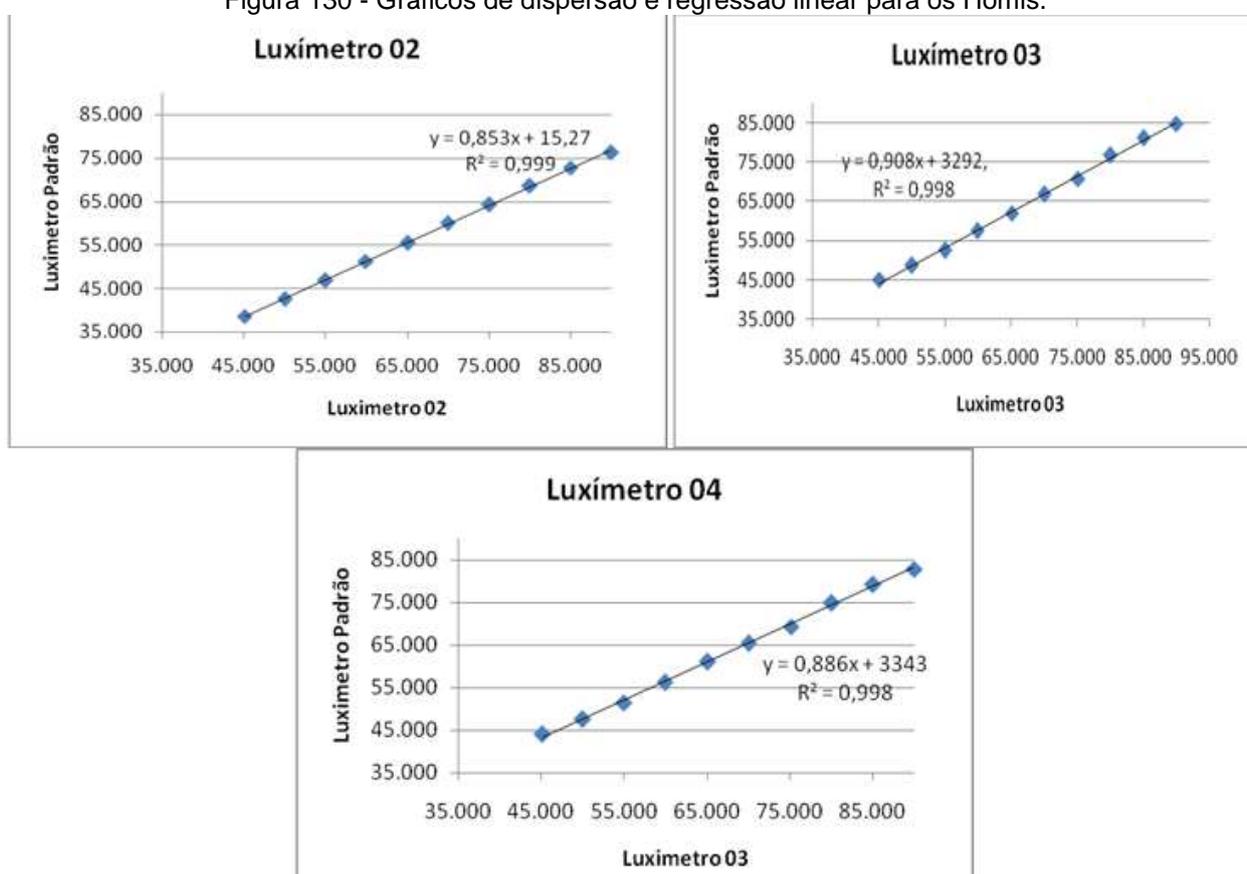
Os resultados demonstram que existem diferenças de até 5klux entre as medições dos Homis, os sensores 03 e 04 possuem curvas mais próximas, enquanto que o sensor 02 apresenta valores mais inferiores e o sensor 04 apresentou os valores mais elevados.

Figura 129 - Gráfico de variação das iluminâncias externas.



Fonte: Autora

Figura 130 - Gráficos de dispersão e regressão linear para os Homis.

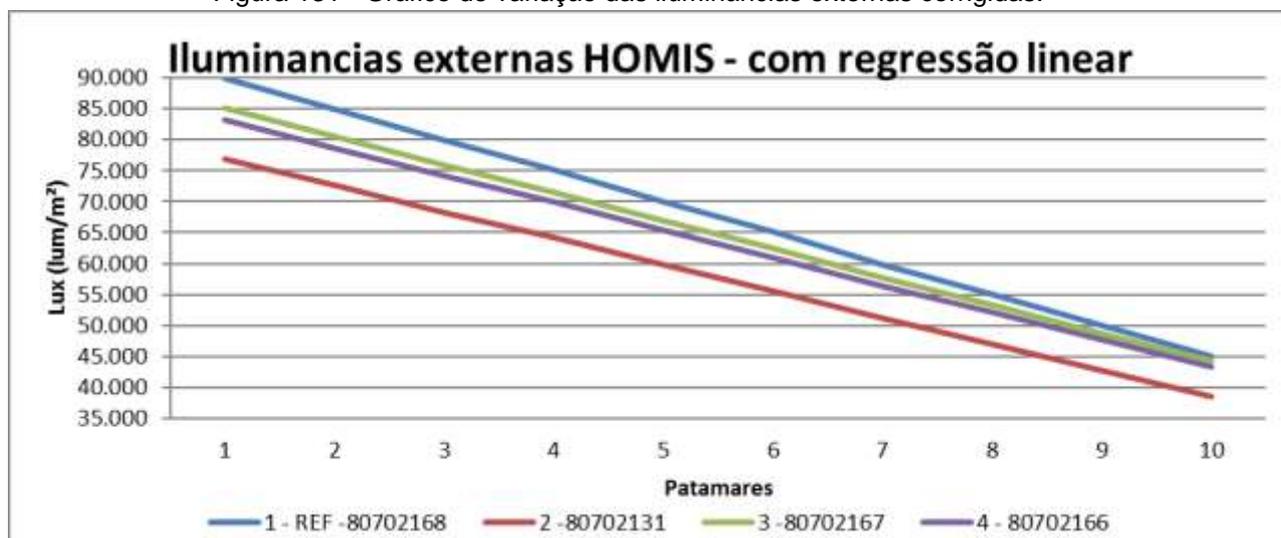


Fonte: Autora

Aplicados os gráficos de dispersão e obtidas as expressões, ver figura 130,, para regressão dos demais sensores ao sensor 01 de referência, obteve-se os dados observados no gráfico da figura 131, onde nota-se que não houve aproximação das curvas a regressão linear apenas retirou a oscilação existente nas curvas dos sensores 03 e 04, mostrando insatisfatórias por ser pouco convergente e não contemplam os

níveis mais baixos de iluminâncias medidos nos modelos, que foi de 0 a 8.500 lux, ver Figura 141, página 147.

Figura 131 - Gráfico de variação das iluminâncias externas corrigidas.



Fonte: Autora

#### 4.2.5.2 Regressão Linear de Iluminâncias - Luxímetro HOMIS – Luz Artificial

Para obter-se valores onde seja contemplada a escala dos dados brutos mensurados nos modelos, 0 à 8.500lux, foi realizada nova aproximação para regressão com luz artificial, utilizando-se de uma lâmpada Halógena de 300W, controlando os níveis de iluminância a partir de um potenciômetro, ver figura 132, este experimento foi realizado dia 18 de setembro de 2013, expondo os quatro luxímetros simultaneamente a luz artificial realizando patamares de 0 à 12.500 lux.

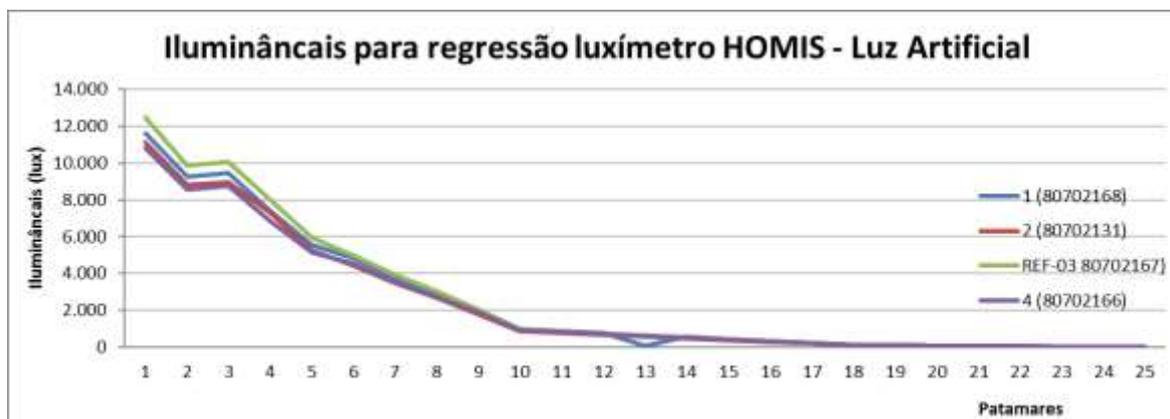
Figura 132 - Medições de iluminâncias para luxímetro HOMIS com luz artificial



Fonte: Arquivo pessoal

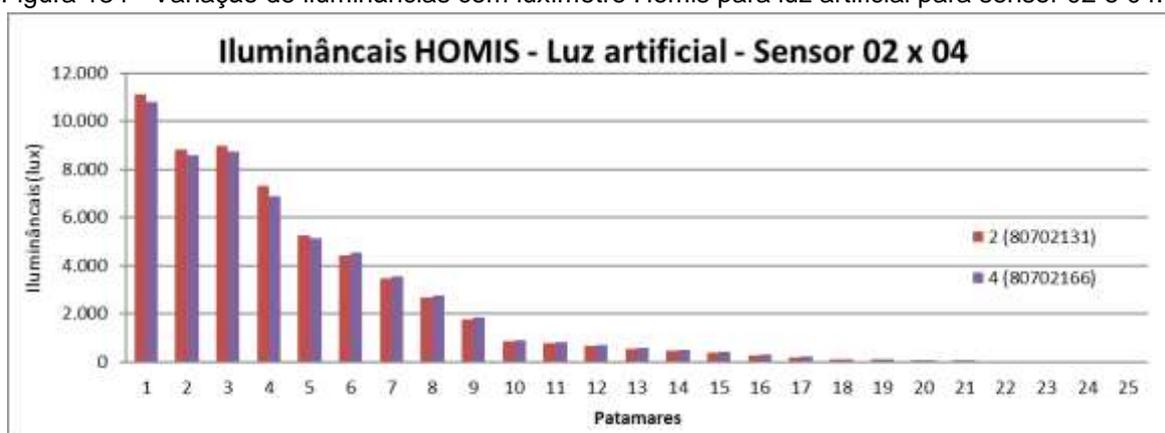
Nas medições com luz artificial verificou-se que curvas estão muito próximas entre os sensores, Figura 133, porém os sensores 02 e 04 se destacam as curvas mais próximas entre si, sendo utilizados como referência para a aplicação das técnicas de regressão, ver Figura 134 e Figura 135.

Figura 133 – Variação de iluminâncias com luxímetro Homis para luz artificial.



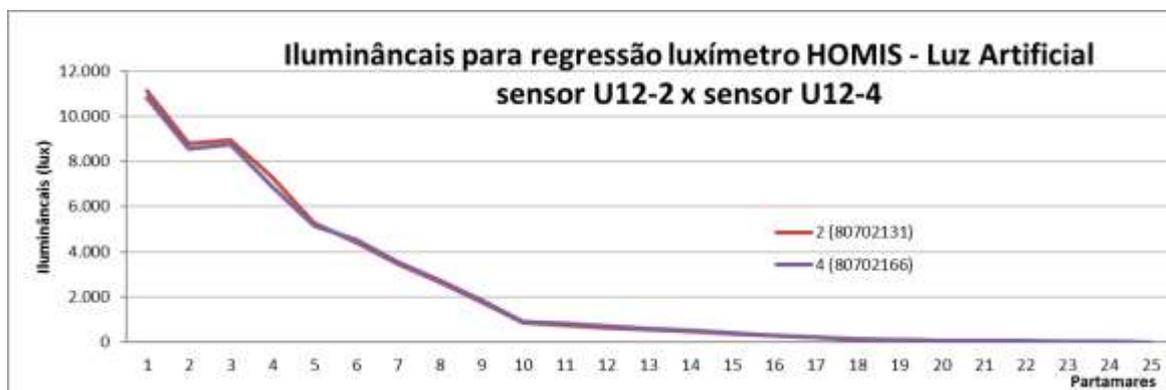
Fonte: Autora

Figura 134 - Variação de iluminâncias com luxímetro Homis para luz artificial para sensor 02 e 04.



Fonte: Autora

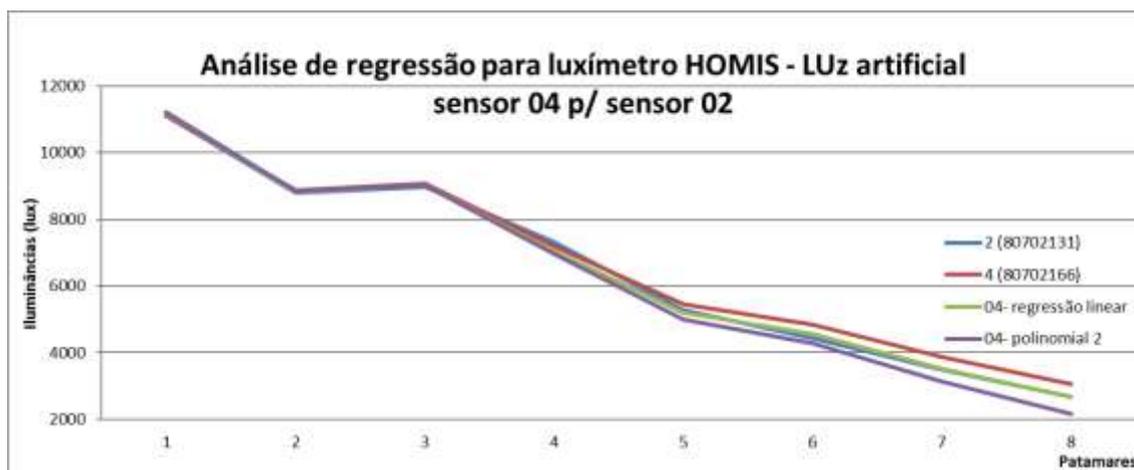
Figura 135 – Gráfico comparativo das iluminâncias medidas para os sensores 02 e 04



Fonte: Autora

Aplicando-se as técnicas de regressão do sensor 04 para o sensor de referência 02, através de uma expressão de regressão linear e outra de polinomial de ordem 2, verifica-se no gráfico, ver figura 136, os resultados comparativos. Nota-se que a regressão linear obteve êxito ao aproximar a curva do sensor 04 à do sensor de referência 02, ficando as mesmas sobrepostas, já a regressão através da polinomial não aproximou as curvas entre 04 e 02.

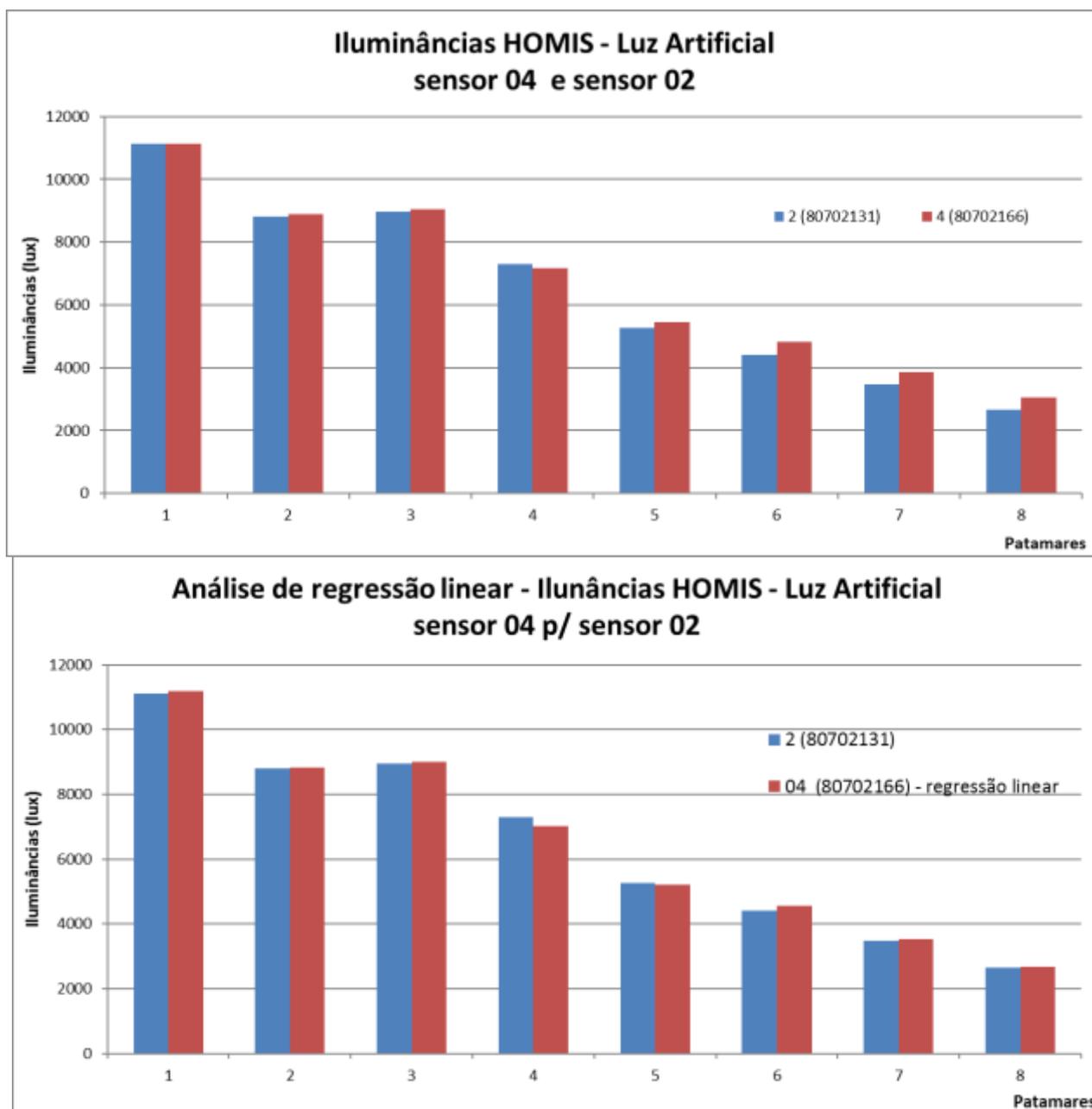
Figura 136 – Gráfico de Regressão linear e polinomial do sensor 04 para o sensor 02



Fonte: Autora

Os gráficos da Figura 137, demonstram que dentro da escala de medição encontrada nas mensurações das iluminâncias internas com o luxímetro Homis, de 0 à 8.500lux, as diferenças entre os dados brutos medidos nos sensores 02 e 04 (gráfico inferior) que já eram muito pequenas, ordem de centenas, foram ainda mais reduzidas com a regressão linear (gráfico superior), demonstrando que neste caso a regressão obteve convergência satisfatória.

Figura 137 – Gráficos comparativos de iluminâncias de 2,5klux à 12klux entre sensores 02 e 04, acima os dados regredidos e abaixo os dados brutos.



Fonte: Autora

#### 4.2.5.3 Mensuração dos níveis de Iluminância e CLD com luxímetro HOMIS

A impossibilidade de uso do hobo como medidor de iluminâncias externas, devido ao nível máximo de medição que ele suporta (30Klux) não ser suficiente para iluminâncias externas (até +-90Klux) torna o uso do luxímetro HOMIS fundamental para a verificação da quantidade de luz interna com relação a externa (CLD), portanto o mesmo tem o intuito

de realizar o refinamento dos processos de aferição nos níveis de iluminâncias externos e internos simultaneamente.

De acordo com COUTINHO, 2009 o cálculo do CLD realiza uma avaliação quantitativa, permite determinar o nível de iluminação natural e verificar se respeita os valores mínimos recomendados. A quantidade de luz necessária varia consoante a tarefa visual ou a atividade realizada num determinado espaço.

Os valores de iluminâncias que a CIE<sup>16</sup> recomendada, os valores utilizados para a avaliação da iluminação natural nos espaços interiores em estudo são:

- Escritórios – iluminâncias recomendadas, 500 lux a 1000 lux; FLD mínimo, 2%
- Átrios – iluminâncias recomendadas, 100 lux a 200 lux; FLD recomendado, 1,0% a 1,5% (COUTINHO, 2009)

Verifica-se na Figura 140 - Gráficos de variação do CLD para 10h, 12h e 15h, que os coeficientes de luz diurna aferidos dentro do ambiente variam de 3,76% para o *brise* ao meio dia ao fundo à 12,45% para o ambiente sem proteção as 10h próximo a janela, portanto quanto aos níveis mínimos necessário para a realização de atividades.

Figura 138 - Condição de céu durante a medição à direita as 10:50h, ao centro as 12:12h e à esquerda as 15:06h, todas céu parcialmente encoberto



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 139 - Luxímetro Homis interno as modelo para medição de CLD



Fonte: Arquivo pessoal

<sup>16</sup> Commission internationale de L'eclairage - Comitê Internacional de Iluminação

Para uma condição de céu parcialmente encoberto obtivemos os seguintes resultados para três horários distintos, ver Figura 140, por volta das 10h, iniciando exatamente as 10:45h, as 12h as 15h, visando avaliar a condição de iluminação dentro do intervalo horário para o qual as proteções solares foram projetadas para mascarar (9h as 15h). Verifica-se que o ambiente sem proteção sem ontem níveis de iluminância mais elevados uma vez que a luz entra diretamente no mesmo através da janela, se igualando as proteções solares apenas as 15h ao fundo da sala, numa condição de céu provavelmente nublado no momento desta mensuração, é momento onde *brise* e prateleira mais se aproximam nos três pontos aferidos, pois segundo Franco (2013) em condição de céu nublado a geometria não faz tanta diferença (informação verbal)<sup>17</sup>, logo o *brise* e a prateleira se igualam em desempenho como proteção solar.

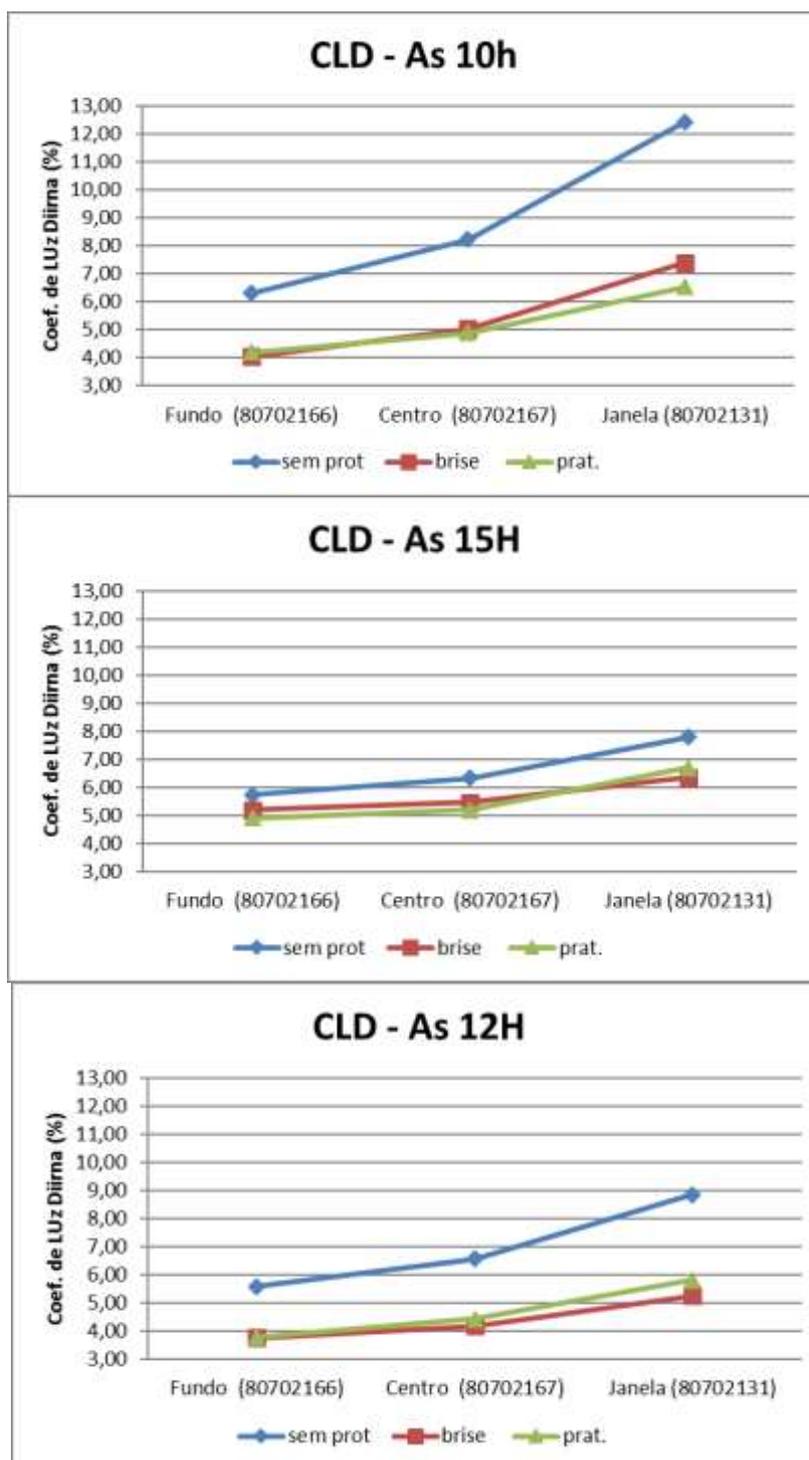
O desempenho do *brise* e da prateleira de luz são muito próximos, a prateleira só supera o *brise* as 12h nos pontos próximo a janela e ao centro, mas ao fundo eles são iguais, as 10h o *brise* apresenta melhor desempenho próximo a janela as 10h, as 15h a prateleira apresenta valores inferiores ao do *brise* ao fundo e ao centro do ambiente, mas existe um aumento desses valores da prateleira próximos a janela ultrapassando o *brise*.

É provável que isso corrobore as medições de iluminância do dia 07 de agosto, onde quase ao meio dia, de 11h a 13h, a prateleira supera o *brise* em desempenho, devido ao que já foi anteriormente colocado, as 12h o sol está perpendicular a as bandejas horizontais, o que permite que ela enxergue uma grande quantidade de luz que seja refletida (reflexões entre as bandejas) e conduzida pelo seu sistema para o ambiente e elevará os níveis de iluminação internos, enquanto que o *brise* apenas rebate essa luz para a envoltória e para o entorno.

---

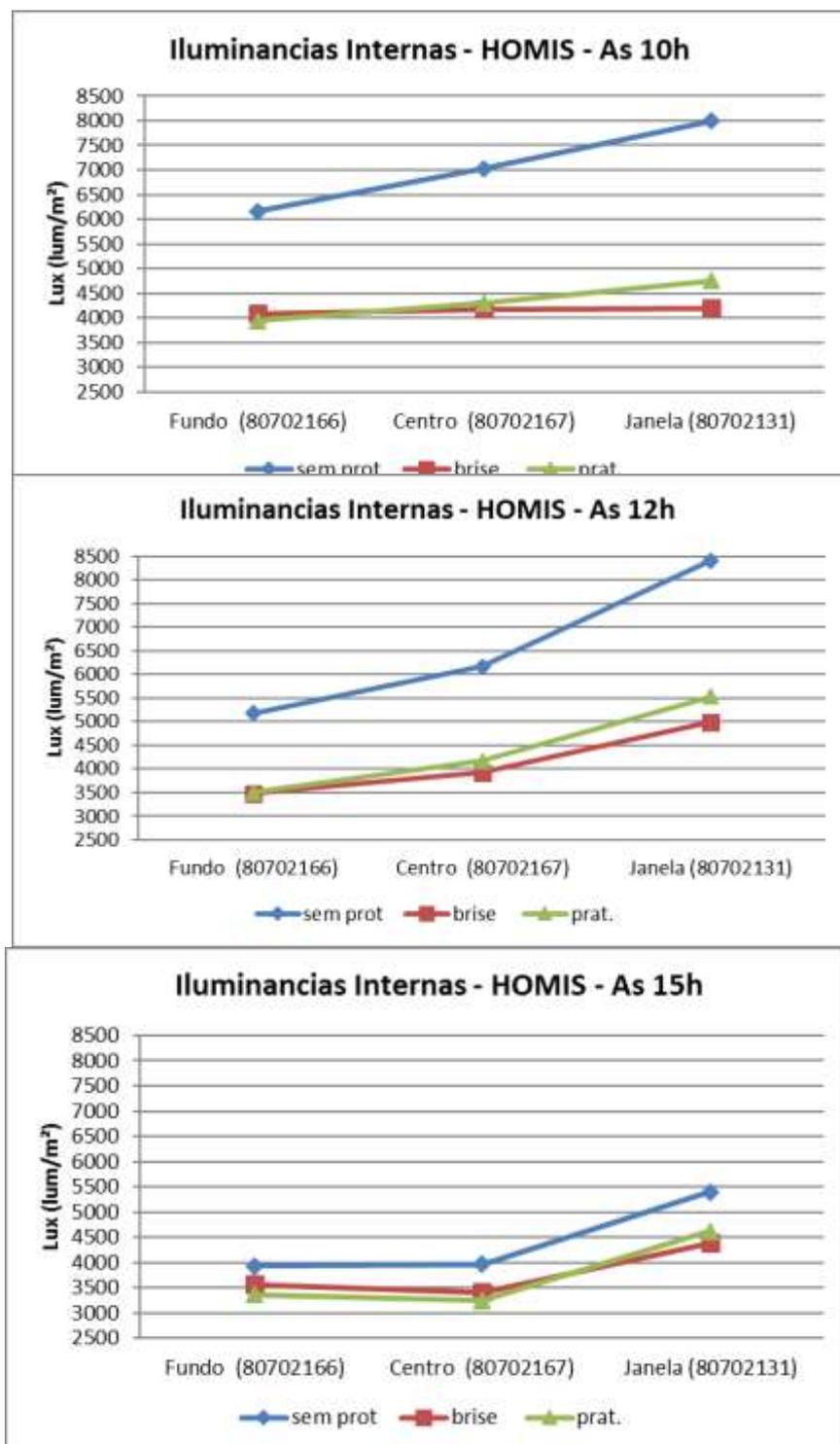
<sup>17</sup> Informação fornecida pelo orientador Prof., Dr. Irving Montanar Franco, durante orientação, em 2013

Figura 140 - Gráficos de variação do CLD para 10h, 12h e 15h.



Fonte: Autora

Figura 141 - Iluminâncias internas registradas com luxímetro HOMIS

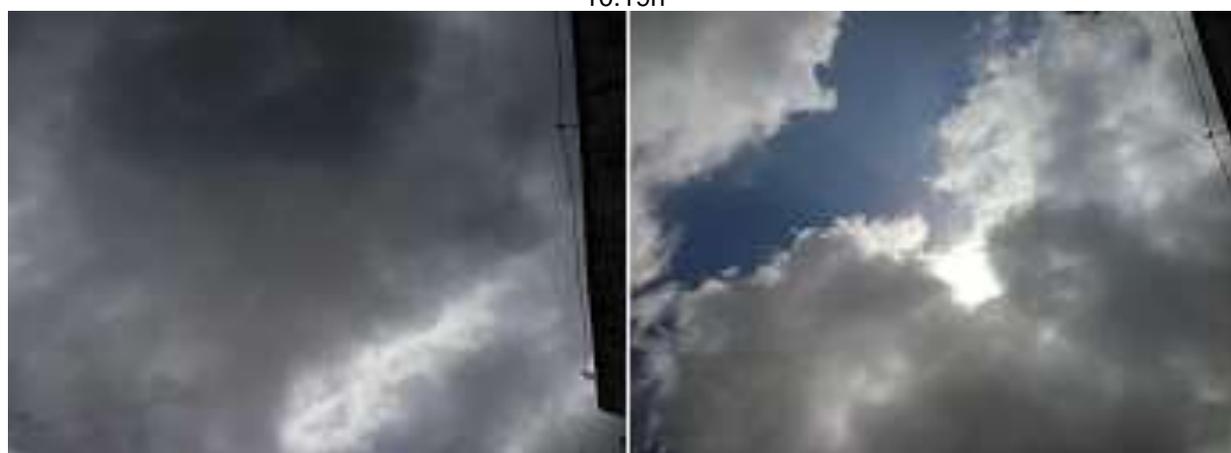


Fonte: Autora

#### 4.2.5.4 Teste 02 - Mensuração dos níveis de Iluminância e CLD com luxímetro HOMIS

As medições de CLD foram realizadas em uma segunda aproximação utilizando-se apenas os dois sensores obtidos como referência a partir das técnicas de regressão buscando diminuir ao máximo as diferenças provenientes entre os sensores. As medições foram realizadas dia 19 de setembro de 2013, com radiação solar difusa onde foram utilizados apenas dois modelos um denominado modelo testemunho (MT), o modelo sem proteção e o outro onde foram colocadas a proteção tipo *brise* e posteriormente tipo prateleira de luz, as medições foram realizadas de forma simultânea próximo a janela sem proteção e com *brise/prateleir*, depois ao centro e por fim ao fundo.

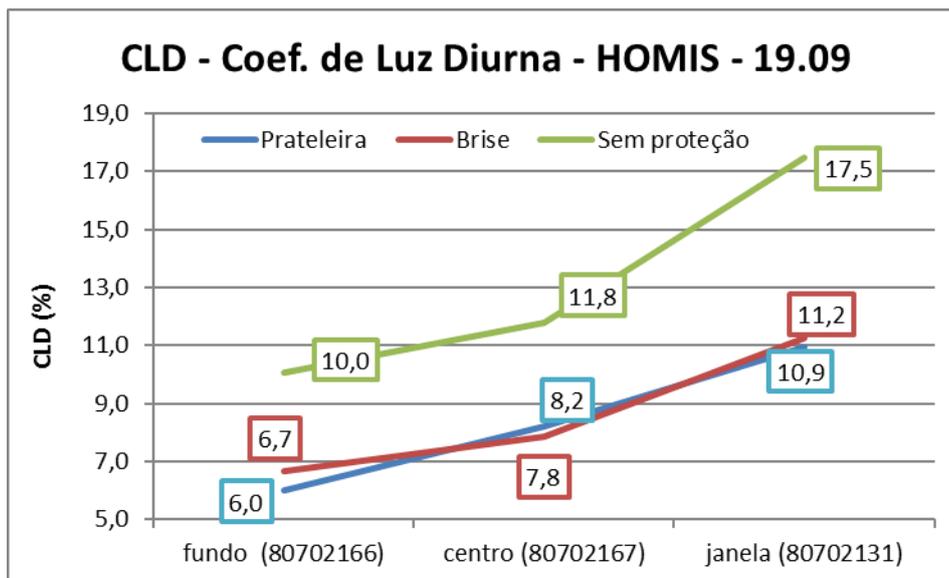
Figura 142 - Condição do céu nas medições de CLD, céu encoberto as 10:19h



Fonte: Arquivo pessoal

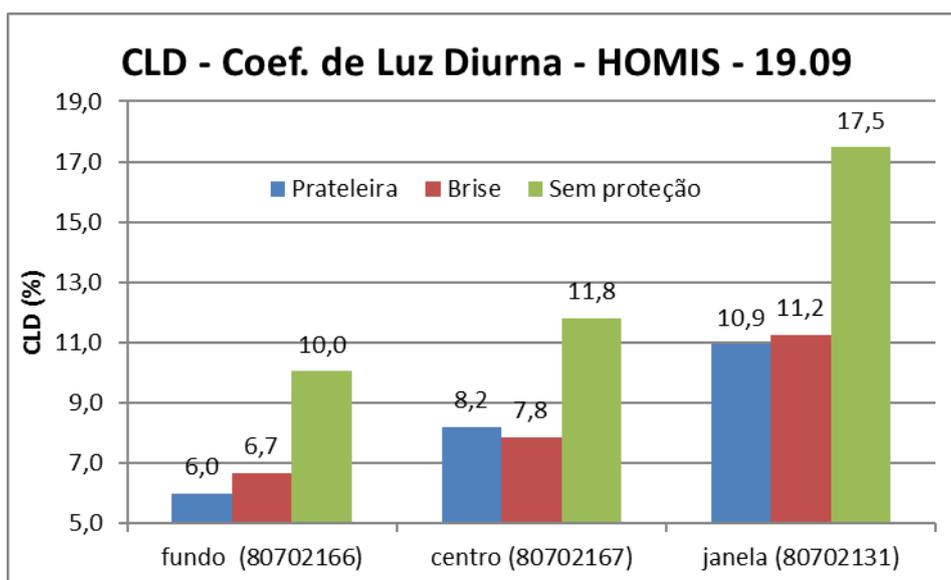
Verifica-se nos dados o comportamento já indicado na medição anterior, ver figura 143, as proteções solares reduzem os níveis de iluminância em relação ao ambiente sem proteção e também reduzem as diferenças entre os níveis próximos a janela e ao fundo o ambiente, a prateleira de luz ainda torna essa diferença mais tênue, o que reduz o ofuscamento no ambiente, levando a uma melhor acomodação visual e mais uniformidade. A prateleira de luz eleva os níveis de luz apenas ao centro com relação ao *brise*, como já verificado anteriormente.

Figura 143 - Gráfico de CLD com proteções, dia 19.09



Fonte: Autora

Figura 144 - Gráfico comparativos de diferenças de CLD com proteções



Fonte: Autora

Reforçando a necessidade de verificar a influencia das diferenças das medições inerentes aos próprios sensores, realizou-se ainda as medições com luxímetro homis para os modelos sem proteção apenas com os sensores 02 e 04, anteriormente verificado como as curvas de leituras mais próximas, comparando apenas dois modelos o “modelos testemunho” (MT) originalmente o modelo utilizado em todos os experimentos sem proteção e um segundo modelo sem proteção, onde nos testes anteriores foram colocadas as proteções solares, as medições realizadas foram obtidas tanto para insolação direta quanto para insolação difusa, ver Figura 145.

Figura 145 - Céu para insolação difusa à esquerda e para insolação direta à direita

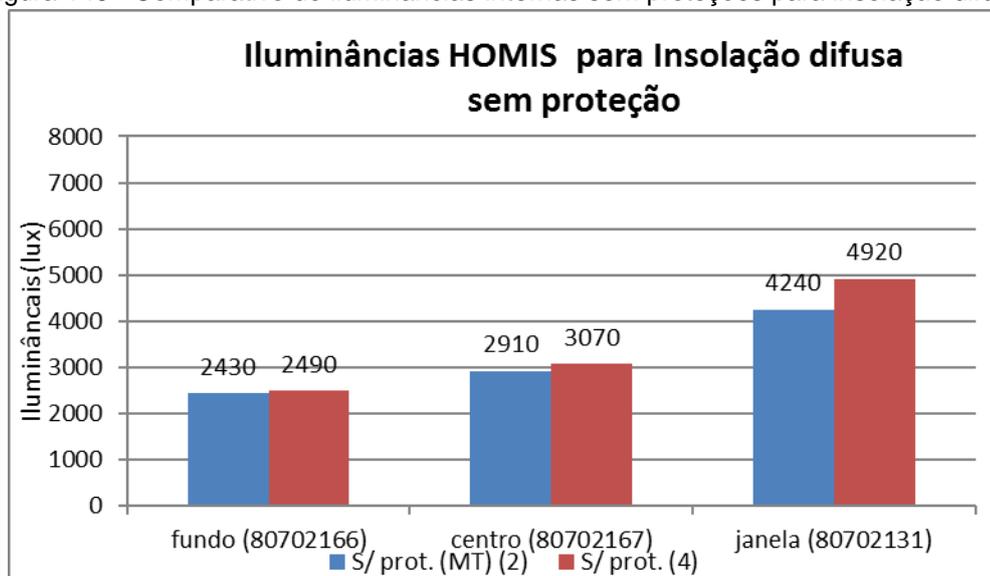


Fonte: Arquivo pessoal

As medições corroboram a equivalência entre os modelos sem proteção para as medições com luxímetro Homis, as diferenças verificadas para insolação difusa, ver Figura 146, foram de 680lux próximo à janela, 160lux ao centro e 60lux ao fundo dos modelos. Para insolação direta, ver Figura 147, são de 140lux próximo à janela, 50 lux ao centro e 50 lux ao fundo. Diferenças pequenas, na ordem de centenas no máximo, para insolação direta e para difusa ao centro e ao fundo, porém nota-se uma diferença discrepante próximo à janela, para insolação difusa, na ordem de 680 lux, a ser verificado numa segunda aproximação, pois não segue o padrão de comportamento apresentado.

A similaridade das medições com os modelos sem proteção valida as diferenças encontradas para os modelos com as proteções solares como sendo diferenças entre os próprios sistemas de proteções.

Figura 146 - Comparativo de iluminâncias internas sem proteções para insolação difusa



Fonte: Autora

Figura 147 - Comparativo de iluminâncias internas sem proteções para insolação direta

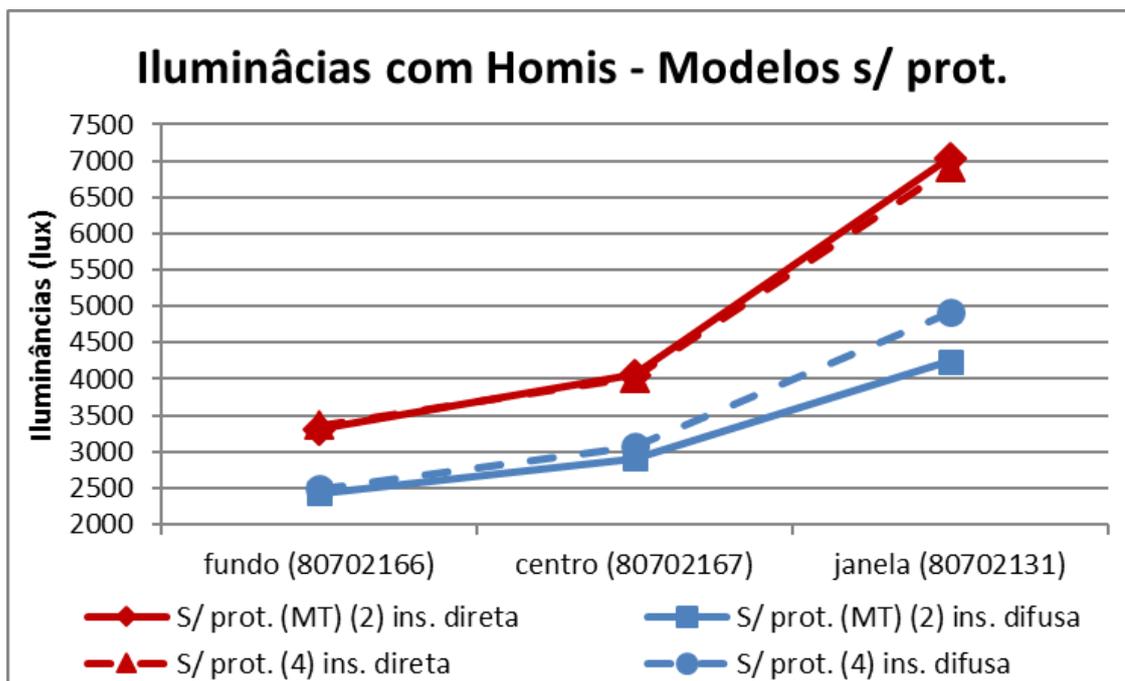
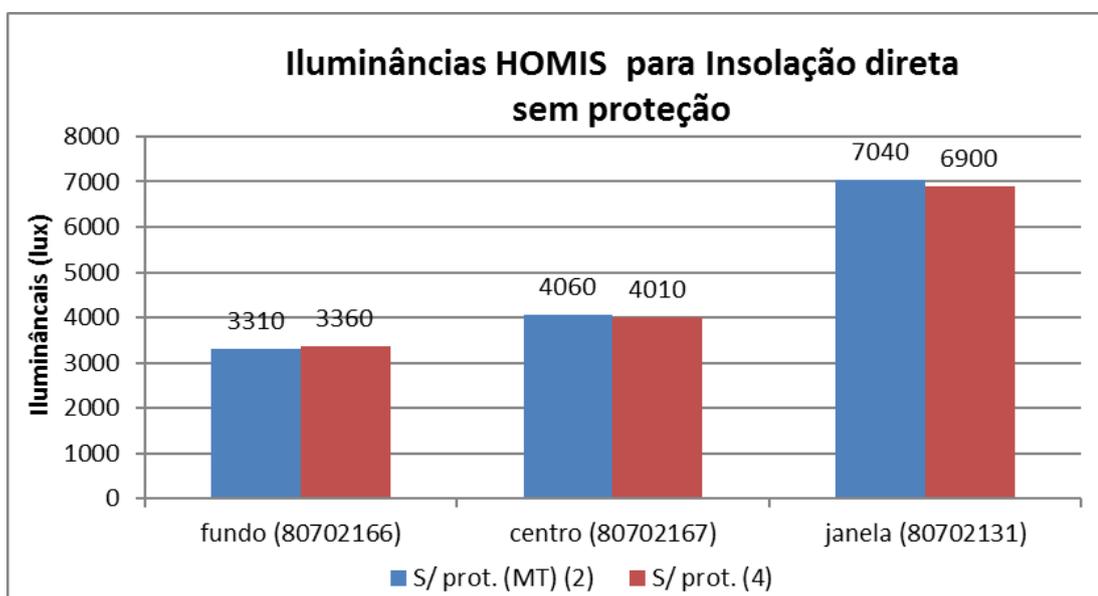


Figura 148 – Gráfico de Iluminâncias com luxímetro Homis para modelos sem proteção



## 5 DISCUSSÕES

### 5.1 QUANTO AS PROTEÇÕES SOLARES

A contribuição das proteções solares, *brise* e prateleira de luz, para o melhoramento do desempenho térmico do ambiente é inegável, quanto ao sombreamento gerado pelas mesmas, ver Figura 149, elas protegem a fachada e principalmente as superfícies translúcidas, como um vidro comum que pode absorver 87% da radiação solar incidente, da isolação direta evitando seu aquecimento superficial, o que reduz a contribuição que a mesma possa ter para o calor que é acumulado nas superfícies externas e depois levado ao interior do ambiente por condução através das paredes, e ainda bloqueia a insolação direta de penetrar no ambiente, como nota-se na foto inferior direita de Figura a seguir, o ambiente sem proteção recebendo insolação direta próximo a janela, provocando ofuscamento nessas áreas e aumentando o contraste entre as áreas próximas a janela, mais clara e as áreas mais ao fundo ambiente mais escuras, devido a grande diferenças dos níveis de iluminância entre elas. O contraste é amenizado com as proteções solares onde não há penetração de insolação direta no ambiente, os níveis de iluminância são reduzidos, porém não há ofuscamento por insolação direta e devido a isso o contraste é reduzido entre as áreas próximas e mais distantes à janela, pois a diferença das iluminâncias é menor entre as mesmas melhorando a distribuição de iluminação ao longo do ambiente.

Figura 149 - Modelos, mostrando o sombreamento gerado as 10:30h, na fachada externa e no interior do modelo

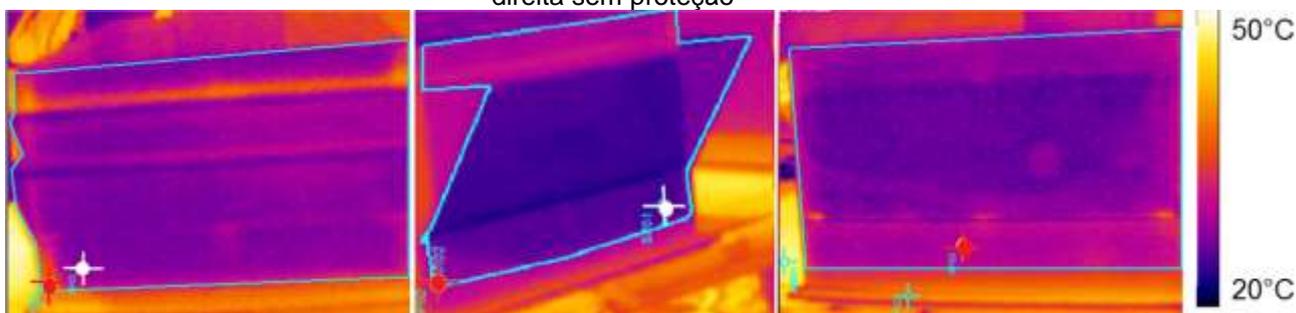


Fonte: Arquivo pessoal

A redução da temperatura das superfícies através do sombreamento, é um fator de grande importância, tanto para o edifício quanto para a cidade, estar em uma condição ar-sol ou ar-sombra em uma região como Belém onde as temperaturas são elevadas até mesmo a noite, acima de 25°C e umidade também, em torno de 80%, é um fator determinante para a condição de conforto, o acesso a ventilação que poderia amenizar estas variáveis, é reduzido no meio urbano, devido ao bloqueio pelas próprias edificações, tornando a contribuição das superfícies de grande importância, para o aquecimento, os pisos pavimentados e as superfícies horizontais e verticais dos edifícios cada vez maiores e expostos a insolação são determinantes para o aquecimento do ar na cidade.

Para demonstrar a importância de ter uma condição ar-sombra que o sombreamento das proteções solares pode causar em uma superfície vertical, na redução da própria temperatura, verificou-se através do imageamento térmico, ver Figura 150, as temperaturas superficiais encontradas no momento em que os modelos foram retirados do resfriamento e expostos insolação, utilizando-se a escala de temperatura de 20°C à 50°C, nota-se nos modelos com proteções solares à, esquerda na fachada com prateleira de luz, o ponto vermelho que está exposto a insolação registra uma temperatura superficial de 32,9°C, enquanto que na mesma fachada a uma condição ar-sombra, ponto branco, a temperatura registrada é de 30,7°C, para o *brise*, foto centro, a temperatura ar-sol registrada na fachada é de 31°C e a temperatura ar-sombra 28,9°C e a temperatura na fachada com sem proteção, ar-sol, registrada foi de 33,8°C, obtendo-se diferenças de até 2°C.

Figura 150 - Imageamento térmico das fachadas, à esquerda com prateleira, ao centro om *brise* e à direita sem proteção



Fonte: ThermalCam Researcher Pro 2.9

## 5.2 QUANTO AOS MODELOS EM ESCALA

As discussões sobre os modelos em escala adotados permitem concluir que a aplicação de um modelo em escala reduzida gerou uma curva de aquecimento muito rápida (15 minutos), devido a baixa inércia térmica do papel maquete, pois segundo FROTA e SCHIFFER, 2003 uma parede apresenta maior ou menor inércia segundo seu peso e sua espessura, tendo os revestimentos importante papel, pois revestimentos isolantes reduzem as trocas de calor com a parede e reduzem sua inércia, logo o calor atravessará rapidamente o fechamento, levando a um aquecimento rápido. O que poderia ser resolvido com um material de maior inércia ou com um modelo de maior volume o que implicaria também em maior inércia, aquecendo-se mais lentamente, e talvez gerando uma diferenciação talvez mais visível entre as curvas de aquecimento.

A escala do modelo de *brise* e prateleira de luz demonstra que os sistemas são muito equivalentes, não geram grande diferença significativa entre eles. Existe uma margem pequena de diferença entre os sistemas, que pode estar sendo mascarada no ganho pela envoltória, por isso a necessidade de refinar através de uso de materiais reflexivos, nas bandejas horizontais da prateleira de luz, maximizando a reflexão da luz para o interior. Macedo e Pereira (2003) também trabalharam com modelos em escala em céu real de Florianópolis (latitude 27°S) e comprovaram que a prateleira de luz espelhada promoveu melhor distribuição interna da luz e menor ganho de calor em relação à abertura sem proteção". Sem variação de materiais questiona-se apenas a geometria dos sistemas que pode ser muito equivalente.

Sabe-se que mais luz significa mais carga, uma vez que parte da iluminação é carga térmica, para melhorar o desempenho entre eles pode-se utilizar materiais reflexivos na prateleira para obter mais luz para dentro do ambiente, trabalhando as áreas de projeção direta de insolação direta e difusa por horários verificando a contribuição de cada área seletivizando a entrada da carga térmica.

Existe uma contribuição importante por albedo, que é a radiação (luz e carga) que incide no piso abaixo da proteção solar e é refletida para o interior do ambiente pela mesma, o *brise* contribui mais com este ganho, pois a sua bandeja horizontal é mais extensa (1.25m) enquanto que o albedo enxerga apenas uma bandeja da prateleira de luz a mais inferior (0.85m), o que pode contribuir para o

aquecimento junto a fachada, e acúmulo de calor sob a bandeja horizontal, e o aquecimento da própria bandeja como uma superfície horizontal que recebe carga térmica intensa pode ser transportada (refletida) para a fachada aquecendo-a e fazendo com que ela transporte carga para o interior do ambiente. Pode dificultar a ação da ventilação para dissipar o calor, formando uma camada de ar aquecido abaixo e acima da bandeja horizontal.

No experimento foi eliminado os ganhos por albedo do *brise*, mas não da parte superior da bandeja maior da prateleira de luz, isto é, mesmo com esta contribuição para o aumento dos ganhos de calor, pouca diferença entre os sistemas foi encontrada, o que pode estar pouco evidente devido a escala de experimentação.

### 5.3 QUANTO AO IMAGEAMENTO TÉRMICO INFRAVERMELHO

Quanto ao imageamento infravermelho (IFR), sabe-se que o referencial teórico não contempla nenhuma avaliação de aquecimento em função de maiores contribuições de luz natural, no que diz respeito a *brises* em comparação com prateleira de luz, por isso a necessidade de construção dos processos metodológicos e de refinamentos ainda é necessária, quanto a escala de experimentação, curvas de aquecimento etc.

Somente o IRF não foi suficiente para dizer se os modelos utilizados se aquecem mais que o outro ou não, porque não é possível controlar todas as variáveis envolvidas como, por exemplo, a condição de simultaneidade na obtenção das imagens IFR impactou os resultados, mas é um indicativo do comportamento dos sistemas, sendo as temperaturas monitoradas por termopar mais significativas quanto a busca de diferenciais, no entanto os sistemas podem ter apresentado diferenciais indicativos.

Verificou-se a necessidade de refinamento na metodologia utilizada no experimento para sanar variações de interferências externas, como a não simultaneidade das medições IFR necessitando em uma reaproximação, a utilização de três câmeras, cada uma para avaliação de cada modelo, e adaptação do deck experimental para o imageamento térmico, uma vez que o ideal seria ter-se posições sempre constantes previamente definidas para a obtenção das imagens sempre nas mesmas posições nos modelos e permitir um espaço em volta mais amplo para realização das tomadas de IFR de forma perpendicular a todas as superfícies o que

não ocorreu nas imagens frontais registradas dos modelos, devido a falta de espaço, neste processo experimental, ver Figura 151.

Figura 151 - Obtenção da imagens IFR frontais dos modelos, com a câmera FLIR I60 portátil.



Fonte: Arquivo pessoal

Pode-se verificar ainda distorções quanto aos ângulos de obtenção das imagens, por isso existiu a necessidade de sair da mensuração externa IFR para a mensuração interna com TG e TBS, como um processo de refinamento e complementaridade da avaliação do desempenho térmico e a para assegurar o processo metodológico.

O IFR nos permite um bom acompanhamento dos níveis de aquecimento e resfriamento, para o controle da temperatura basal dos sensores, porém ainda não obteve-se respostas para as diferenças nas curvas de aquecimento relativas ao desempenho térmicos distintos entre os modelos.

O infravermelho demonstrou, a temperatura superficial da fachada com o *brise* aquecendo-se mais, devido ao rebatimento de energia pela face superior, possivelmente devido à bandeja horizontal do *brise* exposta a insolação que por ter maior área que a bandeja horizontal da prateleira, que tem sua bandeja inferior em parte sombreada, apresentou-se mais aquecida.

#### 5.4 QUANTO AS ILUMINÂNCIAS INTERNAS

Quanto as iluminâncias verificou-se a impossibilidade de uso dos hobos, como medidor de iluminância externa, quando os níveis de iluminância forem superiores a 30Klux. Para o recorte de 9h as 15h, para o qual foram projetadas as proteções solares e foram realizadas as medições as iluminâncias externas encontradas foram de até 90Klux, isto torna o uso do luxímetro HOMIS fundamental para a verificação da quantidade de luz interna com relação a externa através do coeficiente de luz diurna (CLD).

#### 5.5 QUANTO A EQUIVALÊNCIA ENTRE SENSORES E A PONDERAÇÃO DOS RESULTADOS

Sobre a aplicação das técnicas de regressão pode-se afirmar que é fundamental entender e conhecer a os procedimentos de regressão quando se trabalha com diversos sensores em medições simultâneas, para excluir a possibilidade de interferências nas medições das variações existentes entre eles, os dados apresentados com pouca variação podem ser produto desta variação entre sensores, o processo de regressão foi realizado porém verificou-se que uma equação de primeiro grau, não resolve a regressão, apenas não diminui a discrepância seja para os hobos H08 U12 e/ou HOMIS. Sendo necessários sucessivos procedimentos analíticos comparativos para recompor as curvas de regressão tornando-se de fato instrumento para convergência de leituras. Após aplicada a regressão mantém uma amplitude muito grande entre as curvas, ela apenas corrige as oscilações nas curvas, mas não aproxima de fato as demais curvas à curva padrão, o que para os experimentos realizados seria fundamental.

Os dados de correlação estão próximos a um, sendo uma correlação forte entre as retas, porém isso não é um demonstrado nos gráficos onde as curvas continuam distantes uma das outras.

As curvas de regressão são adequadas para identificar sensores que tem sua expressão de valores físicos mais próximas (com igual acurácia) e assim facilitar a identificação de fenomenologias diferenciadas. Se as curvas respondem adequadamente a idêntica condição física, podemos então estabelecer qual o desvio, seja pela regressão, ou apenas por um *offset* de valores. Tais situações

levou a uma série de demonstrações que culminaram em complementariedade de atitude como seleção por acurácia e demonstração de técnicas de tratamento de dados por regressão aliada a técnicas de mensuração via CLD. Utilizar curvas regredidas, neste caso, nesta escala pode não ter sido adequada, pois pode ter mascarado com a expressão o diferencial entre as fenomenologias pertinentes a contribuição de iluminâncias e temperaturas, em outras palavras anulando diferenciais, amortecendo resultados que não sejam o suficientemente quantitativo para sobrepor-se as correções da expressão de regressão. (informação verbal)<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Informação fornecida pelo orientador Prof., Dr. Irving Montanar Franco, durante orientação de revisão, em 2015

## CONCLUSÃO

É necessário sempre ter cautela na utilização de simulações computacionais e métodos experimentais como o imageamento térmico, toda análise deve ser realizada sempre observando os conceitos estudados e só pode ser “fechada” mediante aproximações sucessivas e discussões que levem ao refinamento dos métodos utilizados e da análise dos resultados obtidos.

Deve-se ter cuidado para conduzir os resultados à correta validação e reprodutibilidade, um olhar sobre um resultado puro e simplesmente, sem uma investigação, pode prejudicar o processo metodológico e ferramental, apresentando distorções muitas vezes graves fruto de uma análise superficial.

A aplicação do método CSTB<sup>19</sup> analisa as proteções solares como se fossem iguais “enxerga” apenas o ângulos de mascaramento que , nesse caso é o mesmo para o *brise* e para a prateleira de luz, gerando um mesmo perfil de obstrução de 9h às 15h, e uma redução de 40,14% das carga térmica da fachada norte onde são aplicados os sistemas, conforme corroborado nas figura 56, figura 57 e tabela 6Tabela 6, página 81.

Nas simulações nos *softwares* apesar de apresentaram diferenças muito pequenas, pôde-se obter um indicativo no Ecotect v.5.2 de que a prateleira de luz ao centro do ambiente altera os níveis de iluminância, 3m a 6m, com diferença de 300lux (300-600lux para 600-900lux) e no Relux 2006 de 2m à 4m, mais acentuada de 2m a 3m, com diferenças de 200 lux (até 300lux para até 500 lux), o que implicou em investigação complementar, por meio experimental, obtendo-se a corroboração através do coeficiente de luz diurna (CLD)

As medições de temperatura geram valores muito próximos entre prateleira de luz e *brise*, não sendo suficientes para concluir de fato qual sistema de proteção se aquece mais, pois não apresentaram diferenças significativas.

Nas medições de iluminâncias com hobo U12 a prateleira de luz revelou níveis significativamente mais elevados próximos à janela (2m) com relação ao *brise*, porém ao fundo do ambiente (6m) apresentou um indicativo de diferença de 500lux com relação ao *brise* apenas de 11h à 13h30min.

---

<sup>19</sup> Adaptado por FROTA e SCHIFFER, método analítico-geométrico por representação de mascaramento. s

Nas aferições de CLD com luxímetro Homis, tanto nas primeiras quanto no último refinamento de sensores, também corroborou o indicativo das simulações, com a disponibilidade de luz no centro do ambiente sendo maior com prateleira de luz do que com *brise*, ao fundo verificou-se desempenho similar.

Os processos de regressão apresentaram-se satisfatórios quanto à seleção e aferição dos sensores, sendo um meio para a definição de sensores de referência ao identificarem os sensores com comportamentos mais próximos.

Recomenda-se o uso da prateleira de luz para melhorar a distribuição de luz no ambiente, uma vez que sabe-se que ela reduz as diferenças entre os níveis mais próximos e distante da janela (fonte de luz) reduzindo o ofuscamento e melhorando a qualidade visual do ambiente, porém para melhorar o desempenho desse sistema recomenda-se o uso de materiais reflexivos nas bandejas horizontais para maximizar os incrementos de luz natural no ambiente.

Deve-se realizar processos de regressão sempre que houver uso de mais de um sensor nas mensurações, sem isso pode-se estar apresentando apenas diferenças entre os sensores e não entre os sistemas de janelamentos estudados.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação - Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro, ago. 2002.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6024: Informação e documentação – Numeração Progressiva das Seções de um documento – Apresentação**. Rio de Janeiro, 2012.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6027: Informação e documentação - Sumário – Apresentação**. Rio de Janeiro, 2012.
- \_\_\_\_\_. **NBR 14724: Informação e documentação - Trabalhos acadêmicos - Apresentação**. Rio de Janeiro, 2011.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10520: Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação**. Rio de Janeiro, ago. 2002.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15215-1: Iluminação Natural – Parte 1: Conceitos Básicos e Definições**. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15215-3: Iluminação Natural – Parte 3: Procedimento de Cálculo para determinação da iluminação natural em ambientes internos**. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15215-4: Iluminação Natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento Bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.
- BILL, Max. O arquiteto, a arquitetura, a sociedade in: **Depoimento de uma geração: arquitetura moderna brasileira**. Organizado por Alberto Xavier. Edição revisada e ampliada. Cosac e Naify, São Paulo, 2003, p. 158-163.
- BORMANN, Oto Roberto. **Iluminação Natural em Salas de Aula de Escritórios com Uso de Prateleiras de Luz**. Dissertação de Mestrado, CEFET, Paraná, 2003.
- BERTOLOTI, Dimas. **Iluminação Natural em Projetos de escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade e conservar energia**. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 2007.
- CÂNDIDO, Christina; TORRES, Simone; CABÚS, Ricardo. **Análise da Utilização de Prateleiras de Luz em Edifício de Pesquisa da UFAL, Maceió-AL**. ENCAC-ENELAC, 2005. Maceió, Alagoas, 2005.
- CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.
- CHUTARAT, Acharawan. **Experience of light: The use of inverse method and a genetic algorithm in daylighting design**. Tese de Doutorado. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts 2001.
- COUTINHO, Mónica Sofia. **Avaliação Das Condições De Iluminação Natural Através De Simulações Em Modelos Virtuais: O estudo De Caso Da Reitoria Da Universidade Nova De Lisboa**. Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2009

DUTRA, Luciano; LAMBERTS, Roberto; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª edição, revisada. São Paulo: Pró Livros, 2004.

FRANCO, Irving Montanar; SILVA, Marcelle Vilar da; ROCHA, Isabela C. M. Avertano; PINHEIRO, Dorival Freitas; LIMA, Adry Kleber Ferreira de . **Garantias ao direito de acesso à ventilação natural: um referencial para qualidade ambiental urbana**. II Seminário Nacional sobre Documentação do Patrimônio Arquitetônico com Uso de Tecnologias Digitais – ARQDOC. Belém, 2012.

\_\_\_\_\_. **Efficacy of Light Shelves: Passive, Dynamic, and Automatic Devices Related to Light and Thermal Behavior**. ASHARE, 2007.

\_\_\_\_\_. **Desempenho de um Brise-Soleil Automático Tipo Prateleira de Luz em Função da Luminosidade e Temperatura**. Tese de doutorado. USP, São Paulo, 2003.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico: arquitetura, urbanismo**. 6. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

FUNARO, Vânia Martins Bueno de Oliveira; PESTANA, Maria Cláudia; GARCIA, Eliana Maria; REBELLO, Maria Alice de França Rangel; AYELLO, Maria Aparecida Bezerra; CARVALHO, Maria José de Jesus; NASCIMENTO, Maria Marta; PASCHOALINO, Rosana Alvarez; CARDOSO, Suely Campos; LOMBARDI, Valéria de Vilhena. **Diretrizes para apresentação de dissertações e teses da USP: documento eletrônico e impresso. Parte I (ABNT)**. 2ª edição, revisada e ampliada. Universidade de São Paulo. Sistema integrado de bibliotecas – sibi/USP. São Paulo, 2009.

GONCALVES, Joana Carla Soares; VIANNA, Nelson Solano; MOURA, Norberto Correa da Silva. **Iluminação Natural e Artificial**. PROCEL EDIFICA/ELETROBRÁS, Rio de Janeiro, 2011.

GONÇALVES, Regina. **Bioclimática - Repisas reflectantes, prateleiras de luz, lightshelves**. Disponível em : < <http://bioclimaticarquitectura.blogspot.com.br/2009/11/repisas-reflectantes-prateleiras-de-luz.html>> Acesso em 17 fev. 2012.

GUTIERREZ, Grace C. R; LABAKI, Lucila. **Avaliação de desempenho térmico de dispositivos de proteção solar**. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Curitiba, 2003.

GUTIERREZ, Grace C. R; LABAKI, Lucila. **Avaliação de desempenho térmico três tipologias de brise-solei fixo**. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Alagoas, 2005.

G. Z., Brow; DEKAY, Mark; trad. Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra. **Sol, vento e luz : estratégias para projeto de arquitetura**, 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

GRAZIANO JUNIOR, Sigfrido. F. C. G. **Iluminação natural: utilizar a luz solar diz respeito à eficiência energética, conforto visual e práticas sustentáveis**, 21 de dezembro de 2010. Disponível em : < <http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/iluminacao-natural/>> Acesso em 17 de fev. de 2012.

KIM, Gon; LIM, Hong Soo; LIM, Tae Sub; SCHAEFER, Laura; KIM, Jeong Tai. **Comparative advantage of an exterior shading device in thermal performance for residential buildings**. Energy and Buildings, 2012.

MACÊDO, Catharina Cavalcante de. **Análise do desempenho térmico e luminoso de sistemas de iluminação natural que utilizam a luz direta do Sol**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MAGALHÃES, Marcos Nascimento; LIMA, Antônio Carlos Pedroso de. **Noções de Probabilidade e Estatística** - 6 ed. rev. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MARSH, Andrew. **ECOTECT – Versão 5.2**

MINISTERIO DO DESENVOLVIMENTO, INDUSTRIA E COMERCIO EXTERIOR. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. Portaria n.º 373, de 17 de setembro de 2010. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**, 2010.

NASCIMENTO, Cicerino Cabral do. **Clima e Morfologia Urbana em Belém**. Belém: UFPA, NUMA, 1995.

PENA, Maria das Graças da Silva; MELO, Hilma Celeste Alves. **Trabalhos acadêmicos: Roteiro para apresentação de acordo com a ABNT**. Universidade federal do Pará, sistema de bibliotecas, biblioteca central Prof. Dr. Clodoaldo Beckmann. Belém, 2010. Disponível em : < <http://www.bc.ufpa.br> > Acesso em 29 de ago. de 2013.

RORIZ, Maurício. **Arquitrop: Conforto Térmico e Economia de Energia nas Edificações** – Manual do Usuário. Sistema Integrado de rotinas e bancos de dados para apoio às atividades de projeto em Arquitetura e Engenharia Civil.

RORIZ, Maurício. **LUZ DO SOL – Versão 1.1** . Radiação Solar e Iluminação Natural.

REDEMET – Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica. **Estação Meteorológica do Aeroporto de Belém**. Disponível em: <http://www.redemet.aer.mil.br/>, acessado em março de 2012.

SANTOS, Iara G. dos; SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de. **Proteções solares no Regulamento brasileiro de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 277-241, jan./mar. 2012

SCARAZZATO, Paulo Sergio. **Conceito de dia típico de projeto aplicado à iluminação natural: dados referenciais para localidades brasileiras**. Tese de doutoramento pela FAUUSP, São Paulo, 1995.

SOUZA, Fernando Koerich; ANTONIOLLI, Maicon Jones; SCHROEDER, Marcelo N.; BONILLA, Marcelo. **Arq5656 – conforto ambiental – iluminação. Análise de**

**iluminação do bar da nina**, 2009. Disponível em: <  
[http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5656/trabalhos\\_2002-1/bar\\_da\\_nina/  
bar\\_da\\_nina\\_2.htm](http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5656/trabalhos_2002-1/bar_da_nina/bar_da_nina_2.htm) > Acesso em 17 de fev. de 2012.

STEEMERS, Koen; BAKER, Nick V.; FANCHIOTTI, A. **Daylighting in Architecture: an European reference book**. London: James & James, 1993.

TANTERI, Mathew. **Seminário Illuminating Engineering Society (IES) de Iluminação Natural**. Tradução e adaptação livre: Paulo Scarazzato (1 a 152 slides).

**ANEXOS**

ANEXO A - Diferenças entre as temperaturas mínimas, médias e Dados climatológicos de Belém para o período de 1931 à 1960

<b>NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DE BELÉM – 1931 à 1960</b>										
<b>Temperatura do ar (°C)</b>				<b>Precipitação (mm)</b>		<b>Insolação (horas)</b>	<b>Evaporação (mm)</b>	<b>Umidade relativa do ar(%)</b>	<b>Pressão atm. (Mb)</b>	<b>Nebulosidade (0 a 10)</b>
<b>Mês</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>	<b>Méd.</b>	<b>Total Mensal</b>	<b>Total em 24h</b>					
JAN	31	22,6	25,6	318,1	78,2	156,6	49	88,8	1008,5	7,7
FEV	30,4	22,7	25,5	407,1	118,2	112,3	36,4	90,7	1008,8	8,3
MAR	30	22,8	25,4	436,1	102,1	102,2	36,8	90,7	1008,8	8,6
ABR	30,8	23	25,7	381,9	101,1	131,5	40,1	90,4	1009,1	8,2
MAI	31,4	22,9	26	264,5	125,6	195,8	56,9	87,2	1009,4	7,4
JUN	31,4	22,5	26	164,7	63	239,5	69,6	84,5	1010,6	6,1
JUL	31,7	22,2	25,9	160,9	102	268,1	76,7	83,2	1011	5,6
AGO	32	22,1	26	116,2	54,6	267,3	78,1	83,4	1010,5	5,2
SET	31,9	22	26	119,7	64,3	235,2	71,1	83,8	1009,9	5,6
OUT	32	22	26,2	104,6	64,3	247	75,1	82,8	1009,2	5,5
NOV	32,2	22,1	26,5	90,3	96,4	220,7	75,2	81,8	1008,2	6
DEZ	31,8	22,4	26,3	197,3	84,6	213,2	67,9	84,9	1008	6,8
ANO	31,4	22,4	25,9	2761,6	125,6	2389,4	734,9	86	1010,1	6,8

Fonte: Serviço de Metrologia do Ministério da Agricultura, 1975 apud NASCIMENTO, 1995, p. 48.

ANEXO B - Dados climatológico da estação metereológica do aeroporto de Belém  
de 1981 à 1990

DADOS CLIMATOLÓGICOS DE BELÉM - 1981 À 1990													
mês	1ª predominância		2ª predominância		média mensal (°C)	média men. das máx. diárias (°C)	média men. das mín. diárias (°C)	máx observada no mês (°C)	mín. observada no mês (°C)	média mensal da UR (%)	média mensal da press. Atmos.	Total mensal da precip. (mm)	Precip. Máx. em 24h (mm)
	direção	Vel. Med. (m/s)	direção	Vel. Med. (m/s)									
JAN	60	7	30	7	26	30,6	23,4	34,4	21,4	87	1008,6	420,6	70,9
FEV	30	6	60	7	25,8	30,1	23,4	33,8	21,4	88	1008,4	365,4	38
MAR	60	6	30	7	26	30	23,6	33,3	20,8	88	1008,6	431,5	60
ABR	90	6	30	6	26,2	30,5	23,8	38,5	20,2	88	1008,7	361,4	63,4
MAI	90	6	120	6	26,5	31,2	23,8	33,5	21,6	86	1009,2	282,5	62,2
JUN	90	6	120	6	26,8	31,6	23,6	35,5	21,9	83	1010,6	176,2	40,3
JUL	90	6	120	6	26,6	31,6	23,2	33,4	21,8	82	1011	186,6	54,7
AGO	90	6	60	6	26,7	31,9	23,3	34,2	20	82	1010,2	182,4	38,8
SET	60	6	90	7	26,7	31,7	23,2	33,5	20	82	1009,7	192,2	35,3
OUT	60	6	30	7	27	31,7	23,4	33,9	20	81	1008,8	119	41,2
NOV	60	6	360	9	27	31,8	23,6	37,2	20,8	81	1007,9	117,9	44,3
DEZ	360	9	60	7	26,7	31,3	23,6	37,2	21,5	84	1007,9	244,3	44,9
ANO	90	6	60	6	26,5	31,2	23,5	38,5	20	84	1009,1	3080	70,9

Fonte: REDEMET – Rede de Meteorologia da Aeronáutica

ANEXO C - Banco de dados climáticos do programa Arqitrop para a cidade de Belém

<b>BANCO DE DADOS CLIMÁTICOS PARA BELÉM LATITUDE: - 1.28°LONGITUDE: 48,27 ALTITUDE: 24°</b>											
	<b>MAX.</b>	<b>MIN.</b>	<b>AMPL</b>	<b>MED.</b>	<b>MED.</b>	<b>AMPL</b>	<b>UM</b>	<b>CHU</b>	<b>NEB</b>	<b>DIR</b>	<b>VEL</b>
	<b>ABS.</b>	<b>ABS.</b>	<b>ABS.</b>	<b>MAX.</b>	<b>MIN.</b>	<b>MED.</b>	<b>RL</b>	<b>TOT</b>	<b>MED</b>	<b>VEN</b>	<b>VEN</b>
JAN	34,6	19,5	15,1	31	22,6	8,4	89	318	7,7	90	2,6
FEV	33,7	20,2	13,5	30,4	22,7	7,7	91	407	8,3	90	2,6
MAR	34,5	19,6	14,9	30,3	22,8	7,5	91	436	8,6	90	3,1
ABR	34,1	21,1	13	30,8	23	7,8	90	381	8,2	90	3,1
MAI	34,1	20,4	13,7	31,4	22,9	8,5	87	264	7,4	90	2,6
JUN	34,1	20,2	13,9	31,8	22,5	9,3	84	164	6,1	90	3,1
JUL	34,2	19,5	14,7	31,7	22,2	9,5	83	160	5,6	90	3,1
AGO	34	19,1	14,9	32	22,1	9,9	83	116	5,2	90	3,1
SET	33,7	19,4	14,3	31,9	22	9,9	84	119	5,6	90	3,1
OUT	34,4	18,9	15,5	32	22	10	83	104	5,5	90	3,1
NOV	35,1	19,4	15,7	32,2	22,1	10,1	82	90	6	90	3,1
DEZ	35,4	19,3	16,1	31,8	22,4	9,4	85	197	6,8	90	3,1
ANO	34,3	19,7	14,6	31,4	22,4	9	86	2756	6,8	90	3,1

Fonte: Arqitrop 3.0

## ANEXO D - Valores de iluminância (klux) para Belém para céu parcialmente encoberto e planos verticais

TABELA DE VALORES DE ILUMINÂNCIAS (KLUX) PARA BELÉM - CONDIÇÃO DE CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO PARA PLANOS VERTICAIS																								
HORA	VERÃO								EQUINÓCIO								INVERNO							
	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO
8	1	19,4	31,2	29	14,8	6,6	4,8	5,1	17,9	34,3	36,2	21,8	8,4	5,9	5,6	2,7	16,3	31,1	33	20,1	7,9	5,4	5,2	7,1
9	11	29	49	46,7	24,3	10,3	7,9	8,1	26,9	48,7	49,4	28,4	11,5	8,8	8,7	11,3	25,7	47,1	48,2	27,9	11,1	8,4	8,3	10,8
10	13,4	29,5	52	52,6	30,8	13,6	10,9	10,9	33	51,9	48,8	26,3	13,6	11,4	11,7	14,5	32,1	51,8	49,4	27	13,3	11,1	11,3	14,1
11	14,8	22,6	43	48,7	34,8	16,5	13,9	13,4	36,8	46,3	37,7	18,2	14,8	13,9	14,7	17,5	36,2	47,4	39,6	19,6	14,7	13,5	14,3	17,1
12	15,7	17,1	26,7	38	37,2	25	16,8	15,6	38,8	34,7	21,2	16,4	15,4	15,8	17,6	29,9	38,5	36,5	23,7	16,6	15,4	15,6	17,2	27,9
13	15,6	15,5	16,6	24	37,1	38,9	27,9	17,2	37,7	21,4	15,7	14,6	15,1	17,3	32,2	42,8	37,9	23,2	16,1	14,9	15,2	17,1	29,7	40,9
14	14,8	13,3	13,7	16,3	34,6	49,2	43,9	23,2	34,6	15,6	12,8	12,3	14,1	24	45,8	50,8	35	16	13,2	12,7	14,3	22,8	44,1	49,8
15	13,2	10,7	10,7	13,3	30,4	52,6	52,2	29,7	29,4	12,5	9,8	9,7	12,3	28,5	50,7	51,1	30,2	12,9	10,2	10,1	12,7	28,2	50,4	51,3
16	10,8	7,9	7,7	10	23,7	45,9	48,2	28,7	21,4	9	6,7	6,9	9,6	25,2	42,6	40,7	22,7	9,5	7,2	7,3	10,1	26,1	44,4	42,8
17	7,2	4,9	4,6	6,3	14,1	27,4	29,5	18,4	10,7	5,1	3,6	3,9	5,8	13,4	21	19,6	12,4	5,7	4,1	4,3	6,5	15,4	24,6	23
18	2,7	1,6	1,5	2,2	4	6,4	6,9	4,8	1,6	0,8	0,5	0,6	1	1,9	2,8	2,6	2,8	1,5	1	1,1	1,8	3,3	4,7	4,4
TOTAL	120,2	171,5	256,7	287,1	285,8	292,4	262,9	175,1	288,8	280,3	242,4	159,1	121,6	166,1	253,4	283,5	289,8	282,7	245,7	161,6	123	166,9	254,2	289,2

Fonte: SCARAZZATO, 1995

ANEXO E - Valores de iluminância (klux) para Belém para céu parcialmente encoberto e plano horizontal

<b>VALORES DE ILUMINÂNCIAS (KLUX) DIRETA E DIFUSA PARA BELÉM - CONDIÇÃO DE CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO PARA PLANO HORIZONTAL</b>				
<b>HORA</b>	<b>Verão</b>	<b>Ooutono</b>	<b>Inverno</b>	<b>Primavera</b>
8	23,4	29	25,6	34,5
9	47,6	52,8	49,1	58,6
10	71,1	74,3	71,1	79,2
11	88,9	89,3	77,1	92,7
12	98,2	95,6	94,8	97,2
13	97,9	92,6	93,1	92
14	87,9	80,4	82,3	78
15	69,7	60,9	63,8	56,9
16	95,9	37,3	40,7	32,8
17	22	15,6	18,3	12,3
18	5,7	2,2	3,8	0,3

Fonte: SCARAZZATO, 1995

## ANEXO F - Especificações da Câmera Infravermelho FLIR A320

Imaging Performance	
Field of View	Built in 25° x 18.8°/0.4m (1.3 ft.)
Focusing	Auto focus, motorized manual
Detector Type	Focal Plane Array (FPA), uncooled microbolometer
Spectral Range	7.5 to 13.8 µm
Pixel Resolution	320x240
Measurement	
Temperature Ranges	-20°C to +120°C (-4°F to 248°F) 0°C to +350°C (32°F to 662°F) Optional up to +1200°C (2192°F)
Accuracy (% of Reading)	±2°C or ±2%
Image Presentation	
C-video	PAL/ NTSC (25/30 Hz or 9 Hz)
MPEG-4	RTSP/ RTP/ UDP Frame rate: dependent on image quality set (compression & size) and available network bandwidth Image size: 640x480/320x240/160x120.
16-bit Signal w. Radiometric data, FLIR proprietary	Frame rate: Maximum (7.5-8.5 Hz/ 5 Hz/2 Hz/1 Hz/0.5 Hz/0.2 Hz, 0.1 Hz. Image size: 320x240/160x120.
16-bit signal TCP/IP (DirectX)	What's achieved is dependent on image quality set size and available network bandwidth and CPU load
16-bit temp linear TCP/IP (DirectX)	
I/O Functionality	
Digital out: 2 Outputs, Opto-isolated, 10-30V supply, 100 mA	Alarm (Internal temp, Analog in, digital in) Program ctrl.
Digital in: 2 Inputs, Opto-isolated, 10-30V	Batch enable Store image ALARM Mark image (start/stop/time)

Environmental	
Operating Temperature Range	-15°C to +50°C (+5°F to +122°F)
Storage Temperature Range	-40°C to +70°C (-40°F to +158°F)
Humidity (operating and storage)	IEC 60068-2-30/24 h 95% relative humidity +25°C to +40°C (+77°F to +104°F)
Encapsulation	IP 40 (IEC 60529)
Bump, Operational	25 g (IEC 60068-2-29)
Vibration, Operational	2 g (IEC 60068-2-6)
EMC	EN 61000-6-2:2001 (Immunity) EN 61000-6-3:2001 (Emission), FCC 47 CFR Part 15 Class B (Emission)
Physical Characteristics	
Weight, total for operational system	0.7 kg (1.54 lb.)
Size, Camera body including handle, L x W x H	170 x 70 x 70 mm (6.7 x 2.8 x 2.8 in.)
Base Mounting	2 x M4 thread mounting holes (on three sides)
Tripod Mounting	UNC 1/4"-20 (on three sides)
Included Components	
Power supply 90-220V AC in, 12V out	Part No. 1910585
Power cable	Standard 2-wire w/ground
Power cable to Camera pigtailed	Part No. 1910586
Video cable	BNC, 2m
Ethernet cable	CAT-5e, 2m
Utility CD with drivers	IP Config and IR Monitor programs
Accessories	
Telephoto lens, 15-degree	1196724
Wide angle lens, 45-degree	1196725
Hard case	1196940
ThermoVision SDK Toolkit	
ThermoVision LabView Toolkit	
ThermaCAM Researcher, v2.9 Basic	
ThermaCAM Researcher, v2.9V Professional	

Fonte: [www.goinfrared.com](http://www.goinfrared.com)

ANEXO G - Especificações do *Datalogger* HOBO U12

Measurement range	Temperature: -20° to 70°C (-4° to 158°F) RH: 5% to 95% RH Light intensity: 1 to 3000 footcandles (lumens/ft <sup>2</sup> ) typical; maximum value varies from 1500 to 4500 footcandles (lumens/ft <sup>2</sup> ) External input channel (see sensor manual): 0 to 2.5 VDC; 0 to 5 VDC (with CABLE-ADAP5) and 0 to 10 VDC (with CABLE-ADAP10)
Accuracy	Temperature: ± 0.35°C from 0° to 50°C (± 0.63°F from 32° to 122°F), see Plot A RH: +/- 2.5% from 10% to 90% RH (typical), to a maximum of +/- 3.5%. See Plot B. Light intensity: Designed for indoor measurement of relative light levels, see Plot D for light wavelength response External input channel (see sensor manual): ± 2 mV ± 2.5% of absolute reading
Resolution	Temperature: 0.03°C at 25°C (0.05°F at 77°F), see Plot A. RH: 0.03% RH External Input Channels: 0.6 mV
Drift	Temperature: 0.1°C/year (0.2°F/year) RH: <1% per year typical; RH hysteresis 1%
Response time in airflow of 1 m/s (2.2 mph)	Temperature: 6 minutes, typical to 90% RH: 1 minute, typical to 90%
Time accuracy	± 1 minute per month at 25°C (77°F), see Plot C
Operating temperature	Logging: -20° to 70°C (-4° to 158°F) Launch/readout: 0° to 50°C (32° to 122°F), per USB specification
Battery life	1 year typical use
Memory	64K bytes (43,000 12-bit measurements)
Weight	46 g (1.6 oz)
Dimensions	58 x 74 x 22 mm (2.3 x 2.9 x 0.9 inches)
	The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU).

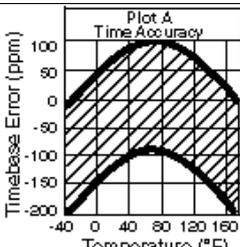
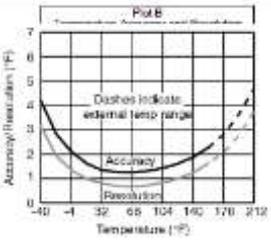
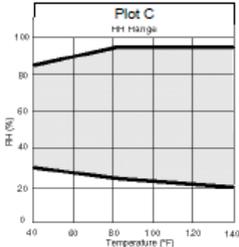
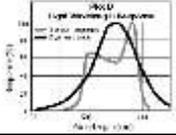
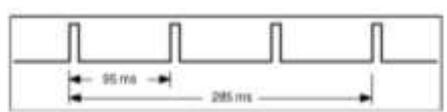
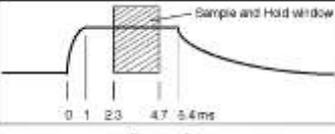
Fonte: <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-012>

## ANEXO H - Especificações da Câmera Infravermelho I60

Modelos	FLIR i60/b60
Características	
Faixa de temperatura	i60 (-20 à 350°C) b60 (-20 à 120°C)
Precisão	± 2°C ou ±2%
Sensibilidade térmica	i60: 100mK b60: 80mK (20% superior)
Resolução infravermelha	32.400 píxels
Campo de Visão (FOV)	25° X 25°
Câmera digital	2,3 Megapíxel
Lanterna incorporada	Sim
Fusão (PIP)	Sim, Dimensionável
Laser	Sim
Indicador de posição do laser no Display	Sim
Ferramentas de Medição	Área (Mín. e Máx.) Ponto
Duração da Bateria	5 horas (pode ser substituída em campo)
Armazenamento	Cartão micro SD ou Pen-Drive

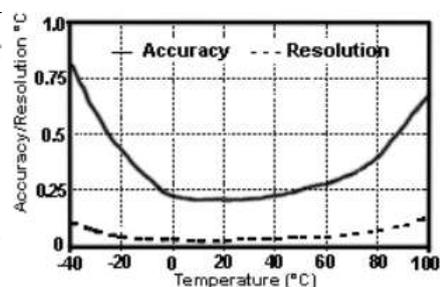
Fonte: <http://www.flir.com/thermography/americas/br/content/?id=14608>

ANEXO I - Especificações do *data*logger HOBO H8 family

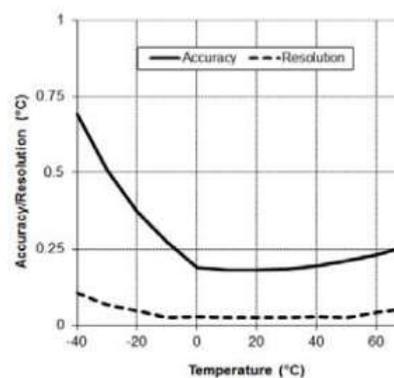
Common Specifications	
<p>Operating range (logger): -20°C to +70°C (-4°F to +158°F), 0 - 95% RH non-condensing            Time accuracy: approx. ±1 minute per week (±100 ppm at +20°C or +68°F), full dependence shown in Plot A            Measurement capacity: 7944 measurements total, stored in non-volatile memory            Size: 2.4" x 1.9" x 0.8"            Weight: approximately 1 oz.            Battery: CR-2032 (lithium) user-replaceable            Battery life (continuous use): 1 year            Storage temperature: -40°C to +75°C (-40°F to +167°F)</p>	
Measurement Specifications	
<p><b>Temperature</b> - Each HOBO H8 logger has an internal temperature sensor on a 4 inch wire which is mounted on the circuit board inside the snap lid case. Typically, the sensor is left inside the case and measures ambient air temperature over the operating range of the logger; -20°C to +70°C (-4°F to +158°F) with a response time of about 15 minutes in still air typical to 90%. The internal sensor can be placed outside the case when a shorter response time is needed (less than 1 minute in air and about 2 seconds in water typical to 90%). The temperature sensor is capable of measuring temperature from -40°C to +120°C (-40°F to +248°F) when extended from the case (see Using the sensor outside the box for more information). The HOBO's temperature resolution and accuracy are shown in Plot B. This error includes the measurement uncertainty due to the sensor resolution.</p>	
<p><b>Relative Humidity</b> - The HOBO's user-replaceable relative humidity sensor is temperature compensated, and the logger's relative humidity accuracy is ±5% over the entire +5°C to +50°C (+41°F to +122°F) operating range of the sensor when used with BoxCar Pro 4.3 or BoxCar 3.7.3 or later version. NOTE: Accuracy specifications reflect improvements made to BoxCar Pro 4.3 and BoxCar 3.7.3. Earlier software versions provide ± 5% accuracy except in elevated humidity environments (60% to 95% non-condensing and non-fogging where accuracy is ±10%). Upgrading to BoxCar Pro 4.3 or BoxCar 3.7.3 or later version will bring all current and old data file accuracy to ±5% for the full operating range. The relative humidity sensor's operating RH range is 25% to 95% at +25°C (+77°F) for logging intervals of 10 seconds or longer. Full dependence shown in Plot C. RH sensor drift is &lt; 1% per year. <b>NOTE: The HOBO's RH sensor will be damaged by condensation. It must not be exposed to fog, mist or other condensing conditions!</b></p>	
<p><b>Light Intensity</b> - The HOBO's light intensity sensor approximates the sensitivity of the human eye. The sensor's response versus light wavelength is shown in Plot D (gray line), along with the eye response (black line). The nominal range is 2 to 600 footcandles (lumens/ft<sup>2</sup>); maximum value can vary from 300 to 900 footcandles (lumens/ft<sup>2</sup>). The sensor's angular response is roughly cosine dependent, with 0° being directly above the sensor.</p>	
<p><b>External Input with Onset Sensors</b> - The HOBO H8 loggers accept a range of Onset temperature and AC current sensors. For compatible sensors, see the HOBO atalog, contact Onset or contact your Onset authorized dealer. When using multiple voltage inputs, current inputs, or a combination of both input types, keep in mind that the (-) from your current source(s) and the (0V) line of your voltage source(s) will be tied together when installed on the logger. The lines must be at the same voltage potential or inaccurate readings or even damage to the logger may occur. At the logger, the common line that these external sensors share is not connected to the ground of the logger's PC interface cable jack. The (-) line of any 4-20mA cable or the (0V) line of any Voltage input cable should be kept floating or isolated from ground to avoid damaging your logger, especially when the PC interface cable is also connected.</p>	
<p><b>4-20 mA Input cable</b> - This cable (part number CABLE-4-20mA) measures currents from 0 to 20.1 mA. The accuracy is ±0.1mA ±3% of reading. The 4-20 mA cable must be connected such that the current flows through, and with the proper polarity, as shown in Diagram A. Do not expose to current above 20 mA or egative current. Do not cut off the end of the gray cable where it connects to the blue and yellow wires as that contains the precision resistor required for current measurement</p>	
<p><b>External Input for Sensors with Voltage Output</b> The external port can alternatively accommodate a voltage input cable (Onset part number CABLE-2.5- Stereo) which allows a single voltage input to be recorded. This input reads 0 to 2.5 DC volts, with a ±0.1 µA maximum leakage between measurements and a ±0.4 µA during sensor measurements (5.4 ms each). The accuracy is ±10 mV ±3% of reading. Input impedance is 10kΩ. The input line should not be exposed to signals below 0 volts or above 2.5 volts.</p>	
<p><b>Switched 2.5 V Output</b> - This signal can be used to power a sensor directly (like the H8's external temperature sensor) or it can be used to trigger an external circuit. External sensors should draw no more than 2 mA when powered. The switched 2.5 V output blinks on for about 5.4 ms every time a measurement is made of any channel. A logger with four channels enabled will cause four blinks after each measurement interval expires. The external channels are the last of the blinks whether one, two, three or four channels are enabled. The four enabled channels example is shown in Diagram B. Details of the blink - The input is sampled at a specific point in each blink in Diagram C. The start of the sample window is 2.3 ms after the beginning of the blink, and end 2.4 ms later</p>	
 <p style="text-align: center;">Diagram B</p>	 <p style="text-align: center;">Diagram C</p>

## ANEXO J - Especificações do Sensor de Temperatura TMC50-HD

TMCx-HD Water/Soil Temperature Sensor	
For use with HOBO® U12 series data loggers and ZW data nodes	
<b>Sensor enclosed:</b>	
<input type="checkbox"/> Part No. TMC1-HD (1 ft.)	<input type="checkbox"/> Part No. TMC6-HD (6 ft.)
<input type="checkbox"/> Part No. TMC20-HD (20 ft.)	<input type="checkbox"/> Part No. TMC50-HD (50 ft.)
<b>Specifications</b>	
Measurement Range	-40° to 50°C (-40° to 122°F) in water; -40° to 100°C (-40° to 212°F) in air
Accuracy with U12	±0.25°C from 0° to 50°C (±0.45°F from 32° to 122°F), insert probe 2.3 cm (0.9 inches) minimum; see Plot A
Accuracy with ZW	±0.21°C from 0° to 50°C (±0.38°F from 32° to 122°F); see Plot B
Resolution with U12	0.03° at 20°C (0.05° at 68°F); see Plot A
Resolution with ZW	0.02°C at 25°C (0.04°F at 77°F); see Plot B
Drift	<0.1°C (<0.2°F) per year
Response time in air	2 min. typical to 90% in air moving 1 m/sec (2.2 mph)
Response time in stirred water	30 sec. typical to 90%.
Operating range	Sensor tip and cable immersion in fresh water up to +50°C (122°F) for 1 year
Housing	Copper-plated sensor tip
Dimensions	5.1 x 33 mm (0.2 x 1.3 inches)
Weight	34 g (1.1 oz)



Plot A



Plot B

Fonte : <http://www.onsetcomp.com/products/sensors/tmc50-hd>