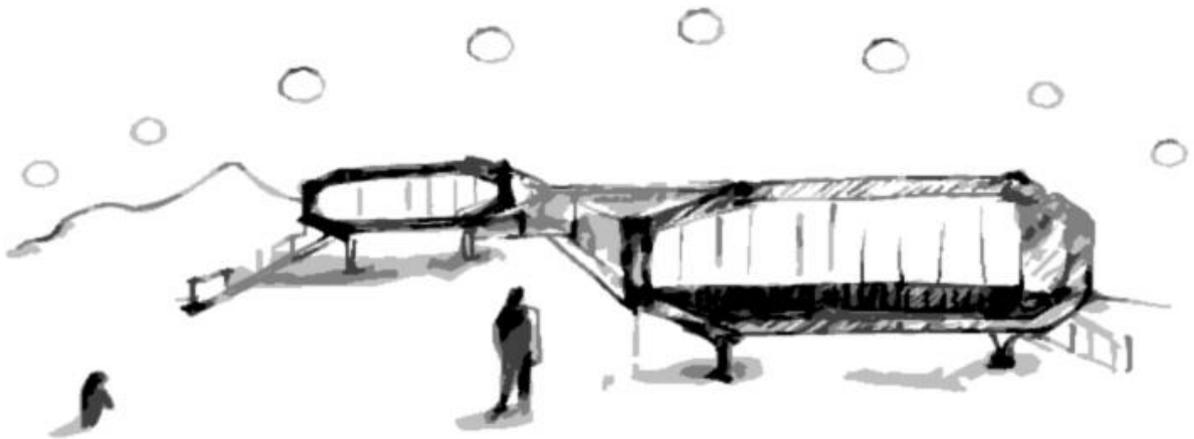


Universidade Federal do Espírito Santo  
Departamento de Engenharia Civil  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Daniela Pawelski Amaro Marins**



## **METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO LUMÍNICA: ESTUDO DE CASO ESTAÇÃO ANTÁRTICA COMANDANTE FERRAZ**

VITÓRIA

Março de 2018

Universidade Federal do Espírito Santo  
Departamento de Engenharia Civil  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

DANIELA PAWELSKI AMARO MARINS

## **METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO LUMÍNICA: ESTUDO DE CASO ESTAÇÃO ANTÁRTICA COMANDANTE FERRAZ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito final para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração Construção Civil.

**Orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cristina Engel de Alvarez.**

VITÓRIA  
Março de 2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial Tecnológica,  
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)  
Sandra Mara Borges Campos – CRB-6 ES-000593/O

---

M339m Marins, Daniela Pawelski Amaro, 1977-  
Metodologia de avaliação lumínica : estudo de caso Estação  
Antártica Comandante Ferraz / Daniela Pawelski Amaro Marins.  
– 2018.  
153 f. : il.

Orientador: Cristina Engel de Alvarez.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade  
Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Estação Antártica Comandante Ferraz. 2. Iluminação. 3.  
Iluminação natural. 4. Iluminância de interiores. 5. Desempenho  
lumínico. I. Alvarez, Cristina Engel de. II. Universidade Federal  
do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 621

---

DANIELA PAWELSKI AMARO MARINS

**METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO LUMÍNICA: ESTUDO DE CASO ESTAÇÃO  
ANTÁRTICA COMANDANTE FERRAZ.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo,  
como requisito final para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Civil.

Aprovada em 28 de março de 2018.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cristina Engel de Alvarez  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientadora

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Geilma Vieira  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Membro interno PPGEC

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Andrea Coelho Laranja  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Membro externo

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> María Beatriz Piderit Moreno  
Universidad del Bío-Bío, Chile  
Membro externo

## AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof. Cristina Engel de Alvarez, por receber a mim e esta pesquisa com carinho, compreendendo as minhas limitações, mas acima de tudo fazendo-me acreditar que sou capaz de ir além. Muito obrigada pelos valiosos ensinamentos.

À professora Edna Nico-Rodrigues, agradeço, especialmente, pela amizade, presteza, paciência e pelas diversas vezes em que se disponibilizou a ajudar e trocar ideias, fornecendo preciosas contribuições para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP/UFES) pela oportunidade de pesquisar em um ambiente perfeito e aos colegas pelo compartilhamento de informações e pela prazerosa companhia, especialmente Márcia, Marina, Rhaina, Brenda, Stella, Carla e Professora Karla Conde. Agradeço também ao Jordano pelo suporte e auxílio, sobretudo quando algo dava errado nos programas computacionais.

Ao meu esposo, Guto, por todo apoio, amor, incentivo e amizade. Agradeço pelo esforço e cuidado comigo e com nossos filhos; pelo suporte financeiro e pela compreensão da rotina de uma estudante de mestrado.

Aos meus pais, que sempre me apoiam em todos os meus sonhos.

Aos meus filhos, razão de toda minha responsabilidade e persistência no caminho do amor.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa concedida, possibilitando-me a realização desta pesquisa.

Si cada día cae  
dentro de cada noche,  
hay un pozo  
donde la claridad está encerrada.

Hay que sentarse a la orilla  
del pozo de la sombra  
y pescar luz caída  
con paciencia.

\_ Pablo Neruda

## RESUMO

A luz define o que se vê, e esse fenômeno envolve o objeto iluminado, o objeto que ilumina e quem o observa. Na arquitetura, a luz auxilia na percepção dos aspectos formais, conceituais e participa ativamente dos resultados finais, principalmente quanto ao conforto. Especificamente, no que se refere ao usuário e a luz, estão intrínsecas questões fisiológicas e psicológicas assim como o entendimento entre o limiar do conforto e do desconforto humano. Os índices lumínicos propostos e os métodos existentes mensuram normalmente condições padrão de uso e de localização, ou seja, não costumam ponderar a condição de exceção. Situações em que uma pequena quantidade de luz de um ambiente pode ser julgada inadequada nos padrões estabelecidos por normativa, para outras caracterizadas pela reduzida disponibilidade de luz, aquela mínima quantidade existente pode causar um efeito positivo, e não negativo. A pesquisa teve como objetivo geral desenvolver uma metodologia para avaliar a condição de conforto visual para o ambiente Antártico, cuja disponibilidade de luz requer estudos específicos, tendo como estudo de caso a Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF). Os resultados obtidos indicam uma nova faixa avaliativa, desenvolvida a partir da *Useful Daylight Illuminance* (UDI), e o método final apresenta o desempenho lumínico do espaço, através do diagrama de fluatibilidade, medido de duas formas: com um panorama estático, de hora em hora; e dinâmico, com períodos demarcados, concomitantemente. A visualização dos dados compilados nos diagramas permite a avaliação do ambiente e funciona como uma ferramenta ao projetista.

## ABSTRACT

The light defines what is seen, and this phenomenon involves the illuminated object, light source and who observes it. In architecture, a light helps in the perception of formal, conceptual aspects and actively participates in the result, mainly in terms of comfort. Specifically, in respect to user and light, there are intrinsic the physiological and psychological issues leading to understanding between the threshold of comfort and human discomfort. The proposed light indexes and the existing methods measure normal conditions of use and location, that is, they do not usually consider an exceptional condition. In special situations, a small amount of light from an environment can be judged inadequate under standards established by regulation; however, a lack of light, that minimum amount of illuminance, can offer a positive effect. This research had as general objective to develop a methodology for evaluation of condition for visual comfort for the specific Antarctic environment, having as case study the Antarctic Brazilian Station Comandante Ferraz. The result is a new assessment range, developed from the UDI, and the final method presents the luminous performance of the space, through the buoyancy diagram, measured in two ways: with a static analysis, hourly, and a dynamic view analysis, with periods marked, concomitantly. The visualization of the data compiled in the diagrams allows the evaluation of the environment and works as a tool to the light designer.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A luz no ambiente Antártico .....	25
Figura 2 - Mapa do continente Antártico com posicionamento esquemático da EACF e de outras estações referenciais para os estudos relacionados à tecnologia do ambiente construído. ....	27
Figura 3 - Maquete eletrônica da Estação Juan Carlos I .....	28
Figura 4 - Halley VI British Antarctic Research Station .....	29
Figura 5 - Estação Amundsen-Scott.....	30
Figura 6 - Estação Amundsen-Scott - Vista aérea ainda com o antigo Duomo .....	30
Figura 7 - Princess Elisabeth Antarctic Research Station .....	31
Figura 8 - Interior da estação Princess Elisabeth Antarctic Research Station .....	31
Figura 9 - Estação Bharati .....	32
Figura 10 - Estação Antártica Concórdia .....	33
Figura 11 - Localização da EACF na Antártica .....	34
Figura 12 - Paisagem Antártica com a EACF e solo rochoso aparente, Verão de 2002.....	36
Figura 13 - Paisagem Antártica com a EACF e solo coberto de neve, Verão de 2009 .....	37
Figura 14 - Paisagem Antártica com composição de reflexão, luz e sombra .....	40
Figura 15 - Paisagem Antártica com composição de reflexão, luz e sombra .....	40
Figura 16 - Componentes da luz natural.....	42
Figura 17 - Representação de Luminância e Iluminância.....	44
Figura 18 - Comportamento do raio luminoso nas superfícies .....	46
Figura 19 - A sombra do objeto e a sombra projetada .....	48
Figura 20 - Carta solar da localização geográfica da EACF .....	49
Figura 21 - Acampamento remoto envolvido pelo “White out”, em Bindschadler Ice Stream, Oeste da Antártica .....	50
Figura 22 - Exemplo de efeito de ofuscamento na Antártica .....	54
Figura 23 - Linha do tempo do surgimento dos índices de avaliação quantitativa da luz .....	64
Figura 24 - Fluxograma de procedimentos metodológicos.....	72
Figura 25 - Perfil esquemático do projeto da EACF com identificação dos módulos.....	75
Figura 26 - Corte com representação da seção do módulo.....	76
Figura 27 - Parâmetros de radiância.....	80
Figura 28 - Vista perspectiva do ambiente de simulação com localização do plano de trabalho e pontos de cálculo .....	81
Figura 29 - Imagem da NBR ISO CIE 8995/13, com as padronizações para a malha de cálculo.....	81
Figura 30 - Dados de latitude e longitude da EACF .....	82
Figura 31 - Quadro de dados de transmitância do vidro simulado .....	84
Figura 32 - Quadro de lançamento do cálculo de simulação .....	84
Figura 33 - Tabela de iluminância do plano de trabalho .....	85

Figura 34 - Gráfico de resultado da iluminância no espaço representado tridimensionalmente .....	86
Figura 35 - Compilação da iluminância média no Solstício de Verão .....	87
Figura 36 - Compilação da iluminância média no Equinócio.....	87
Figura 37 - Compilação da iluminância média no Solstício de Inverno.....	87
Figura 38 - Evolução do Diagrama de fluabilidade de avaliação lumínica .....	90
Figura 39 - Diagrama de fluabilidade original, com os quadrantes qualitativos.....	92
Figura 40 - Carta Solar da EACF, com os horários de cálculo e análise .....	94
Figura 41 - Diagrama de fluabilidade em percentuais de iluminância, baseado na concepção de Sicurella, Evola e Wurtz (2012), com as faixas de Intensidade de iluminância evidenciadas com eixos verticais ..	95
Figura 42 - Diagrama de fluabilidade da iluminância evidenciando as faixas qualitativas.....	96
Figura 43- Dois diagramas com os mesmos resultados: apresentados em escala logarítmica e escala linear..	98
Figura 44 - Mapa de leitura do diagrama de fluabilidade .....	107
Figura 45 - Diagrama de fluabilidade da EACF no Verão, orientação Norte .....	109
Figura 46 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Outono, orientação Norte.....	110
Figura 47 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Inverno, orientação Norte.....	112
Figura 48 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Primavera, orientação Norte.....	113
Figura 49 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Verão, orientação Sul .....	115
Figura 50 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Outono, orientação Sul .....	116
Figura 51 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Inverno, orientação Sul.....	117
Figura 52 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Primavera, orientação Sul.....	118
Figura 53 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Verão, orientação Leste .....	119
Figura 54 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Outono, orientação Leste.....	120
Figura 55 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Inverno, orientação Leste .....	122
Figura 56 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Primavera, orientação Leste .....	123
Figura 57 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Verão, orientação Oeste .....	124
Figura 58 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Outono, orientação Oeste.....	126
Figura 59 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Inverno, orientação Oeste .....	127
Figura 60 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Primavera, orientação Oeste.....	128
Figura 61 - Diagrama de fluabilidade do comportamento lumínico da janela LESTE da EACF, Verão, Inverno, Outono e Primavera, respectivamente .....	131
Figura 62 - Carta solar da EACF, destacando as estações climáticas e seus limites geométricos .....	132
Figura 63 - Sobreposição esquemática da carta solar e período climático com a performance lumínica no diagrama de fluabilidade.....	133
Figura 64 - Diagrama de fluabilidade, abertura Norte, período Verão, parede 30cm e vidro transmitância 80%.....	135
Figura 65 - Diagrama de fluabilidade, abertura Norte, período Verão, parede 80 cm e vidro transmitância 45%.....	136

<b>Figura 66 - Diagrama de fluabilidade, abertura Sul, período Inverno, parede 30cm e vidro transmitância 80%.....</b>	<b>136</b>
<b>Figura 67 - Diagrama de fluabilidade, abertura Sul, período Inverno, parede 80 cm e vidro transmitância 45%.....</b>	<b>137</b>

## LISTA DE QUADROS

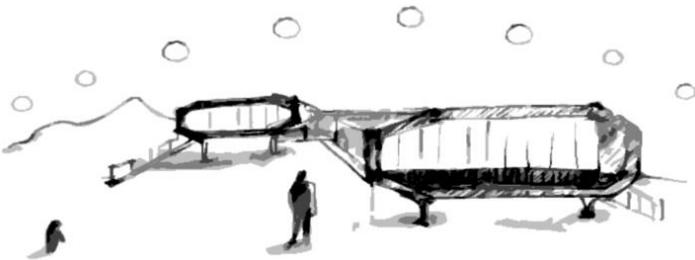
Quadro 1 - Parâmetros padronizados CIE.....	41
Quadro 2- Grupos de índices de avaliação lumínica .....	61
Quadro 3- Índices lumínicos para a avaliação quantitativa de luz .....	63

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1- Faixas de iluminâncias BUDI e UDI .....</b>	<b>103</b>
--	------------

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas técnicas
ASE	Annual Sunlight Exposure
BIM	Building Information Modeling
BUDI	Bellow Useful Daylight Illuminance
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CIE	Commission Internationale d'Eclairage
DA	Daylight Autonomy
DF	Daylight Factor
DGPs	Simplified Daylight Glare Probability
EACF	Estação Antártica Comandante Ferraz
EL	Total Annual Lighting Energy Demand
FCV	Frequência de Conforto Visual
FLD	Fator de Luz Diurna
IDV	Intensidade de Desconforto Visual
IES	Illuminating Engineering Society
LED	Light Emitting Diode
LPP	Laboratório de Planejamento e Projetos
PANL	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural
SCAR	Scientific Committee on Antarctic Research
sDA	spatial Daylight Autonomy
Uav	Uniformidade média
UDI	Useful Daylight Illuminance
UGR	Unified Glare Rating

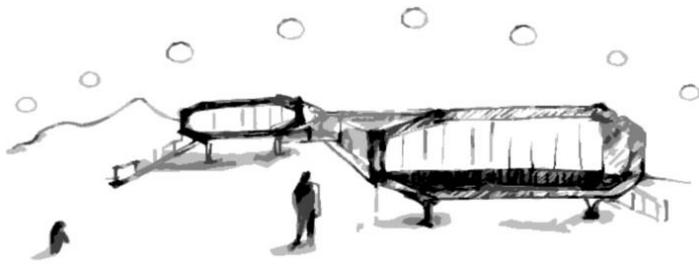


# SUMÁRIO

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	6
RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	9
LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE QUADROS .....	13
LISTA DE TABELAS.....	14
LISTA DE SIGLAS .....	15
SUMÁRIO.....	17
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
1.1 OBJETIVO .....	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
<b>2 ABORDAGEM TEÓRICA .....</b>	<b>25</b>
2.1 A ANTÁRTICA .....	25
2.1.1 <i>Caracterização do sítio</i> .....	26
2.1.2 <i>O Homem Antártico</i> .....	35
2.1.3 <i>Correlacionando a dinâmica do lugar com a iluminação</i> .....	39
2.1.4 <i>Luz natural na Antártica</i> .....	41
2.2 ILUMINAÇÃO NATURAL .....	44
2.2.1 <i>Os efeitos da luz</i> .....	44
2.2.2 <i>Aberturas</i> .....	50
2.2.3 <i>Conforto Visual</i> .....	52
2.2.4 <i>Aspectos Psicológicos</i> .....	56
2.2.5 <i>Programa de simulação</i> .....	57
2.3 GRUPOS DE ÍNDICES LUMÍNICOS .....	60
2.3.1 <i>Índices para avaliar a quantidade de luz</i> .....	62
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>71</b>
3.1 A CARACTERIZAÇÃO DO SÍTIO .....	74

3.2	ESCOLHA DO PROGRAMA E PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO .....	78
3.3	PROCEDIMENTO INICIAL.....	83
4	<b>RESULTADOS DA METODOLOGIA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO.....</b>	<b>89</b>
4.1	O PERCURSO PARA OBTENÇÃO DO DIAGRAMA .....	89
4.2	BELLOW USEFUL DAYLIGHT ILLUMINANCE (BUDI).....	100
5	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>106</b>
5.1	ABERTURA NORTE .....	108
5.1.1	<i>Estação Climática Verão</i> .....	108
5.1.2	<i>Estação Climática Outono</i> .....	110
5.1.3	<i>Estação Climática Inverno</i> .....	111
5.1.4	<i>Estação Climática Primavera</i> .....	112
5.2	ABERTURA SUL .....	113
5.2.1	<i>Estação Climática Verão</i> .....	114
5.2.2	<i>Estação Climática Outono</i> .....	115
5.2.3	<i>Estação Climática Inverno</i> .....	116
5.2.4	<i>Estação Climática Primavera</i> .....	117
5.3	ABERTURA LESTE .....	118
5.3.1	<i>Estação Climática Verão</i> .....	119
5.3.2	<i>Estação Climática Outono</i> .....	120
5.3.3	<i>Estação Climática Inverno</i> .....	121
5.3.4	<i>Estação Climática Primavera</i> .....	122
5.4	ABERTURA OESTE .....	123
5.4.1	<i>Estação Climática Verão</i> .....	124
5.4.2	<i>Estação Climática Outono</i> .....	125
5.4.3	<i>Estação Climática Inverno</i> .....	126
5.4.4	<i>Estação Climática Primavera</i> .....	127
6	<b>DISCUSSÕES.....</b>	<b>130</b>
6.1	TESTE DE FUNCIONALIDADE DO MÉTODO.....	134
7	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>139</b>
8	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>143</b>



# INTRODUÇÃO

# 1 INTRODUÇÃO

O que é luz do dia? Qual a importância da luz natural na arquitetura e para o ser humano? Porque ela é fundamental? Como é um espaço bem iluminado? Estas indagações são frequentemente feitas por especialistas em iluminação e grandes mestres como Christoph Reinhart, o qual afirma que as respostas a essas perguntas são complexas e subjetivas (REINHART; WEISSMAN, 2012). A luz define o que se vê, e esse fenômeno envolve o objeto iluminado, o objeto que ilumina e quem o observa.

Na arquitetura, a luz, deve ser valorizada e mais estudada, considerando que auxilia na percepção dos aspectos formais, conceituais e participa ativamente dos resultados finais, principalmente quanto ao conforto. Especificamente, no que se refere ao usuário e a luz, estão intrínsecas questões fisiológicas, psicológicas e o entendimento entre o limiar do conforto e do desconforto humano (HUIBERTS; SMOLDERS; DE KORT, 2016; GOU; LAU; YE, 2014).

As diferenças climáticas do Inverno e do Verão na Antártica criam um vasto repertório de variáveis e aumentam a complexidade do espaço, dificultando ainda mais a necessidade de adaptação do usuário.

Na dinâmica do planeta, a luz tem um papel fundamental na vida, pois fornece energia e participa intensamente em quase todos os ecossistemas. O ser humano criou a luz artificial, que permite o exercício autônomo de atividades 24 horas por dia. Não obstante, a luz natural ainda é primordial em todos os processos humanos e seu máximo aproveitamento vincula-se ao conceito de sustentabilidade no ambiente construído, seja por proporcionar melhor qualidade de vida, seja por possibilitar a racionalização energética através da minimização da energia necessária ao iluminamento artificial (OCHOA et al., 2012). No entanto, os estudos relacionados à iluminação – natural e artificial – levaram ao estabelecimento de padrões, como por exemplo: as iluminâncias estabelecidas em normativas, que devem ser observados especialmente no interior das edificações (XUE; MAK; HUANG, 2016; CARLO; PEREIRA; LAMBERTS, 2004).

Conceituar a luz através dos efeitos que podem ser quantificados, mesmo os classificando como mais ou menos efetivos, não a qualifica integralmente, visto que a luz possui diversas propriedades, sejam elas relacionadas à quantidade, qualidade, distribuição, consumo

energético, aspectos óticos (CARLUCCI et al., 2015; MARDALJEVIC; HESCHONG; LEE, 2009) ou mesmo efeitos psicológicos. O entendimento do comportamento do raio visível nas horas do dia é fundamental para avançar na escolha e avaliação de como medir o desempenho e consequências causadas no ambiente e no usuário (ALTOMONTE et al., 2016; KENT et al., 2014).

Conhecer os efeitos no ser humano e no ambiente dos aspectos relacionados à luz natural, bem como os efeitos característicos das superfícies onde a luz incide, auxilia no entendimento do seu desempenho. Este pode causar desconforto, como por exemplo, através da ausência ou do excesso de luz; do contraste ou do ofuscamento. Tais efeitos geram implicações ao organismo humano de inúmeras maneiras, interferindo diretamente no bom funcionamento e, conseqüentemente, podendo causar doenças, transtornos de saúde e psicológicos (TE KULVE et al., 2017; SMOLENSKY; HERMIDA; PORTALUPPI, 2017; AVERY et al., 2001; HUIBERTS; SMOLDERS; DE KORT, 2016).

Os índices lumínicos propostos mensuram normalmente condições padrão de uso e de localização. Estudos de casos frequentemente destacam as necessidades formais das tarefas específicas dos usos: salas de aula pontuam desempenho e ofuscamento (MORENO; LABARCA, 2015; KAZANASMAZ et al., 2016); escritórios focam em eficiência energética (RAIMONDI et al., 2016; PELLEGRINO et al., 2017; MCNEIL; LEE; JONSSON, 2017; LEUNG; RAJAGOPALAN; FULLER, 2013), contudo, sempre considerando condições padronizadas de avaliação.

Parpairi e outros (2002) afirmam, por exemplo, no caso de iluminação de bibliotecas, que a quantidade de luz está relacionada à quantidade de barulho que se produz nestes espaços. Yavuz Selvi e outros (2017) associam as próprias preferências pessoais do ser humano – como por exemplo escolher trabalhar no período diurno ou noturno –, como consequência do funcionamento do ciclo circadiano, influenciando em variáveis comportamentais e psicológicas. Outros autores também destacam a responsabilidade da luz e seus efeitos nas funções biológicas e psicológicas e o crescimento das pesquisas, neste tema, na área da biomédica, é um indício da real necessidade de aprofundar esse tópico, também na arquitetura (CAJOCHEN, 2007; MAZZOCCOLI et al., 2016; SMOLENSKY; HERMIDA; PORTALUPPI, 2017; ENGWALL et al., 2015).

Por todas essas considerações, é importante estabelecer a influência que a iluminação causa na condição física e psicológica do ser humano no ambiente construído. A maioria dos índices buscam determinar quais são os parâmetros para que essa qualidade do ambiente para o usuário seja a melhor possível, porém, esses padrões não costumam ponderar a condição de exceção. Há situações especiais em que uma pequena quantidade de luz de um ambiente pode ser julgada inadequada nos padrões estabelecidos por normativa, entretanto, a pouca disponibilidade de luz em determinadas situações pode fazer com que aquela mínima quantidade existente cause um efeito positivo, e não negativo.

Em função do exposto, parte-se do pressuposto que os parâmetros e metodologias de avaliação existentes não atendem a todas as situações do planeta, devendo ser estudadas alternativas para locais que podem ser considerados especiais, como a Antártica, por exemplo.

## 1.1 OBJETIVO

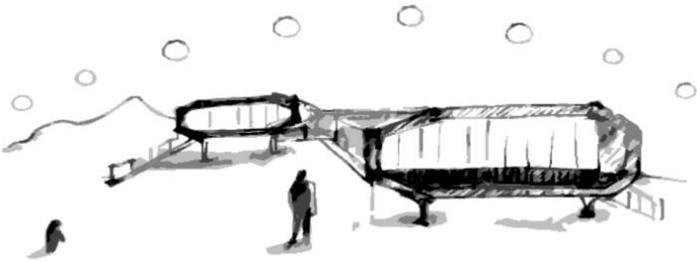
O objetivo dessa pesquisa foi desenvolver uma metodologia para avaliar a condição de conforto visual do ambiente Antártico, tendo como estudo de caso a Estação Antártica Comandante Ferraz.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para o alcance do objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os índices de avaliação lumínica apropriados para a realidade Antártica.
- Identificar e selecionar as variáveis pertinentes às condições específicas do ambiente Antártico que interferem no conforto físico e psicológico relacionados à iluminação.

- Analisar metodologias existentes de avaliação de conforto lumínico visando propor um método específico para a situação antártica.
- Testar a metodologia proposta através da avaliação de desempenho lumínico das novas edificações da EACF, considerando a técnica construtiva adotada.



# ABORDAGEM TEÓRICA

## 2 ABORDAGEM TEÓRICA

Neste trabalho foram pesquisadas duas áreas do conhecimento previamente definidas: a iluminação em geral, com enfoque na luz natural e seus índices; e o Continente Antártico e suas características físicas e arquitetônicas.

Este embasamento teórico foi imprescindível para determinar a metodologia de base e para, posteriormente, desenvolver a metodologia final de avaliação da luz natural no ambiente construído Antártico.

### 2.1 A ANTÁRTICA

Existe um grande número de estudos que procuram otimizar a relação entre a iluminação natural e o ambiente construído, entretanto, o contexto no qual o continente Antártico se insere, difere bastante dos centros urbanos normalmente estudados, conforme pode ser visualizado na Figura 1.

*Figura 1 – A luz no ambiente Antártico*



*Fonte: acervo fotográfico do LPP (Laboratório de Planejamento e Projetos – UFES)*

Conhecida como a “Terra dos Superlativos” por ser a região mais remota, mais estéril, mais desértica, mais ventosa e de mais alta superfície média do planeta (ALVAREZ, 1995), a Antártica apresenta características particulares que influenciam diretamente na obtenção de luz natural no ambiente interno, como sua trajetória solar com grandes diferenças na quantidade de horas de luz natural disponível nos períodos de Verão e Inverno, e o alto índice de radiação recebido, principalmente no Verão (MONTARROYOS, 2015).

Além disso, as questões ambientais estabelecidas pelos principais instrumentos jurídicos reconhecidos internacionalmente – o Tratado Antártico e Protocolo de Madri – somadas às questões logísticas de acesso ao Continente (VIEIRA, 2006; ALVAREZ et al., 2004), contribuem para a necessidade de redução no gasto energético da edificação, fazendo com que a iluminação natural represente um importante recurso para suprir tal demanda.

### 2.1.1 Caracterização do sítio

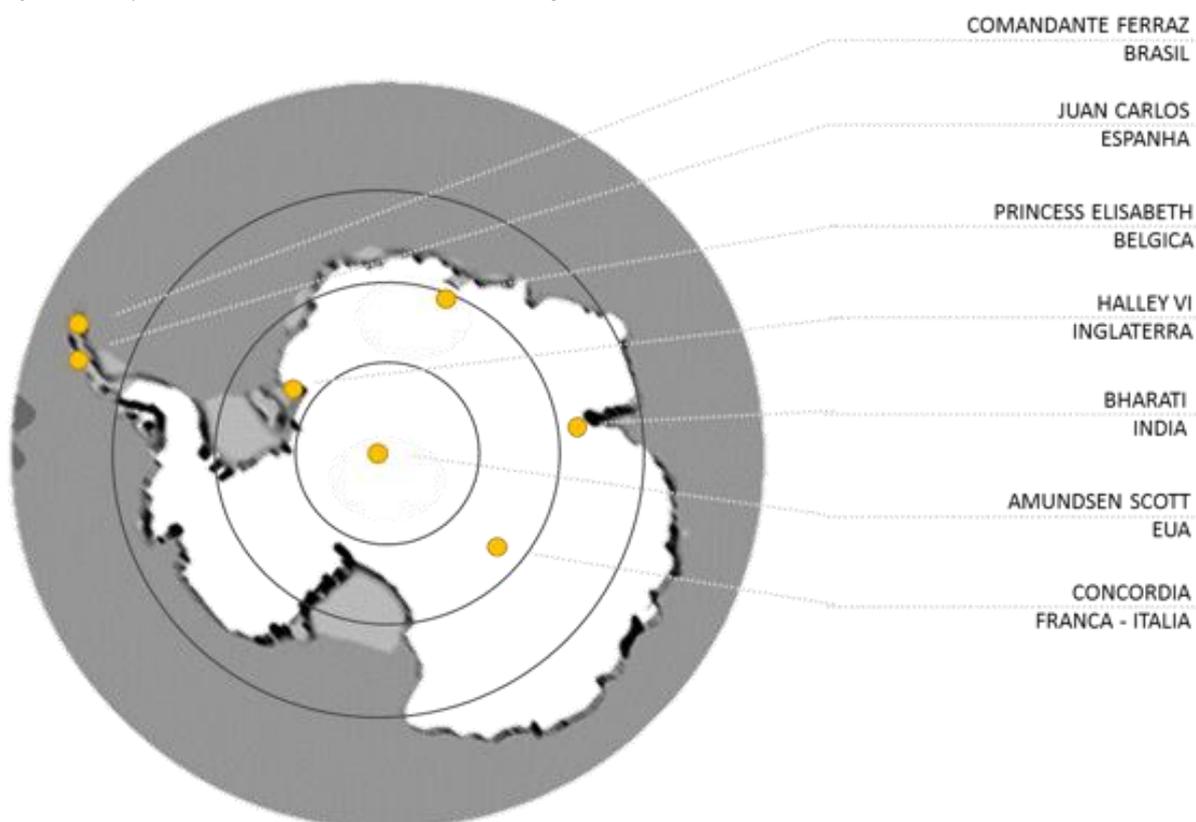
De acordo com o *Scientific Committee on Antarctic Research* (SCAR), até 2014 foram contabilizadas 104 estações científicas na Antártica, cuja maioria tem ocupação máxima apenas no período do Verão, visto as condições de habitabilidade estarem mais amenas. Algumas estações permanecem fechadas no Inverno, enquanto as com funcionamento contínuo ao longo do ano apresentam, frequentemente, uma diminuição no número de pessoas.

As pesquisas científicas nessa região são focadas, geralmente, em assuntos relacionados às ciências atmosféricas e temas específicos da pesquisa científica no campo da biologia (DAVIS, 1999; INGELMO, 2013). No âmbito da pesquisa nacional sobre o continente gelado e correlacionado ao tema deste trabalho, destacam-se estudos relacionados à tecnologia do ambiente construído, o qual aborda o impacto ambiental e as interferências humanas, que devem ser minimizadas considerando a característica condição do continente enquanto laboratório natural e área de preservação ambiental (ALVAREZ, 2004; ALVAREZ et al., 2004; JESUS; SOUZA, 2007).

O Brasil participa das decisões do futuro da Antártica, sendo um requisito para essa condição, manter a Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) em funcionamento durante o ano todo. Tendo iniciado as atividades *in loco* em 1982, no ano seguinte, o Brasil foi incluído no grupo dos membros consultivos com o reconhecimento das pesquisas realizadas na Antártica pelo Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), gerenciado pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar – CIRM (MONTARROYOS, 2015).

A Figura 2 localiza a EACF no contexto do continente e em relação à outras estações e aponta a situação geográfica mais amena em que a mesma se encontra, considerando o aspecto da disponibilidade de luz em comparação às edificações localizadas em latitudes maiores.

Figura 2- Mapa do continente Antártico com posicionamento esquemático da EACF e de outras estações referenciais para os estudos relacionados à tecnologia do ambiente construído.



Fonte: a autora. Desenvolvido a partir do mapa político da Antártica (LESNIEWSKI, 2017)

Além da EACF, o mapa da Figura 2 indica a localização de outras seis estações referenciais. Esse recorte foi feito por elas serem construções relativamente recentes e, conseqüentemente, utilizarem tecnologias atuais visando a melhor resposta arquitetônica. Assim, observou-se o elemento de comunicação do ambiente interno construído com o ambiente externo de cada

uma delas – suas aberturas –, visando identificar as soluções apresentadas por cada técnica construtiva.

As estações selecionadas não são apenas objetos referenciais da tecnologia do ambiente construído, visto que elas também representam países e culturas diversas, além de localizações bastante distintas, conforme demonstra a Figura 2. Entretanto, a Estação Antártica Comandante Ferraz (Brasil) e a Estação Juan Carlos (Espanha) estão em uma posição geográfica peninsular semelhante entre si e bem diferenciada das outras cinco estações localizadas no mapa, que se posicionam no bloco continental. Destaca-se ainda a estação Amundsen-Scott (EUA), no Polo Sul geográfico, e a Concordia (Itália- França), que estão no centro do bloco continental. Já as estações Bharati (Índia), Princess Elizabeth (Bélgica) e Halley VI (Inglaterra), apesar de estarem bem distantes umas das outras, apresentam uma localização geográfica similar, ou seja, próximo a borda continental.

A estação Juan Carlos (Figura 3) é um conjunto arquitetônico com módulos dispostos em forma de hélice, e possui um desenho de janelas similar à EACF, com os vãos ritmados nas laterais e um grande vidro no final do volume arquitetônico. Contudo, diferentemente da EACF, ela apresenta em adicional algumas aberturas zenitais, o que, provavelmente, favorece a entrada de luz natural no ambiente interno. No entanto, as dificuldades técnicas de vedação e estanqueidade das aberturas zenitais nas condições geográficas semelhantes à da Estação Juan Carlos – onde se verifica uma grande oscilação entre temperaturas positivas e negativas, bem como incidência de chuvas – é um aspecto a ser considerado nesse tipo de solução.

*Figura 3- Maquete eletrônica da Estação Juan Carlos I*



Fonte: (HUGH BROUGHTON; HBARCHITECTS, 2007)

Semelhantemente, a estação Halley VI (Figura 4) é uma estação referência para estudos arquitetônicos antárticos, e também possui aberturas laterais e zenitais nos seus espaços construídos que, aparentemente, propiciam a entrada da luz natural nos espaços internos. Arquitetonicamente, a estação se destaca por possuir um sistema modular que permite que seus módulos sejam deslocados, facilitando, se necessário, uma mudança de lugar da estação (BRITISH ANTARTIC SURVEY, 2015).

Figura 4- Halley VI British Antarctic Research Station



Fonte: (HUGH BROUGHTON ARCHITECTS, 2016)

A estação Amundsen-Scott (Figura 5), dos EUA, apresenta uma construção de grandes dimensões e possui janelas retangulares distribuídas uniformemente nas fachadas. Na época de sua construção, suas janelas buscavam ser uma grande inovação, comparada ao antigo domo geodésico (Figura 6), buscando assim proporcionar uma melhor relação interior *versus* exterior e, conseqüentemente, melhorias no aspecto psicológico dos usuários através do possível acompanhamento em relação às diferentes estações sazonais (FOUNDATION, 2008).

Figura 5- Estação Amundsen-Scott



Fonte: (COOL ANTARCTICA, 2018)

Figura 6- Estação Amundsen-Scott - Vista aérea ainda com o antigo Duomo



Fonte: (UNCYCLOPEDIA, 2013)

Já a estação Princess Elizabeth (Figura 7), da Bélgica, é uma arquitetura referencial, não somente por sua forma diferenciada como por se caracterizar pela inovação tecnológica no que tange ao uso de energias renováveis (MONTARROYOS, 2015). Os grandes elementos na fachada, com uso abundante de placas solares para geração de energia combinados com os retângulos menores das aberturas laterais, passam ao observador uma imagem de eficiência e adequação ao ambiente, conforme demonstra a Figura 7. Destaca-se que a estação Princess Elisabeth foi projetada para funcionar somente no período do verão antártico.

Figura 7 - Princess Elisabeth Antarctic Research Station



Fonte: (INTERNATIONAL POLAR FOUNDATION; RENÉ ROBERT, 2018)

As aberturas da estação da Figura 7 se localizam na parte inferior da fachada e aparentam permitir um espaço naturalmente bem iluminado, conforme Figura 8. Contudo, a estação também apresenta espaços com iluminação natural de claraboias.

Figura 8 - Interior da estação Princess Elisabeth Antarctic Research Station



Fonte: (INTERNATIONAL POLAR FOUNDATION; RENÉ ROBERT, 2018)

A Estação Bharati (Figura 9), da Índia, possui uma estrutura em um volume retangular como um grande paralelepípedo, e as aberturas da mesma se configuram, falsamente, como um grande rasgo na fachada lateral caracterizando-se como uma janela única, bem diferenciada das outras estações. No entanto, Bharati é composta por uma organização na forma de contêineres – quase sempre com aberturas centrais na fachada de menor dimensão – que são “envelopados” por uma envoltória adicional, afastada da superfície composta pelos contêineres alinhados. Uma breve análise feita de acordo com a proporção entre a área construída e as aberturas existente, indica que, possivelmente, essa técnica construtiva apresenta algumas limitações na entrada da luz natural do ambiente como um todo.

*Figura 9- Estação Bharati*



*Fonte:* (ARCHITEKTEN; ARCHDAILY, 2013)

Por fim, a Estação Concordia apresenta 3 blocos cilíndricos conectados entre si, com suas janelas distribuídas na fachada conforme a distribuição dos pavimentos internos. Tais aberturas possuem um formato retangular e de dimensões reduzidas, situação que, aparentemente, não favorece uma boa performance lumínica nos ambientes (Figura 10).

Figura 10- Estação Antártica Concórdia



Fonte: (ROGAN-FINNEMORE; COMNAP, 2012)

Este panorama simplificado das estações identificadas referenciais ilustra a individualidade de cada país e a heterogeneidade da arquitetura desenvolvida no continente.

Quando se trata de tipologias de aberturas, acredita-se que identificar as vantagens e desvantagens de cada janela através de um método unificado seria uma ação positiva para a proposição de uma tipologia mais adequada às especificidades do continente, e a proposição de um ambiente interno satisfatório no que diz respeito a esse aspecto do conforto.

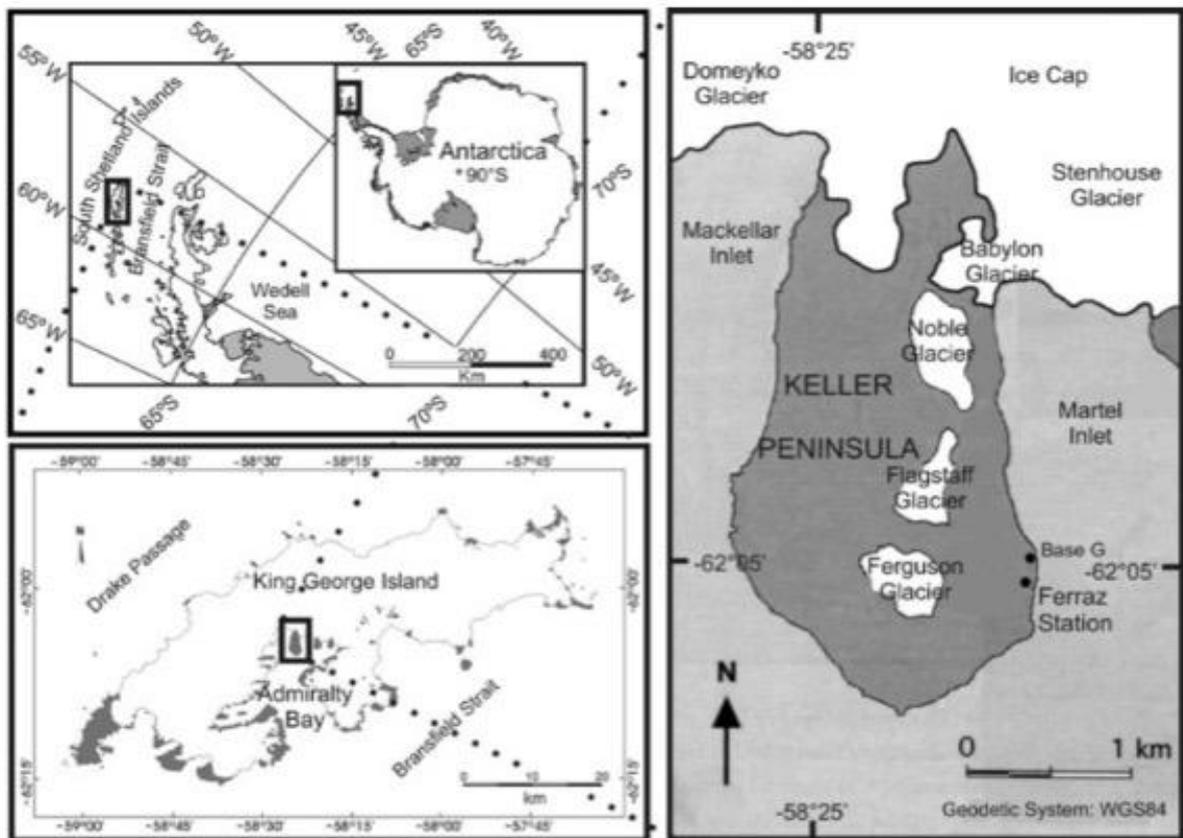
É importante destacar a dificuldade de se obter informações sobre detalhamento, materiais e projetos de cada estação, pelo fato de serem projetos individuais de cada país com suas premissas e objetivos particulares. A troca de dados e informações tecnológicas não são plenamente partilhados e a questão das aberturas e da qualidade luminosa dos ambientes internos ainda não se configura como um aspecto preocupante nos processos de projeto, principalmente por a iluminação artificial não representar um significativo dispêndio energético quando comparado com as demais demandas.

Atualmente, a EACF, encontra-se em processo de reconstrução visto grande parte da antiga edificação ter sido destruída em um incêndio ocorrido em 2012. Para a reconstrução das novas edificações foi promovido um concurso de projetos e lançado um Termo de Referência elaborado por especialistas nos temas Antárticos de diversas áreas, contendo as principais orientações para o desenvolvimento do projeto (MONTARROYOS, 2015).

A EACF está implantada na Península Keller, na Ilha Rei George (62°05' S e 58°23' W), conforme Figura 11, e encontra-se em uma área caracterizada por longos períodos de sol na abóbada celeste próximo ao solstício de Verão, e por períodos curtos da trajetória solar aparente no Inverno (MONTARROYOS, 2015). Conseqüentemente, há uma grande diferença na quantidade de luz externa disponível durante o ano, gerando situações extremas e opostas.

Existe, ainda, a diferença na refletância originada do solo, que devido à ausência de construções vizinhas, pode ser auferida pelo ambiente interno, sendo que, enquanto no Verão o solo rochoso encontra-se exposto, no Inverno, a predominância da neve é responsável por uma maior reflexão da luz ali incidida.

Figura 11 - Localização da EACF na Antártica



Fonte: (MENDES JUNIOR et al., 2012)

Na pesquisa bibliográfica realizada sobre iluminação na Antártica, foram encontrados alguns títulos sobre o assunto, porém com abordagem relacionada às questões inerentes à economia de energia e ao uso de fontes alternativas (BOCCALETTI; DI FELICE; SANTINI, 2014; TIN et al., 2010).

Esses referenciais tratam de estudos de outras estações e servem de modelo e experiência para aplicação na Estação Brasileira. No entanto, encontram-se também alguns estudos de importância internacional desenvolvidos por autores brasileiros e que utilizam como objeto de análise a EACF, como, por exemplo o artigo “Design and analysis of hybrid energy systems: The Brazilian Antarctic Station case” (DE CHRISTO et al., 2016) e os relatórios de atividades científicas (WOELFFEL et al., 2007; ALVAREZ; SOUZA, 2004; ALVAREZ et al., 2004; SODRÉ, 2011; JESUS; SOUZA, 2007).

### **2.1.2 O Homem Antártico**

Para superar as dificuldades de se viver na Antártica e viabilizar qualquer projeto que envolva a participação do ser humano ali é preciso selecionar e preparar pessoas que se adaptem facilmente às situações adversas da terra mais gelada do planeta.

Alguns estudiosos caracterizam as edificações antárticas como mini cidades, dada a sua complexidade. Alguns países reivindicam a posse da terra (VIEIRA, 2006) e incentivam, inclusive, o turismo (INGELMO, 2013; DAVIS, 1999). A realidade brasileira de participação na Antártica gira em torno de pesquisas científicas e na oportunidade de estabilidade para um posicionamento estratégico no país gelado (JESUS; SOUZA, 2007; ALVAREZ et al., 2004).

Definir o usuário e identificar quem é a população brasileira Antártica, ou melhor, quem ali pode viver, determina a necessidade de uma seleção aprofundada do indivíduo escolhido, visto as dificuldades que podem surgir, inerentes ao espaço geográfico e às características extremas desse local. Com base nos relatórios e documentos encontrados sobre a Estação (GANDRA, 2009; ALVAREZ; SOUZA, 2004; ALVAREZ et al., 2004), pode-se afirmar que os homens e mulheres selecionados devem ser, teoricamente, seres humanos em condições adequadas em relação à saúde física e psíquica. Os usuários podem ser classificados em três grupos distintos: pesquisadores, vinculados à alguma instituição de pesquisa; militares, responsáveis pelo

funcionamento e gestão da Estação, e operários, relacionado à construção e manutenção das edificações.

Os tempos de permanência na Antártica são variáveis, sendo o mais longo realizado somente por militares, que possuem a responsabilidade de manter a Estação funcionando o ano todo e, também participam das respectivas avaliações física e psicológica necessárias para poder enfrentar longos períodos longe da comunidade, da cidade e da família, em um espaço completamente diferenciado. Neste trabalho serão abordadas apenas as diferenças físicas e visuais, determinadas pelos aspectos lumínicos, considerando o objeto de estudo.

Neste âmbito, além dos fatores físicos de ótica, os fatores visuais também são considerados como de interferência. No Inverno, por exemplo, a paisagem se modifica e fica monocromática, enquanto no Verão, surge uma paisagem diferente e com novas cores, com o aparecimento do afloramento rochoso, dos musgos e dos animais. Especificamente a cobertura do solo interfere no comportamento das superfícies, e atingem diretamente as reflexões dos materiais e a percepção destes. Contudo, o Verão, apesar de apresentar situações mais amenas também pode sofrer períodos com muita neve, conforme pode-se visualizar nas Figuras Figura 12 e Figura 13.

*Figura 12- Paisagem Antártica com a EACF e solo rochoso aparente, Verão de 2002*



*Fonte: Acervo fotográfico do LPP*

Figura 13- Paisagem Antártica com a EACF e solo coberto de neve, Verão de 2009



Fonte: acervo fotográfico do LPP

A posição da EACF é privilegiada em comparação com outras áreas no continente Antártico, como visto anteriormente (Figura 2), pelo fato da diferença entre Verão e Inverno serem um pouco mais amenas em relação à iluminação natural. No Inverno, a Ilha Rei George, por exemplo, ainda pode desfrutar de até 5 horas de radiação, embora o sol esteja sempre posicionado em altitudes muito baixas. Esse cenário se contrapõe com as 19 horas de sol presente na abóbada celeste – ou sua reflexão no horizonte –, no período de Verão. Mesmo com essa situação relativamente positiva, há ainda uma considerável diferença de contraste com dias curtos e noites longas no Inverno e inversamente no Verão, com dias muito longos e noites curtas.

Conforme estudos sobre a influência da luz no ciclo biológico do homem (ZHANG et al., 2016; MALEETIPWAN-MATTSSON; LAIKE; JOHANSSON, 2016; ENGWALL et al., 2015; KOZAKI et al., 2015), as variações lumínicas influenciam diretamente no ciclo circadiano das pessoas, principalmente na condição antártica, visto os habitantes temporários serem sempre originários de diferentes locais do planeta. Então, apesar deste Homem estar em condições físicas e psicológicas adequadas para o enfrentamento das situações adversas, ele tem que se

adaptar às mudanças fisiológicas do corpo – como as mudanças químicas e hormonais –, assim como psicológicas.

Numa escala menor, a escala arquitetônica, as diferenças de tipo de ambientes também influenciam no conforto do usuário. Se a ocupação do espaço por esse indivíduo for, na maioria do tempo, dentro de um ambiente com climatização e iluminação artificial, este espaço também pode interferir fisicamente no organismo. As visitas externas e a necessidade de sair do espaço construído, o contato com a natureza e o próprio ciclo da natureza é fundamental para o bem-estar psicológico do usuário (SMOLENSKY; HERMIDA; PORTALUPPI, 2017; KOZAKI et al., 2015).

Esse contraste entre o ambiente adequado para atividades humanas – conforme normativas – propiciado pelo ambiente interno artificial e o necessário contato com o externo (as aberturas e o acompanhamento do que está acontecendo do lado de fora) causa também um exercício fatigante do olho humano, onde a íris tem que se adaptar às diferentes iluminâncias dentro das salas de atividades internas e fora da janela, a qual possui uma reflexão muito alta em função do albedo e das características geográficas (GREGORY, 1998).

Além da fadiga muscular inevitável, as diferenças de contraste (dentro e fora, claro e escuro, noite e dia) denotam também o efeito de ofuscamento (CARLUCCI et al., 2015; BELLIA et al., 2008). O sol na Antártica está sempre numa altitude muito baixa, adentrando os espaços em um ângulo de visão propício para o desconforto visivo, com a luz direta nos olhos, exigindo, mais uma vez, um movimento extra do cérebro e da íris para essa adaptação.

Portanto, a questão da dificuldade de adaptação às condições lumínica na Antártica é um aspecto que se soma às demais condições diferenciadas para obtenção de habitabilidade, tais como a temperatura, umidade, tipo de alimentação, distância do local de origem, entre outros, dificultando o processo adaptativo.

### 2.1.3 Correlacionando a dinâmica do lugar com a iluminação

Para observar a luz deve-se abster que sua origem é o ponto de informação. As características eletromagnéticas do raio visível geram tantos efeitos e consequências em sua incidência, que se entende bem mais sobre o objeto que ilumina avaliando o que é iluminado, através da leitura e entendimento destes fenômenos (MICHEL, 1966).

Analisar a trajetória solar Antártica e observar o que acontece em termos mensuráveis na superfície iluminada, isto é, quantitativamente, não identifica se a luz e sua performance podem ser qualificadas por completo.

Segundo Tuan (1996), estudos sobre paisagem identificam que a apreensão do espaço acontece principalmente através da visão. Os costumes do homem ocidental valorizam mais o contato visual em comparação a outros meios de percepção (PORTEOUS, 1996; TUAN, 1996). Assim, o olho é identificado como o veículo comunicador de toda informação das imagens e, desta forma, funciona fisiologicamente apenas com estímulos lumínicos: se não há luz não há imagem (GREGORY, 1998).

Pode-se analisar o comportamento da luz e seus efeitos na leitura de espaços internos e externos, determinando não somente uma forma de ler o ambiente, mas, uma forma de identificar suas peculiaridades e composições. Nos espaços externos, é notável a influência das superfícies e suas respectivas características nas reflexões da luz e nas composições de sombras, conforme exemplificado nas Figura 14 e Figura 15.

Figura 14 - Paisagem Antártica com composição de reflexão, luz e sombra



Fonte: acervo fotográfico do LPP

Observa-se que apesar da paisagem se apresentar monocromática, e ter poucos elementos, a composição da luz, sombra e reflexões torna a fotografia repleta de detalhes. Os tons de branco variam e se fundem, nas reflexões, com os tons de azul do céu.

Figura 15- Paisagem Antártica com composição de reflexão, luz e sombra



Fonte: acervo fotográfico do LPP

Da mesma forma, esses fenômenos acontecem no ambiente interno através das formas das superfícies, escolhas de cores e de materiais.

## 2.1.4 Luz natural na Antártica

Desde a década de 1980, estudos são feitos sobre a relação entre a iluminação natural e a quantidade de nuvens no céu. Esta analogia é medida a partir de fotografias da abóboda celeste e, com esse material, a luminância pode ser calculada. Verificou-se que a quantidade de nuvens é uma única variável, e pode representar um modelo de difusão de luz através do céu encoberto (TREGENZA, 1987). Tregenza é considerado o precursor do estudo dos diferentes tipos de céus, e trouxe para o meio científico, a importância de determinar a iluminância interna nos ambientes sob os diferentes tipos de céu, aspecto hoje regulamentado pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE).

No documento sobre os tipos de céus da CIE está classificada a distribuição da luminância da abóboda celeste através das variáveis do tempo, do clima e da posição do sol. Estas variáveis criam um conjunto de distribuições de luminâncias as quais modelam o céu sob uma ampla gama de condições, desde o céu nublado até o céu sem nuvens.

Esta informação é uma base universal para a classificação das distribuições medidas de luminosidade do céu e sustentam um método para calcular a luminosidade do céu em procedimentos de avaliação da iluminação natural. O Padrão CIE define distribuições de luminância em 15 céus diversos, conforme apresentado no Quadro 1.

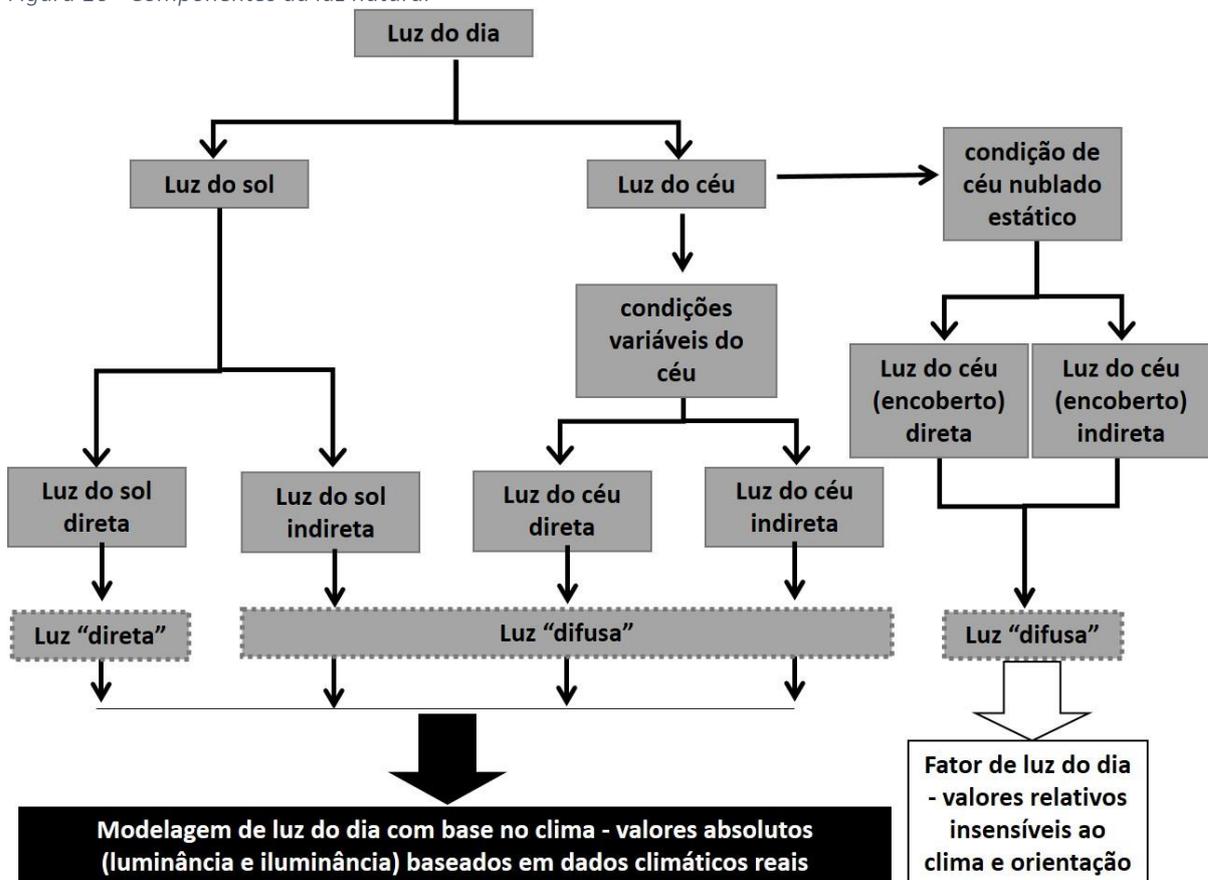
*Quadro 1 - Parâmetros padronizados CIE*

Tipo	Descrição da distribuição de luminância
1	CIE Padrão Céu Nublado, gradiente de luminância íngreme para zênite, uniformidade azimutal
2	Nublado, com gradação de luminosidade acentuada e leve brilho em direção ao sol
3	Nublado, moderadamente graduado com uniformidade azimutal
4	Nublado, moderadamente graduado e leve clareamento em direção ao sol
5	céu de luminância uniforme
6	Céu parcialmente nublado, sem gradação em direção ao zênite, ligeiro clarão em direção ao sol
7	Céu parcialmente nublado, sem gradação em direção ao zênite, região circunsolar mais brilhante
8	Céu parcialmente nublado, sem gradação em direção ao zênite, corona solar distinta
9	Céu parcialmente nublado, com o sol escurecido
10	Céu parcialmente nublado, com uma região circunsolar mais brilhante
11	Céu branco-azul, com corona solar distinta
12	CIE Clear Sky Clear, baixa turbidez de luminância
13	CIE Standard Clear Sky, atmosfera poluída
14	Céu turvo sem nuvens com corona solar ampla
15	Céu turvo branco-azul com corona solar ampla

*Fonte: (COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE, 2003) traduzido livremente pela autora*

Mardaljevic, Heschong e Lee (2009) expõem essa temática de comportamento da abóboda celeste em relação à luz do dia conforme apresentado na Figura 16. O organograma ilustra os componentes da luz do dia, os quais podem ser diretos e indiretos, advindos do céu ou do sol. Ressaltam, ainda, que o índice que avalia a relação de luz dentro de um ambiente com a quantidade de luz fora do ambiente – o fator de luz do dia –, é apenas uma parcela de percepção do comportamento da luz natural e limita os resultados à parcialidade do total de energia disponível e real (MARDALJEVIC; HESCHONG; LEE, 2009).

Figura 16 - Componentes da luz natural



Fonte: (MARDALJEVIC; HESCHONG; LEE, 2009) traduzido livremente pela autora

Logo, entende-se que a luz do dia vem de duas fontes primárias: a luz do sol e a luz da abóboda celeste. Ambas as fontes têm componentes diretos e indiretos e avaliações baseadas em arquivos climáticos, os quais respeitam as variações do céu e trabalham com valores absolutos tanto da luz que incide quanto da luz que reflete (luminância e iluminância), e apresentam valores completos e reais. Pode-se contabilizar também a luz refletida das superfícies da paisagem, como, por exemplo, a neve e seu alto índice de reflexão.

Outras variáveis também influenciam no desempenho lumínico do ambiente interno, que não estão relacionadas diretamente com os tipos de céu. Tregenza estudou que a iluminação advinda das janelas com luz solar direta podem depender da luz refletida do chão externo e de outros edifícios, enquanto o tipo de céu pode ser um componente insignificante (TREGENZA, 1995). Assim, no caso da localização geográfica da EACF, existe uma preocupação inerente ao aspecto e comportamento dessa reflexão, uma vez que a superfície externa e a brancura da paisagem são extremamente peculiares, conhecidas como o fenômeno chamado de albedo.

O albedo é definido como uma fração da radiação solar que a Terra reflete de volta ao espaço (MOLION, 2007). Quando a incidência da luz da abóboda celeste cai sobre uma parte literalmente clara da Terra, como, por exemplo, neve ou gelo, é quase que completamente refletida de volta; ao contrário, quando essa mesma quantidade de luz incide sobre superfícies escuras como, por exemplo, oceanos, florestas e cidades, esta luminância é absorvida e convertida em calor (TWOMEY, 2007).

Aprofundando sobre a temática da dinâmica desta reflexão na superfície terrestre, pode-se afirmar que é por esse fenômeno da reflexão que as partes cobertas por neve são frias, e as outras partes da terra são mais quentes.

O albedo da neve é muito variável, apresentando na Antártica índices em torno de 0,12 e 0,96 de reflexão (PETKOV et al., 2016). Se uma área marginalmente coberta de neve se aquece, a neve tende a derreter, reduzindo o albedo e, portanto, levando ao derretimento de neve pois mais radiação está sendo absorvida. Portanto, é importante medir o albedo de áreas cobertas de neve pois não o considerar pode levar a grandes erros em estimativas de performance lumínica, conforto térmico e, conseqüentemente, também de consumo energético. Da mesma forma, o albedo das nuvens tem influência substancial nas temperaturas atmosféricas. Tipos diferentes de nuvens possuem refletividades diferentes, teoricamente variando o albedo desde próximo de 0 para um máximo de 0,8 (TWOMEY, 2007). Como o céu da Antártica é majoritariamente céu encoberto (LABEEE, 2016), é importante dar a devida atenção a esse tipo de reflexão.

Desta forma, entender e avaliar como funciona a luz do dia e seu potencial com índices compreensíveis e reais é de grande importância para promover a melhoria da produtividade e a melhor qualidade de vida dos usuários.

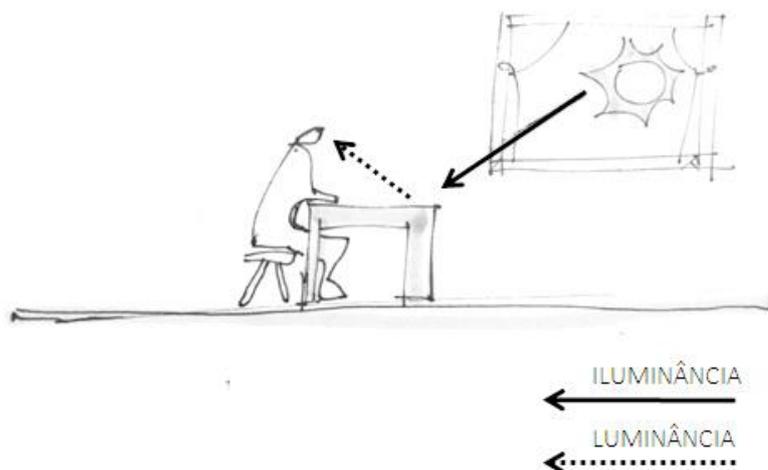
## 2.2 ILUMINAÇÃO NATURAL

A luz visível é uma pequena parte de todo o espectro de energia de uma fonte, e apesar de ser definido pela física que a luz é uma radiação emitida em ondas, com diferentes frequências, em termos práticos, principalmente na questão projetual, considera-se que a luz é uma linha reta como um raio (MICHEL, 1966).

### 2.2.1 Os efeitos da luz

O raio de luz pode ser refletido, absorvido ou refratado pela superfície incidente, assim, conceitualmente, a luz que chega na superfície é a iluminância e a quantidade de luz que é refletida desta superfície é a luminância (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1966; BENEDETTO et al., 2014), conforme demonstrado na Figura 17. Esse conceito sobre o comportamento do raio luminoso foi investigado e publicado por Hopkinson em meados do século passado, e é válido até os dias de hoje.

Figura 17 - Representação de Luminância e Iluminância



Fonte: a autora

A iluminância, por sua vez, obedece à lei do quadrado inverso, isto é, a quantidade de luz que chega em uma superfície depende diretamente da distância da fonte até o objeto iluminado (MICHEL, 1996). Esta informação é importante para compreender que a luz, apesar de ter influência quantitativa e absoluta sobre a visão do objeto, é relativa dependendo da posição do observador. Desta forma, a visão de um lugar altamente iluminado, pode não incomodar o observador de um ponto e, eventualmente, até cegar provisoriamente um outro observador que se encontra mais próximo.

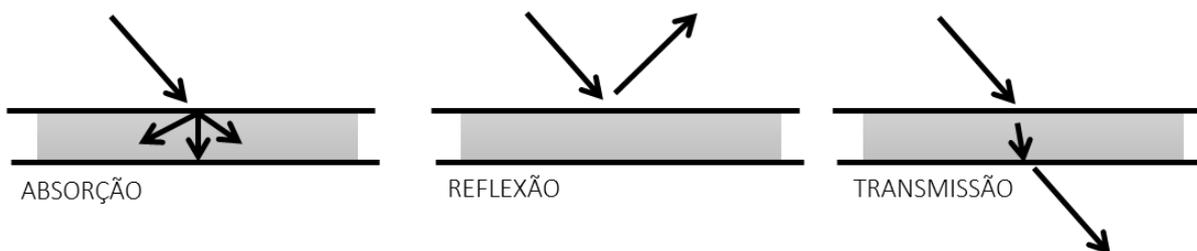
A luz refletida de uma superfície, também chamada de luminância, é um dos aspectos mais importante da iluminação no que diz respeito ao conforto. Tecnicamente, é a luz que sai de uma superfície após a reflexão, desta forma, luminância depende diretamente da propriedade de reflexão do material da superfície iluminada e da quantidade de iluminância que a superfície recebeu.

Conforme a luminância aumenta ou diminui, a luminosidade de um objeto muda em relação ao seu entorno. Deste conceito, observa-se que a luminosidade é definida pela aparência que um objeto tem em comparação com outro, também conhecida como contraste. Contudo, quando se comparam duas superfícies com diferentes luminâncias, não se tem, necessariamente, a mesma diferença perceptiva em luminosidade (MICHEL, 1996).

É importante ressaltar, neste momento, que essas medidas, tanto a luminância como a iluminância, são a base dos índices a serem tratados neste trabalho, visto serem as métricas que definem a quantidade de luz medida nos programas computacionais de simulação e nos próprios fotômetros também.

Outro efeito da luz ocorre quando a mesma segue seu percurso em raio indefinidamente, até ser atingida por um objeto. Esta incidência repercute de três formas na superfície: é absorvida, é refletida ou é transmitida (MICHEL, 1996), conforme esquema da Figura 18

Figura 18-Comportamento do raio luminoso nas superfícies



Fonte: a autora

Nem todo raio luminoso que incide sobre uma superfície é completamente refletido. Até uma superfície altamente brilhante e espelhada absorve uma parte da luz incidente, assim, refletir 100% é um efeito muito raro no mundo visual. Uma superfície branca reflete em torno de 85% da luz que recebe e até uma superfície escura, mesmo na cor preta, reflete, ainda, 4% da luz recebida (TORNQUIST, 2001).

Apesar desta aparente influência na leitura e percepção dos objetos, o tipo de refletância não é modificado em nada se a iluminância sobre a superfície aumentar. Sendo assim, a percepção depende prioritariamente das características físicas da superfície incidente.

Entretanto, apesar da percepção da luz depender do material incidido, a luz refletida ainda pode se comportar de maneira diversa em 3 possíveis formas (MICHEL,1996):

1. Especular, respeitando o mesmo ângulo de incidência, ocorre geralmente em superfícies polidas;
2. Distribuído em uma direção, ainda influenciado pelo ângulo de incidência e o tipo de superfície rugosa; e
3. Difuso, a forma mais comum de reflexão que se espalha em todas as direções, sendo geralmente um comportamento de superfícies opacas.

Ainda no tema das reflexões em superfícies, além do tipo, deve-se analisar o efeito ótico destas que podem ser: o efeito de cintilar (efeito pisca-pisca – tipo tremulação); e ofuscamento (dispersão do efeito luminoso no campo em torno da fonte), podendo, inclusive, causar a perda momentânea da visão (HOPKINSON, 1972).

É possível classificar o tipo de ofuscamento através de um cálculo de reflexão, isto é, define-se qual a intensidade da reflexão nas superfícies atingidas e qual hora do dia e dia do ano em que ocorre. Em seguida, observam-se os impactos potenciais causados sobre o ambiente. Uma vez

que estas áreas são identificadas, deve-se determinar o tipo de impacto e sua classificação: se é de incapacidade visual ou de desconforto visual (ROSE; WOLLERT, 2015).

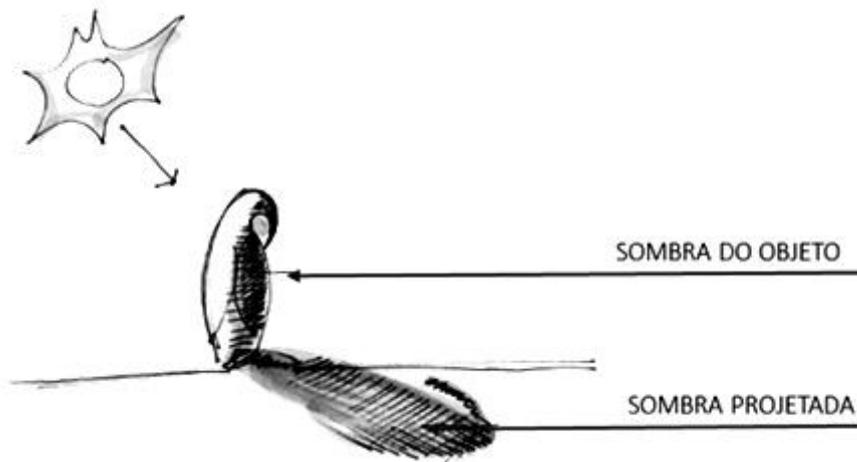
A intensidade das reflexões depende, além da questão astronômica – quando se trata de reflexão da luz direta do sol e de posicionamento geográfico –, também do tipo de superfície que recebe essa incidência da luz e o seu comportamento físico. Estas superfícies atingidas exercem papel fundamental na disseminação da luz no ambiente e no ofuscamento dos usuários (ROSE; WOLLERT, 2015). Cálculos sobre as reflexões difusas são bem complexos e envolvem um entendimento sobre os aspectos tanto das fontes de luz como das superfícies envolvidas.

No caso da Antártica, o tema das reflexões está presente na influência do albedo no desempenho lumínico. Nesse sentido, observa-se que os materiais de acabamento e as cores escolhidas tanto das molduras das aberturas como das superfícies internas são de fundamental importância para o melhor desempenho da luz natural no ambiente construído.

Quando um objeto é atingido por um raio de luz, ele não apenas é iluminado e reflete parte desta luz, como também cria outro fenômeno, que é a base da percepção espacial e representação artística: a sombra. As sombras são responsáveis pela modelagem tridimensional dos objetos, gerando a percepção de profundidade (ROCKCASTLE; ANDERSEN, 2014).

A sombra se comporta de duas formas: sombra agregada ao objeto, que são as superfícies não iluminadas diretamente contidas no próprio objeto ou forma; e sombra de trajeto, que são as sombras geradas a partir da imagem projetada do objeto pela fonte luminosa, sobreposta em outro objeto ou outra parte deste mesmo objeto, também chamadas de projeções (MICHEL, 1996). Esses dois comportamentos seguem representados na Figura 19.

Figura 19 - A sombra do objeto e a sombra projetada

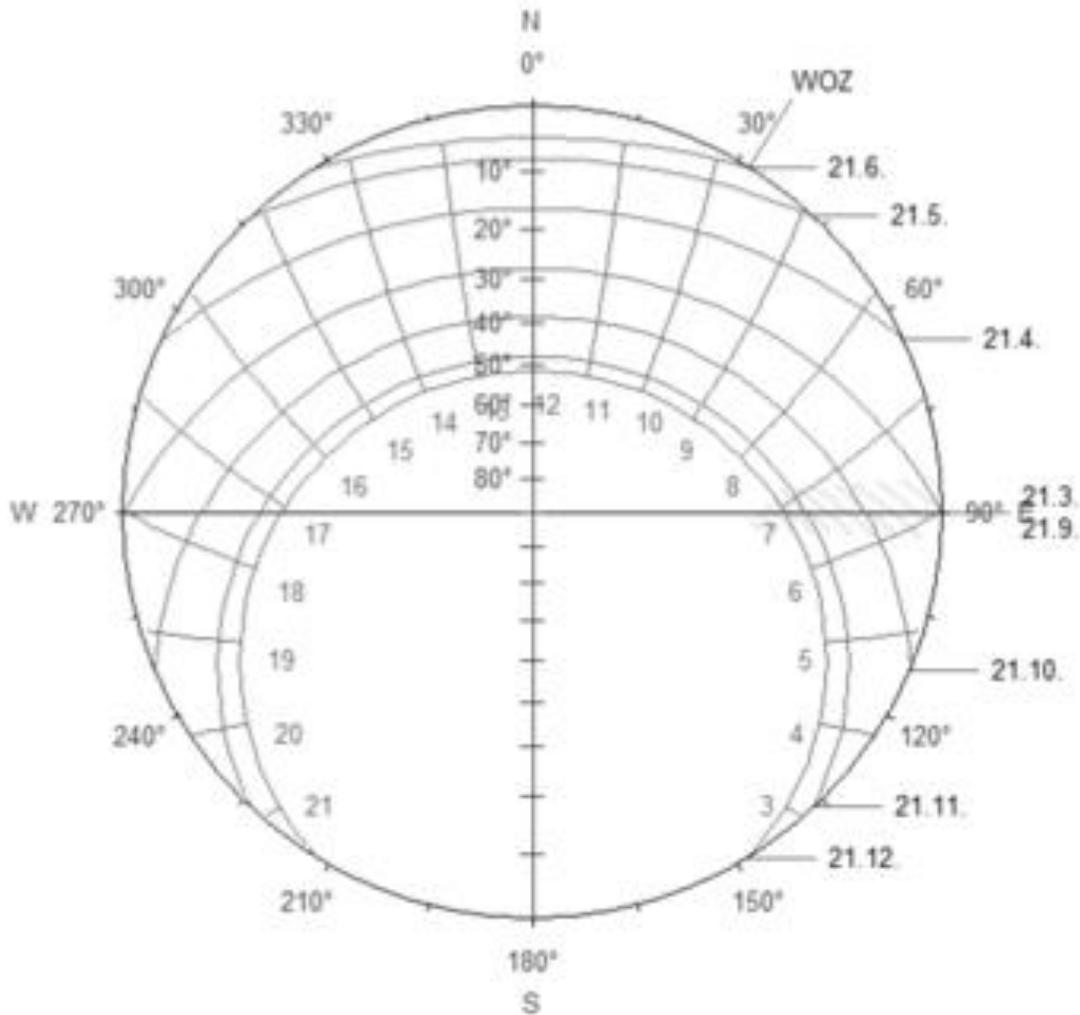


Fonte: a autora

As sombras evidenciam o posicionamento da fonte luminosa sendo um veículo de comunicação do movimento do sol e um recurso de identificação da real forma dos objetos e de fácil apropriação do olho humano. As sombras respeitam as leis da perspectiva e criam pontos de fuga e volumetria. Se a luz for reduzida, as sombras também diminuem assim como os detalhes dos objetos inerentes à forma (MICHEL, 1996).

No caso da Antártica, em específico na localização geográfica da Estação, as questões inerentes às sombras relativas à luz natural são muito recorrentes pois o sol se encontra em uma variação do ângulo de altitude muito baixa, ou seja, no Inverno varia de zero a cinco graus e no Verão a altitude máxima chega a 50 graus, conforme pode ser visualizado na carta solar da Figura 20. Logo, os objetos possuem sempre uma iluminação lateral ou com pequeno ângulo e na maioria das horas do dia, uma grande área sombreada.

Figura 20 - Carta solar da localização geográfica da EACF



Fonte: elaborado a partir de gráfico do programa Relux. (RELUX INFORMATIK AG, 1998)

Peculiar à paisagem Antártica, o fenômeno do “White out” é uma questão bem recorrente inerente à ausência de sombras. É conhecido como uma condição climática em que a visibilidade e o contraste são severamente reduzidos pela neve.

Este fenômeno ocorre quando o horizonte desaparece completamente e não há pontos de referência, deixando o indivíduo com uma orientação distorcida e sem visibilidade (COLLINS ENGLISH DICTIONARY, 2018). Trabalhar a percepção da sombra e entender esse fenômeno faz parte da sobrevivência na Antártica, conforme pode-se visualizar na Figura 21.

Figura 21 - Acampamento remoto envolvido pelo “White out”, em Bindschadler Ice Stream, Oeste da Antártica



Fonte: (STEPHEN PRICE, 1996)

### 2.2.2 Aberturas

As janelas são aberturas e elementos arquitetônicos que fazem a intersecção entre o lado interno e externo da construção, se comportando como transição do exterior e interior e, normalmente, são a maior fonte de perda de calor na arquitetura, especialmente em ambientes condicionados termicamente. São também consideradas os elementos mais influentes na economia de energia, quando se integra a iluminação natural com a artificial (FASI; BUDAIWI, 2015).

Assim como nos meios urbanos tradicionais, também na Antártica as janelas possuem papel fundamental na qualidade do ambiente interno, no conforto térmico e também no conforto lumínico.

As aberturas podem ser portas, janelas ou claraboias, sendo que estas duas últimas, geralmente, são construídas com materiais translúcidos ou transparentes exercendo tanto a função visual do contato com o exterior, como também permitindo a entrada de luz natural no ambiente interno (SHARPLES; STEWART; TREGENZA, 2001). Considera-se, neste trabalho, que o objeto de estudo mais importante é justamente o elemento janela, uma vez que elas estão presentes nos ambientes de uma edificação Antártica e fazem essa conexão com a paisagem externa, sendo assim os principais elementos de interferência no aproveitamento da luz natural no ambiente interno construído.

A importância da disponibilidade de luz natural em fachadas e superfícies externas é essencial no entendimento do desempenho das janelas e avaliação da entrada de luz natural (DARULA; KITTLER; KÓMAR, 2015). Fernandes e outros (2015) enfatizam que uma proteção com elementos posicionados em ângulo ou profundidade, considerando orientação e fatores de refletância do céu, podem aumentar a eficiência das janelas. A proporção da janela em relação à área de fachada também é objeto de estudo e análise para avaliar a sua performance (MANGKUTO; ROHMAH; ASRI, 2016; TOMÉ et al., 2016; FERNANDES et al., 2015).

O uso de claraboias é frequente na arquitetura moderna pois elas permitem o acesso à luz natural em ambientes que não têm fachada, e, ao mesmo tempo, fornecem iluminação homogênea sobre o plano horizontal (ACOSTA; NAVARRO; SENDRA, 2013). No estudo de caso da EACF esse recurso pode se tornar interessante para elevar os valores de iluminância nos ambientes internos, porém, deve-se enfatizar a grande dificuldade técnica em sua execução, considerando a possibilidade de acúmulo de gelo e neve, assim como a dificuldade em produzir soluções que garantam a estanqueidade das esquadrais desse tipo.

Tangenciando o tema inovação, pode-se citar as janelas virtuais – normalmente utilizadas quando as reais não são viáveis –, que proporcionam entrada de luz e uma visão artificial do exterior, solucionando com tecnologia a falta de luz natural e o contato com o exterior (MANGKUTO et al., 2014; MANGKUTO et al., 2014b). Esta é uma solução técnica oposta à busca deste trabalho, contudo, é uma solução que não pode ser ignorada como possível, em outros casos, para minimizar os impactos das aberturas quando não existe o contato com o exterior, tornando o espaço interno mais agradável, mesmo que artificialmente.

### 2.2.3 Conforto Visual

Estudar o conforto visual e a performance da iluminação natural e artificial é de indiscutível importância quando se objetiva promover soluções que proporcionem melhoria na qualidade de vida nos espaços internos e externos.

A fadiga visual que o usuário pode sentir através da leitura digital (BENEDETTO et al., 2014), , ou através da exposição à luz de forma inadequada, como por exemplo, nos diferentes níveis de iluminação de atividades ou variações de intensidade lumínicas nos espaços, criam situações adversas à produção e ao bem estar dos indivíduos. Estes aspectos têm sido pesquisados em estudos experimentais, através da avaliação da tolerância do usuário e relação ao conforto visual em diferentes faixas de iluminamento (KIM; KIM, 2007).

A personalização da luz através do controle da iluminação tem efeito direto no desempenho de atividades e na experiência de conforto, conforme a necessidade do usuário (DE KORTE et al., 2015; NAGY; YONG; SCHLUETER, 2016). Geralmente existe uma preferência por um controle manual do sistema, para que pequenas adaptações e necessidades individuais possam ser atendidas, conforme a sensação de conforto de cada usuário.

O conforto térmico e lumínico no ambiente interno também tem correlação direta com a performance energética nos aspectos relacionados às características das janelas (FASI; BUDAIWI, 2015; KIM; SHIN; YUN, 2012) sendo diretamente influenciados pela radiação solar disponível no envelope da arquitetura e no ambiente interno (MARINO; NUCARA; PIETRAFESA, 2015).

A inserção do LED (*Light Emitting Diode*) como sistema inovativo de iluminação para atingir maior conforto visual e economizar energia para diferentes usuários (FRASCAROLO; MARTORELLI; VITALE, 2014; IACOMUSSI et al., 2015) tem sido uma das técnicas dos consideradas nos estudos de eficiência energética, seja para novas propostas de iluminação, seja em e ações de *retrofit*, as quais podem influenciar a economia energética e o conforto visual sem alterar as características arquitetônicas (LASSANDRO; COSOLA; TUNDO, 2015).

O desconforto visual é um fenômeno não menos importante. Devido à sua frequente ocorrência, estudos recentes – como os de Altomonte e outros (2016), Suk, Schiler eKensek

(2016) e Kent e outros (2014) – comprovam a influência deste fenômeno não apenas em termos quantitativos de luz e relações óticas mas, também, com questões qualitativas e subjetivas.

Os efeitos da luz nem sempre são confortáveis aos olhos humanos. Se uma quantidade excessiva de luz atingir diretamente o olho, causará o efeito denominado ofuscamento. Os níveis de ofuscamento vão desde o desconforto visivo, passando pela incapacidade de exercer tarefas, até a cegueira temporária (LÖFVING; BILLGER; THAUNG, 2015; KENT et al., 2014; SUK; SCHILER; KENSEK, 2013). Essa experiência é comum entre os seres humanos, causa desconforto visual e, em casos extremos, a sensação de cegueira citada, acontece quando o olho passa abruptamente de um espaço escuro para um espaço claro, isto é, pode ocorrer frequentemente no dia a dia de um indivíduo.

Essa sensação é produzida dentro do olho humano através do movimento de abertura e fechamento da íris. O ofuscamento é um problema recorrente, por exemplo, para o usuário idoso, uma vez que os movimentos da íris são feitos por um músculo e, quando estes também já se encontram fadigados pelos anos, não respondem com a velocidade necessária ao estímulo (GREGORY, 1998). Contudo, esse efeito da luz pode causar desconforto em qualquer indivíduo que se posicione entre o objeto iluminado e o corpo negro, dependendo da direção do olhar.

O ofuscamento máximo, também conhecido como cegueira por ofuscamento, acontece quando uma quantidade de luz excessiva entra no olho em um ângulo próximo ao da linha de visão, dissimulando o funcionamento da retina em condições extremas causando a total redução da visibilidade, e conseqüentemente, os objetos não podem ser vistos (MICHEL, 1996). Em proporções menores, quando o ofuscamento incomoda o observador, mas ainda assim permite a visão dos objetos, constitui-se como uma incapacidade visual. Esse fenômeno é bem frequente e geralmente percebido no trânsito e é causa de muitos acidentes onde, por exemplo, o usuário é ofuscado pelo raio de sol e este reduz a performance e acuidade visual do motorista (LÖFVING; BILLGER; THAUNG, 2015).

Na Antártica, o ofuscamento é uma preocupação bem recorrente entre os habitantes. Esta condição visiva reduz a percepção de detalhes em superfícies e interfere ou impossibilita a leitura do entorno, conforme exemplo da Figura 22, que apresenta, no centro da imagem, um

exemplo de ofuscamento, ocasionado pela luz direta do sol e seu reflexo na água e o resultado de dificuldade visual dos arredores devido ao grande contraste de luz e sombras.

*Figura 22 – Exemplo de efeito de ofuscamento na Antártica*



*Fonte: acervo fotográfico do LPP*

Controlar o ofuscamento é essencial para a ergonomia, leitura e percepção do espaço. Quando uma fonte de luz se desloca do ângulo de visão, o efeito se comporta diversamente e dependendo do ponto do observador, o ofuscamento pode ser menor ou maior.

É importante ressaltar que nem sempre o ofuscamento acontece quando um objeto está no ponto do raio de luz ou entre estes. Kim e Koga (2004) afirmam que quando há um objeto em um contexto com muita luz, como em um pano de fundo muito claro e brilhante, é a circunstância mais corriqueira de sensação de ofuscamento, logo, uma avaliação do espaço como um todo é fundamental para a apreensão do cenário sem desconforto (KIM; KOGA, 2004).

O ofuscamento e seus respectivos graus de percepção podem ser mensurados, não somente através das sensações, mas também numericamente, seguindo a metodologia de avaliação do fator de ofuscamento (SUK; SCHILER; KENSEK, 2013). Existe ainda uma discussão sobre as

classificações e limites entre um ofuscamento absoluto ou não, porém é importante simplificar as metodologias de análise de forma que se possa criar um diálogo e uma cultura de preocupação com esse efeito, principalmente para o desenvolvimento de atividades específicas que requerem o conforto lumínico e a integridade da percepção no campo visual.

Para avaliar o ofuscamento por fontes de luz artificial considera-se a *Unified Glare Rating* (UGR), que é a unidade de classificação de ofuscamento. O valor UGR é um parâmetro adimensional que fornece informações sobre o grau de ofuscamento de uma instalação luminotécnica em um espaço interior. Os valores UGR são definidos em etapas dentro de uma escala de 10 a 30, segundo normativa europeia (EN 12464-1, 2011). Quanto menor o valor UGR, menor ofuscamento direto é percebido pelos observadores.

Entretanto, o ofuscamento vai além da sensação extrema de brilho das superfícies luminosas de uma luminária e está também relacionado com a posição e ângulo de visão do observador (SCHEIR et al., 2015).

Alguns aspectos fotométricos devem ser considerados para se calcular o ofuscamento. Contudo, esse efeito da luz pode causar desconforto em qualquer indivíduo que se posiciona entre o objeto iluminado e o corpo negro, dependendo da direção do olhar; a quantidade de ofuscamento se alterna também segundo variáveis subjetivas como por exemplo as diferentes horas do dia (KENT et al., 2014), ingestão de cafeína e fadiga analisados e comprovados estatisticamente em estudos recentes por Altomonte e outros (2016).

Alguns autores também sugerem conexões entre desempenho visual e dificuldade de execuções de tarefas com as condições luminosas oferecidas pela luz natural. Estas podem levar ao desconforto por ofuscamento, no entanto, as variações destas conexões não foram exploradas em detalhes (ALTOMONTE et al., 2016; KENT et al., 2014).

Este tipo de desconforto influencia no dia a dia do indivíduo e nas atividades executadas por estes e conecta o sentido da visão com a qualidade de vida. Segundo Altomonte (2016), em recentes experimentos, ao realizar tarefas visuais de várias dificuldades sob uma iluminação artificial constante, existe o aumento da tolerância à luminância do corpo negro. O efeito, no decorrer do dia, parece ser dependente do nível de desconforto visual experimentado anteriormente pelo usuário e, também, é influenciado pela dificuldade da tarefa exigida. Além disso, o autor afirma que existe uma relação direta entre a resposta à fadiga e ao ofuscamento,

encontrada nos testes empíricos, particularmente na manhã e durante as sessões pós-almoço, à tarde. Foi também detectado um efeito inverso analisando a ingestão de alimentos e o desconforto visual. Observa-se, por exemplo, a influência direta da ingestão de cafeína no nível relatado de ofuscamento, com efeitos significativos no início da tarde e à noite (ALDOMONTE et al., 2016).

A preocupação com o ofuscamento é evidente quando se trata do tema de conforto visual. A necessidade do estudo desse fenômeno de forma aprofundada relacionando-a aos fatores quantitativos e qualitativos inerentes a esse efeito da luz pode indicar o parâmetro mais adequado para medir e avaliar as situações existentes e, desta forma, identificar momentos que proporcionem o menor desconforto possível aos usuários da EACF.

#### **2.2.4 Aspectos Psicológicos**

Conforme comentado anteriormente, a luz regula muitas funções biológicas humanas no ciclo circadiano. Estudos anteriores demonstraram estes efeitos não-visuais sobre o ciclo sono-vigília, a produção de melatonina e outros hormônios, a temperatura corporal e a frequência cardíaca (ENGWALL et al., 2015; KOZAKI et al., 2015; FABIO et al., 2015). Ter acesso à luz natural em ciclos constantes é um dos fatores que auxilia a manter o correto funcionamento da produção de hormônios e, conseqüentemente, do corpo humano como um todo, interagindo desta forma, com o bem-estar psicológico do indivíduo.

Outros aspectos, como ciclos comportamentais, também influenciam diretamente na pressão sanguínea, contudo é comprovado que a produção de melatonina tem um papel importante no ciclo biológico e depende, por sua vez, diretamente do período noturno sem luz (SMOLENSKY; HERMIDA; PORTALUPPI, 2017). Contudo, problemas de depressão no ser humano podem ser relacionados com a falta da luz natural. Conhecido como SAD (transtorno afetivo sazonal), este distúrbio atualmente possui tratamentos que condicionam o homem à uma luz acima de 10.000 lux no período do sono, e tem recebido resultados bem eficientes

(AVERY et al., 2001). Tratar o SAD com exposição aos diferentes tipos de luz já é uma forma relativamente antiga de tentar solucionar o problema (STEWART et al., 1991; GROTA et al., 1989).

Estudos com experimentos empíricos e estatísticos comprovam, por exemplo, a influência da hora do dia na percepção e no conforto visual (KENT et al., 2016; CAVALLERA; GIUDICI, 2008). Isto significa que ter acessibilidade ao ciclo natural do sol, influencia não somente a percepção do espaço, mas também a produção do indivíduo, pois o desconforto pode atingir valores que dificultam algumas atividades de serem executadas.

Ainda neste tema, as variações de comprimentos de onda da luz recebida, por exemplo, pela manhã ou ao entardecer, também influenciam a forma que o corpo humano absorve esse fenômeno, existindo uma relação direta com a produção de hormônios (KOZAKI et al., 2015).

O aspecto psicológico e as mudanças de humor (BORDET; DU; LA, 2006) podem ser diretamente relacionados com a produção de melatonina e o acesso ou não à luz natural. Desta forma, considerando os demais fatores de influência em ambientes inóspito, a questão da luz pode ser um elemento de grande importância no conforto do usuário, dada sua vulnerabilidade, ampliada em ambientes confinados.

Diante do exposto, pode-se afirmar que entender o funcionamento do ciclo da luz natural e a interseção deste com o ciclo biológico é fundamental para garantir qualidade de vida e busca de minimização dos distúrbios psicofísicos criados com o funcionamento deficiente do ciclo circadiano.

### **2.2.5 Programa de simulação**

Através de dois métodos básicos é possível avaliar o potencial de utilização da arquitetura em relação à luz do dia: uma forma é simular computacionalmente ou com medições *in loco*; e a outra é estimar o quanto de energia se pode economizar se utilizada a luz natural (YU; SU, 2015). A simulação computacional é o método mais adequado para as duas soluções e auxilia

especialmente na etapa de projeto, evitando assim, adaptações construtivas futuras para resolver problemas de desconforto visivo no dia a dia, que podem ser identificadas previamente.

Desta forma, os programas de simulação de luz natural vêm ganhando importância no campo do planejamento das edificações devido ao fato da crescente preocupação em projetar ambientes confortáveis e energeticamente eficientes. Atualmente encontram-se disponíveis vários *programas* com essa finalidade, que foram avaliados e selecionados para esta pesquisa.

Alguns estudos comparam ferramentas e programas de cálculos validados e suas respectivas acurácies e performances na avaliação da iluminação no ambiente, podendo-se citar dentre eles, DaySim, Dialux, Radiance, Lightscape e Relux Pro (MAAMARI; FONTOYNONT; ADRA, 2006; YU; SU; CHEN, 2014; ACOSTA et al., 2015; REINHART; HERKEL, 2000; DAS; PAUL, 2015).

Estes programas auxiliam na avaliação da performance da luz e possuem algumas diferenças em ambiente de trabalho e forma de análise de dados conforme descrições a seguir:

1. DaySim é um programa de análise de luz natural validado por Maamari, Fontoynt e Adra (2006) que simula a quantidade anual de luz natural baseado em radiossidade. Este programa permite modelar sistemas de fachadas dinâmicas e elementos de redirecionamento de luz. Seus resultados de simulação variam de métricas de iluminação diurna baseadas no clima, como a autonomia da luz diurna e iluminação diurna útil. Testam também o ofuscamento anual e uso de energia advindo da iluminação elétrica (REINHART, 1998).
2. Radiance é um conjunto de programas de análise e visualização de performance lumínica cujos arquivos de entrada especificam a geometria da cena, materiais, luminárias, tempo, data e condições do céu (para cálculos de luz do dia). Os valores calculados incluem radiação espectral, irradiância e índices de ofuscamento. Os resultados da simulação podem ser exibidos como imagens coloridas, valores numéricos e gráficos de contorno. A principal vantagem do Radiance, sobre as ferramentas mais simples de cálculo e renderização de iluminação, é que admite geometrias mais complexas e materiais variados. Numa avaliação preliminar, para o estudo de caso da EACF este programa apresenta potencial de adequação para a

simulação da neve e das características individuais do albedo citadas anteriormente (LABORATORY, 2002).

3. Lightscape é um programa previamente comercializado e é um programa de simulação de iluminação e visualização que usa radiosidade e algoritmos, onde apenas a solução de radiosidade é considerada para os resultados quantitativos. O algoritmo de radiosidade aplicado utiliza métodos de aperfeiçoamento progressivo e de malha adaptativa (MAAMARI; FONTOYNONT; ADRA, 2006). Tanto a iluminação artificial como a iluminação natural podem ser simuladas. Para iluminação artificial, podem ser usados arquivos fotométricos de distribuição de intensidade luminosa e para a iluminação natural, o programa simula céu nublado e claro, além de um céu intermediário, categorizados pela CIE. A geometria pode ser importada em arquivos vetoriais ou também pode ser criado um volume dentro do programa por meio de superfícies simples (INC., 2000).
4. Relux Pro e Dialux também são programas similares baseados em radiosidade através do método ponto a ponto, onde podem ser realizadas simulações de iluminação artificial e natural. A fotometria de luminárias pode ser importada diretamente das bibliotecas integradas dos fabricantes ou nos formatos IESNA ou Eulumdat e as dimensões das luminárias podem ser definidas manualmente (AG., 1997; DIAL GMBH, 2017). As condições disponíveis de céu simulado são CIE céu nublado e CIE céu claro. Para iluminação interior, geometrias simples podem ser automaticamente geradas com base nas dimensões da sala. As geometrias mais complexas podem ser criadas por meio de blocos e superfícies ou podem ser importadas do *programa* AutoCAD. Os valores de iluminação podem ser obtidos em planos de referência pré-selecionados para o componente de reflexões direto ou com iluminação indireta (MAAMARI; FONTOYNONT; ADRA, 2006). Ambos são gratuitos, certificados pelo CIE, apresentam confiabilidade, possibilitam a elaboração de gráficos e imagens e são utilizados em estudos sobre eficiência energética (MAAMARI; FONTOYNONT; ADRA, 2006; YU; SU; CHEN, 2014).

Para a seleção do programa, foram estabelecidos critérios específicos de seleção, tais como disponibilidade, validade, uso no meio científico, operacionalidade e acessibilidade no uso.

### 2.3 GRUPOS DE ÍNDICES LUMÍNICOS

Os índices para avaliar o conforto visual são um elemento-chave para a definição de metas globais de desempenho para iluminação em edifícios. Além disso, é útil desenvolver critérios compartilhados para orientar o projetista de sistemas eficientes em energia, capazes de proporcionar alto desempenho ambiental (qualidade visual) com baixo consumo de energia (CARLUCCI et al., 2015).

Os índices de performance lumínica apontam a disponibilidade de luz natural em ambientes internos construídos. Neste trabalho, foram agrupadas várias métricas existentes que mostram este fenômeno. Esta seleção abrange fatores quantitativos, de distribuição, qualitativos, de conforto visual e eficiência energética, baseados e aprimorados com novos índices através da metodologia de análise de Carlucci e outros (2015), e apresentado no Quadro 2.

Quadro 2- Grupos de Índices de avaliação lumínica

Escopo do Índice	Nome	Autor
Índices para avaliar a quantidade de luz	Illuminance	TROTTER, 1911
	Daylight Factor	WALSH, 1951
	Daylight Autonomy	CHRISTOPH F. REINHART, OLIVER WALKENHORST
	Continuous Daylight Autonomy	ROGERS AND GOLDMAN
	Spatial Daylight Autonomy	IES LM-83-12
	Useful Daylight Illuminance	NABIL AND MARDALJEVIC
	Frequency of Visual Comfort	SICURELLA, EVOLA
	Intensity of Visual Discomfort	SICURELLA, EVOLA
Índices para avaliar a distribuição da luz	Rules of Thumb	ALSHAIBANI, 2000
	Percentual de aproveitamento da luz natural	SOUZA ET AL [1999]
Índices para avaliar o ofuscamento	Illuminance Uniformity	DIN 5035
	Polar distribution	PARPAIRI, K. ET AL. , 2002.
	Luminance	NÃO DEFINIDO
	Luminance ratio	NÃO DEFINIDO
	British Glare Index	PETHERBRIDGE AND HOPKINSON
	Visual Comfort Probability	GUTH
	CIE Glare Index	EINHORN
	Discomfort Glare Index	CHAUVEL, COLLINS
	New Discomfort Glare Index	NAZZAL
	Unified Glare Rating	CIE17
	Discomfort Glare Probability	WIENOLD AND CHRISTOFFERSEN
	Wienold et al.'s simplification of Discomfort Glare Probability	WIENOLD, JIANG
	Hviid et al.'s simplification of Discomfort Glare Probability	HVIID, NIELSEN
	Enhanced Simplified Discomfort Glare Probability	WIENOLD
	Predicted Glare Sensation Vote	TOKURA, IWATA
	J-Index	MEYER, FRANCIOLI
	Degree of eye opening	J.A. YAMIN GARRETON , R.G. RODRIGUEZ , A.RUIZ , A.E. PATTINI
Annual Sunlight Exposure	IES - ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY	
Índices para avaliar a qualidade da luz	CIE Color Rendering Index	CIE 17,4
	(General) Color Quality Scale	DAVIS AND OHNO
	Flattery Index	JUDD
	Color Preference Index	THORNTON
	Color-Discrimination Index	THORNTON
	Feeling of Contrast Index	HASHIMOTO, YANO
	Color Rendering Capacity	XU
Índices para avaliar o consumo energético	Novel circadian daylight metric	(KONIS, 2016)
	Non-image forming	(HUIBERTS; SMOLDERS; DE KORT, 2016)
Índices para avaliar o consumo energético	Derroche for factor ocupacional	ASSAF & PEREIRA
	Contribuição energética da luz natural	SOUZA ET AL [1999]
	Total annual lighting energy demand	MANGKUTO, ROHMAH E ASRI

Fonte: Elaborado na compilação de índices na pesquisa de referencial teórico, utilizando como base artigos tipo "review" e pesquisas isoladas (CARLUCCI et al., 2015; MANGKUTO; ROHMAH; ASRI, 2016; CARLO; PEREIRA; LAMBERTS, 2004).

### 2.3.1 Índices para avaliar a quantidade de luz

Como recorte das possibilidades de avaliar a luz, dentro dos aspectos divididos nos cinco grupos de índices lumínicos, optou-se por avaliar, neste trabalho, apenas os índices que medem a quantidade de luz em um ambiente, pois se trata do grupo de índices que estabelecem a relação de quanta luz está presente no ambiente, e pode ser mensurado através de uma unidade de medida (lux), portanto, é o fator mais objetivo para avaliar se a luz presente no ambiente interno, é suficiente ou não para o desenvolvimento de atividades. Foram encontrados 10 índices que analisam a luz natural no ambiente interno construído e constatou-se que a base de todos esses índices é a iluminância.

Através do fenômeno físico da iluminância são atribuídos outros fatores, como transmitância, refletância dos materiais tipo de superfícies, necessidades individuais de uso, diferenças culturais, tipo de céus e, através da simulação virtual ou real, obtém-se a performance lumínica de um ambiente, medida em lux.

O Quadro 3 representa um panorama destes índices, com sucinta descrição aferindo suas diferenças e peculiaridades. Entretanto, todos medem a quantidade de luz que o ambiente interno oferece ao usuário.

Quadro 3- Índices lumínicos para a avaliação quantitativa de luz

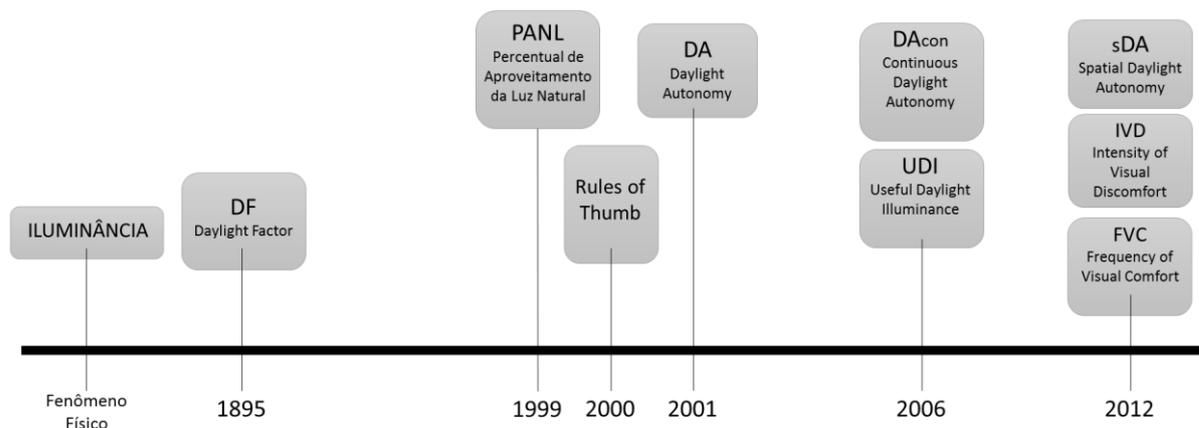
Escopo	Nome	Sigla	Data	Definição	Fonte	
Índices para avaliar a quantidade de luz	1	Illuminance	E	1889	A iluminância é uma grandeza física, medida em lux e definida como a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície. Sir William Preence publicou no Paris Electrical congress em 1889.	TROTTER, 1911
	2	Daylight Factor	DF	1895	Proporção de iluminância do lado externo sob a iluminância do interior da construção, expressa em percentual.	WALSH, 1951
	3	Daylight Autonomy	DA	2001	É representado como uma porcentagem das horas diurnas anuais que um determinado ponto em um espaço está acima de um nível de iluminação especificado	REINHART., WALKENHORST, 2001
	4	Continuous Daylight Autonomy	DACON	2006	É uma modificação básica da Autonomia de Luz do dia. Continuous Daylight Autonomy considera de forma parcial os valores excluídos da faixa de autonomia, considerando que o período abaixo da medida estabelecido pelo usuário também tem influência na avaliação do ambiente.	ROGERS, GOLDMAN, 2006
	5	Spatial Daylight Autonomy	sDA	2012	Uma medida da quantidade de iluminação diurna suficiente para uma determinada área, determinada por uma porcentagem de área de piso que atinge um nível de iluminância especificado (por exemplo, 300 lux) para uma quantidade especificada de horas anuais (por exemplo, 50% das horas de 8 AM-6PM).	IES LM-83-12
	6	Useful Daylight Illuminance	UDI	2006	Avalia a iluminância dentro de uma faixa numérica e classifica a iluminância como útil ou não	NABIL, MARDALJEVIC, 2006
	7	Frequency of Visual Comfort	FVC	2012	Mede em quanto tempo a iluminância está abaixo de um valor determinado para uma atividade específica, considerando os intervalos mínimos e máximos definidos para a atividade e quando está acima do aceitável	SICURELLA, EVOLA, WURTZ, 2012
	8	Intensity of Visual Discomfort	IVD	2012	Determina a quantidade de luz indesejável para uma atividade específica, considerando os intervalos mínimos e máximos definidos para a atividade e quando está acima do aceitável	SICURELLA, EVOLA, WURTZ, 2012
	9	Rules of Thumb	-	2000	A relação entre a área da janela e a área das superfícies internas de uma sala foi investigada como um indicador de iluminância média devido à luz do dia em condições de céu claro	ALSHAIBANI, 2000
	10	Percentual de aproveitamento da luz	PANL	1999	Indica o período em que é possível utilizar a luz natural para substituir ou complementar a	SOUZA et al., 1999

Fonte: a autora

Após a explanação sobre o histórico e funcionamento de cada um destes indicadores, foi justificada a seleção e escolha dos índices que mais se enquadram na realidade Antártica com o intuito de melhor avaliar a quantidade de luz natural e o potencial de utilização da mesma, dentro de todas as particularidades da região.

Cronologicamente, conforme Figura 23, o surgimento de cada índice representou uma mudança de paradigma da avaliação do desempenho luminoso da luz do dia. O que, a princípio, caracterizava-se como uma medição simples, envolvendo a razão da luz interna com a externa, passa por novos desafios, incorporando parâmetros externos aos raios de luz nas análises. Em 2001, Cristófer Reinhart sugere o *Daylight Autonomy* como ferramenta de avaliação da luz de forma dinâmica, isto é, apresentando um panorama anual do que acontece dentro do ambiente (REINHART; WALKENHORST, 2001).

Figura 23- Linha do tempo do surgimento dos índices de avaliação quantitativa da luz



#### ÍNDICES PARA AVALIAR A QUANTIDADE DE LUZ

Fonte: a autora, elaborado a partir de (CARLUCCI et al., 2015; REINHART; WALKENHORST, 2001; HESCHONG; WYMELENBERG, 2012; SICURELLA; EVOLA; WURTZ, 2012)

Por muitos anos foi utilizado o *Daylight Factor* como única forma de expressar a performance lumínica da luz natural. Em 2001 foi estabelecido e validado, na comunidade científica, o *Daylight Autonomy* que ganhou, por sua vez, outras duas formas de avaliar a luz, incluindo outros fatores na sua análise. As denominadas “Faixas de Iluminamento Aceitáveis” foram determinadas por Nabil e Mardaljevic, e a partir de 2006 e após a criação da UDI, os índices lumínicos são medidos e avaliados a partir desses parâmetros. Recentemente, houve uma releitura das faixas de iluminamento úteis propostas por Nabil e Mardaljevic e incorporados o conforto do usuário nos índices avaliativos.

Cinco anos após, em 2006, Nabil apresenta a UDI, simplificando a avaliação lumínica e categorizando-a em faixas ditas úteis e não úteis, método frequentemente citado e utilizado em muitas avaliações do desempenho da luz natural.

Atualmente, torna-se necessário a multidisciplinaridade em todos os aspectos das avaliações de desempenho e conforto, visto que as diferentes disciplinas e necessidades se sobrepõem e

a compatibilização entre projetos e propostas são não apenas fundamentais, mas também necessárias.

Nesta linha de pensamento, sempre no âmbito da iluminação, surge em 2012, a metodologia de Sicurella, Evola e Wurtz que faz a intersecção de informações de conforto térmico com conforto lumínico e cria dois índices, de frequência e intensidade, que avaliam os dois aspectos do conforto humano e apresentam resultados visuais de fácil acesso e entendimento, que vem sendo trabalhado inclusive na realidade brasileira (NICO-RODRIGUES, 2015).

A primeira forma de medir a luz foi através da Iluminância, termo utilizado hoje para o fenômeno físico do raio luminoso. Chamada inicialmente como iluminação, a iluminância é medida em lux e segundo Sir William Preence, que publicou no *Paris Electrical Congress*, em 1889, é definida como a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a sua área (TROTTER, 1911).

*When light falls on a surface, that surface is said to be illuminated. The illumination depends simply on the quantity of light falling upon a given surface, and has nothing to do with the colour or reflecting power of the surface; ... Illumination falling on a dark-coloured surface is absorbed and wasted, but when the same illumination falls on a light or white surface there seems to be "plenty of light." A careful distinction must be observed, for two rooms may have identical illumination, and one may seem to be well illuminated and the other badly illuminated. There is no paradox here the word "illumination" is properly used, and the word "illuminated" is misleading. It may appear pedantic to prefer the word "lighted" to "illuminated," but when once a word has a well-defined scientific meaning, borrowed though it be from ordinary language, that meaning should be jealously guarded. (TROTTER, 1911).*

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na norma ABNT 5413 descreve iluminância como sendo o "limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende para o zero" (ASSOCIAÇÃO..., 1990). É importante ressaltar que a iluminância é a base dos índices que medem a quantidade de luz, visto ser a métrica dos programas computacionais de simulação e dos próprios fotômetros também.

Contemporâneo ao termo iluminância, o *Daylight Factor* também conhecido como Fator de Luz Diurna (FLD) é um índice visto como uma insensível à variação temporal. É uma medida considerada amigável, para ser utilizada na avaliação da qualidade da luz do dia em um ambiente. O FLD descreve a proporção de iluminância do lado externo sob a iluminância do interior da construção, expressa em percentual. Quanto maior o FLD, mais luz natural está disponível no ambiente. Para obter o resultado, calcula-se o coeficiente a partir da seguinte equação:  $FLD=100 \cdot E_{in}/E_{ext}$ , Onde,  $E_{in}$  é a iluminância dentro do ambiente num ponto fixo; e  $E_{ext}$  é a iluminância horizontal externa sob condições de céu nublado, conforme as normas CIE.

O FLD pode ser medido por um ponto específico ou expresso como uma média. Esta última é a média aritmética da soma dos valores dos pontos medidos a uma altura de 0,75m do piso, em uma malha que abrange a área total do ambiente (ASSOCIAÇÃO ..., 2013).

É um índice que fornece resultados diretamente relacionados com a eficiência luminosa e de fácil manipulação e composição com outros índices, por se tratar de um valor numérico absoluto, sendo um método também utilizado por autores como Fontoynt e outros (2016). Entretanto, embora considerado como uma abordagem simplificada e que mede a iluminância apenas em condições de céu nublado CIE, o FLD, por sua vez, atenderia a avaliação de regiões geográficas que apresentam o céu nublado CIE como condição predominante, como a Antártica.

Uma mudança de paradigma das avaliações de performance lumínica aconteceu com o surgimento do *Daylight Autonomy* (DA). Também chamado de Autonomia de Luz do Dia, faz parte de novas métricas de quantificação da luz natural baseadas no clima. Validado pela *Illuminating Engineering Society* IES, o DA é representado como uma porcentagem das horas diurnas anuais que, um determinado ponto em um determinado espaço, está acima de um nível de iluminação especificado. Trata-se de uma grande inovação, uma vez que considera a localização geográfica e informações meteorológicas específicas numa base anual. O usuário é livre para definir o limite acima do qual a autonomia de luz natural é calculada (REINHART; WALKENHORST, 2001)

O DA pode ser usado como índice de desempenho de iluminação natural utilizando parâmetros da NBR/ISO 8995-1, uma vez que a normativa brasileira prescreve apenas valores de iluminância mínimos através da NBR 8.995-1 (ASSOCIAÇÃO..., 2013). Entretanto, o índice de

autonomia de luz do dia apresenta um enfoque mais completo, por apresentar um intervalo mínimo e máximo para atividades específicas de tarefas, devendo então, ser completada neste quesito.

Aprimorada por Rogers e Goldman (2006) a Daylight Autonomy incorporou o Método Contínuo, chamado de *Continuous Daylight Autonomy*. Este método permite que os níveis fora do padrão sugerido de iluminância mínima da luz natural também sejam considerados. Por exemplo, quando um ponto recebe 100lux de iluminância diurna e a iluminância requerida é 200lux, este ponto é creditado 100/200 ou 50% de luz do dia para essa etapa de tempo. Este método dá crédito a espaços que não estão totalmente atendidos com a luz do dia necessária, mas recebem alguma contribuição da luz do dia (ROGERS; GOLDMAN, 2006).

Dez anos após a criação da métrica, o autor, Christoph Reinhart, afirma que o DA pode prever a condição de luz do dia percebida em espaços interiores ainda de forma mais completa em comparação com outras métricas de luz diurna que relacionam a percepção de áreas iluminadas pela luz natural, de acordo com os ocupantes do edifício e simulações de métricas de luz natural (REINHART; WEISSMAN, 2012).

A *Illuminating Engineering Society* (IES) publicou em 2012, uma nova forma de avaliar a Autonomia de Luz Diurna, ou seja, uma medida da quantidade de iluminação diurna suficiente para uma determinada área, obtida através de uma porcentagem de área de piso, a qual atinge um nível de iluminância especificado para uma quantidade especificada de horas anuais, contando com as características de reflexões e refletâncias do espaço interno chamada de *Spatial Daylight Autonomy* (HESCHONG; WYMELENBERG, 2012).

Esse refinamento do método exige, em normativa, que o espaço seja definido previamente e que os resultados desse tipo de simulação e avaliação caracterizem a real performance da luz, que passa a ser dependente dos materiais do entorno.

A *Useful Daylight Illuminance* (UDI) foi criada para medir a iluminação útil diurna, avaliando-a dentro de uma faixa numérica e classificando-a como útil ou não. Esta metodologia traz uma mudança de paradigmas, e substitui alguns aspectos ultrapassados de avaliação da luz, como o Fator de Luz do Dia. Criada por Nabil (NABIL; MARDALJEVIC, 2005) é, além disso, considerada uma medida "dinâmica" no sentido de que leva em conta a variação das condições do céu ao

longo do ano, e que depende muito do tipo de clima local. A UDI exige, também, um mínimo de iluminância definido entre uma gama de valores de iluminância aceitáveis.

Alguns autores analisam distintamente a iluminância dos ambientes relacionando a UDI concomitantemente com aspectos psicológicos e qualitativos (AL TOMONTE et al., 2016). Outros autores preferem usar UDI considerando o risco de desconforto visual, que normalmente é caracterizado com um limite superior e inferior de iluminância, como no estudo de Sicurella, Evola e Wurtz (2012), o qual os autores oferecem uma outra forma de ver a luz e o conforto lumínico, e apresentando dois índices para a avaliação do conforto visual no ambiente: a Frequência de Conforto Visual (FCV) e a Intensidade de Desconforto Visual (IDV).

A Frequência de Conforto Visual mede em quanto tempo a iluminância está abaixo de um valor determinado para uma atividade específica, considerando os intervalos mínimos e máximos definidos para a atividade e quando está acima do aceitável. Já o índice de Intensidade mostra por quanto tempo esse valor está dentro dos parâmetros.

Este índice é definido por dois valores:  $E_{under}$  e  $E_{over}$ . Se o valor não for atendido é necessária a complementação da iluminação do ambiente com luz artificial, e se o valor for excessivo deve-se pensar em proteção à luz solar (SICURELLA; EVOLA; WURTZ, 2012). Assim entende-se que:

- Se  $E < E_{under}$  existe luz insuficiente e é necessário o complemento com luz artificial;
- Se  $E_{under} \leq E \leq E_{over}$  o conforto visual é alcançado somente com a luz natural;
- Se  $E > E_{over}$  existe luz natural excessiva e provável ofuscamento;

Por outro lado, o índice de intensidade de desconforto visual determina a quantidade de luz indesejável, ou seja, quanto de luz tem-se em excesso para o desenvolvimento da atividade. A iluminância é calculada em 3 dias representativos, com medidas de 3 em 3 horas, durante o período de disponibilidade da luz natural. Utiliza para os valores simulados a média aritmética de uma malha de medição de interdistância dos pontos de cálculo de 1m. O autor identifica e descreve as variáveis utilizadas nas simulações, e entre elas, a transmitância do vidro e a refletância das paredes e superfícies internas. Como resultado final um gráfico de dispersão dos dados obtidos é apresentado em quadrantes e qualificado quanto aos parâmetros de conforto em áreas caracteristicamente similares.

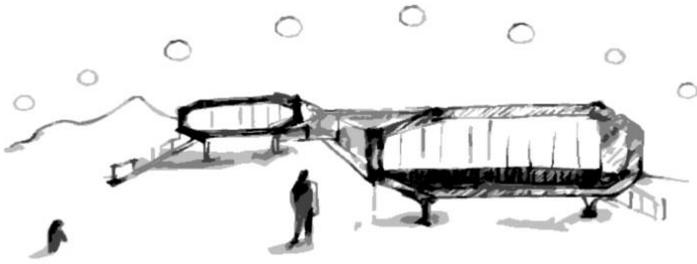
Sicurella, Evola e Wurtz (2012), ainda nesta proposta metodológica, propõem uma sobreposição de dados lumínicos e térmicos, avaliados da mesma forma e escala, o que representa um avanço para as avaliações dos ambientes internos focadas em conforto humano.

Em 2000, foi criado por Alshibani o índice *Rules of Thumb*, que é também conhecido como "regra do polegar" e parece ter sua origem numa antiga prática dos carpinteiros que consistia em usar o polegar no lugar de uma régua, para realizar medições, considerando-se que o comprimento da primeira falange do polegar é de aproximadamente uma polegada.

Este índice determina a relação entre a área da janela e a área das superfícies internas do ambiente, como um índice de iluminância média, e mede a luz do dia em condições de céu claro, com base em estimativas matemáticas. O resultados são baseados em condições delimitadas através de variáveis relacionadas com as características das superfícies internas do ambiente, características das superfícies externas e a luz diurna externa disponível (ALSHAIBANI, 2000).

Na realidade brasileira, em 1999, Souza e outros (1999) apresentaram a metodologia de cálculo do PANL, percentual de aproveitamento da luz natural. O PANL indica o período em que é possível utilizar a luz natural para substituir ou complementar a iluminação natural no ambiente interno. Baseia-se na obtenção de iluminâncias internas que, uniformizadas em determinadas médias de acordo com as zonas de iluminação pré-definidas, são comparadas às iluminâncias de projeto para complementar ou substituir totalmente a iluminação natural. Considera, ao longo da estimativa, a área do ambiente interno avaliado e a probabilidade de ocorrência de céu limpo, céu nublado e céu parcialmente nublado, para o período de um ano (DURISCOE, 2015).

Constatando que a criação do PANL em 1999, no Brasil, é anterior à própria criação do Daylight Autonomy em 2001, na Alemanha, é possível identificar um período com diversas proposições de como medir o desempenho lumínico, seja em realidades tropicais ou climas mais temperados, tendo em comum a priorização do uso da luz natural no ambiente interno construído. Desta forma, identificar os pontos comuns entre esses índices propostos, auxiliará, como base, na proposição de novos métodos de análise.



# PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A síntese do processo de pesquisa, englobando as etapas da investigação referente à avaliação do desempenho lumínico da luz natural em ambientes construídos na Antártica, cujos resultados culminam na proposição de uma metodologia específica de avaliação foram dispostos em forma de fluxograma (Figura 24), para facilitar o entendimento do processo.

A primeira etapa do estudo é a busca por referências teóricas na área pertinente da investigação. Esta etapa, caracterizada como referencial teórico, se subdivide em dois temas, que tratam do local e dos conceitos relacionados à iluminação.

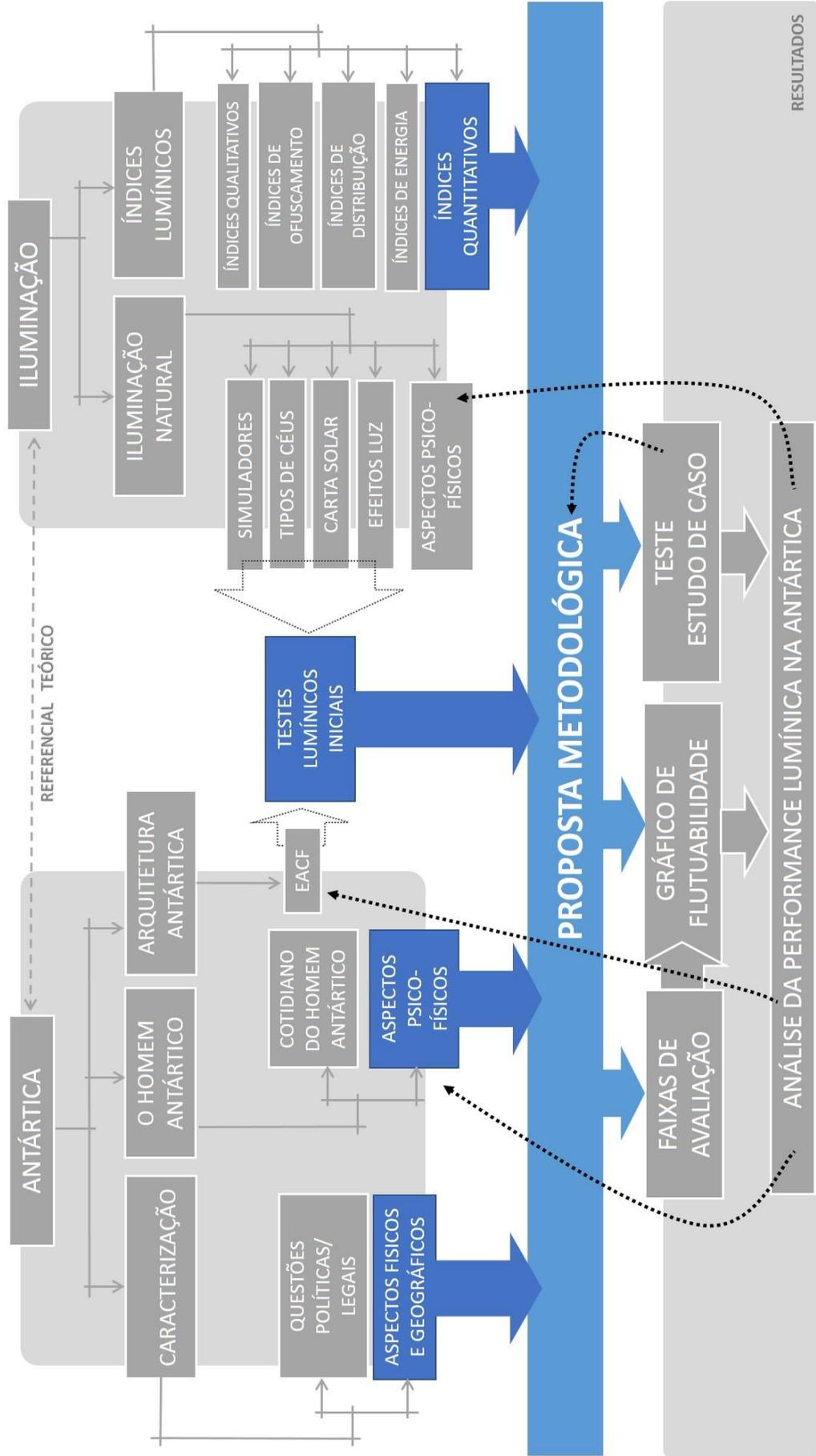
A área estudada no tema da iluminação aborda a luz artificial, natural e o aprofundamento dos métodos existentes para se avaliar a luz nos ambientes internos, chamados de índices lumínicos. Foram identificados 5 grupos de índices: os que avaliam o quantitativo, o qualitativo, o ofuscamento, os que medem a distribuição da luz no ambiente, e os que tratam das questões energéticas. Neste estudo, o grupo de índices trabalhados serão os que tratam da avaliação do quantitativo lumínico, os quais se configuram como o primeiro fator de medição da luz, e têm influência direta no conforto humano.

O estudo da Antártica se subdividiu em três áreas: a caracterização do espaço, o homem Antártico e a arquitetura Antártica. Os temas se ramificam e culminam em um alicerce para a proposta metodológica, baseado nos aspectos físicos, geográficos, psicológicos e fisiológicos, além da própria EACF, o estudo de caso para o teste da metodologia.

A partir da delimitação da área de pesquisa, a Antártica e a Iluminação, foram feitos os recortes e as interseções que tratam as questões inerentes ao local, bem como as características físicas e geográficas do continente gelado. Da mesma forma, estruturou-se os parâmetros que tratam do aspecto da iluminação natural e que definiram os dados e variáveis do estudo de caso. Colheu-se, então, informações sobre os simuladores de iluminação disponíveis, e o estado da arte sobre os efeitos da luz e os fenômenos físicos e óticos inerentes à iluminação no local. Nesta coletânea de conhecimento sobre luz e a Antártica, foram feitas simulações iniciais, fundamentais para definir a problemática da iluminação neste estudo de caso.

Estes procedimentos podem ser visualizados na Figura 24.

Figura 24 - Fluxograma de procedimentos metodológicos



Fonte: a autora

A abordagem teórica referente à pesquisa do desempenho da luz natural, caracteriza-se como um estudo amplo, envolvendo especificidades das questões físicas e matemáticas, através do enfoque do comportamento ótico dos materiais e raios lumínicos e sua performance (LEUNG; RAJAGOPALAN; FULLER, 2013), e justificando-se através do entendimento de como a luz acomete os aspectos físico e psicológico do ser humano (KIM; DUFFY, 2017; SELVI et al., 2017; MELO et al., 2017), com efeitos relacionados às variações hormonais e à direta influência no ritmo circadiano.

Consequentemente, determinar como todas essas informações a respeito da luz podem ser mensuradas, é fundamental na avaliação lumínica. Neste momento, o estudo dos índices lumínicos existentes e desenvolvidos, e o consequente agrupamento destes em características específicas (NABIL; MARDALJEVIC, 2005; CARLUCCI et al., 2015; BELLIA et al., 2008), foi imprescindível para a obtenção do material base necessário, o qual determinou quais são os aspectos relevantes para a avaliação do desempenho lumínico.

Ainda no recorte da investigação bibliográfica, pesquisou-se os tipos de índices que demonstram o potencial para analisar dados lumínicos, e estes foram separados em grupos por semelhança. Por consequência, destacaram-se os índices específicos para avaliar a situação Antártica, referentes à quantidade incidente de luz no ambiente, utilizados em pesquisas existentes, e consequentemente, eleitos quais seriam mais adequados para abordar na metodologia deste estudo.

Após determinar quais seriam as informações base necessárias para o entendimento do desempenho da luz natural, foi necessário um novo recorte nas informações, especificando quais seriam os aspectos envolvidos nas medições e nos testes - representados na Figura 24 - como os retângulos azuis que alimentam o retângulo de procedimento metodológico.

Assim, foram escolhidos os índices que melhor representam a situação Antártica, as variáveis que mais influenciam os resultados de cálculo, e de que forma os dados seriam apresentados, para então, definir a metodologia de avaliação do desempenho da luz natural na Antártica.

A partir dos recortes da pesquisa bibliográfica, foi estruturado o procedimento a ser testado, com base nas referências pesquisadas, e este passo inicial foi fundamental para o desenvolvimento do método final de avaliação lumínica proposto como resultado desta pesquisa.

Neste ponto, a pesquisa foi desmembrada em duas etapas: a de recolhimento de informações, que compreende a abordagem teórica e o caminho dos procedimentos para atingir parcialmente o objetivo; e a segunda etapa, de compilação destes dados e desenvolvimento da metodologia específica para avaliação lumínica de ambientes Antárticos, que sugerem uma releitura das faixas de avaliação lumínica da UDI, mais apropriada à realidade Antártica.

Como resultado inicial houve a criação do gráfico de fluutuabilidade, um diagrama visual do que ocorre com a iluminação natural recebida no espaço testado e o próprio estudo de caso, elemento catalizador de todas as informações e balizador para fazer a análise lumínica, e que, por sua vez, retroalimentou a proposta metodológica, adaptando e ajustando cada procedimento, quando este se apresentava necessário.

O resultado final deste trabalho, testou a metodologia e criou um panorama de discussões em torno das possibilidades de aproveitamento da luz natural na Antártica.

### 3.1 A CARACTERIZAÇÃO DO SÍTIO

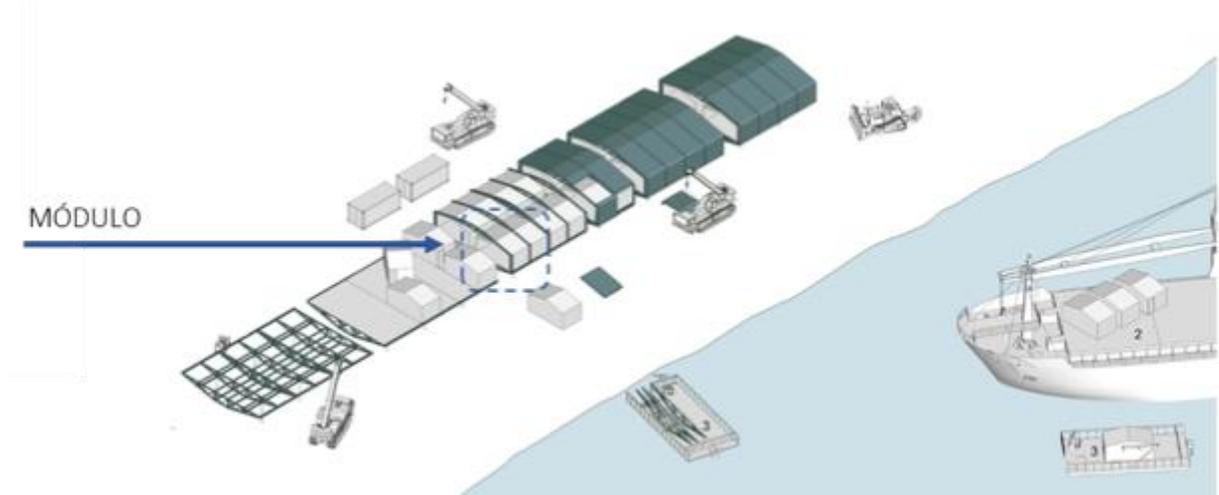
A caracterização do sítio é a etapa investigativa inicial do procedimento metodológico deste estudo. Para avaliar a iluminação natural de um espaço, é fundamental determinar o local, conhecer suas características internas e do entorno, bem como as informações geográficas e climáticas.

O objetivo do trabalho está voltado para o estudo da iluminação natural, logo, entender e se apropriar do conhecimento referente ao sol e sua trajetória na localização geográfica escolhida é primordial, pois o movimento do sol segue uma parábola geométrica e se repete anualmente, sempre da mesma forma. Aproveitar a energia da luz solar é objeto de muitos estudos para inserção do potencial do sol, em sistemas fotovoltaicos (KANTERSA; WALLA; ELISABETH KJELLSSONB, 2013; FREITAS et al., 2015), porém utilizar a luz natural diretamente nos ambientes e aproveitar todo esse potencial de energia em iluminação do ambiente traz consigo benefícios energéticos, com a economia do uso reduzido da iluminação artificial e ainda auxilia

no ciclo circadiano dos usuários, objeto de muitos estudos no campo da medicina e psicologia (KIM; DUFFY, 2017; MELO et al., 2017; AVERY et al., 2001; MAZZOCOLI et al., 2016).

Para o teste da metodologia e estudo de caso foi escolhido o projeto arquitetônico da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), atualmente em processo de reconstrução. O procedimento para coletas de dados referentes à caracterização do sítio foram obtidos do Memorial do Projeto da Estação (DURCE et al., 2014) e de informações fotográficas do ambiente. A EACF é composta de dois volumes longilíneos formados por vários pequenos módulos, tipo contêineres, que fazem a divisão dos compartimentos internos representados na Figura 25.

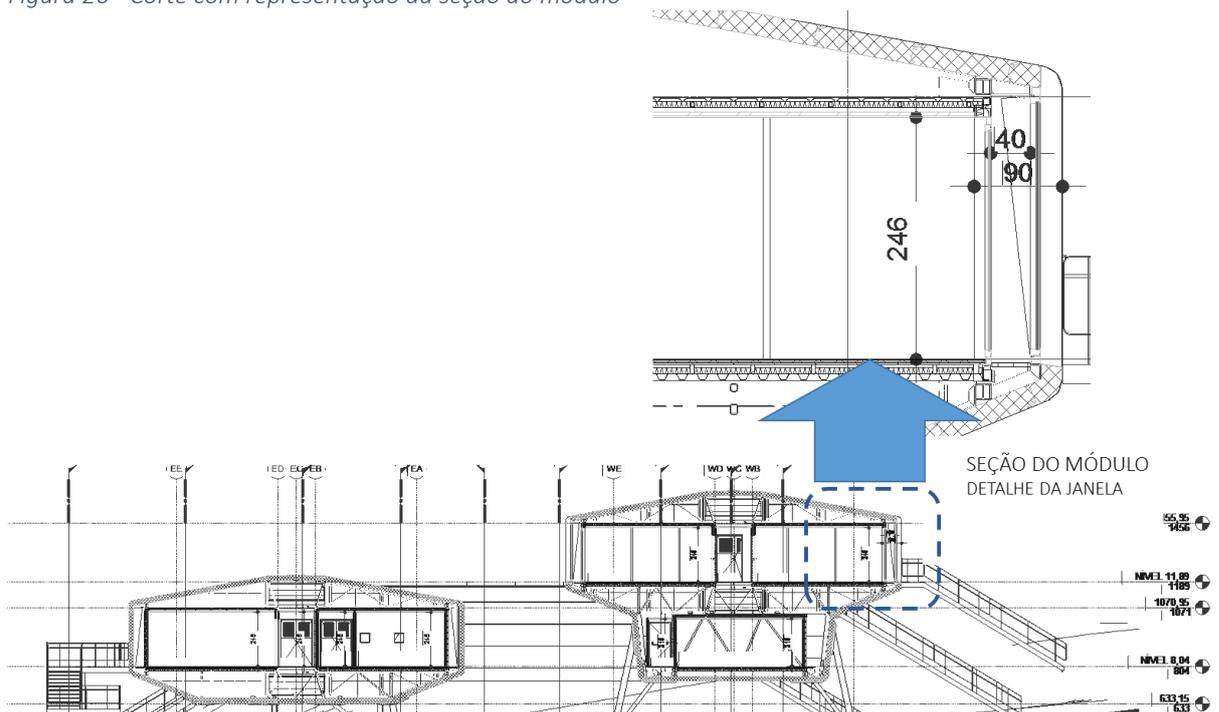
Figura 25 - Perfil esquemático do projeto da EACF com identificação dos módulos



Fonte: adaptado da imagem do Estúdio 41 Arquitetura (EMERSON VIDIGAL et al., 2013)

O espaço modular interno obedece ao dimensionamento do container – 2,14m de largura por 6,40m de comprimento, aproximadamente – sendo a espessura total das paredes externas de 90cm, devido ao sistema de isolamento térmico, que inclui um corredor técnico de 40cm. Os ambientes menores, como os camarotes, possuem uma única janela vertical central, a qual pode ser visualizada na imagem da Figura 26.

Figura 26 - Corte com representação da seção do módulo



Fonte: adaptado de imagem produzida por Estúdio 41 Arquitetura (EMERSON VIDIGAL et al., 2013)

Esta abertura é uma janela planejada para exercer outras funções além da entrada de luz natural e contato com o exterior, e desta forma, configura-se também como rota de fuga e acesso à área técnica, além de possuir funções térmicas e funcionais.

Logo, para efeito de teste da metodologia deste trabalho, optou-se por respeitar a transmitância total da composição projetual original dos vidros, caracterizada por dois painéis distintos: externamente, um sanduiche de 3 vidros com transmitância mínima de 60%; e internamente, outro sanduiche composto por 2 vidros com transmitância mínima exigida de 75%. Foi utilizado nas simulações a moldura das esquadrias no material cinza alumínio, descritos na etapa de caracterização dos parâmetros das variáveis (DURCE et al., 2014).

Nas simulações foram considerados, além da janela e suas peculiaridades, os índices de reflexões internos e externos, seguindo a normativa da NBR ISO CIE 8995/13 (ASSOCIAÇÃO..., 2013). Externamente, foi analisada a paisagem, a qual apresenta dois momentos: um com o solo recoberto de neve, e outro com o afloramento rochoso exposto, o qual denota uma refletância menor da luz natural.

Porém, como recorte do trabalho e teste da metodologia em situação anual, foi definido uma redução das variáveis, e por consequência, foi escolhido trabalhar apenas com a situação do solo coberto de neve. No Inverno, esse recobrimento está sempre presente e é de grande

importância para o melhor aproveitamento da luz e, no Verão, se ocorre, pode gerar desconforto pelo excesso de luz, ou seja, sua existência pode atrapalhar. Logo, é uma condição, de reflexão externa, que denota uma influência em todas as estações.

Alguns estudos descrevem a neve e seu respectivo albedo e apresentam nos seus resultados inúmeros tipos de reflexões. Assim, as variáveis dependem da granulometria e contaminação da neve e criam variáveis com índices de reflexão que variam até 94% (SINGH; KULKARNI; CHAUDHARY, 2011; PETKOV et al., 2016; PULLIAINEN et al., 2014). Para caracterizar o comportamento da neve nas simulações deste trabalho, considerando as características do local, utilizou-se, como referência, um material rugoso e desuniforme com variações de refletância entre 50 e 94%, individualizando uma refletância variável nas faixas de neve limpa e de grânulos pequenos.

Apesar da EACF possuir suas aberturas majoritariamente voltadas para as orientações geográficas Leste e Oeste, definiu-se simular todas as orientações, a fim de obter-se o panorama geral do comportamento da luz natural e do seu potencial, testando o método de avaliação do desempenho lumínico da luz natural dentro do ambiente construído.

Essas informações foram reunidas no programa de simulação Relux PRO, justificado a seguir, e, a partir dos resultados numéricos obtidos referentes à iluminância, os valores foram plotados e organizados na forma de gráficos, baseados em análise qualitativa, segundo o diagnóstico quantitativo de luz disponível medida.

Na compilação dos dados, os resultados obtidos, apesar de se apresentarem com precisão de várias casas decimais nos valores de iluminância obtidos, optou-se por utilizar apenas números inteiros, uma vez que as diferenças decimais de iluminância são irrelevantes e imperceptíveis ao olho humano.

### 3.2 ESCOLHA DO PROGRAMA E PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

O modelo para a simulação da estação foi construído no programa Relux PRO, adotando-se os parâmetros de cálculo tipo Raytracing e três tipos de céus, de acordo com os céus da CIE: *CIE Clear sky with sun*, *CIE Intermediate Sky with sun*, *CIE overcast sky*; chamados neste trabalho de encoberto, intermediário e claro.

O Relux PRO é utilizado amplamente para avaliações luminotécnicas, principalmente em estudos que apresentam a intersecção entre luz natural e artificial, e também é validado internacionalmente para análises de desempenho lumínico (YU; SU; CHEN, 2014; MAAMARI; FONTOYNONT; ADRA, 2006; FARIA et al., 2017).

É um *programa* gratuito e que possui uma interface amigável de fácil utilização, tutoriais disponíveis, e é constantemente atualizado e alimentado com novas tecnologias provenientes da indústria e do mercado de iluminação. O programa trabalha concomitantemente com luz natural e artificial, e, em seus dados de saída, a partir do momento que se caracteriza o comportamento da iluminação natural, consegue-se, no mesmo ambiente computacional, fazer uma simulação da luz natural com a iluminação artificial. Desta forma, os resultados permitem a avaliação do real desempenho e da demanda energética do ambiente.

Nesta pesquisa foi adotado o conceito de que, através da análise pontual, de hora em hora, no intervalo de um ano, consegue-se passar da análise estática (o que acontece realmente com o ambiente naquela hora e naquele momento), para uma análise dinâmica, a qual caracteriza o ambiente e seu potencial quando a iluminação estática é sobreposta num período estabelecido, permitindo a visualização compacta em gráficos do movimento da luz natural.

Considera-se que as avaliações dinâmicas podem apresentar um panorama amenizador dos picos críticos de iluminância, dissolvendo os resultados de altos índices de luz incidente no cenário da leitura anual. Contudo, estes valores de picos são, no uso e análise estática, bem representados e denotam exatamente quando o ambiente tem a característica de desconforto (FARIA et al., 2017).

Segundo o arquivo climático da localidade da Estação Antártica Comandante Ferraz, de 2012, disponibilizado em rede pelo LABEEE, o céu predominante desta região é o céu tipo 9 e 10 (em escala 0 a 10), que identificam alta nebulosidade, equiparando-se ao *CIE Overcast sky*.

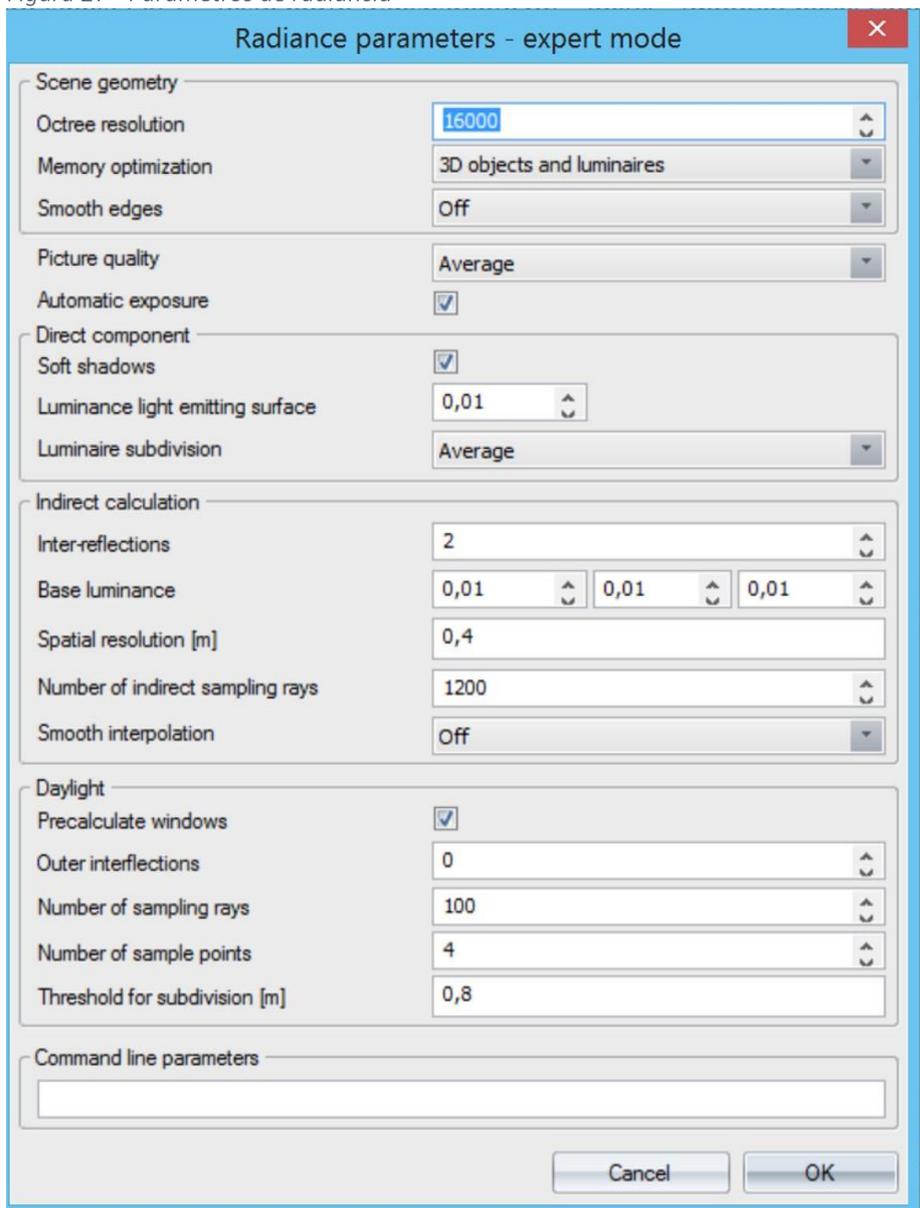
Porém, para uma análise completa do que ocorre no interior da Estação, foram simulados no programa Relux PRO, além dos dias de céu encoberto, também dias de sol. Consequentemente, foram seguidos os parâmetros metodológicos do PANL e foram selecionados os outros tipos de céus, ou seja, o céu intermediário, ou parcialmente nublado, e o céu claro, os quais contêm as informações da abóbada celeste e nebulosidade de forma mais completa: contabilizando a luz difusa, direta e indireta, e avaliando, com seu uso, a real influência da luz natural no ambiente construído.

Nas simulações, foram feitas análises, de hora em hora, dos momentos de sol na abóbada celeste, segundo a carta solar da localização geográfica da EACF (latitude e longitude). Inicialmente foram selecionados os solstícios de Verão e Inverno e o equinócio, como dias representativos para as simulações.

Contudo, com o desenrolar dos resultados, os dias representativos foram revistos e alterados para períodos representativos, principalmente considerando a grande variabilidade de disponibilidade de luz natural ao longo dos meses. Desta forma, para o teste da metodologia e representação dos gráficos, as simulações foram estendidas para todos os outros meses do ano, e estabelecida em estações climáticas (Primavera, Verão, Outono e Inverno), apresentando o resultado estático e dinâmico em um único gráfico.

Nessas variáveis foram usados parâmetros de radiância com 2 inter-reflexões e 1200 raios calculados, garantindo assim a contribuição da luz indireta no ambiente, conforme Figura 27. Estes parâmetros selecionados geram uma avaliação rápida e é uma configuração padrão que garante o valor da iluminância e não enfatiza o resultado de visualização de imagem.

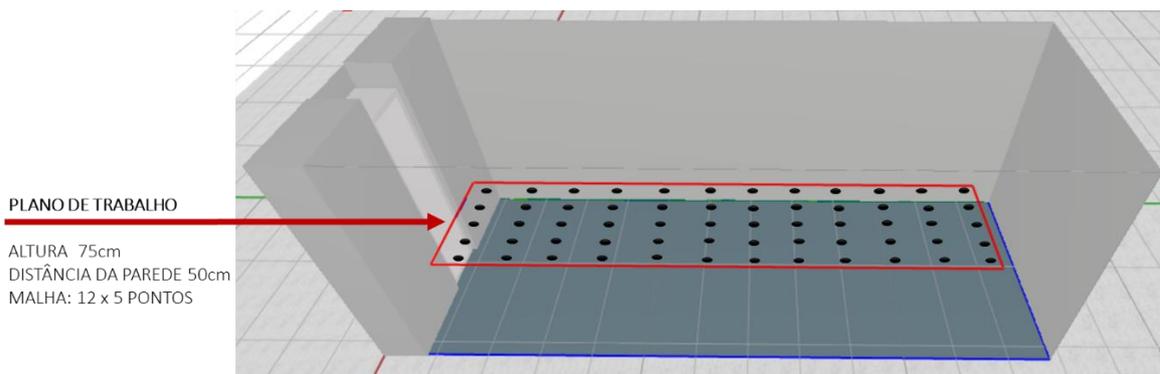
Figura 27 - Parâmetros de radiância



Fonte: RELUX PRO

Os resultados obtidos foram avaliados no plano horizontal a 75cm de altura em relação ao piso, chamado de plano de trabalho, conforme a NBR ISO CIE 8995/13 (ASSOCIAÇÃO..., 2013), apresentado na Figura 28.

Figura 28 - Vista perspectiva do ambiente de simulação com localização do plano de trabalho e pontos de cálculo



Fonte: adaptado do RELUX PRO

Ainda, segundo a normativa, a malha de cálculo deve estar com uma distância de 50cm das superfícies perimetrais, de forma que a avaliação da média dos resultados medidos corresponda apenas à área de interesse e uso do ambiente. Semelhantemente, os pontos de verificação neste plano de trabalho seguem uma interdistância mínima estabelecida na norma NBR ISO CIE 8995/13, de modo que, a iluminância possa ser calculada mais precisamente (Figura 29).

Figura 29 - Imagem da NBR ISO CIE 8995/13, com as padronizações para a malha de cálculo

Ambiente	Maior dimensão da zona ou sala d	Tamanho da malha p
Área da tarefa	Aproximadamente 1 m	0,2 m
Salas/zonas de salas pequenas	Aproximadamente 5 m	0,6 m
Salas médias	Aproximadamente 10 m	1 m
Salas grandes	Aproximadamente 50 m	3 m
NOTA Recomenda-se que o tamanho da malha não seja excedido.		

O tamanho da malha é dado pela equação a seguir:

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10} d}$$

onde

$p$  é o tamanho da malha, expresso em metros (m);

$d$  é a maior dimensão da superfície de referência, expressa em metros (m);

$n$  é o número de pontos de cálculo considerando a malha  $p$ .

FONTE: (ASSOCIAÇÃO ..., 2013)

O ambiente utilizado para simulação constitui-se por um espaço modular da EACF, aqui definido por 2,14m de largura, 6,4m de comprimento e altura de 2,44m. A janela está especificada em material tipo RAL 9006 na sua moldura estrutural, de alumínio branco com dimensões 2,20m x 0,50m. O vidro da janela simulada é uma simplificação da janela original, descrita anteriormente. Logo, somou-se o decaimento da transmissão luminosa dos dois painéis sanduiches de vidros, resultando em no mínimo 45% de transmitância, como média

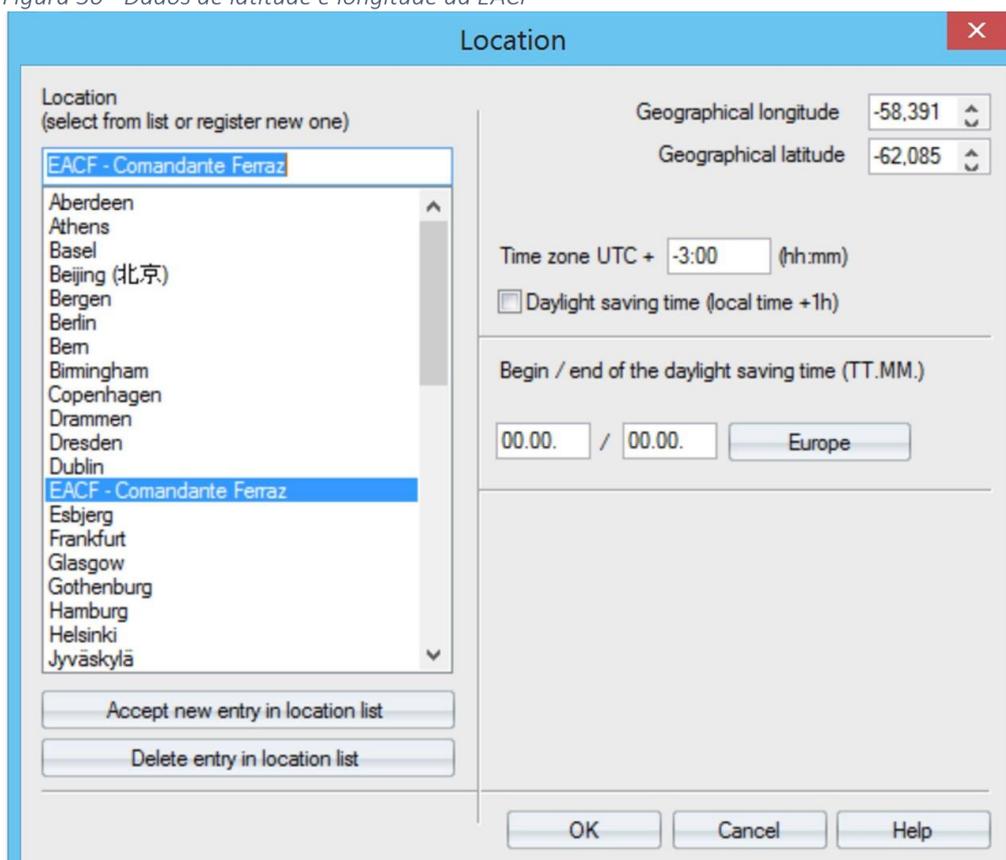
aritmética dos painéis originais, e foi estabelecido esse valor para efeito de cálculo do ambiente simulado.

As reflexões das paredes internas foram estipuladas em 20% de reflexão no chão, 50% nas paredes e 70% no teto, conforme índices de reflexão da normativa NBR ISO CIE 8995/13.

Outro elemento que influenciou no cálculo foi a área de reflexão externa da construção, determinada conforme a paisagem mais representativa da situação geográfica, ou seja, o solo externo coberto de neve. Na simulação foi configurado como parâmetro o número de 2 inter-reflexões dos raios externos, o que significa quantas vezes o raio de luz calculado rebateu nas superfícies.

Nas simulações foram testadas as fachadas Norte, Sul, Leste e Oeste e a exata posição geográfica da EACF, conforme Figura 30.

Figura 30 - Dados de latitude e longitude da EACF



Fonte: RELUX PRO

Os dados obtidos no Relux PRO foram lançados na planilha Excel, onde foram compiladas as tabelas de resultados. Também foram criadas faixas de análise diferenciadas, seguindo a

metodologia da UDI, ampliando a faixa não útil entre 0 e 100lux onde obteve-se a maior incidência de resultados nas simulações feitas.

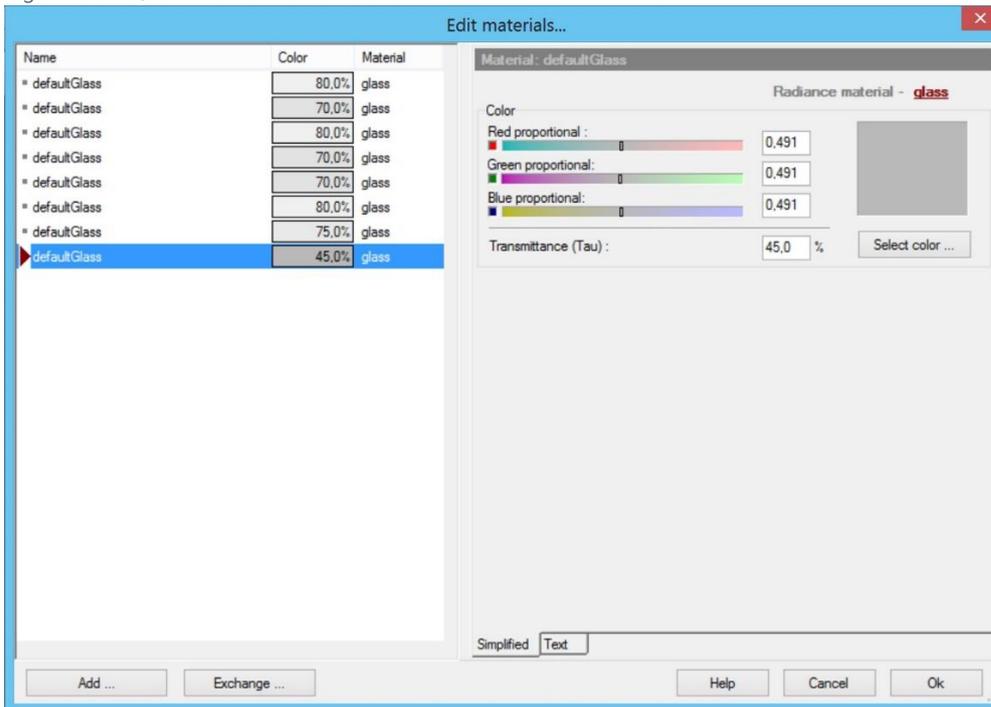
Dados resultantes de iluminância podem ser obtidos com inúmeros programas de cálculos luminotécnicos, análises energéticas, *Building Information Modeling* (BIM) e, inclusive, com medições manuais através de luxímetros, isto é, virtualmente e em campo. Essa proposta metodológica apresenta e discute como avaliar a performance da luz e como a forma de recolhimento dos dados pode ocorrer de várias maneiras, possibilitando o uso desta ferramenta por um maior número de profissionais que tomam decisões de projeto e não apenas aos especialistas em luminotecnica.

### 3.3 PROCEDIMENTO INICIAL

Os resultados da metodologia aplicada foram obtidos através do teste de simulação da entrada de quantidade de luz natural no módulo básico da EACF. A construção do ambiente no programa de cálculo corresponde ao espaço modular com apenas uma abertura, configurada verticalmente e centralizada na menor parede desse módulo.

A transmitância do vidro da abertura foi estabelecida na simulação em 45%, conforme Figura 31. Este valor configura-se como uma simplificação dos dois painéis de vidros originais determinados no memorial de projeto da EACF.

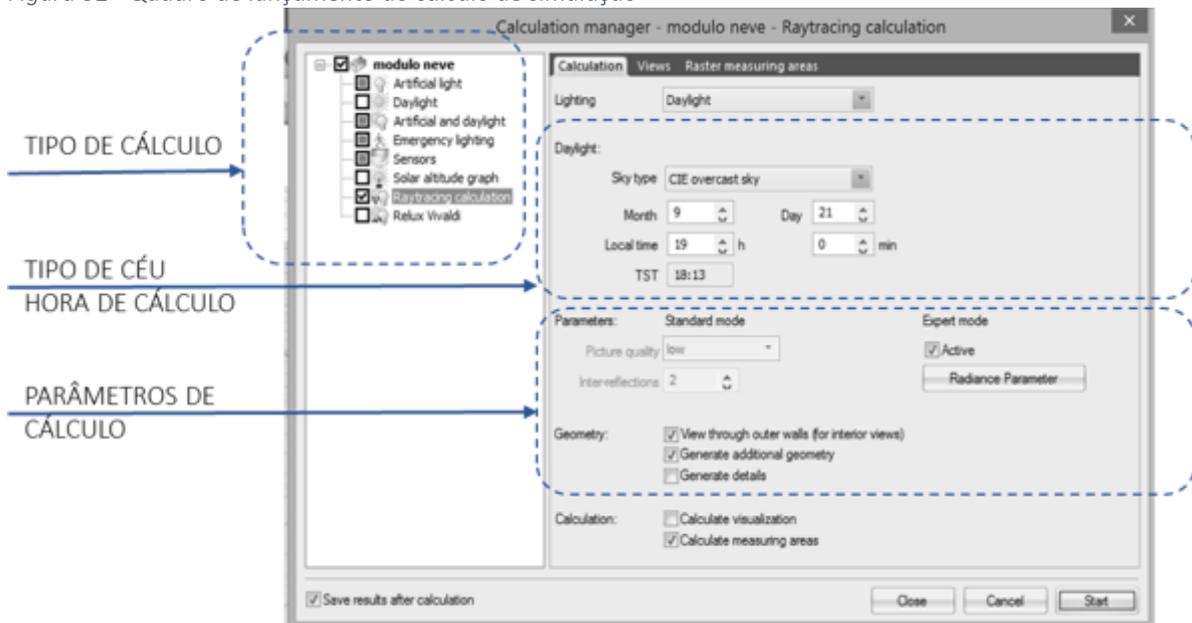
Figura 31 - Quadro de dados de transmitância do vidro simulado



Fonte: RELUX PRO

As variáveis externas foram: a superfície externa tipo neve, as quatro orientações geográficas principais (Norte, sul, Leste e Oeste); e, o lançamento do cálculo foi através do modo *Raytracing calculation*, conforme Figura 32.

Figura 32 - Quadro de lançamento do cálculo de simulação



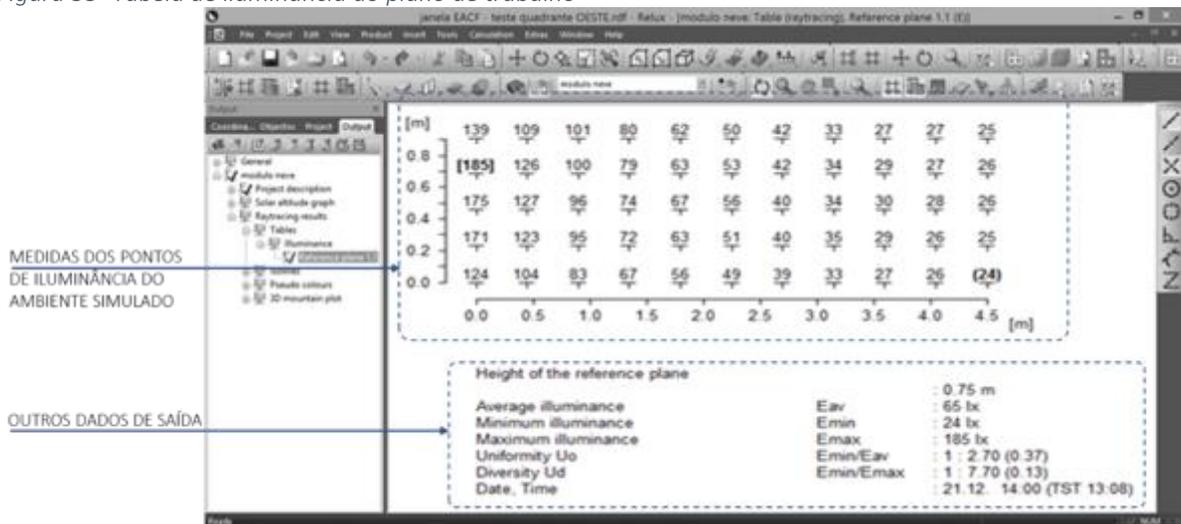
Fonte: RELUX PRO.

Foram definidos, individualmente, os três tipos de céus representativos e justificados no decorrer do trabalho, segundo PANL: o céu claro (*clear sky with sun*), o céu encoberto (*overcast*

sky) e o céu intermediário (*intermediate sky with sun*) conforme classificação CIE, considerando, sempre que possível, a luz difusa e direta da abóbada.

Foram lançados os cálculos de hora em hora, e na Figura 33 está representado o plano de trabalho com a exemplificação de como os resultados da iluminância se apresentam: distribuídos numericamente em pontos interdistantes na malha; com informações sobre a iluminância máxima, mínima e média; uniformidade, diversidade, data e horário, conforme fornecido pelo programa escolhido.

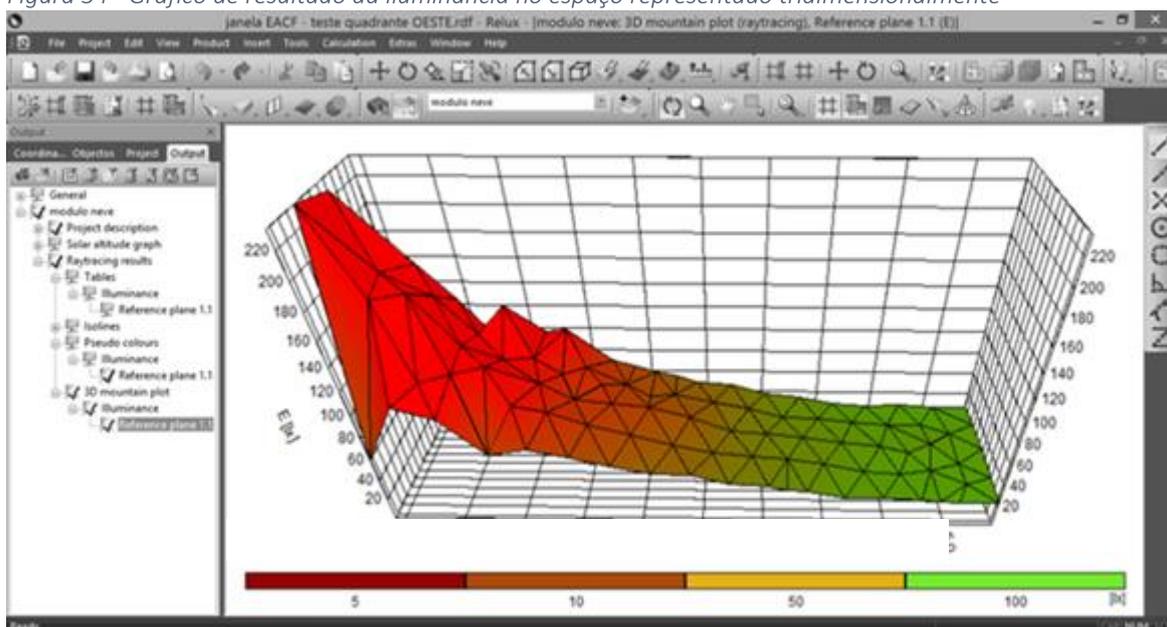
Figura 33- Tabela de iluminância do plano de trabalho



Fonte: RELUX PRO

Os mesmos dados podem ser visualizados tridimensionalmente através do gráfico de distribuição da iluminância no espaço, conforme Figura 34. A imagem demonstra, em perspectiva, o comportamento da luz e sua influência no ambiente espacialmente onde, próximo a janela encontram-se os maiores níveis lumínicos, representados pelos picos vermelhos e no fundo os valores mais baixos com o plano quase que horizontal, em verde.

Figura 34 - Gráfico de resultado da iluminância no espaço representado tridimensionalmente



Fonte: RELUXPRO

Os dados de saída do *programa* são padronizados e podem ser exportados em tabelas numéricas para o Excel. Os dados de iluminância obtidos foram calculados individualmente e arredondados para números inteiros e dispostos em linha e colunas de forma a organizar o panorama geral dos resultados, ou seja, a avaliação anual da entrada de luz natural no ambiente.

As tabelas das Figura 35, Figura 36 e Figura 37 apresentam, como exemplo, esses dados compilados com as informações da iluminância média, de hora em hora, durante os períodos: do solstício de Verão, do equinócio e do solstício de Inverno. São resultados numéricos simples, feitos no programa Relux PRO, mas que podem também ser calculados em outros programas de simulação ou mesmo através de luxímetros manuais, os quais, com todos os pontos determinados no ambiente e medidos *in loco*, possam ser somados representando a média da iluminância do ambiente.

Figura 35 - Compilação da iluminância média no Solstício de Verão

Solstício de Verão - Abertura Norte			Solstício de Verão - Abertura Sul			Solstício de Verão - Abertura Leste			Solstício de Verão - Abertura Oeste						
CIE OVERCAST SKY	CIE INTERMEDIAT E SKY	CIE CLEAR SKY	CIE OVERCAST SKY	CIE INTERMEDIAT E SKY	CIE CLEAR SKY	CIE OVERCAST SKY	CIE INTERMEDIAT E SKY	CIE CLEAR SKY	CIE OVERCAST SKY	CIE INTERMEDIAT E SKY	CIE CLEAR SKY				
3H	4	4	9	3H	4	6	21	3H	4	6	20	3H	4	4	8
4H	7	6	11	4H	7	10	20	4H	7	12	27	4H	7	6	12
5H	10	11	18	5H	10	15	30	5H	11	21	60	5H	10	9	17
6H	14	17	25	6H	14	19	30	6H	13	21	636	6H	14	12	22
7H	17	23	32	7H	17	23	33	7H	18	120	940	7H	17	15	28
8H	22	30	49	8H	21	23	40	8H	21	172	120	8H	21	18	34
9H	25	37	64	9H	24	22	42	9H	25	53	78	9H	25	19	39
10H	26	42	78	10H	26	21	43	10H	26	47	70	10H	26	21	46
11H	26	46	85	11H	28	20	43	11H	27	39	57	11H	28	24	49
12H	28	46	85	12H	28	19	45	12H	28	32	48	12H	28	27	53
13H	27	43	80	13H	27	20	45	13H	26	27	47	13H	26	33	62
14H	25	41	77	14H	25	21	42	14H	26	24	45	14H	26	41	72
15H	23	36	58	15H	23	23	40	15H	23	22	38	15H	23	45	81
16H	20	29	45	16H	20	21	37	16H	20	19	30	16H	20	98	425
17H	17	21	33	17H	16	21	30	17H	16	17	25	17H	17	228	1330
18H	13	15	24	18H	13	18	28	18H	13	14	23	18H	13	92	489
19H	9	9	16	19H	9	14	27	19H	9	11	10	19H	9	19	50
20H	6	6	10	20H	6	9	21	20H	6	5	8	20H	6	10	28
21H	3	3	8	21H	3	6	20	21H	3	3	8	21H	3	5	18

Fonte: a autora

Figura 36 - Compilação da iluminância média no Equinócio

Equinócio de Primavera - Abertura Norte			Equinócio de Primavera - Abertura Sul			Equinócio de Primavera - Abertura Leste			Equinócio de Primavera - Abertura Oeste						
CIE OVERCAST SKY	CIE INTERMEDIAT E SKY	CIE CLEAR SKY	CIE OVERCAST SKY	CIE INTERMEDIAT E SKY	CIE CLEAR SKY	CIE OVERCAST SKY	CIE INTERMEDIAT E SKY	CIE CLEAR SKY	CIE OVERCAST SKY	CIE INTERMEDIAT E SKY	CIE CLEAR SKY				
6H	2	3	8	6H	2	3	7	6H	2	16	104	6H	2	3	8
7H	6	8	14	7H	6	7	11	7H	6	16	60	7H	6	5	11
8H	10	16	33	8H	10	10	17	8H	9	20	49	8H	9	9	17
9H	13	26	54	9H	13	12	22	9H	13	27	53	9H	13	12	21
10H	13	33	72	10H	16	14	25	10H	16	26	46	10H	15	16	27
11H	15	113	569	11H	17	14	28	11H	17	24	39	11H	16	19	29
12H	16	165	915	12H	16	14	27	12H	16	22	32	12H	17	23	36
13H	17	40	81	13H	16	14	29	13H	16	17	30	13H	16	26	43
14H	15	31	65	14H	15	14	23	14H	14	15	26	14H	15	26	50
15H	12	22	45	15H	12	12	21	15H	12	11	21	15H	12	24	50
16H	8	13	24	16H	8	8	14	16H	8	8	14	16H	8	16	46
17H	5	6	12	17H	4	5	9	17H	5	4	10	17H	5	20	112
18H	2	2	6	18H	2	2	6	18H	2	2	7	18H	2	2	21

Fonte: a autora

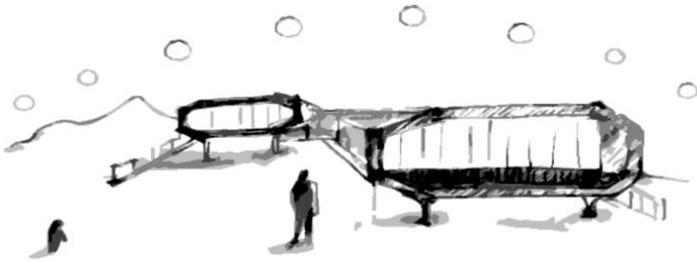
Figura 37 - Compilação da iluminância média no Solstício de Inverno

Solstício de Inverno - Abertura Norte			Solstício de Inverno - Abertura Sul			Solstício de Inverno - Abertura Leste			Solstício de Inverno - Abertura Oeste						
CIE OVERCAST SKY	CIE INTERMEDIAT E SKY	CIE CLEAR SKY	CIE OVERCAST SKY	CIE INTERMEDIAT E SKY	CIE CLEAR SKY	CIE OVERCAST SKY	CIE INTERMEDIAT E SKY	CIE CLEAR SKY	CIE OVERCAST SKY	CIE INTERMEDIAT E SKY	CIE CLEAR SKY				
10H	3	5	24	10H	3	3	8	10H	3	4	13	10H	3	3	7
11H	4	15	81	11H	4	4	9	11H	4	5	11	11H	4	5	8
12H	5	37	328	12H	5	4	10	12H	4	5	9	12H	5	5	10
13H	4	12	66	13H	4	4	10	13H	4	4	9	13H	4	5	11
14H	2	5	23	14H	2	3	8	14H	2	3	7	14H	2	4	13

Fonte: a autora

O ambiente simulado, por ter dimensões reduzidas oferece, através da média, valores bem representativos, pois eles excluem 50cm de todo o perímetro, assim, os valores mais baixos, do fundo do ambiente, e mais altos, próximos da janela não fazem parte do cálculo da iluminância média, a qual mantém, apenas os valores medidos centrais seguindo a NBR/ISO 8995-1.

Para a criação do diagrama de fluabilidade os valores numéricos foram inseridos por agrupamentos: orientação geográfica e estações climáticas. Estas combinações foram suficientes para a composição dos gráficos que apresentam os resultados de iluminância do espaço de forma compacta com informações estáticas e dinâmicas, isto é, demonstrando o que acontece no ambiente simulado naquele momento e também durante aquele período representativo.



# RESULTADOS DA METODOLOGIA

## 4 RESULTADOS DA METODOLOGIA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Os resultados do desenvolvimento da metodologia deste trabalho, percorreram várias adaptações e ajustes na forma de apresentação dos valores medidos de iluminância do ambiente simulado. Este processo está relatado neste capítulo e foi fator determinante para alcançar o diagrama final de apresentação dos dados de forma estática e dinâmica.

### 4.1 O PERCURSO PARA OBTENÇÃO DO DIAGRAMA

O método deste trabalho se configurou, inicialmente, com a fusão de quatro índices: o FVC, o IVD, a UDI e o PANL. Os índices escolhidos avaliam o quantitativo de luz dentro do ambiente interno construído.

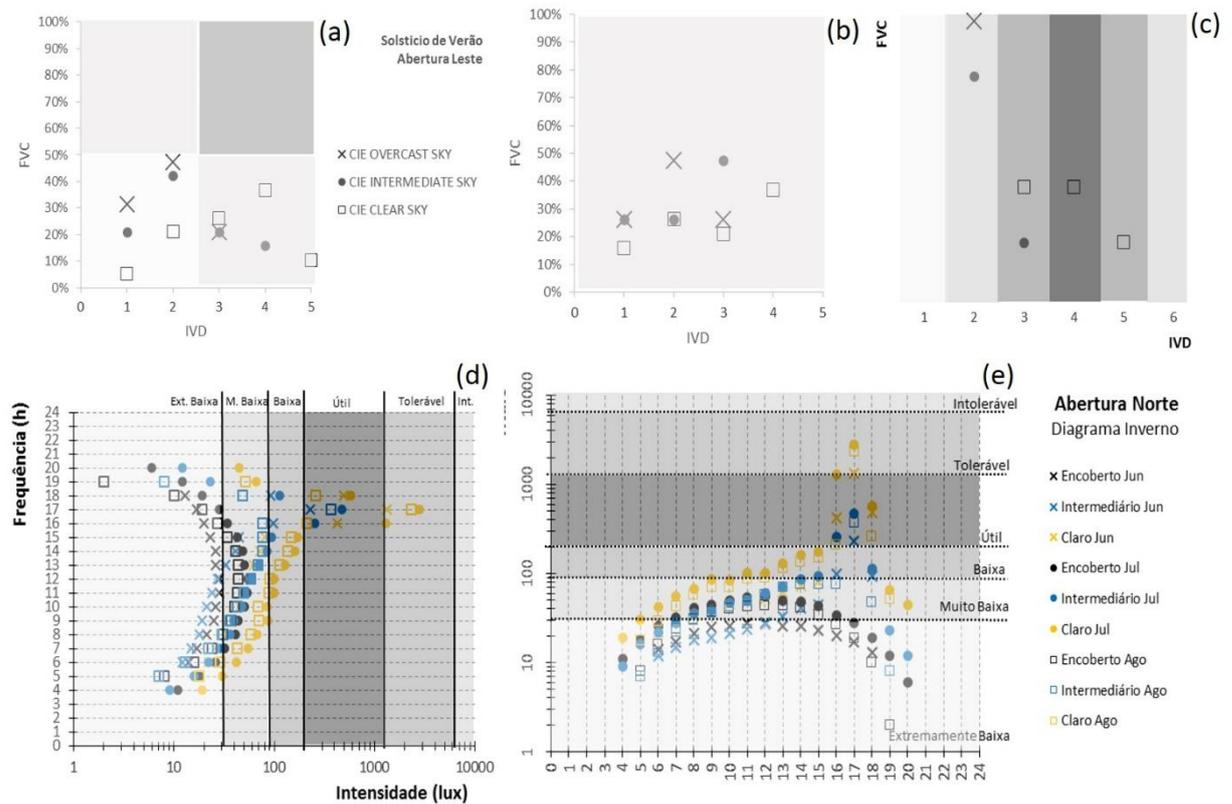
Desenvolvendo a fusão dos índices selecionados, foi gerado um gráfico chamado de diagrama de fluabilidade, que se configurou como panorama de fácil apreensão visual do quantitativo de luz medido, abordando o desempenho da luz natural de forma dinâmica e estática.

O diagrama de fluabilidade, inicialmente, foi concebido com dois eixos: horizontal com informações de intensidade, e vertical com os dados de frequência. A distribuição dessas informações baseou-se no diagrama de Sicurella, Evola e Wurtz (2012). Contudo, foi necessário entender que a dinâmica da luz funciona de forma diferente da temperatura, e não foi possível classificar o contexto lumínico de um espaço de forma qualitativa, como ocorreu na análise térmica do autor de referência. Foram feitas várias adaptações e ajustes no diagrama até ele apresentar a forma final.

A Figura 38 exibe um resumo dos cinco momentos de tomada de decisões, quanto às informações distribuídas no diagrama, os quais serão descritos individualmente neste capítulo.

A imagem (a), da esquerda para a direita, representa a tentativa inicial de adaptar a metodologia de Sicurella, Evola e Wurtz (2012), e avaliar o desempenho lumínico do ambiente, com o mesmo formato de frequência e intensidade no eixo vertical e horizontal, respectivamente. Na imagem (b) eliminou-se os quadrantes qualitativos do plano de fundo do gráfico, pois a iluminação não funciona qualitativamente como a temperatura de um ambiente. Na imagem (c) foi feita uma tentativa de classificar as faixas qualitativas ainda com os eixos medidos apenas em percentuais. O quarto gráfico (d), no seu desenvolvimento, apresenta as medidas em horas do dia, em vez de percentuais, e já individualizando os resultados da situação Antártica, demonstrando os valores em escala logarítmica, ampliando visualmente as faixas de menores valores, as quais contém a maioria dos resultados. O último diagrama (da Figura 38 Erro! Fonte de referência não encontrada.e) é um aprimoramento do quarto e inverte os eixos, para apresentar o percurso dos resultados e as faixas em um panorama horizontal, mimetizando o próprio percurso do sol na abóbada. Estes diagramas representam a evolução do percurso seguido na proposta de um gráfico representativo do desempenho da luz natural e o acompanhamento de sua evolução facilita o entendimento da versão final do diagrama.

Figura 38 - Evolução do Diagrama de fluutuabilidade de avaliação lumínica



Fonte: a autora

Os resultados avaliados no diagrama final (Figura 38e) assinalam, no eixo horizontal, quanto acontece de incidência da luz natural no ambiente, ou seja, sua ocorrência e constância apresentada em horas do dia. Já no eixo vertical, a intensidade medida mostra como a luz se comporta através de faixas de iluminância, as quais variam desde baixos valores até os valores mais altos, em uma escala baseada na UDI.

A UDI, por sua vez, sugere uma explanação visual dos resultados em uma faixa de utilidade da luz, considerando também uma análise por período (NABIL; MARDALJEVIC, 2006). Na compilação destes índices foram incluídas algumas características do processo metodológico do índice brasileiro PANL (CARLO; PEREIRA; LAMBERTS, 2004), que evidencia a simulação da luz natural utilizando como base três tipos representativos de céus, os quais demonstram, em simulações estáticas sobrepostas, a dinâmica anual do ambiente. De forma simples, essa análise apresenta uma visualização dinâmica, apontando as possibilidades de três tipos de reflexões da abóbada celeste.

Muitos autores utilizam a UDI como faixa de análise, entretanto, neste trabalho, foi adicionado, além da mesma UDI, um incremento na faixa de valores mais baixos, considerando especialmente a especificidade da carência de iluminação no Inverno Antártico.

Também foi considerada a necessidade de avaliação sob os três tipos de céus, ao invés de apenas o céu predominante no arquivo climático, configurado como totalmente encoberto. O céu encoberto não simula variações de reflexões na abóbada, nem de luz direta, e torna a análise incompleta, pois dias de sol também acontecem na Antártica e mudam completamente os resultados.

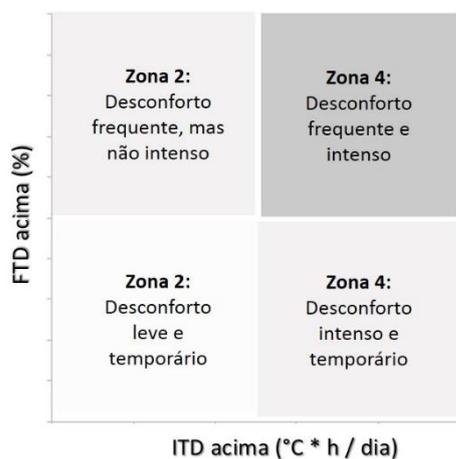
Os índices FVC, IVD, UDI e PANL foram agrupados em um gráfico chamado de diagrama de fluabilidade, e adaptado para a realidade Antártica. Em outros estudos, esta proposta de diagrama, originária de Sicurella, Evola e Wurtz (2012), já foi utilizada e adaptada para uma realidade tropical, focado em análises de conforto térmico (NICO-RODRIGUES, 2015). No trabalho de Nico-Rodrigues, o diagrama se apresenta como um resultado de fácil apreensão visual, que permite avaliar o espaço comparando soluções diferentes e que possam amenizar o desconforto térmico. Além disso, apresenta os valores medidos em quadrantes, também chamados de zonas, que possuem características qualitativas. Esta forma de apresentação proporciona uma leitura compilada e viabiliza a definição de estratégias de melhoramento do

desempenho da edificação em avaliações de temperatura. A intenção do presente estudo foi fazer algo semelhante à avaliação térmica, utilizando apenas as características lumínicas.

Para tal, no diagrama apresentado foram enfatizados dois eixos de informações: frequência e intensidade distribuídos em faixas úteis e apresentados seguindo os três tipos diferenciados de céus, somados às variáveis apresentadas na caracterização do sítio.

Na Figura 39 está o diagrama original de Sicurella, Evola e Wurtz com a frequência em percentual no eixo vertical (FTD – Frequência de desconforto térmico) e horizontalmente a intensidade de desconforto térmico simuladas em temperatura por hora durante o dia representativo medido.

Figura 39 - Diagrama de fluabilidade original, com os quadrantes qualitativos



Fonte: (SICURELLA; EVOLA; WURTZ, 2012) traduzido livremente pela autora

A visualização em quadrantes demonstra uma forma de apresentar os resultados qualitativamente, agrupados em áreas. Da mesma forma, seguindo essa concepção qualitativa, são utilizadas as faixas da UDI, contudo, elas não atendem por completo a caracterização do comportamento da luz natural na Antártica, ou seja, elas sugerem uma exigência muito alta de iluminância média nos ambientes e, desconsidera toda faixa de iluminância com resultados entre 0 e 100lux.

Portanto, a proposta metodológica foi também incluir os baixos níveis lumínicos, proporcionados pela luz natural, criando faixas de avaliação abaixo da UDI, de forma a atender às necessidades diferenciadas da situação do estudo de caso: a EACF. Considera-se que existem outros locais em situações semelhantes aos da Antártica – principalmente na condição de iluminação em latitudes semelhantes à Península Keller –, onde o sol posiciona-se na abóbada

celeste com ângulos e altitude baixos e frequência de presença diferenciada no Verão e no Inverno, na própria abóbada.

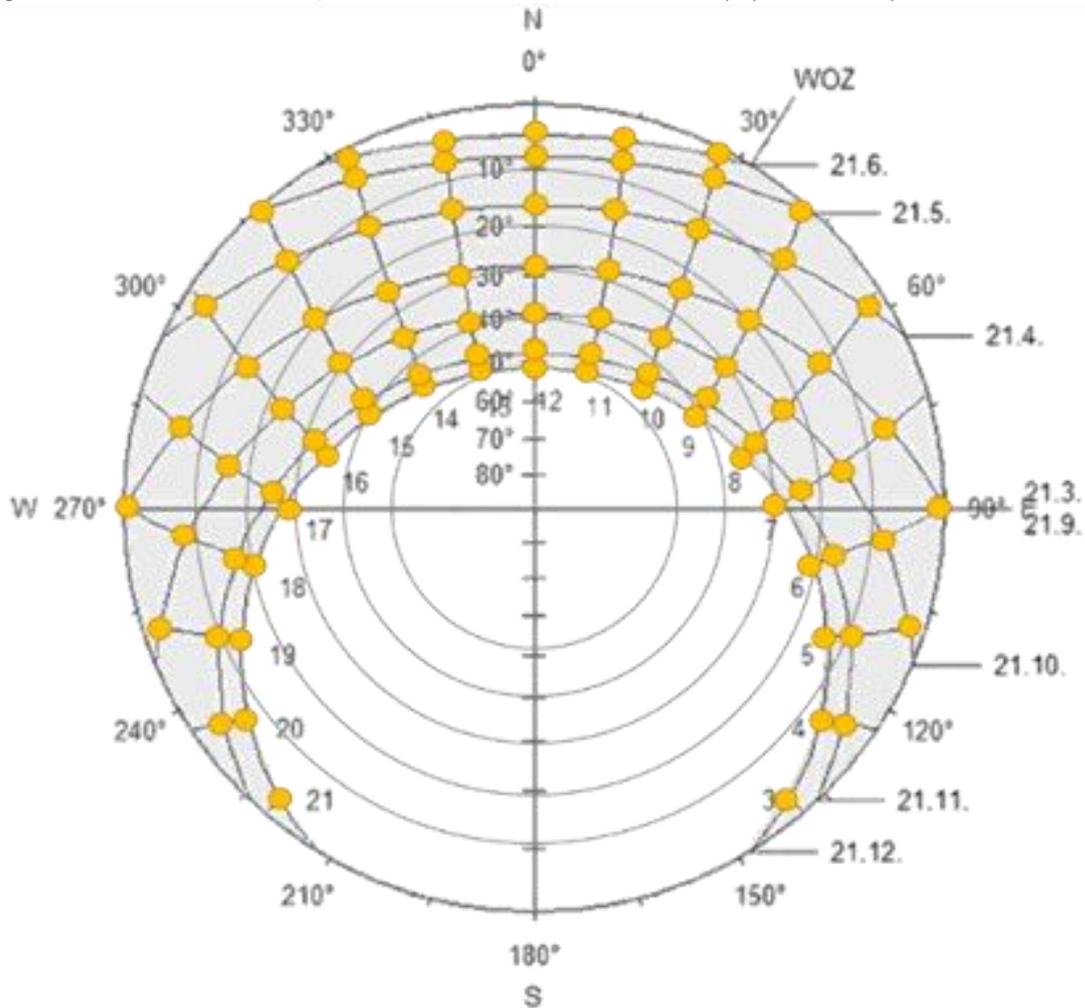
Devido a alguns resultados de trabalhos anteriores com medidas lumínicas (TOMÉ et al., 2016; BOLSSONI et al., 2017), notou-se que os valores medidos da iluminância dos ambientes internos das construções na Antártica apresentam frequentemente números baixos, logo, optou-se por consultar as normas inerentes ao tema e que relacionam os quantitativos de luz com as atividades, cujas necessidades são diferenciadas em relação ao proposto pela UDI.

A coletânea dos resultados, após a determinação do método da avaliação e da definição da ampliação da faixa de análise de iluminação útil, possibilitou estabelecer o diagrama para as diferentes estações do ano e avaliar anualmente os resultados por zonas de concentração com características similares.

O resultado dos dados de simulação aconteceu através de uma série de análises estáticas, com informações sobrepostas, baseadas na carta solar e nos meses de avaliação. Primeiramente, foi utilizado o período delimitado dos dois extremos – solstícios de Inverno e de Verão – e uma faixa mediadora, do equinócio, representado pela linha da Primavera e do Outono. Esses 3 dias avaliados são representativos e correspondem às 3 fases climáticas de maior relevância, onde, no Verão o dia tem 19 horas de sol aparente presente na abóbada e no Inverno os dias são muito curtos com apenas 5 horas de sol aparente.

Porém, posteriormente, em uma avaliação mais detalhada do estudo de caso, fez-se necessário o entendimento dos outros momentos marcados em carta solar, visto a discrepância e especificidade da trajetória, observando os meses intermediários, conforme Figura 40.

Figura 40 - Carta Solar da EACF, com os horários de cálculo e análise (representados pelos círculos amarelos)



Fonte: Adaptado do Programa RELUX PRO

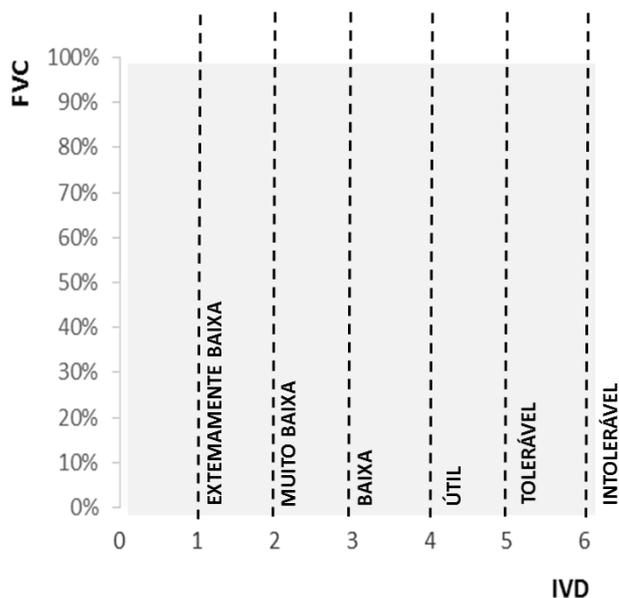
Na avaliação do desempenho lumínico foram compilados os dados através da iluminância média do plano de trabalho, adaptado das metodologias referenciais de Sicurella, Evola e Wurtz (2012), que utilizam as médias para suas avaliações, e da NBR ISO CIE 8995/13 no que se refere ao plano de trabalho como a maneira mais adequada de avaliar a iluminância do ambiente focado em atividades (SICURELLA; EVOLA; WURTZ, 2012; ASSOCIAÇÃO ... , 2013).

Conforme a carta solar, apresentada na Figura 40, a compilação dos resultados de dados da iluminação estática foi feita de hora em hora, do dia 21 de cada mês, criando uma avaliação dinâmica anual com os três tipos de céus.

As variáveis de refletância externas e internas foram minimizadas, ficando apenas a neve como diferencial caracterizador do solo do ambiente externo, com as suas propriedades respeitadas. Para o ambiente interno foram seguidas todas as orientações de refletância sugeridas na NBR ISO CIE 8995/13.

Os resultados, ainda no diagrama inicial, foram reunidos e compilados em uma planilha, e foi criado um padrão de reconhecimento das faixas sugeridas pela UDI e adicionados os valores abaixo da UDI, também em faixas, caracterizadas e justificadas a seguir. Consequentemente, foi possível apresentar a frequência em percentual das faixas de intensidade, num gráfico modelo exemplificado na Figura 41:

Figura 41 - Diagrama de fluvariabilidade em percentuais de iluminância, baseado na concepção de Sicurella, Evola e Wurtz (2012), com as faixas de Intensidade de iluminância evidenciadas com eixos verticais



Fonte: a autora

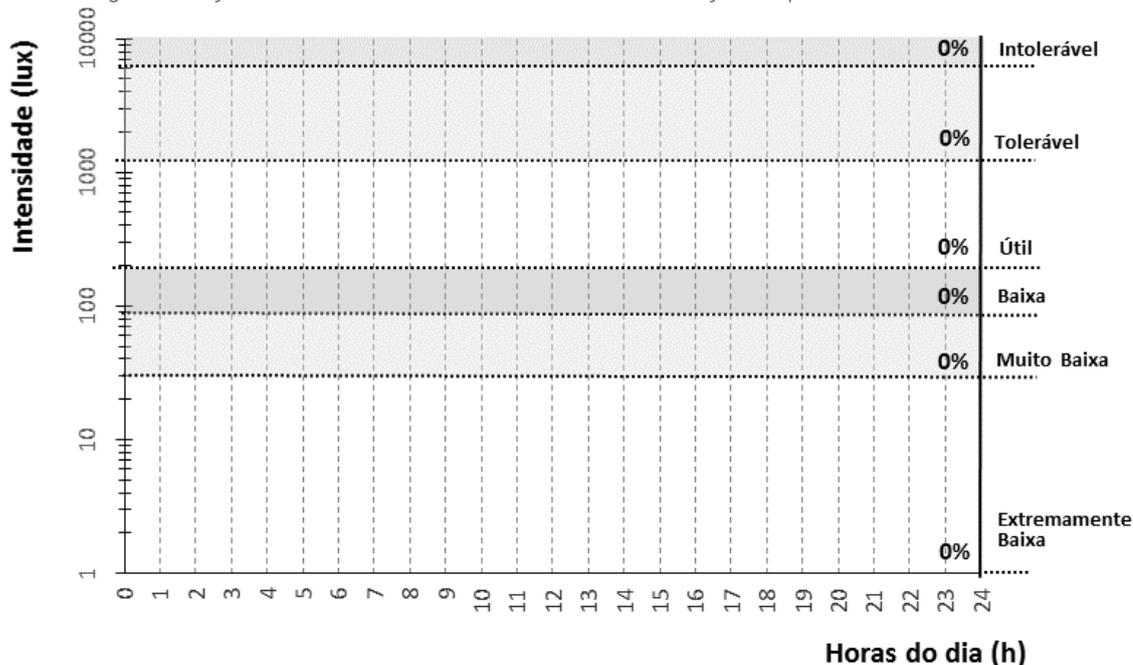
Este diagrama foi fundamental para o desenvolvimento da versão final. Contudo, apresentava a frequência apenas em percentual e com poucos pontos para a visualização do comportamento da iluminância, caracterizando um gráfico confuso e com poucas informações. E, apesar das informações dinâmicas da luz natural estarem baseadas nas medidas estáticas, não era possível entender exatamente onde a luz beneficiava ou prejudicava o ambiente simulado.

Partindo do diagrama de fluvariabilidade original de Sicurella, Evola e Wurtz (2012), o qual possui a disposição dos resultados distribuídos em quadrantes para qualificar parâmetros térmicos, seguiu-se o mesmo percurso para qualificar os parâmetros lumínicos.

Sicurella, Evola e Wurtz classifica e qualifica cada área como um grupo de resultados, conforme pode-se verificar anteriormente na Figura 39, na qual o autor expõe as características do comportamento térmico do ambiente em níveis de desconforto.

Fazendo um paralelo com esta metodologia e avaliando o comportamento do desempenho da luz natural com a priorização das características e necessidades do estudo de caso, classificou-se as áreas de maneira qualitativa, porém em faixas horizontais, substituindo os quadrantes, qualificando-os segundo a iluminância, conforme Figura 42.

Figura 42 - Diagrama de fluvariabilidade da iluminância evidenciando as faixas qualitativas



Fonte: a autora

As áreas do gráfico da Figura 42 estão diferenciadas em faixas separadas por tons de cinza, representando as nomenclaturas Extremamente Baixa, Muito Baixa, Baixa, Útil, Tolerável e Intolerável. Essa terminologia foi estabelecida através da adaptação da UDI para zonas de altas latitudes e que apresentam iluminância média baixa dentro dos ambientes internos, as quais serão explicadas no próximo subcapítulo.

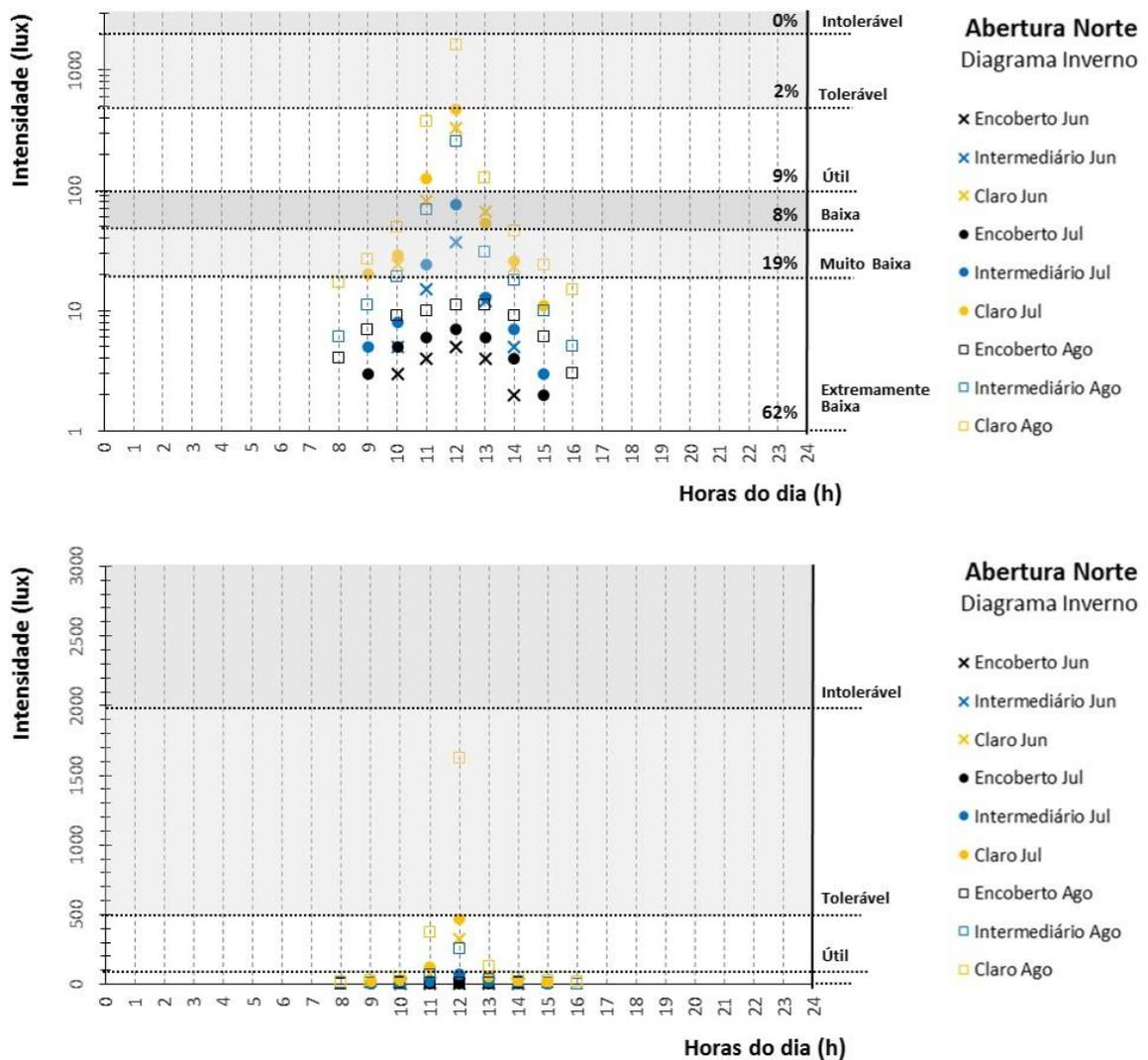
O eixo horizontal do gráfico exibe os horários do dia, divididos em 24 horas. Por se tratar de uma metodologia específica para altas latitudes, o estudo de caso, apesar de apresentar o maior período de presença solar na abóbada celeste, no solstício de Verão, apenas no período de 3 horas da manhã às 21 horas da noite, somando apenas 19 horas simuladas no dia, foram mantidas as 24 horas na escala. Logo, mesmo que a EACF não esteja posicionada em localização geográfica tão extrema, em simulações de outros estudos localizados mais ao sul do hemisfério, poderia ser utilizada sempre a mesma escala inserindo-se os dados das possíveis 24 horas da iluminância simuladas.

O eixo vertical do gráfico exibe o valor da iluminância média (lux) e, para efeito de visualização, foi representado em escala logarítmica. A exposição de dados nesta escala pode ser útil quando os valores demonstram uma grande gama de resultados concentrada em valores baixos ou altos, ficando assim mais fáceis de serem visualizados e manejados. Esse é o caso do comportamento lumínico de zonas de altas latitudes, onde geralmente os resultados se apresentam com valores mais baixos que zonas tropicais, e ocorrem picos de luz (em termos quantitativos) quando há a incidência de luz solar direta.

Na Figura 43 está exemplificado o que acontece com os resultados no diagrama se estes fossem apresentados em uma escala linear. Os números medidos se sobrepõem e torna difícil a visualização do comportamento da iluminância e impossível a classificação das faixas inferiores

à UDI. A imagem de cima e de baixo são os mesmos resultados nas diferentes escalas: logarítmica e linear, respectivamente.

Figura 43 - Dois diagramas com os mesmos resultados: apresentados em escala logarítmica e escala linear



Fonte: a autora

Neste ponto, constatou-se que a evolução do diagrama de fluutuabilidade de avaliação lumínica proposto se distanciou da referência conceitual inicial. Manteve-se o percurso metodológico e os conceitos básicos, porém, visualmente, a apresentação de resultados foi alterada substancialmente, conforme a seguir detalhado:

- A escolha dos eixos e seus valores foram modificados, uma vez que, após testados, apresentou-se mais adequado a troca do eixo x pelo y, diferindo da escolha de Sicurella, Evola e Wurtz (2012) no seu diagrama;

- Os valores da iluminância, agora denominados em horas do dia, passaram para o eixo horizontal e a intensidade para o eixo vertical. Essa mudança aconteceu, por sua vez, pelo fato da distribuição das faixas de iluminância, quando posicionadas na horizontal, poderem ser qualificadas da menor para a maior em sentido crescente. Esta escala permite, ainda, que a iluminância possa ser quantificada em percentuais, especificando o quanto aquele momento representa no total assim como a frequência daquela faixa qualitativa específica.
- Visualmente, o resultado explicita o decorrer do movimento solar e ressalta os momentos de iluminância direta nos valores localizados na parte superior do gráfico: os picos, e a iluminância difusa, na parábola suave e constante dos resultados medidos.

## 4.2 BELLOW USEFUL DAYLIGHT ILLUMINANCE (BUDI)

A proposta de inclusão dos valores abaixo de 100lux na qualidade de iluminância útil, deriva das constatações prévias de resultados lumínicos simulados no estudo de caso e da situação geográfica em questão, ou seja, altas latitudes que denotam ao ambiente construído espaços internos com menos luz natural disponível em determinados períodos do ano, e se configuram como espaços especiais onde, um pequeno fragmento de luz natural dentro do ambiente construído pode fazer uma considerável diferença para o usuário.

Esta nova faixa proposta abordará não apenas os espaços internos localizados em altas latitudes, mas qualquer outro espaço que possua características semelhantes de pouca disponibilidade de luz natural.

A necessidade de contato com a luz natural vai além das exigências óticas para exercer tarefas, como especificado em normativas. No campo da área médica, a interferência da luz nas funções fisiológicas do ser humano é comprovada através de muitos estudos que conectam a trajetória solar com o ciclo de funcionamento do corpo humano, também conhecido como ciclo circadiano (CAVALLERA; GIUDICI, 2008; CAJOCHEN, 2007; MAZZOCCOLI et al., 2016; ZHANG et al., 2016; ENGWALL et al., 2015), conforme já comentado no referencial teórico. A ausência de contato com a luz natural pode causar doenças como o SAD (AVERY et al., 2001; KIM; DUFFY, 2017) e, ainda dentro das consequências de uma rotina inconstante, pode-se citar problemas de sono que interferem diretamente no funcionamento do corpo, como na pressão arterial (SMOLENSKY; HERMIDA; PORTALUPPI, 2017; SELVI et al., 2017), e problemas de humor (BORDET; DU; LA, 2006; MELO et al., 2017).

O horário da alimentação e as próprias escolhas do alimento a ser ingerido também podem ser associados ao bom funcionamento circadiano (WEHRENS et al., 2017; VETTER; SCHEER, 2017; ALTOMONTE et al., 2016). Todos esses aspectos citados podem ser influenciados diretamente pelo simples acesso à luz natural: o percurso solar na abóbada é naturalmente um orientador das necessidades biológicas dos homens, animais e plantas. A luz avermelhada do amanhecer, o ápice do meio dia e a intensidade lumínica deste momento, o crepúsculo e a escuridão da noite, são parte do ciclo e o corpo humano segue esse ritmo na sua produção hormonal e

consequentemente no seu funcionamento como um todo (KENT et al., 2014; BEUTE; DE KORT, 2013).

Logo, entende-se que uma Estação Antártica deve ser avaliada como um espaço especial e que necessita proporcionar aos seus usuários o acesso à luz natural para minimizar os impactos físicos e psicológicos da experiência no continente gelado. Neste trabalho, considerando a iluminâncias dos ambientes construídos sob tais circunstâncias citadas, foi proposto o intervalo de iluminância média do ambiente interno construído, chamado de *Bellow Usefull Daylight Illuminance* (BUDI).

A proposta da BUDI é seguir as considerações da UDI porém com a adição de três períodos extras no intervalo entre 0 e 100 lux. Segundo o intervalo útil de iluminância determinada por Nabil e Mardaljevic (2005), as preferências e o comportamento dos ocupantes são as seguintes:

- Iluminâncias médias inferiores a 100lux são geralmente consideradas insuficientes para ser iluminação exclusiva advinda da luz natural, ou como sendo a única fonte de iluminação, ou ainda para contribuir significativamente para a iluminação artificial, logo é uma faixa de luz classificada como não útil.
- As iluminâncias diurnas na gama de 100 a 500lux são consideradas eficazes como única fonte de iluminação ou em conjunto com iluminação artificial.
- As iluminâncias do dia na faixa de 500 a 2000lux são, muitas vezes, percebidas como desejáveis ou, pelo menos, toleráveis.
- As iluminâncias superiores a 2000lux são susceptíveis ao desconforto visual ou térmico (NABIL; MARDALJEVIC, 2005).

Contudo, os valores das novas faixas de iluminância propostos e seus limites estão baseados na normativa NBR ISO CIE 8995/13. Foram identificadas atividades que, em norma, requerem valores dentro da faixa não útil da UDI. A normativa brasileira, que descreve os valores mínimos para iluminância média do ambiente para cada atividade, é baseada nos requisitos europeus, e, de certa forma, ainda precisa ser aprofundada e ajustada à realidade cultural e geográfica brasileira, contudo, o item que descreve as atividades de saúde é bem detalhado e possui atividades que satisfazem a proposta de intervalos BUDI.

A analogia entre as atividades de saúde e da EACF não enquadram as mesmas tarefas exatamente, porém as especificações de iluminâncias para os requisitos visuais são cabíveis em ambos os usos, como necessidade lumínica básica para o olho detectar os detalhes necessários para executar as atividades.

Como exemplo, pode-se citar a atividade *“iluminação de observação noturna”*, para locais de assistência médica, no qual se exige apenas 5lux médios. A mesma atividade, porém, em unidades de tratamento intensivo, solicita um valor mais alto de 20lux médios, justificado pela necessidade de maior atenção e individualidade da atividade do ambiente. Ainda nos locais de assistência médica, pode-se encontrar atividades como *“Escanners com intensificadores de imagem e sistemas de televisão”*, ou seja, salas com monitores, as quais exigem níveis de iluminação de 50 lux (ASSOCIAÇÃO ..., 2013).

Com essa informação adaptada para outros usos, como no caso da EACF, em que salas de trabalhos com monitores e a necessidade de observação dos espaços é fator constante, pode-se considerar que, seria muito favorável, se essas atividades pudessem contar com a luz natural para atender aos períodos em que esse tipo de uso possa satisfazer.

Os ambientes correspondentes, provenientes de atividades para assistência médica, com os valores de iluminância abaixo da UDI justificados como iluminação média suficiente para atividades são, na norma NBR ISO CIE 8995/13, os únicos ambientes com atividades descritas minuciosamente e com detalhamento nesta faixa de valores. A escolha da analogia com tais ambientes (de saúde), pode também conter informações sobre o bem-estar do indivíduo, o qual é objeto de avaliação do diagrama de flutuabilidade deste trabalho.

Entretanto, essa correlação de ambiente médico e EACF não se justifica plenamente, considerando que uma estação científica tem vários usos, principalmente no setor habitacional, de serviços e recreativo. Na verdade, a justificativa que prevalece é que a BUDI é importante do ponto de vista psicológico, apresentando e valorizando períodos de muito pouca luz, apenas pelo contato com a mesma.

A Tabela 1 apresenta sugestões de períodos para avaliação de espaços que possuem baixo desempenho lumínico da luz natural, mas, mesmo nestas condições, apresentam possibilidade de utilizá-la devido ao uso diferenciado do espaço, ou ainda, considerando as benesses que a incidência de luz natural – mesmo que em pouca quantidade – pode influenciar no bem-estar dos ocupantes de uma edificação em ambiente inóspito, como a Antártica.

Tabela 1- Faixas de iluminâncias BUDI e UDI

Bellow UDI (BUDI)		
	Nomenclatura	Faixa iluminância (lux)
Faixas adicionais propostas	Extremamente Baixa	0-19
	Muito Baixa	20-49
	Baixa	50-99
Faixas originais UDI	Útil	100-500
	Tolerável	501-2000
	Intolerável	>2000

Fonte: a autora

As faixas adicionais propostas estão divididas em três zonas: extremamente baixa, entre 0 e 19lux; muito baixa, que caracterizam os valores entre 20 e 49lux; e baixa, contendo os valores entre 50 e 99lux.

As faixas propostas na BUDI são, para efeito de referência, calcadas nas exigências da norma brasileira, onde os valores inferiores a 20lux, na faixa extremamente baixa, atenderia, por exemplo, espaços tipo salas de maquinário, ou seja, ambientes onde as pessoas não permanecem e com esse nível de iluminação é possível o acesso visual e controle de segurança.

Na classificação com limites estabelecidos entre 20 e 50lux, passa-se a atender uma atividade mais específica, como por exemplo, a observação noturna em enfermarias de tratamento intensivo, onde, com maior nível de exigência visual, permite a identificação de movimento e mais detalhes que a faixa anterior. No caso da Estação seria adequado propor esse tipo de iluminação para espaços de circulação e salas de entretenimento como estar ou de televisão.

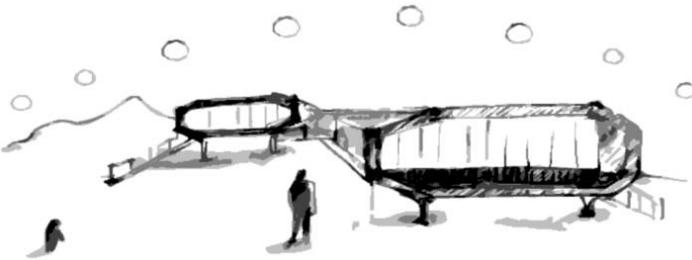
Na mudança de faixa, de muito baixa para baixa, onde os 50lux já são suficientes para exercer um novo tipo de atividade, pode-se fazer um paralelo especificando atividades e salas que necessitem de um controle por monitores ou atividades no computador.

É importante explicar sobre a diferença entre iluminação média de um ambiente e iluminação específica de tarefas dentro do próprio ambiente. É cultural e padronizado que a proposta luminotécnica básica dos espaços arquitetônicos trabalhe com um ponto elétrico central no ambiente construído, e que este seja responsável pela iluminação única e geral do próprio ambiente.

Contudo, a iluminância média, proposta em norma, não descarta um parecer luminotécnico mais específico para cada espaço interno construído, o qual possa dimensionar necessidades diferenciadas para um mesmo recinto, ou seja: com requerimento mínimo de iluminância para o ambiente em geral, e outro, para atividade somente na área de trabalho, por exemplo, com um ponto de luz artificial sobre a mesa.

Somente as decisões de projeto e especificações mais aprofundadas sobre as necessidades próprias de cada atividade podem mudar a realidade do desperdício energético dentro dos ambientes construídos, e no caso da EACF, proporcionar uma redução dos gastos com esse item.

Portanto, a proposta da BUDI busca o aproveitamento da luz natural mesmo em quantidades mínimas, justificado por todas as necessidades energéticas, psicológicas e fisiológicas.



# RESULTADOS

## 5 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os diagramas de fluutuabilidade do ambiente de teste da EACF. Após os cálculos das simulações lumínicas realizadas, compilou-se os resultados da iluminância média dos ambientes em um gráfico de fácil leitura, que permitiu a análise da luz natural de forma estática e dinâmica.

Identificou-se, então, o desempenho da luz natural na Península Keller – Antártica, exposto no gráfico final, o qual permitiu também visualizar os momentos de incidência direta da luz solar, pontuados pelos picos de iluminância.

Nos diagramas, foi possível caracterizar o comportamento da iluminância medindo a quantidade de luz natural que os ambientes internos podem contar em cada orientação e período do ano atendendo às tarefas de uso. E, além disso, o diagrama também possibilitou averiguar a diferença no desempenho lumínico quanto aos diferentes tipos de céus.

Os resultados do diagrama de fluutuabilidade, com as medições averiguadas de hora em hora, foram agrupados em relação às aberturas e suas orientações geográficas e pelas estações do ano. Esse tipo de agrupamento permitiu a visualização do panorama anual do desempenho da luz natural dentro dos ambientes, uma análise dinâmica e estática, concomitantemente.

O agrupamento, por estações do ano, reuniu as informações lumínicas de um dia representativo de cada mês referente à cada estação. O dia selecionado foi o vigésimo primeiro de cada mês, seguindo a linha de demarcação na carta solar e respeitando os solstícios e equinócios, gerando assim uma interdistância de períodos iguais entre as avaliações.

Portanto, o diagrama de Verão contém os dados dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. O diagrama de Outono contém os resultados obtidos da iluminância dos meses de março, abril e maio. O diagrama de Inverno abrange os dados de junho, julho e agosto. E, por último, o diagrama de Primavera engloba os valores de iluminância dos meses de setembro, outubro e novembro.

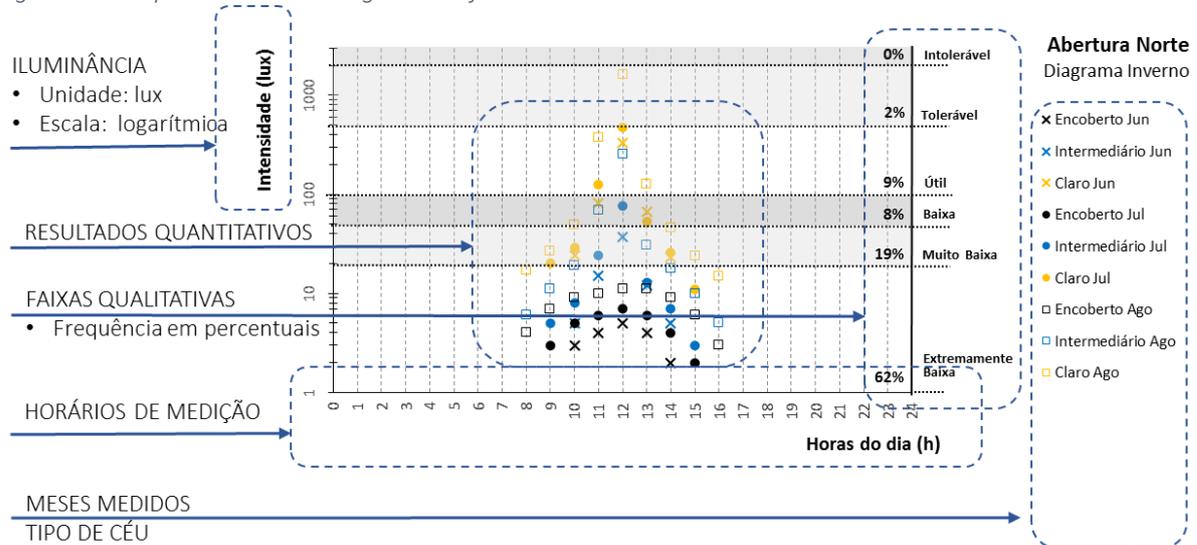
É importante ressaltar que foi necessário, neste estudo de caso, um panorama dos resultados de mês em mês, para o teste completo da metodologia de avaliação do desempenho lumínico da luz natural da EACF. Inicialmente, foram testados apenas os períodos de solstício e equinócio

e estes se apresentaram com mudanças substanciais entre eles. Então, a decisão de testar os outros meses ocorreu a partir da percepção e análise da trajetória solar e todas as peculiaridades que cada mês poderia adicionar com as diferenças apresentadas na geometria.

As faixas qualitativas dos gráficos permitiram considerar qual é o potencial de utilização da luz natural dentro de cada situação, através da união das informações de resultados dos três tipos de céus. Desta forma, foi possível entender a variação da iluminância no mesmo dia, mesmo se os céus se apresentassem encoberto e passassem para claro, por exemplo. Isto explicitou qual é a faixa da predisposição da luz natural e marcou seus extremos, permitindo, desta forma, visualizar os momentos de entrada da luz solar direta e identificando os momentos que poderiam causar o ofuscamento no usuário.

Em todos os diagramas apresentados foram exibidas, no gráfico, as diferenças cromáticas entre preto, azul e amarelo, as quais representavam, respectivamente, os tipos de céus testados: encoberto, parcialmente nublado e claro, conforme Figura 44.

Figura 44 - Mapa de leitura do diagrama de fluatibilidade



Fonte: a autora

Do lado direito do gráfico da Figura 44, nas faixas qualitativas, o diagrama sugere uma pequena análise da frequência em quantitativo percentual, o qual qualifica a iluminância média em períodos, de forma dinâmica, isto é, engloba o resultado de todo o tempo medido, como por exemplo, em todo o Verão. Contudo, ainda foi possível, através do eixo horizontal, entender o que acontece no ambiente de forma estática, isto é, naquele momento, onde o diagrama permite a visualização da exata hora que o sol estará contribuindo com luz difusa ou com luz

direta e, quando acontece o exato período em que podem ocorrer momentos de ofuscamento ou de grande contraste.

As interpretações dos gráficos são uma leitura dos resultados e representam uma observação formal do panorama da distribuição da intensidade lumínica no ambiente da EACF, abrindo um leque de discussões sobre ações a serem tomadas no âmbito do contexto dinâmico do desempenho lumínico do período específico de cada diagrama.

Todas as aberturas testadas (Norte, Sul, Leste e Oeste) demonstram os resultados em quatro diagramas representando as quatro estações do ano que avaliam juntos o desempenho lumínico anual dos ambientes simulados. Os resultados estão apresentados a seguir, conforme agrupamentos pré-definidos.

## 5.1 ABERTURA NORTE

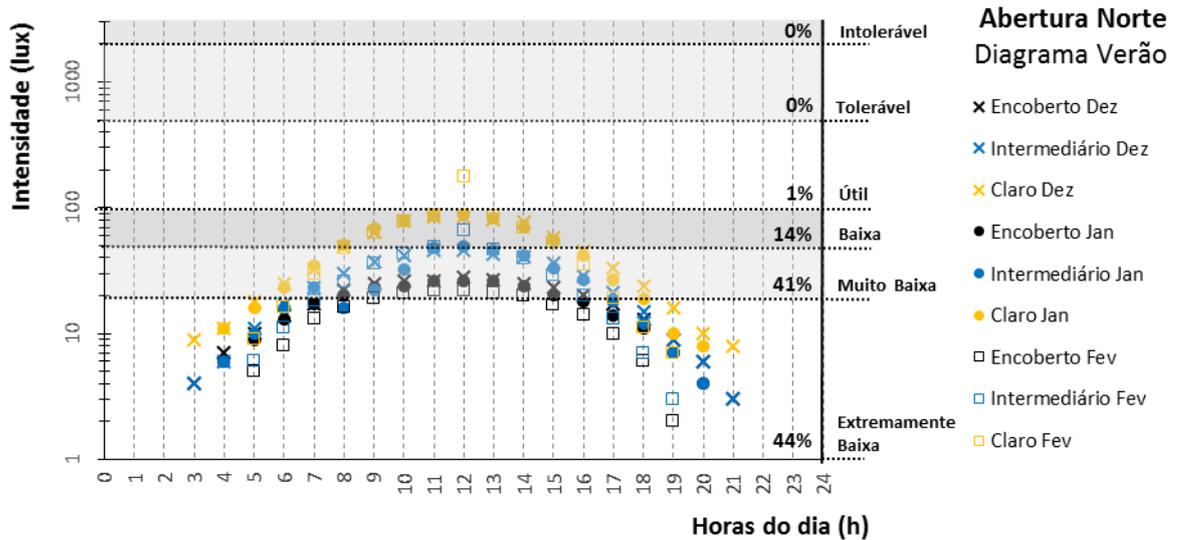
A seguir estão apresentados os diagramas de fluutuabilidade referentes à abertura da orientação Norte, divididos nas estações do ano.

### 5.1.1 Estação Climática Verão

O diagrama da Figura 45 apresenta três dias representativos medidos: em dezembro, marcado pelo símbolo “x”; no mês de janeiro, representado pelo círculo preenchido; e no mês de fevereiro, evidenciado pelo quadrado vazado.

Pode-se visualizar ainda, uma curva tipo parábola constante com iluminação regular durante todo o período em que o sol nasce bem cedo – em torno de 3 horas –, atinge iluminância útil – às 12 horas –, e depois, em curva descendente, reduz homogeneamente os valores de iluminância, estabelecendo seu percurso na abóbada: nascente, ápice e poente.

Figura 45 - Diagrama de fluabilidade da EACF no Verão, orientação Norte



Fonte: a autora

O desempenho desta janela, voltada para o Norte, se apresenta favorável, pois não marca picos indesejáveis no Verão, mesmo com o céu claro. A parábola constante denota que o ambiente está iluminado por raios de luz difusa, e destaca-se o ponto com maior iluminância, às 12 horas, por ocasião da entrada de luz direta no ambiente.

O desempenho da luz neste ambiente está quase que totalmente localizado na faixa BUDI, o que significa que, certamente, será necessária complementação ininterrupta de luz artificial para exercer qualquer atividade que necessite luz para leitura ou detecção de detalhes.

Entretanto, se o céu estiver claro, nota-se um longo período entre 9 e 15 horas, de iluminância média do ambiente entre 50 e 100lux, o que seria luz suficiente para circulação com segurança e desempenho de atividades recreativas.

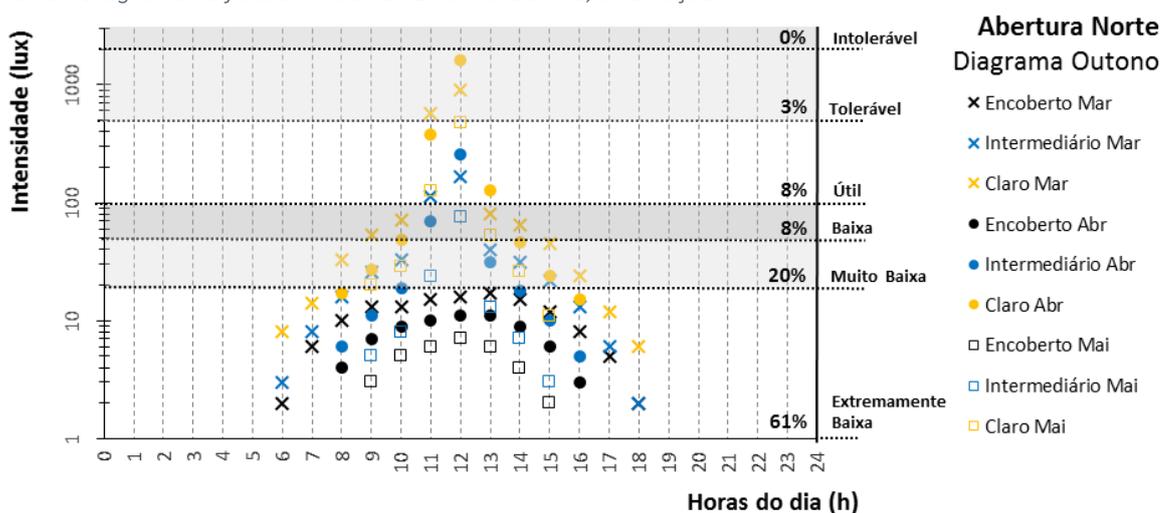
Interpretando os resultados além das necessidades lumínicas básicas, a curva de desempenho apresentada no diagrama, demonstra que o ambiente simulado está acompanhando, com todas as limitações do quantitativo de luz, o percurso solar e o ciclo do sol na abóbada celeste, permitindo ao usuário contemplar o movimento de rotação do planeta, através das mudanças de níveis lumínicos no espaço, auxiliando o corpo humano nas suas funções biológicas dependentes deste.

## 5.1.2 Estação Climática Outono

O diagrama da Figura 46 apresenta três dias representativos medidos: em março, marcado pelo símbolo “x”, no mês de abril, representado pelo círculo preenchido e no mês de maio, evidenciado pelo quadrado vazado.

No período de Outono, a iluminância está bem concentrada nas zonas BUDI de iluminância extremamente baixa, porém apresenta de 11 às 13 horas, se o céu não está totalmente encoberto, um período com iluminância na zona UDI útil e tolerável. Este pico ocorre no momento que o sol incide dentro do ambiente com luz direta, pela estreita faixa da janela da EACF.

Figura 46 - Diagrama de fluvariabilidade da EACF de Outono, orientação Norte



Fonte: a autora

O diagrama ainda evidencia as diferenças entre os três meses medidos. O período de presença do sol na abóbada reduz com o passar do equinócio, onde o mês de março ainda apresenta 4 horas adicionais de sol aparente, com pontos medidos de 6 até 18 horas. Já nos resultados os meses de abril e maio apresentam as características do solstício de Inverno, com os pontos medidos concentrados no centro do gráfico.

Na maioria do tempo, a luz disponível encontra-se bem reduzida e difusa no ambiente interno avaliado, haja visto os 61% explícitos nas faixas qualitativas, no período de iluminância denominado “extremamente baixa”, conforme demonstrado na Figura 46. Os dias nublados também reduzem o valor do desempenho da luz, notando-se, no diagrama, que todas as

marcações na cor preta estão nesta faixa inferior, isto é, os dias de céu encoberto proporcionam iluminâncias abaixo de 20lux.

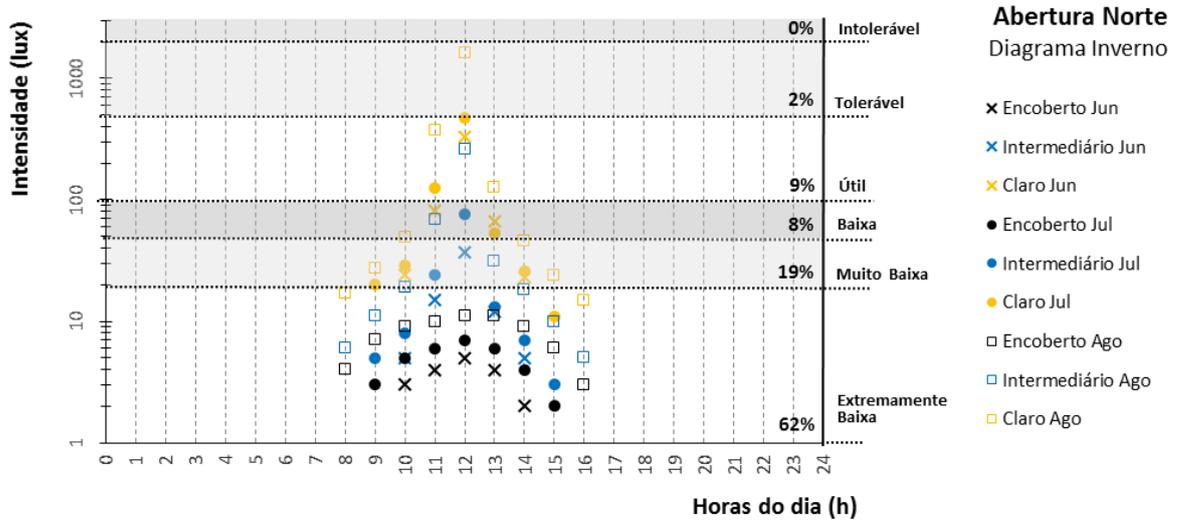
Os momentos de luz direta, se caracterizam por poucas horas e representam um total de 11% do tempo de exposição do sol na abóbada. Estes raios indesejáveis, certamente causam o ofuscamento, e podem ser controlados com protetores solar instalados na edificação, como venezianas e cortinas internas, as quais não são necessárias no período de Verão, conforme visto no diagrama da Figura 45.

### 5.1.3 Estação Climática Inverno

O diagrama da Figura 47 apresenta três dias representativos medidos: em junho, marcado pelo símbolo “x”; em julho, representado pelo círculo preenchido; e em agosto, evidenciado pelo quadrado vazado.

Este período apresenta uma situação muito similar ao período de Outono com boa parte dos resultados na zona “extremamente baixa”, em 62% do tempo. Contudo, mesmo sendo uma estação com poucas horas de presença solar na abóbada, a geometria da janela da EACF permite momentos, entre 11 e 13 horas, de entrada de luz direta no ambiente interno, nesta orientação.

Figura 47 - Diagrama de fluvariabilidade da EACF de Inverno, orientação Norte



Fonte: a autora

Apesar do sol, no mês de junho, poder ser visto somente num período muito curto – cerca de 5 horas aparente na abóbada celeste –, o diagrama demonstra uma situação positiva de contato com os raios diretos, principalmente por se caracterizar como um período onde o acesso a luz natural se torna bem reduzido e o sol posiciona-se a baixas altitudes, quase na linha do horizonte.

A preocupação com o ofuscamento, apesar de existente, fica reduzida diante da necessidade do contato com a luz natural e esses ambientes que proporcionam este pequeno fragmento de luz podem ser valorizados nos espaços internos da EACF, principalmente nos dias de sol radiante.

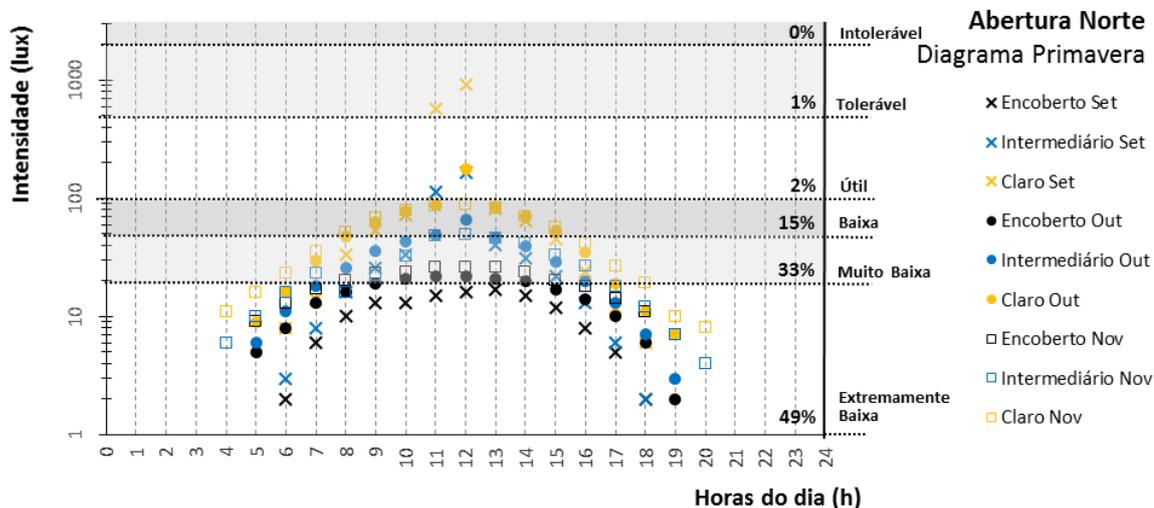
#### 5.1.4 Estação Climática Primavera

O gráfico da Figura 48 exibe três dias representativos avaliados: em setembro, marcado pelo símbolo “x”; em outubro, representado pelo círculo preenchido; e em dezembro, evidenciado pelo quadrado vazado.

O diagrama da Primavera, ainda que apresente picos de iluminância em setembro, no solstício, propriamente às 11 e 12 horas, reforça a análise do diagrama de Verão. Nesta mesma

orientação a curva se estabilizou nas zonas de menor iluminância BUDI, caracterizadas pela mesma parábola que marca o percurso do sol na abóbada, e o longo período de presença solar.

Figura 48 - Diagrama de fluvariabilidade da EACF de Primavera, orientação Norte



Fonte: a autora

Ainda assim, 49% dos pontos medidos demonstram que, na metade do tempo de presença solar, o desempenho da luz natural é extremamente baixo. O ambiente interno construído da EACF com a janela simulada dentro das condições estabelecidas oferece ao usuário apenas níveis de iluminância maiores, se o céu não está totalmente encoberto.

## 5.2 ABERTURA SUL

Os diagramas de fluvariabilidade da abertura Sul estão representados em 4 gráficos retratando os momentos de Verão, Outono, Inverno e Primavera, assim como os diagramas apresentados da abertura Norte.

A orientação Sul conta com uma ampla variação lumínica, perceptível nos gráficos através da parábola bem distribuída no eixo horizontal, porém esta variação é advinda da luminância difusa da abóbada, logo, constata-se, que a abertura Sul testada não apresenta momentos de incidência de luz direta do sol, em nenhuma estação.

Esses gráficos exemplificam que ambientes voltados para o Sul com a janela específica da EACF podem, na sua fase de concepção, receber aberturas maiores que a abertura original, sem a preocupação com a luz direta solar entrando nos espaços e o consequente ofuscamento provado por elas. Esses mesmos ambientes podem não necessitar de elementos sombreadores e, assim, usufruir da luz difusa proporcionando ao usuário o movimento do passar das horas, e contribuindo no bom funcionamento do ciclo circadiano e nas questões hormonais do corpo humano atreladas à iluminação.

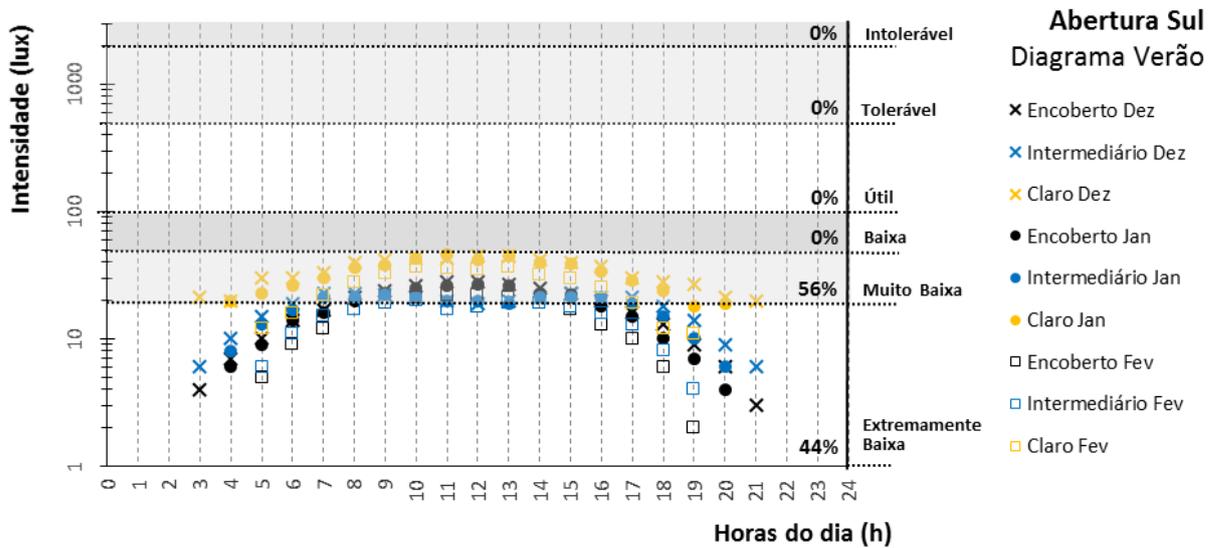
### 5.2.1 Estação Climática Verão

O diagrama da Figura 49 apresenta três dias representativos medidos: em dezembro, marcado pelo símbolo “x”; em janeiro, representado pelo círculo preenchido; e em fevereiro, evidenciado pelo quadrado vazado.

A abertura Sul, no período de Verão, possui iluminância constante sem picos e apresenta pouca variação nos resultados entre os diferentes tipos de céus: encoberto, intermediário e claro. O gráfico mostra valores máximos de 50 lux médios durante um período bem amplo no Verão, quase que o dia todo, principalmente quando o céu se apresenta sem nuvens, das 8 às 16 horas.

A frequência do período em que a luz natural proporciona valores no ambiente interno entre 20 e 50lux é de 56% do total de disponibilidade, valor bem superior, inclusive se comparados aos diagramas da abertura Norte.

Figura 49 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Verão, orientação Sul



Fonte: a autora

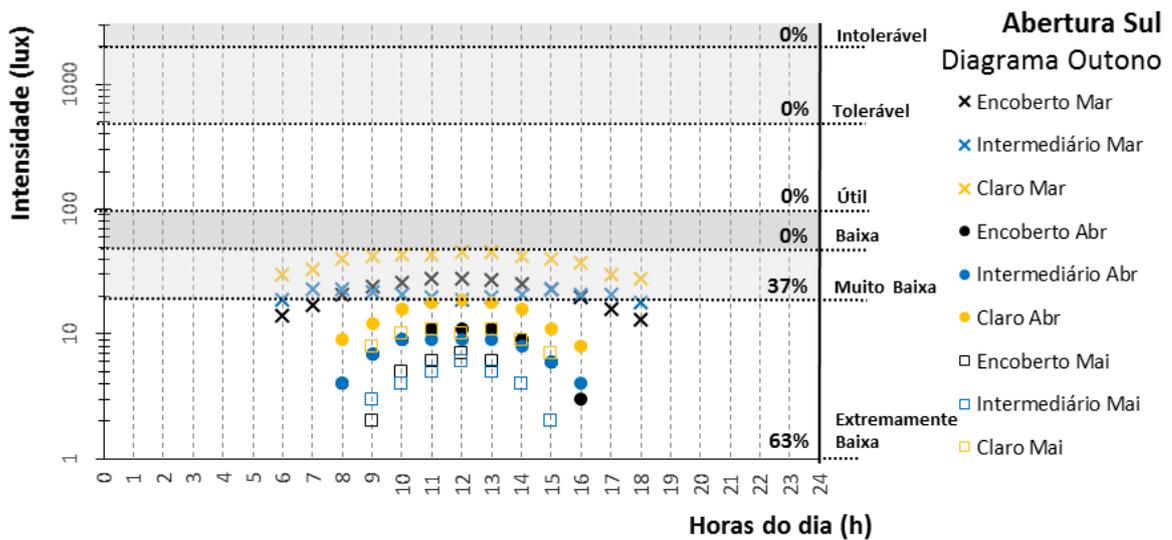
Os resultados para o mês de fevereiro, mostram um panorama com valores mais baixos e os resultados lumínicos deste mês se aproximam das características de Outono, com os valores diferenciados, um pouco abaixo da curva, principalmente no início e fim do dia. Isto ocorre pelo fato do sol geograficamente já estar nascendo um pouco mais tarde e se pondo um pouco mais cedo, neste período.

## 5.2.2 Estação Climática Outono

O diagrama da Figura 50 apresenta três dias representativos medidos: em março, marcado pelo símbolo “x”; em abril, representado pelo círculo preenchido; e em maio, evidenciado pelo quadrado vazado.

A parábola dos resultados medidos, no Outono, se apresenta mais concentrada centralmente no diagrama, devido ao curto período de sol aparente na abóbada e com valores extremamente baixos. A luz da abóbada, difusa, mesmo em dias de sol aparente, não interfere na iluminação do ambiente e não apresenta picos de luz nem possibilidade de ofuscamento.

Figura 50 - Diagrama de fluvariabilidade da EACF de Outono, orientação Sul



Fonte: a autora

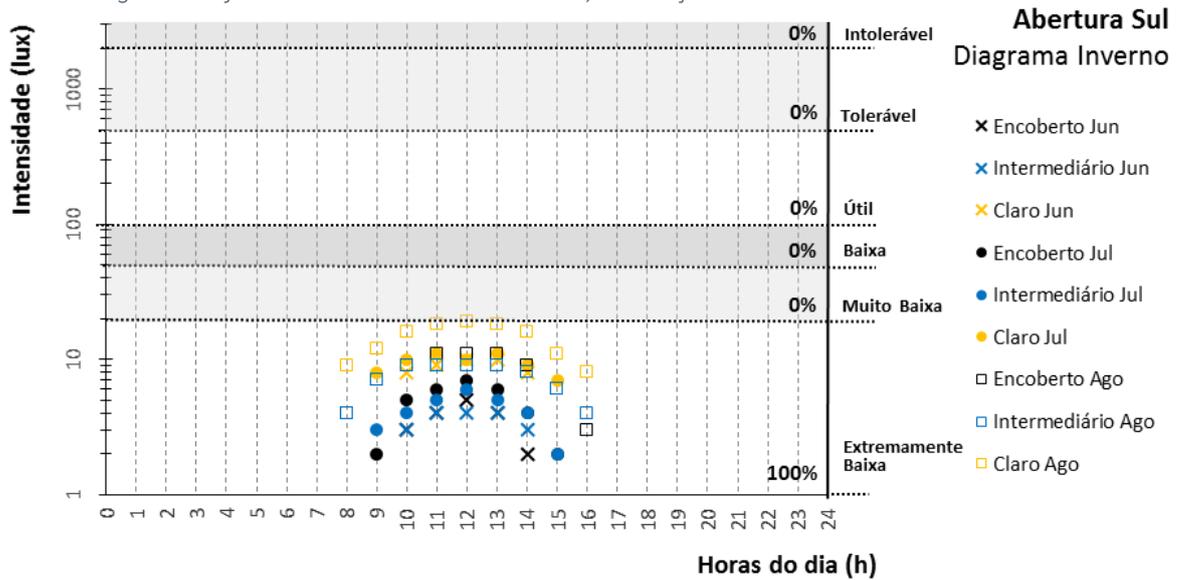
É perceptível o comportamento diferenciado do desempenho lumínico do mês de março (marcado com o “x”). Os pontos medidos em março apresentam um diagrama com iluminância na região muito baixa e os valores estão bem distribuídos em uma parábola suave. Já nos demais meses do período analisado – abril e maio –, os resultados numéricos se concentram no centro do diagrama e anunciam a realidade Antártica no Inverno: pouca luz e um curto período de tempo de presença solar na abóbada.

### 5.2.3 Estação Climática Inverno

O diagrama da Figura 51 apresenta três dias representativos medidos: em junho, marcado pelo símbolo “x”; em julho, representado pelo círculo preenchido; e em agosto, evidenciado pelo quadrado vazado.

No diagrama de Inverno, nota-se que existe luz do dia, especificamente entre 10 e 14 horas, porém com 100% dos valores na faixa BUDI “extremamente baixa”, denotando pouquíssima contribuição da luz natural no ambiente. Esse fato resulta num diagrama com todos os valores bem concentrados na parte inferior central, não obstante as mudanças de tipo de céu testado.

Figura 51 - Diagrama de fluutuabilidade da EACF de Inverno, orientação Sul



Fonte: a autora

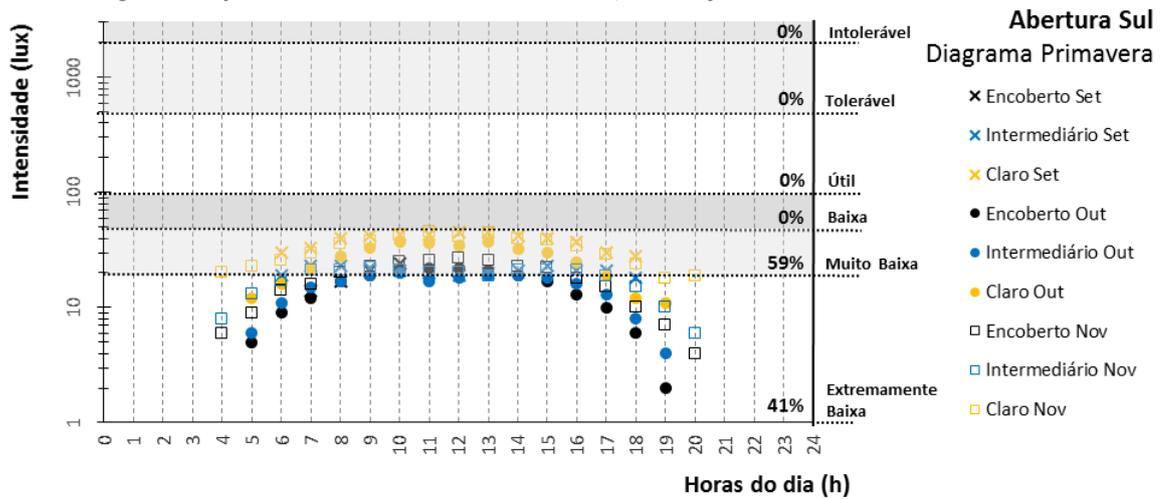
Neste período e nesta orientação são desnecessários os dispositivos de proteção solar. O diagrama evidencia a realidade de Inverno dos ambientes construídos na Antártica e o desafio de lidar com a escassez de luz natural. A janela, neste momento assume o papel de intersecção entre o dentro e o fora da arquitetura, proporcionando a visão do externo como meio de contato do usuário com a luz natural e o ciclo da trajetória solar. No entanto, também merece uma reflexão o fato de a janela permitir a percepção da grande quantidade de horas de escuridão, o que também pode contribuir para a alteração de humor dos usuários.

## 5.2.4 Estação Climática Primavera

O gráfico da Figura 52 apresenta três dias representativos avaliados: em setembro, marcado pelo símbolo “x”; em outubro, representado pelo círculo preenchido; e em dezembro, evidenciado pelo quadrado vazado.

A Primavera, que começa no mês de setembro, já apresenta luz do dia em uma parábola muito próxima à do Verão. Os valores demonstram uma mudança considerável em relação à realidade medida em agosto.

Figura 52 - Diagrama de fluatibilidade da EACF de Primavera, orientação Sul



Fonte: a autora

Apesar dos resultados estarem abaixo da faixa BUDI “Baixa”, com iluminância média de no máximo 50lux, o gráfico retoma o formato paraboloide característico do Verão e marca, novamente, o diagrama com o percurso no nascer, ápice e poente. A maioria dos pontos medidos oferecem iluminância acima de 20 lux, e de 7 às 17 horas, o ambiente pode contar com esse desempenho lumínico, mesmo variando o tipo de céu.

### 5.3 ABERTURA LESTE

Os diagramas de fluatibilidade da abertura Leste retratam os níveis de iluminância no seu espaço em forma de parábola bem suave, mimetizando o percurso do sol no céu. Os horários de pico de luz são marcados por curtos períodos, onde a iluminância atinge valores bem altos no início da manhã, em todas as estações climáticas, exceto no Inverno.

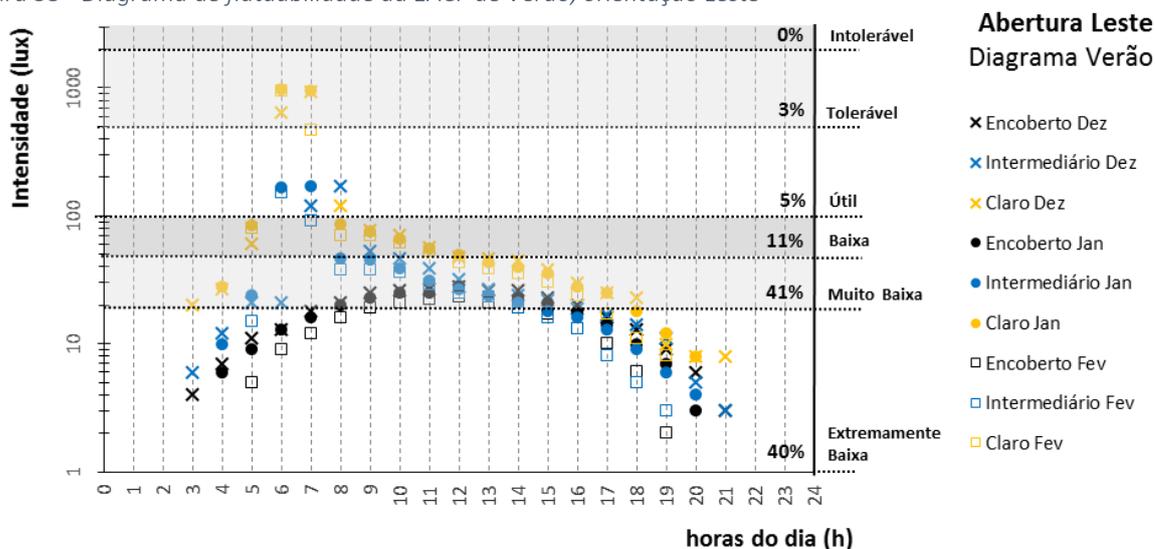
Esta é uma orientação que deve ser aproveitada em ambientes especificados, que possam desfrutar deste momento de entrada da luz direta. A tipologia de janela escolhida no projeto arquitetônico permite apenas poucos instantes de luz direta e, em certos períodos do ano, a iluminância pode ser bem valorizada.

### 5.3.1 Estação Climática Verão

O diagrama da Figura 53 apresenta três dias representativos avaliados: em dezembro, marcado pelo símbolo “x”; em janeiro, representado pelo círculo preenchido; e em fevereiro, evidenciado pelo quadrado vazado.

Neste diagrama de Verão, os dias de céu claro, com pontos marcados em amarelo, os valores de iluminância média dentro do ambiente evidenciam um pico de iluminância no início da manhã, em torno de 6 e 7 horas. Estes pontos fora da curva ocorrem devido à incidência solar direta, e, logo após esse período, às 8 horas, os pontos medidos retomam a curva, e se estabilizam na parábola, até o final do dia, em níveis de iluminância nas faixas muito baixa, entre 10 e 15 horas. É possível notar, que nos dias de céu nublado, essa incidência de luz direta não aparece.

Figura 53 - Diagrama de fluutuabilidade da EACF de Verão, orientação Leste



Fonte: a autora

No aspecto qualitativo, durante toda a estação de Verão, as aberturas da EACF voltadas para Leste, contam com 40 % do tempo com iluminância extremamente baixa, e praticamente o mesmo período de tempo com iluminância muito baixa, as quais ocorrem, geralmente, nos horários úteis de trabalho.

O pico de luz acontece muito cedo e provavelmente influenciará o ambiente de forma positiva e fugaz, mesmo nas várias atividades possíveis da EACF. Entretanto, a pequena parcela de luz

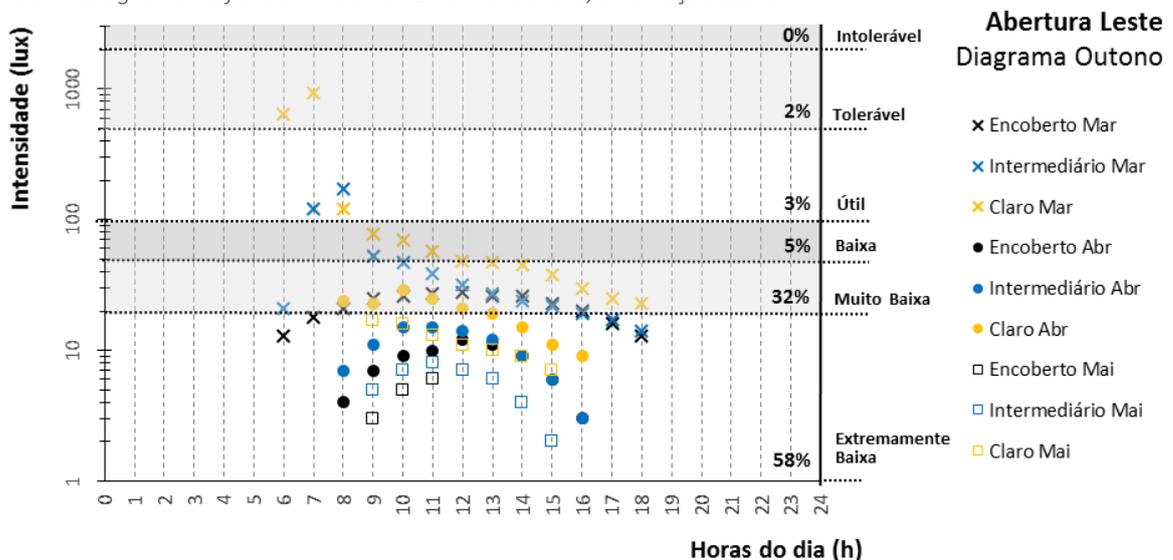
que entra de 3 às 6 horas da manhã pode causar interferência nas atividades dos ambientes tipo câmara, ou de descanso.

### 5.3.2 Estação Climática Outono

O diagrama da Figura 54 apresenta três dias representativos medidos: em março, marcado pelo símbolo “x”, em abril, representado pelo círculo preenchido e em maio, evidenciado pelo quadrado vazado.

O diagrama do Outono, da abertura voltada para o Leste, mostra que, em março, a iluminância se comporta da mesma maneira apresentada no diagrama de Verão: com os picos entre 6 e 7 horas da manhã e uma curva bem distribuída ao longo do dia, de ascendência e descendência de valores distribuídos homogeneamente, preenchendo uma boa parte dos pontos na faixa BUDI “muito baixa”.

Figura 54 - Diagrama de fluatibilidade da EACF de Outono, orientação Leste



Fonte: a autora

Ainda no Outono, nota-se que os meses de abril e maio já apresentam as características de Inverno. Nestes dois últimos meses, os resultados se concentram no centro do gráfico, na zona BUDI “extremamente baixa”.

Apesar do diagrama conotar um período com percentuais qualitativos em várias faixas, é importante ressaltar, que a maioria dos valores medidos estão nos intervalos qualitativos mais baixos da BUDI, e apesar de existir um pequeno período de luz na zona útil da UDI, o horário em que isso acontece não favorece nenhuma atividade no ambiente.

Este pico de luz, que ocorre nestas duas horas do início da manhã, pode ser aproveitado em refeitórios ou salas de preparo para trabalhos externos, contudo, o alto contraste entre esses valores muito altos e restante dos momentos medidos, podem causar fadiga ao olho humano para adaptar-se às diferenças de iluminâncias. Neste caso, uma proteção física nas aberturas pode vir a ser necessária, principalmente pelo fato de que, o Outono, logo após o Verão, não suscita a carência de luz para o usuário, pela grande incidência desta durante os meses precedentes.

Uma análise individual do ambiente e atividade deve ser considerada com as informações deste diagrama, o qual proporciona ao projetista a opção de utilizar, ou não, esta luz direta.

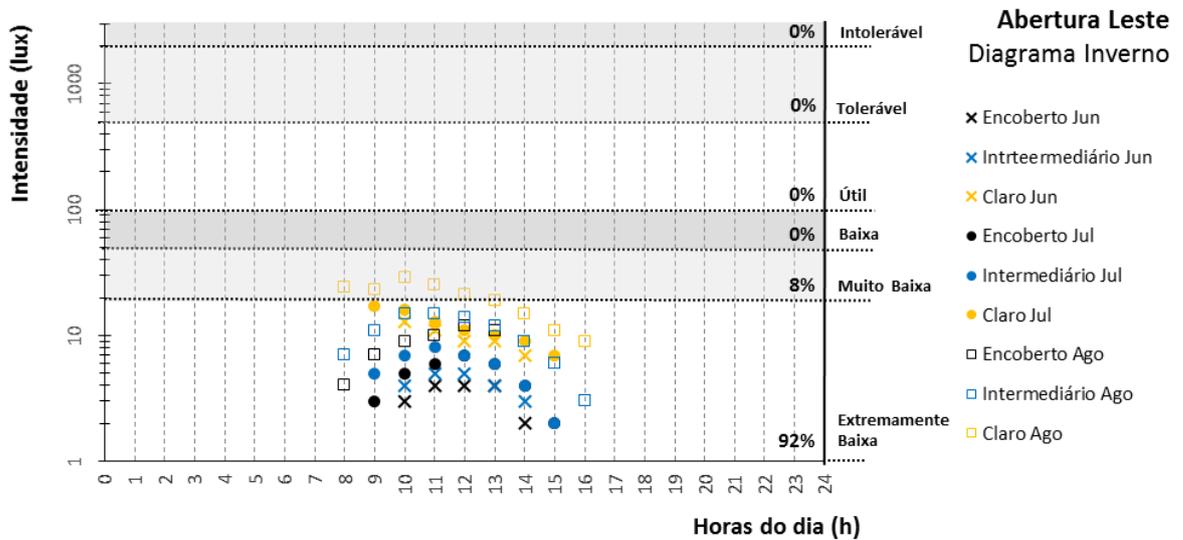
### 5.3.3 Estação Climática Inverno

O diagrama da Figura 55 apresenta três dias representativos medidos: em junho, marcado pelo símbolo “x”, em julho, representado pelo círculo preenchido e em agosto, evidenciado pelo quadrado vazado.

No Inverno, os tipos de céus não alteram a faixa qualitativa de iluminância, mesmo com o céu claro, os valores estão quase sempre no intervalo BUDI “extremamente baixa”, com poucos momentos, no intervalo “muito baixa”, apenas na parte da manhã, entre 8 e 11 horas, com céu claro e em agosto.

Junho, o solstício, e o mês consequente, julho, oferecem uma iluminância média em que a luz se comporta de forma bem difusa e sempre com níveis qualitativos muito baixos e extremamente baixos, não permitindo nesses espaços a realização de nenhuma atividade dependente da luz natural que não seja complementada por luz artificial.

Figura 55 - Diagrama de fluabilidade da EACF de Inverno, orientação Leste



Fonte: a autora

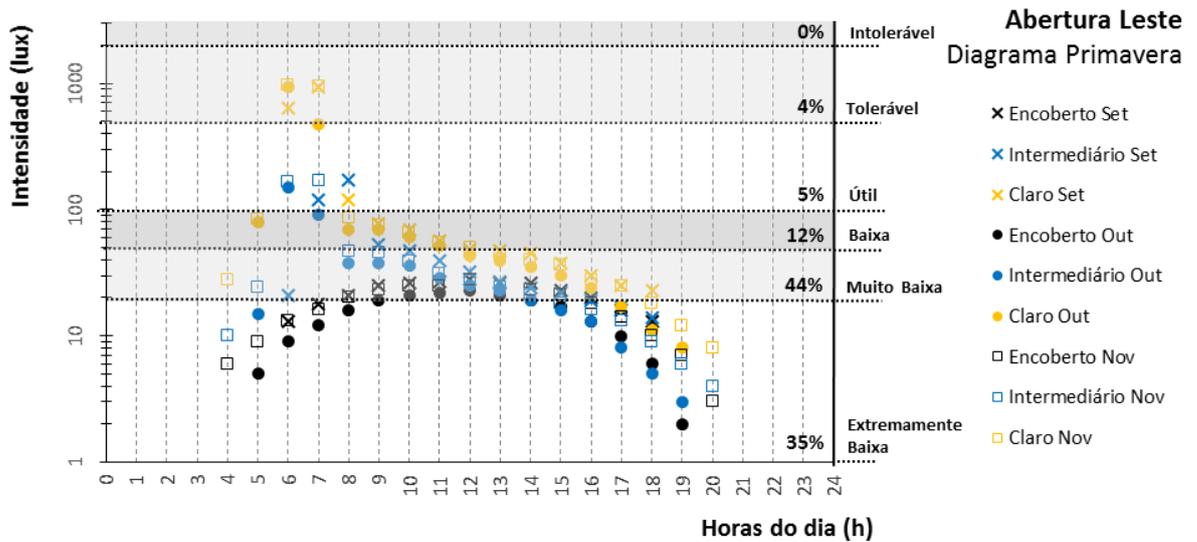
Ainda neste período é fundamental entender a dinâmica do movimento do sol e privilegiar o acesso a essa luz natural, mesmo que em ínfimas quantidades. A qualidade arquitetônica ao proporcionar o contato com o exterior e a percepção do passar do dia, auxilia diretamente, na apreensão do dia e da noite, e na oportunidade de resgatar esse pequeno contato e positivamente influenciar o ciclo circadiano dos usuários neste período.

### 5.3.4 Estação Climática Primavera

O gráfico da Figura 56 exibe três dias representativos medidos: em setembro, marcado pelo símbolo “x”; em outubro, representado pelo círculo preenchido; e em dezembro, evidenciado pelo quadrado vazado.

Em setembro, no gráfico do Inverno, nas aberturas voltadas para o Leste, os valores continuam muito baixos, porém, a luz direta torna a aparecer no pico matinal entre 6 e 7 horas, anunciando o equinócio e, novamente, uma considerável mudança da presença do sol na abóbada, com períodos bem mais longos que no Inverno.

Figura 56 - Diagrama de fluatibilidade da EACF de Primavera, orientação Leste



Fonte: a autora

O pico de luz apresentado nos diagramas de Verão, Outono e Primavera, ocorre no ambiente simulado, sempre muito cedo pela manhã. E, por ser este horário, supõem-se que não criariam nenhum tipo de distúrbio às atividades possíveis na EACF, ou seja, se forem para trabalho, talvez muito cedo para existirem atividades no ambiente; se forem camarotes ou alojamentos, estariam anunciando o início do dia, em horário adequado; se forem refeitórios, é interessante o aproveitamento dessa disponibilidade de luz natural na primeira refeição do dia.

Contudo, uma análise direta deste momento e das atividades, individualmente, em cada ambiente, se faz necessária, uma vez que o alto contraste pode incomodar com o efeito do ofuscamento e proteções tipo persianas ou cortinas podem ser cogitadas.

#### 5.4 ABERTURA OESTE

A abertura Oeste apresenta os quatro diagramas das estações climáticas: Verão, Outono, Inverno e Primavera.

De todas as aberturas e orientações apresentadas, a abertura Oeste possui características peculiares de iluminância, pois evidenciam a necessidade de proteção solar no período da

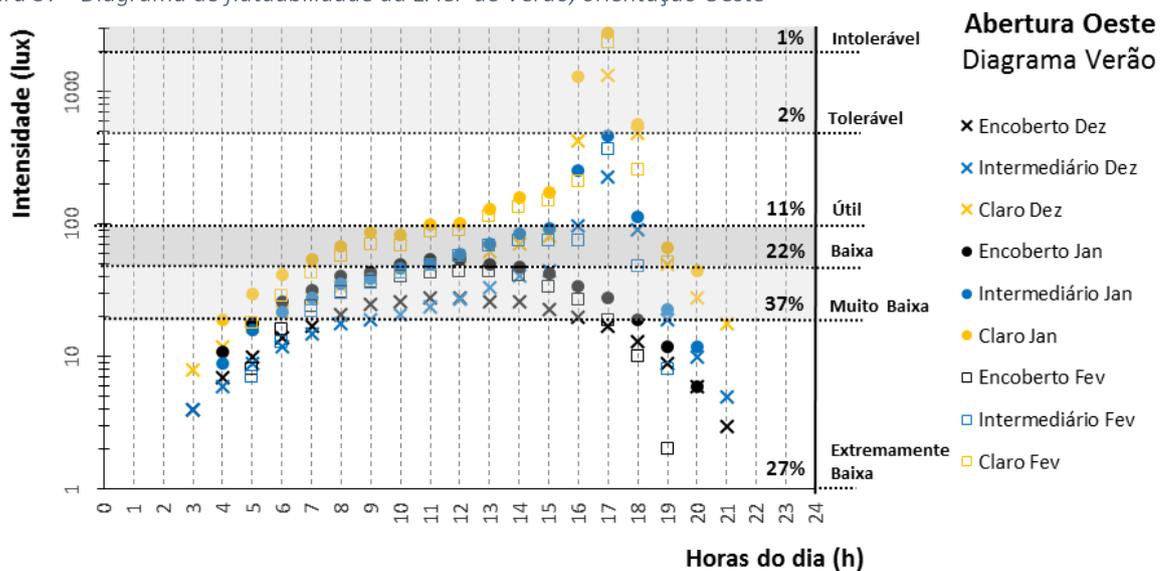
tarde, principalmente em ambientes de trabalho ou ambientes de descanso, repouso ou lazer. Os resultados apresentam altos picos de iluminância, principalmente no final do dia, horário de retorno das atividades externas. Logo, pode-se necessitar uma maior atenção para a entrada indesejável da luz solar nos ambientes, de forma a não atrapalhar as atividades, e proporcionar espaços adequados quanto ao seu uso.

### 5.4.1 Estação Climática Verão

O diagrama da Figura 57 apresenta três dias representativos avaliados: em dezembro, marcado pelo símbolo “x”; em janeiro, representado pelo círculo preenchido; e em fevereiro, evidenciado pelo quadrado vazado.

No diagrama do período de Verão o pico de luz ocorre nos meses de dezembro e janeiro, inclusive com valores acima da iluminância tolerável, determinada na UDI, no fim da tarde de 16 a 17 horas. E esta constatação pode ser vista na análise estática das horas, e que, apesar de representar um percentual muito pequeno do total medido, é um desconforto que pode ocorrer e deve ser prevenido com proteção solar interna.

Figura 57 - Diagrama de fluatibilidade da EACF de Verão, orientação Oeste



Fonte: a autora

Por outro lado, o diagrama demonstra, ao mesmo tempo, que a performance da luz natural nos ambientes voltados para o Oeste, pode contribuir para as atividades nos mesmos, já que os níveis de iluminância estão bem mais altos nesta orientação, durante todos os dias, atingindo a iluminância útil a partir das 11 até às 15 horas, com o céu claro. Portanto, pode-se contar com a luz do dia nestes ambientes para exercer atividades não necessariamente complementando com iluminação artificial.

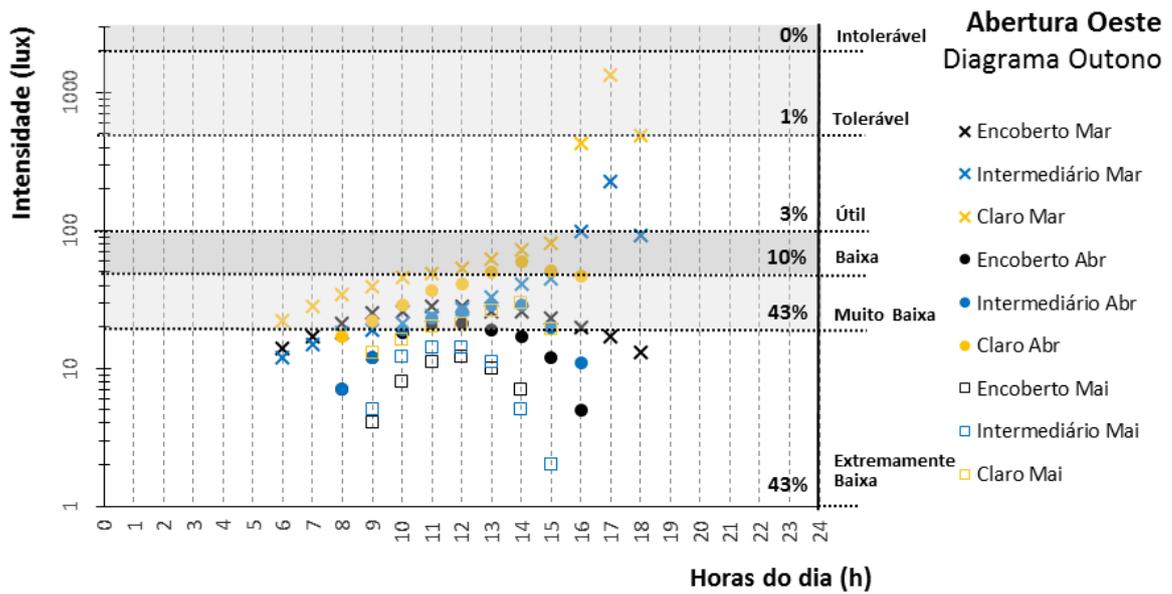
A faixa útil determinada na UDI cobre uma gama de atividades e permite a autonomia da luz natural para supri-las, nestes ambientes, nestes horários do período vespertino. Entretanto, os momentos de pico de iluminância devem ser contabilizados, assim como a luz incidente, nos horários muito cedo e muito tarde da noite, para não interferirem nas atividades e, principalmente, no horário do sono dos habitantes da EACF.

#### **5.4.2 Estação Climática Outono**

O diagrama da Figura 58 apresenta três dias representativos avaliados: em março, marcado pelo símbolo “x”; em abril, representado pelo círculo preenchido e em maio, evidenciado pelo quadrado vazado.

No diagrama de Outono, a abertura Oeste apresenta, de 16 às 18 horas, pico de intensidade nos resultados, com a radiação solar entrando diretamente nos ambientes no mês de março. Contudo, nota-se que, mais uma vez, é possível contar com a luz natural para acompanhar o movimento do sol: a iluminação entra no espaço de forma constante, exceto no horário de pico, onde, provavelmente, os ambientes necessitarão de proteção solar, dependendo do uso.

Figura 58 - Diagrama de fluvariabilidade da EACF de Outono, orientação Oeste



Fonte: a autora

Após o mês do equinócio, a luz natural assume uma distribuição completamente diversa, com períodos curtos, e iluminância nas faixas BUDI “muito baixa” e “extremamente baixa”, característica similar às demais orientações.

Os protetores solares planejados para as outras orientações devem contar com a sua eficiência apenas nos horários de incômodo das outras estações climáticas, e não interferir na entrada de luz natural no período entre abril e maio, sendo um motivo adicional para que seja dada preferência a cortina e persianas internas, controladas pelo usuário.

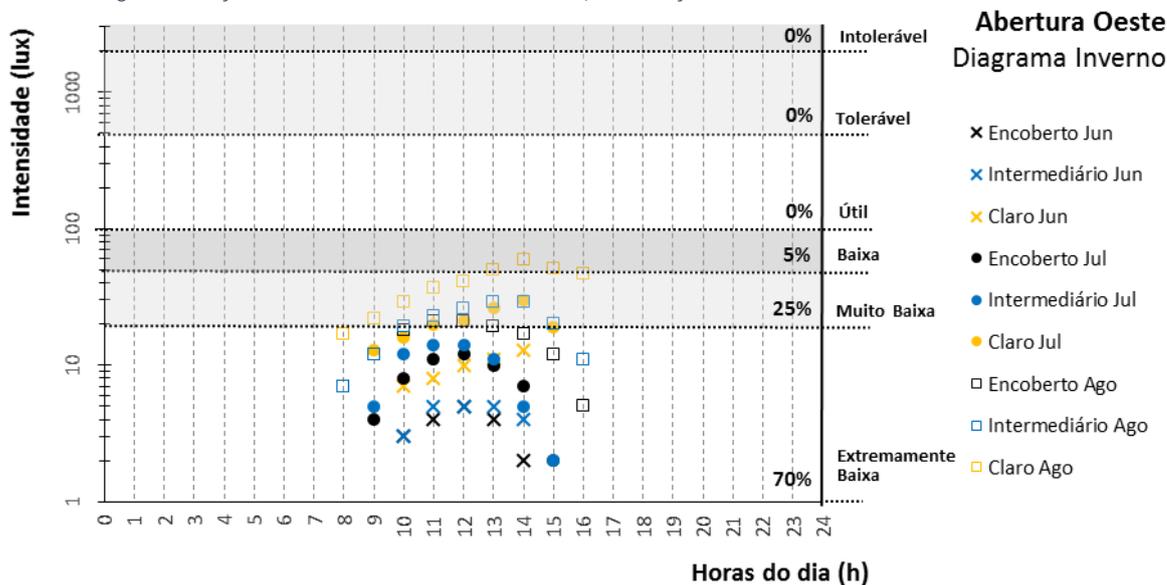
### 5.4.3 Estação Climática Inverno

O diagrama da Figura 59 apresenta três dias representativos medidos: em junho, marcado pelo símbolo “x”; em julho, representado pelo círculo preenchido; e em agosto, evidenciado pelo quadrado vazado.

No diagrama de Inverno, os ambientes com aberturas voltadas para a orientação Oeste não são atingidos por níveis muito altos de iluminância. Pode-se notar que os resultados se distribuem de maneira concentrada, nas faixas muito baixa e extremamente baixa, exceto por

um período em agosto com valores um pouco mais altos, que se destacam no diagrama e representam apenas os dias de céu claro em agosto.

Figura 59 - Diagrama de fluatibilidade da EACF de Inverno, orientação Oeste



Fonte: a autora

É o período do ano com maior carência de luz e, mesmo com os resultados de outras estações climáticas se apresentarem um pouco mais otimistas quanto ao desempenho da luz natural, no Inverno esta orientação tem, praticamente, o mesmo comportamento das outras orientações, ou seja, de pouca luz. Logo, é importante observar que os protetores solares, propostos para auxiliarem em outros momentos, não interfiram na entrada de luz deste período.

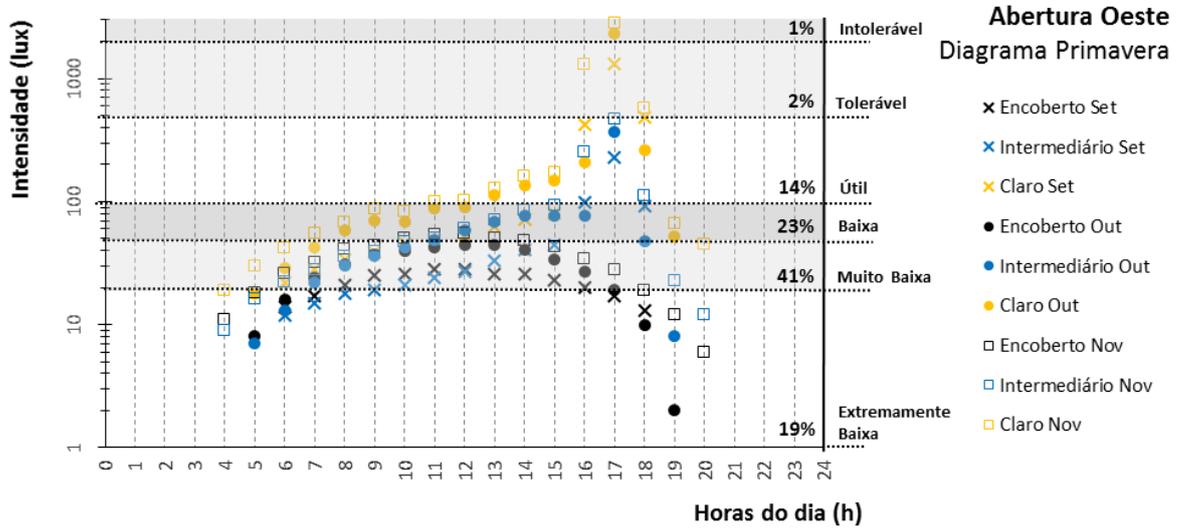
#### 5.4.4 Estação Climática Primavera

O gráfico da Figura 60 apresenta três dias representativos medidos: em setembro, marcado pelo símbolo “x”; em outubro, representado pelo círculo preenchido; e em dezembro, evidenciado pelo quadrado vazado.

O diagrama de Primavera retoma as características de parábola nos resultados do desempenho lumínico. Contudo, este período também aponta, nos três meses avaliados, um pico de intensidade, sempre entre 16 e 18 horas. Há um contraste bem intenso nestes horários, com

os valores passando da faixa "baixa", da BUDI, para números acima de 1000 lux no ambiente, causando, possivelmente, o ofuscamento nos usuários, se não houver proteção solar nas janelas.

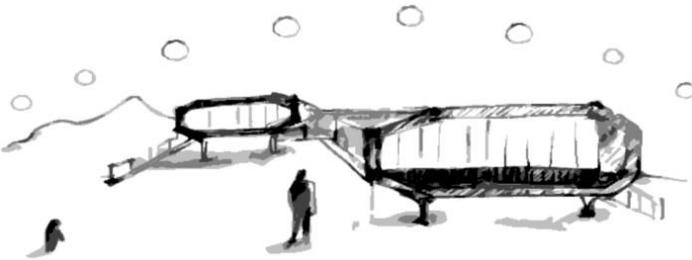
Figura 60 - Diagrama de fluvariabilidade da EACF de Primavera, orientação Oeste



Fonte: a autora

Ressalta-se que é preciso se beneficiar destes raios diretos de luz solar entrando nos ambientes, seja em função da qualidade do ambiente interno, seja pela sensação psicológica de conforto. O passo inicial, advindo da análise estática, permite identificar o quanto, e quando, exatamente, esta incidência ocorre. E, com acesso a estes dados precisos, as análises objetivam auxiliar o projetista a buscar soluções que aproveitem de forma adequada esta luz intensa disponível.

Os dias de céu encoberto não apresentam o pico de luz, portanto, mesmo considerando a frequência deste tipo de céu, deve-se pontuar a solução para os ambientes voltados para o Oeste, de forma a intensificar o contato do usuário com o ciclo do sol e o aproveitamento da luz natural na rotina da EACF.



# DISCUSSÕES

## 6 DISCUSSÕES

A análise inicial da iluminância no ambiente interno, sugerida por Sicurella, Evola e Wurtz (2012) através do gráfico de fluutuabilidade, prioriza a organização dos parâmetros térmicos, mantendo em segundo plano a avaliação lumínica. A análise térmica, por sua vez, possui variáveis influenciadas pelas estações climáticas, picos térmicos em frentes frias ou períodos quentes, efeito estufa, ilhas de calor, as quais podem não ser premeditadas.

A iluminação natural, por outro lado, segue uma lógica geométrica relacionada à trajetória solar na abóboda celeste, respeita um ritmo preestabelecido, evidenciados nos diagramas de fluutuabilidade apresentados neste trabalho, cujas informações de medida da iluminância, previstas nos mesmos gráficos, apresentam o comportamento da luz de forma dinâmica e estática. Assim, a informação do desempenho da luz natural pode ser utilizada nas decisões de projeto e nos prognósticos de conforto, estabelecendo diretrizes a respeito da qualidade lumínica e do conforto visual dos usuários.

Os gráficos explicitam quais são os momentos que os ambientes recebem luz solar em excesso e a frequência desta exposição. Além disso, permite identificar em quais períodos o ambiente conta com luz natural adequada para cada atividade. Desta forma, é possível determinar, através da análise dos diagramas, quais são os impactos negativos e positivos da luz no interior dos ambientes ainda na etapa de concepção e planejamento na arquitetura.

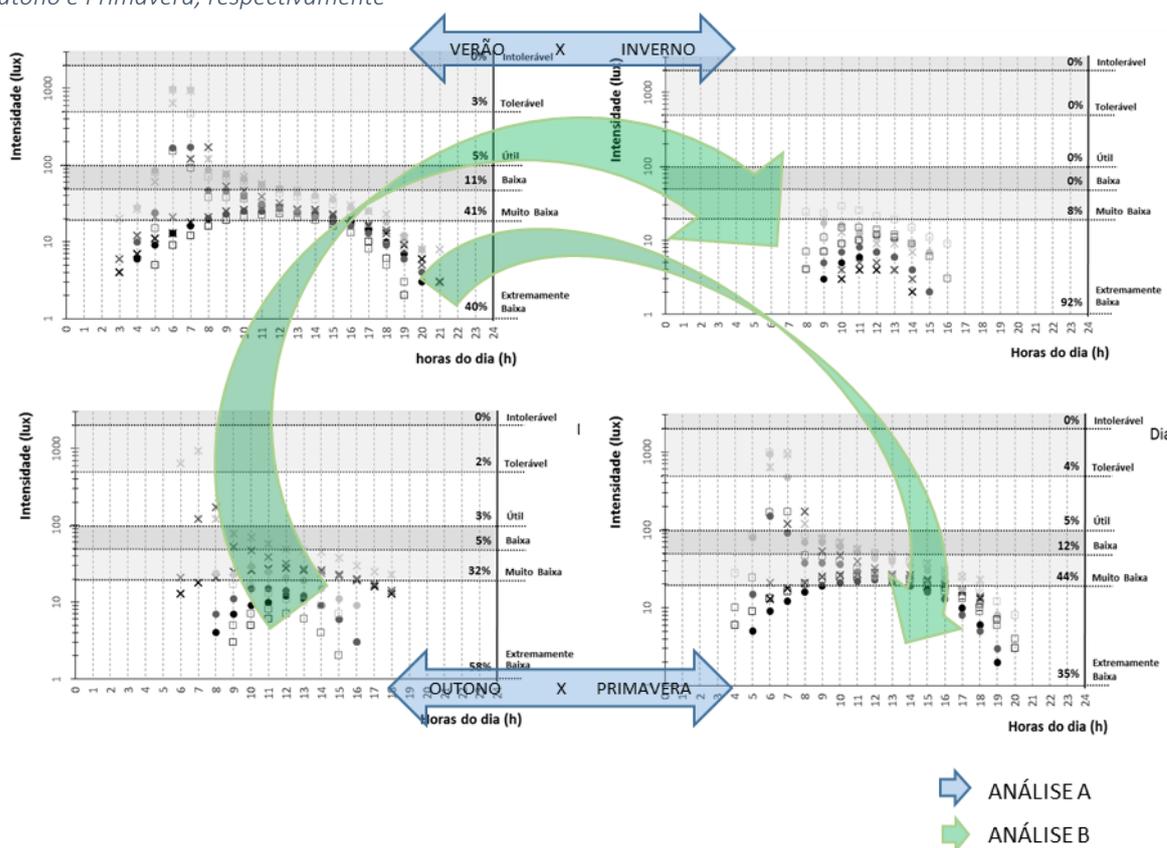
Logo, a primeira proposta deste trabalho foi avaliar a iluminância dentro do diagrama de Sicurella, Evola e Wurtz (2012), porém este procedimento não apresentou resultados efetivos para a análise do desempenho lumínico. Portanto, a proposta final do diagrama de fluutuabilidade, apesar de ainda baseada nos princípios de Sicurella, Evola e Wurtz, apresenta uma nova forma de avaliar a iluminância do ambiente interno construído.

O resultado final da proposta metodológica permite analisar a luz de forma estática e dinâmica, concomitantemente. Por exemplo, é possível verificar a iluminância do ambiente com desempenho caracterizado nas faixas qualitativas, e parametrizar o quanto, quão frequente e qual exato momento a luz está presente no ambiente.

Este estudo determinou um número limitado de variáveis, estabelecidas para auxiliar a melhor leitura do desempenho lumínico, com a janela da EACF e a realidade climática Antártica.

A Figura 61 apresenta quatro diagramas de fluuabilidade da janela Leste da EACF, com o gráfico do desempenho lumínico e duas análises destes gráficos. Em azul, a análise A, é caracterizada pela dicotomia Verão x Inverno e Outono x Primavera. Essa análise é intuitiva e automática e geralmente feita por se comportar como se o Verão e Inverno fossem situações opostas e extremas, e a Primavera e o Outono, se apresentassem como momentos intermediários e de transição entre esses dois extremos. As análises deste tipo, inclusive, costumam fundir os momentos de Primavera e Outono em um único período chamado de equinócio, e erroneamente o caracteriza como um período igual.

Figura 61 - Diagrama de fluuabilidade do comportamento lumínico da janela LESTE da EACF, Verão, Inverno, Outono e Primavera, respectivamente



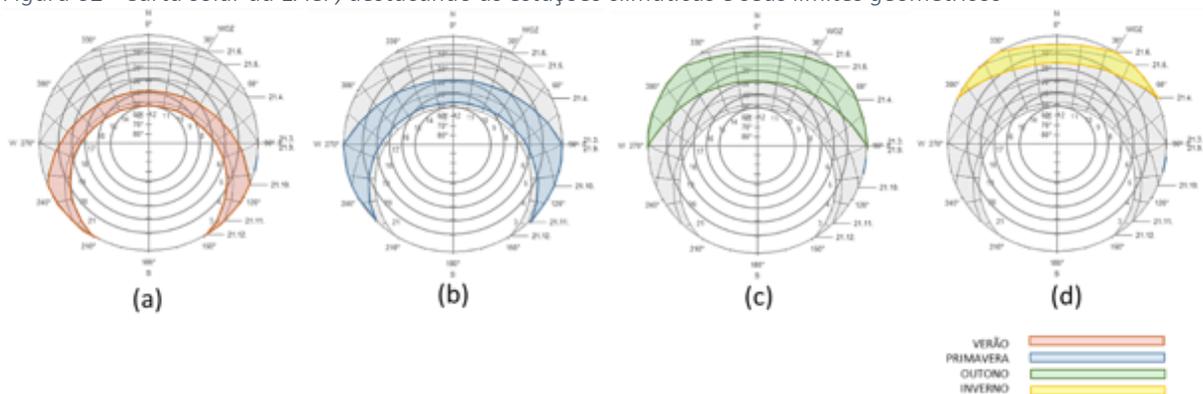
Fonte: a autora

Por outro lado, a análise em verde, denominada na Figura 61 de análise B, demonstra uma outra possibilidade de avaliar os dados lumínicos e representa uma associação do Verão com a Primavera, e do Inverno com o Outono. Esse tipo de cruzamento de informações, une resultados similares, e caracteriza, luminicamente, o agrupamento de dados de maneira mais

apropriada, onde geometricamente as curvas de resultados do desempenho se assemelham e evidenciam a associação do conforto visual com a disposição geométrica constante e periódica do percurso solar, comentados no início das discussões.

Esse ritmo do percurso solar está desenhado na Figura 62 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, onde são evidenciadas, em cores diversas, que a análise Verão, Inverno e equinócio não representam a trajetória anual do sol. As estações climáticas são períodos geométricos que se sobrepõem em diferentes composições, mês a mês e que se repetem em ciclo anual.

Figura 62 - Carta solar da EACF, destacando as estações climáticas e seus limites geométricos



Fonte: a autora

Em vermelho (a), a Figura 62 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o período de Verão, que se sobrepõe em parte ao período de Primavera (b), registrado em azul. Já nas duas cartas da direita, na mesma figura, estão representados os períodos de Outono (c), em verde, e de Inverno (d), em amarelo, que também contém a sobreposição de algumas medidas.

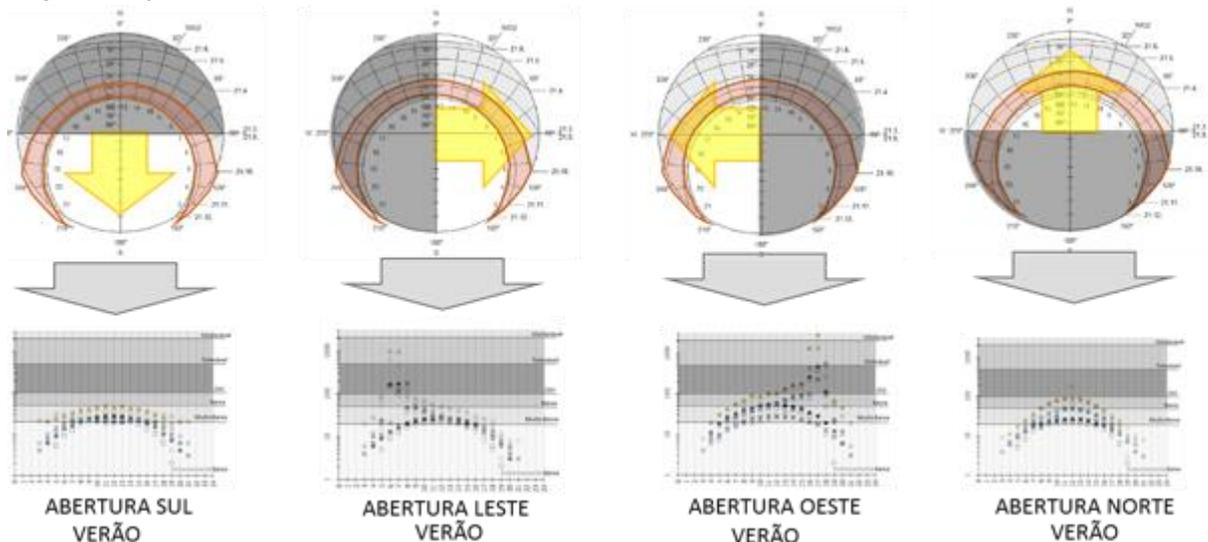
Isso ocorre porque a trajetória solar e o movimento de translação da terra em torno do sol, respeita uma elipse e caracteriza-se, na carta solar, como uma análise tridimensional, de mês em mês, marcada pelas linhas transversais do gráfico. Cada uma destas linhas representa dois meses do ano, exceto pelas linhas das extremidades, as quais distinguem o solstício de Verão e de Inverno.

Consequentemente, as informações da avaliação da carta solar e dos ambientes internos construídos são sobrepostas em um ponto de vista macro e micro, respectivamente. Logo, se aplicada a metodologia de avaliação em um diagrama de flutuabilidade com resultados de iluminância média, então, um panorama anual e dinâmico do potencial de aproveitamento

desta fonte de energia, pode ser uma ferramenta de avaliação da luz naquele espaço, conforme visto nos resultados do estudo de caso na EACF.

A Figura 63, exemplifica como ocorre esta sobreposição do macro – a carta solar – com o micro – os resultados do desempenho da janela analisada da EACF. Os diagramas agrupados trazem consigo a informação do panorama geral do desempenho lumínico do Verão em todas as orientações geográficas. É visualmente uma ferramenta de projeto, que apresenta, didaticamente, o que pode ser aproveitado, e o que é negativo sobre a real incidência de luz natural no ambiente interno construído e, concomitante, sugere um mapeamento do percurso solar e das necessárias correções deste impacto no ambiente e nas atividades.

*Figura 63 - Sobreposição esquemática da carta solar e período climático com a performance lumínica no diagrama de fluutuabilidade*



*Fonte: a autora*

Nota-se que, no Verão a abertura Sul e Norte, não necessitam de proteção solar, já as aberturas Leste e Oeste apresentam os picos de intensidade lumínica e momentos de ofuscamento, em horários específicos, que podem ser amenizados com equipamentos de proteção ou direcionamento do uso adequado do ambiente àquela iluminância.

É um giro de 360 graus pela arquitetura e um panorama simplificado e detalhado do desempenho da luz. Em grupos, os diagramas denotam pontos fracos e soluções arquitetônicas, ainda em fase de simulações, onde as decisões projetuais podem ser ajustadas para o melhor resultado do contexto.

## 6.1 TESTE DE FUNCIONALIDADE DO MÉTODO

Na metodologia desenvolvida é possível ser feita uma análise visual rápida e simplificada do desempenho da luz natural no ambiente interno construído. O nível de detalhamento da avaliação lumínica, passa da análise estática para a análise dinâmica, e este artifício apresentado em um único diagrama é uma ferramenta de auxílio e orientação nas decisões projetuais.

No método de avaliação, foi considerada a média dos pontos simulados, os quais estão a 75 cm de altura em relação ao piso. Este parâmetro é referência em normativa (ASSOCIAÇÃO..., 2013), principalmente quando utilizado para avaliação da iluminância para exercer tarefas, e é referente a uma superfície de trabalho. Contudo, quando a BUDI é introduzida e justificada, mesmo nos valores baixíssimos de iluminância, e, por outro lado, calcando o argumento que a luz não serve somente para desenvolver tarefas, porém ela traz uma melhoria na condição de conforto, é válido ressaltar que a superfície de trabalho não é a única condicionante de avaliação existente para a análise de um ambiente.

Essa conclusão, que a luz é apropriada mesmo que não seja luz para se desenvolver tarefas, e ao mesmo tempo permanecendo a zona avaliativa conforme a padronização de avaliação na superfície de trabalho, poderia ser revista, pois o método deste trabalho está relacionado com a avaliação na superfície de trabalho, porém a questão psicológica não tem relação direta com a necessidade de luz na superfície de 75cm de altura do piso e sim com o contato com a luz externa.

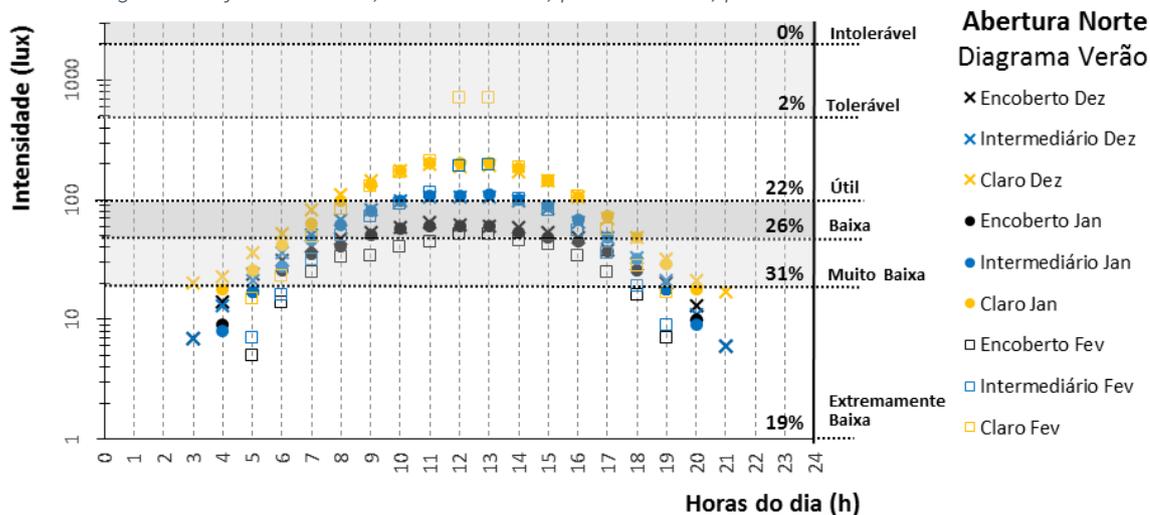
Entretanto, foi mantido o mesmo método e a mesma superfície de avaliação para evitar outras variáveis de interferência no resultado, e desta forma, a metodologia proposta poderia também ser utilizada nas situações de atendimento às tarefas visuais, quando forem possíveis. Por exemplo, abranger uma proposta de análise, não só da EACF, mas de todas as edificações Antárticas, e possivelmente, ser adaptada também para outras realidades. Pode-se então afirmar que, o plano de trabalho, como plano avaliativo, abrangeria os aspectos fisiológicos e psicológicos e também, em janelas mais eficientes, os aspectos formais quantitativos para atividades que exigem um maior valor lumínico e ocorrem, geralmente, neste padrão de 75cm de altura do piso.

Para isso, cogitou-se fazer um teste do método, considerando variáveis que poderiam aumentar o desempenho da luz no ambiente construído e interferir o mínimo possível na proposta arquitetônica da EACF, considerando essa Estação como estudo de caso.

Foi selecionado um novo modelo, baseado em outras estações Antárticas, porém utilizando a mesma janela e espaço avaliado, para fins comparativos, identificar o desempenho da luz natural entre as duas versões. Assim, o vidro da janela foi recalculado com transmitância de 80% – valor de transmitância de um vidro transparente –, e espessura total da parede de 30cm, simulando uma substituição da técnica original de isolamento térmico da EACF, por uma parede mais estreita com uma única esquadria de vidro duplo transparente, uma vez que essas configurações ainda permitiriam um isolamento em termos de técnica e passível de ser utilizada nesta latitude, conforme já utilizado em outras estações.

Foi testada a abertura Norte no período de Verão, e a abertura Sul no período de Inverno. Os diagramas nas Figuras Figura 64 e Figura 65, apresentam, respectivamente, a situação teste, com o vidro transparente e parede menos espessa, e a situação original simulada.

Figura 64 - Diagrama de fluatibilidade, abertura Norte, período Verão, parede 30cm e vidro transmitância 80%

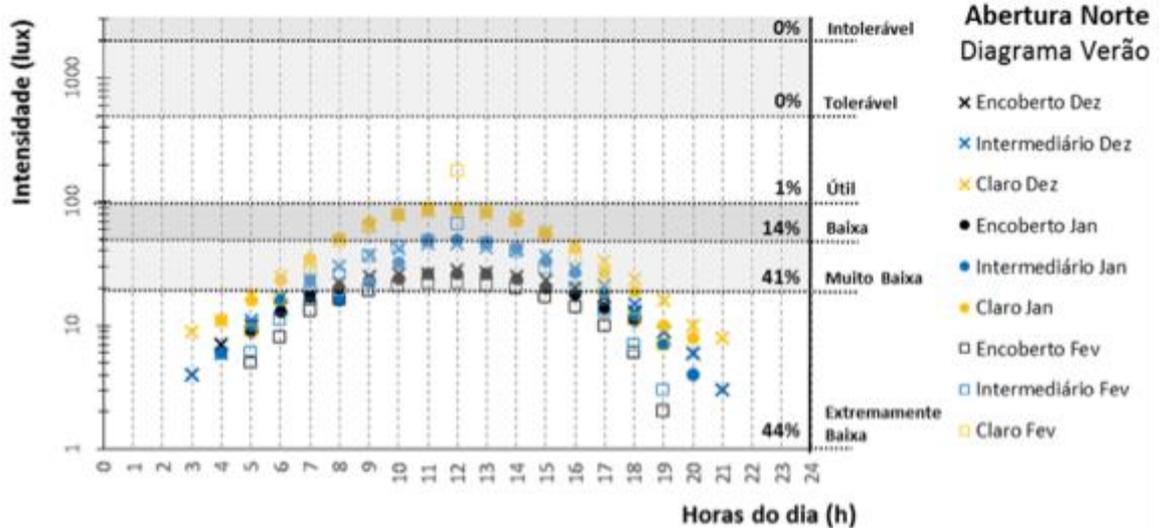


Fonte: a autora

Os resultados dos diagramas de Verão comprovam que o vidro com maior transmitância mantém o mesmo desenho parabolóide característico da curva de desempenho original, e aumenta o valor da intensidade lumínica nas horas medidas, os quais passam de 1% para 22% de presença na zona UDI “útil”. Logo, subentende-se que, mesmo com valores mais altos, a iluminação apresentada em escala logarítmica, de hora em hora, com dados percentuais,

funciona, da mesma forma, como instrumento de entendimento do que ocorre no ambiente quanto à incidência de luz natural.

Figura 65 - Diagrama de fluvariabilidade, abertura Norte, período Verão, parede 80 cm e vidro transmitância 45%

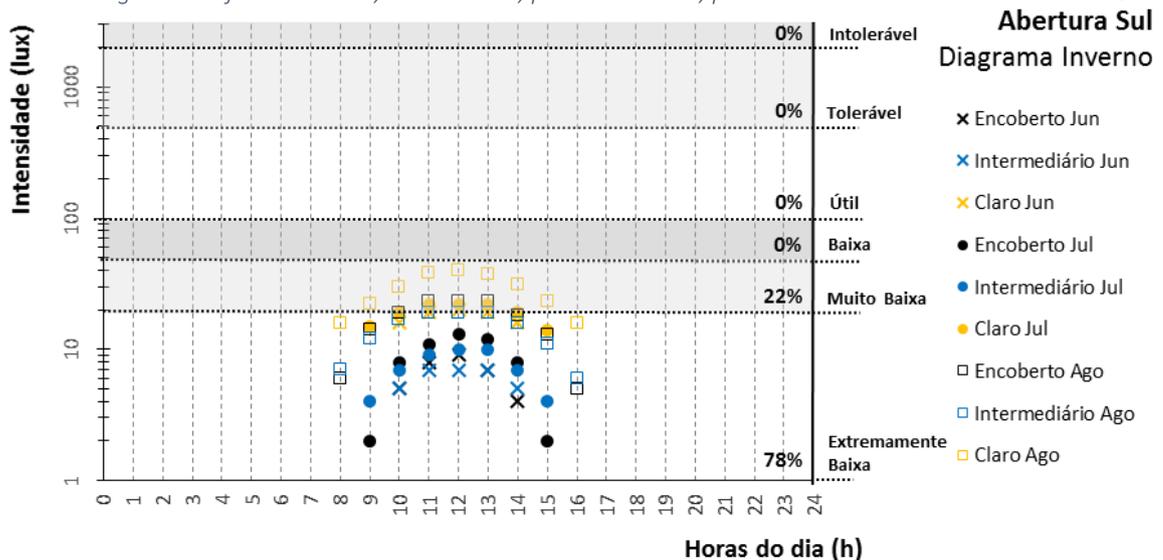


Fonte: a autora

As diferenças dos diagramas apresentados denotam exatamente o ajuste feito nas variáveis de teste: apenas elevou os valores de intensidade, pois o vidro medido tem maior transmitância.

Da mesma forma, como um segundo teste, pode-se visualizar nas figuras Figura 66 e Figura 67, o mesmo comportamento da luz nos dois diagramas, com a curva similar e a iluminância com intensidade maior.

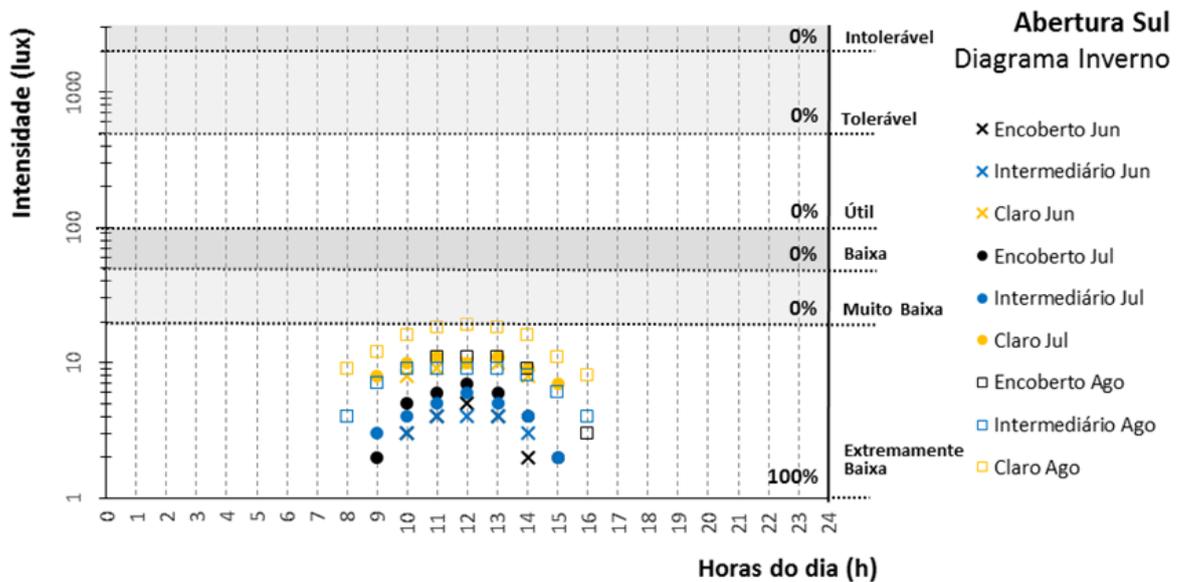
Figura 66 - Diagrama de fluvariabilidade, abertura Sul, período Inverno, parede 30cm e vidro transmitância 80%



Fonte: a autora

Na Figura 66, o diagrama exibe valores de 22% de iluminância na faixa “muito baixa”, e 78% do tempo total de luz solar, de iluminância média na faixa “extremamente baixa”. Já no diagrama original da EACF, na Figura 67, os valores medidos estão 100% na faixa “extremamente baixa”.

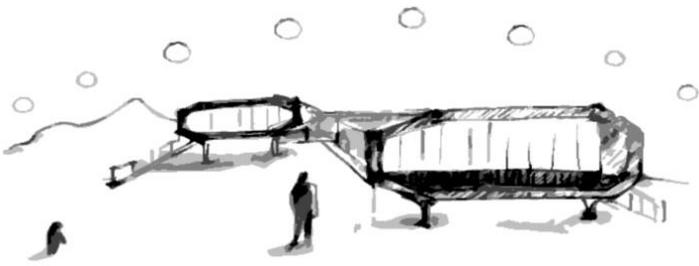
Figura 67 - Diagrama de fluabilidade, abertura Sul, período Inverno, parede 80 cm e vidro transmitância 45%



Fonte: a autora

Conclui-se, portanto, que apenas alterando algumas variáveis, sem modificar a tipologia de janela da EACF, os níveis medidos podem ser manipulados e ajustados inclusive às atividades de cada ambiente, prevendo e adaptando o melhor desempenho e resultado almejado para cada ambiente.

Logo, conclui-se que o teste com as duas situações mais radicais, marcando os extremos de maior incidência de luz e o de menor incidência, comprovam o método.



# CONSIDERAÇÕES FINAIS

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A luz natural medida, que incide dentro dos ambientes na EACF, com as variáveis originais de projeto, não atinge um iluminância padronizada desejada. Os resultados apresentados de luz útil ou até ofuscante estão em poucos horários do dia, mostrando que a luz natural tem potencial para satisfazer atividades, mas não acontece com a frequência necessária para ser utilizada independentemente.

Uma reflexão deve ser feita, principalmente com os dados do solstício de Verão, que possui incidência solar durante 19 horas do dia, e que, neste período, a maior preocupação é a noite: a falta de escuro para o descanso. Retomando as questões do ciclo circadiano, é preciso planejar, em projeto, e oferecer espaços adequados e sem luz, para o usuário produzir a melatonina necessária para o repouso, evitando, desta forma, consequências relacionadas à saúde e bem-estar, principalmente a longo prazo.

Avaliar os momentos de uso dos espaços e adequá-los às atividades predeterminadas, inclui o planejamento da utilização da luz natural para tal. O Verão, numa edificação antártica, é o período de maior uso do espaço e uma abordagem detalhada deste período é fundamental para o conforto do usuário.

O Outono e Primavera, são momentos de grandes mudanças físicas em relação ao percurso do sol na abóboda celeste, e criam contrastes bem aparentes na influência do desempenho lumínico da luz natural. Nos diagramas pôde-se observar que, quando o céu, neste período do ano, se encontra em situação tipo céu encoberto, os resultados apresentam valores de iluminância semelhantes em todas as orientações geográficas, e oferecem o mínimo de luz. A luz natural incidente serve apenas para atividades de observação tipo noturna, em 100% do período, para todas as aberturas, conforme a tabela BUDI.

Esse resultado, mais uma vez, ressalta que qualquer ambiente da EACF que não é utilizado na totalidade do tempo, ou que, as funções dos seus espaços que a permanência humana é eventual, porém, ainda com a necessidade de controle visual, devem ser projetados considerando o aproveitamento, mesmo que mínimo, da luz natural, sendo que tal medida pode ser proporcionada com o correto planejamento das aberturas em projeto. O desempenho

mínimo da luz natural, serve para a observação destes espaços, sem a necessidade de acendimento da luz artificial, no período de luz do dia disponível.

É possível, desta forma, manter a EACF e seus ambientes internos sendo observados, por exemplo, com uma ronda de vigia, sem necessariamente utilizar a luz artificial, e espaços sem uso podem contar com o mínimo de luz necessária advindo das janelas para esta atividade básica, economizando energia.

Os diagramas dos resultados obtidos no período de Inverno demonstram a situação mais adversa e extrema simulada, pois apresentam números advindos da iluminância média resultante de apenas 5 horas de luz por dia, em que o sol está sempre numa altitude muito baixa, com no máximo 5 graus de altitude.

Logo, o sol, apesar de estar presente no céu, está apenas na linha do horizonte, e os baixos resultados medidos, caracterizam uma iluminância quase que direta da luz solar, mesmo que difusa, e o usuário neste período, fica sujeito ao ofuscamento, pois a luz natural, proveniente da abóbada celeste e do sol está sempre no ângulo de visão do observador, na linha dos olhos.

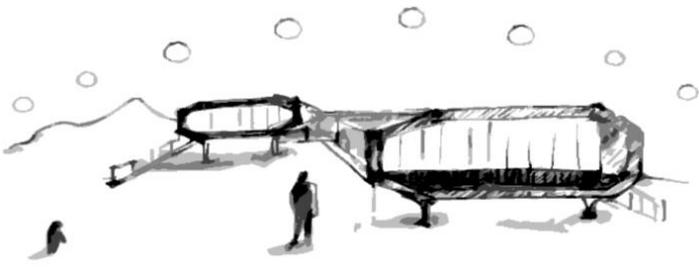
Contudo, por ser uma luz extremamente baixa em termos de altitude, possui algumas características desse posicionamento que podem contribuir para o fator de bem-estar do usuário. Ter acesso a esse espetáculo de 5 horas de pôr do sol, principalmente por ser Inverno, onde, um pequeno fragmento de calor e da luz avermelhada deste momento, pode criar uma atmosfera acolhedora para o espectador.

Da mesma forma, valorizar o contato com a natureza criando subterfúgios arquitetônicos, neste caso, aberturas apropriadas para cada uso e momento, é inerente de um bom projeto. Os gráficos e diagramas propostos permitem ao projetista planejar todos os momentos de entrada da luz, priorizando o que é importante para cada ambiente, e para cada atividade, permitindo ou não a entrada da luz direta, e estabelecendo controle apenas nos momentos necessários.

Assim, o método proposto, e os diagramas finais, apresentaram o panorama para uma análise completa do desempenho lumínico de uma edificação antártica, tendo como estudo de caso a EACF.

Como futuro desenvolvimento do presente estudo recomenda-se:

- Converter a apresentação manual dos resultados medidos no diagrama como um aplicativo computacional, de forma que a visualização estática e dinâmica do desempenho lumínico possa ser incorporado como uma etapa projetual, funcionando como uma ferramenta auxiliar para que cada tipo de janela possa oferecer o melhor desempenho do ambiente.
- A faixa avaliativa BUDI proposta também poderia ser objeto de um estudo mais abrangente, atendendo outras regiões climáticas e situações arquitetônicas diversas.
- Testar o método de avaliação em outras regiões climáticas e mesmo em outros estudos de caso na própria Antártica, considerando a grande diversidade de situações que o Continente Branco oferece;
- Introduzir na metodologia um parâmetro de avaliação dos outros grupos de índices lumínicos, ou seja: qualitativo, ofuscamento, uniformidade, energético, incluindo o entendimento da reprodução cromática e aspectos subjetivos.



# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, I. et al. Analysis of the accuracy of the sky component calculation in daylighting simulation programs. **Solar Energy**, v. 119, p. 54–67, 2015.

ACOSTA, I.; NAVARRO, J.; SENDRA, J. J. Daylighting design with lightscoop skylights: Towards an optimization of shape under overcast sky conditions. **Energy and Buildings**, v. 60, p. 232–238, 2013.

AG., R. I. **RELUX PROM**Münchenstein, Switzerland, 1997.

ALSHAIBANI, K. A. **WINDOW TO INTERNAL SURFACES AS AN INDICATOR FOR INTERNAL ILLUMINANCE**. Worm Renewable Energy Congress VI (WREC2000), 2000

AL TOMONTE, S. et al. Visual task difficulty and temporal influences in glare response. **Building and Environment**, v. 95, p. 209–226, 2016.

ALVAREZ, C. E. **Arquitetura na Antártica: ênfase nas edificações brasileiras em madeira**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 1995.

ALVAREZ, C. E. DE et al. **Estação Antártica Comandante Ferraz : Um Exemplo Brasileiro De Adequação Ambiental**. ENTAC 2004. Anais...São Paulo: 2004

ALVAREZ, C. E. DE. **Desenvolvimento de tecnologias apropriadas e planejamento de ações visando a minimização do impacto ambiental das edificações brasileiras na Antártica, através da otimização na manutenção, ordenamento no crescimento e procedimentos específicos de uso.**, 2004.

ALVAREZ, C. E. DE; SOUZA, H. T. **Controle de resíduos nas edificações brasileiras na Antártica**, 2004.

ARCHITEKTEN, B.; ARCHDAILY. **Indian Research Base**. Disponível em: <<https://www.archdaily.com/404279/indian-research-base-bof-architekten>>. Acesso em: 21 fev. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5413- Iluminância de Interiores**.Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 8995-1\_Iluminação de ambientes de trabalho. Parte I interior**, 2013.

AVERY, D. H. et al. Dawn simulation and bright light in the treatment of SAD: A controlled study. **Biological Psychiatry**, v. 50, n. 3, p. 205–216, 2001.

BELLIA, L. et al. Daylight glare: a review of discomfort indexes. **Detec**, 2008.

BENEDETTO, S. et al. Effects of luminance and illuminance on visual fatigue and arousal during digital reading. **Computers in Human Behavior**, v. 41, p. 112–119, 2014.

BEUTE, F.; DE KORT, Y. A. W. Let the sun shine! Measuring explicit and implicit preference for environments differing in naturalness, weather type and brightness. **Journal of Environmental Psychology**, v. 36, p. 162–178, 2013.

BOCCALETTI, C.; DI FELICE, P.; SANTINI, E. Integration of renewable power systems in an Antarctic research station. **Renewable Energy**, v. 62, p. 582–591, 2014.

BOLSSONI, C. et al. DESEMPENHO LUMINOSO DAS ABERTURAS LATERAIS EM AMBIENTE ANTÁRTICO. **XIV ENCAC**, n. 1, p. 1859–1868, 2017.

BORDET, R.; DU, E. T.; LA, R. D. E. Et Troubles De L ' Humeur. n. 1, 2006.

BRITISH ANTARTIC SURVEY. **Halley VI Key Facts**.

CAJOCHEN, C. Alerting effects of light. **Sleep Medicine Reviews**, v. 11, n. 6, p. 453–464, 2007.

CARLO, J.; PEREIRA, F. O. R.; LAMBERTS, R. Iluminação Natural Para Redução Do Consumo De Energia De Edificações De Escritório Aplicando Propostas De Eficiência Energética Para O Código De Obras Do Recife. **I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável; X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, n. Julho, p. 11, 2004.

CARLUCCI, S. et al. A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in

optimization processes to support building integrated design. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 1016–1033, 2015.

CAVALLERA, G. M.; GIUDICI, S. Morningness and eveningness personality: A survey in literature from 1995 up till 2006. **Personality and Individual Differences**, v. 44, n. 1, p. 3–21, 2008.

COLLINS ENGLISH DICTIONARY. **white out definition**. Disponível em: <<https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/white-out>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. Spatial distribution of daylight-CIE standard general sky. **Cie S 011/E:2003**, v. ISO 15469:, p. 1–10, 2003.

COOL ANTARCTICA. **online community - South Pole Station - OAE**. Disponível em: <[https://www.coolantarctica.com/Community/OAE\\_south-pole.php](https://www.coolantarctica.com/Community/OAE_south-pole.php)>. Acesso em: 20 fev. 2018.

DARULA, S.; KITTLER, R.; KÓMAR, L. Simulation of luminance sky patterns predetermining daylight illuminance on vertical house fronts with windows. **Solar Energy**, v. 120, p. 195–207, 2015.

DAS, A.; PAUL, S. K. Artificial illumination during daytime in residential buildings: Factors, energy implications and future predictions. **Applied Energy**, v. 158, p. 65–85, 2015.

DAVIS, P. B. Beyond guidelines: a model for Antarctic tourism. **Annals of Tourism Research**, v. 26, n. 3, p. 516–533, 1999.

DE CHRISTO, T. M. et al. Design and analysis of hybrid energy systems: The Brazilian Antarctic Station case. **Renewable Energy**, v. 88, p. 236–246, 2016.

DE KORTE, E. M. et al. Personal environmental control: Effects of pre-set conditions for heating and lighting on personal settings, task performance and comfort experience. **Building and Environment**, v. 86, p. 166–176, 2015.

DIAL GMBH. **Dialux Evo 6**Lüdenscheid, Deutschland, 2017.

DURCE, D. C. et al. **EACF MEMORIAL DESCRITIVO DE ARQUITETURA**. Curitiba: [s.n.].

DURISCOE, D. M. Photometric indicators of visual night sky quality derived from all-sky brightness maps. **Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer**, v. 181, p. 33–45, 2015.

EMERSON VIDIGAL et al. **PROJETO EACF**. Disponível em: <<http://www.estudio41.com.br/projeto/estacao-antartica-comandante-ferraz-2/>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

ENGWALL, M. et al. Lighting, sleep and circadian rhythm: An intervention study in the intensive care unit. **Intensive and Critical Care Nursing**, v. 31, n. 6, p. 325–335, 2015.

FABIO, B. et al. Non visual effects of light : an overview and an Italian experience. **Energy Procedia**, v. 78, p. 723–728, 2015.

FARIA, J. et al. CONSTRUÇÃO TOMBADA PELO PATRIMÔNIO HISTÓRICO. n. 1, p. 1760–1769, 2017.

FASI, M. A.; BUDAIWI, I. M. Energy performance of windows in office buildings considering daylight integration and visual comfort in hot climates. **Energy and Buildings**, v. 108, p. 307–316, 2015.

FERNANDES, L. L. et al. Angular selective window systems: Assessment of technical potential for energy savings. **Energy and Buildings**, v. 90, p. 188–206, 2015.

FOUNDATION, N. S. **A Century of Science & Exploration Amundsen-Scott South Pole Station**. USA: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.nsf.gov/dir/index.jsp?org=OPP>>.

FRASCAROLO, M.; MARTORELLI, S.; VITALE, V. An innovative lighting system for residential application that optimizes visual comfort and conserves energy for different user needs. **Energy and Buildings**, v. 83, p. 217–224, 2014.

FREITAS, S. et al. Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 915–931, 2015.

GANDRA, R. M. LIXO ANTÁRTICO: ELEMENTOS PARA UMA DISCUSSÃO. **Portal de Periódicos UFRGS, Associação dos Geógrafos Brasileiros**, p. 13–33, 2009.

GOU, Z.; LAU, S. S. Y.; YE, H. Visual alliesthesia: The gap between comfortable and stimulating illuminance settings. **Building and Environment**, v. 82, p. 42–49, 2014.

GREGORY, R. L. **Eye and Brain: The Psychology of Seeing**. Fifth edit ed. New York, NY: Oxford University Press, 1998.

GROTA, L. J. et al. Phototherapy for seasonal major depressive disorder: Effectiveness of bright light of high or low intensity. **Psychiatry Research**, v. 29, n. 1, p. 29–35, 1989.

HESCHONG, L.; WYMELENBERG, K. V. D. **sDA - Spatial Daylight Autonomy**. USA: [s.n.].

HOPKINSON, R. G. Glare from daylighting in buildings. **Applied Ergonomics**, v. 3, n. 4, p. 206–215, 1972.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação Natural**. [s.l.] Fundação Calouste Gulbenkaian, 1966.

HUGH BROUGHTON ARCHITECTS. **Halley VI British Antarctic Research Station | Hugh Broughton Architects**. Disponível em: <<http://www.hbarchitects.co.uk/halley-vi-british-antarctic-research-station/>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

HUGH BROUGHTON; HBARCHITECTS. **Juan Carlos 1 Spanish Antarctic Base**. Disponível em: <<http://www.hbarchitects.co.uk/juan-carlos-1-spanish-antarctic-base/>>. Acesso em: 21 fev. 2018.

HUIBERTS, L. M.; SMOLDERS, K. C. H. J.; DE KORT, Y. A. W. Non-image forming effects of illuminance level: Exploring parallel effects on physiological arousal and task performance. **Physiology and Behavior**, v. 164, p. 129–139, 2016.

IACOMUSSI, P. et al. Visual Comfort with LED Lighting. **Energy Procedia**, v. 78, p. 729–734, 2015.

INC., A. **Lightscape** San Rafael, California, USA, 2000. Disponível em:

<%3Cwww.autodesk.com/estore%3E>

INGELMO, I. A. Design and Development of a Sustainable Tourism Indicator based on Human Activities Analysis in Inle Lake, Myanmar. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 103, p. 262–272, 2013.

INTERNATIONAL POLAR FOUNDATION; RENÉ ROBERT. **Galeria de Princess Elisabeth Antarctica : A primeira estação de pesquisa “Emissão Zero”**. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-98056/princess-elisabeth-antarctica-a-primeira-estacao-de-pesquisa-emissao-zero-na-antarctica/51103885b3fc4bd00b000022-princess-elisabeth-antarctica-a-primeira-estacao-de-pesquisa-emissao-zero-na-antarctica-foto%0AGale>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

JESUS, D. T.; SOUZA, H. T. As Atividades Da Marinha Do Brasil Na Antártica. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 1, p. 7–13, 2007.

KANTERSA, J.; WALLA, M.; ELISABETH KJELLSSONB. The solar map as a knowledge base for solar energy use. **SHC 2013, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry S**, 2013.

KAZANASMAZ, T. et al. Three approaches to optimize optical properties and size of a South-facing window for spatial Daylight Autonomy. **Building and Environment**, v. 102, p. 243–256, 2016.

KENT, M. G. et al. Discomfort glare and time of day. **Lighting Research and Technology**, v. 47, p. 1477153514547291, 2014.

KENT, M. G. et al. Temporal effects on glare response from daylight. **Building and Environment**, p. 1–16, 2016.

KIM, J. H.; DUFFY, J. F. Circadian Rhythm Sleep-Wake Disorders in Older Adults. **Sleep Medicine Clinics**, 2017.

KIM, J. T.; SHIN, J. Y.; YUN, G. Y. Prediction of discomfort glares from windows: Influence of the subjective evaluation of window views. **Indoor and Built Environment**, v. 21, n. 1, p. 92–97, 2012.

KIM, S. Y.; KIM, J. J. Influence of light fluctuation on occupant visual perception. **Building and Environment**, v. 42, n. 8, p. 2888–2899, 2007.

KIM, W.; KOGA, Y. Effect of local background luminance on discomfort glare. **Building and Environment**, v. 39, n. 12, p. 1435–1442, 2004.

KOZAKI, T. et al. Effects of day-time exposure to different light intensities on light-induced melatonin suppression at night. **Journal of Physiological Anthropology**, v. 34, p. 27, 2015.

LABORATORY, L. B. N. **Radiance . Versão 1.0**Berkeley, California, USAUNIVERSITY OF CALIFORNIA, , 2002.

LASSANDRO, P.; COSOLA, T.; TUNDO, A. School building heritage: Energy efficiency, thermal and lighting comfort evaluation via virtual tour. **Energy Procedia**, v. 78, p. 3168–3173, 2015.

LESNIEWSKI, R. **Mapa político da Antártica**. Disponível em: <<https://pt.dreamstime.com/ilustração-stock-mapa-político-da-antártica-image70649837>>. Acesso em: 4 jan. 2017.

LEUNG, T. C. Y.; RAJAGOPALAN, P.; FULLER, R. Performance of a daylight guiding system in an office building. **Solar Energy**, v. 94, p. 253–265, 2013.

LÖFVING, B.; BILLGER, M.; THAUNG, J. Visualization of Disability Glare Due to Veiling Luminance. **Energy Procedia**, v. 78, p. 735–740, 2015.

MAAMARI, F.; FONTOYNONT, M.; ADRA, N. Application of the CIE test cases to assess the accuracy of lighting computer programs. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 869–877, 2006.

MALEETIPWAN-MATTSSON, P.; LAIKE, T.; JOHANSSON, M. Factors affecting optimal lighting use in shared hospital environments: A case-study. **Building and Environment**, v. 96, p. 260–269, 2016.

MANGKUTO, R. A. et al. Lighting performance and electrical energy consumption of a virtual window prototype. **Applied Energy**, v. 135, p. 261–273, 2014a.

MANGKUTO, R. A. et al. Comparison between lighting performance of a virtual natural lighting solutions prototype and a real window based on computer simulation. **Frontiers of Architectural Research**, v. 3, n. 4, p. 398–412, 2014b.

MANGKUTO, R. A.; ROHMAH, M.; ASRI, A. D. Design optimisation for window size, orientation, and wall reflectance with regard to various daylight metrics and lighting energy demand: A case study of buildings in the tropics. **Applied Energy**, v. 164, p. 211–219, 2016.

MARDALJEVIC, J.; HESCHONG, L.; LEE, E. Daylight metrics and energy savings. **Lighting Research and Technology**, v. 41, p. 261–283, 2009.

MARINO, C.; NUCARA, A.; PIETRAFESA, M. Mapping of the indoor comfort conditions considering the effect of solar radiation. **Solar Energy**, v. 113, p. 63–77, 2015.

MAZZOCCOLI, G. et al. A Timeless Link Between Circadian Patterns and Disease. **Trends in Molecular Medicine**, v. 22, n. 1, p. 68–81, 2016.

MCNEIL, A.; LEE, E. S.; JONSSON, J. C. Daylight performance of a microstructured prismatic window film in deep open plan offices. **Building and Environment**, v. 113, p. 280–297, 2017.

MELO, M. C. A. et al. Chronotype and circadian rhythm in bipolar disorder: A systematic review. **Sleep Medicine Reviews**, v. 34, p. 46–58, 2017.

MENDES JUNIOR, C. W. et al. A new topographic map for Keller Peninsula , King George Island, Antarctica. **Pesquisa Antártica Brasileira**, v. 5, p. 105–113, 2012.

MICHEL, L. **Light: the shape of space: designing with space and light**. New York, NY: Wiley, 1966.

MOLION, L. C. B. Desmistificando o aquecimento global. **Intergeo**, v. 5, p. 13–20, 2007.

MONTARROYOS, D. C. G. **INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE PARA EDIFICAÇÕES NA ANTÁRTICA**. [s.l.] Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.

MORENO, M. B. P.; LABARCA, C. Y. Methodology for assessing daylighting design strategies in classroom with a climate-based method. **Sustainability (Switzerland)**, 2015.

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

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, 2006.

NAGY, Z.; YONG, F. Y.; SCHLUETER, A. Occupant centered lighting control: A user study on balancing comfort, acceptance, and energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 126, p. 310–322, 2016.

NICO-RODRIGUES, E. A. **Influência da janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente**. [s.l.] Univerdidad del Bio-Bío, 2015.

OCHOA, C. E. et al. Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort. **Applied Energy**, v. 95, p. 238–245, 2012.

PARPAIRI, K. et al. The Luminance Differences index: a new indicator of user preferences in daylight spaces. **Lighting Research and Technology**, v. 34, n. 2002, p. 53–68, 2002.

PELLEGRINO, A. et al. Impact of daylighting on total energy use in offices of varying architectural features in Italy: Results from a parametric study. **Building and Environment**, v. 113, p. 151–162, 2017.

PETKOV, B. H. et al. Variability in solar irradiance observed at two contrasting Antarctic sites. **Atmospheric Research**, v. 172–173, p. 126–135, 2016.

PORTEOUS, J. D. **Environmental Aesthetics. Ideas, politics and planning**. London, New York: Routledge, 1996.

PULLIAINEN, J. et al. Semi-empirical modeling of the scene reflectance of snow-covered boreal forest: Validation with airborne spectrometer and LIDAR observations. **Remote Sensing of Environment**, v. 155, p. 303–311, 2014.

RAIMONDI, A. et al. Daylight Autonomy as a Driver for Office Building Retrofitting. **Energy Procedia**, v. 96, n. October, p. 180–189, 2016.

REINHART, C. **Daysim**Canada, 1998.

REINHART, C. F.; HERKEL, S. Simulation of annual daylight illuminance distributions - a state-of-the-art comparison of six RADIANCE-based methods. **Energy and Buildings**, v. 32, n. 2, p. 167–187, 2000.

REINHART, C. F.; WALKENHORST, O. Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. **Energy and Buildings**, v. 33, n. 7, p. 683–697, 2001.

REINHART, C. F.; WEISSMAN, D. A. The daylit area - Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics. **Building and Environment**, v. 50, p. 155–164, 2012.

ROCKCASTLE, S.; ANDERSEN, M. Measuring the dynamics of contrast & daylight variability in architecture: A proof-of-concept methodology. **Building and Environment**, v. 81, p. 320–333, 2014.

ROGAN-FINNEMORE, M.; COMNAP. **PIERRE-Concordia**. Disponível em: <<https://www.comnap.aq/Members/IPEV/SiteAssets/Forms/DispForm.aspx?ID=6>>. Acesso em: 21 fev. 2018.

ROGERS, Z.; GOLDMAN, D. **Daylighting Metric Development Using Daylight Autonomy Calculations In the Sensor Placement Optimization Tool Development Report and Case Studies**. [s.l.: s.n.].

ROSE, T.; WOLLERT, A. The dark side of photovoltaic - 3D simulation of glare assessing risk and discomfort. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 52, p. 24–30, 2015.

SCHEIR, G. H. et al. Calculation of the Unified Glare Rating based on luminance maps for uniform and non-uniform light sources. **Building and Environment**, v. 84, p. 60–67, 2015.

SELVI, Y. et al. The effects of individual biological rhythm differences on sleep quality, daytime sleepiness, and dissociative experiences. **Psychiatry Research**, v. 256, n. April, p. 243–248, 2017.

SHARPLES, S.; STEWART, L.; TREGENZA, P. R. Glazing daylight transmittances: A field survey of windows in urban areas. **Building and Environment**, v. 36, n. 4, p. 503–509, 2001.

SICURELLA, F.; EVOLA, G.; WURTZ, E. A statistical approach for the evaluation of thermal and visual comfort in free-running buildings. **Energy and Buildings**, v. 47, p. 402–410, 2012.

SINGH, S. K.; KULKARNI, A. V.; CHAUDHARY, B. S. Spectral characterization of soil and coal contamination on snow reflectance using hyperspectral analysis. **Journal of Earth System Science**, v. 120, n. 2, p. 321–328, 2011.

SMOLENSKY, M. H.; HERMIDA, R. C.; PORTALUPPI, F. Circadian mechanisms of 24-hour blood pressure regulation and patterning. **Sleep Medicine Reviews**, v. 33, p. 4–16, 2017.

SODRÉ, E. D. **Emissões atmosféricas e implicações potenciais sobre a biota terrestre devido as atividades antrópicas na Baía do Almirantado**. [s.l.] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2011.

STEPHEN PRICE. **Los alamos national laboratory**. Disponível em: <<http://public.lanl.gov/sprice/pages/pictures.html>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

STEWART, K. T. et al. Effects of green or white light for treatment of seasonal depression. **Psychiatry Res**, v. 38, n. 3, p. 261–270, 1991.

SUK, J. Y.; SCHILER, M.; KENSEK, K. Development of new daylight glare analysis methodology using absolute glare factor and relative glare factor. **Energy and Buildings**, v. 64, p. 113–122, 2013.

SUK, J. Y.; SCHILER, M.; KENSEK, K. Investigation of existing discomfort glare indices using human subject study data. **Building and Environment**, p. 1–10, 2016.

TE KULVE, M. et al. The impact of morning light intensity and environmental temperature on body temperatures and alertness. **Physiology and Behavior**, v. 175, n. March, p. 72–81, 2017.

TIN, T. et al. Energy efficiency and renewable energy under extreme conditions: Case studies from Antarctica. **Renewable Energy**, v. 35, n. 8, p. 1715–1723, 2010.

TOMÉ, M. et al. A influência da tipologia de janela na iluminação natural: O caso da Estação Antártica Comandante Ferraz. **Anais do SBE16 Brasil-Portugal**, p. 10, 2016.

TORNQUIST, J. C. **COLORE E LUCE: Teoria e pratica. Istituto**. Italia: Colore, Istituto del, 2001.

TREGENZA, P. R. Cloud cover and daylight illuminance. **Building and Environment**, v. 22, n. 3, p. 163–165, 1987.

TREGENZA, P. R. Mean daylight illuminance in rooms facing sunlit streets. **Building and Environment**, v. 30, n. 1, p. 83–89, 1995.

TROTTER, A. P. **Illumination: Its distribution and measurement**. limited Co ed. [s.l.] London, Macmillan and co., 1911.

TUAN, Y. F. **Topofilia. São Paulo: Routledge, 1996**. Routledge: [s.n.].

TWOMEY, S. Pollution and the Planetary Albedo. **Atmospheric Environment**, v. 41, n. SUPPL., p. 120–125, 2007.

UNCYCLOPEDIA. **Amundsen Scott Duomo**. Disponível em: <[http://uncyclopedia.wikia.com/wiki/File:Amundsen\\_Scott.jpg](http://uncyclopedia.wikia.com/wiki/File:Amundsen_Scott.jpg) acessado em 26/02/2018>. Acesso em: 26 fev. 2018.

VETTER, C.; SCHEER, F. A. J. L. Circadian Biology: Uncoupling Human Body Clocks by Food Timing. **Current Biology**, v. 27, n. 13, p. R656–R658, 2017.

VIEIRA, F. B. O Tratado da Antártica : Perspectivas Territorialista e Internacionalista. **Brazilian Journal of Latin American Studies**, v. 2, p. 49–82, 2006.

WEHRENS, S. M. T. et al. Meal Timing Regulates the Human Circadian System. **Current Biology**, v. 27, n. 12, p. 1768–1775.e3, 2017.

WOELFFEL, A. B. et al. OS RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS PELAS ATIVIDADES DE PRODUÇÃO E CONSUMO DE ALIMENTOS NA ESTAÇÃO ANTÁRTICA COMANDANTE FERRAZ ENQUANTO INDICADOR DE MONITORAMENTO AMBIENTAL. ELECS 2007. **Anais...2007**

XUE, P.; MAK, C. M.; HUANG, Y. Quantification of luminous comfort with dynamic daylight metrics in residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 117, p. 99–108, 2016.

YU, X.; SU, Y. Daylight availability assessment and its potential energy saving estimation -A literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 494–503, 2015.

YU, X.; SU, Y.; CHEN, X. Application of RELUX simulation to investigate energy saving potential from daylighting in a new educational building in UK. **Energy and Buildings**, v. 74, p. 191–202, 2014.

ZHANG, J. et al. Light-based circadian rhythm control: Entrainment and optimization. **Automatica**, v. 68, p. 44–55, 2016.