

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

LARA TORRES DE MELO VASCONCELLOS

**LUZ NATURAL E LATITUDE: A INFLUÊNCIA DA LOCALIZAÇÃO
GEOGRÁFICA NO DESEMPENHO LUMINOSO DE PROJETO PADRÃO DE SALA
DE AULA**

MACEIÓ

2019

LARA TORRES DE MELO VASCONCELLOS

**LUZ NATURAL E LATITUDE: A INFLUÊNCIA DA LOCALIZAÇÃO
GEOGRÁFICA NO DESEMPENHO LUMINOSO DE PROJETO PADRÃO DE SALA
DE AULA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Carvalho Cabús

MACEIÓ

2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

- V3311 Vasconcellos, Lara Torres de Melo.
Luz natural e latitude : a influência da localização geográfica no desempenho luminoso de projeto padrão de sala de aula / Lara Torres de Melo Vasconcellos. – 2019.
105 f. : il. color.
- Orientador: Ricardo Carvalho Cabús.
Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2019.
- Bibliografia: f. 84-93.
Apêndices: f. 94-105.
1. Projeto arquitetônico - Simulação por computador. 2. Iluminação natural. 3. Edifícios escolares. I. Título.

CDU: 727.1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

LARA TORRES DE MELO VASCONCELLOS

LUZ NATURAL E LATITUDE: A INFLUÊNCIA DA LOCALIZAÇÃO
GEOGRÁFICA NO DESEMPENHO LUMINOSO DE PROJETO PADRÃO DE SALA
DE AULA

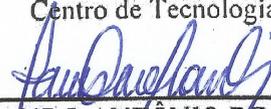
Dissertação de mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e
Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas
como requisito final para obtenção do grau de
Mestre em Arquitetura e Urbanismo

APROVADA em: 22/11/2019

BANCA EXAMINADORA



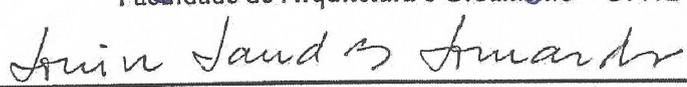
Prof. Dr. RICARDO CARVALHO CABÚS
Centro de Tecnologia – UFAL



Prof. Dr. FERNANDO ANTÔNIO DE MELO SÁ CAVALCANTI
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Dr. RICARDO VICTOR RODRIGUES BARBOSA
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Profª Drª LOUISE LAND BITTENCOURT LOMARDO
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFF

À minha família

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus, sem Ele nada disso seria possível.

Agradeço ao meu esposo Luiz H. Vasconcellos por todo amor, suporte, compreensão e incentivo. Por estar sempre presente e dividir comigo os momentos de sucesso e de dificuldade.

A todos os membros do Grupo de Pesquisa em Iluminação (GRILU) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) por todo acolhimento, apoio e contribuições tão importantes nessa trajetória, especialmente ao Pedro V. Ribeiro, à Danielle Lamenha e à Lidiane Leitão.

À minha família, em especial aos meus pais Ademir e Hanah Melo, pelo exemplo de vida, pela minha formação, pela paciência e por todo o incentivo e compreensão da minha ausência desde o início dessa trajetória.

Ao Prof. Dr. Ricardo Carvalho Cabús pela orientação, ensinamentos e contribuições tão importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores e servidores do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFAL pelo conhecimento passado e disponibilidade, bem como à UFAL e ao GRILU pela estrutura e oportunidade.

Aos meus companheiros de turma, principalmente a Luana Brandão, Wellington Souza, Jessica Pereira e Ana Maria Nunes pela troca, apoio, companheirismo e prazerosos momentos de descontração.

Aos membros da banca, pela disponibilidade e tempo dedicado para o aperfeiçoamento e conclusão desta pesquisa.

Ao CNPq pelo suporte financeiro necessário para o desenvolvimento deste trabalho e a todos que de alguma forma contribuíram ou torceram a favor da concretização deste mestrado.

RESUMO

O uso adequado da luz natural no ambiente escolar possui um importante papel no processo de aprendizagem e no desenvolvimento dos alunos. Nesse contexto, verifica-se que a utilização de um mesmo projeto arquitetônico escolar em todo o Brasil pode comprometer o desempenho luminoso do espaço, pois a disponibilidade de luz varia de acordo com particularidades locais. Dessa forma, a presente dissertação tem como objetivo avaliar a influência da latitude no aproveitamento da luz natural em sala de aula de projeto padrão. Nos procedimentos metodológicos, foram realizadas simulações computacionais, utilizando o software Tropolux 8, em uma de sala de aula da tipologia B do programa Proinfância em 4 diferentes capitais brasileiras (Macapá, Maceió, Vitória e Porto Alegre), em 8 diferentes orientações (N, NE, L, SE, S, SO, O e NO) e em cinco diferentes cenários, um livre de obstrução externa e 4 com edificações obstruidoras, com base no Ângulo Vertical de Obstrução (AVO): 0°, 26°, 44°, 56° e 63°. Para isso, foram selecionados indicadores de desempenho objetivando avaliar a suficiência da luz e o potencial desconforto e comparar as variáveis utilizadas: $ALNe_{300/50\%}$, $ESA_{1000/250h}$, EMA e UMA. Os resultados mostraram que quanto maior a latitude, menor a disponibilidade de luz natural no interior do ambiente, o que foi agravado com a presença das edificações obstruidoras mais altas, visto que houve redução de EMA (até 57%) e de $ALNe_{300/50\%}$ (até 52,4%), comprometendo o desempenho luminoso nas cidades de Vitória e Porto Alegre com edificações obstruidoras a partir de 15,5 m (AVO de 26°) nas orientações N e S. Com relação ao potencial desconforto, as orientações O e NO obtiveram os maiores resultados e, conseqüentemente, maior influência com a presença de edificações obstruidoras mais altas, passando de insatisfatório, no cenário livre de obstruções (de 13,4% a 20%), para aceitável, com edificações obstruidoras de 62 m – AVO de 63° (de 0% a 1,7%), sendo que, em latitudes mais altas (Vitória e Porto Alegre), são necessárias edificações obstruidoras mais baixas para uma significativa redução, quando comparada à latitudes mais baixas (Macapá e Maceió). Como consequência, constatou-se, ainda, que maiores alturas de edificações obstruidoras geraram maiores ganhos da UMA (de 0,8% a 37,2%). Portanto, verifica-se a relevância das particularidades locais no desempenho luminoso no ambiente, devendo ser levadas em consideração ao inserir uma edificação em uma determinada latitude, de modo a melhorar o aproveitamento da luz natural e a qualidade do espaço. Destaca-se, ainda, a necessidade da utilização de eficientes opções de adaptabilidade em projetos padronizados.

Palavras-Chave: Projeto padrão escolar. Iluminação natural. Latitude. Simulação computacional.

ABSTRACT

The proper use of daylight in the school environment plays an important role in the learning process and in the development of students. In this context, it is verified that the use of the same school architectural project throughout Brazil can compromise the luminous performance of the space, because the availability of light varies according to local particularities. Thus, this dissertation aims to evaluate the influence of the latitude in the use of natural light in the classroom of the standard design. In methodological procedures, computational simulations were performed, using the Troplux 8 software, in a classroom of the B typology of the Proinfância program in 4 different Brazilian capitals (Macapá, Maceió, Vitória and Porto Alegre), in 8 different orientations (N, NE, E, SE, S, SW, W and NW) and in five different scenarios, one free of external obstruction and 4 with obstructive buildings, based on the Angle of External Obstruction (AEO): 0°, 26°, 44°, 56° e 63°. For this purpose, performance indicators were selected in order to evaluate light sufficiency and potential discomfort and to compare the variables used: sDA_{300/50%}, ASE_{1000/250h}, ANAVE and ANAVU. The results showed that the greater the latitude, the lower the availability of natural light within the environment, which was aggravated by the presence of higher obstructing buildings, since there was a reduction in ANAVE (up to 57%) and sDA_{300/50%} (up to 52.4%), compromising the luminous performance in the cities of Vitória and Porto Alegre with obstructive buildings with 15.5 m (AEO 26°) in N and S orientations. Regarding the potential discomfort, the W and NW orientations obtained the highest results and, consequently, the greatest influence with the presence of higher obstructive buildings, going from unsatisfactory, in the scenario free of obstructions (from 13.4% to 20%), to acceptable, with obstructive buildings with 62 m - AEO of 63° (from 0% to 1.7%), and, in higher latitudes (Vitória and Porto Alegre), lower obstructive buildings are necessary for a significant reduction when compared to lower latitudes (Macapá and Maceió). As a consequence, it was also found that higher heights of obstructing buildings generated greater gains in ANAVU (from 0.8% to 37.2%). Therefore, the relevance of local particularities in the luminous performance in the environment is verified, and should be taken into consideration when inserting a building in a certain latitude, in order to improve the use of natural light and the quality of space. It is also important to highlight the need for the use of efficient adaptability options in standardized projects.

Keywords: School design standards, Daylighting. Latitude. Computer simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fachadas das tipologias do Proinfância.....	22
Figura 2 - Desenho esquemático do azimute e altura solar	28
Figura 3 - Desenho esquemático da atmosfera terrestre e do percurso do raio solar	29
Figura 4 - Desenho esquemático da Lei do Cosseno.....	29
Figura 5 - Tipos de céu: claro, parcialmente nublado e encoberto.....	30
Figura 6 - Exemplo de trajetória solar aparente	32
Figura 7 - Ângulos formados pela edificação obstruidora	34
Figura 8 - Parcela de céu visível.....	34
Figura 9 - Relação entre um ponto e uma edificação obstruidora.....	35
Figura 10 - Fachada da tipologia B do programa Proinfância.....	43
Figura 11 - Planta baixa geral da tipologia B do programa Proinfância	44
Figura 12 - Planta baixa — sala em estudo	44
Figura 13 - Corte AA' — sala em estudo	45
Figura 14 – Cidades selecionadas — (a) Macapá, (b) Maceió, (c) Vitória e (d) Porto Alegre	46
Figura 15 – Sentido da orientação	47
Figura 16 - Localização das edificações obstruidoras	48
Figura 17 - Cortes esquemáticos com indicação dos ângulos verticais formados pelas edificações obstruidoras.....	49
Figura 18 - Planta baixa explicativa da construção do modelo 3D	50
Figura 19 - Modelagem 3D do objeto de estudo, gerada pelo TropLux - sem edificação obstruidora	51
Figura 20 - Planta baixa com distribuição dos pontos da malha nos planos 01 e 02	52
Figura 21 - Propriedades de refletância e transmitância do vidro em relação ao ângulo de incidência da luz	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico Rosa de Luz de EMA do cenário proposto 1	57
Gráfico 2 - Gráfico Rosa de Luz de UMA do cenário proposto 1.....	58
Gráfico 3 - Gráfico Rosa de Luz de ALNe _{300/50%} do cenário proposto 1	59
Gráfico 4 - Gráfico Rosa de Luz de ESA _{1000/250h} do cenário proposto 1	60
Gráfico 5 - Gráfico Rosa de Luz de Δ EMA do cenário proposto 2 em relação ao cenário proposto 1	62
Gráfico 6 - Gráfico Rosa de Luz de Δ UMA do cenário proposto 2 em relação ao cenário proposto 1	63
Gráfico 7 - Gráfico Rosa de Luz de ALNe _{300/50%} do cenário proposto 2	64
Gráfico 8 - Gráfico Rosa de Luz de ESA _{1000/250h} do cenário proposto 2	65
Gráfico 9 - Gráfico Rosa de Luz de Δ EMA do cenário proposto 3 em relação ao cenário proposto 1	66
Gráfico 10 - Gráfico Rosa de Luz de Δ UMA do cenário proposto 3 em relação ao cenário proposto 1	67
Gráfico 11 - Gráfico Rosa de Luz de ALNe _{300/50%} do cenário proposto 3	68
Gráfico 12 - Gráfico Rosa de Luz de ESA _{1000/250h} do cenário proposto 3	69
Gráfico 13 - Gráfico Rosa de Luz de Δ EMA do cenário proposto 4 em relação ao cenário proposto 1	70
Gráfico 14 - Gráfico Rosa de Luz de Δ UMA do cenário proposto 4 em relação ao cenário proposto 1	71
Gráfico 15 - Gráfico Rosa de Luz de ALNe _{300/50%} do cenário proposto 4	72
Gráfico 16 - Gráfico Rosa de Luz de ESA _{1000/250h} do cenário proposto 4	73
Gráfico 17 - Gráfico Rosa de Luz de Δ EMA do cenário proposto 5 em relação ao cenário proposto 1	74
Gráfico 18 - Gráfico Rosa de Luz de Δ UMA do cenário proposto 5 em relação ao cenário proposto 1	75
Gráfico 19 - Gráfico Rosa de Luz de ALNe _{300/50%} do cenário proposto 5	76
Gráfico 20 - Gráfico Rosa de Luz de ESA _{1000/250h} do cenário proposto 5	77
Gráfico 21 - Comparativo de Iluminância Média Anual entre os modelos.....	102
Gráfico 22 - Comparativo de Uniformidade Média Anual entre os modelos	103
Gráfico 23 - Comparativo de Autonomia de Luz Natural Espacial entre os modelos	104
Gráfico 24 - Comparativo de Exposição Solar Anual entre os modelos	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - características das tipologias do Proinfância.....	21
Tabela 2 - Exemplo de Iluminância de acordo com a atividade desempenhada	26
Tabela 3 - Refletâncias difusas do modelo em estudo	45
Tabela 4 - Dados das cidades selecionadas	46
Tabela 5 - Relação H/W e as respectivas alturas das edificações obstruidoras.....	49
Tabela 6 - Síntese das edificações obstruidoras trabalhadas	50
Tabela 7 - Frequência de ocorrência, durante o dia, dos tipos de céu das cidades em estudo .	53
Tabela 8 - Síntese dos parâmetros utilizados na simulação computacional	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEO	<i>Angle of External Obstruction</i>
ALNe	Autonomia de Luz Natural Espacial
ANAVE	<i>Annual Average Illuminance</i>
ANAVU	<i>Annual Average Uniformity</i>
ASE	<i>Annual Sunlight Exposure</i>
AVO	Ângulo Vertical de Obstrução
CIE	<i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>
EMA	Iluminancia Média Anual
ESA	Exposição Solar Anual
GRILU	Grupo de Pesquisa em Iluminação
IES	<i>Illuminating Engineering Society</i>
TMY	<i>Typical Meteorological Year</i>
H/W	Relação entre altura dos edificios pela largura da via
MEC	Ministério da Educação
NBR	Norma Brasileira
PDE	Plano de Desenvolvimento da Educação
Proinfância	Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UMA	Uniformidade Média Anual
sDA	<i>Spatial Daylight Autonomy</i>
SIMEC	Sistema Integrado de Monitoramento Execução e Controle

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Objetivos.....	15
1.2	Estrutura da dissertação.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	Ambiente de ensino público infantil.....	17
2.1.1	Projeto padrão escolar.....	19
2.1.1.1	Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil – Proinfância.....	21
2.1.2	Iluminação natural no ambiente escolar infantil.....	24
2.2	Disponibilidade da luz natural.....	26
2.2.1	Fatores geográficos.....	28
2.2.2	Fatores projetuais: orientação das aberturas.....	31
2.2.3	Fatores urbanos: obstrução.....	33
2.2.4	Trabalhos relacionados.....	37
2.3	Avaliação do desempenho Luminoso.....	38
2.3.1	A ferramenta de simulação computacional: TropLux.....	39
2.3.2	Indicadores de desempenho luminoso.....	40
2.3.2.1	Iluminância Média Anual (EMA).....	40
2.3.2.2	Uniformidade Média Anual (UMA).....	40
2.3.2.3	Autonomia de Luz Natural Espacial (ALNe).....	41
2.3.2.4	Exposição Solar Anual (ESA).....	41
2.4	Conclusões da seção.....	42
3	FERRAMENTAS E MÉTODOS.....	43
3.1	Caracterização do objeto de estudo.....	43
3.2	Definição das latitudes e orientações.....	45
3.3	Definição dos Ângulos Verticais de Obstrução (AVO).....	47

3.4	Desenvolvimento dos modelos	50
3.5	Parâmetros de simulação computacional	51
3.6	Apresentação e análise dos resultados	54
3.7	Conclusões da seção	55
4	RESULTADOS E ANÁLISES.....	57
4.1	Cenário proposto 1 — Sem obstrução edificação obstruidora.....	57
4.2	Cenário proposto 2 — Ângulo Vertical de Obstrução de 26°.....	61
4.3	Cenário proposto 3 — Ângulo Vertical de Obstrução 44°.....	65
4.4	Cenário proposto 4 — Ângulo Vertical de Obstrução 56°.....	70
4.5	Cenário proposto 5 — Ângulo Vertical de Obstrução 63°.....	74
4.6	Discussão dos resultados	77
4.6.1	Investigação da interferência de diferentes orientações das aberturas na disponibilidade da luz natural no ambiente interno em diferentes latitudes	78
4.6.2	Avaliação da interferência do Ângulo Vertical de Obstrução no aproveitamento da luz natural no ambiente interno em diferentes latitudes.	79
5	CONCLUSÕES.....	80
5.1	Limitações da pesquisa e sugestões de trabalhos futuros.....	82
	REFERÊNCIAS	84
	APÊNDICE A – Gráfico solar dos cenários propostos	94
	APÊNDICE B – Gráfico comparativo entre modelos simulados.....	102

1 INTRODUÇÃO

A educação é posta como a transmissão de valores e acúmulo de conhecimento que resulta de um longo processo histórico influenciado pelo desenvolvimento social, cultural, econômico e político. Dessa forma, é possível afirmar que a escola possui um importante papel dentro da sociedade, pois proporciona formação social e profissional à população (KOWALTOWSKI, 2011).

Atualmente, percebe-se uma grande disseminação de projetos padronizados na esfera da educação pública brasileira. Essa tipologia projetual, surgida por influência da industrialização, consiste na utilização de um único projeto — geralmente com poucas opções de adaptabilidade — a ser implantado em diversas localidades (BARROS, 2002).

O projeto padrão apresenta diversas vantagens, como: redução de custo e de tempo, garantia de funcionalidade e demonstração de atuação política (NATALINO, AVILA, 2016). Entretanto, considerando a variedade climática e cultural do Brasil, a utilização de um único projeto, sem levar em consideração as especificidades locais, em todo o território nacional torna-se questionável.

A disseminação de projetos padronizados no Brasil tem ocasionado edificações com problemas de conforto ambiental. Isso pode gerar prejuízo no desenvolvimento pedagógico dos alunos, pois o ambiente arquitetônico de uma escola pode interferir no processo de aprendizagem, na saúde e na produtividade de seus usuários (KOWALTOWSKI, 2011), principalmente durante o início do processo educativo, quando a criança é mais suscetível à influência do ambiente (ELALI, 2002)

Dentre os projetos padrões existentes no Brasil, destaca-se o do Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil – Proinfância. De acordo com o Sistema Integrado de Monitoramento Execução e Controle – SIMEC (2019) já foi liberada verba para mais de 8 mil unidades em todo o território nacional, até o ano de 2019.

Destinado a atender crianças de 0 a 5 anos e 11 meses, o Proinfância consiste em um programa do Governo Federal que possui a finalidade de melhorar qualidade da educação no Brasil através da construção de creches e pré-escolas em todo o território nacional, além de aquisição de mobiliários em forma de equipamentos para a rede física escolar (FNDE, 2019).

Ao todo, são 5 tipologias projetuais com poucas opções de adaptabilidade — divididas de acordo com a capacidade de alunos e características do terreno — utilizadas em todo o território brasileiro: “tipo A”, “tipo B”, “tipo C”, “tipo 1” e “tipo 2”. O “tipo A” é o único que não possui padronização, devendo ser desenvolvido pelo município e aprovado pelo Ministério da Educação (FNDE, 2013, 2019).

Atualmente, o Proinfância vem sendo alvo de diversas pesquisas e questionamentos sobre a qualidade ambiental. Entretanto, verifica-se que a maioria dos estudos abordam questões referentes ao conforto térmico e eficiência energética, o que demonstra a necessidade de estudos em outras áreas importantes para a qualidade do espaço, como a iluminação natural — assunto em debate neste trabalho.

A iluminação em sala de aula necessita de condições luminotécnicas favoráveis ao desempenho das tarefas, como ler e escrever (MARQUES, 2012). Além disso, estudos indicam que alunos demonstraram um maior desenvolvimento estudantil em ambientes iluminados naturalmente, quando comparados a ambientes iluminados artificialmente (IES, 2011).

Entretanto, a disponibilidade da luz natural é mutável e varia, dentre outros motivos, de acordo com: a latitude; o clima e o tipo de céu; a orientação; o entorno; a hora e a época do ano (BAKER; STEEMERS, 2002; BOYCE, 2003; PROCEL, 2011).

A forma de captação da luz natural pode ser administrada através da construção civil, sendo a orientação das aberturas, a localidade e o entorno os principais fatores a serem considerados no aproveitamento da luz natural (MAIOLI; TAUFNER; ALVAREZ, 2015; PROCEL, 2011).

Com base no que foi exposto, o uso de um único projeto em todo o território brasileiro pode ocasionar em edificações com desempenho luminoso inadequado e, conseqüentemente, impactos negativos no desenvolvimento dos estudantes, além de um maior consumo energético. Portanto, questiona-se a viabilidade e adequação do uso de um único projeto em todo o território brasileiro, sob o ponto de vista do desempenho da luz natural.

Desse modo, esta pesquisa pretende avaliar a influência da latitude no aproveitamento da luz natural em uma sala de aula de projeto padrão, bem como a interferência da orientação e do Ângulo Vertical de Obstrução (AVO) em diferentes localidades. O conhecimento deste fenômeno contribui para um melhor aproveitamento da luz natural e para um uso mais eficiente de projetos padronizados.

1.1 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a influência da latitude no aproveitamento da luz natural em sala de aula de projeto padrão.

Os objetivos específicos são:

- Investigar a interferência de diferentes orientações das aberturas na disponibilidade da luz natural no ambiente interno em diferentes latitudes;
- Avaliar a interferência do Ângulo Vertical de Obstrução (AVO) no aproveitamento da luz natural no ambiente interno em diferentes latitudes.

1.2 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é dividida em cinco seções. A primeira consiste na introdução, onde é apresentada a problemática, a contextualização e a justificativa da pesquisa, bem como os objetivos e a estrutura da dissertação.

A segunda seção é composta pela revisão de literatura das temáticas pertinentes para essa pesquisa, como: o ambiente de ensino infantil, sua padronização e a iluminação natural no espaço; a disponibilidade de luz natural no interior do ambiente, bem como a influência da latitude, da orientação e da obstrução externa. São apresentados também elementos de avaliação do desempenho luminoso na arquitetura, como: ferramenta de simulação computacional e indicadores de desempenho luminoso.

A terceira compreende: as ferramentas e os métodos utilizados, incluindo as características do modelo em estudo, que corresponde a um projeto padrão de sala de aula infantil; os parâmetros adotados para as simulações; a forma de análise e o tratamento dos resultados.

A quarta seção consiste na apresentação e discussão dos resultados obtidos através da simulação computacional. Ela é dividida por modelo de cenário proposto e por objetivo estabelecido, onde são debatidos os resultados de acordo com cada indicador de desempenho luminoso utilizado.

Por fim, a quinta seção discorre sobre as considerações finais da pesquisa. É apresentada uma síntese dos principais resultados obtidos, conclusões, limitações do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta o referencial teórico sobre os principais assuntos pertinentes ao tema deste trabalho, com o intuito de facilitar o entendimento do problema estudado, bem como de fundamentar o desenvolvimento da investigação proposta.

Dessa forma, apresenta-se uma breve retrospectiva histórica do surgimento e desenvolvimento do ambiente de ensino infantil no Brasil, sua padronização, a relevância do uso da luz natural no espaço e os principais aspectos a serem levados em consideração no projeto. Além disso, são apresentadas questões pertinentes sobre a disponibilidade da luz natural no interior do ambiente e suas variáveis.

Por fim, apresentam-se as ferramentas da avaliação do desempenho luminoso na arquitetura — ferramenta de simulação computacional e indicadores de desempenho luminoso — pertinentes para a compreensão dos procedimentos metodológicos utilizados e para a análise dos resultados.

2.1 Ambiente de ensino público infantil

A educação é vista como a transmissão de valores e acúmulo de conhecimento de uma sociedade. A forma como o estabelecimento de ensino é conhecido na atualidade resulta de um longo processo histórico que sofreu influência da sociedade e de seu desenvolvimento cultural, econômico e político ao longo dos anos (KOWALTOWSKI, 2011).

As instituições de educação infantil surgiram apenas com o objetivo assistencial de desempenhar o papel da família nas variadas formas de ausência. Desse modo, as mudanças nas relações sociais, na organização familiar, na urbanização, no mercado de trabalho e na concepção da infância estão intimamente associadas com a origem e a evolução das instituições de educação infantil no Brasil e no mundo (ALMEIDA, 2018).

O crescimento do número de mulheres no mercado de trabalho e as constantes reivindicações em busca de locais de atendimento às crianças geraram uma pressão para que a creche se tornasse um direito do trabalhador e dever do estado. Como resultado, houve um importante processo de expansão no âmbito da educação infantil brasileira (BARROS, 2002; OLIVEIRA, 2011).

Em 1988, através da Constituição Federal, foi garantido o direito das crianças frequentarem creches e pré-escolas. O documento responsabiliza o estado pela promoção de atendimento educacional de crianças de zero a cinco anos (BRASIL, 1988). Como resultado, a infância passou a receber uma maior valorização perante a lei e a sociedade, garantindo, dessa forma, uma maior quantidade de direitos. O Ministério da Educação passou a reconhecer a educação infantil ligada à área educacional, e não mais à assistencial, adotando o cuidar e o educar como fundamentos essenciais na esfera da educação infantil (KLOSINSKI 2016). Surge, então, a necessidade de um espaço adequado e qualificado para o desenvolvimento infantil, o que leva o governo brasileiro a adotar medidas que garantam recursos para essa finalidade (FUNDAP, 1991 apud BARROS, 2002).

Através da Emenda Constitucional nº 59, a creche passou a ser legitimada como extensão do direito universal da criança de zero a três anos e a educação básica passou a ser obrigatória a partir dos 4 anos de idade (BRASIL, 2009).

Além disso, o Plano Nacional de Educação, instituído pela Lei nº 13.005/2014, expõe a educação infantil como uma meta prioritária, com o intuito de melhorar a rede física das escolas públicas infantis e atingir a totalidade das crianças de 4 a 5 anos matriculadas e, pelo menos, metade das crianças de 0 a 3 anos de idades (BRASIL, 2019).

Além da obrigatoriedade e dos direitos existentes por lei, a escola possui um significativo papel dentro da sociedade, pois proporciona formação social e profissional dos futuros cidadãos. De acordo com Kowaltowski (2011) e Sanoff (1995), a formação do aluno depende tanto do professor e do material didático quanto do espaço arquitetônico da sala de aula. Azevedo (2004) complementa:

A qualidade da arquitetura escolar depende do nível de adequação e de desempenho de seus ambientes, em seus aspectos técnicos, funcionais, estéticos e, conseqüentemente [sic], do modo como esses aspectos afetam o bem-estar dos seus usuários. As relações edifícios-usuários estão diretamente vinculadas ao grau de interação e à capacidade de resposta dos edifícios e instalações escolares às atividades neles realizadas. (AZEVEDO, et al.,2004, p. 5)

Dessa forma, Elali (2002) ressalta que o ambiente escolar possui extrema relevância para o desenvolvimento humano, principalmente no início do processo educativo, quando o indivíduo é notadamente suscetível às influências do meio. Segundo o autor, os sete primeiros anos de uma pessoa comportam um acentuado processo de desenvolvimento físico, afetivo, cognitivo e social.

Para proporcionar um bom desempenho escolar, um edifício deve promover condições favoráveis que permitam e apoiem o desenvolvimento das atividades propostas (KOWALTOWSKI, 2011). Segundo Ribeiro (2004), o ato de ensinar e de aprender necessita de condições propícias para o seu desenvolvimento, sendo o espaço físico escolar um dos responsáveis por construir um ambiente de possibilidades ou de barreiras pedagógicas.

Entretanto, projetar um ambiente de ensino, de forma a dar suporte aos objetivos pedagógicos, é uma tarefa complexa que engloba uma ampla discussão multidisciplinar, como questões ambientais, econômicas, sociais e culturais (KOWALTOWSKI, 2011).

Ao enfatizar a importância e complexidade da qualidade do ambiente de ensino, Barros (2002) destaca que pesquisadores vêm desenvolvendo interesse em comprovar a relevância e a relação da educação infantil com o ambiente de ensino e suas variáveis em várias áreas de conhecimentos distintas.

2.1.1 Projeto padrão escolar

O uso do projeto-padrão é uma prática bem difundida na construção de obras públicas brasileiras, que busca atender diversos programas governamentais. Trata-se de um tipo de projeto desenvolvido com base em um único programa de necessidades a ser implantado em diversas localidades — normalmente com poucas opções de flexibilidade e de adaptabilidade projetuais (BARROS, 2002).

A ideia da padronização arquitetônica surgiu por influência da industrialização, com base na necessidade de eficiência e de controle para evitar desperdícios e garantir qualidade (BARROS, 2002). “O projeto padrão incorpora, desse modo, o conceito da repetição de um modelo, preferencialmente otimizado, e a racionalização dos recursos para a sua viabilização.” (BARROS, 2002, p. 62)

A principal diferença entre um projeto arquitetônico comum e um projeto padrão está na especificidade do desenvolvimento projetual. O tradicional consiste em um conjunto de processos baseados em escolhas e soluções conforme o contexto e necessidades específicas, o que deixa de fazer sentido quando a edificação é inserida em outro contexto e sem nenhum tipo de adequação ou ajuste (ALMEIDA, 2018). Itens como entorno urbano; infraestrutura urbana; salubridade; acessos e circulações; características do terreno; condições climáticas; legislação

local; entre outros, devem ser considerados na implantação de um projeto (BARROS, 2002; PEZZUTO; LABAKI, 2011).

Difícilmente um único projeto terá um bom desempenho ambiental em todo o território nacional (BARROS; KOWALTOWSKI, 2002). De acordo com Almeida (2018), a maior dificuldade da padronização está justamente em não considerar as situações específicas da região, o que pode gerar ambientes desconfortáveis e, conseqüentemente, no setor escolar, prejudicar o desenvolvimento pedagógico dos alunos.

Nesse sentido, Kowaltowski (2011) constata que:

A orientação solar e de ventos dominantes é peculiar a cada situação e demanda ajustes para a proteção solar das aberturas, sem prejuízo à captação de ventos desejáveis. O formato do lote, a topografia e as condições geológicas nunca são iguais. São necessários ajustes dos acessos à edificação, afastamento de fontes de ruído, sistema estrutural, drenagem e conexões das infraestruturas. A adaptabilidade do projeto a situações variáveis de topografia e formato de lote nem sempre é simples ou eficiente, pois os ajustes, muitas vezes, indicam modificações substanciais, que tiram a vantagem da redução do custo do projeto como protótipo. (KOWALTOWSKI, 2011, p. 109)

Dentre as vantagens do uso do projeto padrão, é possível citar a economia, a redução de tempo de construção e de processos burocráticos, a qualidade e a funcionalidade. Este último é posto como uma das prioridades dessa tipologia projetual (KOWALTOWSKI, 2011). Além disso, o uso da padronização permite a identificação de obras públicas, ligando-as a determinados momentos políticos ou administrações. O reconhecimento da tipologia construtiva é considerado uma assinatura ou símbolo da gestão (KOWALTOWSKI, 2011).

Ao contestar a priorização da racionalidade construtiva, da economia e da funcionalidade em detrimento dos alunos e da qualidade do espaço desta solução projetual no setor escolar, Kowaltowski (2011) destaca que o uso repetitivo de um mesmo projeto deveria possibilitar a implementação de constantes correções e melhorias após testar e avaliar uma obra concluída, o que não acontece na prática. Segundo a autora, os dados demonstram que a utilização desse tipo de projeto vem desencadeando proliferação de problemas ao utilizá-lo sem avaliações críticas das unidades já implantadas.

Peglow et al. (2016) concordam que o projeto padronizado traz facilidades e economia. No entanto, ressaltam que a grande diversidade climática brasileira requer soluções de adaptabilidade projetual às condições ambientais do local de implantação da unidade. Caso contrário, leva à condições ambientais desfavoráveis para o exercício das atividades na edificação.

Atualmente, o projeto padrão é utilizado pelo governo principalmente no setor hospitalar e escolar (KOWALTOWSKI, 2011). Dentre os existentes na área da educação infantil, destaca-se o Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil – Proinfância, que será debatido no tópico a seguir.

2.1.1.1 Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil – Proinfância

O Proinfância, instituído pela Resolução nº 6, de abril de 2007, trata-se de um programa do Governo Federal que possui o objetivo de melhorar a qualidade da educação infantil da rede pública no Brasil (FNDE, 2019). O programa faz parte das ações do Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE) do Ministério da Educação, cujo objetivo é a universalização da educação infantil através da construção de creches e pré-escolas no país (ALMEIDA, 2018). Sua implementação compreende, dentre outros, disponibilização de projetos arquitetônicos; financiamento de obras e aquisição de mobiliários e equipamentos adequados (FNDE, 2019). “O programa [sic] além de prestar assistência financeira aos municípios, com caráter suplementar, padroniza e qualifica as unidades escolares de educação infantil da rede pública.” (FNDE, 2013, p. 4)

Destinado a atender crianças de 0 a 5 anos e 11 meses, o projeto arquitetônico do programa foi desenvolvido, a pedido do Fundo Nacional e Desenvolvimento da Educação — FNDE, pelo Laboratório de Projetos do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (NATALINO; ÁVILA, 2016). No total, são 5 tipologias (Figura 1) — A, B, C, 1 e 2 — diferenciadas, principalmente, de acordo com a demanda atendida, com a área de construção e com as dimensões do terreno, como descrito na Tabela 1 — sendo a tipologia “A” a única que não possui um projeto arquitetônico padronizado, ficando a cargo do proponente elaborá-lo (FNDE, 2019).

Tabela 1 - características das tipologias do Proinfância

Tipologia	Dimensões mín. do terreno	Área de construção	Demanda atendida		Lançamento	Revisão
			Período integral	Dois turnos		
Tipo B	40 m x 70 m	991,05 m ²	120 alunos	240 alunos	2007	2013
Tipo C	35 m x 45 m	668,30 m ²	60 alunos	120 alunos	2007	2013
Tipo 1	40 m x 60 m	1317,99 m ²	188 alunos	376 alunos	2015	Sem revisão
Tipo 2	45 m x 35 m	775,85 m ²	94 alunos	188 alunos	2015	Sem revisão

Fonte: FNDE, 2019



Figura 1 - Fachadas das tipologias do Proinfância
Fonte: FNDE, 2019

Estão disponíveis, em todas as tipologias, planilhas orçamentárias, projetos arquitetônicos, elétricos, estruturais, hidráulicos e memoriais descritivos, que possuem a finalidade de relatar e definir integralmente o projeto executivo e suas particularidades, como: a descrição dos elementos constituintes do projeto arquitetônico, especificações dos materiais, citação de leis, normas, entre outros (FNDE, 2013).

De acordo com o Memorial Descritivo, os projetos arquitetônicos foram elaborados com o objetivo de proporcionar um ambiente favorável à educação dos alunos, levando em consideração os aspectos relacionados à grande diversidade em termos de condições ambientais, geográficas, climáticas e culturais do Brasil. Além disso, a disposição espacial é feita por setorização etária e funcional, atendendo às necessidades operacionais da escola infantil (FNDE, 2013).

O documento reconhece a importância do conforto ambiental no edifício e a dificuldade de adaptação climática com o uso de um projeto padronizado em um território com grande diversidade climática, como o Brasil. Enfatiza-se a necessidade de observância das características regionais do local de implantação da unidade do programa (FNDE, 2013).

Entretanto, de forma contraditória, o memorial disponibiliza apenas três opções de adaptabilidade projetuais, todas relativas ao conforto térmico: fechamentos dos pátios, utilização de forros e alternativas de acabamento para o piso (FNDE, 2013). Todas essas opções se enquadram apenas na inserção de unidades em regiões com temperaturas mais baixas.

Quanto à escolha da orientação da edificação, fica a cargo no município, apenas com algumas recomendações:

[...] buscar a orientação ótima da edificação, atendendo tanto aos requisitos de conforto ambiental e dinâmica de utilização da Creche quanto à minimização da carga térmica e consequente [sic] redução do consumo de energia elétrica. Havendo necessidade, em função da melhor orientação, o edifício deverá ser locado no terreno de forma espelhada em relação ao eixo central da edificação. Além disso, a área exposta à maior insolação deve ser compatível com a posição de solários, e com a entrada do sol nos ambientes internos favorecendo o desenvolvimento das crianças. A correta orientação deve levar em consideração o direcionamento dos ventos favoráveis, brisas refrescantes, levando-se em conta a temperatura média no verão e inverno característica de cada Município. (FNDE, 2013, p. 7)

Entretanto, as medidas do terreno e da edificação, assim como a localização da entrada do prédio, dificultam a possibilidade de rotação da edificação em busca de uma orientação adequada. Resultando, assim, em uma implantação forçada, pois a testada do terreno e suas medidas retangulares devem ser compatíveis com o acesso da edificação e suas dimensões. Com isso, na prática, ocorre uma inflexibilidade de adaptação à orientação adequada para um conforto ambiental, além de possuir impossibilidade de ajustes na planta baixa, pois, segundo o FNDE (2013), a funcionalidade deve ser priorizada, dificultando, ainda mais, possíveis adaptações ao terreno.

Todo o acompanhamento das obras do programa é disponibilizado no site do Sistema Integrado de Monitoramento Execução e Controle – SIMEC, onde são lançados regularmente os dados referentes ao andamento das construções, desde o processo de licitação até a finalização ou cancelamento da obra.

Atualmente, o Proinfância é considerado a principal ação do FNDE na área de infraestrutura educacional, no qual já foram investidos recursos para a construção de mais de 8 mil unidades em todo o Brasil, até o ano de 2019 (SIMEC, 2019). Flores e Albuquerque (2015) destacam que o programa tem sido de extrema relevância para a ampliação do acesso e da qualidade da educação infantil no país, visto que a educação infantil é essencial para um bom desempenho dos indivíduos no ensino fundamental e médio (ALMEIDA, 2018).

Devido a sua ampla adesão e relevância para a educação infantil brasileira, o Proinfância vem sendo objeto de estudo de diversas pesquisas, com a finalidade de melhorar o desempenho

ambiental do espaço. No estudo de Nascimento e Batista (2017) as autoras objetivaram avaliar o desempenho térmico da creche padrão do programa Proinfância para a cidade de Maceió–AL através de simulações com os instrumentos Mesa d'água e programa computacional *EnergyPlus*. As autoras concluíram que o projeto padrão da Creche do Programa Proinfância necessita de alterações para a melhoria do seu desempenho na cidade de Maceió–AL.

Spagnuolo et al. (2018) avaliaram o grau de adequação térmica do projeto padrão do Proinfância, tipo B, em três zonas bioclimáticas distintas. Os autores realizaram simulações computacionais com o software *Energyplus* em três cidades brasileiras. Os resultados foram analisados e comparados com a Temperatura de Conforto Adaptativo de cada localidade. Os autores concluíram que o uso de projetos padronizados sem opções de adaptabilidade é uma estratégia inadequada para atender ao conforto térmico.

Observa-se que a maioria dos estudos referentes à qualidade ambiental do Proinfância debate temáticas referentes ao conforto térmico e eficiência energética, o que demonstra a necessidade de estudos que abordem outras áreas relativas ao projeto padronizado, como o desempenho luminoso, assunto em discussão neste estudo.

2.1.2 Iluminação natural no ambiente escolar infantil

A qualidade superior da luz natural atenua o esforço físico nas tarefas visuais. Estudos de laboratório demonstram que a luz natural é uma fonte mais apropriada para os olhos, pois possui um espectro mais amplo e abrangente do que a luz artificial, o que favorece a identificação de contrastes, diferenciação das cores e percepção das formas tridimensionais (EDWARDS, TORCELLINI, 2002).

De acordo com estudos em salas de aula, divulgados pela *Illuminating Engineering Society* (IES) (2011), alunos demonstram um maior desempenho escolar em ambientes iluminados naturalmente, quando comparados com ambientes que não fazem uso desse recurso natural.

O desenvolvimento de tarefas como ler e escrever requer condições luminotécnicas específicas que proporcionem acuidade visual e diminuam o esforço físico ocular para se adaptar às condições ambientais da sala de aula (MARQUES, 2012). De acordo com a IES, (2011), a meta fundamental da iluminação em sala de aula é proporcionar um ambiente

visualmente adequado que contribua para os processos de aprendizagem, permitindo a execução das atividades visuais de forma rápida, precisa e confortável.

Outros importantes tópicos de um eficiente uso da iluminação natural, além da redução no consumo energético (HANSEN, 2007), tratam-se de: questões fisiológicas (como a sonolência, desatenção e diminuição da produtividade causada pela liberação da melatonina em ambiente com baixa luminosidade); psicológicas (como o interesse pelo local causado pela dinamicidade da luz natural, decorrente do movimento aparente do sol); ligação com o mundo exterior, proporcionando descanso visual, noção de tempo e clima, bem-estar, redução de estresse e regulação do ciclo circadiano (IES, 2011).

Apesar das inúmeras vantagens da iluminação natural, a sua utilização imprópria possui aspectos negativos relacionados ao conforto visual, como fadiga, ofuscamento e dores de cabeça (BOYCE, 2003; BAKER; STEEMERS, 2002). Em casos de incidência direta da radiação solar nos alunos, além do aumento da temperatura, pode gerar problemas mais sérios de saúde, como câncer de pele. Desse modo, recomenda-se um cuidado projetual com relação ao uso da iluminação natural em salas de aula desde o início do desenvolvimento do projeto arquitetônico (ALMEIDA; RUIZ; GRAÇA, 2012; AMORIM, 2002).

É nessa fase que são tomadas decisões relativas à orientação da edificação e à definição das aberturas, dos materiais e da volumetria. Todas essas definições influenciam no comportamento da luz natural no interior dos ambientes (PEREIRA, 2017). Além disso, esse recurso natural é determinante no planejamento interno e na disposição do mobiliário, pois a visão que o aluno possui das atividades, do quadro e do professor interfere na atenção, no comportamento e no desenvolvimento pedagógico do aluno (DORIGO; KRÜGER, 2007).

É importante destacar que iluminar bem um espaço não significa fazer uso de uma quantidade de luz elevada, mas, sim, de valores adequados ao desempenho da tarefa (SILVA, 2009). Pereira (1994) e Bertolotti (2007) colocam valores de iluminância suficientes, os quais dependem das atividades desempenhadas no local – como exemplificado na Tabela 2 –, ausência de ofuscamento e boa distribuição de iluminâncias como requisitos fundamentais que devem ser considerados nos momentos de decisões projetuais com relação a iluminação natural. Ademais, Pereira (1994) destaca, ainda, que é preciso fazer uso de contrastes adequados (equilíbrio de luminâncias) e bom padrão e direção de sombras.

Tabela 2 - Exemplo de Iluminância de acordo com a atividade desempenhada

TIPO DO AMBIENTE, TAREFA OU ATIVIDADE	ILUMINÂNCIA MANTIDA (lx)
Salas de aula, salas de aulas particulares (construções educacionais)	300
Sala de cirurgia (locais de assistência médica)	1000
Cozinha (restaurantes e hotéis)	500

Fonte: ABNT, 2013

A IES (2011) faz uma série de recomendações importantes para a qualidade da luz natural em ambientes escolares, demonstrando que a quantidade e a qualidade estão correlacionadas. A norma cita que, mesmo com iluminância apropriada, o ofuscamento, os contrastes e a luminância excessiva no campo visual podem prejudicar o desempenho luminoso do local.

O caderno de recomendações técnicas do Fundescola (2002) também faz algumas recomendações projetuais que interferem no aproveitamento da luz natural, como: orientar o edifício de forma a possibilitar o aproveitamento do recurso e evitar insolação direta; procurar orientar as aberturas nas orientações norte e sul, com uso de marquise ou beiral, e leste e oeste, com uso de quebra sol. De acordo com o manual, cada caso deve ser analisado especificamente.

2.2 Disponibilidade da luz natural

Na arquitetura, geralmente, as fontes de luz natural são divididas em três: a luz direta do sol, a luz difusa do céu e a luz indireta advinda das reflexões das superfícies iluminadas (ABNT, 2003c; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; MOORE, 1991).

O sol consiste em uma fonte concentrada e pontual (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1975). A sua incidência direta gera áreas de contornos marcados, criando altos contrastes e gerando problemas de ofuscamento, de conforto visual e de aquecimento. Esse tipo de fonte possui aproveitamento limitado para a iluminação no ambiente interno, principalmente em regiões onde a localidade e as características de céu tornam-na muito intensa e frequente (MAJOROS, 1998).

Já o céu, por ser uma fonte difusa, não direcional e com menor tendência a provocar desconforto visual e térmico, é uma fonte mais favorável para o uso em projetos arquitetônicos do que o sol (MAJOROS, 1998).

Mesmo que em menor magnitude, quando comparado ao céu e ao sol, o entorno pode ser utilizado como uma significativa fonte de luz natural, ao refletir a luz advinda das outras fontes (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1975; LAM, 1986), tanto para iluminar ambientes internos, através das aberturas, quanto regiões adjacentes ao exterior (LAM, 1986) — principalmente em locais com alta verticalização, onde a parcela visível da abóbada celeste é reduzida. Nessas localidades, a maior parte da luz natural admitida no interior do ambiente é advinda da reflexão das superfícies externas (LI et al., 2010).

Portanto, a luz disponível em um determinado ambiente interno é uma combinação da luz do sol, do céu e das reflexões do entorno (LAM, 1986). A NBR 15215-2 (ABNT, 2003b) define a disponibilidade de luz natural como a quantidade de luz, em função das características geográficas e climáticas, em um determinado local. Além disso, dados e técnicas são postos como relevantes para a estimativa das condições de luz natural na avaliação do desempenho final de um projeto. Segundo a norma:

Isto refere-se à maneira como varia a quantidade de luz durante o dia e épocas do ano, quanto dura essa iluminação ao longo do dia e os motivos pelos quais as localidades dispõe [sic] de mais ou menos luz face aos parâmetros que influem no cálculo da disponibilidade da luz natural, tais como: a) os dados relativos à posição do sol; b) as épocas da determinação, como o dia e o mês do ano; c) latitude e longitude geográficas; e d) e tipo do céu. (ABNT, 2003b, p. 1–2)

A intensidade e a distribuição da luz no ambiente interno dependem de um conjunto de variáveis (ABNT, 2003c). Oral, Yener e Bayazit (2004) classificam os parâmetros que determinam essas variáveis em dois grupos: um relacionado ao ambiente externo e o outro relacionado ao ambiente construído. O primeiro grupo diz respeito às variáveis que estão fora do controle do projetista: o sol e o céu. Já o segundo relaciona as variáveis que podem ser projetadas e construídas pelo homem e pode ser dividido em: escala urbana (dimensão da obstrução, orientação e refletividade das superfícies), escala do prédio (orientação, posicionamento e forma do edifício) e escala do ambiente interno (dimensões, formato, localização e características de reflexão das superfícies internas).

É importante destacar que a disponibilidade de luz em uma determinada região é sazonal e varia, entre outros motivos, de acordo com: a latitude; o clima e o tipo de céu; a orientação solar; o entorno; a hora e a época do ano — o que torna os benefícios da luz natural mutáveis, interferindo na disponibilidade de luz no decorrer dos dias (BAKER; STEEMERS, 2002; BOYCE, 2003; PROCEL, 2011). Entretanto, apesar das mudanças na disponibilidade da luz natural serem constantes, elas acontecem em um ritmo e amplitude que permitem uma boa adaptação visual (MAJOROS, 1998).

Não obstante a impossibilidade de controle humano sob o sol e o céu, é possível administrar os meios de captação da luz natural através da construção civil. Maioli, Taufner, Alvarez (2015) e Procel (2011) colocam, dentre outros elementos, a orientação das aberturas, a localidade e o entorno como fatores fundamentais a serem considerados no aproveitamento da luz natural. Esses elementos serão debatidos a seguir.

2.2.1 Fatores geográficos

A latitude, medida em graus, é definida como a distância, de 0° a 90° , da linha do equador, nos sentidos norte e sul (FROTA; SCHIFFER, 2003). Através dela, é possível determinar o ângulo de incidência dos raios solares e o período de permanência do sol acima do horizonte, ou seja, as horas de luz natural disponíveis em um determinado local, variando diariamente e mensalmente (FROTA, 2004).

Essa mudança na incidência dos raios solares na atmosfera acontece devido à inclinação da terra e ao seu movimento de rotação e translação — o que ocasiona as estações do ano e o movimento aparente do sol, gerando a sequência de dias e noites (MUNEER, 1997). Apesar da variação constante da posição do sol na abóbada celeste, é possível prever a sua localização exata para uma latitude específica, horário e dia do ano através do uso da carta solar.

De acordo com Bittencourt (2004), carta solar, diagrama solar ou gráfico solar consiste em uma projeção da abóbada celeste em um plano horizontal, em que cada posição do sol é determinada através dos ângulos de altura solar e azimute solar (Figura 2).

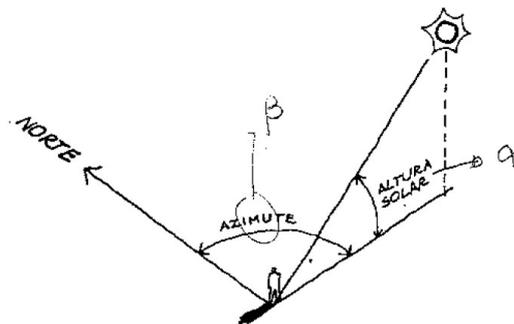


Figura 2 - Desenho esquemático do azimute e altura solar
Fonte: BITTENCOURT, 2004

A atmosfera terrestre funciona como um filtro solar, de forma que, antes de alcançar a superfície, os raios solares percorrem uma camada gasosa, de cerca de 8 km, que difunde, refrata, difrata e absorve parte da radiação advinda do sol. Quanto maior for a distância

percorrida, ou seja, quanto maior a espessura desse filtro, menor a intensidades dos raios que chegam em um determinado local (BITTENCOURT, 2004). Esse fenômeno é conhecido como dissipação atmosférica (Figura 3), o qual quanto menor o ângulo de altura solar, maior a trajetória da radiação e conseqüentemente, menor a disponibilidade de luz natural (KOENIGSBERGER et al., 1977).

Além disso, a disponibilidade de luz também é afetada pelo ângulo de incidência dos raios solares devido a Lei do Cosseno¹ (Figura 4) (KOENIGSBERGER et al., 1977), de forma que, quanto maior o ângulo de incidência do raio solar, maior é a redução da iluminância resultante no local (LEDER; PEREIRA; CLARO, 2008).

Dessa forma, é possível afirmar que a ação da Lei do Cosseno e da dissipação atmosférica atuam na determinação da iluminância direta do sol de acordo com a localidade, com a época do ano e com a hora do dia.

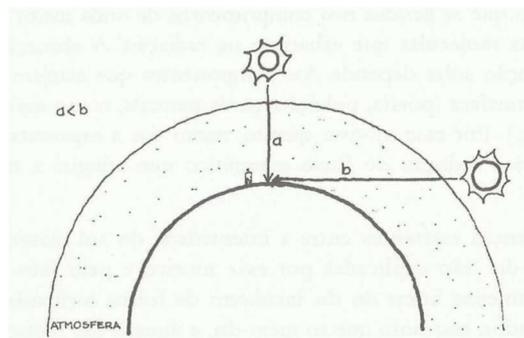


Figura 3 - Desenho esquemático da atmosfera terrestre e do percurso do raio solar
Fonte: BITTENCOURT, 2004

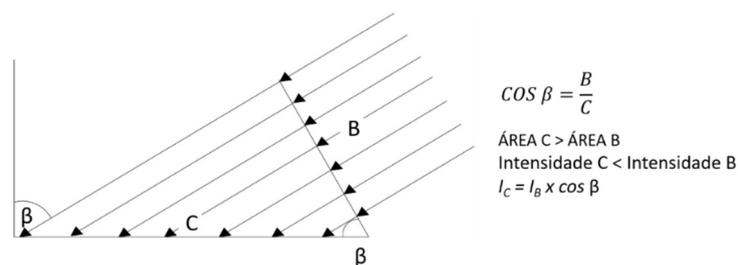


Figura 4 - Desenho esquemático da Lei do Cosseno
Fonte: KOENIGSBERGER et al., 1977 – Adaptado pela autora

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a área da terra que recebe maior intensidade da radiação solar encontra-se entre os trópicos de Câncer (latitude 23,5°N) e de Capricórnio (latitude 23,5°S), sendo atenuada à medida que se afasta da linha do equador, ou

¹ Estabelece que a intensidade luminosa em uma superfície é diretamente proporcional ao cosseno do ângulo de incidência formado entre a normal, à superfície e o raio incidente (KOENIGSBERGER et al, 1977).

seja, quanto maior a latitude, menor a quantidade de radiação solar recebida (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Além da distância percorrida e do ângulo de incidência, a luz que chega na terra é determinada quantitativamente pelas condições climáticas predominantes da localidade, pois elas modificam a razão entre a iluminância direta e difusa da parcela de luz transmitida. (BAKER; STEEMERS, 2002; HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1975; KOENIGSBERGER et al., 1977).

Desse modo, a disponibilidade da luz natural passa a estar relacionada com a caracterização de um céu que represente a máxima das condições predominantes locais (BAKER; STEEMERS, 2002; HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1975).

O brilho do céu não é uniforme e nem constante, pois a posição do sol, das nuvens e a composição atmosférica alteram o processo de difusão da luz e geram áreas com luminâncias distintas (BAKER; STEEMERS, 2002; KOENIGSBERGER et al., 1977; MAJOROS, 1998). Além disso, condições resultantes de ações antrópicas locais, como a poluição, possuem influência na disponibilidade luz natural (BAKER; STEEMERS, 2002).

Há três condições comuns de céu — claro, parcialmente nublado e encoberto (Figura 5) — que são determinadas pelas condições meteorológicas regionais do local, sendo o claro e o encoberto uma representação das condições extremas (BAKER; STEEMERS, 2002; MAJOROS, 1998). Essas condições possuem relação com a temperatura e umidade do local, sofrendo alterações frequentes ao longo do dia e do ano (BAKER; STEEMERS, 2002).

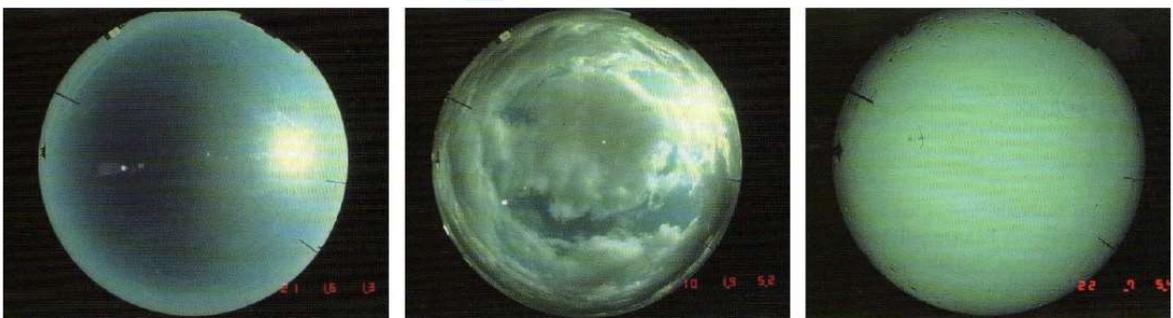


Figura 5 - Tipos de céu: claro, parcialmente nublado e encoberto
Fonte: BAKER; STEEMERS, 2002

O céu claro apresenta radiação solar direta predominante. Sua distribuição de luminâncias possui maior intensidade em torno do sol e próximo ao horizonte. Já o céu encoberto caracteriza-se pela distribuição de luminâncias mais uniforme, onde o zênite se

apresenta três vezes mais brilhante que o horizonte. Nesse tipo de céu há um turvamento da atmosfera que impossibilita a visibilidade e a identificação da posição solar. Trata-se de uma condição frequente em climas temperados (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; MAJOROS, 1998).

Mais comum em regiões no trópico-úmido, céu parcialmente nublado combina o céu azul com nuvens mais ou menos espaçadas. Com muita luminosidade, esse tipo de céu apresenta grandes variações na iluminância sobre o solo devido ao efeito das nuvens bloqueando e refletindo a luz solar (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; MAJOROS, 1998; TREGENZA, 1996). Além disso, Baker e Steemers (2002) comentam:

Como regra geral, as regiões costeiras têm céus muito mais nebulosos do que as regiões do interior, exceto aquelas em alta latitude. Locais de alta latitude também tendem a ter mais nuvens e, portanto, menos horas de luz solar relativa. (BAKER; STEEMERS, 2002, p. 33, tradução nossa)

Devido à complexidade e à variação da luz advinda do céu, tem-se definido a distribuição de luminância da abóbada celeste com base em céus padronizados, amplamente utilizados nos cálculos de previsão de iluminação natural no ambiente construído (LEDER; PEREIRA; CLARO, 2008). A Comissão Internacional de Iluminação (CIE, 2002) classifica essas tipologias de céus, aceitas internacionalmente, em 15: cinco tipos de céu encoberto, cinco de céu parcialmente nublado e cinco de céu claro.

As condições de céu no Brasil favorecem o aproveitamento da luz natural, apresentando valores capazes de suprir as necessidades de iluminação em grande parte do dia (PROCEL, 2011) — isso demonstra que um bom projeto é capaz de atingir os níveis mínimos de iluminância requeridos apenas com o uso da luz natural por grande parte do tempo.

2.2.2 Fatores projetuais: orientação das aberturas

Diversos autores como Capeluto (2003), Oral, Yener, Bayazit (2004) e Unver et al. (2003) colocam a orientação das aberturas como um importante parâmetro no aproveitamento da luz natural, pois, além de criar conexão entre o ambiente interno e externo, possibilita a captação de luz natural. Sobre esse aspecto, Baker e Steemers (2002) comentam que “a posição relativa do sol é de vital importância para a previsão da luz do dia e do ganho passivo de calor solar através das aberturas. A mesma informação também é necessária para projetar dispositivos de proteção solar...” (BAKER; STEEMERS, 2002, p. 32, tradução nossa)

Qualquer orientação oferece luz natural útil para a iluminação do ambiente interno. Entretanto, para um melhor resultado, é necessário haver um tratamento adequado de acordo com a orientação, localidade e função (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Além disso, Givoni (1998) destaca que a diferenciação nos padrões de incidência solar para diferentes orientações dependerá da latitude, sendo necessária a distinção entre as zonas de baixas e altas latitudes.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) afirmam que as orientações leste e oeste são as menos indicadas para a captação da luz natural, pois recebem incidência da luz natural com maior intensidade e baixas angulações de altura solar (Figura 6), o que dificulta o projeto de protetores e pode provocar contrastes e ofuscamento (Figura 6).

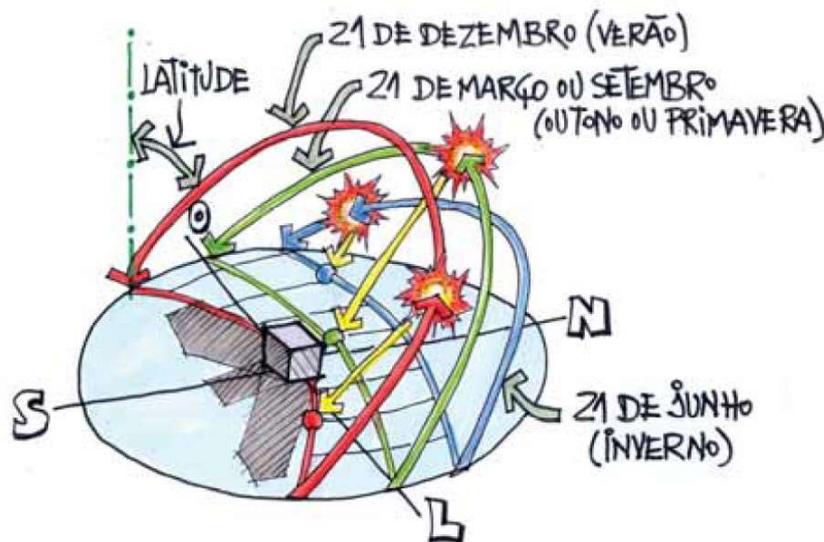


Figura 6 - Exemplo de trajetória solar aparente
Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014

No estudo realizado Jovanović et al. (2014) os autores analisaram, por meio de simulação computacional, medições e pesquisa qualitativa, a orientação da construção na determinação da qualidade da luz natural em dormitório estudantil na Sérvia. De acordo com os autores, os resultados demonstraram divergências com relação a preferência dos usuários e as recomendações projetuais presentes em normas, o que demonstrou, de acordo com os autores, uma necessidade de reconsideração projeto de habitação em relação às características climáticas.

2.2.3 Fatores urbanos: obstrução

Como comentado no item 2.2, o entorno consiste em uma importante fonte de luz natural. Estudos como os de Ng, Wong (2004), Pereira, Pereira, Claro (2008), Araújo e Cabús (2007) evidenciam a sua contribuição na iluminação natural em ambientes internos.

Laranja (2010) destaca que a avaliação da interferência do entorno na disponibilidade de luz natural no ambiente interno não é uma preocupação recente. Há anos a literatura tem corroborado que as características da geometria urbana possuem significativa influência na disponibilidade de luz natural no ambiente interno.

Em meio urbano, as edificações circunvizinhas obstruem parcialmente ou totalmente a abóboda celeste, resultando em uma diminuição significativa da disponibilidade de luz natural no ambiente interno e gerando um maior consumo energético, devido à necessidade de complemento com iluminação artificial (BAKER; STEEMERS, 2002; LI et al., 2010). Leder (2007) e Laranja (2010) corroboram essa afirmação destacando que edifícios inseridos em contextos urbanos, principalmente em locais mais adensados, apresentam uma expressiva redução na quantidade de luz em seus espaços internos. Portanto, o adensamento urbano e a verticalização são fatores que dificultam o aproveitamento da luz natural dentro das cidades (MORAES; SCARAZZATO, 2003).

Por outro lado, a obstrução pode refletir a luz advinda do sol e/ou de outras partes do céu no ambiente interno (MAJOROS, 1998). Além disso, em determinados momentos, pode ser favorável, evitando problemas de conforto visual, ao bloquear a incidência direta dos raios solares (LIMA, 2015) ou reduzir a quantidade de luz considerada excessiva (MAIOLI, 2014).

Hopkinson, Petherbridge, Longmore (1975), Baker e Steemers (2002) recomendam que, ao projetar um conjunto novo de edifícios, o planejamento ocorra de forma a permitir o aproveitamento adequado da luz natural por todos. No entanto, ao inserir uma edificação em um contexto já edificado, aconselha-se buscar soluções, projetuais e de implantação, que permitam a captação de luz natural, sem prejudicar os edifícios localizados no entorno.

De acordo com Li et al. (2006), a obstrução externa influencia no desempenho da luz natural sob dois aspectos: parcela de céu obstruída ou desobstruída e a refletância das superfícies externas, podendo ser caracterizada pela média dos valores de refletâncias presentes na superfície (refletância média) (ρ_0) e pelo ângulo sólido do ponto considerado (Figura 7): ângulos horizontais (γ_1 e γ_2) e verticais (ϵ) (MAJOROS, 1998).

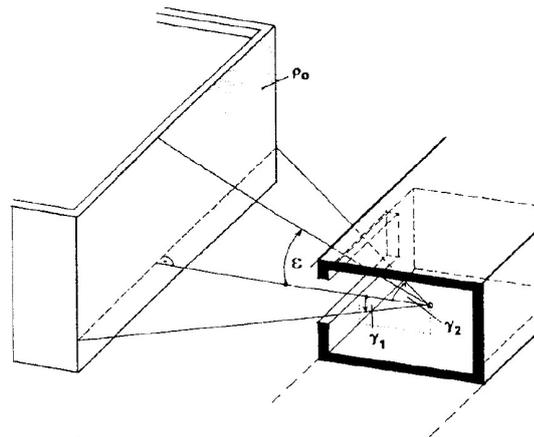


Figura 7 - Ângulos formados pela edificação obstruidora
Fonte: MAJOROS, 1998

Baker e Steemers (2002) colocam o Ângulo Vertical de Obstrução através da janela como um relevante parâmetro, que varia de acordo com a altura do pavimento, com a distância e com as dimensões da obstrução em relação ao ambiente em estudo.

Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) também colocam a relação entre o Ângulo Vertical de Obstrução (AVO) e a edificação obstruidora como ferramenta na avaliação da porção de céu e de obstrução que é vista a partir de um dado ponto da abertura. Observa-se que, quanto maior a altura das obstruções circunvizinhas, importante fator influenciador da disponibilidade de luz natural, maior o AVO e menor a parcela de céu visível (Figura 8). (CAPELUTO, 2003; LI et al., 2006).

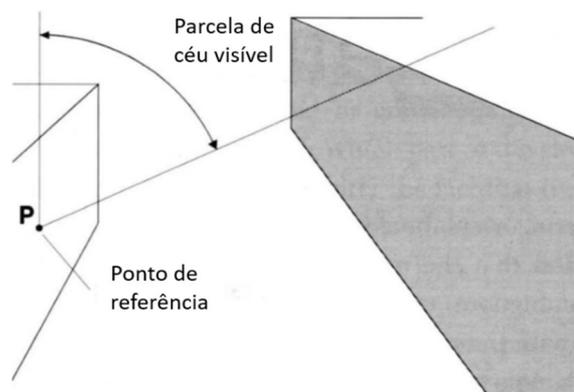


Figura 8 - Parcela de céu visível
Fonte: BAKER; STEEMERS, 2002 — adaptado pela autora

Em um estudo desenvolvido para a cidade de Belo Horizonte, foi elaborado um modelo matemático, com uso das características da abóbada celeste, dos recuos e das volumetrias ideais para as edificações locais. De acordo com o método, é estabelecido um ponto na edificação estudada, fazendo relação com a altura da edificação obstruidora e com a distância em função

da largura da via (Figura 9) (ASSIS; VALADARES; SOUZA, 1995). Esse parâmetro angular, que faz parte do referente modelo matemático, foi utilizado por Laranja (2010) e Maioli (2014) em suas pesquisas.

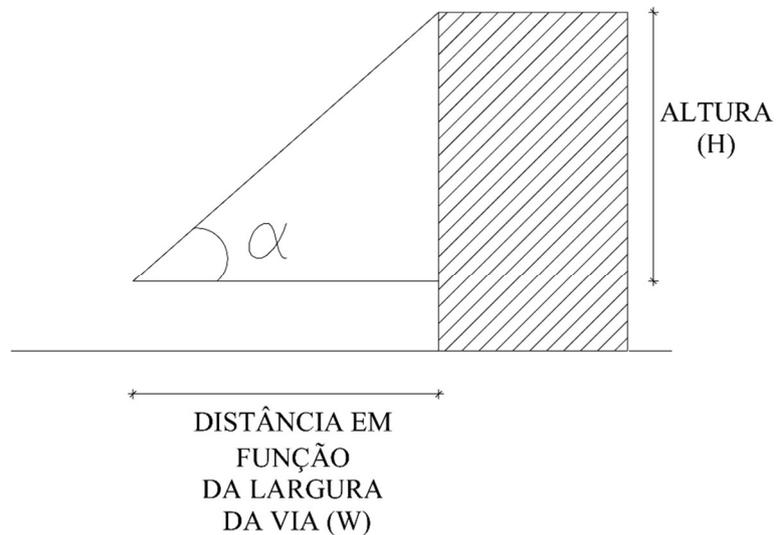


Figura 9 - Relação entre um ponto e uma edificação obstruidora
Fonte: ASSIS; VALADARES; SOUZA, 1995 — adaptado pela autora

Li et al. (2006) também fizeram uso de um parâmetro angular, ou seja, do Ângulo Vertical de Obstrução, na determinação das obstruções em uma pesquisa realizada para a cidade de Hong Kong. De acordo com os autores, tal parâmetro deve ser medido a partir do peitoril da janela até o limite da edificação obstruidora.

Portanto, verifica-se que o Ângulo de Obstrução Vertical possui relação direta com a altura de prédio (H) e a largura da via (W), de forma que a alteração de alguma dessas medidas resulta em uma diferente angulação. Pesquisas como as de Ng (2005), Araújo e Cabús (2007), Laranja et al. (2013) e Laranja, Ferreira e Alvarez (2016) demonstram uma ligação da relação H/W com a disponibilidade de luz natural na localidade e no ambiente interno. Suga (2005) evidenciou, através de seu estudo para a cidade de Curitiba, que relação H/W acima de 1 compromete a disponibilidade de luz natural e acima de 2 impossibilita o aproveitamento da luz natural no local. Brown e Dekay (2001) também colocaram o limite de 2,0 na relação H/W para regiões de latitude até 38°, sentido norte e sul.

Atualmente, há muitos trabalhos que buscam avaliar a interferência das variáveis externas na disponibilidade de luz natural no meio urbano e nos espaços internos. Scalco, Pereira e Rigatti (2010), listam os principais parâmetros de desempenho utilizados por pesquisadores que buscam analisar iluminação natural e insolação em ambientes urbanos. São

eles: Probabilidade de ocorrência de iluminâncias (ALUCCI, 1986; MORETTO, 1993), Fator de Luz Diurna Vertical – FLDV/Componente Celeste Vertical (NG, 2003, 2005; TREGENZA, 2001), Indicadores de Altura Admissível (HOPKINSON, PETHERBRIDGE, LONGMORE, 1975; ROBBINS, 1986), Linha de “Não” Visão do Céu (LITTLEFAIR, 1991), Área de Visão Desobstruída – AVD (NG, 2003), Janela de Céu Preferível – JCP (LEDER, 2007) e Fator de Visão do Céu – FVC (CHENG et al., 2006).

Alguns autores, como Robbins (1986), incluem a influência da latitude em seus estudos. O autor relaciona o ângulo vertical limite, do parâmetro Indicadores de Altura Admissível, com a localidade em estudo, evidenciando que latitudes mais elevadas necessitam de maior espaço entre as edificações, quando comparadas às latitudes mais baixas.

Laranja (2010) analisou, utilizando simulação computacional, a disponibilidade de luz natural no ambiente interno, na cidade de Vitória-ES (latitude 20° 19’S), relacionada com parâmetros urbanos propostos pelas normas locais: altura e afastamentos frontais e laterais e características das superfícies refletoras. Segundo a autora, a redução na disponibilidade de luz natural causada pelas edificações obstruidoras comprometeram o desempenho luminoso no interior do ambiente.

O mesmo não aconteceu no estudo realizado por Leal (2013), o qual buscou analisar, através de simulação computacional, a influência das variáveis do entorno e do edifício sobre as iluminâncias e o ofuscamento nos ambientes internos: o grau de obstrução do entorno, as propriedades das superfícies verticais externas, a altura do pavimento e a orientação. O estudo foi realizado em um bairro de João Pessoa-PB (latitude 7° 6’ S). A autora constatou que a implantação da taxa de ocupação máxima, assim como o uso de coeficiente de reflexão elevado, contribuiu para a diminuição de chances de ofuscamento sem prejudicar o desempenho luminoso do espaço, devido à diminuição da quantidade de luz. Além disso, a autora, ainda, constatou que os modelos estudados obtiveram melhores resultados de desempenho para as orientações nordeste e noroeste na localidade.

Lima (2015) buscou analisar, por meio de simulação computacional, a interferência do entorno construído na disponibilidade de luz natural no interior de edifícios multifamiliares no litoral norte de Maceió-AL (latitude 9° 33’ S), a partir de parâmetros urbanos como: largura da via, altura da edificação obstruidora, refletância das superfícies externas verticais, afastamento frontal e lateral e altura do ambiente na edificação. De forma semelhante ao estudo realizado por Leal (2013), a autora constatou, dentre os cenários analisados, que apesar da redução no nível de iluminação natural, a presença da obstrução externa não comprometeu o

aproveitamento da luz natural. A autora comenta, ainda, que a presença de obstruções mais altas mostrou-se favorável, pois proporcionou uma maior quantidade de horas de iluminância útil, dentro do parâmetro utilizado.

2.2.4 Trabalhos relacionados

Alguns trabalhos permeiam as diversas temáticas debatidas nos tópicos 2.2.1 a 2.2.3. Portanto, para uma maior compreensão do conteúdo, eles serão debatidos a seguir:

Na pesquisa realizada por Cintra (2011), buscou-se investigar a influência da profundidade dos ambientes e de diferentes proteções solares no desempenho da luz natural em diferentes cidades brasileiras. A autora concluiu que a orientação e a localidade analisada influenciaram nos resultados da profundidade limite do ambiente para atender o desempenho mínimo da luz natural, de forma que a diferença na profundidade do ambiente ocasionada por diferentes orientações em baixas latitudes foi menor quando comparada a latitudes maiores.

Munoz et al. (2013) realizou uma análise da luz natural baseada no clima para os efeitos da localização, da orientação e de possíveis obstruções externas. Para isso, os autores, fazendo uso de simulação computacional, selecionaram 13 capitais do continente europeu – em 4 orientações e em 5 diferentes AVOs a partir do peitoril da janela. Os pesquisadores quantificaram a diferença, com relação a luz natural, entre as latitudes e constataram que, dentre os elementos analisados, as condições do entorno influenciaram mais, reduzindo consideravelmente a disponibilidade de luz natural.

No estudo realizado por Laranja et al. (2013), foi constatada, através de simulação computacional de um cenário urbano da cidade de Vitória –ES, a necessidade de se levar em consideração a geometria urbana e a orientação das aberturas no estudo da disponibilidade de luz natural no ambiente interno. Os autores observaram a relação entre o entorno obstruído, a variação da orientação e três diferentes tipos de céus no aproveitamento da luz natural no interior do ambiente.

Maioli (2014) investigou a influência das prateleiras de luz no aproveitamento da luz natural em seis cidades brasileiras, em quatro orientações solares e sob a influência de três Ângulos Verticais de Obstrução. De acordo com o autor, o modelo de prateleira curva apresentou melhores resultados em baixas latitudes, enquanto o modelo plano obteve percentuais superiores em latitudes mais altas.

Ai (2016) também realizou um estudo em localidades distintas. O autor investigou a Autonomia de Luz Natural Espacial ($ALNe_{300/50\%}$) e a Exposição Solar Anual ($ESA_{1000, 250h}$) de uma sala de aula em 6 diferentes cidades dos EUA (agrupadas por 3 latitudes), em 8 orientações (a cada 45°), fazendo uso de diferentes proteções solares. De acordo com o apresentado, foram obtidos diferentes resultados em função dos ângulos solares determinados pela latitude, orientação da janela e dimensão da proteção solar. O autor aponta, também, que os resultados obtidos para ESA sofreram influência das condições climáticas das localidades, por causa das horas de sol ao longo de um ano.

Quirino, Vaz e Leder (2017) investigaram a aplicabilidade de recomendações projetuais das aberturas em 7 diferentes condições de latitudes no território brasileiro e em 4 orientações. Foi constatado que os níveis satisfatórios de iluminação foram obtidos com profundidade do ambiente 3,0 vezes a altura da abertura.

2.3 Avaliação do desempenho Luminoso

Com o passar dos anos, a avaliação do desempenho luminoso no ambiente construído passou por diversos processos evolutivos e desenvolvimento de métodos capazes de auxiliar os projetistas na avaliação do desempenho da luz natural no projeto. Esses métodos foram desde cálculos matemáticos manuais e simulações com modelos em escala reduzida até simulações computacionais complexas (SOUZA, 2004).

Em consequência do grande avanço tecnológico da atualidade, o uso de ferramentas de simulações computacionais, já consolidado em pesquisas na área, está em constante evolução, o que possibilita o desenvolvimento de softwares baseados em metodologias avançadas (CABÚS, 2005), e proporciona estudos cada vez mais complexos e fiéis à realidade (RIBEIRO, 2017). Cabús (2005) afirma que a simulação computacional é, atualmente, a ferramenta mais rápida e eficiente para pesquisas em iluminação natural.

Para Tregenza e Loe (1998), os programas computacionais são recomendados para a análise complexa e instável da luz natural. Segundo os autores, esses programas substituíram os antigos e demorados cálculos manuais e os pressupostos simplificadores.

O uso dessa ferramenta permite análise, qualitativas e quantitativas, de geometrias complexas e de diferentes possibilidades projetuais, sendo possível, também, integrar aspectos energéticos e térmicos (PEREIRA, 2017). Além disso, trata-se de uma ferramenta eficiente para

a análise de grande quantidade de variáveis interdependentes, fornecendo resultados e permitindo a compreensão do comportamento da luz natural em determinados espaços (REINHART, MARDALJEVIC, ROGERS, 2006).

Entretanto, mesmo havendo uma grande gama de programas disponíveis, não é uma prática comum em escritórios de arquitetura. Autores como Baker e Steemers (2002) atribuem esse fato, dentre outros, à complexidade das ferramentas e aos custos computacionais.

2.3.1 A ferramenta de simulação computacional: TropLux

Dentre os diversos programas de simulação computacional existentes na atualidade, é possível destacar o TropLux, desenvolvido por Cabús (2002). O objetivo inicial de seu desenvolvimento foi de suprir uma carência, existente na época, de programas capazes de simular satisfatoriamente a realidade da iluminação natural nos trópicos. Entretanto, sua capacidade não possui restrições climáticas, possuindo eficiência em diferentes tipos de clima (CABÚS, 2005).

Com suas revisões e melhorias realizadas pelo Grupo de Pesquisa em Iluminação (GRILU), no Laboratório de Simulação em Conforto Ambiental e Eficiência Energética (Labsica) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), ao longo dos anos, o TropLux vem sendo utilizado em diversas pesquisas científicas (teses, dissertações e artigos) e está atualmente na sua 8ª versão.

O programa, com o código desenvolvido em MatLab, é baseado em três conceitos: o método Monte Carlo² aplicado à iluminação natural, o método do raio traçado³ e o conceito de coeficientes de luz natural⁴ (CABÚS, 2005).

A utilização do software permite a criação de geometrias complexas, formadas através da combinação de planos definidos por meio das coordenadas de seus vértices. Suas simulações são feitas de acordo com a localização, com o tipo de céu, com a orientação geográfica e com os materiais, gerando, nos resultados, valores de iluminância e de fator de luz do dia que podem ser visualizados em tabelas, gráficos e isocurvas. Além disso, o software é capaz de entregar os

² Método Monte Carlo consiste em uma abordagem estatística para solucionar integrais múltiplas (CABÚS, 2005).

³ Método raio traçado é uma técnica que segue o caminho de um determinado raio entre superfícies (CABÚS, 2005).

⁴ Coeficiente de luz natural expressa a relação entre a iluminância em uma determinada superfície, a partir de uma determinada subdivisão do céu, e a iluminância normal em um plano livre de obstrução, a partir da mesma subdivisão (CABÚS, 2005).

dados obtidos com a simulação transformados em diferentes métricas de desempenho e de análise da luz, facilitando a utilização e obtenção dos resultados.

2.3.2 Indicadores de desempenho luminoso

De acordo com Kremer (2002), é primordial que um ambiente proporcione condições visuais confortáveis para o desempenho das tarefas. Essas condições podem ser estudadas através de diversos parâmetros que possuem o objetivo de avaliar a qualidade e a quantidade da iluminação em um determinado espaço.

Esses parâmetros são empregados nos indicadores de desempenho luminoso, de forma que seus resultados são utilizados no desenvolvimento de novos projetos ou para avaliar construções já existentes. Essas medidas possuem relações com aspectos de segurança, qualidade projetual e eficiência energética (REINHART, MARDALJEVIC, ROGERS, 2006).

O objetivo é combinar diversos fatores nas previsões de resultados de desempenho, auxiliando nas tomadas de decisões projetuais (MARDALJEVIC; HESCHONG; LEE, 2009). Alguns desses indicadores são descritos a seguir.

2.3.2.1 Iluminância Média Anual (EMA)

De acordo com Tregenza e Loe (1998), Iluminância, medida em lux, é a quantidade de luz incidente em uma superfície. Trata-se de um parâmetro frequentemente utilizado no estudo do desempenho luminoso e adotado pelas normas brasileiras NBR 15215: Iluminação Natural (ABNT, 2003a; 2003b; 2003c, 2004d), NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho (ABNT, 2013) e a NBR ISO/CIE 8995 — Iluminação de ambientes de trabalho — Parte 1: Interior (ABNT, 2013). A média de todos os valores de iluminância calculados ao longo de um ano corresponde à Iluminância Média Anual (EMA).

2.3.2.2 Uniformidade Média Anual (UMA)

A uniformidade aborda a distribuição das iluminâncias e sua variação em um determinado ambiente. Segundo Kremer (2002), se trata de um importante parâmetro relacionado à qualidade e ao conforto visual.

Esse indicador é definido pela norma NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) como sendo a razão entre o valor de iluminância mínimo (E_{\min}) e o valor de iluminância médio (E_{med}), onde quanto mais próximo de 1, maior a uniformidade (Equação 01). A média de todos os valores de uniformidade encontrados no período de um ano consiste na Uniformidade Média Anual (UMA).

$$U = \frac{E_{\min}}{E_{\text{med}}} \times 100\% \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

- U – Uniformidade;
- E_{\min} – Valor mínimo de iluminância;
- E_{med} – Valor médio de iluminância.

2.3.2.3 Autonomia de Luz Natural Espacial (ALNe)

A Autonomia de Luz Natural Espacial ($ALN_{e300/50\%}$) representa a suficiência de iluminação natural no ambiente, podendo ser definida como a porcentagem da área analisada que atinge a iluminância de 300 lx, com o uso exclusivo da luz natural, durante 50% das horas de utilização do local, sendo o valor de iluminância limite estabelecido de acordo com a atividade desempenhada no ambiente em estudo (IES, 2012).

De acordo com a LM-83-12 (IES, 2012), um espaço obtém condição “preferível” de iluminação natural quando apresenta um valor igual ou superior a 75% da área analisada e “aceitável” quando possui valor igual ou superior a 55% (IES, 2012).

2.3.2.4 Exposição Solar Anual (ESA)

A Exposição Solar Anual ($ESA_{1000/250h}$) estima o potencial desconforto causado pela incidência direta dos raios solares. Ela corresponde à área analisada que excede o limite de 1000 lx por mais de 250 horas do ano (IES, 2012). Para esse indicador, o documento estabelece três classificações de desempenho:

- $ESA_{1000/250h} > 10\%$ – insatisfatório
- $ESA_{1000/250h} < 7\%$ – neutro
- $ESA_{1000/250h} < 3\%$ – aceitável

Tanto a Autonomia de Luz Natural Espacial quanto a Exposição Solar Anual são métricas dinâmicas da luz natural definidas e adotadas pela *Illuminating Engineering Society* (IES), na LM-83-12. De acordo com o documento, com o uso desses dois métodos em conjunto é possível obter uma compreensão expressiva do comportamento da luz em um determinado ambiente (IES, 2012).

Segundo a LM-83-12 (IES, 2012), as simulações de ambas as métricas devem ser baseadas em dados do *Typical Meteorological Year* (TMY), obtidos de acordo com registros meteorológicos reais da estação disponível mais próxima do local em análise, de hora em hora, das 8 h às 18 h. De acordo com o documento, os dados do TMY referentes a cada hora consideram as médias horárias com informações centradas em meia hora, ou seja, as simulações devem ser realizadas no período de 8h30m às 17h30m, totalizando 10 horas diárias. O método determina, ainda, uma malha horizontal considerada ideal para o estudo, onde os pontos devem ser centralizados de 0,60 m a 0,80 m do piso, com afastamento da parede de 0,30 m a 0,60 m.

2.4 Conclusões da seção

De acordo com o conteúdo apresentado nesta seção, é possível concluir que o ambiente de ensino infantil necessita de condições luminosas apropriadas para o desenvolvimento das atividades propostas no local, visto que a luz natural possui impacto positivo na saúde e no desempenho estudantil, além de contribuir para a estética e eficiência energética.

Entretanto, a utilização de projetos padronizados pode comprometer o desempenho luminoso do local e, conseqüentemente, a qualidade ambiental, pois a disponibilidade de luz natural no interior do espaço depende das características locais onde a obra será inserida.

Nesse sentido, a implementação de uma unidade em um determinado local necessita de adaptabilidade e de conhecimento acerca das características climáticas locais e do entorno da edificação.

3 FERRAMENTAS E MÉTODOS

Esta seção apresenta as ferramentas e métodos utilizados para atingir os objetivos propostos nessa pesquisa, como: a escolha e a caracterização do objeto de estudo; a definição das latitudes e orientações; a definição dos Ângulos Verticais de Obstrução; os parâmetros para a simulação computacional; e a apresentação e análise dos resultados.

3.1 Caracterização do objeto de estudo

O objeto de estudo consiste em um projeto padrão do Proinfância, descrito no tópico 2.1.1.1 do referencial teórico. Foi selecionada a tipologia B (Figura 10), por se tratar da mais recorrente no Brasil, de acordo com o portal Sistema Integrado de Monitoramento Execução e Controle – SIMEC (2019). Todos os dados referentes ao programa e ao projeto arquitetônico foram obtidos através do site do FNDE, que possui uma página exclusiva para o Proinfância.



Figura 10 - Fachada da tipologia B do programa Proinfância
Fonte: FNDE, 2019

Revisado em 2013, o projeto da creche e pré-escola tipo B foi desenvolvido para atender 112 crianças em período integral, ou até 224 crianças em dois turnos. Sua área total de construção é de 1211,05 m² e o terreno considerado ideal para a sua implantação é retangular, com 40,00 m de largura e 70,00 m de profundidade, e com declividade máxima de 3% (FNDE, 2013).

A edificação (Figura 11) é térrea e possui 5 blocos distintos, interligados por circulação coberta, que são divididos de acordo com a funcionalidade, são eles: bloco administrativo, bloco de serviços, bloco multiuso e 2 blocos pedagógicos — compostos por 8 salas de aula classificadas de acordo com a faixa etária: creche I — 0 a 18 meses; creche II — 18 meses a 3 anos; creche III — 3 a 4 anos e pré-escola para crianças de 4 a 5 anos e 11 meses. A área externa é composta por playground, castelo d'água e área de estacionamento (FNDE, 2013).



Figura 11 - Planta baixa geral da tipologia B do programa Proinfância
 Fonte: FNDE, 2013 — adaptado pela autora

A sala em estudo (Figura 12 e Figura 13) foi selecionada por se tratar da única classificação com uso exclusivo para sala de aula, pré-escolar (de 4 a 5 anos e 11 meses). Além disso, consiste no ambiente que, dentro da classificação escolhida, possui menos influência de outros elementos arquitetônicos da edificação — o pátio coberto, por exemplo. Seu tamanho é de 8,25 m x 4,65 m, com um pé direito de 3 m. A iluminação natural do ambiente é feita através de duas janelas, posicionadas em faces opostas. A Janela A (JA) possui 1,80 m x 0,6 m, um peitoril de 1,5 m e visão para o pátio descoberto. Já a janela B (JB) possui 2,40 m x 1,60 m, um peitoril de 0,50 m e visão para o solário e exterior da edificação. Ambas são protegidas com um beiral de 1,20 m e possuem vidro incolor 6 mm (FNDE, 2013).

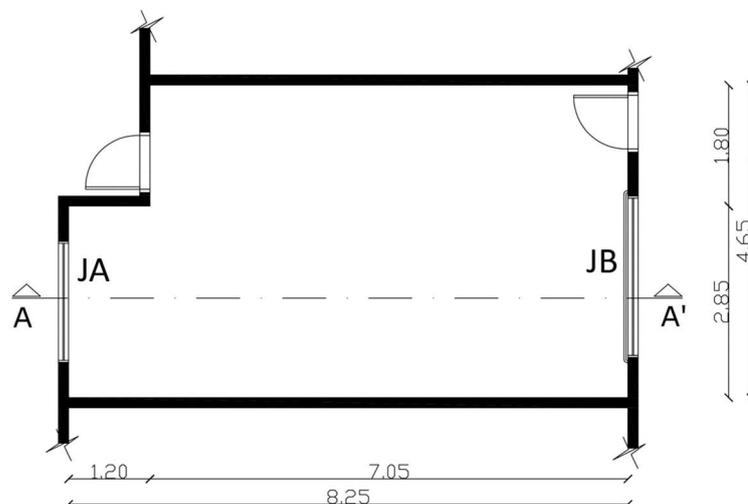


Figura 12 - Planta baixa — sala em estudo
 Fonte: FNDE, 2013 — adaptado pela autora.

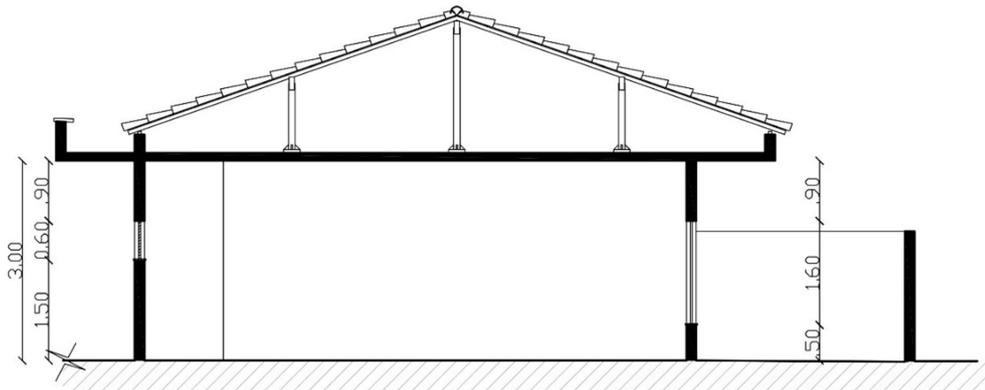


Figura 13 - Corte AA' — sala em estudo
Fonte: FNDE, 2013 — adaptado pela autora.

Os acabamentos internos das paredes são: revestimento cerâmico branco, até 1,20m de altura; um rodameio de madeira (ipê ou cedro) com altura de 0,10m; e o restante da parede é pintado com tinta acrílica acetinada na cor marfim. O teto é pintado com tinta PVA branco neve e o piso é em granitina, na cor cinza claro (FNDE, 2013). As refletâncias dos materiais estão descritas na Tabela 3 e foram definidas com base nos estudos de Dornelles e Roriz (2007) e Tregenza e Loe (1998).

Tabela 3 - Refletâncias difusas do modelo em estudo

SUPERFÍCIE		REFLETÂNCIA
Piso		0,30
Parede	Rev. Cerâmico branco	0,70
	Madeira	0,20
	Tinta cor marfim	0,669
Teto		0,85

Fonte: DORNELLES; RORIZ, 2007; TREGENZA; LOE, 1998.

De acordo o memorial descritivo, o projeto arquitetônico foi desenvolvido com base no número de usuários e nas necessidades diárias de uma creche, baseando-se no desenvolvimento físico, psicológico, intelectual e social das crianças. Para tal, foram levadas em consideração as grandes diversidades — geográficas, climáticas, ambientais, socioeconômicas e culturais — do Brasil (FNDE, 2013).

3.2 Definição das latitudes e orientações

Para avaliar a influência da latitude no aproveitamento da luz natural, devido à variação da disponibilidade da luz natural e da trajetória aparente do sol de acordo com a localidade geografia, foram selecionadas 4 capitais brasileiras distintas: Macapá-AP (0° 13' N), Maceió-AL (9° 33' S), Vitória-ES (20° 18' S) e Porto Alegre-RS (30° 04' S). O critério utilizado foi a

escolha da capital com a latitude mais próxima da linha do equador e de mais outras 3, afastando-se da primeira, aproximadamente, de 10° em 10° para o sul. A Figura 14 apresenta as localidades selecionadas e as respectivas cartas solares, onde é possível verificar a diferença do percurso solar aparente na abóboda celeste de cada localidade. Os dados referentes a cada cidade estão expostos na Tabela 4.

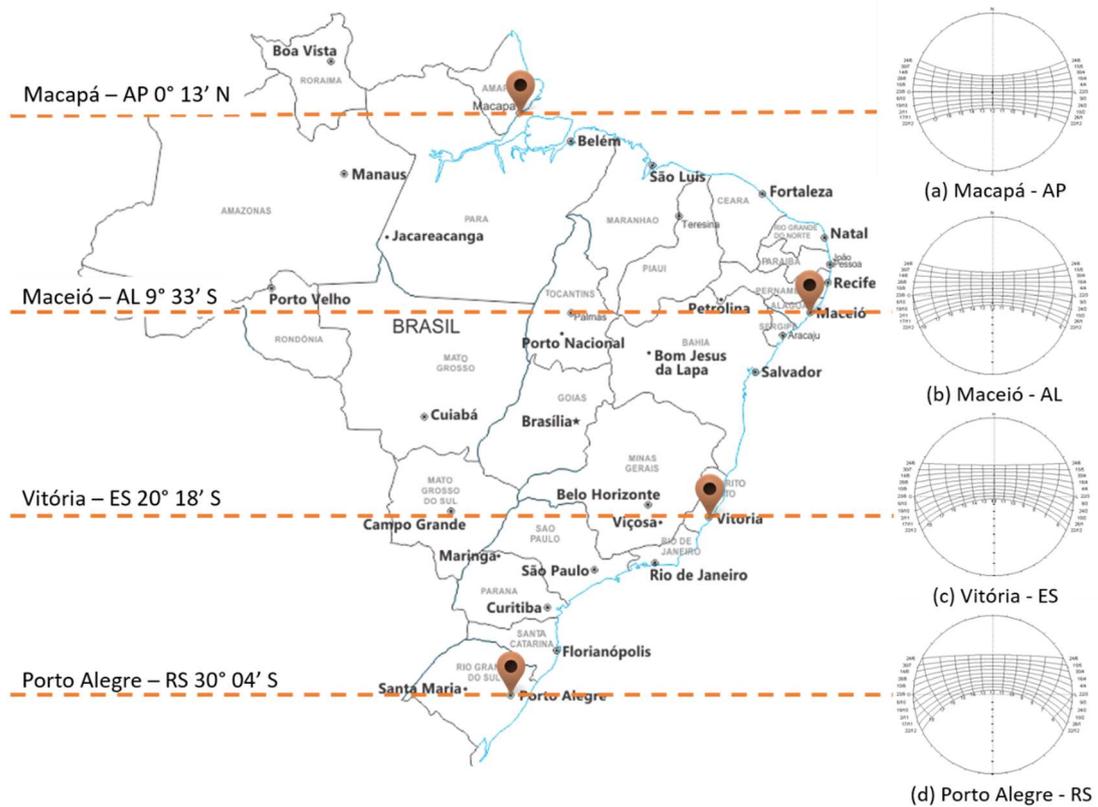


Figura 14 – Cidades selecionadas — (a) Macapá, (b) Maceió, (c) Vitória e (d) Porto Alegre
 Fonte: LABEE, 2019; TropSolar 5 — Adaptado pela autora

Tabela 4 - Dados das cidades selecionadas

Cidade	Macapá	Maceió	Vitória	Porto Alegre
Latitude	0° 13' N	9° 33' S	20° 18' S	30° 04' S
Longitude	51.04° O	35.42° O	40.2° O	51.06° O
Clima	Equatorial	Tropical Atlântico	Tropical Atlântico	Subtropical
Temperatura Média (°C) - ano	27,1	25,1	24,8	19,6
Umidade relativa (%) - ano	82,2	77,8	77	76,5
Nebulosidade (décimos) - ano	0,7	0,7	0,5	0,4
Insolação (horas) - ano	2416,0	2499,2	2225,8	2101,4

Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; INMET, 2019

Além da latitude, a fachada apresenta condições diferentes de luz natural de acordo com a orientação da abertura. Para essa avaliação, foram selecionadas 8 orientações, a cada 45°: Norte – N, Nordeste – NE, Leste – L, Sudeste – SE, Sul – S, Sudoeste – SO, Oeste – O e Noroeste – NO. O objetivo foi analisar diversas opções de implantação do projeto e como isso interfere no aproveitamento da luz natural em diferentes localidades.

Destaca-se que, devido à existência de duas aberturas localizadas em paredes opostas do ambiente em estudo, foi considerada a orientação da maior janela (JB) como orientação principal (Figura 15). Entretanto, ambas influenciam no aproveitamento da luz natural, sendo levadas em consideração, concomitantemente, na análise dos resultados.



Figura 15 – Sentido da orientação
Fonte: FNDE, 2013 — adaptado pela autora

3.3 Definição dos Ângulos Verticais de Obstrução (AVO)

O Ângulo Vertical de Obstrução (AVO) depende das dimensões e da posição da edificação obstruidora em sítio. Quanto maior e mais próxima da sala em estudo, maior será o AVO, ou seja, menor será a parcela de céu visível, alterando, assim, a disponibilidade de luz natural no interior do ambiente.

No Brasil, existe uma ampla legislação relacionada aos afastamentos, entre as edificações e o limite do terreno, e à altura máxima do prédio — variando de bairro para bairro, de zona para zona e de cidade para cidade. Cada município institui seus valores de afastamentos e altura das edificações através do Plano Diretor Urbano e/ou do Código de Edificações, sendo permitido pela Constituição Federal (1988) municípios com menos de 20.000 habitantes não possuírem legislação específica.

Como citado, no item 2.1.1, a principal premissa do projeto padrão consiste na possibilidade de implantação em qualquer município brasileiro, desde grandes centros urbanos até pequenos municípios, onde é possível não haver uma legislação específica.

Diante disso, por esse trabalho não abordar uma região específica, o parâmetro de definição das variáveis da edificação obstruidora foi a formação de diferentes ângulos verticais de obstrução.

A edificação vizinha e a largura da via foram baseadas no modelo proposto por Maioli (2014), que avaliou a influência das prateleiras de luz em seis cidades brasileiras. Portanto, foram adotadas três edificações obstruidoras, de 30,00 m x 15,00 m, afastadas entre si por 10 m; a largura da via foi de 19 m; passeios e afastamento de 3,00 m (Figura 16). Como consequência, a distância entre o objeto de estudo e a edificação obstruidora foi de 31,00 m.



Figura 16 - Localização das edificações obstruidoras
Fonte: FNDE, 2013 — adaptado pela autora

Com o objetivo de contemplar diferentes possibilidades de contexto urbano, onde o objeto de estudo desta pesquisa pode ser inserido, foram selecionados diferentes Ângulos Verticais de Obstrução a partir de diferentes alturas das edificações obstruidoras, adotando relações H/W a cada 0,5 até o limite colocado por Suga (2005) e Brown e DeKay (2001), 2,0 — como demonstrado na Tabela 5 (Figura 17). Além disso, foi considerado, para este estudo, um cenário sem a edificação obstruidora, mantendo apenas a obstrução do próprio ambiente em estudo. Esse cenário foi considerado como referência (base) para o estudo comparativo.

Tabela 5 - Relação H/W e as respectivas alturas das edificações obstruidoras

Relação H/W	Altura da edificação obstruidora (m)
0,5	15,5
1	31
1,5	46,5
2	62

Fonte: Autora, 2019.

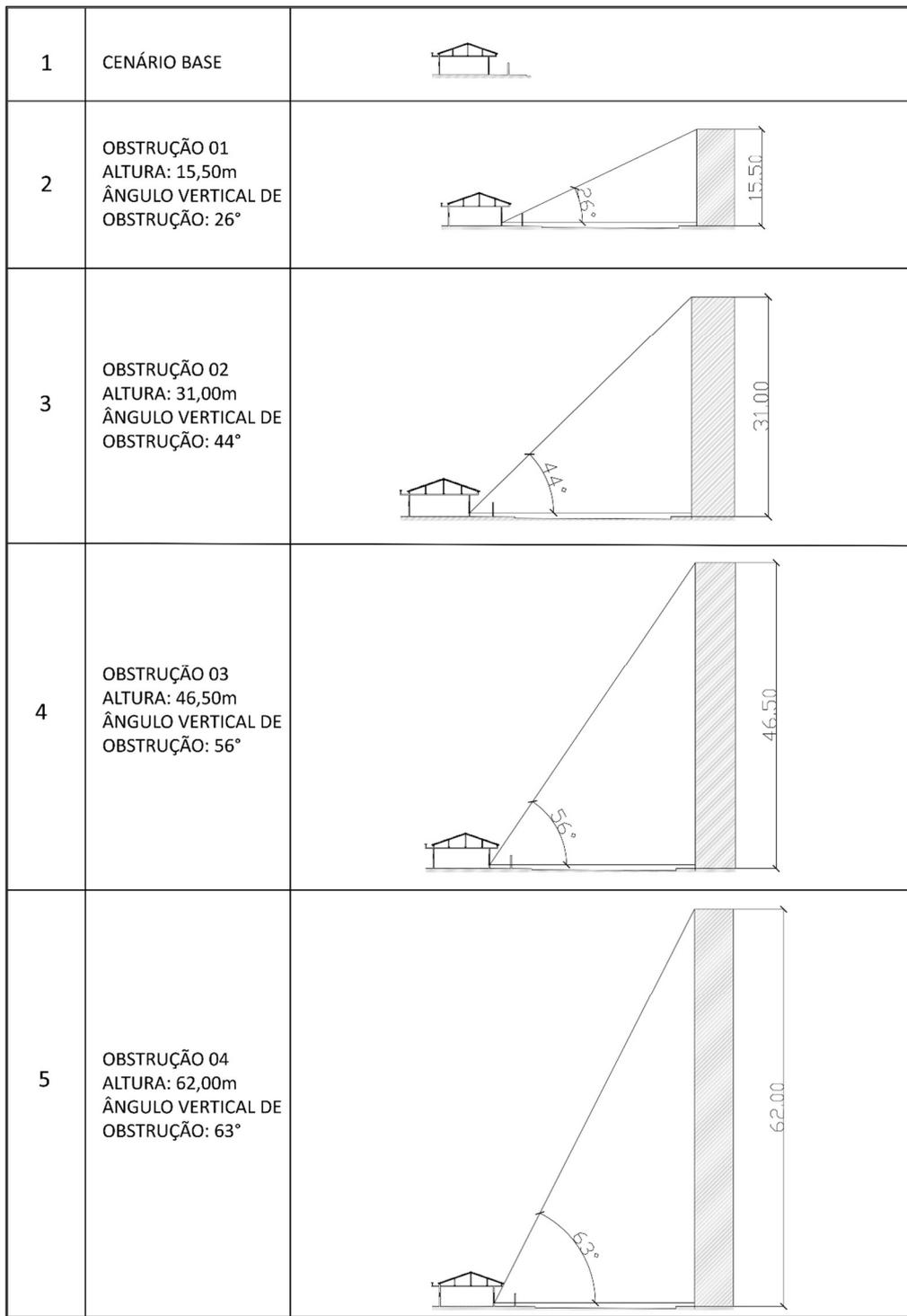


Figura 17 - Cortes esquemáticos com indicação dos ângulos verticais formados pelas edificações obstruidoras

Fonte: Autora, 2019

As refletâncias das edificações vizinhas foram definidas com base nos estudos de Laranja (2010), onde a autora apresenta 0,40 como um valor médio utilizado habitualmente nas edificações. Já para a via e a calçada, foi considerado o valor único de 0,20.

Por se tratar de uma avaliação com relação ao Ângulo Vertical de Obstrução formado por edificações obstruidoras, as outras variáveis permaneceram constantes, conforme explanado na Tabela 6.

Tabela 6 - Síntese das edificações obstruidoras trabalhadas

Dados	Cenário proposto 1	Cenário proposto 2	Cenário proposto 3	Cenário proposto 4	Cenário proposto 5
Relação H/W	-	0,5	1	1,5	2
Altura da edificação obstruidora	-	15,50 m	31 m	46,5 m	62 m
Ângulo Vertical de Obstrução (AVO)	0°	26°	44°	56°	63°
Largura da via	-	19 m			
Refletância da via	-	0,20			
Refletância da edificação obstruidora	-	0,40			

Fonte: Autora, 2019

3.4 Desenvolvimento dos modelos

A criação do modelo em estudo foi feita diretamente no TropLux 8, onde foi gerada uma geometria inicialmente retangular de 4,65 m x 8,25 m com uma abertura principal (JB) — de maior dimensão e voltada para o exterior da edificação. Em seguida foi adicionada a segunda janela (JA) e o recorte da sala, através da criação por planos individuais, formando as paredes (Figura 18).

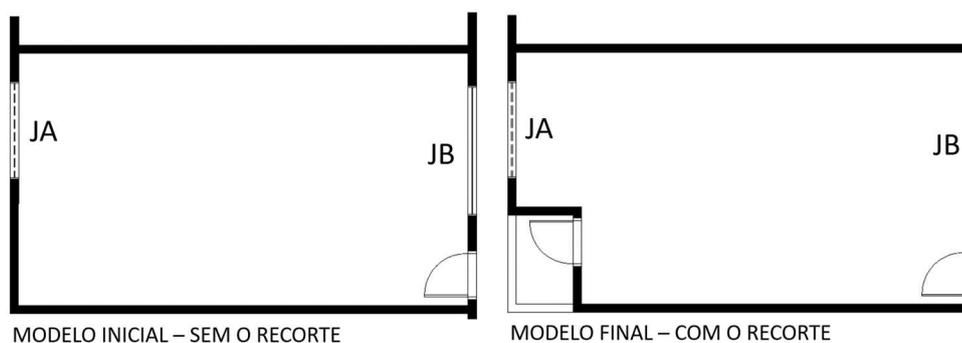


Figura 18 - Planta baixa explicativa da construção do modelo 3D

Fonte: Autora, 2019

Após a criação da sala em estudo, foram modeladas apenas as paredes externas do restante da edificação, incluindo os beirais e o muro, como mostra a Figura 19. A modelagem foi composta por planos e elementos prismáticos inseridos com base nas medidas projetuais através das coordenadas X, Y e Z do software.

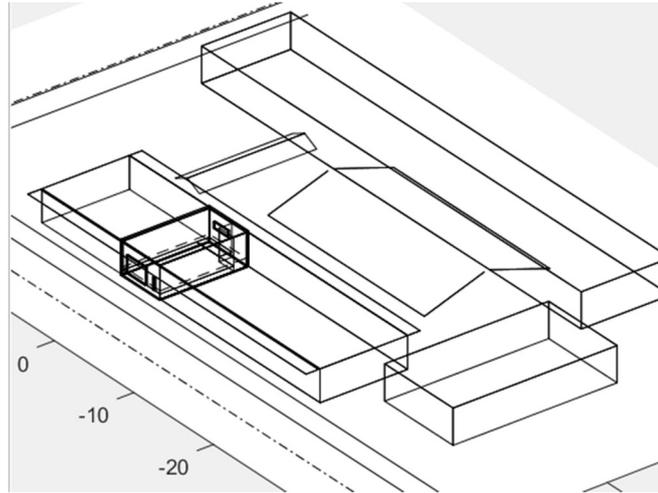


Figura 19 - Modelagem 3D do objeto de estudo, gerada pelo TropLux - sem edificação obstruidora
Fonte: Autora, 2019

Em seguida, foram determinadas as refletâncias dos materiais conforme mencionado anteriormente. É importante frisar que nas refletâncias do restante da edificação escolar (áreas externas) foi mantido o padrão estabelecido pelo TropLux, de 0,5.

Para cada opção de obstrução externa foi gerado um novo modelo no programa, a fim de processá-los separadamente. Antes de iniciar cada processamento, foi necessário definir a cidade em estudo e os parâmetros de simulação, conforme descritos no item a seguir.

3.5 Parâmetros de simulação computacional

Esta etapa consistiu nas definições dos parâmetros utilizados na simulação computacional no software TropLux 8, descrito no item 2.3.1 do referencial teórico. Para isso, foi determinado o plano de trabalho imaginário da sala, que, devido ao seu formato recortado, foi necessário dividi-lo em dois (Figura 20). No tópico 3.6 será descrito como foram trabalhados os valores de dois planos distintos.

Por esse motivo, os dados foram processados para duas malhas de pontos que atendem os parâmetros estabelecidos pela LM-83-12 (IES, 2012), constituindo no plano 01 uma malha de 0,78 x 0,78 m (9x6), totalizando 54 pontos, e no plano 2 uma malha de 0,60 x 0,71 m (2x4),

totalizando 8 pontos. A altura de ambos os planos foi ajustada para 0,46 m do chão, devido ao uso infantil do ambiente e à altura da mesa de estudo especificada no Manual Descritivo para Aquisição de Mobiliário e Equipamentos (FNDE, 2013, p. 26).

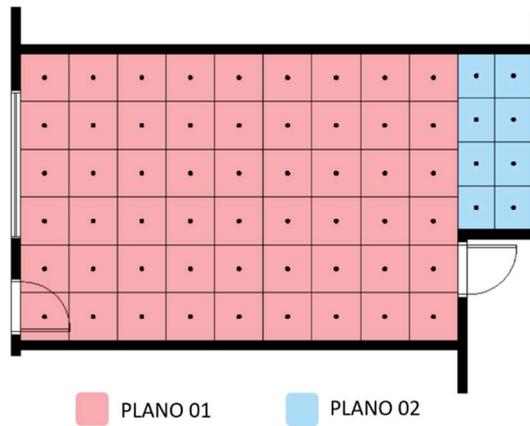


Figura 20 - Planta baixa com distribuição dos pontos da malha nos planos 01 e 02
Fonte: Autora, 2019

Para o material do vidro das janelas, foi utilizado o padrão de vidro comum oferecido pelo programa, conforme a Figura 21.

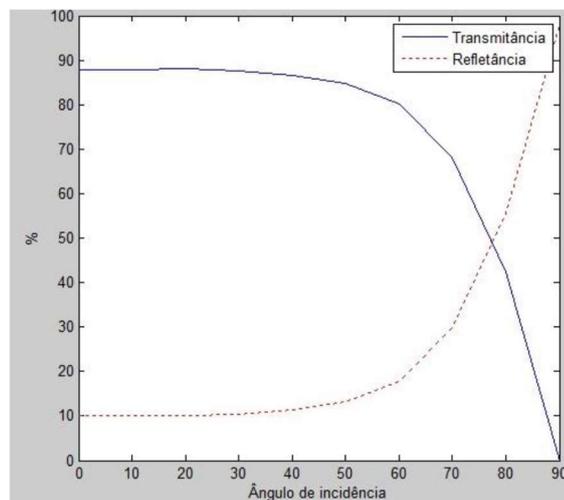


Figura 21 - Propriedades de refletância e transmitância do vidro em relação ao ângulo de incidência da luz
Fonte: TropLux

Todas as simulações foram realizadas para as quatro latitudes, todos os dias do ano, das 8 h às 18 h (horário legal), totalizando 10 horas diárias e 3650 horas no ano, conforme determinado pela LM-83-12 (IES, 2012). Destaca-se que, para esse estudo, foi necessário

adaptar a recomendação da norma, de fazer uso do TMY, para o padrão do programa TropLux, que faz uso dos céus da CIE⁵ nas suas simulações.

As características do céu de cada cidade influenciam na disponibilidade de luz natural no interior do ambiente. Por isso, foi utilizado o céu de Distribuição Dinâmica de Luminâncias (DDL), fornecido pelo programa. Esse céu se baseia na probabilidade real de ocorrência dos tipos de céu da cidade selecionada (CARVALHO, 2018; RIBEIRO; CABUS, 2019), os quais estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 – Frequência de ocorrência, durante o dia, dos tipos de céu das cidades em estudo

Cidades	Céu claro (%)	Céu parcialmente nublado (%)	Céu encoberto (%)
Macapá - AP	1,7	50,3	48,0
Maceió - AL	29,8	29,7	40,5
Vitória - ES	24,7	38,3	37,0
Porto Alegre - RS	25,7	28,7	45,6

Fonte: TropLux 8

Por simplificação para a simulação, foi calculada a média ponderada das refletâncias dos três materiais presentes nas paredes internas do ambiente em estudo, que resultou em 0,66. A Tabela 8 mostra uma síntese de todos os parâmetros utilizados na simulação dessa pesquisa.

Tabela 8 - Síntese dos parâmetros utilizados na simulação computacional

Cidades	Macapá – AP, Maceió – AL, Vitória – ES e Porto Alegre – RS
Malha plano 01	0,78 x 0,78 (metros)
Malha plano 02	0,60 x 0,71 (metros)
Altura plano de trabalho	0,46 m
Tipo de Céu	Céu de Distribuição Dinâmica de Luminâncias (CDDL)
Dias	Todos
Horário	8h30 às 17h30 (horário legal)
Ângulos Vertical de obstrução (AVO)	0°, 26°, 44°, 56° e 63°
Refletâncias (piso/ parede/ teto)	0,30 / 0,66 / 0,85
Orientações	N, NE, L, SE, S, SO, O e NO

Fonte: Autora, 2019

⁵ *Commission Internationale de l'Eclairage* — CIE foi responsável pela definição de 16 modelos de céus, representando e classificando as suas variações, que pode-se obter a iluminância do zênite e do horizonte (CIE,2003).

3.6 Apresentação e análise dos resultados

Com o objetivo de obter maior clareza, a apresentação dos resultados, obtidos através da simulação computacional no TropLux 8, foi feita através da adaptação do uso da ferramenta denominada Rosa de Luz, disponível no software, que permite avaliar os resultados para as orientações estudadas na forma de um único gráfico.

A análise dos resultados foi dedicada a quantificar o aproveitamento da luz natural em diferentes latitudes e a influência das variáveis estabelecidas em cada localidade. Para isso, foram selecionados indicadores de desempenho com o objetivo de comparar as variáveis utilizadas, avaliar a suficiência da luz e o potencial desconforto, são eles: EMA, UMA, $ALN_{e300/50\%}$, e $ESA_{1000/250h}$, respectivamente. Esses indicadores estão descritos no item 2.3.2.

Os indicadores de desempenho foram obtidos através da média dos pontos de cada malha, resultando em dois valores distintos (plano 01 e plano 02). Desta forma, com o intuito de unificar os valores encontrados, foi necessário o cálculo através da média ponderada dos valores de cada plano em relação a área correspondente.

A Iluminância Média Anual (EMA) foi utilizada para o período de um ano, com o objetivo de comparar quantitativamente cada modelo estudado. Além disso, foi usada a Uniformidade Média Anual (UMA), também para o período de um ano. Destaca-se que a Uniformidade serviu apenas de subsídio para o estudo comparativo, pois o valor de 0,7 (70%), recomendado pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), trata-se de um número muito alto a ser atingido apenas com o uso da luz natural, visto que a norma aborda o uso de iluminação artificial, como destacado por Carvalho (2018).

Além disso, Dubois (2003) afirma que os usuários de ambientes iluminados lateralmente através de luz natural possuem uma maior tolerância com relação a menor uniformidade, quando comparados a ambientes iluminados artificialmente.

Como auxílio no estudo comparativo, foi utilizada a variação de EMA e de UMA. Dadas a partir das equações 02 e 03:

$$\Delta EMA = \frac{EMA_2 - EMA_1}{EMA_1} \times 100\% \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde:

- ΔEMA – Variação de Iluminância Média Anual;
- EMA_1 – Iluminância Média Anual do modelo base;

- EMA_2 – Iluminância Média Anual do modelo modificado.

$$\Delta UMA = \frac{UMA_2 - UMA_1}{UMA_1} \times 100\% \quad [\text{Eq. 03}]$$

Onde:

- ΔUMA – Variação de Uniformidade Média Anual;
- UMA_1 – Uniformidade Média Anual do modelo base;
- UMA_2 – Uniformidade Média Anual do modelo modificado.

Para a análise da suficiência da luz natural, através do uso da $ALNe_{300/50\%}$, recomenda-se o valor de 300 lx como parâmetro mínimo, conforme descrito no tópico 2.3.1 do referencial teórico. Esse valor foi mantido no presente estudo, pois se trata do mesmo valor recomendado pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) para o tipo de uso do espaço em estudo. Desse modo, essa pesquisa buscou fazer sua avaliação com base nas classificações estabelecidas pela LM-83-12 (IES, 2012), são elas:

- Aceitável – $ALNe_{300/50\%}$ igual ou maior que 55%;
- Preferível – $ALNe_{300/50\%}$ igual ou maior que 75%.

A análise do potencial desconforto, feita através de $ESA_{1000/250h}$, também fez uso dos valores e recomendações feitas pela LM-83-12 (IES, 2012), utilizando as três classificações seguintes:

- Insatisfatório – $ESA_{1000/250h}$ superior a 10%;
- Neutro – $ESA_{1000/250h}$ abaixo de 7%;
- Aceitável – $ESA_{1000/250h}$ abaixo de 3%.

Para uma maior clareza e organização, os resultados foram divididos por cenário proposto e por objetivo estabelecido, onde foram apresentados e debatidos os resultados de cada indicador de desempenho luminoso utilizado.

3.7 Conclusões da seção

Todos os elementos propostos objetivaram analisar o aproveitamento da luz natural em diferentes situações e em diferentes localidades. Dessa forma, desenvolvidos para atingir os objetivos propostos, os procedimentos metodológicos dessa pesquisa resultaram em 5 diferentes modelagens, simuladas em 8 orientações, em 4 localidades e durante 10 horas diárias,

durante 1 ano, totalizando 36.208.000⁶ processamentos de iluminâncias e 6.653.840⁷ processamentos de coeficientes da luz natural, no TropLux 8. Após o cumprimento desta etapa, foi dada continuidade ao estudo através da coleta, apresentação e análise dos resultados.

⁶ Cálculo de processamento de Iluminâncias: 5 (cenários) x 8 (azimutes) x 10 (horas) x 365 (dias) x 62 (pontos da malha) x 4 (n° de latitudes) = 36.208.000.

⁷ Cálculo de coeficientes da luz natural: ((pontos da malha x coef. difusos + pontos da malha x coef. diretos) x n° de cenários x n° de latitudes) → ((62 x 145 + 62 x 5221) x 5 x 4) = 6.653.840.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção são apresentados e debatidos os dados obtidos através das simulações computacionais, de acordo com os objetivos e métodos propostos. A partir dos resultados, foi possível analisar comparativamente a influência da latitude, bem como da orientação e do Ângulo Vertical de Obstrução. A seção é dividida por modelo de cenário proposto, onde debatem-se os dados de acordo com cada indicador de desempenho luminoso utilizado. Por fim, são discutidos os resultados obtidos de acordo com os objetivos dessa pesquisa.

4.1 Cenário proposto 1 — Sem obstrução edificação obstruidora

O primeiro cenário (base) consiste no modelo sem edificação obstruidora, simulado em oito orientações e em quatro latitudes diferentes. Seus resultados para Iluminância Média Anual (EMA), Uniformidade Média Anual (UMA), Autonomia de Luz Natural Espacial (ALNe_{300/50%}) e Exposição Solar Anual (ESA_{1000/250h}) estão expostos no Gráfico 1, Gráfico 2, Gráfico 3 e Gráfico 4, respectivamente.

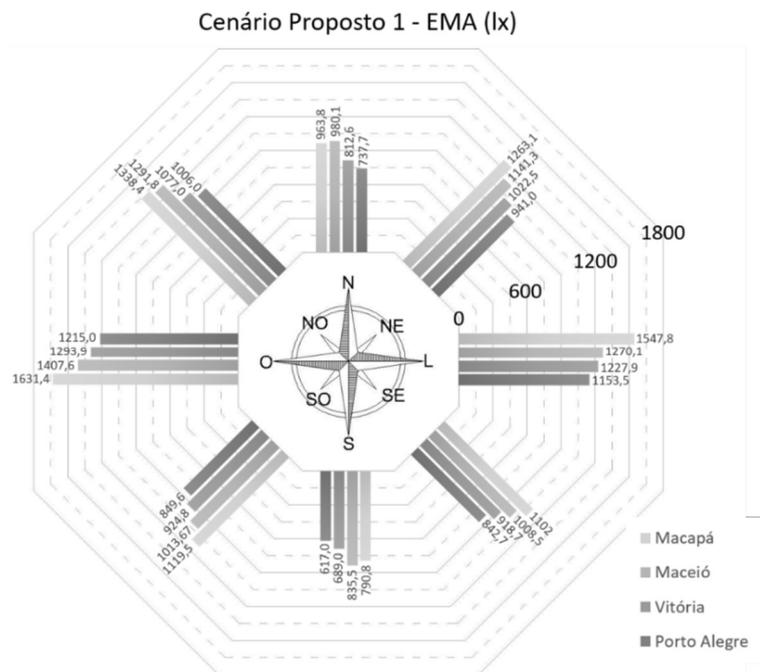


Gráfico 1 - Gráfico Rosa de Luz de EMA do cenário proposto 1

Fonte: Autora, 2019

O Gráfico 1 demonstra, como esperado, que a Iluminância Média Anual no plano de trabalho decai à medida que as cidades se afastam da linha do equador (valores entre 617 lx e 1631,4 lx), corroborando a afirmativa de Baker e Steemers (2002) em que latitudes mais baixas

dispõem de maior disponibilidade de luz natural. A exceção é cidade de Macapá nas orientações Norte e Sul, as quais apresentaram valores ligeiramente inferiores à cidade de Maceió.

Esse resultado está relacionado com o beiral existente na edificação e com a trajetória aparente do sol — que em menores latitudes atinge maiores alturas nas orientações Norte e Sul, como exposto no Apêndice A. Dessa forma, a proteção solar é capaz de proteger de parte da incidência direta dos raios solares — responsável por garantir maiores valores de EMA.

Já em maiores latitudes do hemisfério sul, o trajeto solar acontece mais ao Norte, fazendo com que a proteção — que não sofre alteração, por se tratar de um projeto padronizado — não seja suficiente para impedir a incidência direta do sol. Entretanto, observa-se que, mesmo não protegendo da exposição à radiação solar direta, a EMA é inferior nessas localidades.

É possível perceber que, devido ao movimento aparente do sol e a influência da radiação direta nos valores de EMA, as orientações Norte e Sul apresentaram os menores resultados em todas as capitais, enquanto as orientações Leste e Oeste obtiveram os maiores — com Macapá obtendo uma diferença mais significativa em relação às outras cidades.

Já para a Uniformidade Média Anual (UMA), exposta no Gráfico 2, constata-se que os resultados variaram entre 26,2% e 38,2% — destacando-se que não houve diferença significativa de valores entre as cidades para cada orientação.

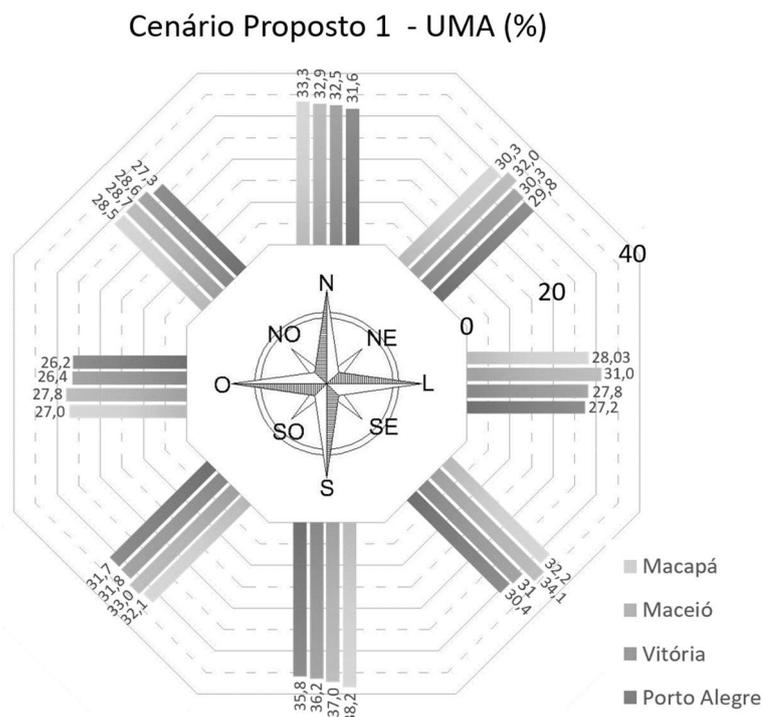


Gráfico 2 - Gráfico Rosa de Luz de UMA do cenário proposto 1

Fonte: Autora, 2019

Salienta-se que os resultados de EMA e UMA são apenas para uma avaliação comparativa com os demais cenários, pois o cenário proposto 1 consiste no modelo base para análise.

A suficiência luminosa do ambiente, abordada através do método Autonomia de Luz Natural Espacial (ALNe_{300/50%}), está expressa no Gráfico 3. As linhas em vermelho demarcam o limite estabelecido pela LM-83-12 (IES, 2012): aceitável (≥55%) e preferível (≥75%).

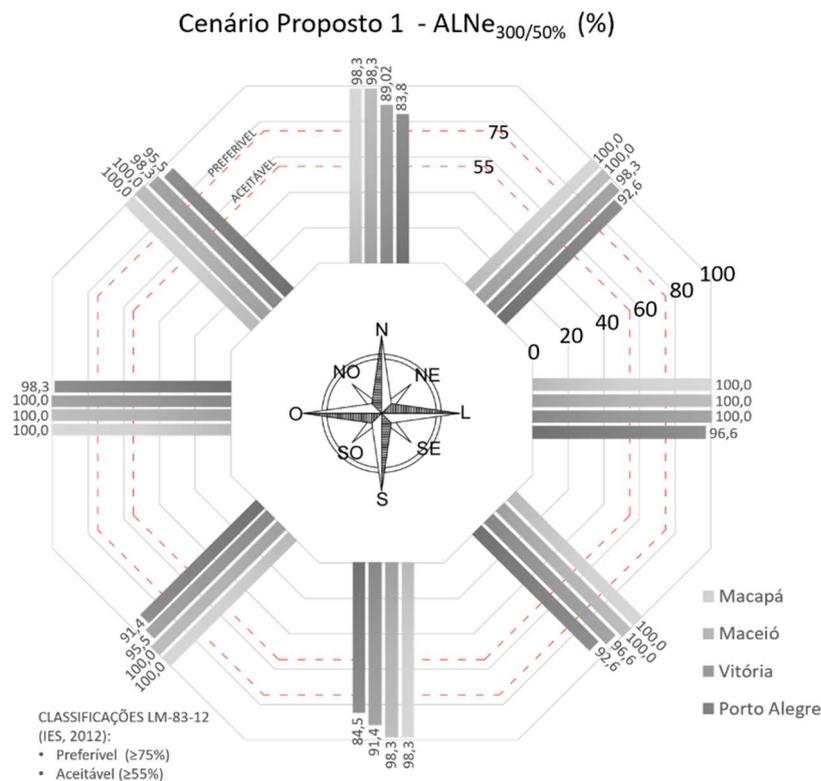


Gráfico 3 - Gráfico Rosa de Luz de ALNe_{300/50%} do cenário proposto 1
 Fonte: Autora, 2019

De acordo com o apresentado, é possível observar que Porto Alegre obteve valores abaixo de 100% em todas as orientações analisadas, demonstrando uma diferença mais expressiva nas orientações Norte e Sul. Essa localidade também apresentou os valores mais baixos nos resultados de EMA, para as mesmas orientações.

Por conta da grande disponibilidade de luz natural em regiões de latitudes mais baixa, as cidades de Macapá e Maceió obtiveram 100% em seis das oito orientações analisadas (NE, L, SE, SO, O e NO). Enquanto a cidade de Vitória apresentou 100% de Autonomia de Luz Natural Espacial (ALNe_{300/50%}) apenas nas orientações L e O.

Observa-se, ainda que, por influência do movimento aparente do sol, as orientações L e O obtiveram os maiores valores de $ALNe_{300/50\%}$, enquanto as orientações N e S obtiveram os menores, assim como os resultados obtidos em EMA.

Apesar da queda nos resultados das cidades em latitudes mais altas, todas as localidades e orientações apresentaram valores acima de 83,8%, o que significa que em todas as situações analisadas do modelo proposto, mais de 83,8% da área do espaço obteve o mínimo de 300 lx por, pelo menos, metade do tempo analisado, o que é classificado como preferível pela LM-83-12 (IES, 2012).

Com relação ao potencial desconforto, avaliado através da métrica dinâmica de luz natural denominada Exposição Solar Anual ($ESA_{1000/250h}$), os resultados foram expressos no Gráfico 4. Salienta-se que as marcações em vermelho representam os limites estabelecidos pela LM-83-12: aceitável (< 3%), neutro (<7%) e insatisfatório (>10%).

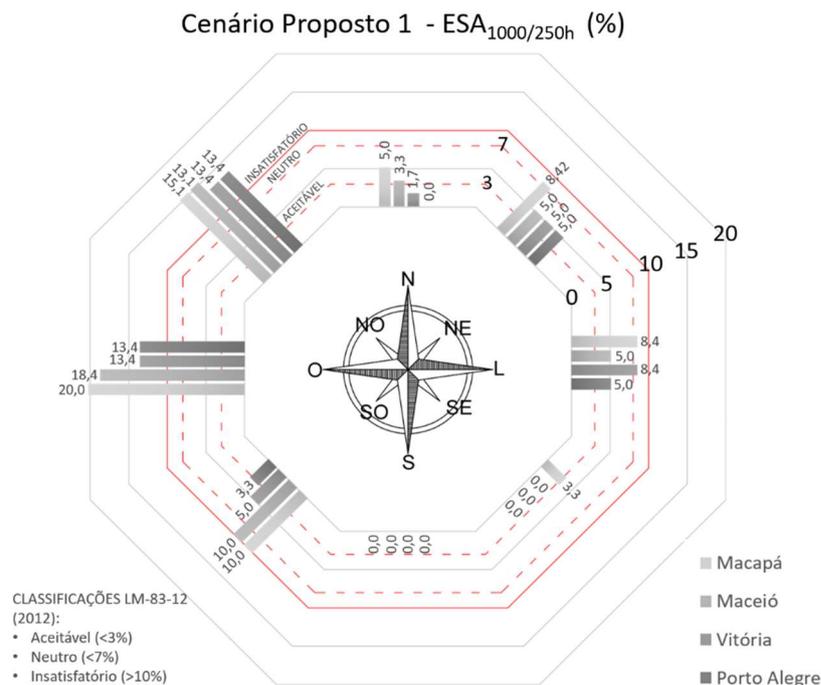


Gráfico 4 - Gráfico Rosa de Luz de $ESA_{1000/250h}$ do cenário proposto 1
 Fonte: Autora, 2019

De acordo com os resultados, é possível observar que não houve valores de iluminância, provenientes da incidência direta da radiação solar, superiores a 1000 lx durante mais de 250h quando orientado para o SE e S na maioria das latitudes em estudo, com exceção de Macapá que obteve 3,3% para a orientação SE.

É possível atribuir esse resultado à relação da trajetória aparente do sol, onde em maiores latitudes do hemisfério sul ela acontece mais ao norte, com a edificação em estudo. Dessa forma, observa-se que na latitude mais próxima do equador, a trajetória aparente do sol mais simétrica proporciona uma maior exposição da abertura da edificação a radiação direta do sol, quando orientada para o SE, como demonstrado Apêndice A. Constata-se, ainda, que Porto Alegre apresentou valores mais baixos de $ESA_{1000/250h}$, corroborando os resultados de EMA em todas as situações.

Em concordância com os resultados de UMA, pois a incidência direta do sol proporciona uma menor uniformidade no ambiente, as orientações O e NO apresentaram valores insatisfatórios (de 13,4% a 20,0%) para as cidades de Macapá, Maceió, Vitória e Porto Alegre. Destaca-se que, quando o modelo está orientado para o Oeste, a face com menor abertura está orientada para o Leste, o que contribui para a incidência direta dos raios solares no período da manhã e da tarde. O mesmo pode ser observado para a orientação Leste, sendo a face de maior abertura a mais significativa.

É possível observar, ainda, que Macapá e Maceió apresentaram resultados mais altos que os das outras cidades em todas as orientações, exceto na Leste, onde Macapá e Vitória obtiveram valores mais altos (8,4%).

O gráfico corrobora a indicação de Lamberts, Dutra e Pereira (2014) para evitar as orientações L e O. Entretanto, a orientação Leste não obteve valores tão altos de $ESA_{1000/250h}$ quanto a NO.

Diante do apresentado, verifica-se que há uma diferença na quantidade de luz disponível no ambiente em estudo à medida que se afasta da linha do equador, mas não compromete a suficiência luminosa no cenário proposto, visto que todas as situações obtiveram a classificação de preferível, de acordo com a LM-83-12 (IES, 2012). Entretanto, as orientações O e NO se mostraram insatisfatórias para todas as cidades e a orientação SO para as cidades de menor latitude, com relação ao potencial desconforto luminoso.

4.2 Cenário proposto 2 — Ângulo Vertical de Obstrução de 26°

O cenário proposto 2 consiste na presença de edificações obstruidoras com 15,5 m de altura (AVO de 26°), localizadas em frente à face de maior abertura da sala em estudo, como descrito no item 3.3.

De acordo com os resultados, é possível verificar que houve uma redução nos valores obtidos em comparação com o cenário base (cenário proposto 1). Essa variação está expressa no Gráfico 5, através do uso do Δ EMA.

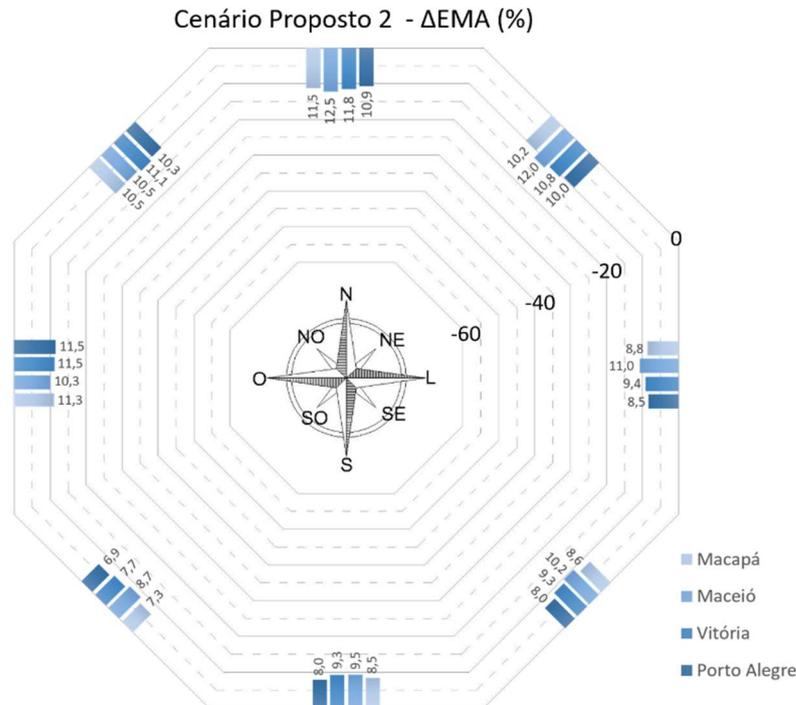


Gráfico 5 - Gráfico Rosa de Luz de Δ EMA do cenário proposto 2 em relação ao cenário proposto 1
Fonte: Autora, 2019

A presença das edificações vizinhas, que forma um AVO de 26° , resultou em uma redução da Iluminância Média Anual de 6,9 % a 12,5% em todas as situações, sendo as orientações N, NE e O (de 10% a 12,5%) as que apresentaram os maiores valores de redução e a SO os menores (de 6,9% a 8,7%). Essa diminuição na quantidade de luz pode ser atribuída a obstrução de parte da abóbada celeste causada pela presença das edificações obstruidoras, a qual não resultou em diferenças significativas entre as reduções das latitudes para cada orientação.

A inserção de uma obstrução com 26° de AVO gerou, também, uma redução na Uniformidade Média Anual com relação ao cenário base (cenário proposto 1), como demonstra o Gráfico 6.

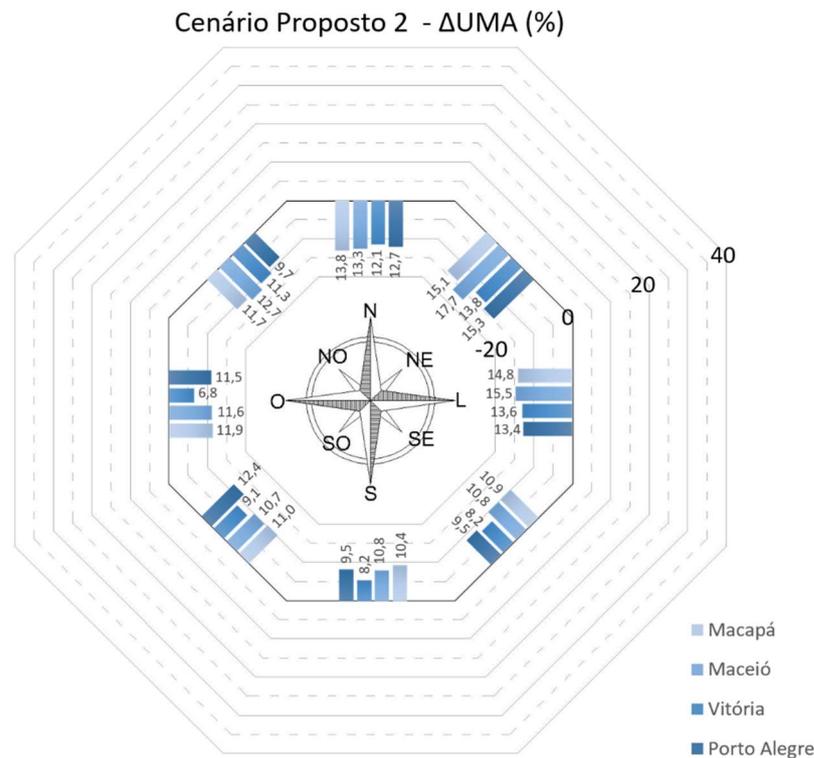


Gráfico 6 - Gráfico Rosa de Luz de Δ UMA do cenário proposto 2 em relação ao cenário proposto 1
Fonte: Autora, 2019

Conforme observado, a Uniformidade Média Anual reduziu de 6,8% a 17,7% em todas as localidades e orientações, sendo Vitória a localidade que obteve a menor redução na maioria das situações, com exceção das orientações L e NO. Salienta-se que o AVO trabalhado nessa situação não aumentou significativamente a obstrução da trajetória aparente do sol, como demonstrado no Apêndice A.

Devido ao movimento aparente do sol e a sua relação com as edificações obstruidoras e a orientação, as cidades de menores latitudes (Macapá e Maceió) apresentaram as maiores reduções em sete das oito orientações analisadas. A exceção foi a orientação SO, que apresentou maior redução na cidade de Porto Alegre. Observa-se, ainda, que as orientações NE, L e NO apresentaram as maiores reduções, enquanto as orientações SE e S as menores.

O fenômeno da redução está relacionado com a luz refletida pelas edificações obstruidoras no ambiente interno, pois o maior alcance da luz gerado pela reflexão proporcionou uma sala menos uniforme. Lins (2018) também observou uma diminuição da Uniformidade devido ao aumento da refletância das superfícies.

A Autonomia de Luz Natural espacial ($ALNe_{300/50\%}$), expressa no Gráfico 7, corrobora a redução da EMA no ambiente, principalmente nas orientações N e S. Essa diminuição

comprometeu a classificação de preferível do ambiente para a cidade de Porto Alegre, a qual passou para aceitável nas supracitadas orientações (68,7% e 63,7%, respectivamente).

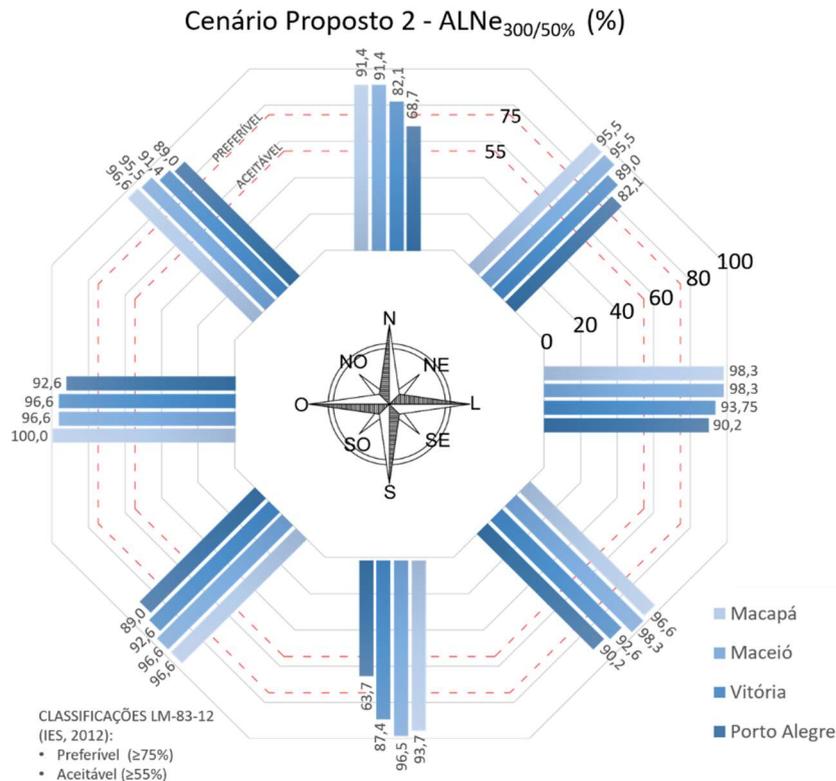


Gráfico 7 - Gráfico Rosa de Luz de ALNe_{300/50%} do cenário proposto 2
 Fonte: Autora, 2019

De acordo com o Gráfico 7, as orientações N e S obtiveram os menores valores de ALNe_{300/50%} (de 63,7% a 96,5%), enquanto as orientações L e O obtiveram os maiores (de 90,2% a 100%), devido a relação da orientação com o movimento aparente do sol.

Assim como nos resultados obtidos de EMA, a cidade de Porto Alegre e Vitória apresentaram os menores valores em todas as orientações. Enquanto as latitudes mais baixas (Maceió e Macapá) obtiveram os maiores resultados. Destaca-se que, para este cenário, a única cidade que apresentou 100% de ALNe_{300/50%} foi Macapá, quando orientada para o Oeste. Isso pode ser atribuído à maior disponibilidade de luz natural em regiões com latitudes mais baixas.

Com relação ao potencial desconforto, observa-se que os resultados obtidos através da simulação computacional não apresentaram diferenças expressivas com a presença da obstrução em análise, como demonstrado no Gráfico 8.

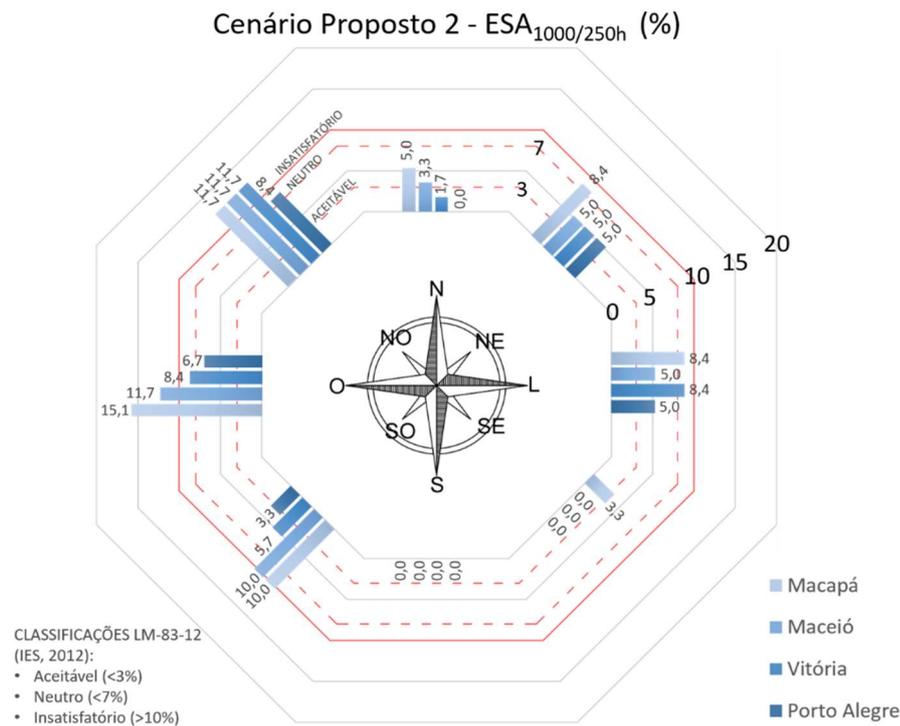


Gráfico 8 - Gráfico Rosa de Luz de ESA_{1000/250h} do cenário proposto 2
Fonte: Autora, 2019

O cenário proposto 2 obteve redução apenas nas orientações O e NO, com valores de 6,7% a 15,1 %. Entretanto, apesar da redução, os valores se mantiveram acima de 7%, com exceção da cidade de Porto Alegre para a orientação O, que obteve a classificação de neutra (<7%), de acordo com a LM-82-12 (IES, 2012). Destaca-se que essas orientações também apresentaram altos valores de EMA.

Diante do apresentado para o cenário proposto 2, a presença da obstrução com AVO de 26° provocou uma redução na Iluminância Média Anual e na Uniformidade Média Anual da sala, comprometendo o desempenho luminoso do ambiente para a cidade de Porto Alegre, quando orientada para o N e S. Além disso, a redução dos valores não contribuiu de forma significativa para a redução do potencial desconforto, gerado pela incidência direta dos raios solares, nas cidades de menores latitudes (Macapá e Maceió), mantendo as orientações SO, O e NO como insatisfatórias.

4.3 Cenário proposto 3 — Ângulo Vertical de Obstrução 44°

O cenário proposto 3, composto pela inserção de três edificações obstruidoras de 31 m (AVO 44°), apresentou uma maior redução na Iluminância Média Anual, quando comparado

ao cenário proposto 2, como exibido no Gráfico 9, onde demonstra-se a porcentagem de redução de EMA para cada cidade e orientação — destaca-se que o cenário base utilizado para o cálculo de variação de Iluminância Média Anual foi o cenário proposto 1 (sem edificação obstruidora).

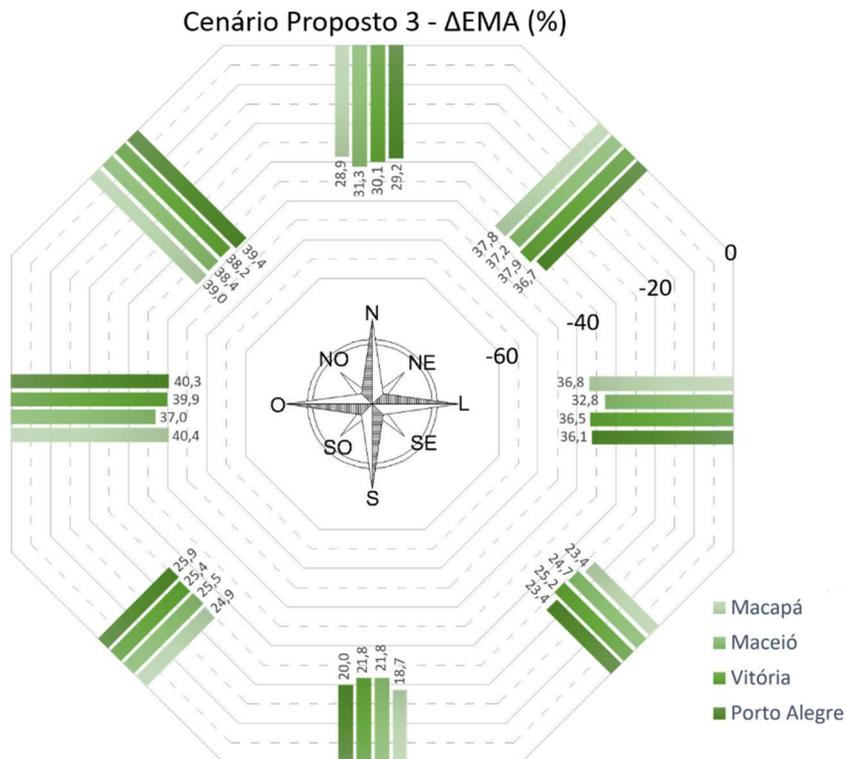


Gráfico 9 - Gráfico Rosa de Luz de ΔEMA do cenário proposto 3 em relação ao cenário proposto 1
 Fonte: Autora, 2019

O Gráfico 9 demonstra que a presença da edificação obstruidora com AVO de 44° provocou reduções de 18,7% a 40,4% em relação ao cenário base (cenário proposto 1). As maiores reduções foram nas orientações O e NO (de 37% a 40,4%) e as menores nas SE e S (de 18,7% a 25,2%).

Com relação à variação da Uniformidade Média Anual, exposta no Gráfico 10, é possível observar que a presença das edificações obstruidoras gerou ganhos e perdas em diferentes situações.

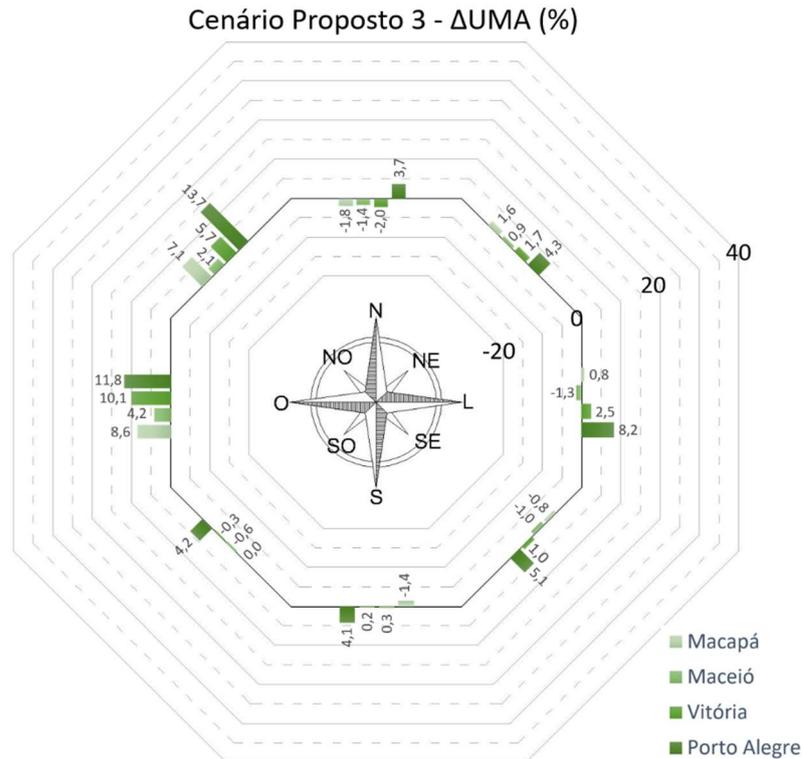


Gráfico 10 - Gráfico Rosa de Luz de Δ UMA do cenário proposto 3 em relação ao cenário proposto 1
Fonte: Autora, 2019

De acordo com o apresentado, constata-se redução da UMA (de 0,3% a 2%), principalmente nas cidades de menor latitude, para a maioria das orientações, exceto nas orientações NE, O e NO, as quais observa-se ganho de 0,9% a 13,7% em todas as localidades em estudo. Essa diferença está associada à alteração na exposição à insolação direta causada pela presença das edificações obstruidoras na trajetória aparente do sol, formando uma proteção contra a incidência direta dos raios solares no ambiente em estudo. Dessa forma, percebe-se que as orientações compatíveis com o movimento aparente do sol (L e O) apresentaram maiores ganhos na UMA.

Observa-se que Porto Alegre foi a única localidade que apresentou ganho nos valores de UMA em todas as orientações. Já Vitória apresentou redução de UMA apenas quando a janela de maior dimensão estava voltada para as orientações N e SO (2% e 0,3% respectivamente).

A respeito do percentual da área analisada do ambiente que atingiu 300 lx com o uso exclusivo da luz natural, durante 50% das horas analisadas ($ALNe_{300/50\%}$), é possível identificar, também, uma redução dos valores em todas as situações, quando comparado aos cenários anteriores.

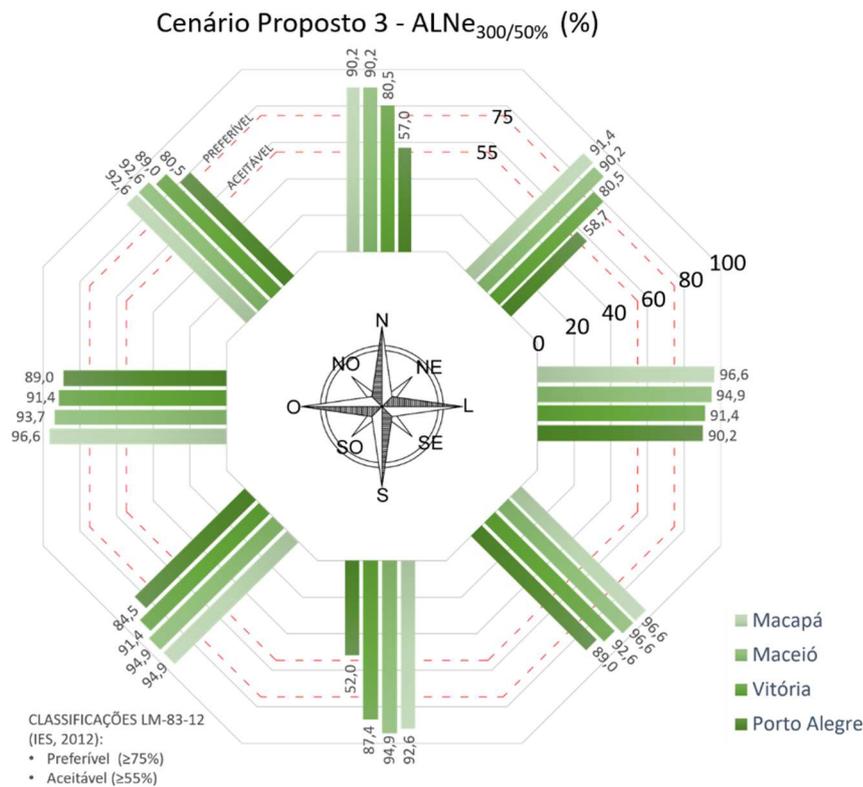


Gráfico 11 - Gráfico Rosa de Luz de ALNe_{300/50%} do cenário proposto 3
 Fonte: Autora, 2019

De acordo com os resultados obtidos, é possível observar que a presença da edificação obstruidora com um AVO de 44° provocou uma redução significativa na cidade de maior latitude (Porto Alegre), principalmente nas orientações N, NE e S, obtendo a classificação de aceitável, de acordo com a classificação da LM-83-12, para N e NE e abaixo de aceitável para o S. Verifica-se, ainda, que essas orientações apresentaram os menores valores de ALNe_{300/50%} (de 52 % a 90,2%), quando comparadas às demais em todas as cidades.

Devido à maior disponibilidade de luz nas regiões de menor latitude, é possível observar que as cidades de Macapá e Maceió apresentaram reduções menos expressivas, quando comparadas a Vitória e Porto Alegre.

Já o potencial desconforto, provocado por valores superiores a 1000 lx por mais de 250 horas do ano, apresentou uma significativa minimização com a inserção de edificações obstruidoras com 44° de AVO, como demonstrado no Gráfico 12.

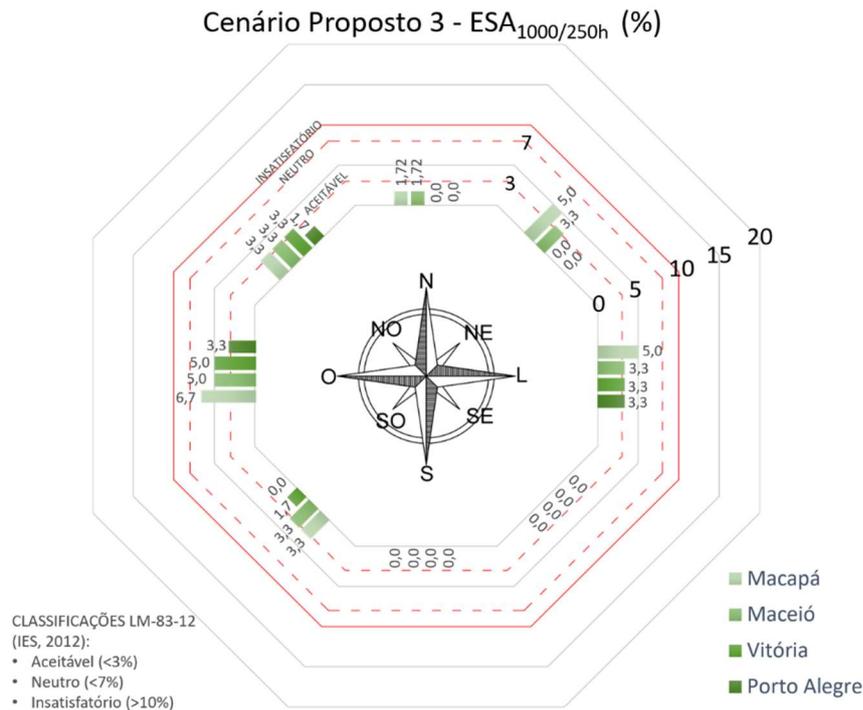


Gráfico 12 - Gráfico Rosa de Luz de ESA_{1000/250h} do cenário proposto 3
Fonte: Autora, 2019

Como esperado, a diminuição da incidência direta dos raios solares devido ao maior Ângulo Vertical de Obstrução proporcionou uma redução nos valores obtidos em todas as situações, principalmente nas orientações O e NO. Essas orientações obtiveram resultados insatisfatórios no cenário base (cenário proposto 1) e passaram para neutros nas cidades de Maceió, Macapá e Vitória (3,3% a 6,7%) e aceitável na cidade de Porto Alegre (de 1,7%), quando orientada para NO, de acordo com os parâmetros da LM-83-12 (IES, 2012).

Além disso, as orientações N, NE, SE, S e SO obtiveram a classificação de aceitável (de 0% a 1,7%) na maioria das cidades, com exceção de Macapá e Maceió, que apresentaram valores neutros quando orientadas para o NE e SO. A orientação L não apresentou significativa diferença, pois todas as cidades mantiveram a mesma classificação que os cenários anteriores para essa orientação: neutra.

Diante do apresentado para o cenário proposto 3, verifica-se que a presença de uma obstrução com AVO de 44° provocou redução na Iluminância Média Anual e prejudicou o desempenho luminoso do ambiente no quesito suficiência da luz natural para o desempenho das tarefas na cidade de maior latitude (Porto Alegre) quando voltada para o N, NE e S, de acordo com a classificação de LM-83-12 (IES, 2012). Além disso, provocou uma redução significativa na incidência direta do sol na maioria das orientações, principalmente nas orientações de maior

incidência solar (O e NO) e, conseqüentemente, um maior aumento da uniformidade nessas orientações.

4.4 Cenário proposto 4 — Ângulo Vertical de Obstrução 56°

De acordo com os resultados obtidos para cenário proposto 4, composto pela presença da edificação obstruidora com altura de 46,5 m e AVO de 56°, observa-se uma maior redução de Iluminância Média Anual quando comparado ao cenário proposto 3, como demonstrado no Gráfico 13, através da variação de Iluminância Média Anual (delta) entre o cenário proposto 4 e o cenário base (cenário proposto 1 – sem edificação obstruidora).

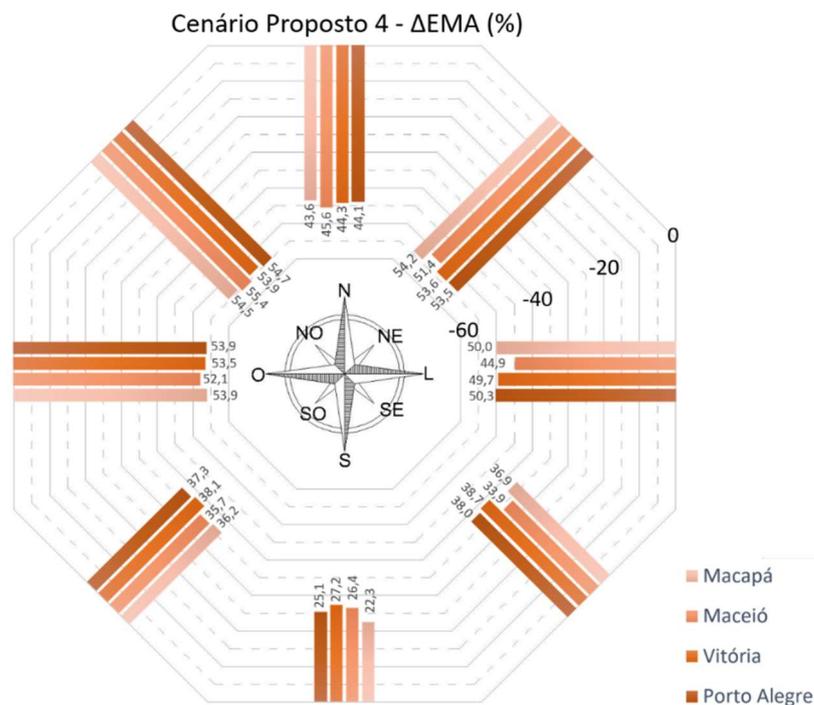


Gráfico 13 - Gráfico Rosa de Luz de ΔEMA do cenário proposto 4 em relação ao cenário proposto 1
Fonte: Autora, 2019

De acordo com os resultados apresentados no Gráfico 13, é possível observar que a presença da edificação obstruidora com AVO de 56° gerou uma diminuição de 22,3% a 55,4% em relação ao cenário base (cenário proposto 1) em todas as situações, sendo as maiores reduções nas orientações que apresentaram maiores valores no cenário proposto 1, devido ao movimento aparente do sol e ao bloqueio da incidência direta de seus raios no ambiente em estudo: NE, L, O e NO (de 44,9% a 55,4%) e as menores na orientação Sul (de 22,3% a 27,2%).

Com relação variação da Uniformidade Média Anual (Δ UMA), exposta no Gráfico 14, é possível observar a que presença das edificações obstruidoras com 46,5 m de altura gerou ganhos, de 0,8% a 32,7%, em todas as situações.

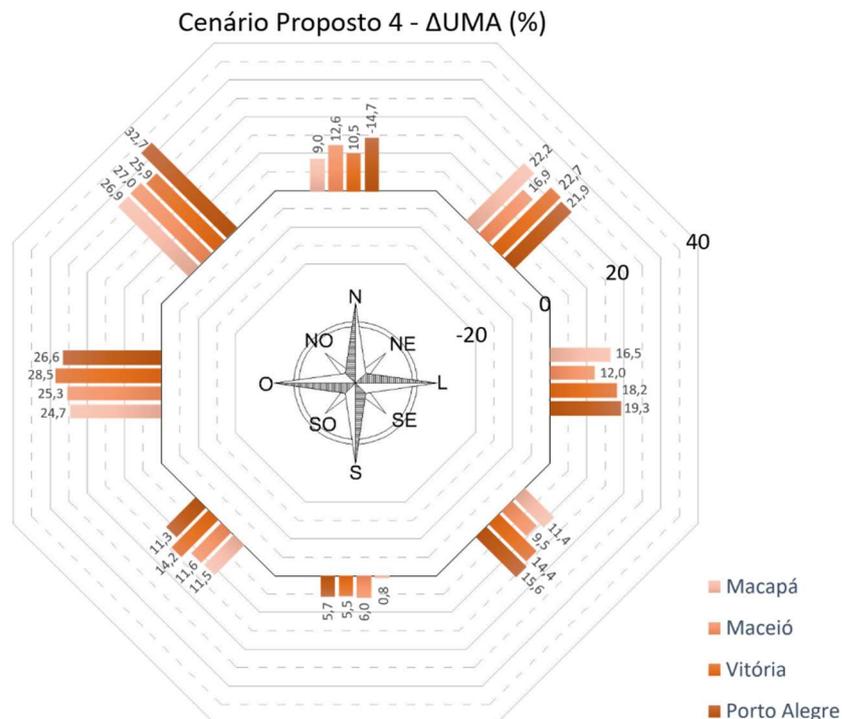


Gráfico 14 - Gráfico Rosa de Luz de Δ UMA do cenário proposto 4 em relação ao cenário proposto 1
Fonte: Autora, 2019

De acordo com o Gráfico 14, observa-se que as orientações O e NO obtiveram os valores mais altos de Δ UMA, de 24,7% a 32,7%. É possível atribuir esse resultado ao bloqueio da incidência direta do sol no ambiente em estudo gerado pela presença das edificações obstruidoras na trajetória aparente do sol. Pelo mesmo motivo, a orientação Sul apresentou os menores resultados de Δ UMA, ou seja, obteve um menor ganho na uniformidade do local, variando de 0,8% a 6%. Além disso, observa-se uma predominância de valores mais altos nas cidades de maiores latitudes.

Com relação ao percentual da área do ambiente que obteve, no mínimo, 300 lx por, pelo menos, 50% das horas analisadas, avaliada através do $ALNe_{300/50\%}$ e exposta do Gráfico 15, é possível observar uma redução dos valores em todas as situações, quando comparado aos cenários 1, 2 e 3.

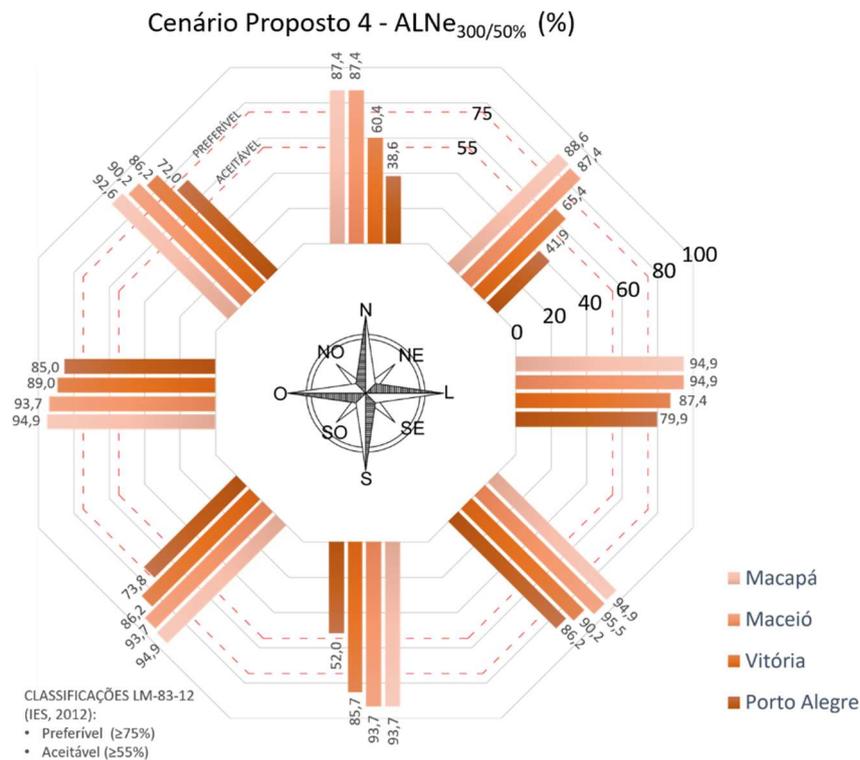


Gráfico 15 - Gráfico Rosa de Luz de ALNe_{300/50%} do cenário proposto 4
Fonte: Autora, 2019

De acordo com o Gráfico 15, verifica-se uma significativa redução nas cidades de menores latitudes (Vitória e Porto Alegre), sendo os menores resultados apresentados pela capital gaúcha (de 38,6% a 72%). Essa redução demonstra um prejuízo no desempenho luminoso da sala em estudo, pois a cidade obteve classificação abaixo de aceitável, de acordo com os critérios da LM-83-12, nas orientações N, NE e S e aceitável quando orientada para o SO e NO. Já Vitória passou para a supracitada classificação quando a abertura de maior dimensão está voltada para o N e NE. Dessa forma, é possível observar que a trajetória mais ao norte em latitudes mais altas e a menor disponibilidade de luz na região fez com que as orientações N e NE obtivessem maiores reduções quanto à suficiência da luz natural.

Com relação às cidades de menor latitude, Macapá e Maceió, constata-se que ambas mantiveram a classificação de preferível em todas as situações, de acordo com os critérios estabelecidos pelo documento norte-americano – LM-83-12 (IES, 2012), pois se mantiveram acima de 87,4%.

Esse resultado corrobora os valores obtidos para o EMA, deste mesmo cenário, pois orientações que demonstraram maiores prejuízos com relação a suficiência luminosa (N e NE), alcançaram grandes reduções em EMA. Além disso, observa-se que, devido ao movimento aparente do sol, todas as cidades obtiveram a classificação de preferível nas orientações L, SE

e O. Salienta-se que esse resultado foi favorecido, além da luz do sol refletida pelas edificações obstruidoras, pelas duas aberturas localizadas em faces opostas, que proporcionaram uma maior disponibilidade de luz natural no ambiente interno durante todo o dia.

No que diz respeito ao potencial desconforto gerado por quantidades excessivas de luz natural decorrente da incidência direta dos raios solares no ambiente em estudo, observa-se uma significativa redução em todas as situações devido a inserção de edificações obstruidoras com altura de 46,5 m, como demonstrado no Gráfico 16.

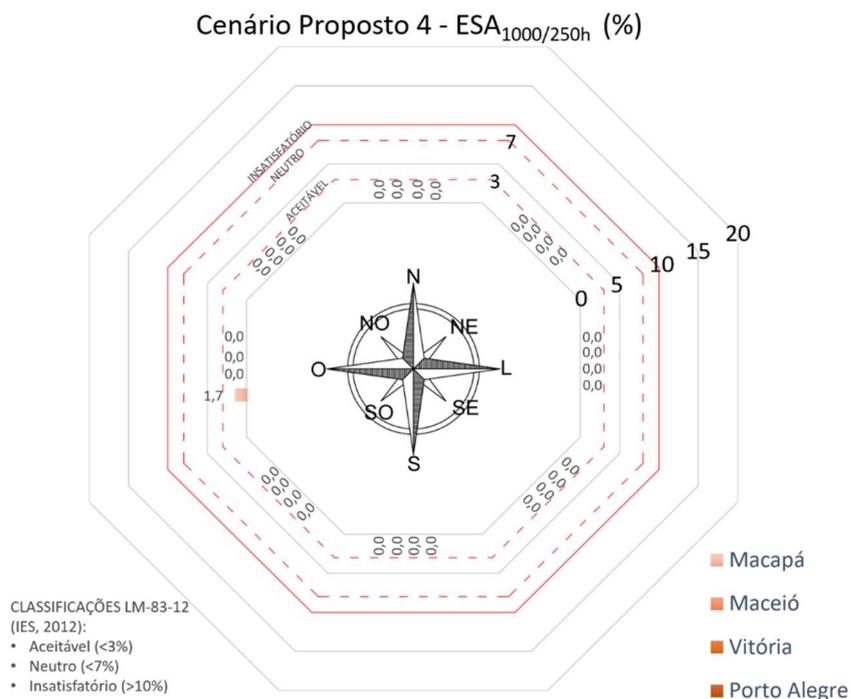


Gráfico 16 - Gráfico Rosa de Luz de $ESA_{1000/250h}$ do cenário proposto 4
Fonte: Autora, 2019

Como esperado, a presença das edificações obstruidoras com AVO de 56° gerou uma redução significativa no potencial desconforto avaliado pelo $ESA_{1000/250h}$. É possível atribuir esse resultado à obstrução da trajetória aparente do sol causada pela presença das edificações circunvizinhas, como demonstrado no Apêndice A. Salienta-se que apenas a cidade de Macapá, quando orientada para o Oeste, obteve o resultado de 1,7% (aceitável, de acordo com a LM-83-12) da área analisada. Esta mesma cidade e orientação obteve os maiores resultados nos cenários anteriores.

Diante do apresentado para o cenário proposto 4, verifica-se que a redução na disponibilidade de luz natural causada pela presença de obstruções com AVO de 56° gerou prejuízos ao desempenho luminoso do ambiente em estudo em latitudes mais altas. Em contrapartida, essa redução proporcionou uma redução significativa do potencial desconforto

do ambiente, gerado pela incidência direta do sol, e, conseqüentemente, um aumento da uniformidade em todas as situações.

4.5 Cenário proposto 5 — Ângulo Vertical de Obstrução 63°

O último cenário posposto neste estudo (cenário 5) é composto pela inserção de três edificações obstruidora com altura de 62 m (AVO de 63°). Seus resultados para variação de Iluminância Média Anual (Δ EMA), variação de Uniformidade Média Anual (Δ UMA), Autonomia de Luz Natural Espacial (ALNe_{300/50%}) e Exposição Solar Anual (ESA_{1000/250h}) estão expostos no Gráfico 17, Gráfico 18, Gráfico 19 e Gráfico 20, respectivamente.

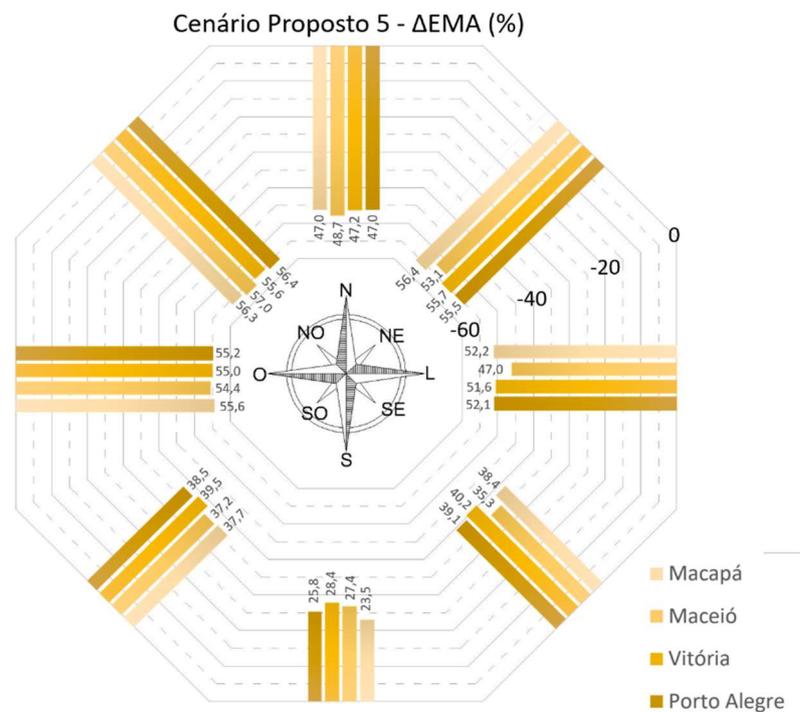


Gráfico 17 - Gráfico Rosa de Luz de Δ EMA do cenário proposto 5 em relação ao cenário proposto 1
Fonte: Autora, 2019

O Gráfico 17 expõe os resultados obtidos para a variação de Iluminância Média Anual do cenário proposto 5 em relação ao cenário base (cenário proposto 1). De acordo com o exposto, é possível verificar uma redução da Iluminância Média Anual de 23,5% a 57% em todas as localidades e orientações, sendo as maiores reduções quando a abertura de maior dimensão está voltada para o NO e O (de 54,4% a 57%) e as menores para o sul (de 23,5% a 28,4%), semelhante aos cenários anteriores.

Com relação a variação da Uniformidade Média Anual, é possível verificar que a presença de obstruções com AVO de 63° gerou um aumento (de 0,1% a 37,2%) em todas as situações, como demonstrado no Gráfico 18.

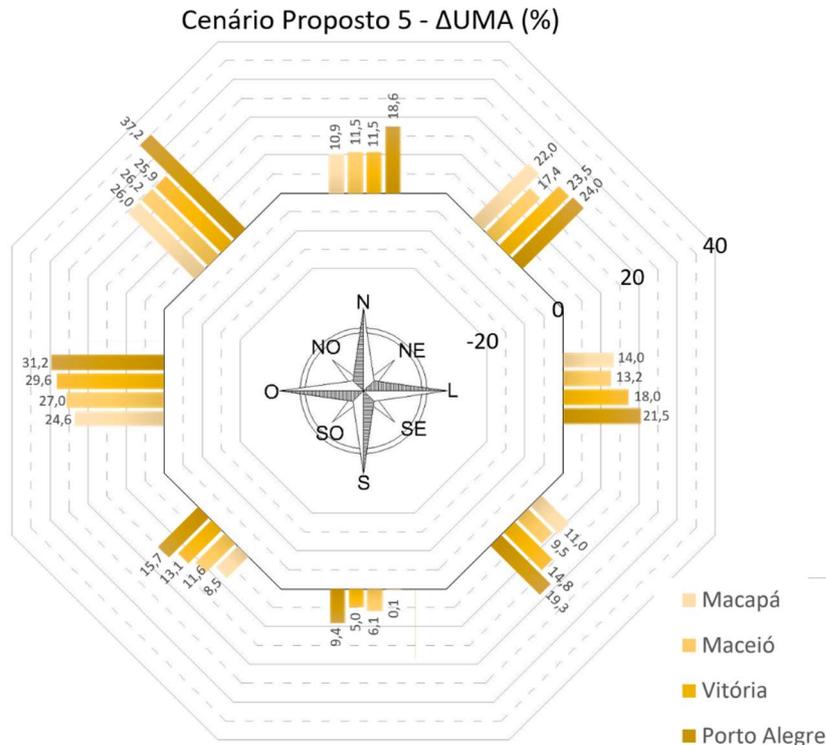


Gráfico 18 - Gráfico Rosa de Luz de Δ UMA do cenário proposto 5 em relação ao cenário proposto 1
Fonte: Autora, 2019

De acordo com o observado no Gráfico 18, assim como no cenário proposto 4, o maior aumento da uniformidade foi quando orientada para O e NO (de 24,6% a 37,2%). É possível atribuir esse resultado ao bloqueio da incidência direta do raio solar no ambiente, a qual possui relação inversa com a uniformidade do ambiente. Dessa forma, uma menor altura solar na cidade de Porto Alegre resultou em valores mais altos, em relação as outras cidades, em todas as orientações.

Com relação ao percentual da área analisada do ambiente que atingiu 300 lx com o uso exclusivo da luz natural, durante 50% das horas analisadas ($ALNe_{300/50\%}$), identifica-se, como esperado, uma redução ainda maior nos valores em todas as situações, quando comparado aos cenários anteriores, como demonstrado no Gráfico 19.

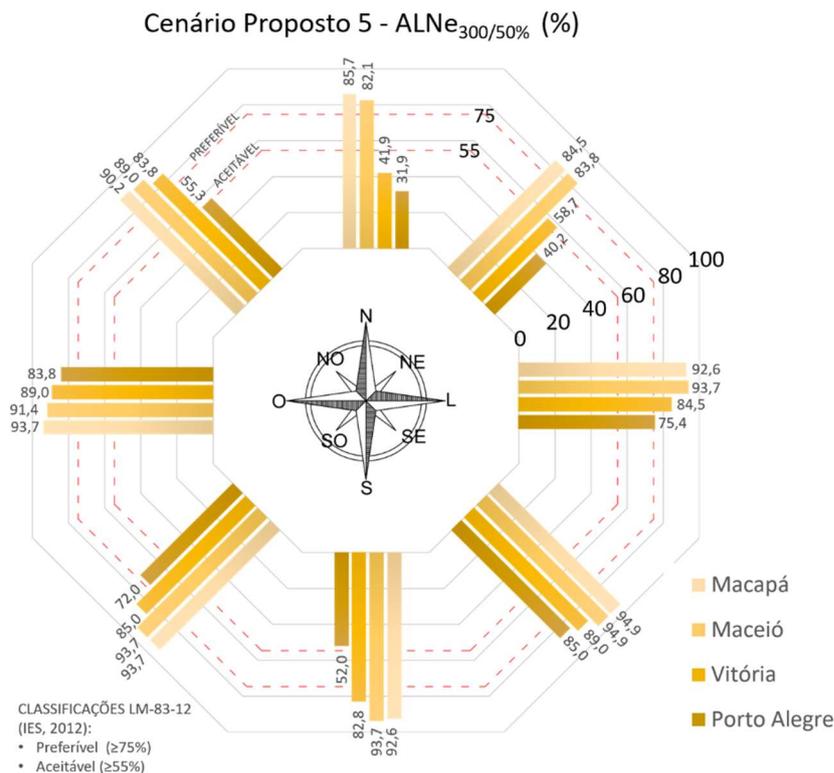


Gráfico 19 - Gráfico Rosa de Luz de ALNe_{300/50%} do cenário proposto 5
 Fonte: Autora, 2019

De acordo com o Gráfico 19, os resultados de ALNe_{300/50%} para o cenário proposto 5 variaram entre 31,9% e 94,9%, onde as cidades de menor latitude (Macapá e Maceió) não apresentaram comprometimento do desempenho luminoso do ambiente pois todos os valores das respectivas cidades se mantiveram acima de 82,1%.

Já as cidades de maior latitude (Vitória e Porto Alegre) apresentaram reduções significativas em relação à suficiência da luz natural, onde a cidade de Porto Alegre obteve uma classificação abaixo de aceitável, de acordo com a LM-83-12, para as orientações N, NE e S (de 31,8% a 52%), e aceitável nas orientações SO e NO (de 55,3% a 72%). Enquanto Vitória obteve a classificação abaixo de aceitável quando orientada para o N (41,9%) e aceitável quando orientada para NE (58,7%).

Dessa forma, constata-se que as orientações N e NE proporcionaram maiores prejuízos para latitudes mais altas, devido à relação da trajetória solar com a menor disponibilidade de luz natural nessas localidades. Já as orientações L, SE e O apresentaram valores classificados como preferíveis (IES, 2012), pois sofreram influência do posicionamento das duas aberturas em faces opostas no sentido Leste-Oeste – sentido da trajetória aparente do sol.

No que diz respeito ao potencial desconforto (Gráfico 20), observa-se que não houve alteração nos resultados com relação ao cenário proposto 4, onde a maioria das cidades apresentaram o valor de 0%. A exceção foi a cidade de Macapá que apresentou um valor classificado como aceitável (1,7%).

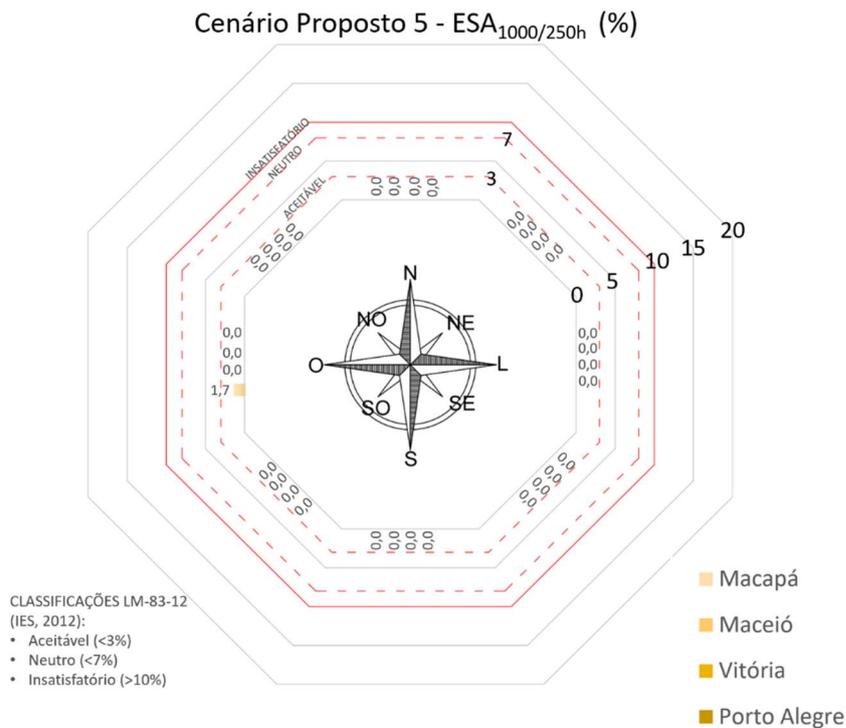


Gráfico 20 - Gráfico Rosa de Luz de $ESA_{1000/250h}$ do cenário proposto 5
Fonte: Autora, 2019

Diante do apresentado para o cenário proposto 5, é possível verificar que a presença de três edificações obstruidoras com 63 m de altura gerou uma significativa redução da Iluminância Média Anual e conseqüentemente comprometimento no desempenho luminoso para as cidades de maior latitude, principalmente quando orientada para o N e NE. Por outro lado, semelhante ao cenário proposto 4, observa-se que a obstrução contribuiu para uma melhora com relação ao potencial desconforto e a uniformidade luminosa do ambiente.

4.6 Discussão dos resultados

De acordo com os resultados dos tópicos 4.1 a 4.5, é possível verificar a interferência das orientações das aberturas e do Ângulo Vertical de Obstrução no aproveitamento da luz natural no ambiente interno em diferentes latitudes, como debatido a seguir e explicitado no Apêndice B.

4.6.1 Investigação da interferência de diferentes orientações das aberturas na disponibilidade da luz natural no ambiente interno em diferentes latitudes

Com relação a investigação da interferência de diferentes orientações das aberturas na disponibilidade da luz natural no ambiente interno em diferentes latitudes, avaliada para N, NE, L, SE, S, SO, O e NE, é possível observar que a Iluminância Média Anual (EMA) apresenta valores superiores nas orientações compatíveis com o movimento aparente do sol (Leste e Oeste) e menores nas orientações Norte e Sul. Isso acontece devido ao aumento da Iluminância proveniente da incidência direta da radiação solar no local. Além disso, em concordância com a maior disponibilidade de luz natural em regiões mais próximas a linha do equador, as cidades de latitude mais baixa expõem valores superiores às latitudes mais altas, em todas as situações, ou seja, quanto maior a latitude, menor a EMA no ambiente interno.

Dessa forma, corroborando os resultados de EMA, a suficiência da luz natural, avaliada através da Autonomia de Luz Natural Espacial ($ALNe_{300/50\%}$), também apresenta valores mais elevados para as orientações Leste e Oeste. Observa-se, ainda, que a latitude influenciou de forma significativa, pois os resultados demonstraram reduções que levaram ao comprometimento do desempenho luminoso em latitudes mais altas, em determinadas situações, o que corrobora os resultados inferiores encontrados de EMA nessas localidades.

Com relação a Uniformidade Média Anual (UMA), constata-se que as orientações Leste e Oeste apresentam valores menores de uniformidade devido a incidência direta do sol e sua relação inversa com a uniformidade. Pelo mesmo motivo, as orientações Norte e Sul obtiveram valores de uniformidade mais altos. Observa-se ainda, que o movimento aparente do sol mais ao Norte em latitudes mais altas, não interfere na uniformidade do local, pois não houve diferença significativa entre as cidades para cada orientação.

Desse modo, como esperado, as orientações compatíveis com o movimento aparente do sol (Leste e Oeste) demonstraram maiores resultados de $ESA_{1000,250h}$, visto que o referido indicador avalia o potencial desconforto proporcionado pela incidência direta do sol, entretanto a orientação NO também obteve altos valores. Além disso, latitudes mais baixas apresentaram números mais altos, quando comparadas às latitudes mais altas.

Ademais, é possível observar, ainda, que o beiral existente na edificação padronizada, o qual é mantido em todas as localidades, foi o suficiente para proteger da incidência direta do sol em latitudes mais altas, onde a trajetória aparente solar acontece mais ao norte, de acordo

com os parâmetros estabelecidos pela LM-83-12 (IES, 2012), visto que as referidas localidades mantiveram a classificação de aceitável, na supracitada orientação (Norte).

4.6.2 Avaliação da interferência do Ângulo Vertical de Obstrução no aproveitamento da luz natural no ambiente interno em diferentes latitudes.

As diferentes possibilidades de contexto urbano, onde a edificação padronizada pode ser inserida, são avaliadas através de diferentes AVOs formados por diferentes alturas de edificações obstruidoras, sendo a avaliação da interferência do Ângulo Vertical de Obstrução (AVO) no aproveitamento da luz natural no ambiente interno em diferentes latitudes, realizada para 5 diferentes AVOs: 0° (sem edificação obstruidora), 26° 44°, 56° e 63°. Constata-se, como esperado, que a obstrução da abóboda celeste causada por maiores AVOs resulta em menores valores de Iluminância Média Anual (EMA). Essa redução, em conjunto com uma menor disponibilidade de luz natural em maiores latitudes, gerou prejuízos no desempenho luminoso do ambiente em estudo em AVOs a partir de 26°. Edificações obstruidoras mais altas resultaram em uma redução mais expressiva da área do ambiente em estudo que atingiu 300lx por pelo menos 50% das horas analisadas nas cidades de Vitória e Porto Alegre, as quais passaram de preferível para classificação abaixo de aceitável, segundo a LM-83-12 (IES, 2012).

Os resultados de Uniformidade Média Anual (UMA) demonstraram que a obstrução de parte da trajetória solar aparente causada por maiores AVOs resultou em valores mais altos de UMA. Além disso, é possível observar que não há diferença significativa dentre as latitudes, para o referido indicador.

Em consequência dessa obstrução, constata-se uma redução significativa dos valores encontrados para o indicador Exposição Solar Anual ($ESA_{1000,250h}$), de forma que maiores AVOs provocaram uma redução expressiva no potencial desconforto causado pela incidência direta dos raios solares no ambiente em estudo, pois, a partir de um AVO de 56°, todas as situações se apresentaram como aceitáveis, de acordo com a LM-83-12 (IES, 2012).

5 CONCLUSÕES

Esse trabalho avaliou a influência da latitude no aproveitamento da luz natural em sala de aula de projeto padrão. Para tanto, buscou-se investigar a interferência de diferentes orientações das aberturas, bem como do Ângulo Vertical de Obstrução (AVO) na disponibilidade de luz natural no ambiente interno em diferentes latitudes. Para isso, foram definidos diferentes cenários, com base no ângulo vertical de obstrução: Sem edificação obstruidora (0°), 26° , 44° , 56° e 63° ; selecionadas quatro diferentes cidades: Macapá, Maceió, Vitória e Porto Alegre; e oito orientações: N, NE, L, SE, S, SO, O e NO. Os resultados foram obtidos através de simulação computacional do software TropLux 8, que se mostrou adequado para o desenvolvimento da presente pesquisa, permitindo a modelagem dos diferentes cenários propostos, bem como a simulação nas diferentes cidades e orientações selecionadas. Além disso, o programa simplificou a extração dos resultados de acordo como os indicadores utilizados para avaliação do desempenho da luz natural admitida: EMA, UMA, e $ESA_{1000/250h}$.

Com relação à investigação para diferentes orientações das aberturas na disponibilidade de luz natural no ambiente interno em diferentes localidades, foi possível constatar que, em todas as cidades, as orientações compatíveis com a trajetória solar aparente (Leste e Oeste) apresentaram maiores valores de EMA e, conseqüentemente, menores valores de UMA e maior suficiência de luz natural de acordo com os parâmetros estabelecidos pela LM-83-12 (IES, 2012) para o indicador de desempenho $ALNe_{300/50\%}$. O posicionamento do sol também interferiu nos resultados de $ESA_{1000,250h}$, de forma que as orientações O e NO se mostraram mais propensas ao desconforto causado pela incidência direta dos raios solares no ambiente. Em contrapartida, as orientações Norte e Sul apresentaram os menores valores de EMA e $ALNe_{300/50\%}$ e maiores de UMA, devido à relação com a posição aparente do sol e a sua influência na uniformidade do ambiente. Destaca-se que a orientação Leste não apresentou propensão ao potencial desconforto, avaliados através de $ESA_{1000,250h}$, tão alta como a NO. Além disso, observou-se que as regiões de latitudes mais baixas (Macapá e Maceió) apresentaram valores mais altos de EMA, $ALNe_{300/50\%}$, e $ESA_{1000,250h}$, com relação às latitudes mais altas (Vitória e Porto Alegre), não apresentando diferenças significativas de UMA entre as cidades para cada orientação.

A respeito da avaliação da interferência do Ângulo Vertical de Obstrução (AVO) no aproveitamento da luz natural no ambiente interno em diferentes latitudes, confirmou-se que a obstrução da parcela de céu visível resultou em uma diminuição significativa em EMA e

ALNe_{300/50%}, de forma que comprometeu a suficiência luminosa do ambiente quando relacionado altas latitudes e AVOs a partir de 26°, de modo que quanto maior o AVO, maior o prejuízo com relação ao desempenho luminoso do ambiente.

Em contrapartida, a utilização de edificações obstruidoras mais altas (maiores AVOs) resultou em um ganho de uniformidade no ambiente interno com AVOs a partir de 44°, devido à obstrução da trajetória aparente do sol e à contribuição da luz refletida nas superfícies das edificações circunvizinhas. Essa relação com a trajetória aparente do sol também pôde ser observada no potencial desconforto, avaliado através do ESA_{1000,250h}, o qual foi, significativamente, reduzido com AVOs mais altos em todas as localidades. Entretanto, observou-se que, nas cidades de maior latitude foi necessário um AVO mais baixo (a partir de 26°) para uma significativa redução, enquanto em latitudes menores foi necessário edificações obstruidoras mais altas (AVO a partir de 44°).

Dessa forma, através da análise dos resultados, foi possível confirmar e quantificar a redução nos valores na disponibilidade de luz natural no interior do ambiente à medida que a cidade se afasta da linha do equador. Em geral, as orientações O e NO obtiveram resultados mais altos e maiores alterações com relação a inserção das edificações obstruidoras, passando de insatisfatório, no cenário base (cenário proposto 1), para aceitável, no cenário proposto 5, com relação aos indicadores de EMA e ESA_{1000,250h}. Já as orientações N e NE sofreram maior influência da presença das edificações obstruidoras para o indicador de desempenho ALNe_{300/50%}, pois apresentaram maiores reduções nos valores obtidos (de 5% a 52,4%), passando de preferível para abaixo de aceitável, em latitudes mais altas.

Portanto, este trabalho conseguiu observar uma importante relação entre as condições de disponibilidade de luz natural local e o desempenho luminoso no ambiente interno, de forma a acrescentar subsídios para a discussão quanto à utilização de projetos padronizados e às suas possibilidades de adequação à localidade.

Diante do apresentado, constata-se que a utilização de um projeto arquitetônico em todo o território nacional, sem opções de adaptabilidade em relação às condições luminosas da localidade, gera prejuízos no desempenho luminoso do ambiente. Logo, a questão econômica a respeito da implantação de um mesmo projeto em todo o Brasil se mostra contraditória, pois, apesar de gerar economia no sistema construtivo e burocrático, a falta de adaptabilidade às condições locais pode onerar as despesas públicas com energia elétrica e comprometer o desempenho luminoso para o desenvolvimento das atividades propostas no estabelecimento.

Salienta-se que este trabalho não incentiva a utilização ou rejeição de projetos padronizados, mas verifica necessidade de busca por opções de adaptabilidade eficientes de projetos padrões, pois compreende-se a necessidade nacional de ampliação da rede pública escolar infantil com uma redução de custo, ou seja, compreende-se que o uso de projetos padrão possui importância financeira e funcional para o governo e para o país. Assim, a adequação eficiente de projetos padrões torna-se uma alternativa para melhorar as condições ambientais luminosas do estabelecimento. Para isso, é necessário um conhecimento prévio das condições naturais e urbanas que interferem no desempenho luminoso no ambiente interno, o qual, auxilia nas tomadas de decisões projetuais adequadas às necessidades locais

Dessa forma, ressalta-se a relevância de se levar em consideração as particularidades da localidade, da orientação e do entorno ao inserir uma edificação em determinado local como forma de alcançar melhores condições ambientais, visto que tais particularidades influenciam significativamente nas características da luz natural admitida no interior do ambiente.

A avaliação de desempenho luminoso em projetos padrão ainda necessita de amplos estudos acerca de possíveis soluções de adaptabilidade às diferentes regiões. Dentro desse aspecto, ressalta-se o uso de ferramentas computacionais como recursos que facilitam esse tipo de estudo e possibilitam verificações acerca de diversas possibilidades.

5.1 Limitações da pesquisa e sugestões de trabalhos futuros

Algumas questões podem ser apontadas no sentido de identificar aspectos que limitam a abrangência e/ou aplicabilidade dos resultados obtidos. São elas:

- O estudo limita-se à simulação de um único modelo de sala de aula presente em uma tipologia de projeto padrão do Proinfância;
- Limita-se, também, a apenas uma configuração de entorno construído, com três edificações obstruidoras, as quais foram trabalhadas com diferentes alturas;

Em complemento a temática abordada neste trabalho, é possível o desenvolvimento de outros estudos pertinentes, são eles:

- Abordar a influência de outros tipos de vidros e de materiais, com diferentes refletâncias, das superfícies internas e externas à edificação em estudo;
- Desenvolver propostas de adaptabilidade, referentes ao aproveitamento da luz natural, para diferentes localidades;

- Correlacionar o desempenho luminoso com a eficiência energética;
- Desenvolver estudos referentes a outras questões pertinentes ao desempenho luminoso, como aprofundar o estudo sobre o ofuscamento;
- Pode-se, ainda, avaliar diferentes configurações de entorno construído.

REFERÊNCIAS

AI, Q. **The impact of overhang length, window orientation, and climate on spatial daylight autonomy (sda) and annual sunlight exposure (ase) for a classroom.** 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Architectural Engineering, Pennsylvania State University, Filadélfia, 2016.

ALMEIDA, M. B. C. **Uma análise da implantação e da funcionalidade dos projetos padrão do FNDE:** a experiência das escolas infantis tipo “b” do Proinfância em Natal/RN. 2018. 233 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

ALMEIDA, M.; RUIZ, R.; GRAÇA, V. Iluminação natural e saúde em salas de aula: a melhoria do desempenho ambiental através do controle da radiação solar direta no IFSP-SP. **Sinergia: Revista Científica do Instituto Federal São Paulo**, São Paulo, v. 13, n. 1, p.42-53, jan. 2012.

AMORIM, C. N. D. Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte I: Estratégias de Projeto para uma Arquitetura Sustentável. **Periódico eletrônico em Arquitetura e Urbanismo Paranoá**, Brasília, v. 4, 2002.

ARAÚJO, I. A.; CABÚS, R. C. Influência da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios em cânions urbanos no trópico úmido. In: ENCONTRO NACIONAL, 9. E LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5, 2007, Ouro Preto. **Anais...** Porto Alegre: Antac, 2007. p. 86 - 95.

ASSIS, E.S; VALADARES, V. M.; SOUZA, R. V. G. Bases para a determinação dos recuos e volumetria dos edifícios, considerando a insolação e iluminação natural, na revisão da lei de uso e ocupação do solo de Belo Horizonte. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3, ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1 Gramado. **Anais...** Porto Alegre: Antac, 1995.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1:** Iluminação de Ambientes de Trabalho - Parte 1:Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 15215-1:** Iluminação Natural Parte 2: procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **NBR 15215-2:** Iluminação Natural Parte 2: procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2003b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-3:** Iluminação Natural Parte 3: procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2003c.

_____. **NBR 15215-4:** Iluminação Natural Parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - método de medição. Rio de Janeiro, 2004d.

_____. **NBR 15575-1:** Edificações Habitacionais – Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

AZEVEDO, G. A. N. et al. **Padrões de Infra-estrutura para as Instituições de Educação Infantil e Parâmetros de Qualidade para a Educação Infantil.** 2004. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/infra.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2019.

BAKER, N; STEEMERS, K. **Daylighting design of buildings.** Londres: James & James Editors, 2002.

BARROS, L. A. F.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. Avaliação de projeto padrão de creche em conjuntos habitacionais de interesse social: o aspecto da implantação. In: NUTAU NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DA ARQUITETURA E URBANISMO, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2002. p. 242-252.

BARROS, L. A. F. **Avaliação de projeto padrão de creche em conjuntos habitacionais de interesse social: o aspecto da implantação.** 2002. 208 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, 2002.

BERTOLOTTI, D. **Iluminação natural em projetos de escolas:** uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia. 2007. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares. Diretrizes para Arquitetos.** Maceió: Edufal, 2015.

BRASIL. Constituição Federal (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília, 1988.

_____. Constituição (1988). Emenda Constitucional nº 59, 11 de novembro de 2009. **Lex:** legislação federal e marginalia, Brasília, 2009.

BRASIL. Lei nº 13005, de 25 de junho de 2014. Aprova o Plano Nacional de Educação - PNE e dá outras providências. **Plano Nacional de Educação**. Disponível em: <<http://pne.mec.gov.br/18-planos-subnacionais-de-educacao/543-plano-nacional-de-educacao-lei-n-13-005-2014>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

BOYCE, P. R. **Human Factors in Lighting**. Londres: Taylor & Francis, 2003.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sun, Wind & Light**. 2. ed. New York: John Wiley And Sons, 2001.

CABÚS, R. C. **Tropical Daylighting: predicting sky types and interior illuminance in Northeast Brazil**. 2002. 288p. Tese (Doutorado em Arquitetura) - University of Sheffield. Sheffield, England, 2002.

_____. TropLux: Um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4. ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2005, Maceió. **Anais do VIII encontro nacional sobre conforto no ambiente Construído**. Porto Alegre: ANTAC, 2005. p. 240 - 249.

CAPELUTO, I. G. The influence of the urban environment on the availability of daylighting in office buildings in Israel. **Building And Environment**, [s.l.], v. 38, n. 5, p.745-752, maio 2003.

CARVALHO, M. L. S. **Eficiência da luz solar refletida e desempenho de dispositivos de sombreamento: estudo para salas de aula na cidade de Maceió**. 2018. 196 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

CINTRA, M. S. **Arquitetura e luz natural: a influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais**. 2011. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

CIE - COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **Spatial distribution of daylight - CIE standard general sky**. Vienna, 2002.

DORIGO, A. L.; KRÜGER, E. L. Uso de Dispositivos de Sombreamento em Salas de Aula – Avaliação de Método Proposto por Olgyay. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Porto Alegre: Antac, 2007. p. 580-589.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energético de edificações. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TINTAS, 10. 2007, São Paulo. **Anais do X Congresso Internacional de Tintas**. São Paulo: ABRAFATI, 2007.

DUBOIS, M. Shading devices and daylight quality: an evaluation based on simple performance indicators. **Lighting, Research and Technology**, n. 35, p. 61-76, 2003.

EDWARDS, L.; TORCELLINI, P. Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants. **National Renewable Energy Laboratory**, [s.l.], 54 p., 1 jul. 2002. Office of Scientific and Technical Information (OSTI).

ELALI, G. A. **Ambientes para Educação Infantil: um quebra cabeça**: Contribuição metodológica na avaliação pós-ocupação de edificações e na elaboração de diretrizes para projetos arquitetônicos na área. 2002. 582 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FROTA, A. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

FROTA, A.; SCHIFFER, S. **Manual do conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

FUNDESCOLA. **Espaços educativos ensino fundamental: subsídios para colaboração de projetos e adequação de edificações escolares – cadernos técnicos 4**, v. 2. Brasília: Ministério da Educação, 2002.

FNDE - FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. **Programa Proinfância**. Disponível em: <<http://www.fnde.gov.br/programas/proinfancia>>. Acesso em: 05 maio 2019.

_____. **Projeto Arquitetônico Tipo B - Proinfância/FNDE**. Brasília-DF: FNDE. 2013. Disponível em: <<https://www.fnde.gov.br/programas/proinfancia/eixos-de-atuacao/projetos-arquiteticos-para-construcao/item/4816-tipo-b>>. Acesso em: 10 de agosto de 2019.

_____. **Memorial descritivo do Projeto Proinfância Tipo B**. 2013. Disponível em: <<http://www.fnde.gov.br/programas/proinfancia/eixos-de-atuacao/projetosarquiteticos-para-construcao/item/4816-tipo-b>>. Acesso em: 10 de agosto 2019.

_____. **Manual descritivo para aquisição de mobiliário**: Implantação da escola de ensino infantil tipo B e tipo C. Brasília: FNDE, 2013. Disponível em:

<http://www.fnde.gov.br/programas/proinfancia/eixos-de-atuacao/mobiliario-e-equipamentos>
Acesso em: 10 de setembro 2019.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. Canadá: Wiley, 1998.

HANSEN, D. et al. **National best practice manual**. Washington, DC. 2007

HOPKINSON, J; PETHERBRIDGE, P; LONGMORE, J. **Iluminação natural**. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975. Tradução de Antônio Sarmiento Lobato de Faria.

IES - ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY. **LM-83-12: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. Nova York: IES, 2012.

_____. **The Lighting Handbook: reference & applications**. 10º edição. New York: IES, 2011.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas do Brasil - 1981-2010**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 28 out. 2019.

JOVANOVIĆ, A. et al. Importance of building orientation in determining daylighting quality in student dorm rooms: Physical and simulated daylighting parameters values compared to subjective survey results. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 77, p.158-170, jul. 2014.

KLOSINSKI, D. V. **Uma avaliação da implementação do programa Proinfância em Erechim: a política dos espaços escolares**. 2016. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Educação, Programa de Mestrado em Educação, Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, 2016.

KOENIGSBERGER, O. H. et al. **Viviendas y edificios en zonas calidas y tropicales**. Madrid: Paraninfo, 1977.

KOWALTOWSKI, D. **Arquitetura escolar o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

KREMER, A. **A influência de elementos de obstrução solar no nível e na distribuição interna de iluminação natural**. 2002. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002.

LABEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: **Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN.** Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>>. Acesso em: 21 ago. 2019.

LAM, W. M. C. **Sunlighting as formgiver for architecture.** New York: Van Nostrand Reinold Company Inc., 1986.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.3.** Ed. Rio de Janeiro: Procel edifica. 2014.

LARANJA, A. C. **Parâmetros urbanos e a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno.** Rio de Janeiro, 2010. 242p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010.

LARANJA, A. C. et al. Análise das relações entre a geometria urbana e a orientação das aberturas na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo (PUCMG)**, v. 20, p. 151-167, 2013.

LARANJA, A.; FERREIRA, N.; ALVAREZ, C. Iluminação natural no ambiente interno e refletância das superfícies externas: análise a partir das curvas isolux. **Cadernos do Proarq**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 26, p.87-99, jun. 2016.

LEAL, L. Q. **A influência das variáveis de entorno e do edifício sobre as iluminâncias e o ofuscamento nos ambientes internos:** Um estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos em recorte urbano na cidade de João Pessoa/ PB. 2013. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

LEDER, S.; PEREIRA, F. R.; CLARO, A. Janela de céu preferível: proposição de um parâmetro para controle da disponibilidade de luz natural no meio urbano. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p.89-104, jan/mar. 2008.

LEDER, S. **Ocupação urbana e luz natural:** proposta de parâmetro de controle da obstrução do céu para garantia da disponibilidade à luz natural. 2007. 241 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

LI, D. H. et al. A study of the daylighting performance and energy use in heavily obstructed residential buildings via computer simulation techniques. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 38, n. 11, p.1343-1348, nov. 2006.

_____. Determination of vertical daylight illuminance under non-overcast sky conditions. **Building and Environment**, [s.l.], v. 45, n. 2, p.498-508, fev. 2010.

LIMA, R. C. **Interferência do entorno construído na disponibilidade de luz natural no interior do ambiente no litoral norte de Maceió - al.** Maceió, 2015. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado da Universidade Federal de Alagoas. 2015.

LINS, D. L. M. S. **A influência da varanda no aproveitamento da iluminação natural na arquitetura residencial vertical no trópico úmido.** 2018. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

MAIOLI, R. N. **Avaliação da influência do dispositivo prateleira de luz no conforto visual em edificação comercial com entorno obstruído.** 2014. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

MAIOLI, R. N.; TAUFNER, M. D.; ALVAREZ, C. E. La influencia de las repisas de luz en el aprovechamiento de la luz natural bajo obstrucción. **Revista de Arquitectura**, [s.l.], p.105-113, 2014.

MAJOROS, A. **Daylighting.** Brisbane: PLEA-Passive and Low Energy Architecture International/ Department of Architecture -University Queensland, 1998.

MARDALJEVIC, J.; HESCHONG, L. LEE, E. Daylight metrics and energy savings. **Lighting, Research and Technology**, n. 41, p. 1-23, 2009.

MARQUES, M. P. P. **Análise da eficiência de elementos de proteção solar em relação ao sombreamento e a iluminação natural estudo de caso: salas de aula do campus I da UFPB.** 2012. 199 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana e Ambiental, O Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

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

MORAES, O.; SCARAZZATO, P. S. Iluminação Natural no meio urbano: estudo de caso com o método dos indicadores de altura admissíveis aplicado a campinas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7. CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3. 2003, Curitiba. **Anais....** Curitiba, 2003.

MUNEER, T. **Solar Radiation and Daylight Models: for the Energy Efficient Design of Buildings.** Oxford: Architectural Press, 1997.

MUNOZ, C. et al. Climate-based daylighting analysis for the effects of location, orientation and obstruction. **Lighting Research & Technology**, [s.l.], v. 46, n. 3, p.268-280, jul. 2013.

NASCIMENTO, F. M. B; BATISTA, J. O. Avaliação do desempenho térmico da creche padrão do programa Proinfância através dos índices de conforto: estudo de caso na cidade de Maceió-AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, BALNEÁRIO DE CAMBORIÚ, 2017. **Anais...** Balneário de Camboriú, 2017.

NATALINO, M. L. R; ÁVILA, V. M. Avaliação pós-ocupação de projeto padrão Proinfância: uma abordagem multimétodos no CMEI – espaço da infância. In ENCONTRO NACIONAL DE ERGONOMIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6, SEMINÁRIO BRASILEIRO DE ACESSIBILIDADE INTEGRAL, 7, 2016, Recife, **Anais do ENEAC 2011 VI Encontro Nacional de Ergonomia do Ambiente construído e VII Seminário Brasileiro de acessibilidade Integral.** Recife, 2016.

NG, E. A study of the relationship between daylight performance and height difference of buildings in high density cities using computational simulation. In: INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION CONFERENCE, 9., 2005, Montreal, **Proceedings...** Montreal: IBPSA, 2005, p 847-852.

NG, E.; WONG, N. H. Better daylight and natural ventilation by design. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AN LOW ENERGY ARCHITECTURE, 21., 2004, Eindhoven, Netherlands. **Proceedings...** Eindhoven: PLEA, 2004.

OLIVEIRA, Z. M. R. **Educação Infantil: Fundamentos e Métodos.** 7. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

ORAL, G.I K.; YENER, A. K.; BAYAZIT, N. T. Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions. **Building And Environment**, [s.l.], v. 39, n. 3, p.281-287, mar. 2004.

PEGLOW, J. et al. Avaliação do conforto térmico de escola municipal de educação infantil em Pelotas/RS – ZB2. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016. p. 1354 - 1369.

PEREIRA, D. C. L. **Iluminação natural em edifícios de escritório: metodologia para a avaliação do desempenho luminoso.** 2017. 264 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

PEREIRA, R. C.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A. Caracterização da contribuição do entorno na avaliação da iluminação natural em edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 103-115, out./dez. 2008.

PEREIRA, F. O. R. Iluminação. **Apostila do curso de especialização em engenharia de segurança de trabalho.** CCT. Florianópolis: UFSC, 1994.

PEZZUTO, C.; LABAKI, L. Implantação de edifícios urbanos com ênfase no conforto térmico através do geoprocessamento. In: KOWALTOWSKI, D. et al. **O processo de projeto em arquitetura da teoria à tecnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011. p. 349-362.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Iluminação Natural e Artificial.** Rio de Janeiro. PROCEL, 2011.

QUIRINO, L.; VAZ, Y.; LEDER, S. Influência da altura da abertura e da profundidade do ambiente na iluminação natural em diferentes latitudes no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, BALNEÁRIO DE CAMBORIÚ, 2017, **Anais...** Balneário de Camboriú, 2017.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. **Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design.** [S.I.]: Leukos 3, v.3, n.1, p. 7 – 31, 2006.

RIBEIRO, S. L. Espaço escolar: um elemento (in)visível no currículo. **Sitientibus**, n. 31, p. 103-118, 2004.

RIBEIRO, P. V. S. **Sistemas avançados em iluminação natural: análise da influência da configuração urbana na aplicação do painel de corte a laser em Maceió.** Maceió, 2017. 127p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado da Universidade Federal de Alagoas. 2017.

RIBEIRO, P. V. S.; CABÚS, R. C. Análise da influência da malha de pontos em índices de avaliação de desempenho da luz natural. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 19, n. 4, p.317-333, dez. 2019.

ROBBINS, C. L. **Daylighting: Design and Analysis**. Van Nostrand Reinhold Co., NY, 1986.

SANOFF, H. **Creating environments for young children**. Ohio: BookMasters, 1995.

SCALCO, V. A.; PEREIRA, F. O. R.; RIGATTI, D. Impacto de novas edificações na vizinhança: Proposta de método para a análise das condições de iluminação natural e de insolação. **Ambiente Construído**. V.10, n.2, p. 173-189. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. INSS: 1415-8876. Porto Alegre: 2010.

SILVA, M. L. **Iluminação – Simplificando o Projeto**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda. 2009. 176 p.

SIMEC - SISTEMA INTEGRADO DE MONITORAMENTO EXECUÇÃO E CONTROLE. **Transparência Pública - Obras FNDE**. Disponível em: < <http://simec.mec.gov.br/painelObras/index.php> >. Acesso em: 25 de janeiro de 2019.

SOUZA, R. V. G. D. **Desenvolvimento de modelos matemáticos empíricos para a descrição dos fenômenos de iluminação natural externa e interna**. 2004. (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis.

SPAGNUOLO, et al. Conforto térmico de edifício escolar padrão Proinfância tipo B em três regiões bioclimáticas brasileiras distintas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, FOZ DO IGUAÇU. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

SUGA, M. **Avaliação Do Potencial De Aproveitamento De Luz Natural Em Cânions Urbanos**: Estudo Realizado Nos Eixos Estruturais De Curitiba. 2005. 213 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Federal de Educação Tecnológica do paraná Curitiba, 2005.

TREGENZA, P.; LOE, D. **The Design of lighting**. London: Spon press, 1998.

ÜNVER, R. et al. Effect of the facade alternatives on the daylight illuminance in offices. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 35, n. 8, p.737-746, set. 2003.

APÊNDICE A – Gráfico solar dos cenários propostos

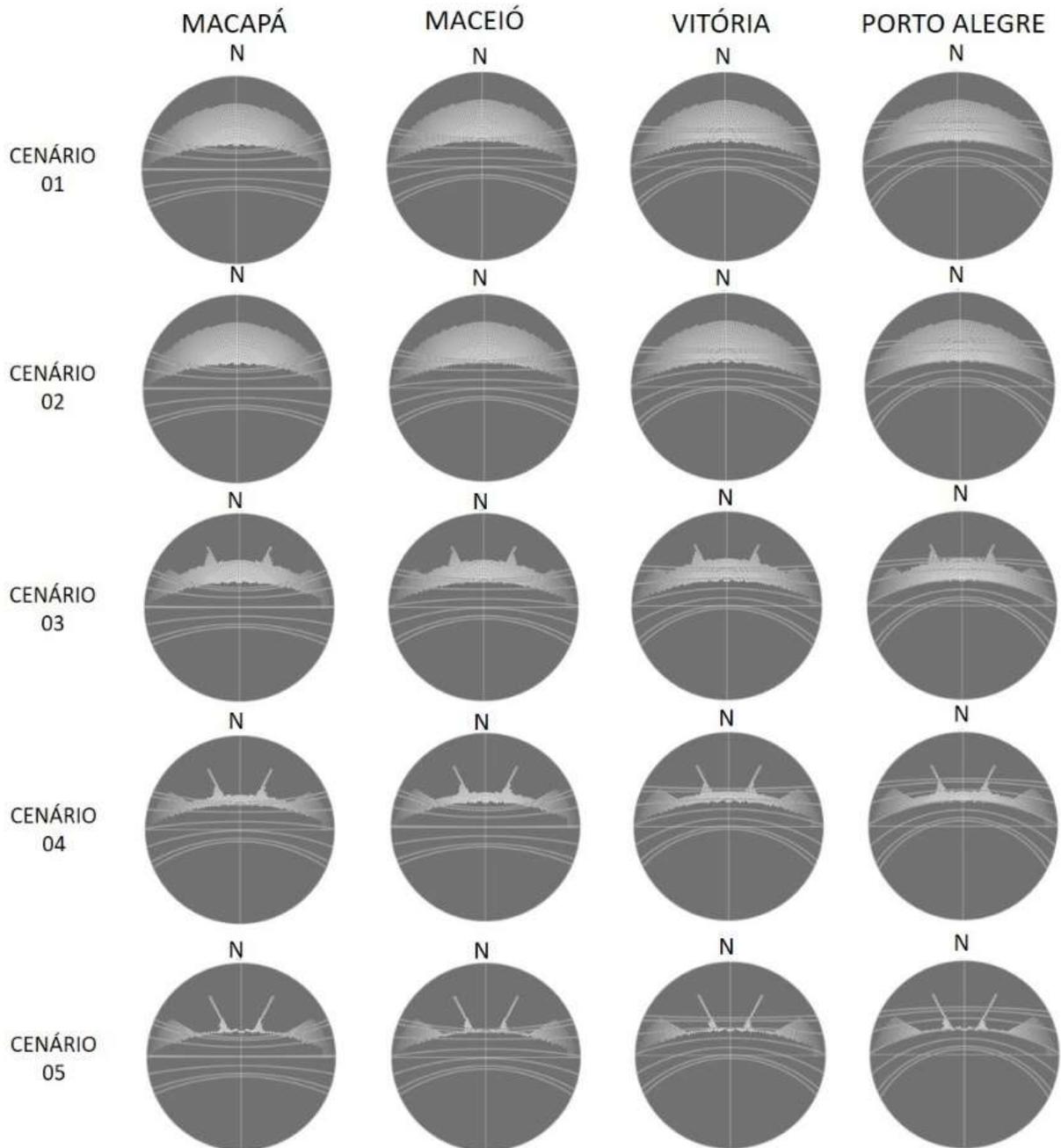


Gráfico Solar 1 – Norte
Fonte: Autora, 2019

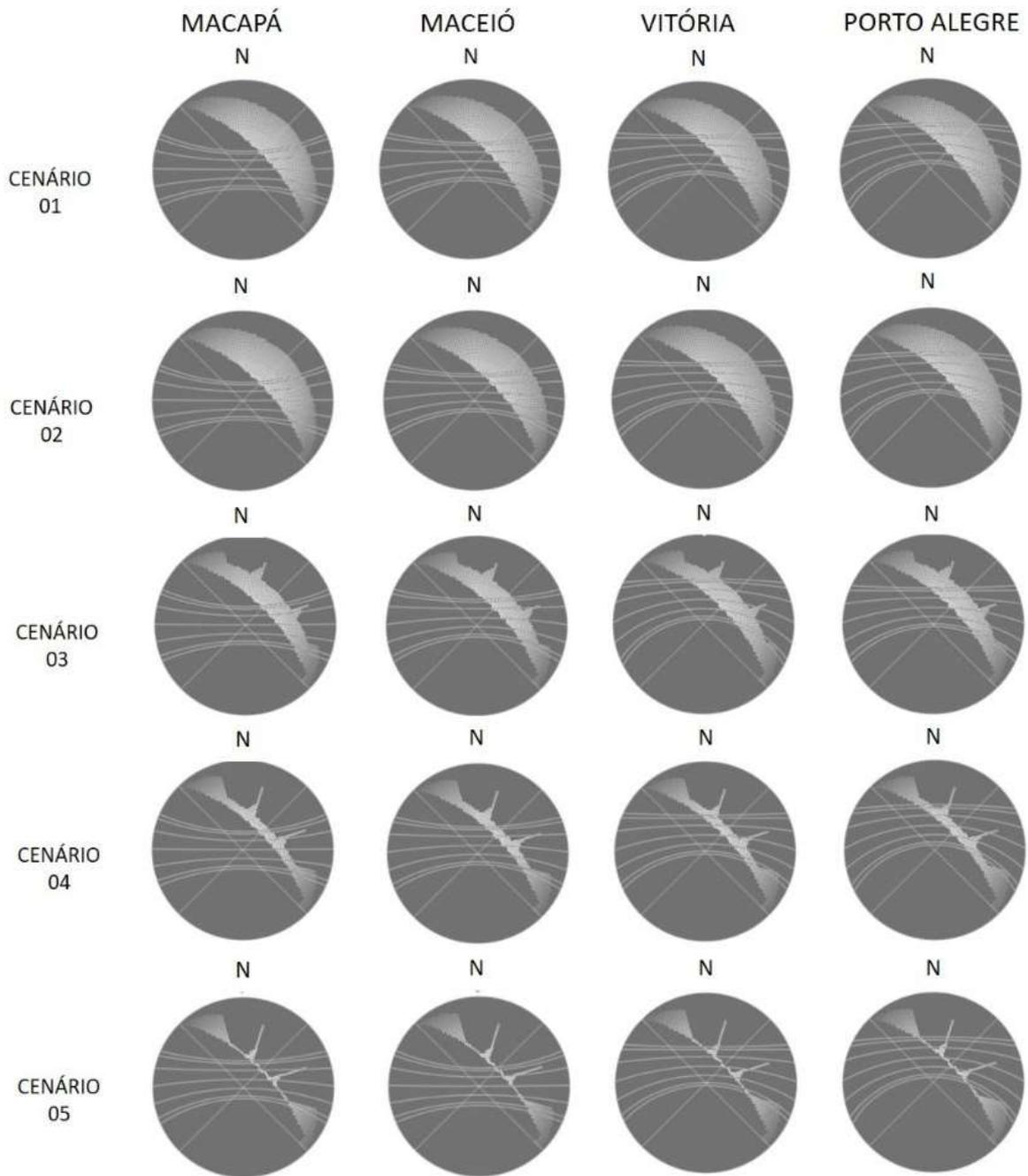


Gráfico Solar 2 – Nordeste
Fonte: Autora, 2019

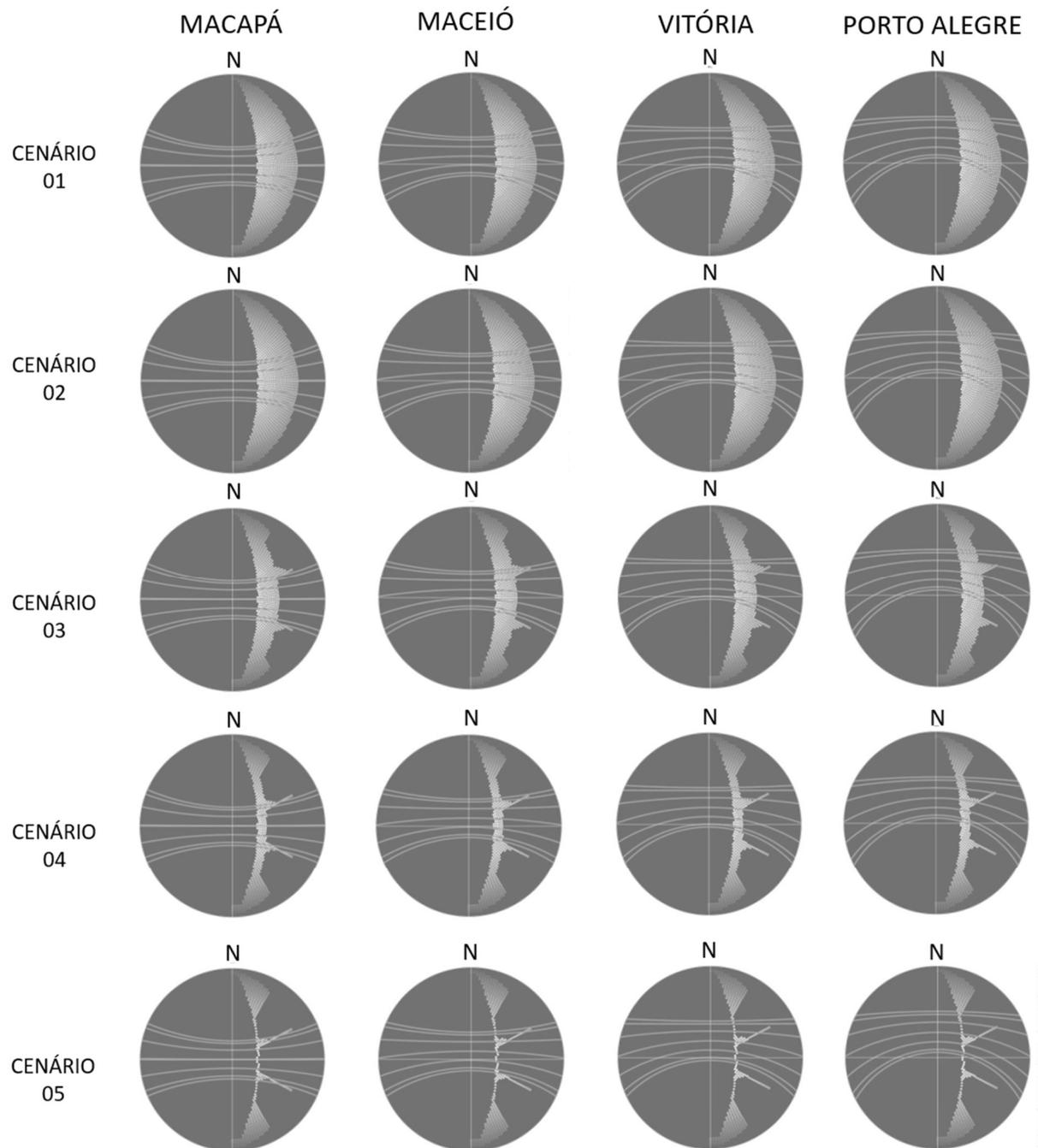


Gráfico Solar 3 – Leste
 Fonte: Autora, 2019

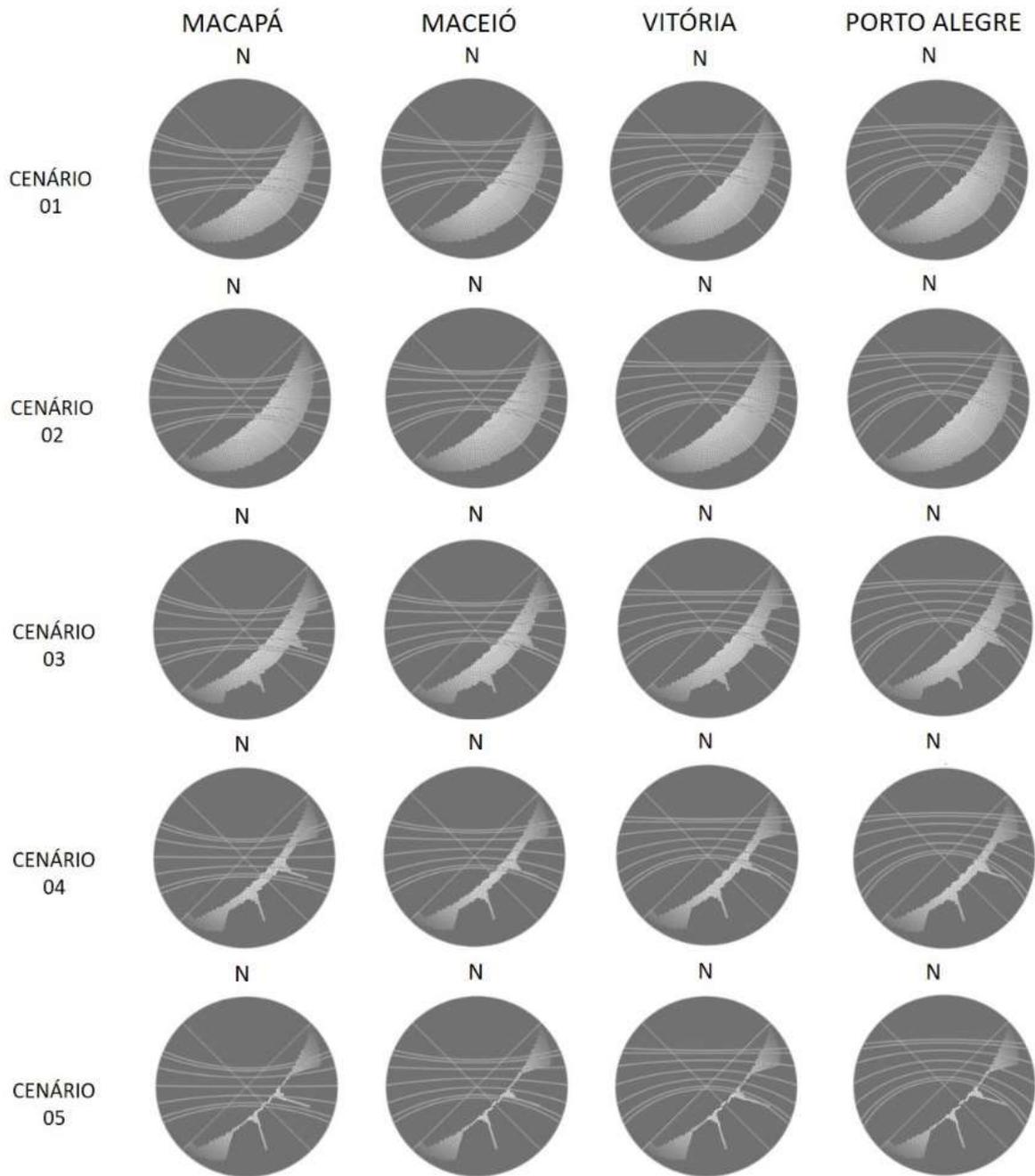


Gráfico Solar 4 – Sudeste
Fonte: Autora, 2019

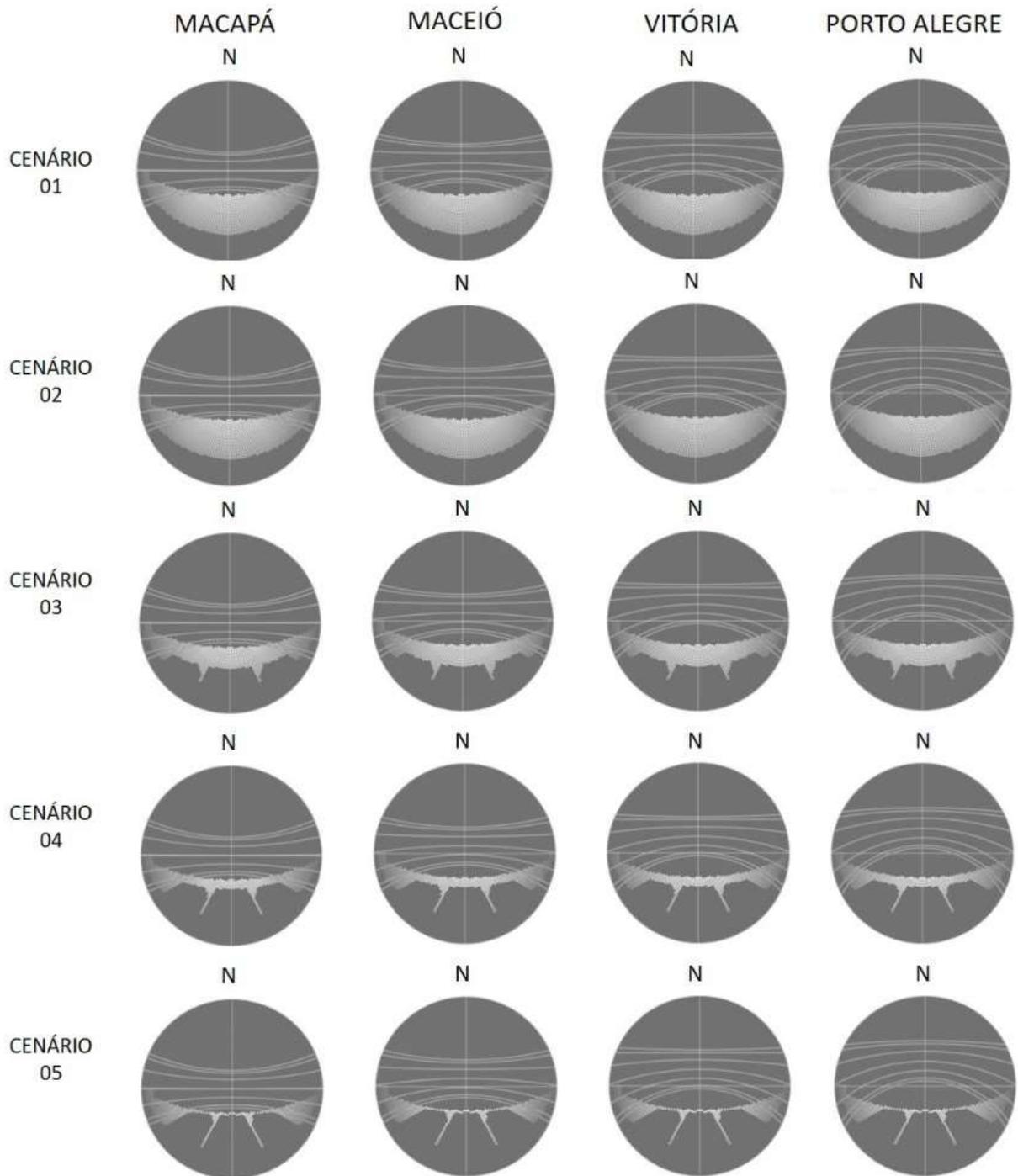


Gráfico Solar 5 – Sul
Fonte: Autora, 2019

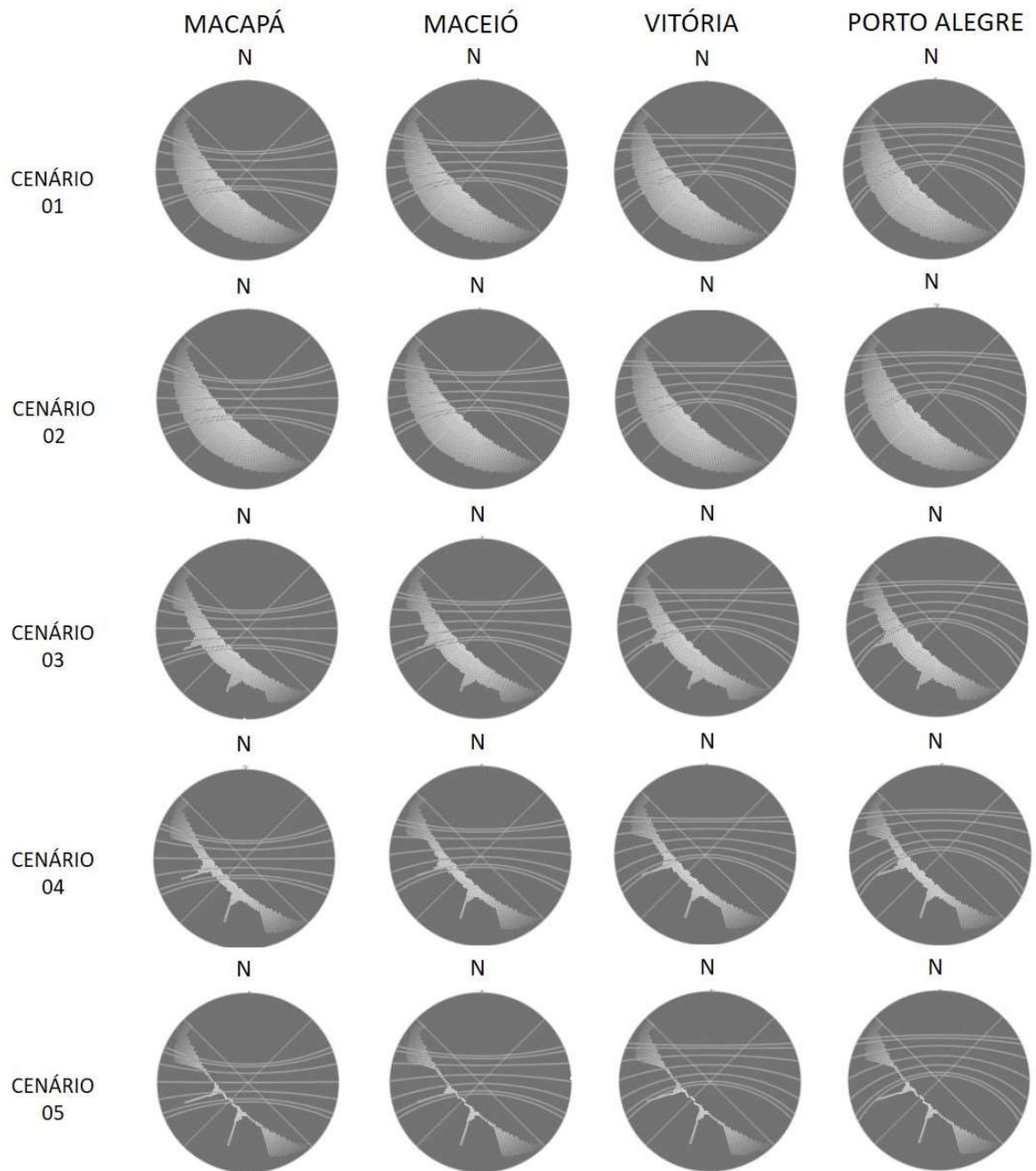


Gráfico Solar 6 – Sudoeste
Fonte: Autora, 2019

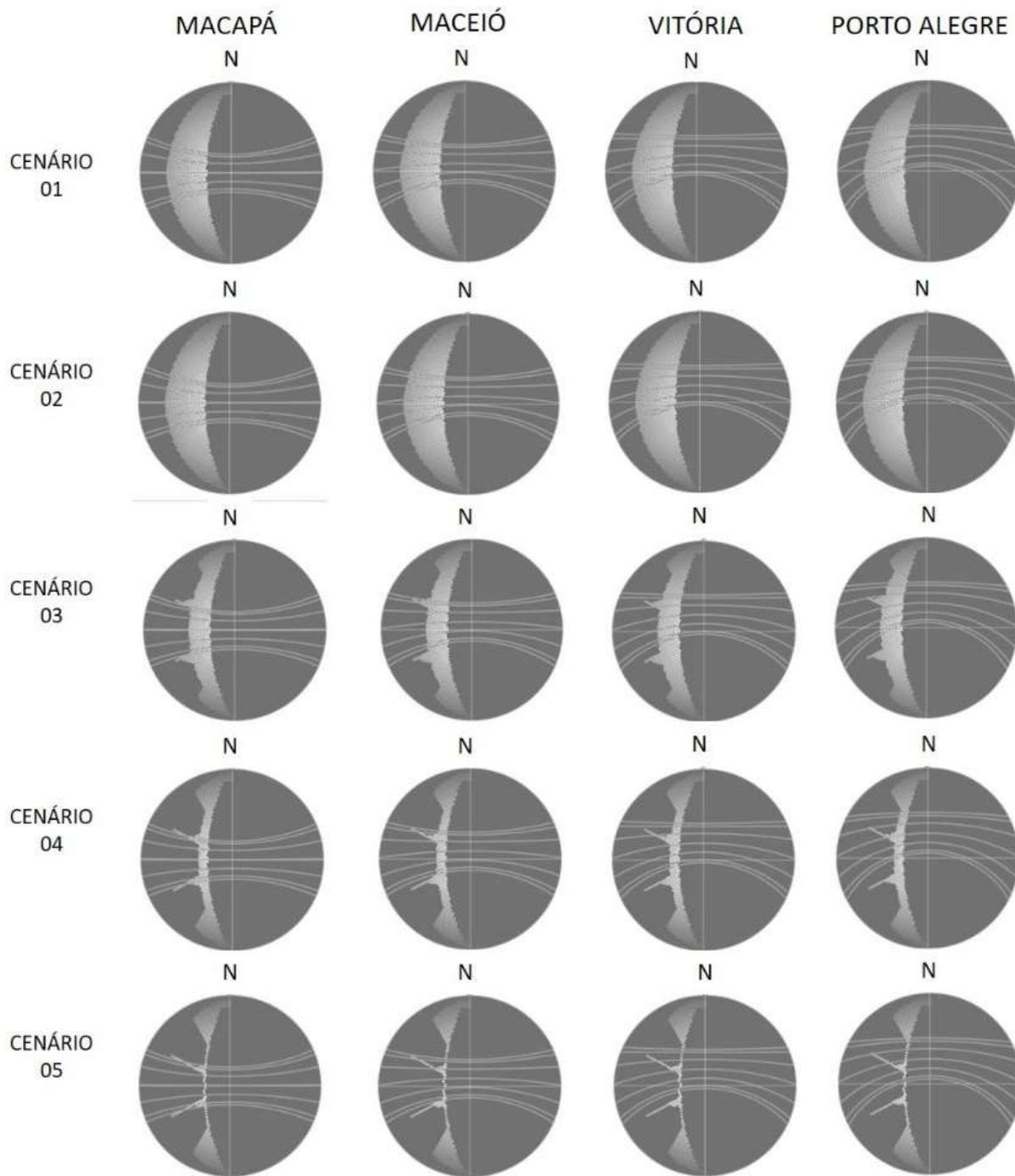


Gráfico Solar 7 – Oeste
Fonte: Autora, 2019

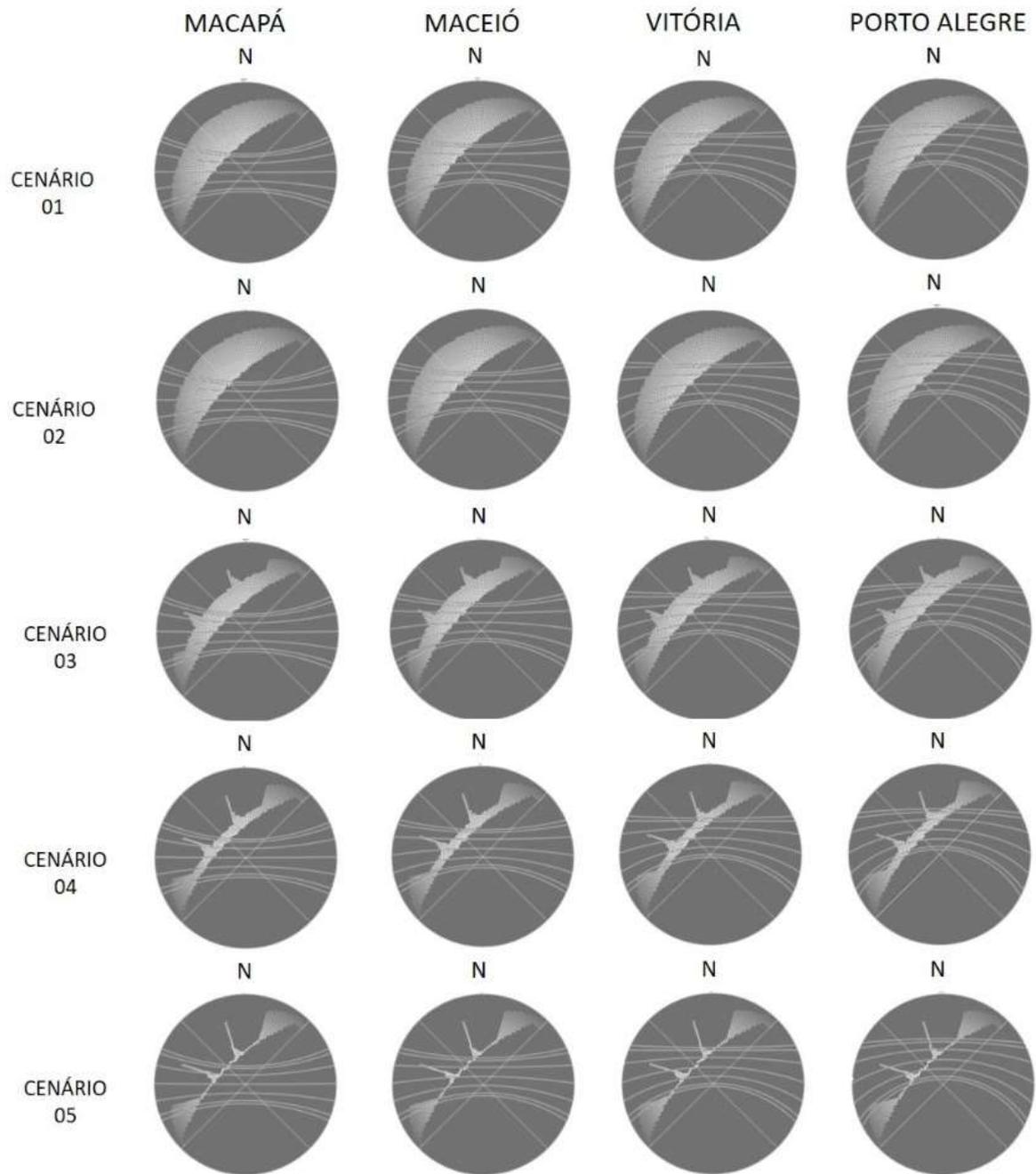


Gráfico Solar 8 – Noroeste
Fonte: Autora, 2019

APÊNDICE B – Gráfico comparativo entre modelos simulados

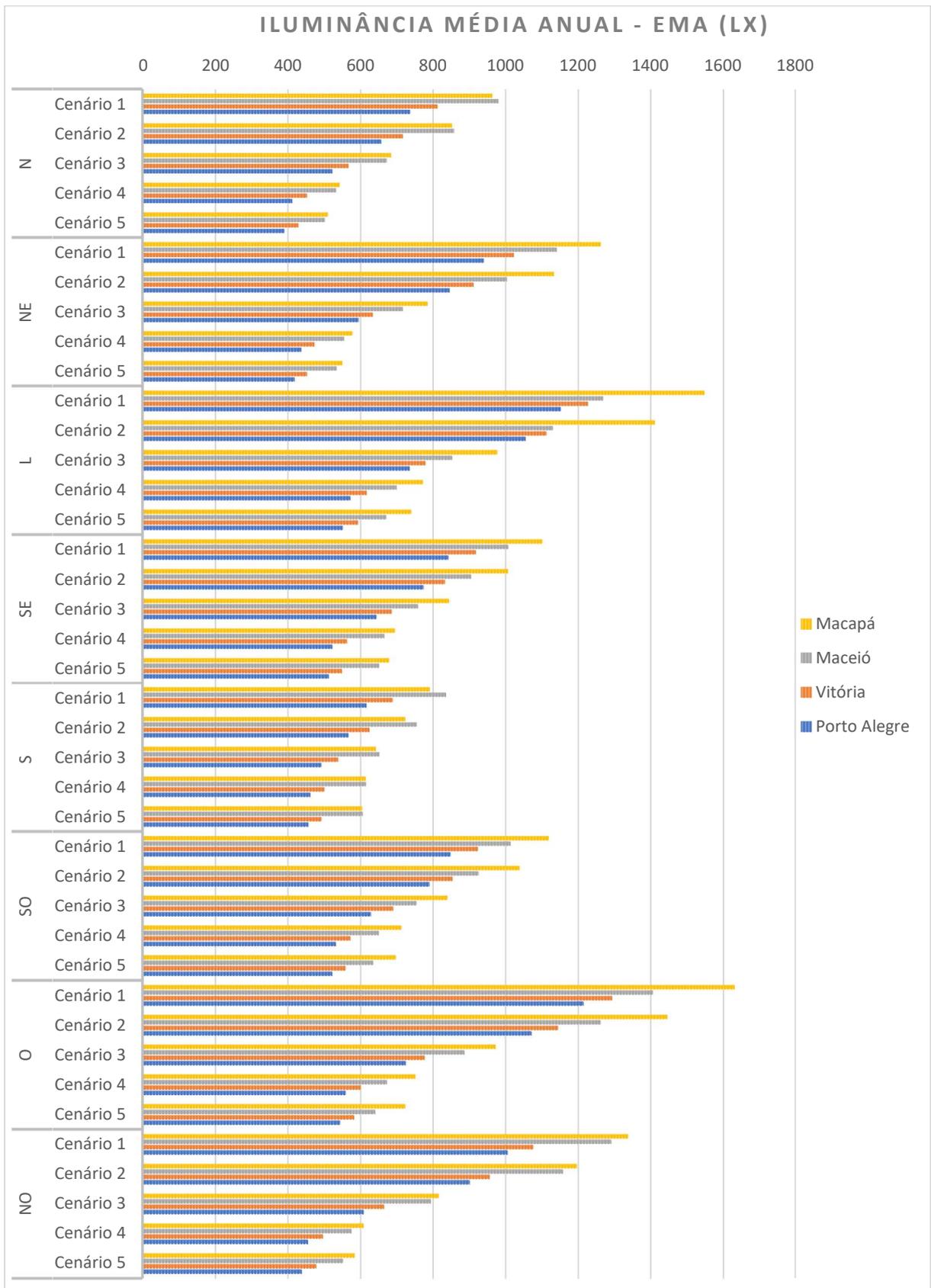


Gráfico 21 - Comparativo de Iluminância Média Anual entre os modelos
Fonte: Autora, 2019

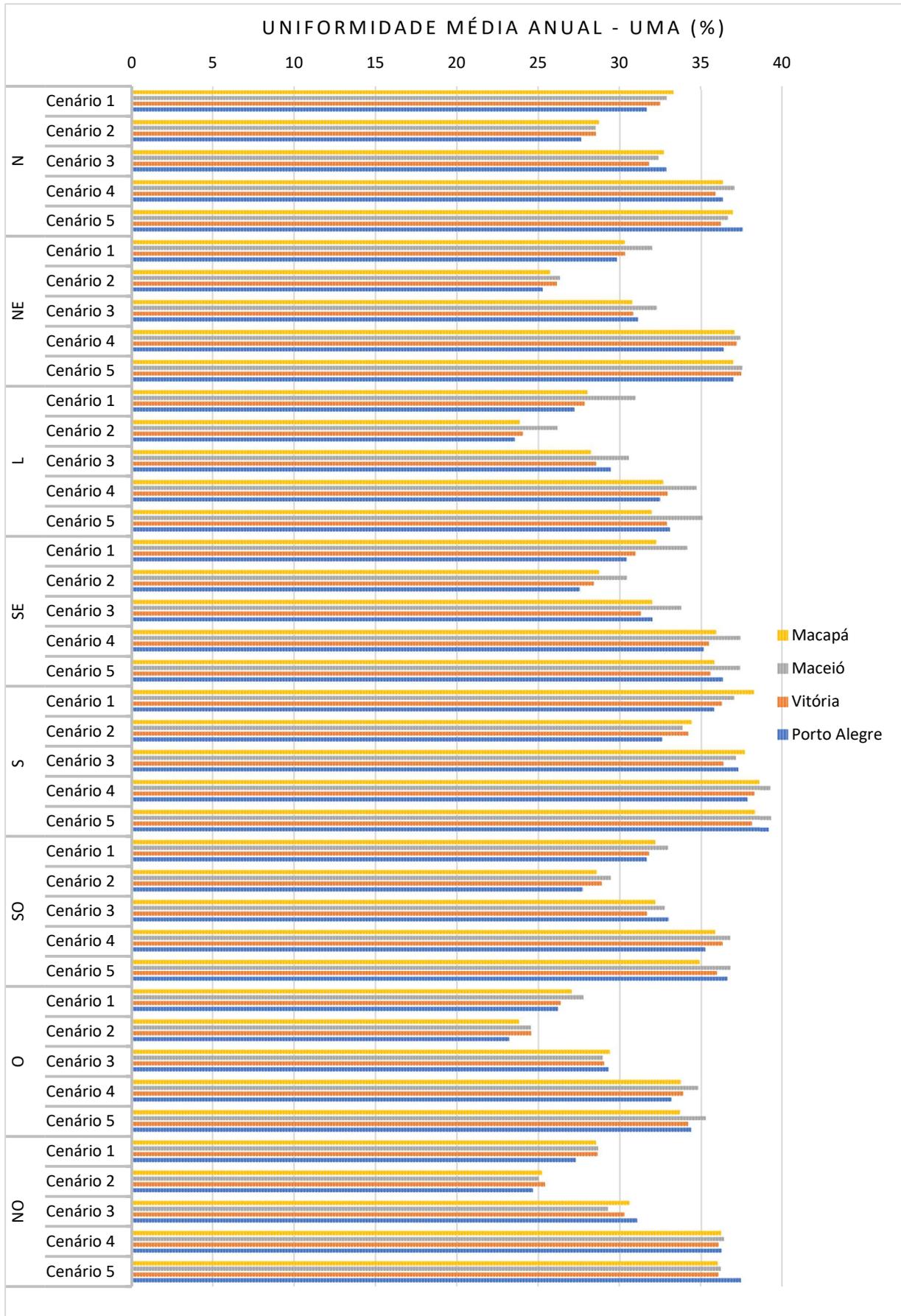


Gráfico 22 - Comparativo de Uniformidade Média Anual entre os modelos
 Fonte: Autora, 2019

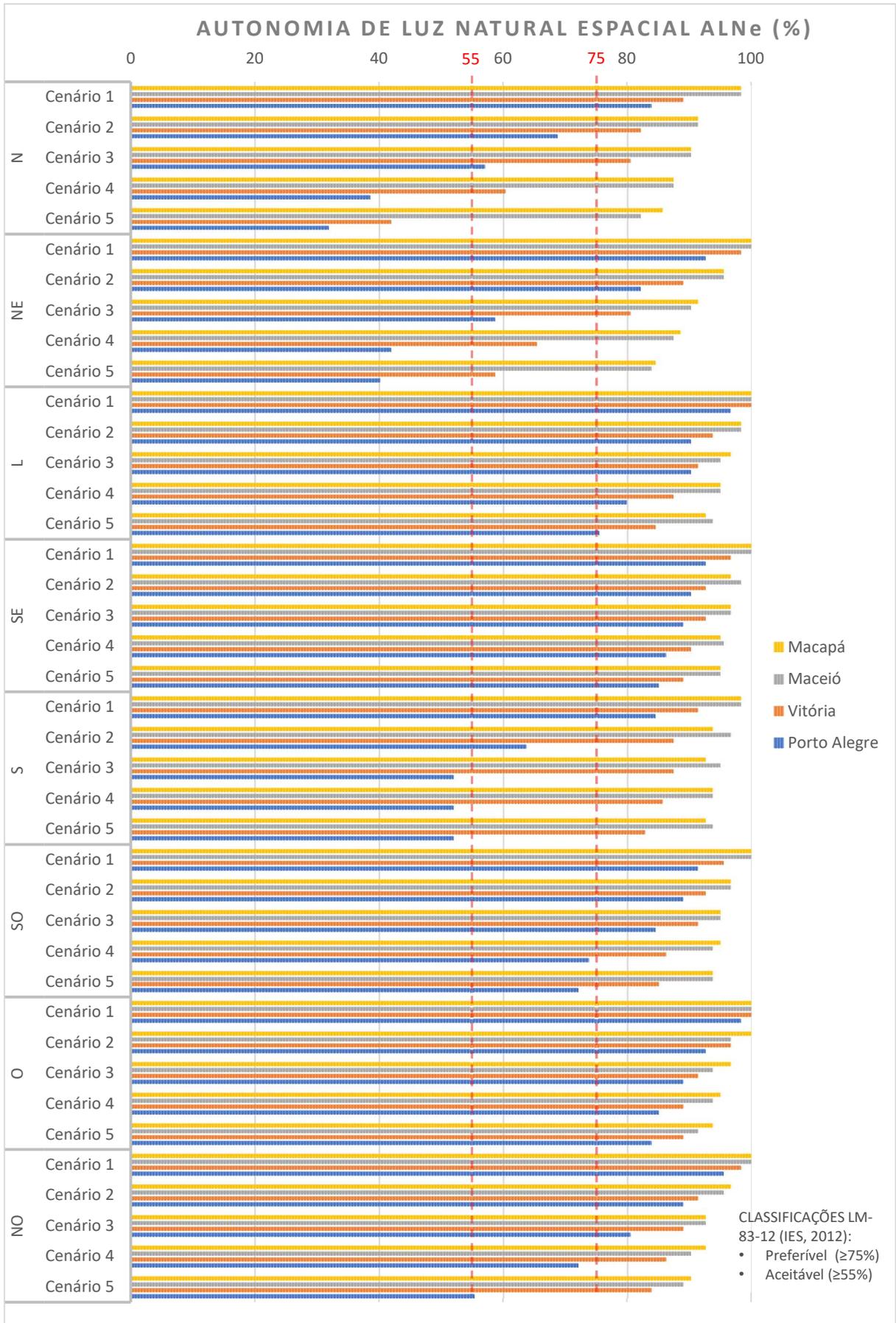


Gráfico 23 - Comparativo de Autonomia de Luz Natural Espacial entre os modelos
Fonte: Autora, 2019

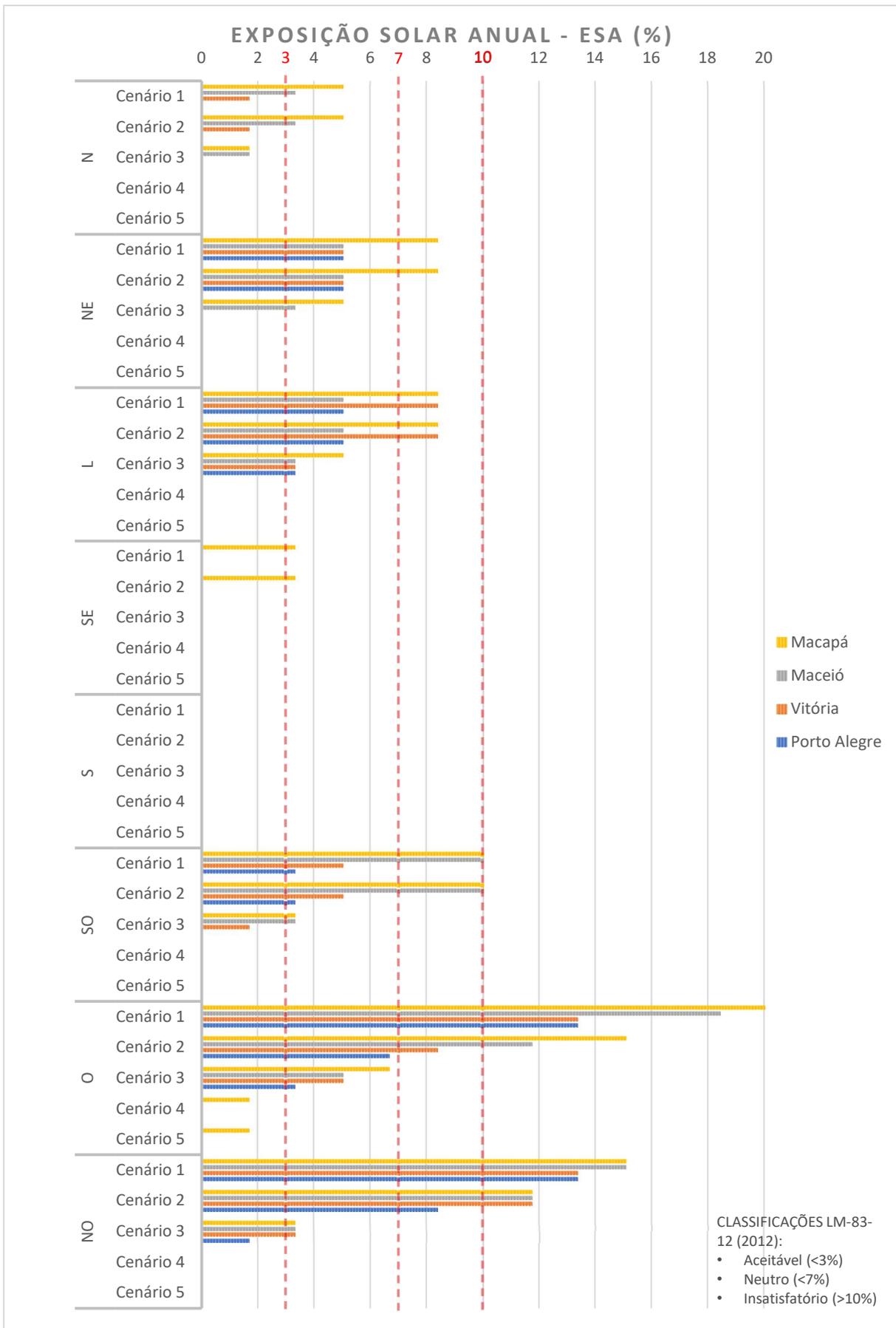


Gráfico 24 - Comparativo de Exposição Solar Anual entre os modelos
 Fonte: Autora, 2019