

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

STELLA BRUNORO HOPPE

**A INFLUÊNCIA DA LEGISLAÇÃO URBANA NA
ILUMINAÇÃO NATURAL DE EDIFÍCIOS:**
UM ESTUDO DE CASO EM DOMINGOS MARTINS - ES

VITÓRIA
2016

STELLA BRUNORO HOPPE

**A INFLUÊNCIA DA LEGISLAÇÃO URBANA NA
ILUMINAÇÃO NATURAL DE EDIFÍCIOS:
UM ESTUDO DE CASO EM DOMINGOS MARTINS - ES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof^a Dr^a Cristina Engel de Alvarez
Coorientadora: Prof^a Dr^a Andréa Coelho Laranja

VITÓRIA
2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

H798i Hoppe, Stella Brunoro, 1988-
A influência da legislação urbana na iluminação natural de edifícios : um estudo de caso em Domingos Martins-ES / Stella Brunoro Hoppe. – 2016.
158 f. : il.

Orientador: Cristina Engel de Alvarez.
Coorientador: Andréa Coelho Laranja.
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes.

1. Iluminação natural. 2. Direito urbanístico. 3. Simulação (Computadores). 4. Planejamento urbano – Domingos Martins (ES). I. Alvarez, Cristina Engel de. II. Laranja, Andréa Coelho. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Artes. IV. Título.

CDU: 72

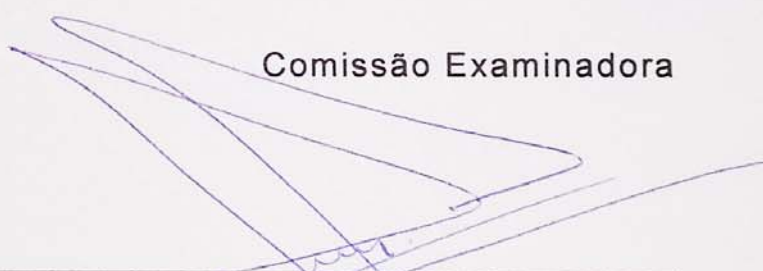
STELLA BRUNORO HOPPE

“A INFLUÊNCIA DA LEGISLAÇÃO URBANA NA ILUMINAÇÃO
NATURAL DE EDIFÍCIOS: UM ESTUDO DE CASO EM DOMÍNGOS
MARTINS - ES”

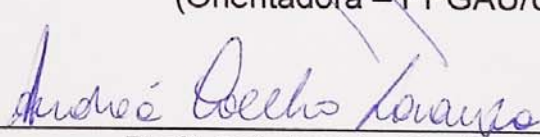
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito
Santo, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em 31 de agosto de 2016.

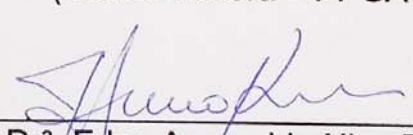
Comissão Examinadora



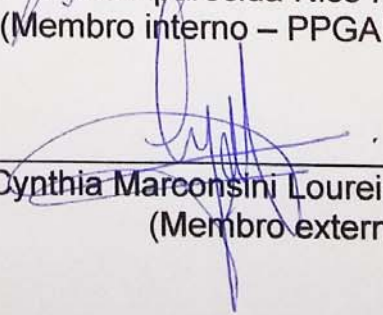
Profª. Drª. Cristina Engel de Alvarez
(Orientadora – PPGAU/UFES)



Profª. Drª. Andréa Coelho Laranja
(Coorientadora – PPGAU/UFES)



Profª. Drª. Edna Aparecida Nico Rodrigues
(Membro interno – PPGAU/UFES)



Profª. Drª. Cynthia Marconsini Loureiro Santos
(Membro externo – UVV)

Ao meu amado filho Guilherme, grande motivador, pelos preciosos e irrecuperáveis momentos de sua infância nos quais me fiz ausente.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus que, de maneira especial, me sustentou e permitiu a concretização deste projeto tão almejado. À Ele toda honra e toda glória!

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

À professora Andréa Coelho Laranja por ter me apresentado a iluminação natural sob um novo enfoque, despertando o meu interesse pelo assunto e contribuindo para a definição do tema desta pesquisa. Sou grata pelas preciosas contribuições, disponibilidade em me coorientar e amizade.

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

À professora Cynthia Marconsini, que gentilmente aceitou participar deste trabalho, compartilhando seus conhecimentos e fornecendo importantes contribuições na etapa da qualificação.

Ao meu esposo, José Alberto, por todo apoio, amor, incentivo e amizade. Agradeço pelo esforço e cuidado comigo e com o nosso filho; pelo suporte financeiro e pela compreensão da minha ausência.

Ao meu filho Guilherme, fonte de motivação e inspiração. Agradeço por me receber sempre com amor e alegria, mesmo, talvez, sem compreender à minha ausência. Filho, esta vitória também é por e para você.

Aos meus pais, Pedrinho e Izabel Cristina, por me incentivarem na busca pelo conhecimento, por sonharem os meus sonhos, pelo amor, apoio, orientação e acolhimento. Especialmente à minha mãe, pelas orações e suporte emocional.

Aos meus irmãos, Saulo e Pedro Henrique, pela força, afeto, amizade e compreensão.

Às amigas, Glorinha, Olímpia, Neiri e Andrieli, pelas vezes que abdicaram dos seus planos, projetos e compromissos para se dedicarem ao Guilherme enquanto eu desenvolvia esta pesquisa.

Aos colegas do Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP/UFES) pelo compartilhamento de informações e pela prazerosa companhia, especialmente

Márcia, Wagner, Dielly, Marina, Bernardo, Gleica, Mariana, Rhaina, Malena, Brenda, Thalles, Mariani, Carla e Daniella. Agradeço também à Isabela pelo suporte e auxílio nas simulações computacionais e parte gráfica.

Ao amigo Ricardo Maioli, pela presteza, paciência, e pelas diversas vezes em que se disponibilizou a ajudar e trocar ideias, fornecendo preciosas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do PPGAU pelos ensinamentos e aos colegas do mestrado pela troca de aprendizado, em especial à Mariana Maciel, Renata Mattos e Tatiana Camello por compartilharem os momentos de aflição e também de conquistas no processo de pesquisa.

Ao Grilu, Grupo de Pesquisa em Iluminação da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), em especial ao Professor Ricardo Cabús, Pedro Ribeiro e Renata Lima, pela disponibilidade, orientação e suporte com o programa computacional TropLux.

Ao Prof. Alexandre Cypreste pela disponibilidade para o tratamento dos dados e desenvolvimento do arquivo climático.

À Isadora Klein, pela amizade, parceria, e por todo suporte para que eu pudesse me dedicar a esta pesquisa.

Aos demais familiares pela torcida, alegria compartilhada e compreensão da minha ausência nos encontros de família.

Aos amigos e irmãos em Cristo pela torcida, apoio e orações.

À Julio Huber, diretor de jornalismo do portal Montanhas Capixabas, pela presteza, receptividade e fornecimento de informações e materiais.

À Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Econômico e à Secretaria de Obras e Serviços Urbanos do Município de Domingos Martins – ES, em especial ao amigo e arquiteto Raoni Velten, pelo fornecimento de informações e materiais.

Ao INCAPER pelo fornecimento dos dados climáticos de Domingos Martins/ES.

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

À FAPES (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo) pelo apoio.

À todas as pessoas e instituições que contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A crise no âmbito social, econômico e ambiental têm apontado para a necessidade de se buscar práticas mais sustentáveis no processo de projeto e planejamento urbano. No que tange aos aspectos ambientais, a busca pela eficiência energética nas edificações, associada à adoção de estratégias bioclimáticas no projeto, mostra-se como uma forma adequada para se atingir parte desse objetivo. Nesse sentido, a iluminação natural desempenha um importante papel visto que o seu aproveitamento contribui para o conforto ambiental e redução no consumo de energia elétrica. Entretanto, a disponibilidade de luz natural depende, dentre outros fatores, da geometria urbana, sendo esta normalmente resultante dos parâmetros estabelecidos pelas regulamentações urbanas. Sendo assim, o objetivo principal desta pesquisa é investigar a influência da legislação urbana, por meio de seus principais parâmetros urbanísticos, na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, adotando como objeto de estudo a cidade de Domingos Martins – ES. A principal estratégia para obtenção dos dados foram as simulações no *software* Tropix, adotando-se três tipos de céu padrão da CIE (3, 7 e 12). A pesquisa dividiu-se em duas etapas, sendo que na primeira tomou-se como base a ocupação urbana existente e, na segunda, as áreas de expansão urbana e futuros loteamentos. A partir dos resultados, pôde-se constatar que apesar de não ter sido considerada nenhuma metodologia específica relacionada ao conforto ambiental na elaboração do Plano Diretor, a atual regulamentação municipal contribui com o aumento da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. Adicionalmente, percebeu-se também que a legislação anterior – Código de Obras – não era perniciosa em relação ao potencial de aproveitamento da luz natural no interior das edificações. Pôde-se constatar, inclusive, que, dentre os parâmetros urbanos analisados, a altura das edificações é o índice que exerce maior influência para a variação dos níveis lumínicos e dos percentuais de UDI, contudo, o efeito das obstruções pode ser minorado mediante a adoção de uma maior largura de via, reforçando a relevância da vinculação entre a altura das edificações e afastamentos entre as mesmas. Além disso, confirmou-se também a importância de se considerar as características climáticas de cada contexto e as orientações das vias e edificações na definição dos índices urbanísticos, recomendando-se a adoção desse tipo de estratégia em Planos Diretores e Códigos de Obras.

Palavras-chave: iluminação natural, legislação urbana, simulação computacional.

ABSTRACT

The social, economic, and environmental crisis has signaled the need to seek more sustainable practices in urban design and planning processes. Regarding the environmental aspects, the search for energy efficiency buildings associated with the adoption of bioclimatic design strategies presents an appropriate way to achieve this objective. Therefore, daylighting plays an important role since it contributes to environmental comfort and reduces energy consumption. However, daylight availability depends on the urban geometry, which is usually a result of urban regulations set by parameters. Thus, the main objective of this research is to investigate the influence of urban legislation through its main urban parameters, with a focus on daylighting availability in the indoor environment, using the city of Domingos Martins, Espírito Santo, as the study object. The main strategy for obtaining the data was running computer simulations with the software TropLux, using three types of standard CIE sky (3, 7, and 12). The study was divided into two stages, with the first one based on current urban occupation and the second on the areas of urban expansion and future subdivisions. The results confirmed that, although there is no specific method related to environmental comfort in the draft of the Master Plan, current municipal regulations contribute to increase daylighting availability in indoor environments. Furthermore, it was perceived that the previous legislation - the Building Code - was not detrimental to exploiting the potential of daylight inside buildings. It could be noticed that the height of the buildings exerts the most influence on the variation of luminance levels and on the UDI percentage. However, the effect of obstructions can be reduced by adopting a greater road width, reinforcing the importance of the link between the height of the buildings and distances between them. In addition, the importance of considering the climatic characteristics of each context, the solar orientation of roadways, and building typologies was also confirmed in defining urban indicators, as for each type of sky and solar orientation, a particular urban geometry has a better performance for the most efficient use for daylight, with this type of strategy to be replicated in other Master Plans and Building Codes.

Keywords: daylighting, urban legislation, computer simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Principais tipos de céu: (a) encoberto (à esquerda), (b) parcialmente encoberto ou parcialmente nublado (ao centro) e (c) claro (à direita).	29
Figura 2- Relação entre o ângulo de altura solar, recuo e altura da edificação ($Tg \alpha = H/R$).	41
Figura 3- Localização de Domingos Martins/ES.	44
Figura 4- Imagens da área central caracterizada pela presença de edificações geminada e sem recuo frontal.	45
Figura 5- Localização da região e áreas escolhidas para análise. À esquerda, vista aérea geral da cidade e, à direita, detalhe da zona central.	48
Figura 6- Esquema básico de situação das edificações no Cenário Modelo com definição dos parâmetros variáveis.	53
Figura 7- Dimensionamento das vias conforme indicação do PDM.	55
Figura 8- Esquema básico de situação das edificações no Cenário Referência com definição dos parâmetros adotados.	55
Figura 9- Vista do ambiente interno analisado indicando dimensões e a malha de pontos para medição de iluminância.	59
Figura 10- Máscara de obstrução da área 2 (Rua Carlos Germano Schwambach). Em cinza, áreas obstruídas pelo entorno; em branco, parcela de céu visível.	73
Figura 11- Redirecionamento da luz natural por meio do piso externo, teto e outros elementos da edificação.	73
Figura 12- Perfil da área 2 (Rua Carlos Germano Schwambach) sem o avanço do pavimento acima do térreo sobre a calçada.	74
Figura 13- Contribuição do piso externo e do avanço do pavimento acima do térreo para a reflexão da luz natural para o ambiente interno.	74
Figura 14- Exemplificação das recomendações urbanísticas para as áreas com vias em torno de 5 m.	78
Figura 15- Exemplificação das recomendações urbanísticas para as áreas com vias entre 8 m a 11 m.	79
Figura 16- Exemplificação das recomendações urbanísticas para as áreas com vias entre 11 m a 12 m.	80
Figura 17- Reflexão da luz natural pelo piso e teto de elementos construtivos da edificação.	81
Figura 18- Perfil esquemático dos cenários analisados em função da largura da via.	82
Figura 19- Esquema do perfil dos cenários analisados em relação à altura das edificações obstruidoras (cenário com largura de via de 12 m – 1ª etapa).	90
Figura 20- Esquema do perfil dos cenários analisados em relação à altura das edificações obstruidoras (cenário com largura de via de 18 m – 2ª etapa).	90

Figura 21- Esquema básico de situação das edificações no perfil dos cenários analisados em relação ao afastamento lateral.	107
Figura 22- Orientação recomendável para as vias em locais com céu tipicamente claro e parcialmente nublado.	115
Figura 23- Prateleira de luz: dispositivo de proteção solar e redirecionamento da luz natural.	117
Figura 24- Perfil das geometrias urbanas analisadas.	118
Figura 25- Geometria urbana genérica e respectivas equações para definição da altura máxima e afastamento frontal mínimo das edificações.	120
Figura 26- Definição do afastamento lateral vinculado à altura da edificação.	121

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Iluminância média global na Área 1 (Rua Gustavo Gerhardt). Orientação: Nordeste.....	64
Gráfico 2- Iluminância média global na Área 2 (Rua Carlos Germano Schwambach). Orientação: Norte-Nordeste.	64
Gráfico 3- Iluminância média global na Área 3 (Rua Adolfo Hulle). Orientação: Norte-Nordeste.....	66
Gráfico 4- Iluminância média global na Área 4 (Rua Alfredo Velten). Orientação: Sudeste.	66
Gráfico 5- Comparativo entre os percentuais das UDI's na Área 1 (Rua Gustavo Gerhardt). Orientação: Norte.....	67
Gráfico 6- Comparativo entre os percentuais das UDI's na Área 2 (Rua C. G. Schwambach). Orientação: Norte-Nordeste.....	68
Gráfico 7- Comparativo entre os percentuais das UDI's na Área 3 (Rua Adolfo Hulle). Orientação: Norte-Nordeste.	69
Gráfico 8- Comparativo entre os percentuais das UDI's na Área 4 (Rua Alfredo Velten). Orientação: Sudeste.....	70
Gráfico 9- Uniformidade da iluminância na Área 1 (Rua Gustavo Gerhardt) entre 7h e 12 h (período da manhã). Orientação: Norte.....	71
Gráfico 10- Uniformidade da iluminância na Área 1 (Rua Gustavo Gerhardt) entre 13h e 17h (período da tarde). Orientação: Norte.	71
Gráfico 11- Uniformidade da iluminância na Área 2 (Rua Carlos Germano Schwambach) entre 7h e 12h (período da manhã). Orientação: Norte-Nordeste.	72
Gráfico 12- Uniformidade da iluminância na Área 2 (Rua Carlos Germano Schwambach) entre 13h e 17h (período da tarde). Orientação: Norte-Nordeste.	72
Gráfico 13- Uniformidade da iluminância na Área 3 (Rua Adolfo Hulle) entre 7h e 12h (período da manhã). Orientação: Norte-Nordeste.....	72
Gráfico 14- Uniformidade da iluminância na Área 3 (Rua Adolfo Hulle) entre 13h e 17h (período da tarde). Orientação: Norte-Nordeste.....	72
Gráfico 15- Uniformidade da iluminância na Área 4 (Rua Alfredo Velten) entre 7h e 12h (período da manhã). Orientação: Sudeste.	75
Gráfico 16- Uniformidade da iluminância na Área 4 (Rua Alfredo Velten) entre 13h e 17h (período da tarde). Orientação: Sudeste.	75
Gráfico 17- Iluminância média global em função da variação da largura da via.	83
Gráfico 18- Percentuais das UDI's em função da variação da largura da via.	85
Gráfico 19- Uniformidade da iluminância em função da variação da largura da via entre 7h e 12 h (período da manhã).	87
Gráfico 20- Uniformidade da iluminância em função da variação da largura da via entre 13h e 17 h (período da tarde).....	87

Gráfico 21- Iluminância média global em função da variação da altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 12 m.....	92
Gráfico 22- Iluminância média global em função da variação da altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 18 m.....	94
Gráfico 23- Percentuais das UDI's em função da variação da altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 12 m.....	97
Gráfico 24- Percentuais das UDI's em função da variação da altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 18 m.....	99
Gráfico 25- Uniformidade da iluminância em função da variação da altura da edificação obstruidora, nos cenários com largura de via de 12 m, entre 7h e 12h (período da manhã).	103
Gráfico 26- Uniformidade da iluminância em função da variação da altura da edificação obstruidora, nos cenários com largura de via de 12 m, entre 13h e 17h (período da tarde).....	103
Gráfico 27- Uniformidade da iluminância em função da variação da altura da edificação obstruidora, nos cenários com largura de via de 18 m, entre 7h e 12h (período da manhã).	105
Gráfico 28- Uniformidade da iluminância em função da variação da altura da edificação obstruidora, nos cenários com largura de via de 18 m, entre 13h e 17h (período da tarde).....	105
Gráfico 29- Iluminância média global em função da variação do afastamento lateral.	108
Gráfico 30- Percentuais das UDI's em função da variação do afastamento lateral.	110
Gráfico 31- Uniformidade da iluminância em função da variação do afastamento lateral entre 7h e 12h (período da manhã).....	112
Gráfico 32- Uniformidade da iluminância em função da variação do afastamento lateral entre 13h e 17h (período da tarde).....	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Classificação dos tipos de céu padrão CIE.	27
Quadro 2- Especificação da iluminância no plano de trabalho em função do tipo de ambiente ou atividade exercida.	35
Quadro 3- Caracterização dos intervalos de iluminância com destaque para a faixa da UDI.	36
Quadro 4- Comparativo entre os parâmetros estabelecidos pelas legislações anterior e atual.	45
Quadro 5- Caracterização da Área 1.	49
Quadro 6- Caracterização da Área 2.	50
Quadro 7- Caracterização da Área 3.	51
Quadro 8- Caracterização da Área 4.	52
Quadro 9- Parâmetros variáveis para análise.	54
Quadro 10- Características do ambiente interno simulado.	58
Quadro 11- Refletâncias internas do ambiente simulado.	58
Quadro 12- Refletâncias externas do entorno analisado.	60
Quadro 13- Síntese dos cenários analisados nas 4 áreas amostrais.	62
Quadro 14- Identificação das orientações com melhores índices de uniformidade de iluminação em função dos tipos de céu e períodos do dia (manhã e tarde).	89
Quadro 15- Identificação da relação H/L com melhor desempenho lumínico em função dos tipos de céu e orientações.	119
Quadro 16- Síntese das principais recomendações e critérios.	123
Quadro 17- Quantidade mínima de vagas em função dos grupos de atividades. ...	158

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Percentuais de variação da iluminância média global em função da largura da via.....	83
Tabela 2- Percentuais de variação da iluminância média global em função da altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 12 m.....	93
Tabela 3- Percentuais de variação da iluminância média global em função da altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 18 m.....	94
Tabela 4- Percentuais de variação da iluminância média global em função do afastamento lateral.....	108
Tabela 5- Valores de iluminância média global na Área 1 – Rua Gustavo Gerhardt (1ª etapa de simulações).	140
Tabela 6- Percentuais das UDI's na Área 1 - Rua Gustavo Gerhardt (1ª etapa de simulações).	140
Tabela 7- Uniformidade da iluminância na Área 1 – Rua Gustavo Gerhardt (1ª etapa de simulações).	141
Tabela 8- Valores de iluminância média global na Área 2 – Rua Carlos Germano Schwambach (1ª etapa de simulações).	141
Tabela 9- Percentuais das UDI's na Área 2 – Rua Carlos Germano Schwambach (1ª etapa de simulações).	142
Tabela 10- Uniformidade da iluminância na Área 2 – Rua Carlos Germano Schwambach (1ª etapa de simulações).	142
Tabela 11- Valores de iluminância média global na Área 3 – Rua Adolfo Hulle (1ª etapa de simulações).	143
Tabela 12- Percentuais das UDI's na Área 3 – Rua Adolfo Hulle (1ª etapa de simulações).	143
Tabela 13- Uniformidade da iluminância na Área 3 – Rua Adolfo Hulle (1ª etapa de simulações).	144
Tabela 14- Valores de iluminância média global na Área 4 – Rua Alfredo Velten (1ª etapa de simulações).	144
Tabela 15- Percentuais das UDI's na Área 4 – Rua Alfredo Velten (1ª etapa de simulações).	145
Tabela 16- Uniformidade da iluminância na Área 4 – Rua Alfredo Velten (1ª etapa de simulações).	145
Tabela 17- Valores de iluminância média global em função da variação do parâmetro largura da via (2ª etapa de simulações).	146
Tabela 18- Percentuais das UDI's em função da variação do parâmetro largura da via (2ª etapa de simulações).	147
Tabela 19- Uniformidade da iluminância em função da variação do parâmetro largura da via (2ª etapa de simulações).	148

Tabela 20- Valores de iluminância média global em função da variação do parâmetro altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 12m (2ª etapa de simulações).	149
Tabela 21- Percentuais das UDI's em função da variação do parâmetro altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 12m (2ª etapa de simulações).	150
Tabela 22- Uniformidade da iluminância em função da variação do parâmetro altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 12m (2ª etapa de simulações).	151
Tabela 23- Valores de iluminância média global em função da variação do parâmetro altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 18m (2ª etapa de simulações).	152
Tabela 24- Percentuais das UDI's em função da variação do parâmetro altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 18m (2ª etapa de simulações).	153
Tabela 25- Uniformidade da iluminância em função da variação do parâmetro altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 18m (2ª etapa de simulações).	154
Tabela 26- Valores de iluminância média global em função da variação do parâmetro afastamento lateral (2ª etapa de simulações).	155
Tabela 27- Percentuais das UDI's em função da variação do parâmetro afastamento lateral (2ª etapa de simulações).	156
Tabela 28- Uniformidade da iluminância em função da variação do parâmetro afastamento lateral (2ª etapa de simulações).	157

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CIE	Commission Internationale de L'eclairage
DA	Daylight Autonomy
DF	Daylight Factor
E	Iluminância
FLD	Fator de Luz Diurna
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IDMP	International Daylighting Measurement Programme
IFES	Instituto Federal do Espírito Santo
INCAPER	Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
ISO	International Organization for Standardization
JCP	Janela de Céu Preferível
LPP	Laboratório de Planejamento e Projetos
NBR	Norma Técnica Brasileira
PDDUA	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental
PDM	Plano Diretor Municipal
PDU	Plano Diretor Urbano
SMAU	Secretaria Municipal de Atividades Urbanas
UDI	Useful Daylight Illuminances
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	HIPÓTESE	20
1.2	OBJETIVOS	21
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	VANTAGENS DA ILUMINAÇÃO NATURAL	23
2.1.1	<i>BENEFÍCIOS PSICOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS</i>	23
2.1.2	<i>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</i>	24
2.2	VARIÁVEIS DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES INTERNOS	26
2.2.1	<i>ABÓBODA CELESTE</i>	27
2.2.2	<i>GEOMETRIA URBANA</i>	30
2.2.3	<i>PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO</i>	34
2.3	LEGISLAÇÕES URBANAS	36
3	METODOLOGIA	43
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO: A CIDADE DE DOMINGOS MARTINS - ES	43
3.2	PRIMEIRA ETAPA DE SIMULAÇÕES: DEFINIÇÃO DO RECORTE URBANO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS	47
3.3	SEGUNDA ETAPA DE SIMULAÇÕES: CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO MODELO	52
3.4	PROGRAMA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	55
3.5	DIAS E HORÁRIOS DAS SIMULAÇÕES	57
3.6	CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE INTERNO ADOTADO	57
3.7	PONTOS DE MEDIÇÕES NO AMBIENTE INTERNO	58
3.8	CARACTERÍSTICAS DAS EDIFICAÇÕES OBSTRUIDORAS E VIAS	59
3.9	ANÁLISES DE RESULTADOS	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
4.1	PRIMEIRA ETAPA DE SIMULAÇÕES	62
4.1.1	<i>ILUMINÂNCIA MÉDIA GLOBAL</i>	63
4.1.2	<i>UDI (USEFUL DAYLIGHT ILLUMINANCES)</i>	66
4.1.3	<i>UNIFORMIDADE</i>	70
4.1.4	<i>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</i>	75
4.2	SEGUNDA ETAPA DE SIMULAÇÕES	81

4.2.1 ANÁLISE DO PARÂMETRO LARGURA DA VIA	82
4.2.2 ANÁLISE DO PARÂMETRO ALTURA DAS EDIFICAÇÕES OBSTRUIDORAS	89
4.2.3 ANÁLISE DO PARÂMETRO AFASTAMENTO LATERAL	107
4.2.4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	114
4.3 SÍNTESE DAS RECOMENDAÇÕES	122
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
REFERÊNCIAS	130
APÊNDICE A -	140
APÊNDICE B -	146
ANEXO A -	158

1 INTRODUÇÃO

A crise no âmbito social, econômico e ambiental têm apontado para a necessidade de se buscar práticas mais sustentáveis no processo de projeto e planejamento urbano. No que tange aos aspectos ambientais, segundo Mesa e outros (2011), a eficiência energética nas edificações, associada à adoção de estratégias bioclimáticas no projeto, é uma das formas mais adequadas para se atingir esse objetivo. Gonçalves e Duarte (2006), considerando o edifício como elemento de projeto urbano e de sustentabilidade, afirmam que as cidades devem ser planejadas e gerenciadas visando, dentre outros aspectos, a qualidade ambiental dos espaços internos e o menor impacto das construções no entorno, bem como o consumo consciente dos recursos em geral, como água, energia e materiais. Nesse sentido, a iluminação natural desempenha um importante papel visto que o seu aproveitamento contribui para o conforto ambiental e eficiência energética nas edificações, escopos da sustentabilidade.

A luz natural, fonte de energia não poluente, gratuita e renovável, proporciona benefícios psicológicos e fisiológicos ao homem, conferindo-lhe saúde, bem-estar e produtividade (KEELER; BURKE, 2010; LARANJA, 2010; MESA et al., 2011; HARB et al., 2015). Concomitantemente, a iluminação natural pode ser explorada a fim de reduzir o gasto energético de uma edificação com a iluminação artificial, concorrendo, assim, para o desenvolvimento equilibrado e eficiente do espaço interno e urbano (LI; WONG, 2007; RUPP; GHISI, 2013). Entretanto, a disponibilidade de luz natural no ambiente interno está relacionada, entre outros fatores, com as características do entorno local. Dentre essas características, destaca-se a geometria urbana, sendo esta normalmente resultante dos parâmetros estabelecimentos pelas regulamentações urbanas, como gabarito, afastamentos e recuos, altura das edificações, taxa de ocupação, entre outros, os quais conduzem a conformação da massa edificada da cidade (HOPKINSON et al., 1980; LEDER, 2007; LARANJA, 2010; STRØMANN-ANDERSEN; SATTRUP, 2011; BARANDIER et al., 2013; PETERSEN et al. 2014; LIMA, 2015). Além disso, ressalta-se que a regulamentação edilícia é responsável por uma parcela de responsabilidade em relação ao gerenciamento da cidade e, desta forma, a vinculação entre o Código de Obras e o Plano Diretor são importantes instrumentos para conjuntamente, possibilitarem o acesso da iluminação natural nas edificações (LARANJA, 2010).

Mediante o estabelecimento da Lei Federal 10.257 (BRASIL, 2001), em 2001, denominada Estatuto da Cidade, os municípios brasileiros com população superior a 20.000 habitantes, mobilizaram-se para a elaboração ou a revisão dos planos diretores. Contudo, Barandier e outros (2013) afirmam que grande parte dos municípios praticamente não enfatizaram as questões relacionadas ao conforto ambiental no meio urbano e à eficiência energética nas cidades. Gomes e Lamberts (2009) perceberam uma lacuna em relação à incorporação dos condicionantes ambientais na geração de recomendações e critérios urbanísticos, apesar de Marić e outros (2016) ressaltarem que a qualidade do planejamento urbano está vinculada, também, à consideração dos aspectos climáticos, como exposição à luz solar, ventilação, temperatura, umidade, entre outros. Especificamente em relação à consideração da luz solar, Robbins (1986) entende que a garantia de condições mínimas de luz natural no interior das edificações é atribuição do Estado, sendo que esse direito, atualmente, está representado, basicamente, pela regulamentação de uso e ocupação do solo (LEDER, 2007). Entretanto, apesar de ser evidente a interferência dos parâmetros externos na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, as legislações urbanas, especialmente no âmbito municipal, raramente abordam o assunto de forma específica (LARANJA, 2010).

Diante desse contexto, apresenta-se a cidade de Domingos Martins-ES como objeto de estudo desta pesquisa que, assim como diversos outros municípios de pequeno porte, atendendo ao instituído pelo Estatuto da Cidade, desenvolveu o seu Plano Diretor. A legislação municipal vigente até a aprovação da nova lei, em agosto de 2013, era o Código de Obras de 1992 (Lei 1.238/92), o qual estabelecia parâmetros urbanísticos mais permissivos, especialmente no que tange à altura e afastamentos das edificações (DOMINGOS MARTINS, 1992). Sendo assim, a cidade, principalmente na região central, é caracterizada por edificações geminadas e alinhadas no limite frontal do lote. Ressalta-se, inclusive, que essas características, as quais resultam em uma tipologia morfológica urbana, podem ser observadas em diversas cidades que não possuíam, até o estabelecimento do Estatuto da Cidade – ou ainda não possuem – uma regulamentação para ordenar o crescimento e desenvolvimento territorial.

A nova legislação do PDM (Lei Complementar 25/2013) designou parâmetros mais restritivos, interrompendo o processo de verticalização que vinha ocorrendo sobre a

malha viária existente, composta em muitos locais por vias estreitas. Entretanto, apesar do pressuposto de que o estabelecimento desses índices favoreça a disponibilidade de luz natural, os estudos realizados para a elaboração do Plano Diretor (FUNDAÇÃO..., [200-], 2009) não denotaram a utilização de nenhuma metodologia específica que considerasse os aspectos climáticos locais. Além disso, vale destacar que os índices mais restritivos, principalmente no que tange ao gabarito e afastamentos, alavancou uma discussão e dualidade entre a população (ALBANI; HUBER, 2013; HUBER, 2013, 2015).

Logo, tendo em vista a importância da luz natural para o conforto ambiental e eficiência energética do espaço construído, da interferência da legislação urbana sobre esses aspectos e, de maneira geral, da negligência das características climáticas para a formulação das regulamentações, esta pesquisa, tendo como objeto de estudo a cidade de Domingos Martins – ES, propõe-se a investigar a influência de parâmetros presentes nas legislações urbanísticas – como largura das vias, altura das edificações obstruidoras e afastamentos laterais – na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno.

1.1 HIPÓTESE

A pesquisa parte do pressuposto de que, mesmo não tendo sido adotada uma metodologia específica relacionada ao aproveitamento da iluminação natural nas edificações, a atual legislação urbanística de Domingos Martins (Plano Diretor Municipal) estabelece índices que contribuem para a disponibilidade de luz natural no ambiente interno. Entretanto, presume-se que é possível a flexibilização de alguns dos índices urbanísticos estabelecidos no PDM, variando-se os parâmetros relacionados à geometria urbana, no intuito de permitir a verticalização dos edifícios em determinadas áreas sem perda da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno.

1.2 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo principal investigar a influência da legislação urbana de Domingos Martins - ES, por meio de determinados parâmetros urbanísticos, na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno.

Os objetivos específicos são:

- Realizar levantamento bibliográfico abordando os principais conceitos relacionados ao tema e suas inter-relações, visando a definição da metodologia adequada para a abordagem do assunto;
- Avaliar a abordagem das regulamentações urbanas a respeito da iluminação natural e a forma que essas legislações inserem o tema nas suas práticas gerenciadoras do espaço urbano;
- Avaliar a interferência da legislação urbana atual (PDM) e anterior (Código de Obras) do município de Domingos Martins/ES na disponibilidade de luz natural no ambiente interno, considerando a ocupação urbana existente, e verificando sua adequabilidade nesse aspecto;
- Verificar a interferência de parâmetros externos – como largura da via, altura das edificações e afastamentos laterais –, na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno;
- Propor diretrizes e recomendações para o planejamento urbano visando o melhor aproveitamento da luz natural no interior das edificações.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi organizada em 5 capítulos, conforme a seguir apresentado:

O **capítulo 01** refere-se à Introdução, na qual foram expostos a contextualização, justificativas, objeto da pesquisa, objetivos geral e específicos e a estrutura da dissertação.

O **capítulo 02** contempla a Fundamentação Teórica, na qual discorre-se sobre os temas abrangidos nesta pesquisa, como as vantagens da utilização da luz natural, as variáveis que interferem na sua disponibilidade no interior das edificações e as

métricas para avaliação, bem como a abordagem das legislações urbanísticas a respeito da iluminação natural.

O **capítulo 03** apresenta a descrição dos procedimentos metodológicos adotados no desenvolvimento deste trabalho, caracterizando o objeto de estudo e apresentando estratégias e métodos utilizados para alcançar o objetivo geral da pesquisa.

O **capítulo 04** expõe e analisa os resultados obtidos nas duas etapas de simulações computacionais, apontando a influência da legislação urbana de Domingos Martins e dos principais índices urbanísticos presentes nas regulamentações, apresentando ainda as conclusões referentes à cada etapa. Sendo assim, foi possível definir recomendações e critérios gerais de planejamento urbano, bem como diretrizes específicas para o Município em questão que podem ser aplicadas em locais com características similares.

O **capítulo 05** apresenta as principais conclusões, avaliando se os objetivos estabelecidos foram alcançados. Além disso, são indicadas as limitações deste trabalho e feitas sugestões para a continuidade da pesquisa.

Por fim, são listadas as referências utilizadas para o desenvolvimento do trabalho, e expostos os resultados das simulações computacionais (Apêndices) e informações complementares (Anexo).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo visa estabelecer o alicerce conceitual a respeito dos principais temas concernentes à pesquisa. Inicialmente, são expostas as vantagens da utilização da luz natural, dentre estas os benefícios psicológicos e fisiológicos ao homem, que não podem ser proporcionados pela iluminação artificial, e também o potencial da luz natural para redução do consumo de energia elétrica. No segundo subcapítulo são apresentadas as variáveis externas que interferem na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, como as condições luminosas da abóboda celeste e a geometria do entorno urbano construído, bem como os parâmetros para avaliação quantitativa e qualitativa da iluminação natural. Por fim, destacam-se as legislações urbanas e suas contribuições para a presença da luz natural no interior dos edifícios.

2.1 VANTAGENS DA ILUMINAÇÃO NATURAL

A iluminação natural desempenha um importante papel no que se relaciona ao conforto ambiental e eficiência energética, visto que o seu aproveitamento auxilia na saúde e bem-estar do homem, bem como a redução no consumo de energia elétrica.

2.1.1 *Benefícios psicológicos e fisiológicos*

Dentre os muitos fatores que qualificam a importância da iluminação natural para arquitetura como elemento de projeto, destacam-se os benefícios psicológicos e fisiológicos que influenciam no comportamento, desenvolvimento e saúde das pessoas (CORBELLA; YANNAS, 2009; LARANJA, 2010; HARB et al., 2015). Segundo Robbins (1986), Leder (2007) e Laranja (2010), a iluminação natural é a fonte de luz mais próxima da resposta visual humana. Em termos gerais, a composição e o equilibrado espectro de cores da luz natural favorecem à identificação de contrastes e percepção das formas (HARB et al., 2015). Essas características, somadas à fatores como quantidade, distribuição da iluminância, entre outros, contribuem para uma maior qualidade visual no ambiente iluminado, diminuindo o esforço físico ocular.

O principal meio de admissão da luz natural no interior das edificações são as janelas, que propiciam um ambiente mais atraente e agradável, além de permitir o contato

visual com o ambiente externo e a orientação temporal (LI et al, 2010). Nesse sentido, a variação da luz natural ao longo do dia e estações do ano é importante para marcar ritmos biológicos e psicológicos. Conforme Harb e outros (2015), diversos processos fisiológicos e comportamentais são sustentados pelo sistema circadiano – o “relógio biológico” –, responsável por regular o funcionamento do organismo e pela adaptação do homem aos estímulos do meio ambiente. Os autores afirmam, ainda, que a luz natural interfere nos níveis hormonais, como na melatonina e no cortisol, os quais estão relacionados a transtornos do sono e sintomas depressivos (HARB et al., 2015). Além das vantagens descritas, o ser humano tende a ter preferência pela iluminação natural (HOPKINSON et al., 1980; BAKER; STEEMERS, 2002; BOYCE, 2014). Em pesquisa realizada por Baker e Steemers (2002) sobre a síndrome do edifício doente, os autores relacionam a satisfação dos ocupantes com a proximidade das janelas. Os resultados demonstraram que os usuários localizados em áreas mais distantes das aberturas apresentavam sintomas como coceira nos olhos, entupimento de nariz ou coriza, e diminuição da concentração. Nesse contexto, vale destacar que a iluminação natural tem a potencialidade de interferir na maneira que o ser humano realiza suas atividades. Freewan (2010) e Keeler e Burke (2010) destacam que ambientes de trabalho iluminados naturalmente, exercem grande influência sobre o ser humano, conferindo-lhe saúde, humor e produtividade.

2.1.2 Eficiência energética

A incorporação de práticas mais sustentáveis no processo de projeto e planejamento urbano tem se mostrado como uma conduta necessária mediante a crise ambiental, econômica e social. Borucke e outros (2013) e o Global Footprint Network (acesso em 12 abr. 2016) alertam que o mundo está consumindo 50% a mais da capacidade que o planeta Terra possui de regenerar seus recursos naturais. No que tange à problemática ambiental, Keeler e Burke (2010) sugerem que as cidades abordem os desafios por meio da implementação de políticas de desenvolvimento alicerçadas no tripé fundamental da sustentabilidade: ecologia, economia e equidade. Dentre essas medidas, destacam-se a redução no consumo de energia e de recursos naturais, bem como a adoção de práticas que visem proteger os recursos ecológicos locais (KELLER; BURKE, 2010).

A crise do petróleo, na década de 70 do século passado, impulsionou a criação de estratégias e políticas de incentivo ao uso racional de energia, visando, assim, reduzir a sobre-exploração dos recursos energéticos disponíveis e, conseqüentemente, minimizar os impactos econômicos, sociais e ambientais inerentes ao conceito de sustentabilidade do ambiente construído (KEELER; BURKE, 2010; FERREIRA, 2009). No contexto brasileiro, os edifícios existentes são responsáveis por 50% do consumo de eletricidade, sendo que o setor residencial abrange 25% desse total (BRASIL, 2015). Contudo, mesmo diante do colapso energético em 2001 – o denominado nacionalmente como “Apagão” –, o consumo final de energia elétrica tem registrado aumento nos últimos anos (BRASIL, 2015).

Diante desse cenário, a iluminação natural destaca-se pela vantagem de ser uma fonte de energia renovável, não poluente e de custo zero (MESA et al., 2011). Além disso, o aproveitamento da luz natural pode contribuir para redução do gasto energético de uma edificação (LI; WONG, 2007; RUPP; GHISI, 2013), concorrendo, assim, para o desenvolvimento equilibrado e eficiente do espaço interno e urbano.

A economia anual de uma edificação, associando dispositivos de controle de iluminação e estratégias de aproveitamento da luz natural, pode ser entre 30% e 60% do gasto total com iluminação artificial (LI; LAM, 2001; LI et al., 2006). Li e Wong (2007) avaliaram o desempenho energético de um edifício comercial em Hong Kong (China), e os resultados comprovaram que a utilização da iluminação natural proporcionou reduções no consumo de eletricidade entre 25 e 28 kWh/m² para situações com o entorno obstruído. Também, Castanheira (2012) pôde verificar que o aproveitamento da luz natural contribuiu com uma redução de 20% a 83% no consumo de energia elétrica em edificações não residenciais situadas em Lisboa (Portugal), e Strømman-Andersen e Sattrup (2011) avaliando o impacto de diferentes geometrias de cânions urbanos¹ na disponibilidade de luz natural, em Copenhague (Dinamarca), constataram uma variação no consumo de energia de até 30% para edifícios comerciais e de até 19% para edificações residenciais.

¹ Segundo Strømman-Andersen e Sattrup (2011), o “cânion urbano” é um modelo que representa, simplificada, a geometria do espaço urbano, descrito como a relação entre a altura e a largura entre os edifícios adjacentes.

Rupp e Ghisi (2013), em estudo realizado para edificações comerciais de Florianópolis-SC, concluíram que a utilização da iluminação natural e da ventilação híbrida apresenta potencial de economia de energia elétrica de até 64,9%. Já Petersen e outros (2014), em estudo semelhante ao de Strømman-Andersen e Sattrup (2011), avaliaram o efeito do cânion urbano sobre os níveis de luz natural em edificações residenciais, e apontaram que a diferença no uso de energia primária, entre cenários obstruídos e desobstruídos, para manter um nível adequado de iluminação natural e conforto térmico nos ambientes internos é de até 31% para o cômodo orientado à Sul, e de até 17% para o cômodo orientado à Norte.

Diante do exposto, reitera-se a importância dos estudos referentes ao aproveitamento da luz natural, os quais podem contribuir significativamente na definição de estratégias e diretrizes visando o desenvolvimento mais sustentável. Entretanto, destaca-se que a incorporação da iluminação natural pode vir associada da radiação solar direta, fato este que requer atenção e tratamento adequado, tanto para obter níveis adequados de iluminância como para auxiliar na redução da carga térmica incidente, evitando a eventual necessidade de resfriamento ativo do ambiente interno e, conseqüentemente, maior consumo de energia.

2.2 VARIÁVEIS DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES INTERNOS

Dentre os principais fatores que interferem na disponibilidade de luz natural em um determinado local destacam-se o clima, a sazonalidade, a qualidade do ar e as características físicas e geográficas, como latitude, orientação e configuração morfológica do entorno construído (VIANNA; GONÇALVES, 2007). Este subcapítulo aborda as variáveis pertinentes a esta pesquisa, como as condições luminosas da abóboda celeste, influenciada diretamente pelo clima e sazonalidade, e a geometria urbana do entorno, estando este último restrito à largura e orientação da via, altura e afastamentos. Por fim, são apresentados os parâmetros de avaliação da luz natural no ambiente interno.

2.2.1 Abóboda celeste

As condições luminosas da abóboda celeste são uma das principais variáveis para quantificar e qualificar a luz natural no ambiente interno. O montante de luz recebido está basicamente relacionado com a localidade, isto é, a latitude, o clima e a frequência da nebulosidade, havendo alterações também em função da trajetória solar que varia com a época do ano e o horário do dia (VIANNA; GONÇALVES, 2007). Piderit e outros (2014) afirmam que o conhecimento do céu predominante de cada local é um aspecto determinante nos estudos referentes à iluminação natural e na concepção de projetos que visem o conforto ambiental, visto que a predição da luz natural está vinculada à variabilidade e dinamismo das condições externas, e que resultados divergentes dos reais podem culminar em decisões erradas de projeto.

A CIE (*Commission Internationale de L'eclairage*), no intuito de criar uma base universal para a classificação das distribuições das luminâncias do céu, e assim dar suporte aos estudos e projetos de iluminação natural, estabeleceu 15 padrões de céu (Quadro 1), os quais são aceitos internacionalmente e têm sido utilizados em diversas pesquisas envolvendo a simulação de luz natural (COMMISSION..., 2003; PEREIRA et al., 2008). Os tipos de céu dividem-se, basicamente, em encoberto, parcialmente nublado e claro, e caracterizam todas as possíveis variações de luz diurna de uma determinada localidade (LAMBERTS et al., 2014).

Quadro 1- Classificação dos tipos de céu padrão CIE.

(continua)

TIPO DE CÉU		DESCRIÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DA LUMINÂNCIA
ENCOBERTO	1	Céu encoberto padrão, graduação intensa de luminâncias em direção ao zênite, com uniformidade nos azimutes.
	2	Céu encoberto, graduação intensa de luminâncias em direção ao zênite, com suave brilho em direção ao sol.
	3	Céu encoberto, moderadamente graduado, com uniformidade nos azimutes.
	4	Céu encoberto, moderadamente graduado, com suave brilho em direção ao sol.
	5	Céu de luminância uniforme.

Quadro 1- Classificação dos tipos de céu padrão CIE.

(conclusão)

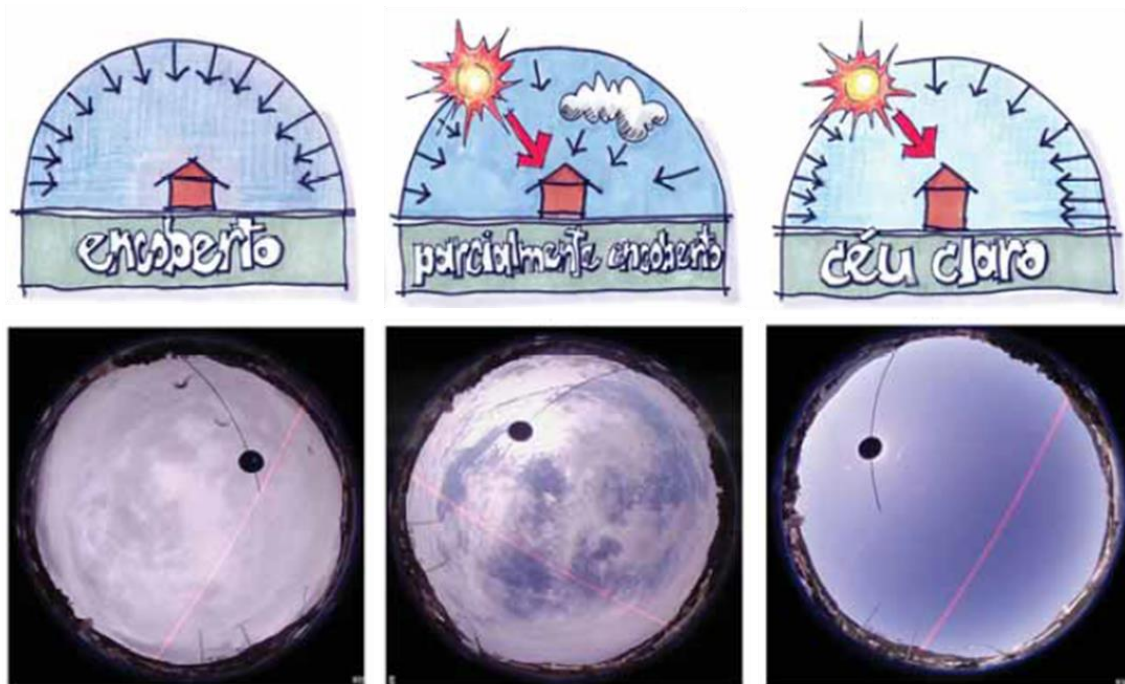
PARCIALMENTE NUBLADO	6	Parcialmente nublado, sem graduação de luminâncias em direção ao zênite, com suave brilho em direção ao sol.
	7	Parcialmente nublado, sem graduação de luminâncias em direção ao zênite, com região circunsolar brilhante.
	8	Parcialmente nublado, sem graduação de luminâncias em direção ao zênite, com coroa solar distinta.
	9	Parcialmente nublado, com o sol encoberto.
	10	Parcialmente nublado, com região circunsolar brilhante.
CLARO	11	Céu branco-azul, com coroa solar distinta.
	12	Padrão céu claro CIE, com luminâncias de baixa turbidez.
	13	Padrão céu claro CIE, com atmosfera poluída.
	14	Céu turvado sem nuvens, com ampla coroa solar.
	15	Céu Turvado Branco-Azul, com ampla coroa solar.

Fonte: Adaptado de Commission... (2003).

O céu encoberto (Figura 1a) caracteriza-se por uma distribuição mais uniforme da luminância. Sob essa condição de céu, há pouca ou nenhuma radiação solar direta, visto que o sol está encoberto por espessas nuvens, sendo os valores de iluminância global e difusa muito próximos (HOPKINSON et al., 1980; PIDERIT et al., 2014). O céu parcialmente nublado (Figura 1b) mostra-se como intermediário entre o encoberto e claro, e possui uma ampla variação de acordo com o aparecimento do sol, formato e quantidade de nuvens (IGAWA et al., 1999). Segundo Scarazzato (1995) a grande maioria das localidades no território brasileiro apresenta condição típica de céu parcialmente nublado. Por fim, no céu claro (Figura 1c), a atmosfera apresenta-se limpa, sem a presença de nuvens, e o sol é visível. A distribuição da luminância varia em função da altitude e azimute solar, sendo que a intensidade luminosa é maior ao

redor do sol, atenuando-se na medida em que se aproxima da linha do horizonte (HOPKINSON et al., 1980; VIANNA; GONÇALVES, 2007).

Figura 1- Principais tipos de céu: (a) encoberto (à esquerda), (b) parcialmente encoberto ou parcialmente nublado (ao centro) e (c) claro (à direita).



Fonte: Adaptado de Lamberts e outros (2014).

Vale destacar ainda que a CIE, em 1991, lançou o Programa Internacional de Medições de Luz Natural (IDMP), a partir do qual foram implantadas diversas estações de medição da luz natural ao redor do mundo (PEREIRA et al., 2008). Entretanto, no Brasil, existem apenas 3 estações, localizadas em Florianópolis, Belo Horizonte e Natal (LAMBERTS et al., 2014). Nesse sentido, tendo em vista a falta de dados para caracterizar as condições de céu em diferentes locais, Scarazzato (1995) classificou o céu predominante de todas as capitais brasileiras, sendo que para a grande maioria – 24 em um total de 27 capitais – a condição típica de céu é o parcialmente nublado, inclusive para Vitória-ES. Outra importante contribuição, diante desse contexto, foi a de Cabús (2002), que, a partir da análise da iluminação natural nos trópicos úmidos, propôs o *software* Troplux. A ferramenta computacional realiza a simulação da luz natural a partir da padronização de céu da CIE, propiciando assim a consideração das condições luminosas da abóboda celeste em função das características climáticas das regiões tropicais (CABÚS, 2005).

2.2.2 Geometria urbana

A disponibilidade de luz natural, conforme tem sido comprovado na literatura, é dependente, dentre outros fatores, das características do entorno imediato, como a configuração morfológica e a refletância das superfícies (HOPKINSON et al., 1980; ORAL et al., 2004; STRØMANN-ANDERSEN; SATTRUP, 2011; PETERSEN et al. 2014). Diversos pesquisadores, como Leder (2007), Li e outros (2009), Ünver (2009), Laranja (2010), Mesa e outros (2011), Petersen e outros (2014) e Lima (2015) desenvolveram estudos os quais demonstram que a quantidade e a qualidade da luz natural incidente no interior dos ambientes está relacionada com variáveis externas e também com variáveis internas à edificação. Oral e outros (2004) classificam esses parâmetros em dois grupos: aqueles relacionados ao ambiente externo, os quais estão além do controle do projetista, como a radiação solar e o nível de iluminação externa; e aqueles relacionados ao ambiente construído, que estão no domínio do homem, como a etapa de projeto e de construção. Esse último, ainda segundo Oral e outros (2004), pode ser considerado em quatro escalas:

- a) Escala urbana: dimensões e orientação das construções circunvizinhas e a luz refletida através das suas superfícies;
- b) Escala do prédio: orientação, localização e forma do edifício;
- c) Escala do ambiente interno: dimensão, forma, localização e características de reflexão das superfícies internas;
- d) Escala do material: propriedades dos materiais – translúcido e opaco - da fachada.

Ünver (2009) corrobora afirmando que os parâmetros básicos que interferem na iluminação natural no ambiente interno dividem-se em: características das fontes luminosas, como a luz do sol e a luz do céu; características das obstruções externas, como a posição, dimensão e refletância das superfícies; características do ambiente interno, dentre estes, dimensão e orientação; e características das aberturas, como dimensão, orientação e transmitância luminosa do vidro.

Assim, de acordo com o exposto anteriormente, caracteriza-se a Geometria Urbana a partir dos parâmetros relacionados à altura e afastamento das edificações, sofrendo

ainda a interferência da orientação das vias, conforme a seguir explicitado, sendo estes os parâmetros a serem investigados nesta pesquisa.

- Altura e afastamentos das edificações (largura de via e afastamento lateral)

Dentre as variáveis da geometria urbana que se relacionam com a disponibilidade de luz natural no ambiente interno, destacam-se as obstruções (LI et al., 2009; PETERSEN et al., 2014). Pesquisas desenvolvidas por Kruger e Suga (2007), Araújo e Cabús (2007), Strømman-Andersen e Sattrup (2011), Laranja e outros (2013) e Petersen e outros (2014) demonstram relações entre os afastamentos e a altura da edificação obstruidora com o acesso da iluminação natural no ambiente interno. Sendo assim, deve-se considerar nos estudos de iluminação tanto a altura das construções do entorno quanto o afastamento entre estas, podendo este último ser representado pela largura das vias – que, geralmente, é somada ao afastamento frontal – e afastamentos laterais.

Li e outros (2009) afirmam que o desempenho da iluminação natural é influenciado pelas obstruções externas em dois aspectos: na quantidade de céu que está sendo obstruído ou desobstruído, e na refletância dos edifícios obstruidores e do solo refletido. A quantidade de céu obstruído depende do comprimento e da altura dos edifícios do entorno bem como do espaço vazio entre eles, os quais são definidos pelos afastamentos. Logo, quando os prédios vizinhos estão muito próximos, os efeitos do sombreamento podem afetar significativamente a quantidade de luz natural que penetra no interior do edifício, principalmente nas unidades localizadas nos andares inferiores.

Scalco (2010) realizou uma avaliação dos impactos de edificações sobre a iluminação e insolação em vizinhanças urbanas na cidade de Porto Alegre - RS, e notou que a ocupação por edificações mais baixas proporciona grandes obstruções em função da combinação com afastamentos reduzidos. Mayhoub (2012), adotando como objeto de estudo a cidade do Cairo (Egito), concluiu que o aumento da largura da via, no intuito de igualá-la à altura da edificação obstruidora, ocasiona um acréscimo significativo na incidência de luz solar, no período do inverno, nos pavimentos mais baixos das edificações. Na pesquisa realizada para a cidade de Mendonza (Argentina), Mesa e outros (2011) também apontaram que as dimensões e proporções do entorno

construído, somada às condições ambientais, influenciam na quantidade de iluminação natural que pode ser aproveitada no ambiente interno, dentre esses, citam a altura dos edifícios. Afirmam, inclusive, que as regiões comerciais dos centros urbanos, devido à verticalização, têm a parcela visível da abóbada celeste reduzida, gradativamente, nos níveis próximos ao solo, característica a qual pode diminuir significativamente a quantidade de luz admitida nos primeiros pavimentos das edificações.

Laranja e outros (2013) corroboram a influência da geometria urbana na disponibilidade de luz natural no ambiente interno ao analisar a relação entre a largura de via (L) e a altura das edificações obstruidoras (H), por meio das proporções $H=2,0.L$, $H=2,5.L$ e $H=3,0.L$, considerando diferentes orientações cardeais. Os autores, que adotaram Vitória – ES como área de estudo, constataram que conforme aumenta-se a relação entre H e L os níveis de iluminância reduzem, havendo maiores taxas de decaimento da iluminância na variação da geometria urbana $H=2,0.L$ para $H=2,5.L$. Além disso, verificou-se que a mudança da orientação das aberturas exerce menor influência nos níveis de luz natural à medida em que se aumenta a relação H/L. Strømman-Andersen e Sattrup (2011) e Andreou (2014), utilizando o mesmo conceito que Laranja e outros (2013), afirmam que a geometria dos cânions urbanos (relação entre altura e largura da via – H/L) condicionam o acesso solar, influenciando o desempenho energético dos edifícios. Nesse sentido, inclusive, Strømman-Andersen e Sattrup (2011), adotando Copenhague (Dinamarca) como objeto de estudo, verificaram que o impacto da geometria dos cânions urbanos no consumo final de eletricidade é de até 30% para edifícios comerciais e de até 19% para edificações residenciais.

No que tange, especificamente, ao afastamento lateral entre as edificações, Laranja e outros (2014) realizaram um estudo, em Vitória – ES, objetivando verificar a interferência do referido parâmetro na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. Como principal resultado, constatou-se que, mediante à alteração do afastamento lateral, as variações mais significativas na média anual da iluminância ocorreram nos cenários cujas edificações obstruidoras encontravam-se deslocadas em relação ao ambiente analisado, ou seja, as situações nas quais as edificações obstruidoras posicionam-se defronte à edificação analisada a alteração do afastamento lateral exerce menor influência na disponibilidade de luz natural. Os

autores ressaltam, ainda, a necessidade de se considerar esse parâmetro nos estudos referentes à iluminação natural de maneira a contribuir para obtenção de níveis mais adequados de iluminância, visando dessa forma, maior eficiência energética nas edificações (LARANJA et al., 2014).

- Orientação das vias

A orientação das vias e, conseqüentemente, das fachadas que muitas vezes são dispostas em função dessas vias, não é um parâmetro comumente considerado nas legislações. Entretanto, a literatura comprova que a disponibilidade de luz natural também está vinculada à orientação geográfica, sendo assim, optou-se por abordar este assunto.

As janelas, presentes nas fachadas, são aberturas utilizadas nas edificações basicamente para permitir a admissão da luz natural no interior dos ambientes (Li et al., 2006) e, também, para estabelecer uma relação com o exterior. Corbella e Yannas (2009) alertam que dentre as estratégias para se alcançar uma boa iluminação natural nos ambientes consta o estudo da localização, forma e dimensões das aberturas, bem como a previsão da melhor orientação dos ambientes nos quais estes elementos estão inseridos. Ünver (2009) também corrobora atentando para o fato de que a orientação das aberturas é um dos parâmetros básicos que devem ser considerados para a admissão da iluminação natural no interior das edificações.

Nesse sentido, Laranja (2010) realizou uma análise sobre o comportamento da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno em função da orientação das vias para três tipos de céu padrão da CIE: 3 (encoberto), 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro). Na pesquisa adotou-se Vitória – ES como objeto de estudo, e os resultados foram apresentados em função da orientação dos ambientes analisados. O experimento consistiu na avaliação dos ambientes orientados à Norte e Sul (vias Leste-Oeste), e Leste e Oeste (vias Norte-Sul) a partir dos níveis médios de iluminância global, percentuais das UDI's e contribuição da parcela do sol e do céu (luz direta e refletida). A autora constatou que para localidades com tipo de céu predominantemente encoberto, a variação da orientação não acarreta em alterações nos níveis de luz natural e nos percentuais das UDI's, devido ao fato da composição da iluminância ser totalmente proveniente do céu (LARANJA, 2010).

Entretanto, para os locais com céu predominante claro e parcialmente nublado – como é o caso da maioria das capitais brasileiras (SCARAZZATO, 1995) –, Laranja (2010) verificou que os ambientes orientados à Norte, seguidos pelos ambientes orientados à Leste e Oeste, apresentam maior potencial de disponibilidade de iluminação natural, sendo que para o céu 12 (claro) esses valores são ainda maiores quando comparados ao céu 7 (parcialmente nublado). Em relação aos valores das UDI's, os ambientes orientados à Leste e Oeste foram os que abarcaram a maioria dos percentuais caracterizados como suficientes ($100 \text{ lx} < \text{UDI} < 2000 \text{ lx}$). No que tange às parcelas direta e refletida, a autora verificou que para as localidades cujo céu predominante é o parcialmente nublado, os ambientes orientados à Sul recebem maior contribuição do céu, e nas edificações com aberturas orientadas à Norte, Leste e Oeste, os percentuais de contribuição do sol e do céu são próximos, porém os valores provenientes do céu são maiores. Os locais com predominância de céu claro, com exceção das aberturas orientadas à Sul, recebem maior contribuição da parcela direta da luz natural.

Por fim, Baker e Steemers (2002), bem como Corbella e Yannas (2009), alertam sobre a orientação das fachadas principais dos edifícios. Os autores concordam que estas devem estar voltadas, preferencialmente, para Norte e Sul, visto que a orientação à Leste e Oeste dificulta o sombreamento das fachadas e dos ambientes internos, em função dos baixos ângulos de incidência solar, podendo, dessa forma, causar contraste e ofuscamento.

2.2.3 Parâmetros de avaliação

Para se obter um bom projeto de iluminação, seja através do aproveitamento da luz natural ou pela utilização da luz elétrica, é essencial prever níveis de iluminação adequados, evitar o ofuscamento e garantir o conforto visual (KEELER; BURKE, 2010). Vianna e Gonçalves (2007) também afirmam que os critérios gerais de desempenho em relação à iluminação natural dividem-se em três, sendo estes: níveis mínimos de iluminância de acordo com a atividade exercida; controle da radiação solar direta para atividades visuais que demandem uma acuidade visual média, como leitura e escrita; e máxima uniformidade entre dois pontos qualquer do local analisado. Nesse sentido, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR

ISO/CIE 8995-1 (ASSOCIAÇÃO... 2013), estabelece parâmetros quantitativos e qualitativos para avaliação da iluminação natural em ambientes internos.

Quanto ao parâmetro de avaliação quantitativo da luz natural, a ABNT propõe valores mínimos de iluminância recomendáveis a serem mantidos na área de tarefa em função da atividade exercida, conforme o Quadro 2. Em relação ao parâmetro qualitativo, a NBR afirma que a uniformidade da iluminância no plano de trabalho deve alterar-se gradualmente, sendo esta definida pela razão entre o valor mínimo e o valor médio da iluminância, não podendo ser inferior a 70% (ASSOCIAÇÃO..., 2013).

Quadro 2- Especificação da iluminância no plano de trabalho em função do tipo de ambiente ou atividade exercida.

TIPO DE AMBIENTE OU ATIVIDADE EXERCIDA	ILUMINÂNCIA A SER MANTIDA (LUX)
Escrever, teclar, ler e processar dados	500 lux
Desenho técnico	750 lux
Salas de reunião e conferência	500 lux
Sala de aula	500 lux
Recepção	300 lux

Fonte: Adaptado de Associação... (2013).

Além dos referidos parâmetros normatizados pela ABNT, diversos autores, ao longo dos anos, têm proposto diferentes métricas para avaliação da luz natural, como o *Daylight Factor* (DF), *Daylight Autonomy* (DA) e *Useful Daylight Illuminances* (UDI). O DF ou FLD (Fator de Luz Diurna), expresso em percentual, consiste na razão entre a iluminância interna em um ponto no plano de trabalho e a iluminância horizontal externa sem obstruções, medidas simultaneamente (HOPKINSON, 1980). Apesar de ter sido bastante utilizado, este parâmetro apresenta limitações por considerar apenas o céu encoberto (luminância uniforme), não prevendo as variações diárias e sazonais da luz diurna (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

O DA, também designado como “Autonomia da Luz do Dia”, foi a primeira métrica dinâmica para avaliação da luz natural, ou seja, considera a variação das condições luminosas do céu durante todo o ano em um determinado local (REINHART et al., 2006; PIDERIT et al., 2014). O parâmetro, introduzido por Reinhart (2005), refere-se

ao percentual de horas anuais em que um nível mínimo de luz natural é mantido no plano de trabalho sem a necessidade de acionamento da iluminação artificial, sendo assim, é também um indicador para estimar o consumo de energia (REINHART et al., 2006; PIDERIT et al., 2014). Entretanto, a métrica não difere os níveis aceitáveis de luz natural na área de tarefa de valores excessivos, os quais podem causar desconforto visual e térmico (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

Diante da referida limitação, Nabil e Mardaljevic (2006) propuseram um novo parâmetro denominado UDI (*Useful Daylight Illuminances*) e também conhecido como “Iluminância Útil da Luz do Dia”. O método de avaliação consiste na caracterização da ocorrência de iluminâncias, no período de um ano, que se encontram dentro de determinados intervalos de iluminação, conforme mostra o Quadro 3, sendo a Iluminância Útil compreendida no intervalo entre 100 lx a 2000 lx. Assim, tendo em vista o exposto anteriormente e por considerar esse índice adequado para esta pesquisa, adotou-se os percentuais das UDI’s e, também, a norma utilizada no Brasil, NBR ISO/CIE 8995-1, como parâmetros de avaliação.

Quadro 3- Caracterização dos intervalos de iluminância com destaque para a faixa da UDI.

INTERVALOS	CARACTERÍSTICAS DA ILUMINÂNCIA
< 100 lx	Insuficiente.
100 lx < UDI < 500 lx	Suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar.
500 lx < UDI < 2000 lx	Suficiente e desejável.
2000 lx <	Indesejável. Desconforto térmico e/ou visual.

Fonte: Adaptado de Nabil e Mardaljevic (2006).

2.3 LEGISLAÇÕES URBANAS

As fontes de luz natural – luz do sol e do céu – estão além do domínio do projetista, não podendo ser controladas pelo homem, entretanto, seus efeitos podem ser administrados no ambiente construído por meio do projeto arquitetônico e do planejamento urbano, a partir dos quais é possível determinar as características do edifício e do seu entorno construído, como a orientação, dimensão, forma, localização, entre outros, visando, assim, garantir a disponibilidade adequada de iluminação

natural no ambiente interno (ORAL et al., 2004; LIMA, 2015). Nesse sentido, ressalta-se que tanto o projeto arquitetônico como o planejamento urbano estão vinculados às legislações edilícias e urbanísticas, enquanto dispositivos legais para ordenamento do espaço edificado e urbano. Dentre esses dispositivos, destacam-se o Plano Diretor Municipal (PDM) – ou o Plano Diretor Urbano (PDU), a Lei de Uso e Ocupação do Solo e o Código de Obras.

O Plano Diretor é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, sendo sua principal finalidade a orientação no que tange à atuação do poder público e privado na construção dos espaços urbanos (BRASIL, 2016). A Lei de Uso e Ocupação do Solo, que geralmente está inserida no Plano Diretor, regulamenta as edificações por meio do estabelecimento de critérios e parâmetros os quais definem a sua inserção no espaço urbano, dentre eles a divisão do município em zonas; a definição de usos para as respectivas áreas; a altura máxima das edificações, afastamentos mínimos, número de pavimentos máximo; entre outros (VAZ et al., 1996; LARANJA, 2010). Sendo assim, a forma urbana é resultado dos parâmetros urbanísticos previstos na referida legislação, visto que a definição de limites máximos para o aproveitamento dos terrenos urbanos conduzirá a conformação da massa edificada da cidade (BARANDIER et al., 2013).

Já o Código de Obras normaliza os aspectos técnicos, estruturais, funcionais, de salubridade e segurança dos edifícios (LARANJA, 2010). Destaca-se ainda que apesar da importância da integração entre as regulamentações edilícias e urbanas (LARANJA, 2010; INSTITUTO..., acesso em 04 jun. 2016), este subcapítulo, bem como esta pesquisa, limitou-se a abordar questões relacionadas ao Plano Diretor e a Lei de Uso e Ocupação do Solo, considerando que a geometria urbana – abrangência deste estudo – é resultado dos parâmetros estabelecidos pelas regulamentações urbanísticas.

Em 2001, mediante o estabelecido pelo Estatuto da Cidade - Lei Federal 10.257 (BRASIL, 2001), os municípios brasileiros com população superior a 20.000 habitantes, iniciaram o processo de elaboração ou revisão dos planos diretores. Entretanto, Barandier e outros (2013) afirmam que grande parte dos municípios praticamente não enfatizou as questões relacionadas ao conforto ambiental no meio urbano e à eficiência energética nas cidades. Gomes e Lamberts (2009) perceberam uma lacuna em relação à incorporação dos condicionantes ambientais na geração de

recomendações e critérios urbanísticos, apesar de Marić e outros (2016) ressaltarem que a qualidade do planejamento urbano está vinculada, também, à consideração dos aspectos climáticos, como exposição à luz solar, ventilação, temperatura, umidade, entre outros.

Silva e Alvarez (2014, p. 23) advertem que é função do Plano Diretor “intervir no processo de desenvolvimento local a partir da compreensão integradora dos diversos fatores que influem na dinâmica cidadina, dentre eles os fatores ambientais”. Barandier e outros (2013) corroboram ressaltando que a definição dos parâmetros urbanísticos deve ponderar as condições climáticas de cada contexto, bem como a infraestrutura existente, valores culturais, ambientais e paisagísticos, entre outros. Especialmente no que tange à consideração da luz solar, Leder (2007) afirma que a forma de garantir o acesso da iluminação natural é basicamente através da regulamentação de uso e ocupação do solo. Laranja (2010) ressalta ainda que, apesar de ser evidente a interferência do ambiente externo na disponibilidade de luz natural no interior das edificações, as regulamentações urbanas, especialmente no âmbito municipal, raramente abordam o assunto de forma específica.

Diante desse contexto, diversos autores, como Leder (2007), Laranja (2010), Mesa e outros (2011), Strømman-Andersen e Sattrup (2011), Lima (2015) e Hoppe e outros (2015), têm realizado pesquisas objetivando verificar a influência dos parâmetros externos na disponibilidade de luz natural, bem como avaliar a eficácia das legislações urbanas nesse aspecto. Dessa forma, os autores visam contribuir para o desenvolvimento de instruções normativas que propiciem o uso mais eficiente dos recursos naturais no processo de projeto e planejamento urbano, garantindo a disponibilidade de luz natural no ambiente construído.

Leder (2007), adotando como metodologia simulações computacionais no programa Apolux e o parâmetro da Janela de Céu Preferível (JCP), comparou os resultados obtidos para um recorte urbano da cidade de Florianópolis – SC. Foram criados dois cenários: um representando o cenário real e outro reproduzindo a ocupação máxima permitida pela legislação urbana. Como principal resultado, destaca-se a redução significativa da luz natural direta e indireta no ambiente urbano. Além disso, a autora realizou uma análise em relação ao posicionamento dos ambientes, e concluiu que os cômodos voltados para as laterais e fundos dos lotes são os que apresentam pior

desempenho no que tange à iluminação natural, comprovando a importância da determinação de afastamentos mínimos adequados para a captação de luz natural.

Laranja (2010) também realizou um estudo sobre a disponibilidade de luz natural, tendo como objeto de estudo a cidade de Vitória-ES. A autora adotou como metodologia simulações computacionais no programa Tropix, e, tendo como base um cenário real da referida cidade, variou determinados parâmetros, como largura e orientação de vias, altura e afastamentos das edificações obstruidoras e refletâncias das superfícies externas, os quais foram analisados segundo os valores médios anuais de iluminância, os percentuais de horas do dia enquadrados nos intervalos das UDI's e os percentuais provenientes do céu e do sol. Como resultado, constatou-se a influência desses parâmetros na disponibilidade de luz natural no ambiente interno, com menos destaque para o parâmetro afastamento. Laranja (2010) verificou, ainda, intervalos de larguras de vias e de alturas de edificações obstruidoras que propiciam maiores variações da iluminância no ambiente interno.

Além disso, Laranja (2010) ressalta que é função do município articular as legislações urbanas, como Plano Diretor, com as demais regulamentações que dizem respeito à cidade, como o Código de Obras. Entretanto, a autora alerta que no cenário nacional ainda se encontra um quadro precário, visto que as regulamentações urbanas e edilícias não apresentam vínculo entre a escala do urbano e do edificado, trazendo abordagens generalizadas para a cidade. Ou seja, não há uma relação entre os parâmetros externos e internos os quais influenciam na disponibilidade de luz natural no ambiente interno, nem relações com as especificidades climáticas de cada local. Laranja (2010) alerta sobre a importância de articular as regulamentações edilícias e urbanas, integrando o Código de Obras às legislações urbanísticas, como o Plano Diretor e a Lei de Uso e Ocupação do solo, para um melhor aproveitamento da iluminação natural.

Hoppe e outros (2015)² realizaram um estudo objetivando verificar a contribuição da atual legislação urbana de Domingos Martins-ES na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. Os autores destacaram que a regulamentação em vigor estabelece índices mais restritivos em relação à legislação anterior, especialmente no

² Esse estudo insere-se no contexto da dissertação de mestrado em questão, apresentando os resultados preliminares desta pesquisa. Destaca-se, ainda, que os resultados obtidos e publicados foram referentes à validação de parte da metodologia adotada nesta pesquisa.

que tange ao gabarito e afastamentos das edificações. A metodologia adotada para investigação consistiu em simulações computacionais, tendo como base duas áreas de estudo na região central da cidade, onde vinha ocorrendo o início do processo de verticalização sobre a malha viária existente, composta em muitos locais por vias estreitas. Como principal resultado, os autores concluíram que o estabelecimento da referida legislação urbanística foi favorável ao ganho de iluminação natural no interior das edificações.

Na prática, considerando as regulamentações urbanas no contexto nacional, percebe-se que os parâmetros urbanísticos, especialmente a altura das edificações, estão comumente relacionados à preservação de visuais para pontos relevantes da cidade, proximidade de morros, cones de aviação, aeródromos e instrumentos de telecomunicações (LARANJA, 2010). Observa-se ainda que questões importantes, como as características climáticas, que abrangem a latitude, condições da abóboda celeste, trajetória solar, etc., são negligenciadas, e o uso dos recursos naturais, como a luz solar, não são contemplados de maneira específica, apesar dos parâmetros urbanísticos, especialmente os recuos, afastamentos e alturas admissíveis, serem dispositivos os quais permitem regular o acesso da luz natural (direta ou indireta) no ambiente interno (LEDER, 2007; LARANJA, 2010; LIMA, 2015).

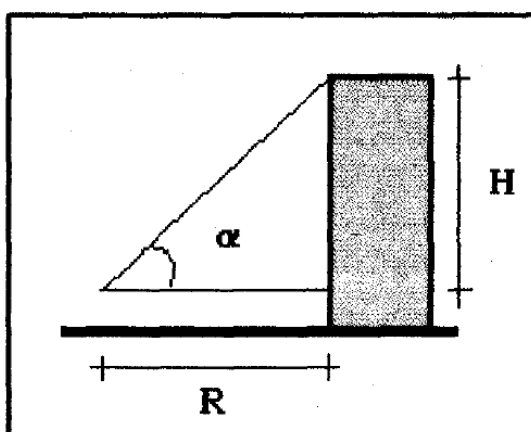
Algumas regulamentações urbanas vinculam determinados parâmetros a outros, sendo a situação mais comum encontrada nas pesquisas a relação entre altura e afastamentos entre as edificações. Em Vitória - ES, de acordo com o zoneamento, a altura da edificação é definida segundo a largura das vias, devendo-se manter a proporção “ H (altura) = largura da via + afastamento frontal” (VITÓRIA, 2006). Em Domingos Martins - ES, os recuos laterais e de fundos mínimos são determinados em função da altura máxima da edificação (H), obedecendo a equação “ $1,5\text{ m} + H/10$ ” e “ $3,0\text{ m} + H/10$ ”, dependendo do zoneamento (DOMINGOS MARTINS, 2013).

Várias são as cidades que adotam a relação altura da edificação x afastamentos como parâmetro de legislação urbana, como, por exemplo, em Fortaleza – CE em que os recuos são estabelecidos em função da altura, ou seja, à medida em que se aumenta o gabarito é obrigatório a aplicação de maiores afastamentos. Para as edificações com mais de 4 andares os recuos deverão ser acrescidos de 20 cm por pavimento que ultrapassar o quarto andar, e nas construções acima de 10 pavimentos é necessário observar a relação de 14% da altura máxima da edificação para definição

do recuo mínimo, o qual deve ser aplicado a partir do térreo (FORTALEZA, 1996; FORTALEZA, 2009). Ainda sobre a legislação de Fortaleza – CE, a dimensão horizontal máxima da fachada é estipulada em função dos recuos laterais, não podendo esta ser superior a 10 vezes o recuo obrigatório; e, no caso de haver mais de uma edificação no mesmo lote, a extensão horizontal máxima de cada edificação não deve ser superior a 5 vezes a menor distância verificada entre a edificação e as demais construções do lote (FORTALEZA, 1981).

Na revisão da regulamentação de Belo Horizonte, a qual foi sancionada em 1996, a Secretaria Municipal de Atividades Urbanas (SMAU) propôs a introdução de dispositivos legais visando garantir condições de insolação e iluminação (ASSIS et al., 1995). Para tanto, Assis e outros (1995) desenvolveram um modelo matemático, considerando as características da abóboda celeste, para determinação dos recuos e volumetria das construções da cidade. O método relaciona a distância mínima entre as edificações (R), a altura da edificação obstruidora (H) e um ângulo de altura solar (α) posicionado no peitoril da janela do primeiro pavimento, e é expresso pela equação $Tg \alpha = H/R$ (Figura 2). O ângulo α “é obtido de um ábaco, cujos dados de entrada são a eficiência luminosa da abóboda celeste local e a relação entre a área de janela e a área do piso (J/A) dos ambientes da edificação” (ASSIS et al., 1995, p. 513-514).

Figura 2- Relação entre o ângulo de altura solar, recuo e altura da edificação ($Tg \alpha = H/R$).



Fonte: Assis e outros (1995).

Em Curitiba, a Lei de Zoneamento e Uso de Solo - Lei nº 9800/2000 - abandonou os gabaritos máximos e adotou o conceito de proporcionalidade e altura das edificações,

o que culminou na concepção de edifícios em forma de “bolo de noiva”, tipologia caracterizada pela redução da planta projetada conforme aumenta-se o número de pavimentos (SCHMID, 2008). Sendo assim, o afastamento das divisas é determinado pela relação entre a altura da edificação (H) e um índice pré-estabelecido, isto é, H/5 e H/6, dependendo do zoneamento (CURITIBA, 2000). Além disso, constatou-se uma particularidade na regulamentação de Curitiba, ou seja, os afastamentos podem ser reduzidos em função da orientação geográfica da edificação, desde que sejam garantidas condições de iluminação, insolação e ventilação para a edificação a ser construída, bem como para as edificações vizinhas (CURITIBA, 2000).

O Código de Urbanismo e Edificações de Maceió – AL vincula os parâmetros gabarito e taxa de ocupação, assim, à medida em que se verticaliza a edificação, a projeção máxima permitida para esta reduz, aumentando-se, dessa forma, os distanciamentos da construção em relação ao limite dos lotes e prédios vizinhos. Ademais, os recuos (afastamentos frontais, laterais e fundos) são proporcionais ao número de pavimentos (MACEIÓ, 2007). Em Porto Alegre - RS, o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA) também associa a definição dos afastamentos laterais e fundos à altura das edificações, a qual, por sua vez, está vinculada ao tipo e largura da via em que a mesma se insere (PORTO ALEGRE, 2010). Destaca-se ainda que as legislações de Belo Horizonte – MG, Curitiba – PR e Maceió – AL encontram-se em fase de revisão, e a regulamentação de Porto Alegre foi reavaliada em 2010.

Logo, reitera-se que apesar de diversos autores destacarem a importância da consideração da luz natural no processo de projeto e planejamento urbano; do estabelecimento do Estatuto da Cidade e das diversas pesquisas realizadas no intuito de contribuir para formulação de critérios mais adequados para o contexto de cada local, a realidade, no cenário brasileiro, é que as legislações urbanísticas ainda negligenciam ou abordam superficialmente as questões relativas ao conforto ambiental e à eficiência energética, especialmente no que diz respeito à iluminação natural. O dispositivo mais comumente utilizado que favorece a disponibilidade de luz natural, porém normalmente está relacionado à preservação de visuais, cones de aviação, instrumentos de telecomunicações e outros, é a articulação dos parâmetros afastamentos e altura das edificações, não sendo considerado, de maneira geral, as características climáticas de cada contexto.

3 METODOLOGIA

Este capítulo aborda os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento desta pesquisa, apresentando estratégias e métodos utilizados, visando alcançar o objetivo principal proposto. Baseou-se em estudos afins realizados por outros autores, como Leder (2007), Laranja (2010) e Lima (2015), sendo complementada com informações pertinentes e específicas.

A principal estratégia adotada para a obtenção dos resultados pretendidos foi a simulação computacional, a qual se dividiu em duas etapas, sendo que na primeira buscou-se verificar a relação entre os parâmetros externos urbanos e a disponibilidade de luz natural tendo como base a **ocupação urbana existente** de Domingos Martins, caracterizada em muitos locais por lotes pequenos, vias estreitas e verticalização pontual. Esta etapa permitiu analisar a adequabilidade tanto da legislação anterior (Código de Obras) como da vigente (PDM), no que tange à iluminação natural e considerando as especificidades existentes no local, e assim fazer recomendações para a referida área e locais cujas características sejam semelhantes.

Na segunda etapa, as simulações foram realizadas em um cenário fictício, baseado no Plano Diretor Municipal, no qual testou-se os parâmetros largura da via, altura das edificações obstruidoras e afastamentos laterais para as quatro orientações cardeais. O objetivo foi verificar o comportamento da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno em função da variação desses parâmetros. Sendo assim, além de verificar a influência dos referidos parâmetros urbanísticos em relação à luz natural, também foi possível averiguar a adequabilidade dos índices propostos pelo PDM e Código de Obras, no quesito disponibilidade de iluminação natural, bem como fazer proposições, visando, principalmente, **áreas de expansão urbana e futuros loteamentos**.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO: A CIDADE DE DOMINGOS MARTINS - ES

A cidade de Domingos Martins - LAT 20° 18' S e LONG 40° 43' W (Figura 3) localiza-se na região serrana do Estado do Espírito Santo (Brasil), cuja sede está a 542 metros

de altitude em relação ao nível do mar. O local possui temperaturas amenas (média anual de 20°C), com clima tropical de altitude (DOMINGOS MARTINS, acesso em 24 jul. 2014).

Figura 3- Localização de Domingos Martins/ES.



Fonte: Adaptado de Google Maps (acesso em 18 de out. 2014).

O Município, mediante a aprovação da Lei Federal 10.257/01 (Estatuto da Cidade), desenvolveu o Plano Diretor Municipal (Lei Complementar 25/2013), o qual foi aprovado em agosto de 2013. A legislação vigente até essa data era o Código de Obras de 1992 (Lei 1.238/92) que, dentre outras questões, estabelecia os seguintes parâmetros urbanísticos (Quadro 4): altura máxima da edificação até 19 m, sendo permitido construir um pavimento cobertura que não era computado na altura máxima total; afastamento frontal de 3 m; e afastamento lateral de 1,5 m quando houvesse abertura (DOMINGOS MARTINS, 1992). Ressalta-se, entretanto, que apesar dos afastamentos estabelecidos, o padrão predominante na área central da cidade são edificações geminadas, alinhadas no limite frontal dos terrenos e, em muitos casos, com os pavimentos acima do térreo em balanço sobre a calçada (Figura 4). Destaca-se, também, que existem várias tipologias que apresentam um pé-direito maior no pavimento térreo, com conseqüente aumento ainda maior na altura da edificação.

Com a nova legislação do PDM em vigor, foram impostos parâmetros mais restritivos (Quadro 4), limitando o gabarito máximo em 2, 3 e 4 pavimentos de acordo com o zoneamento, e o afastamento frontal permaneceu em 3 m para a maioria das zonas (DOMINGOS MARTINS, 2013). Contudo, apesar do pressuposto de que o estabelecimento desses índices favoreça a disponibilidade de luz natural, os estudos

realizados para a elaboração do Plano Diretor (FUNDAÇÃO..., [200-], 2009) não denotaram a utilização de nenhuma metodologia específica que considerasse os aspectos climáticos locais, especialmente aqueles relacionados ao melhor aproveitamento da iluminação natural, insolação, ventilação, entre outros. Destacase, ainda, que os índices mais restritivos designados pelo Plano Diretor, ocasionou uma divergência de opinião entre a população (ALBANI; HUBER, 2013; HUBER, 2013, 2015), especialmente em relação à limitação do gabarito, definição de novos afastamentos e quantidade de vagas de garagem (Quadro 4).

Figura 4- Imagens da área central caracterizada pela presença de edificações geminada e sem recuo frontal.



a) Vista da Av. Pres. Vargas (via arterial)



b) Vista da Rua Adolfo Hulle (via coletora)

Fonte: A autora.

Quadro 4- Comparativo entre os parâmetros estabelecidos pelas legislações anterior e atual.
(continua)

ÍNDICES URBANÍSTICOS		
	Código de Obras (Legislação anterior)	PDM (Legislação atual)
Gabarito máximo	---	2, 3 e 4 pavimentos ³
Altura máxima	19 m + pavimento cobertura	7 m, 10 m e 14 m ⁴
Afastamento frontal mínimo	3 m	3 m
Afastamentos lateral e de fundos mínimos	1,5 m com abertura	1,5 m com abertura até 2 pavimentos; 1,5 m + H/10 acima de 2 pavimentos ⁵

³ De acordo com o zoneamento.

⁴ De acordo com o gabarito máximo permitido.

⁵ Índices aplicados para a maioria dos zoneamentos, sendo H a altura máxima da edificação.

Quadro 4- Comparativo entre os parâmetros estabelecidos pelas legislações anterior e atual.
(conclusão)

VAGAS DE ESTACIONAMENTO		
	Código de Obras (Legislação anterior)	PDM (Legislação atual)
Habitação residencial unifamiliar	1 vaga (mínimo)	Variável em função da área construída (ANEXO A)
Habitação residencial multifamiliar	1 vaga por unidade autônoma (mínimo)	
Lojas ou salas comerciais	1 vaga para lojas isoladas (mínimo); 20% da área do terreno (demais casos)	

Fonte: Adaptado de Domingos Martins (1992) e Domingos Martins (2013).

Por fim, observa-se ainda que um grande potencial econômico do Município é a atividade turística, sendo a legislação voltada para a manutenção da ambiência bucólica do lugar, evitando, entre outras coisas, o processo de verticalização que vinha ocorrendo até a aprovação do Plano Diretor. Porém, considerando os lotes de pequenas dimensões⁶ existentes na área de ocupação mais antiga da cidade, cujo o parcelamento do solo já está consolidado, alguns parâmetros propostos pelo PDM, dentre estes, afastamento frontal⁷, afastamento lateral e número mínimo de vagas de garagem⁸, inviabilizam a construção de novas edificações ou reforma das existentes. Ressalta-se que a inviabilização de novas construções mostra-se como uma preocupação, especialmente para os profissionais relacionados à construção civil (ASSOCIAÇÃO..., 2014)⁹. Nesse sentido, as expectativas consistem, entre outras coisas, nas áreas de expansão urbana, bem como na proposição de parâmetros

⁶ Profundidade entre 8 m a 12 m.

⁷ Apesar da legislação anterior (Código de Obras) estabelecer 3 m de afastamento frontal, as edificações eram construídas no limite do terreno, não respeitando a exigência estabelecida por Lei.

⁸ Muitas construções existentes na região central não possuem vaga de garagem, pois foram edificadas antes da legislação anterior entrar em vigor. Além disso, apesar da legislação anterior exigir minimamente 1 vaga para cada unidade habitacional, é notório que muitas construções foram aprovadas sem estacionamento. Após a aprovação do PDM, passou-se a exigir uma quantidade mínima de vagas, inclusive para os casos de reforma.

⁹ Informação verbal fornecida pela Associação dos Empreendedores da Construção Civil de Domingos Martins-ES (ASCON).

menos restritivos, os quais possibilitem novos investimentos no setor em locais com infraestrutura adequada (CONSELHO..., 2016)¹⁰.

3.2 PRIMEIRA ETAPA DE SIMULAÇÕES: DEFINIÇÃO DO RECORTE URBANO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS

Na primeira etapa de simulações, objetivou-se verificar a relação dos parâmetros externos na disponibilidade de luz natural no ambiente interno a partir da ocupação urbana existente, que conforme mencionado anteriormente, é caracterizada em muitos locais por lotes pequenos, vias estreitas e verticalização pontual. Esta etapa permitiu analisar a adequabilidade tanto da legislação anterior (Código de Obras) como da vigente (PDM), no que tange à iluminação natural, considerando as especificidades existentes no local. Assim, foi possível fazer recomendações para a área mais antiga da cidade, cujos loteamentos já estão consolidados, e que podem ser aplicadas em cidades ou áreas específicas que possuam características semelhantes ao objeto estudado.

A região escolhida para análise da iluminação natural situa-se no Centro da cidade de Domingos Martins, visto tal localidade ser representativa da tipologia urbana do Município¹¹. Ressalta-se que os terrenos, com edificações de até dois pavimentos, vinham sendo incorporados e substituídos por prédios de 5 a 7 pavimentos, representando a tendência da renovação urbana. Nesse recorte territorial foram selecionadas 4 áreas características da região central para a realização das simulações computacionais (Figura 5).

¹⁰ Informação verbal fornecida pelo Conselho do Plano Diretor Municipal de Domingos Martins-ES (CPDM).

¹¹ Os núcleos urbanos mais antigos do Município possuem características morfológicas semelhantes, isto é, são caracterizados por lotes pequenos, vias estreitas, edificações geminadas e alinhadas ao limite frontal do terreno. Sendo assim, definiu-se o Centro da Sede como recorte territorial por considerar que este representa as áreas urbanas de Domingos Martins.

Figura 5- Localização da região e áreas escolhidas para análise. À esquerda, vista aérea geral da cidade e, à direita, detalhe da zona central.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2014).

Considerando que a presença de luz natural no ambiente interno está diretamente associada à geometria urbana (LEDER, 2007; LARANJA, 2010), diversas pesquisas foram desenvolvidas buscando estabelecer as relações entre a largura da via e a altura das edificações obstruidoras com o acesso da iluminação natural no ambiente interno (LI et al., 2009; STRØMANN-ANDERSEN; SATTRUP, 2011; LARANJA et al., 2013; PETERSEN et al. 2014). Assim, os critérios utilizados para a definição do recorte territorial foram a identificação de vias-padrão representativas¹² e áreas consideradas críticas¹³ devido às alturas das obstruções.

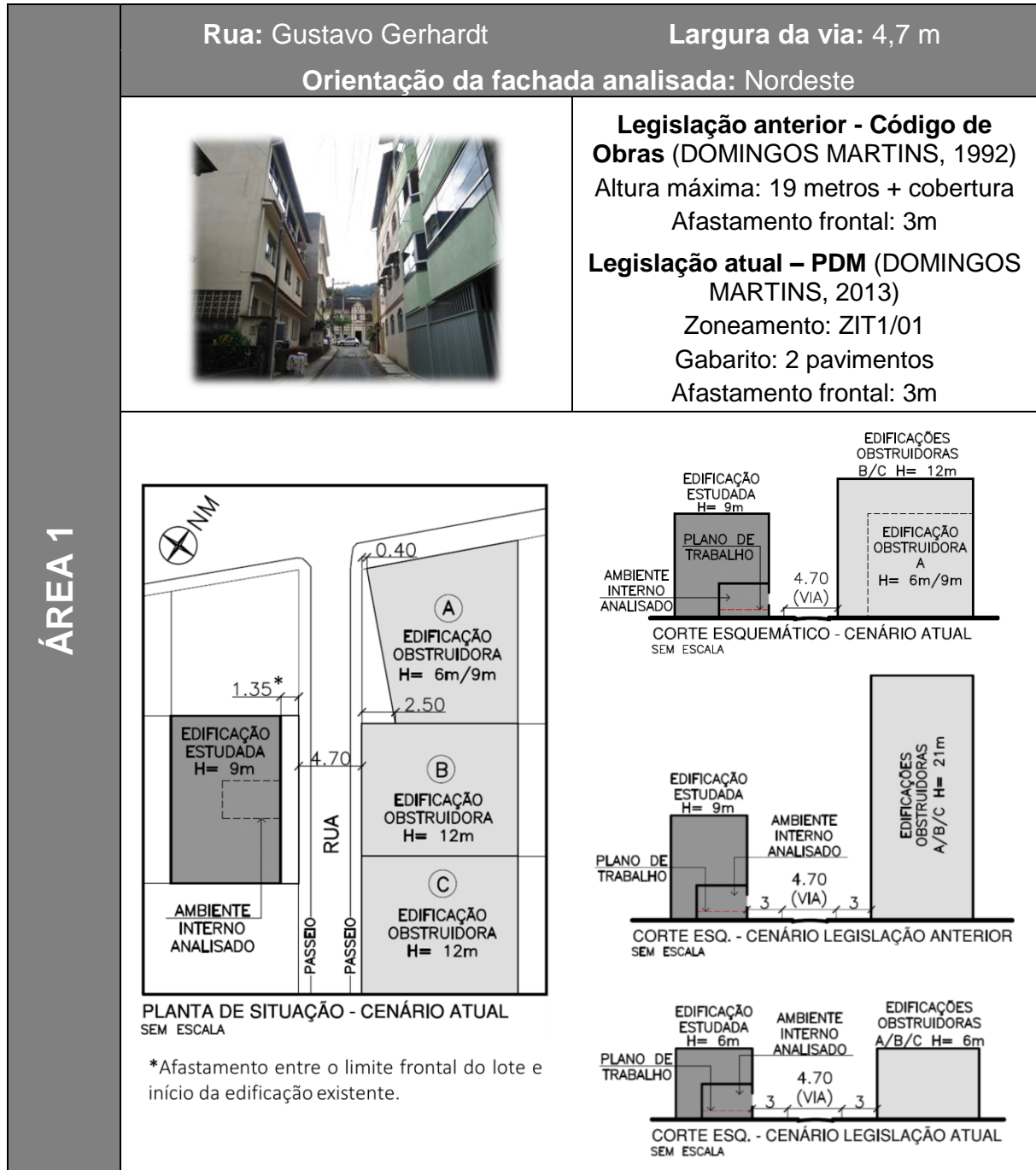
Os Quadros 5, 6, 7 e 8 identificam de forma detalhada as quatro áreas amostrais escolhidas para as simulações. Nelas constam a representação do cenário atual contendo as edificações obstruidoras e o ambiente/edificação em análise, além de informações referentes aos parâmetros estabelecidos pela legislação anterior (Código de Obras) e pela legislação urbanística atual (PDM). Ressalta-se que a largura da via indicada (Quadros 5 a 8) abrange as dimensões da caixa viária e calçada. O levantamento dos dados necessários sobre a área de estudo foi realizado através do

¹² Realizou-se um levantamento, a partir da base cartográfica da Sede Municipal, para identificar as dimensões das vias dessa região, e constatou-se que existem intervalos que se repetem, sendo então selecionadas áreas que representam tais intervalos de via, conforme pode ser verificado nos Quadros 5 a 8.

¹³ Locais com edificações altas, consideradas mais desfavoráveis à disponibilidade de luz natural no ambiente interno.

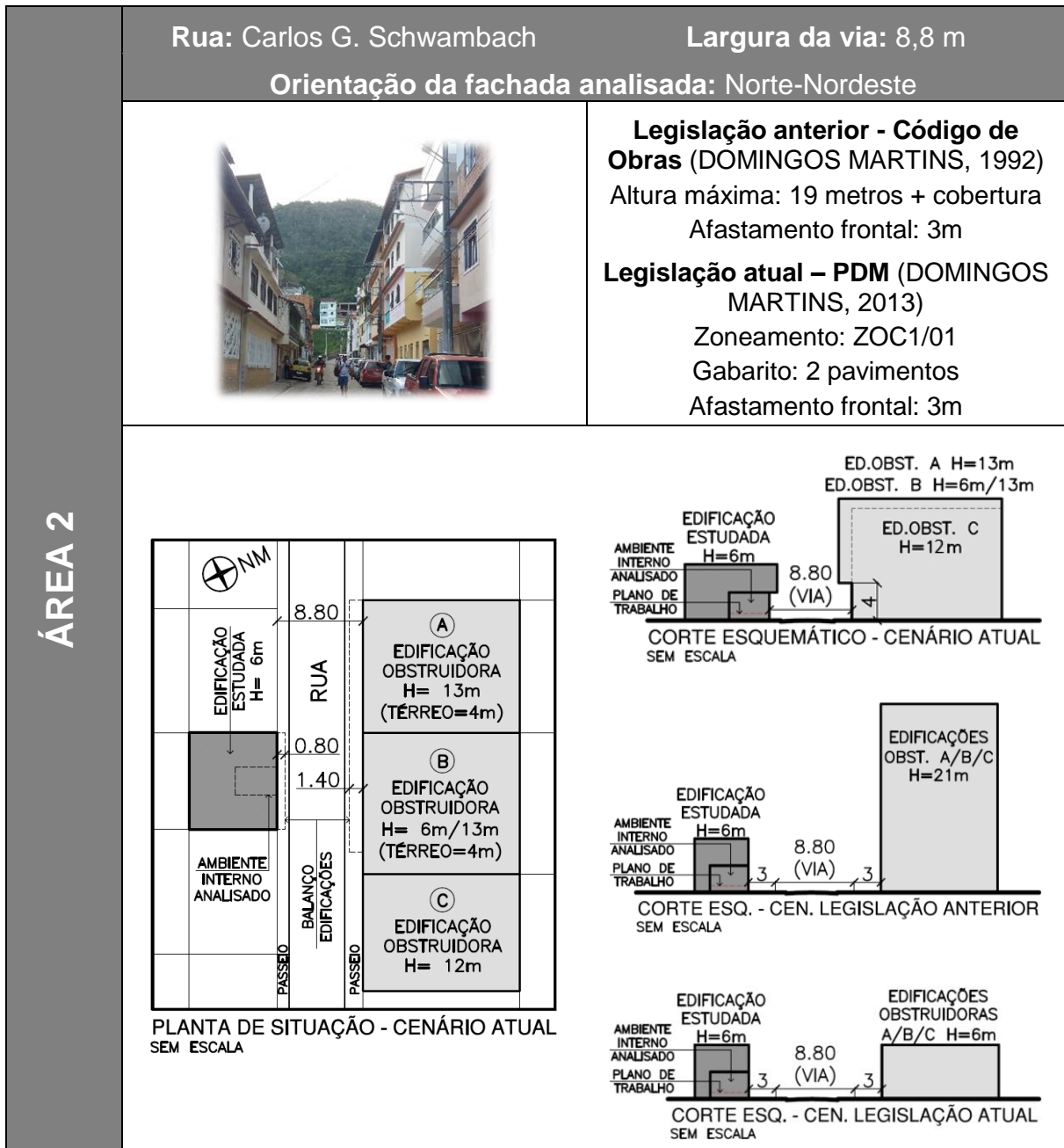
material fornecido pela Secretaria Municipal de Obras e Serviços Urbanos (base cartográfica) e de visitas de observação, medições e registros fotográficos.

Quadro 5- Caracterização da Área 1.



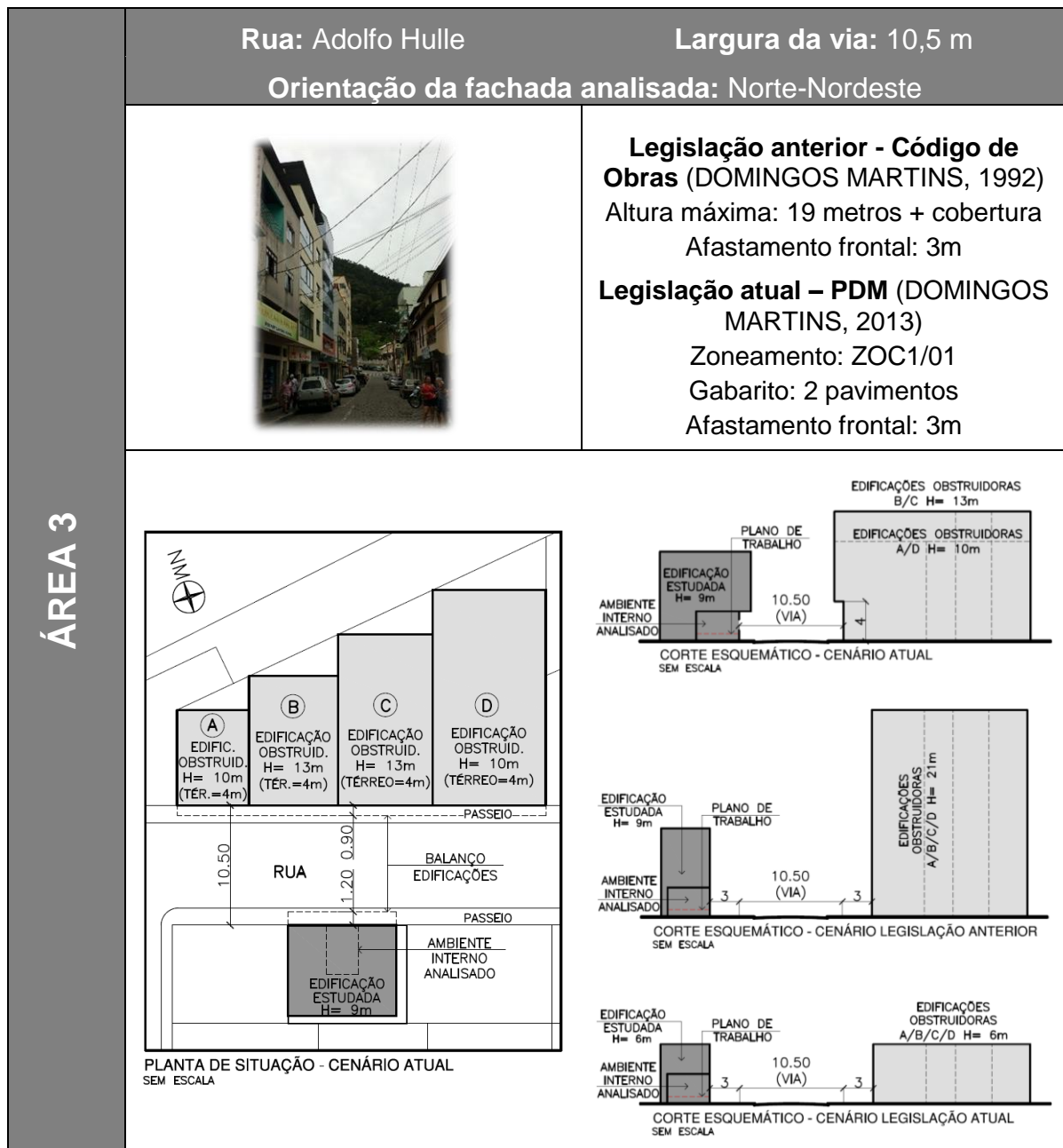
Fonte: A autora.

Quadro 6- Caracterização da Área 2.



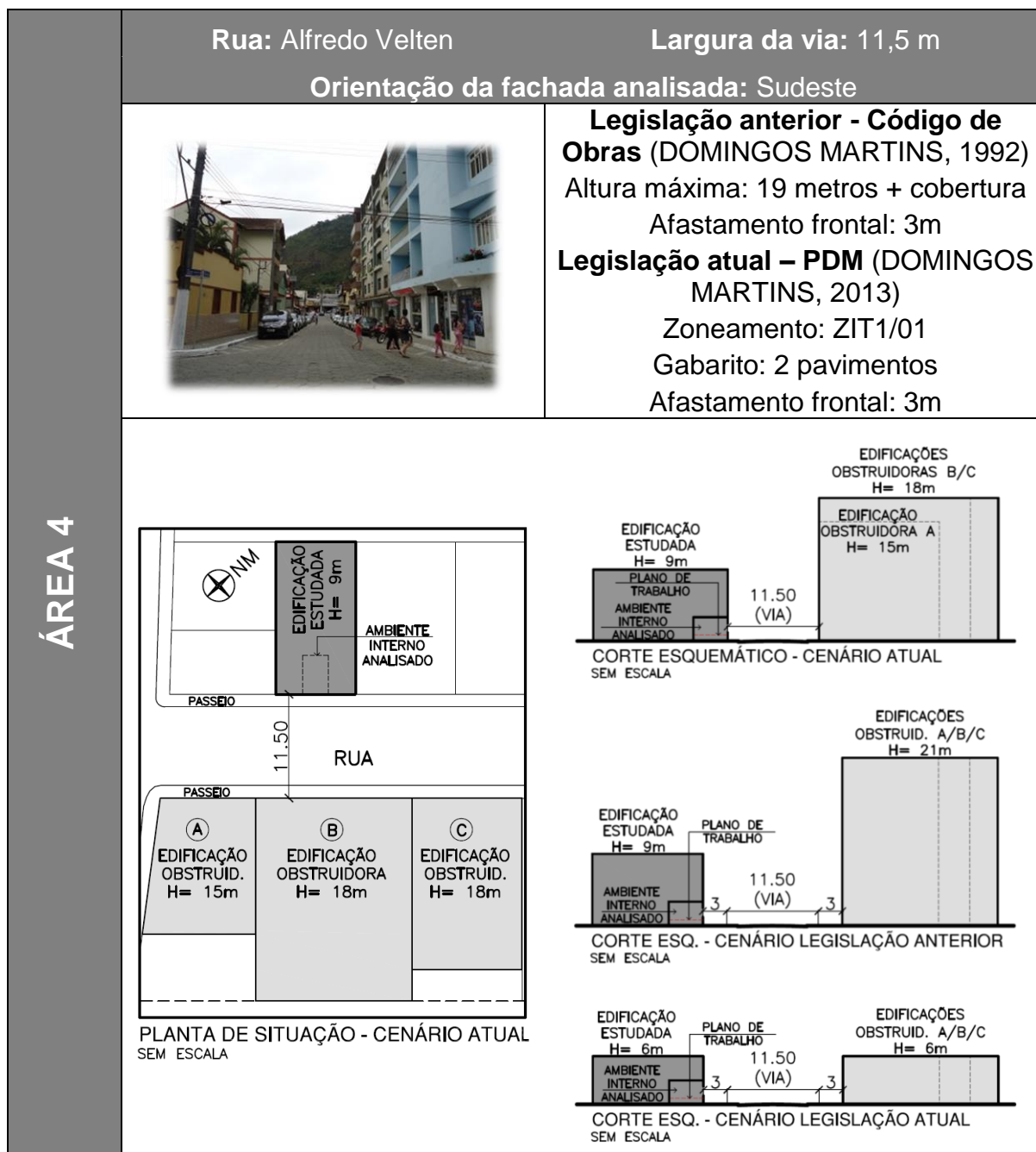
Fonte: A autora.

Quadro 7- Caracterização da Área 3.



Fonte: A autora.

Quadro 8- Caracterização da Área 4.



Fonte: A autora.

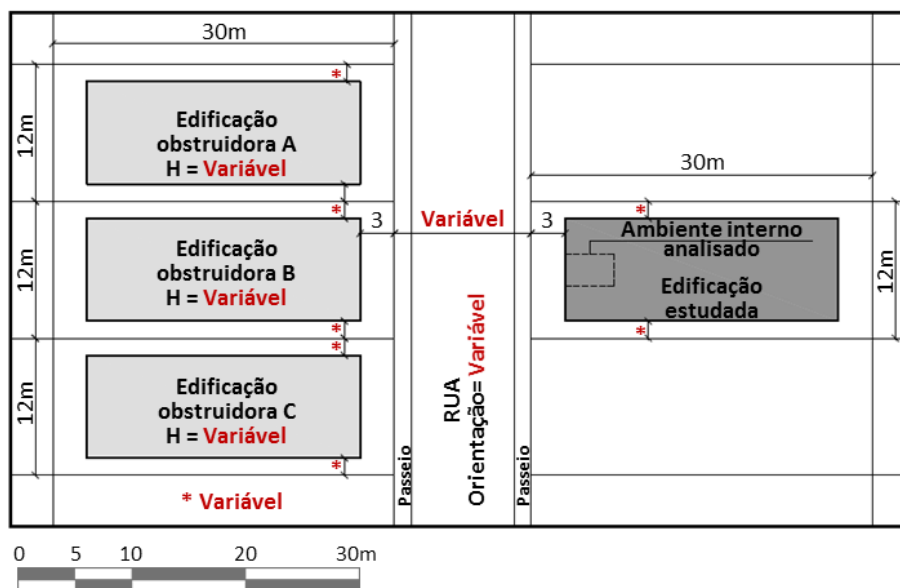
3.3 SEGUNDA ETAPA DE SIMULAÇÕES: CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO MODELO

Na segunda etapa de simulações o objetivo principal foi verificar a interferência dos parâmetros largura da via, altura das edificações obstruidoras e afastamento lateral na disponibilidade de luz natural no ambiente interno, tendo em vista as áreas de

expansão urbana e futuros loteamentos. A partir dessa avaliação também foi possível averiguar a adequabilidade da legislação vigente e anterior considerando uma nova malha viária com vias mais largas, novas orientações e tamanhos maiores de lotes, bem como fazer recomendações no intuito de contribuir com o planejamento dessas novas áreas.

Nesta etapa, modelou-se um cenário fictício, composto pelo edifício estudado e três edificações obstruidoras (Figura 6). Os terrenos foram projetados com dimensões de 12 m x 30 m, de acordo com o exigido pela legislação atual para a maioria das zonas quanto ao parcelamento do solo (testada mínima de 12 m; área mínima de 360 m²). Neste cenário, os parâmetros variáveis são a altura das edificações obstruidoras, os afastamentos laterais, largura e orientação das vias, os quais foram definidos em observância da legislação anterior (Código de Obras), legislação vigente (PDM) e características locais (Quadro 9). Como referência, utilizou a situação considerada menos favorável, ou seja, largura da via de 12 m, altura da edificação obstruidora de 21 m (7 pavimentos) e sem afastamento lateral (Figura 8). Vale destacar que apesar de não ser este um parâmetro estabelecido no Plano Diretor, a orientação de via e fachada da edificação interfere significativamente na iluminância do ambiente interno, sendo assim, considerou-se as quatro principais orientações cardeais (Norte – Sul – Leste – Oeste).

Figura 6- Esquema básico de situação das edificações no Cenário Modelo com definição dos parâmetros variáveis.



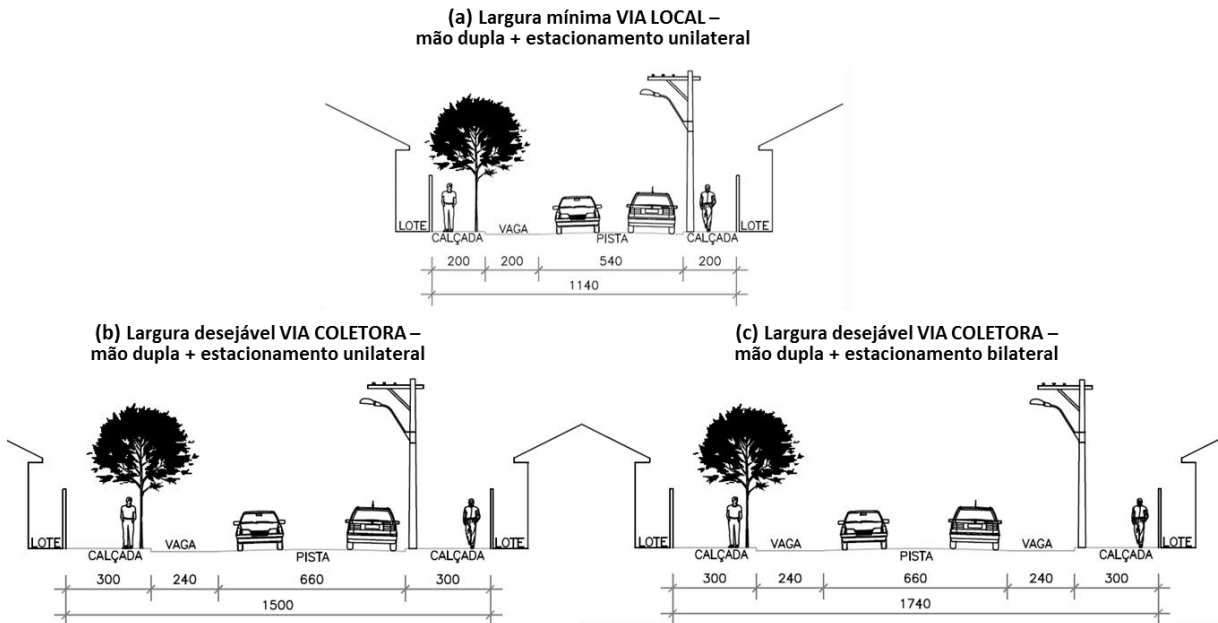
Fonte: A autora.

Quadro 9- Parâmetros variáveis para análise.

VARIÁVEIS		
Largura das vias	12 metros	Largura existente predominante para as vias coletoras e arteriais; largura (aprox.) indicada pela legislação vigente para vias locais (Figura 7a)
	15 metros	Largura desejável indicada pela legislação vigente para vias coletoras (Figura 7b)
	18 metros	Largura (aprox.) desejável indicada pela legislação vigente para vias coletoras (Figura 7c)
Altura das edificações obstruidoras	2 pavimentos	Limite estabelecido pela legislação vigente para a maioria dos zonas
	4 pavimentos	Limite máximo permitido pela legislação vigente
	7 pavimentos	Limite máximo permitido pela legislação anterior
Afastamento lateral	Sem afastamento	Estabelecido pela legislação anterior para paredes cegas; tipologia predominante
	1,5 m	Estabelecido pela legislação anterior (para paredes com abertura) e pela vigente de acordo com a altura da edificação
	Variável (1,5 + H/10)	Estabelecido pela legislação vigente para a maioria das zonas, sendo H a altura total da edificação
Orientação das vias	Norte - Sul	Orientação das fachadas/edificações analisadas: Leste e Oeste
	Leste - Oeste	Orientação das fachadas/edificações analisadas: Norte e Sul

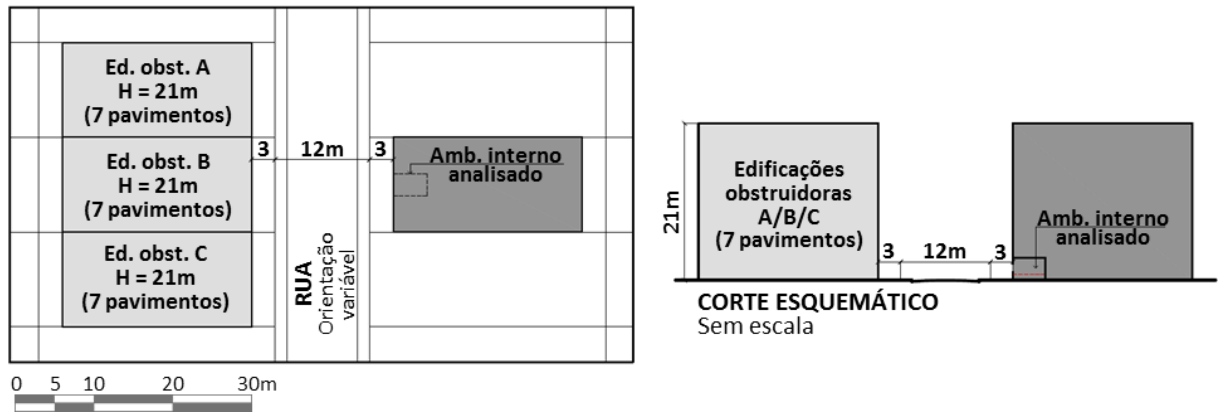
Fonte: A autora.

Figura 7- Dimensionamento das vias conforme indicação do PDM.



Fonte: Adaptado de Domingos Martins (2013).

Figura 8- Esquema básico de situação das edificações no Cenário Referência com definição dos parâmetros adotados.



Fonte: A autora.

3.4 PROGRAMA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

O principal instrumento de obtenção de dados foram as simulações computacionais realizadas no programa TropLux (CABÚS, 2005), o qual permite a simulação da iluminação natural no ambiente interno considerando as características, tanto climáticas como arquitetônicas, das regiões tropicais, fato este que também auxiliou na escolha da ferramenta. Outro fator que influenciou na escolha foi o fato de o

programa ser validado e atualizado periodicamente, buscando simplificações em seu procedimento. Dentre as suas especificidades, destacam-se a configuração do índice de refletância das superfícies internas e externas, e do tipo de céu da localidade segundo os padrões da CIE. O programa é baseado em três conceitos: o método Monte Carlo, o método do raio traçado e o conceito de coeficientes de luz natural (CABÚS, 2005).

O método Monte Carlo, segundo Cabús (2005, p. 241), “[...] é baseado na seguinte premissa: se a probabilidade de ocorrência de cada evento separado é conhecida, então é possível determinar a probabilidade com que a sequência completa de eventos irá ocorrer”. A técnica do raio traçado consiste no caminho de um raio entre superfícies, e tem como principal vantagem a possibilidade de trabalhar com geometrias complexas (CABÚS, 2005). Por fim, o uso dos coeficientes de luz natural, proposto por Tregenza e Waters (1983 apud CABÚS, 2005), está vinculado ao conceito de dois tipos de subdivisão do céu: a subdivisão proposta pela CIE, para o cálculo da componente refletida, na qual o céu é dividido em 145 partes; e uma subdivisão para o cálculo da componente direta em 5221 partes, com o intuito de garantir maior precisão dos resultados conforme o tamanho angular do sol (CABÚS, 2005).

Destaca-se que o objeto de estudo não possui arquivo climático, fato que impossibilitou trabalhar com simulações dinâmicas¹⁴ nesta pesquisa. Ressalta-se, contudo, que houve um empenho no intuito de formular o arquivo climático para o desenvolvimento deste trabalho por meio de parcerias com o Incaper, o qual forneceu dados climáticos da região, e com o pesquisador Alexandre Cypreste Amorim¹⁵ que se disponibilizou a realizar o tratamento dos dados. Entretanto, tendo em vista o período previsto para a conclusão desta pesquisa e o tempo necessário para a criação do arquivo, não foi possível conciliar os trabalhos e, conseqüentemente, não foram realizadas simulações dinâmicas.

Ainda nesse contexto, buscou-se outras alternativas com o propósito de caracterizar de maneira mais realística as condições de luminosidade local, destacando-se as

¹⁴ As simulações dinâmicas da luz natural retratam a variação da luminosidade da abóboda celeste ao longo do dia e do ano. Para se trabalhar com simulações dinâmicas é necessário um arquivo climático do local.

¹⁵ Professor e pesquisador do IFES (Instituto Federal do Espírito Santo) – campus Colatina/ES.

pesquisas de Cabús (1997) que caracterizou o céu de Maceió em sua tese de doutorado, correlacionando-o com o padrão da CIE, e o estudo de Carlo e outros (2004) os quais utilizaram uma metodologia específica para verificar a frequência de ocorrência de cada tipo de céu (encoberto, parcialmente nublado e claro) a partir dos dados referente à nebulosidade, que podem ser encontrados em arquivos climáticos. Também Scarazzato (1995), conforme exposto anteriormente, em sua pesquisa de doutorado, tendo em vista a falta de dados para caracterizar as condições de céu em diferentes locais, classificou o céu predominante de todas as capitais brasileiras, sendo que para a grande maioria – 24 em um total de 27 capitais – a condição típica de céu é o parcialmente nublado, inclusive para Vitória-ES. Além disso, Laranja (2010), adotando como objeto de estudo a cidade de Vitória – ES (LAT 20° 16'), cuja latitude é muito próxima a de Domingos Martins – ES, estabeleceu 3 tipos de céu padrão CIE os quais correspondem aos valores mínimo (céu 3), intermediário (céu 7) e máximo (12) de iluminância local. Sendo assim, conforme Laranja (2010), nesta pesquisa, adotou-se os céus padrão CIE 3 (encoberto), 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro) para a realização das simulações computacionais.

3.5 DIAS E HORÁRIOS DAS SIMULAÇÕES

Conforme a NBR 15215-4 (ASSOCIAÇÃO..., 2005) os níveis de iluminação devem ser verificados em diferentes épocas do ano e horários distintos, a fim de se obter valores mais precisos. Logo, as simulações foram realizadas considerando todos os dias do ano e cada hora compreendida entre 7h00 - 17h00.

3.6 CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE INTERNO ADOTADO

Em relação ao tipo de ocupação das edificações analisadas, e conseqüentemente da função do ambiente interno adotado, tendo em vista as tipologias existentes na região estudada e também do gabarito máximo permitido pela legislação, considerou-se que as mesmas podem ser do tipo residencial (uni ou multifamiliar) e também de uso misto, com comércio no térreo e unidades residenciais nos demais pavimentos.

As principais características desse ambiente interno foram definidas de acordo com as especificações estabelecidas pelo Código de Obras de Domingos Martins (DOMINGOS MARTINS, 1992) e, de forma complementar, o Código de Obras de Vitória (VITÓRIA, 1998), bem como na tipologia verificada na região estudada (Quadro 10). As refletâncias internas foram adotadas conforme Laranja (2010), NBR ISO/CIE 8995 (ASSOCIAÇÃO..., 2013) e Petersen e outros (2014), como mostra o Quadro 11. As aberturas do modelo analisado localizam-se na fachada voltada para o exterior, centralizadas na parede, e foram orientadas à Norte, Sul, Leste e Oeste. São compostas por vidro liso transparente, cuja a transmitância à luz visível é de 90% (padrão do *software*), e possuem uma área de 1,54m² (1,40x1,10x1,10m), correspondendo a 1/8 da área do piso do compartimento (VITÓRIA, 1998).

Quadro 10- Características do ambiente interno simulado.

DIMENSÕES INTERNAS		
Largura	2,80 m	Código de Obras de D. Martins; Código de obras de Vitória (complementar); Tipologia verificada na região.
Comprimento	4,30 m	
Pé-direito	3,00 m	
Janela	1,40x1,10x1,10m	

Fonte: A autora.

Quadro 11- Refletâncias internas do ambiente simulado.

REFLETÂNCIAS INTERNAS		
Piso	20%	Laranja (2010); NBR ISO/CIE 8995; Petersen e outros (2014).
Parede	50%	
Teto	80%	

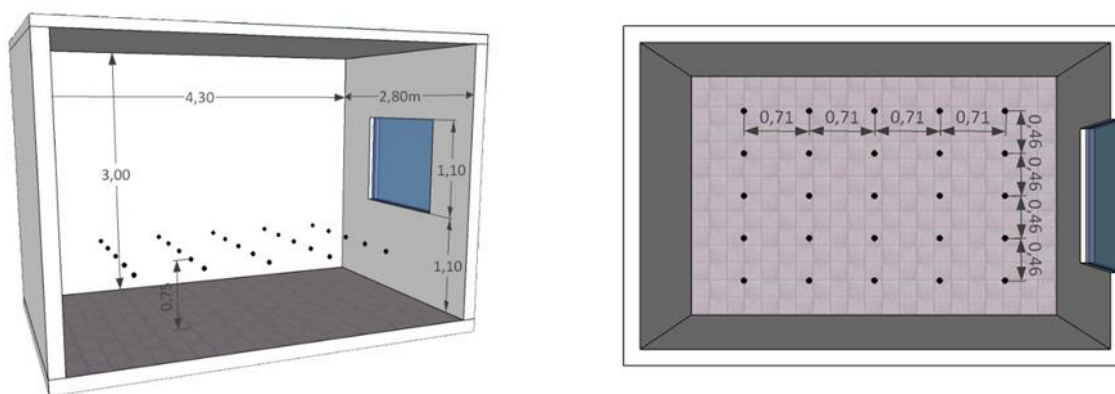
Fonte: A autora.

3.7 PONTOS DE MEDIÇÕES NO AMBIENTE INTERNO

Os pontos para medição da iluminância no ambiente interno situam-se no térreo, visto ser a situação mais crítica para o acesso da luz natural. Adotou-se a NBR 15215-4 (ASSOCIAÇÃO..., 2005) para determinar o número mínimo e a localização dos pontos

para verificação do nível de iluminação natural. A quantidade mínima de pontos encontrados foi 16, porém, optou-se por trabalhar com um número superior, 25 pontos, visando maior precisão nos dados de resposta. A malha para localização dos pontos é composta de 5 linhas e 5 colunas, distando entre si 0,46 m e 0,76 m respectivamente. O plano de trabalho considerado, em conformidade com a NBR 15215-4 (ASSOCIAÇÃO..., 2005), está a 0,75 m do piso (Figura 9).

Figura 9- Vista do ambiente interno analisado indicando dimensões e a malha de pontos para medição de iluminância.



Fonte: A autora.

3.8 CARACTERÍSTICAS DAS EDIFICAÇÕES OBSTRUIDORAS E VIAS

Nesta pesquisa, adotou-se três e quatro¹⁶ edificações obstruidoras para compor o cenário urbano, as quais localizam-se à frente da edificação estudada, à frente na lateral direita, e à frente na lateral esquerda (Quadros 5 a 8 e Figura 6). As refletâncias estipuladas para as edificações e vias foram baseadas nos trabalhos desenvolvidos por Leder (2007), Laranja (2010) e Strømman-Andersen e Sattrup (2011), conforme Quadro 12. Destaca-se ainda que, em relação à definição da refletância externa das superfícies horizontais, também se considerou o tipo de pavimentação da área estudada (paralelepípedo e asfalto).

¹⁶ Na área 3 (primeira etapa de simulações), adotou-se 4 edificações obstruidoras em função do posicionamento dos lotes em relação ao ambiente analisado, visto que a não adoção da quarta edificação interferiria nos resultados obtidos nas simulações computacionais.

Quadro 12- Refletâncias externas do entorno analisado.

REFLETÂNCIAS EXTERNAS		
Fechamentos Opacos	40%	Leder (2007); Laranja (2010); Strømman-Andersen e Sattrup (2011)
Superfícies Horizontais	20%	

Fonte: A autora.

3.9 ANÁLISES DE RESULTADOS

Vianna e Gonçalves (2007) e Keeler e Burke (2010) afirmam que os critérios gerais para avaliar o desempenho da iluminação natural concernem, basicamente, em prever níveis adequados de iluminação, evitar o ofuscamento e garantir o conforto visual. Sendo assim, nesta pesquisa foram analisados os valores da iluminância média global, os percentuais das UDI's e os percentuais de uniformidade. Ressalta-se ainda que a iluminação considerada diz respeito à iluminância global, proveniente da combinação entre a luz do sol e da parcela refletida.

A avaliação foi realizada considerando as duas etapas anteriormente descritas. Na primeira etapa de simulação foram comparados os resultados, referente a cada métrica de avaliação, obtidos no cenário atual (CA), no cenário legislação anterior (CL Anterior), e no cenário legislação atual (CL Atual), verificando-se a variação desses valores mediante a aplicação dos índices urbanísticos estabelecidos pelo Código de Obras e Plano Diretor. Na segunda etapa, as simulações foram separadas de acordo com o parâmetro urbanístico analisado, isto é, a largura da via, a altura das edificações obstruidoras e o afastamento lateral, sendo cada parâmetro examinado a partir das três métricas de avaliação definidas (iluminância, UDI e uniformidade). Nos cenários gerados nesta fase, variou-se apenas o parâmetro analisado, mantendo-se constantes os demais.

Em relação às métricas de avaliação, inicialmente, são comparados os níveis de iluminância média global obtidos em cada cenário, verificando-se a variação dos mesmos dentro do ambiente interno, e observando-se ainda se esses valores encontram-se no limite estabelecido pela NBR ISO/CIE 8995-1, que recomenda o valor de 500 lx como iluminância a ser mantida em compartimentos onde se realizam as seguintes atividades: escrever, teclar, ler e processar dados (ASSOCIAÇÃO...

2013). Posteriormente, foram avaliados os percentuais das UDI's, buscando-se verificar, primeiramente, o aumento da iluminação considerada como satisfatória e desejável ($500 \text{ lx} < \text{UDI} < 2000 \text{ lx}$), e/ou ainda do percentual suficiente ($100 \text{ lx} < \text{UDI} < 2000 \text{ lx}$), com atenção ao ganho da iluminação caracterizada como excessiva e indesejável ($2000 \text{ lx} < E$). Por fim, examinou-se a variação dos percentuais de uniformidade, os quais foram calculados a partir do quociente entre a média das iluminâncias e o valor mínimo encontrado, conforme o recomendado pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ASSOCIAÇÃO... 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

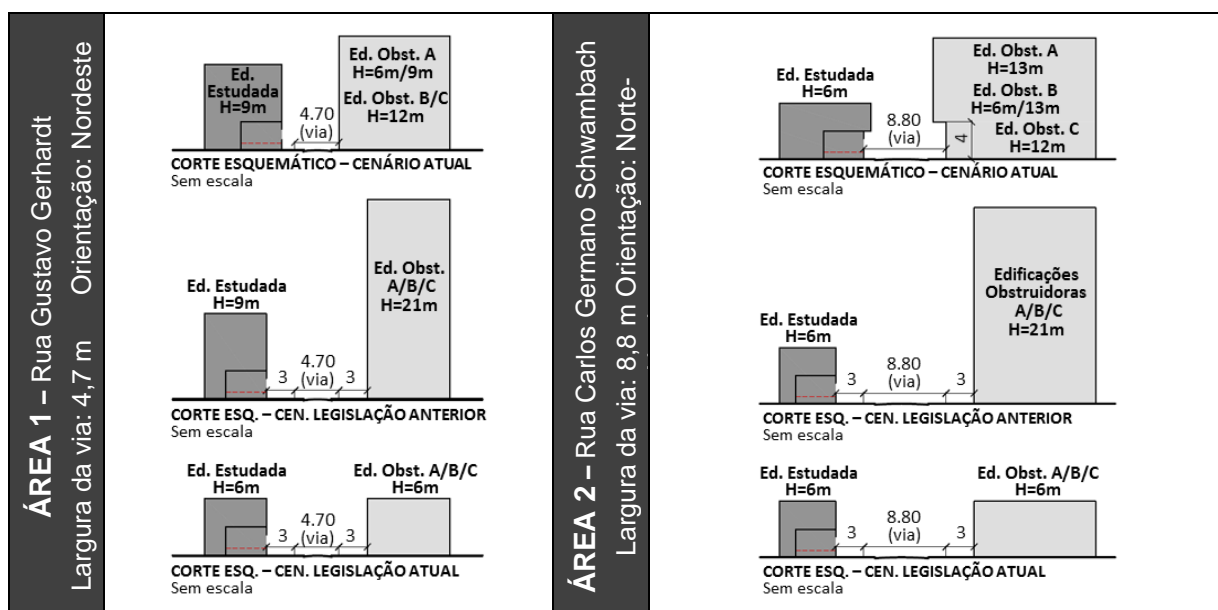
Este capítulo apresenta os resultados obtidos nas duas etapas de simulações computacionais conforme estabelecido na metodologia. Em cada etapa avaliou-se os valores médios anuais de iluminância interna, os percentuais de horas dos dias do ano enquadrados nos intervalos das UDI's e os percentuais de uniformidade.

4.1 PRIMEIRA ETAPA DE SIMULAÇÕES

Na investigação e avaliação da primeira etapa de simulações, foram selecionados quatro áreas representativas da região central da cidade, e para cada área foram criados e comparados três cenários entre si: cenário atual (CA), cenário legislação anterior (CL Anterior) e cenário legislação atual (CL Atual), conforme exemplifica o Quadro 13. Por meio dos resultados, buscou-se observar as alterações dos valores referentes às métricas de avaliação (iluminância, UDI e uniformidade) mediante a aplicação dos índices urbanísticos propostos pelo Código de Obras (legislação anterior) e Plano Diretor Municipal (legislação atual), objetivando, dessa forma, fazer uma análise quanto à adequabilidade tanto da legislação anterior como da vigente, considerando a ocupação urbana existente. Nesta etapa, os resultados foram separados e apresentados segundo os parâmetros de avaliação, encontrando-se os mesmos no Apêndice A.

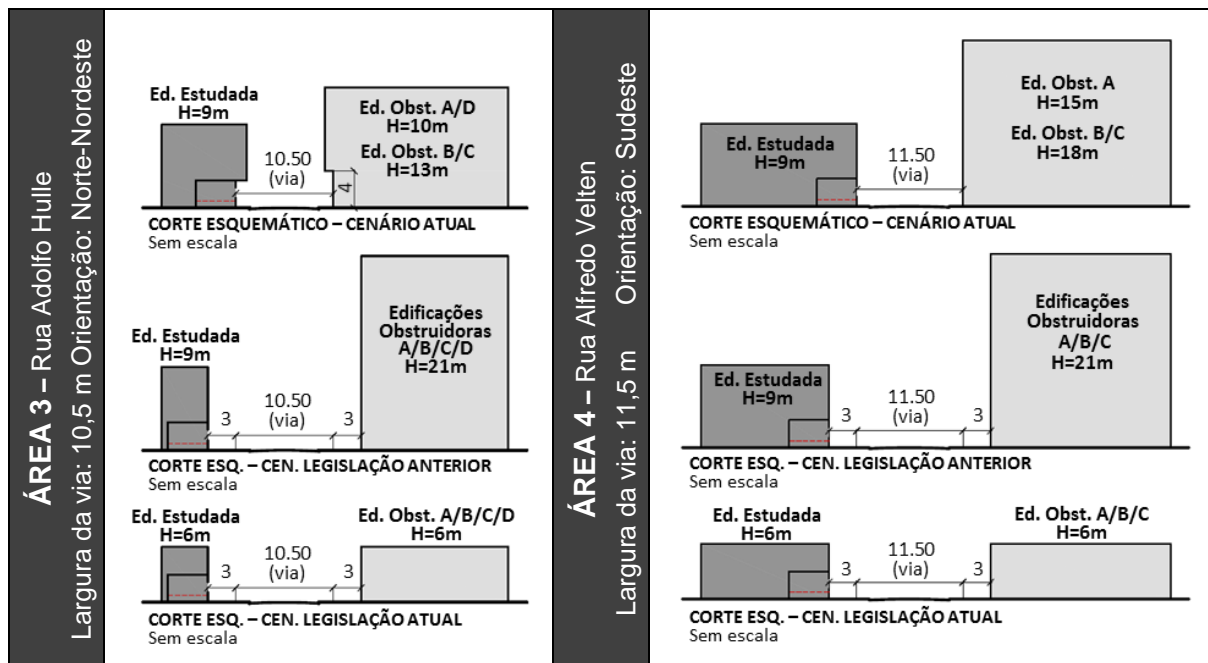
Quadro 13- Síntese dos cenários analisados nas 4 áreas amostrais.

(continua)



Quadro 13- Síntese dos cenários analisados nas 4 áreas amostrais.

(conclusão)



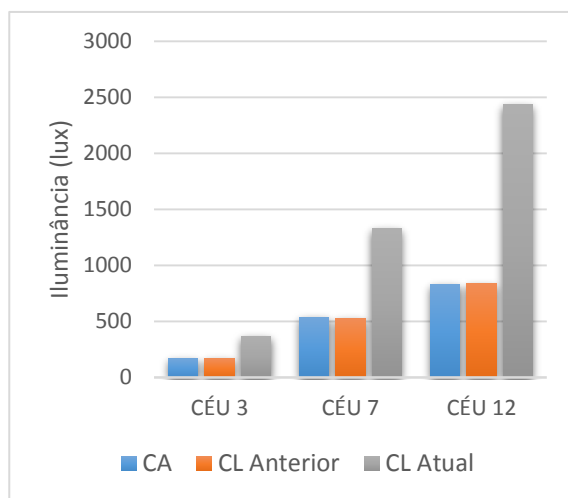
Fonte: A autora.

4.1.1 Iluminância média global

Na área 1 (Gráfico 1), ao comparar os cenários atual (CA) e da legislação anterior (CL Anterior), percebe-se que praticamente não houve variação dos níveis de iluminância para os três tipos de céu adotados. Apesar do gabarito mais permissivo no cenário legislação anterior (CL Anterior), com a aplicação dos afastamentos frontais, o distanciamento entre as edificações aumentou, sendo assim, a proporção entre altura das edificações obstruidoras e largura da via manteve-se, corroborando as pesquisas desenvolvidas por Li e outros (2009), Laranja (2010) e outros. Entretanto, quando aplicados os índices do PDM, verificou-se que o cenário da legislação atual (CL Atual) possibilitou o aumento do nível de iluminância nos três tipos de céu analisados. As contribuições foram significativas, visto que o ganho de iluminação no ambiente interno foi, em média, 54%, 60% e 65%, respectivamente para os céus 3 (encoberto), 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro). Em relação aos níveis recomendados pela NBR ISO/CIE 8995-1, para o céu 3 (encoberto), nenhum dos cenários analisados alcançou a iluminância mínima de 500 lx.

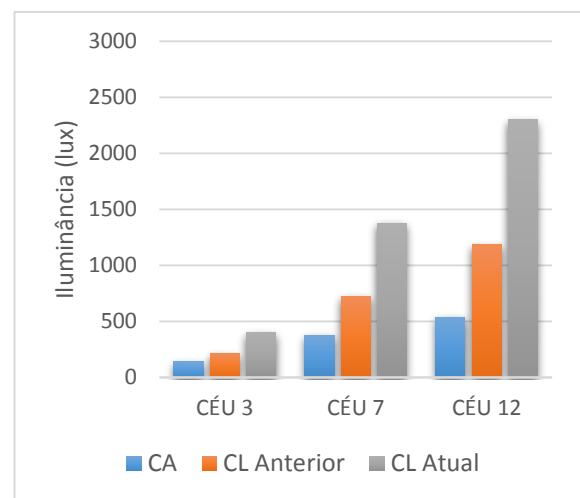
Na área 2 (Gráfico 2), tendo como base o cenário atual (CA), verificou-se que o nível de luz natural aumentou ao se aplicar os índices da legislação anterior e da legislação atual. Na análise entre o cenário real (CA) e o cenário da legislação anterior (CL Anterior), o aumento foi de 35%, 48% e 55%, respectivamente para os céus 3 (encoberto), 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro). Apesar da altura das edificações obstruidoras ser maior no cenário da legislação anterior (CL Anterior) – 21 m, nas edificações do cenário atual (CA), conforme exemplificado nos Quadros 6 e 13, os pavimentos acima do térreo avançam sobre a calçada, o que torna o afastamento entre as edificações menor do que a própria largura da via. Nesse sentido, tomando por base a via-padrão da área 2, percebe-se que os índices propostos pela legislação anterior não eram prejudiciais para a disponibilidade de luz natural no ambiente interno, mas sim a tipologia que vinha sendo edificada na cidade até o PDM entrar em vigor, caracterizada por construções alinhadas no limite frontal dos terrenos e com pavimentos acima do térreo em balanço sobre a calçada.

Gráfico 1- Iluminância média global na Área 1 (Rua Gustavo Gerhardt). Orientação: Nordeste.



Fonte: A autora.

Gráfico 2- Iluminância média global na Área 2 (Rua Carlos Germano Schwambach). Orientação: Norte-Nordeste.



Fonte: A autora.

Ainda na análise da área 2 (Gráfico 2), ao confrontar o cenário da legislação atual (CL Atual) e o cenário da legislação anterior (CL Anterior), também houve um aumento da iluminância no ambiente interno de 46%, 47% e 48%, respectivamente para os céus 3 (encoberto), 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro). Conseqüentemente, na comparação entre o cenário atual (CA) e o cenário da legislação atual (CL Atual), esse

acréscimo no nível de luz natural foi ainda maior, 65% para o céu 3 (encoberto), 72% para o céu 7 (parcialmente nublado) e 76% para o céu 12 (claro). O significativo aumento da iluminância no cenário da legislação atual (CL Atual) deve-se à aplicação do afastamento frontal e, principalmente, à restrição do gabarito estabelecida pelo PDM. No que tange aos níveis estabelecidos pela NBR ISO/CIE 8995-1, nenhum dos cenários para o céu 3 (encoberto), e o cenário atual (CA) para o céu 7 (parcialmente nublado), alcançou a iluminância mínima recomendada pela norma de 500 lx.

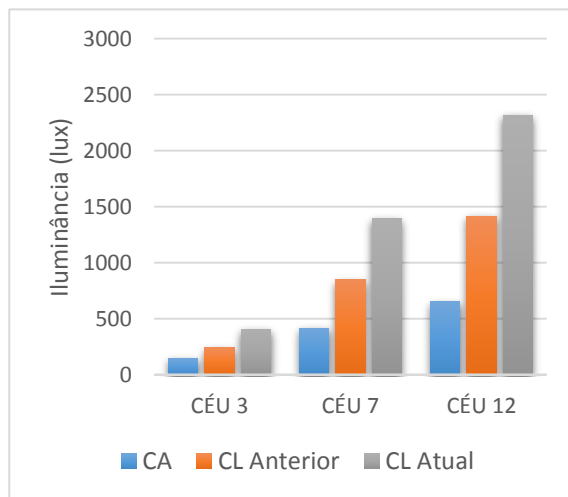
Na área 3 (Gráfico 3), de forma análoga à área 2, o cenário da legislação anterior (CL Anterior) proporcionou o aumento da iluminação natural no ambiente interno em relação ao cenário atual (CA) e, por sua vez, o cenário da legislação atual (CL Atual) acresceu o nível de iluminância em relação ao cenário da legislação anterior (CL Anterior) e do cenário atual (CA). Na primeira situação, no cenário atual (CA) e da legislação anterior (CL Anterior), o ganho foi de 39%, 50% e 54% para os céus 3 (encoberto), 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro) respectivamente. Na análise entre os cenários da legislação atual (CL Atual) e da legislação anterior (CL Anterior), o acréscimo de luz natural foi de cerca de 40% para os três tipos de céu. E, na avaliação entre o cenário da legislação atual (CL Atual) e do cenário atual (CA), o aumento da iluminância no interior das edificações foi significativo, 64%, 70% e 72% respectivamente para os céus 3 (encoberto), 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro).

Destaca-se, ainda sobre a área 3, que as edificações do cenário atual (CA) são caracterizadas pela tipologia construtiva na qual os pavimentos acima do térreo estão em balanço sobre a calçada, reduzindo os afastamentos entre as edificações, e resultando no aumento gradativo da iluminância entre os cenários analisados. Em relação aos níveis recomendados pela NBR ISO/CIE 8995-1, nenhum dos cenários para o céu 3 (encoberto), e o cenário atual (CA) para o céu 7 (parcialmente nublado), alcançou a iluminância mínima recomendada pela norma de 500 lx.

Na área 4 (Gráfico 4), apesar dos percentuais de contribuição terem sido menores em relação às áreas 2 e 3, fato certamente devido à orientação do ambiente analisado (Sudeste), a geometria proporcionada pelo cenário da legislação anterior (CL Anterior) permitiu um ganho de iluminação no ambiente interno em relação ao cenário atual (CA) de 22%, 18% e 16% para os céus 3 (encoberto), 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro) respectivamente. Comparando-se o cenário da legislação atual (CL Atual) e o cenário da legislação anterior (CL Anterior), os índices do PDM aplicados propiciaram

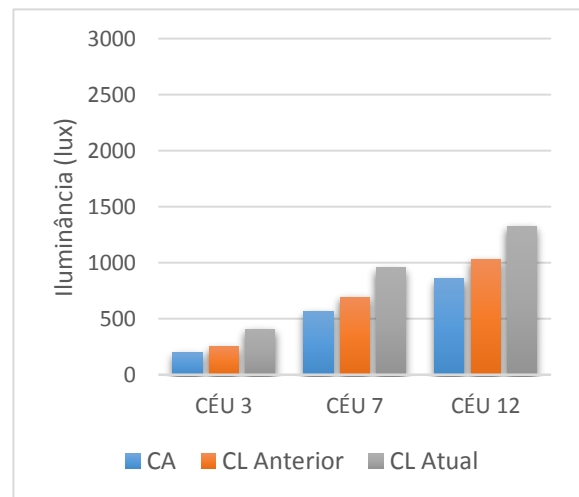
o aumento da iluminância em 38%, 28% e 22%, respectivamente para os céus 3 (encoberto), 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro). Conseqüentemente, o cenário da legislação atual (CL Atual) proporcionou um ganho ainda maior de luz natural em relação ao cenário atual (CA), de 52%, 41% e 35% para os céus 3 (encoberto), 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro) respectivamente. De forma análoga à área 1, para o céu 3 (encoberto), nenhum dos cenários analisados alcançou a iluminância mínima de 500 lx recomendada pela NBR ISO/CIE 8995-1.

Gráfico 3- Iluminância média global na Área 3 (Rua Adolfo Hulle). Orientação: Norte-Nordeste.



Fonte: A autora.

Gráfico 4- Iluminância média global na Área 4 (Rua Alfredo Velten). Orientação: Sudeste.



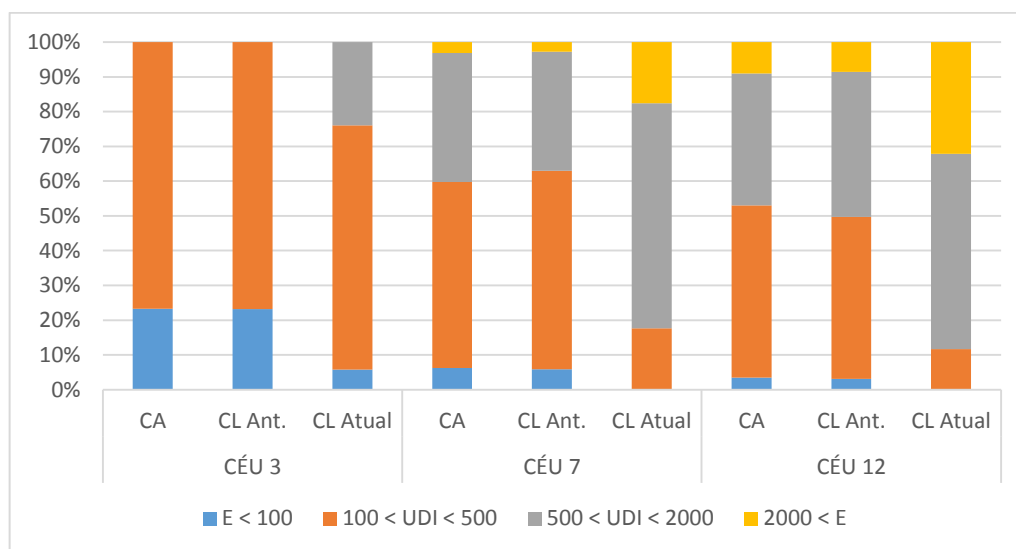
Fonte: A autora.

4.1.2 UDI (Useful Daylight Illuminances)

Na área 1 (Gráfico 5), para o céu 3 (encoberto) percebe-se que os percentuais se mantiveram constantes entre o cenário da legislação anterior (CL Anterior) e o cenário atual (CA), entretanto, o cenário gerado a partir dos índices do PDM (CL Atual) proporcionou o aumento da iluminância caracterizada como suficiente e desejável (500 lx/2000 lx) em detrimento da iluminância considerada como insuficiente ($E < 100$ lx). Nos céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), os percentuais pouco alteraram-se entre os cenários atual (CA) e da legislação anterior (CL Anterior). Já o cenário da legislação atual (CL Atual) novamente propiciou um incremento dos valores de iluminância compreendidos no intervalo entre 500 lx e 2000 lx para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), porém, houve um acréscimo no percentual de

iluminação considerada indesejável ($2000 \text{ lx} < E$), visto esta poder causar desconforto térmico ou visual, indicando que a redução do gabarito das edificações deve estar associada ao uso de proteções solares.

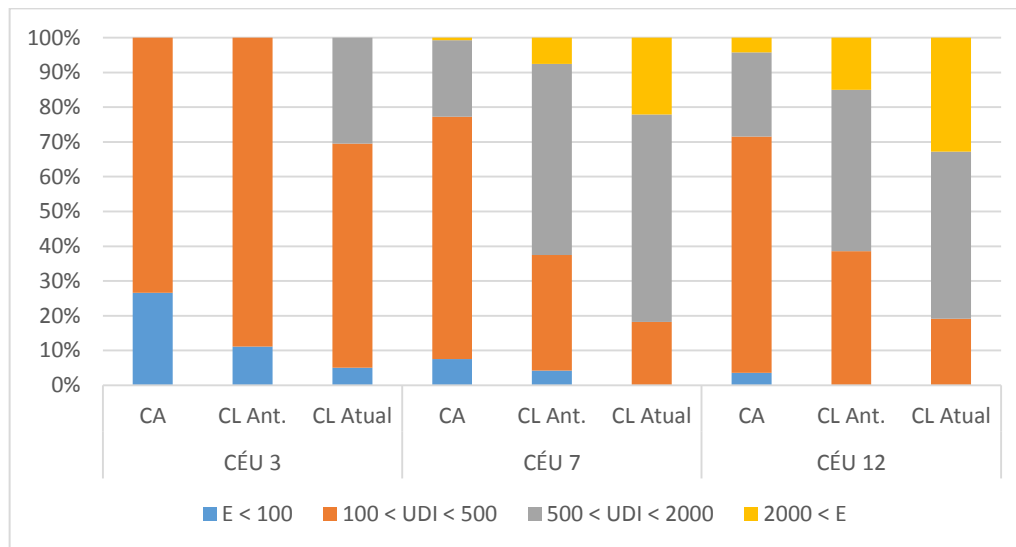
Gráfico 5- Comparativo entre os percentuais das UDI's na Área 1 (Rua Gustavo Gerhardt). Orientação: Norte.



Fonte: A autora.

Na área 2 (Gráfico 6), para o céu 3 (encoberto), o cenário da legislação anterior (CL Anterior) proporcionou o acréscimo do percentual compreendido no intervalo entre 100 lx e 500 lx em detrimento do percentual caracterizado como insuficiente ($E < 100 \text{ lx}$). O cenário da legislação atual (CL Atual) possibilitou o aumento dos valores compreendidos no intervalo entre 500 lx e 2000 lx, considerado como suficiente e desejável. Nos céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), confrontando o cenário atual (CA) e o cenário da legislação anterior (CL Anterior), os índices estabelecidos pelo Código de Obras permitiram o aumento do percentual considerado como suficiente e desejável (500 lx/2000 lx). Na comparação entre o cenário da legislação anterior (CL Anterior) e o cenário da legislação atual (CL Atual), os percentuais compreendidos entre 500 lx e 2000 lx praticamente não se alteraram, contudo, no cenário da legislação atual (CL Atual), houve um acréscimo no percentual de iluminação considerada indesejável ($2000 \text{ lx} < E$) por poder causar desconforto térmico ou visual. Nesse sentido, observa-se que para o céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro) o cenário da legislação anterior (CL Anterior) denotou melhor desempenho.

Gráfico 6- Comparativo entre os percentuais das UDI's na Área 2 (Rua C. G. Schwambach).
Orientação: Norte-Nordeste.

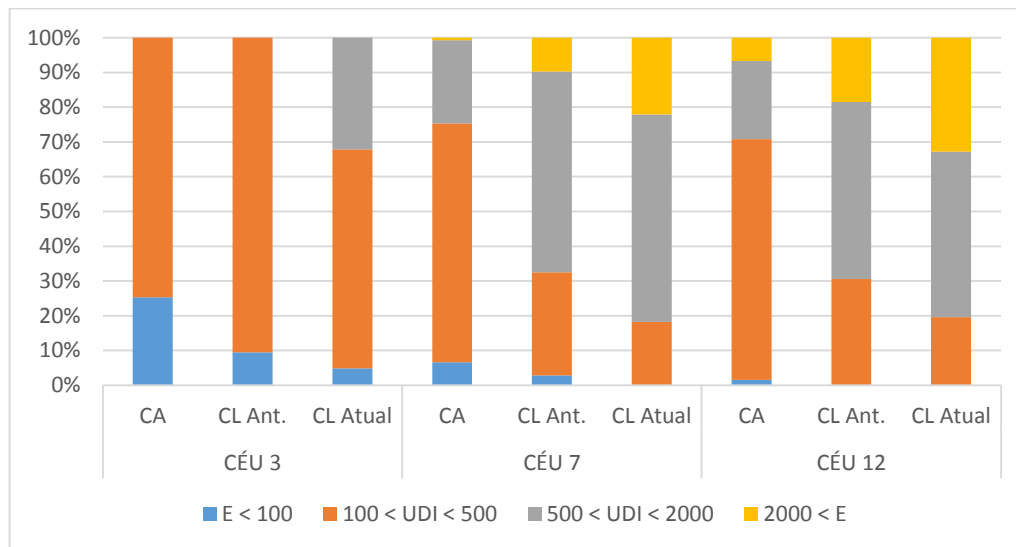


Fonte: A autora.

Na área 3 (Gráfico 7), a variação dos percentuais entre os cenários comportou-se de maneira semelhante à área 2, possivelmente por essas áreas apresentarem edificações com tipologias parecidas e mesma orientação (Norte-Nordeste). Para o céu 3 (encoberto), o cenário da legislação anterior (CL Anterior) aumentou o percentual compreendido no intervalo entre 100 lx e 500 lx, caracterizado como suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar, em detrimento do percentual classificado como insuficiente ($E < 100$ lx). O cenário da legislação atual (CL Atual) possibilitou o aumento dos valores compreendidos no intervalo entre 500 lx e 2000 lx, considerado como suficiente e desejável.

Ainda sobre a área 3 (Gráfico 7), para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), ao analisar o cenário atual (CA) e o cenário da legislação anterior (CL Anterior), os índices estabelecidos pelo Código de Obras permitiram o aumento do percentual considerado como suficiente e desejável (500 lx/2000 lx). Na comparação entre o cenário da legislação anterior (CL Anterior) e o cenário da legislação atual (CL Atual), os percentuais praticamente não se alteraram, contudo, no cenário da legislação atual (CL Atual), houve um acréscimo no percentual de iluminação considerada indesejável ($2000 \text{ lx} < E$). Nesse sentido, de forma análoga à área 2, observa-se que para o céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro) o cenário da legislação anterior (CL Anterior) apresentou melhor desempenho.

Gráfico 7- Comparativo entre os percentuais das UDI's na Área 3 (Rua Adolfo Hulle). Orientação: Norte-Nordeste.

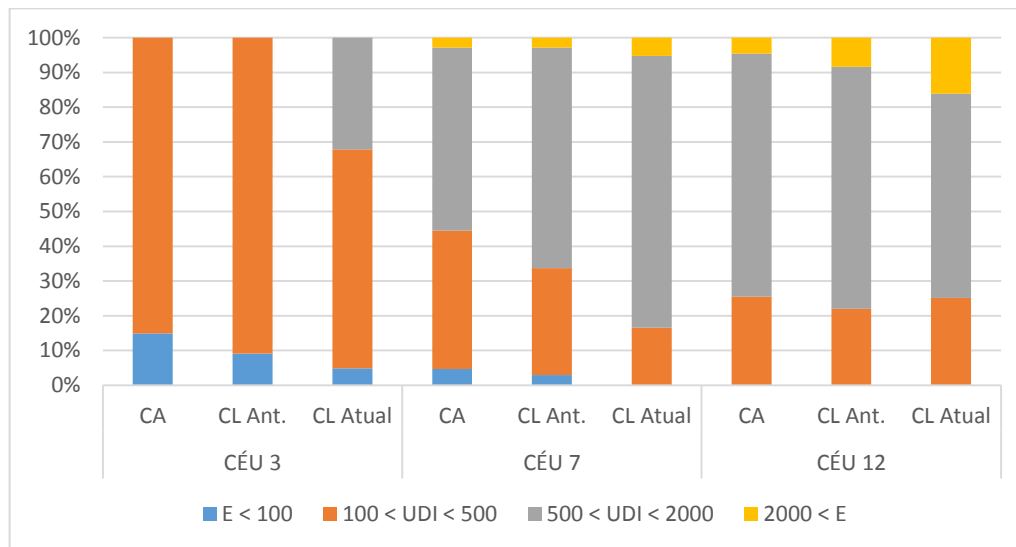


Fonte: A autora.

Na área 4 (Gráfico 8), para o céu 3 (encoberto), o cenário da legislação anterior (CL Anterior) permitiu um pequeno aumento nos valores de iluminância no intervalo entre 100 lx e 500 lx, caracterizado como suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar. Por sua vez, o cenário da legislação atual (CL Atual) permitiu que 95% dos valores de iluminância se enquadrassem nos intervalos 100 lx/500 lx e 500 lx/2000 lx, classificados respectivamente como suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar, e suficiente e desejável. Para o céu 7 (parcialmente nublado), percebe-se o aumento gradativo, entre os cenários, dos percentuais compreendidos no intervalo entre 500 lx e 2000 lx.

Ainda sobre a área 4 (Gráfico 8), para o céu 12 (claro), os percentuais quase não alteraram entre os cenários atual (CA) e da legislação anterior (CL Anterior), entretanto, o cenário da legislação atual (CL Atual) permitiu o acréscimo no percentual dos valores acima de 2000 lx, indicando a necessidade de associação do uso de proteções solares à redução do gabarito, e um decréscimo no percentual caracterizado como suficiente e desejável (500 lx/2000 lx). Sendo assim, destaca-se que, para o céu 12 (claro), o cenário da legislação anterior (CL Anterior) denotou melhor desempenho por abarcar o maior percentual no intervalo entre 500 lx e 2000 lx, e também por concentrar um menor percentual acima de 2000 lx quando comparado ao cenário da legislação atual (CL Atual).

Gráfico 8- Comparativo entre os percentuais das UDI's na Área 4 (Rua Alfredo Velten).
Orientação: Sudeste.



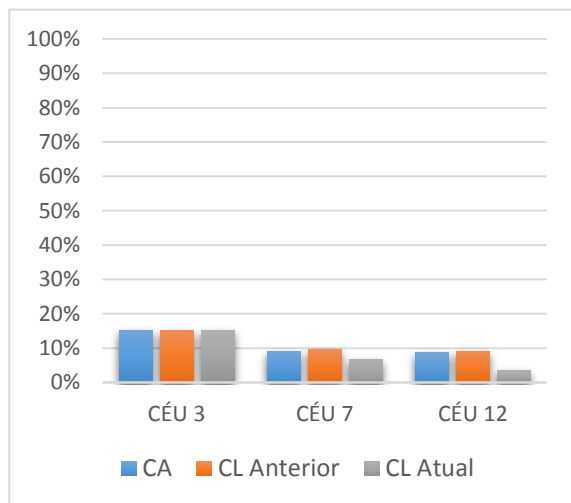
Fonte: A autora.

4.1.3 Uniformidade

Na área 1 (Gráficos 9 e 10), para o céu 3 (encoberto), os percentuais permaneceram constantes para todos os cenários, sendo 15% no período da manhã e 16% no período da tarde, isto porque o céu encoberto apresenta uma distribuição mais uniforme da luminância na abóboda celeste, independente da orientação. Para o céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), de maneira geral, os percentuais também mantiveram-se constantes ou praticamente não se alteram entre os cenários atual (CA) e da legislação anterior (CL Anterior) para ambos os períodos, visto que a variação máxima foi de 2%. Ainda para o céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), o cenário da legislação atual (CL Atual) apresentou uma menor uniformidade na parte da manhã, provavelmente, devido à orientação da fachada principal (Nordeste) que recebe maior incidência solar direta nesse período. Esse fato pode ser comprovado pelos resultados do Gráfico 5 – comparativo entre os percentuais das UDI's, o qual denota que o cenário da legislação atual (CL Atual), para o céu 12 (claro), foi o que abarcou uma maior quantidade de horas no intervalo da iluminância excessiva ($2000 \text{ lx} < E$). Assim, pode-se afirmar que o gabarito mais permissivo do Código de Obras ajuda a bloquear a luz solar direta contribuindo para uma menor variação da iluminância no interior do ambiente no período da manhã.

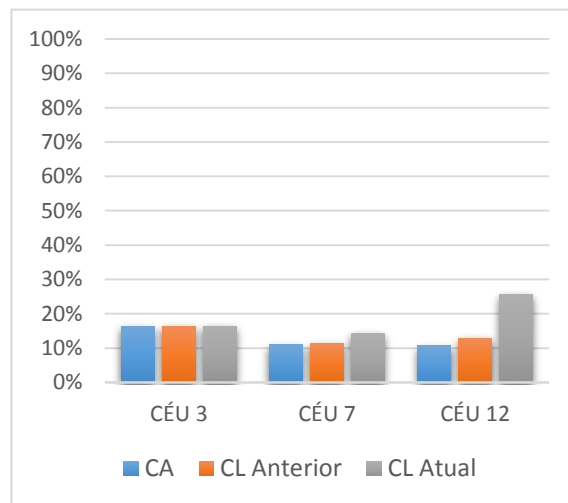
Na parte da tarde (Gráfico 10), para o céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), o cenário da legislação atual (CL Atual) apresentou melhor distribuição da iluminação no ambiente interno, devido ao fato da fachada principal (orientada à Nordeste), nesse período, receber maior contribuição do céu, visto que a radiação solar direta na parte da tarde está direcionada à lateral e fundos do edifício analisado. Ressalta-se ainda que as maiores variações ocasionadas pelo cenário da legislação atual (CL Atual) ocorreram para o céu 12 (claro), sendo o decréscimo no percentual de uniformidade de 6% no período da manhã e o acréscimo de 13% no período da tarde.

Gráfico 9- Uniformidade da iluminância na Área 1 (Rua Gustavo Gerhardt) entre 7h e 12 h (período da manhã). Orientação: Norte.



Fonte: A autora.

Gráfico 10- Uniformidade da iluminância na Área 1 (Rua Gustavo Gerhardt) entre 13h e 17h (período da tarde). Orientação: Norte.

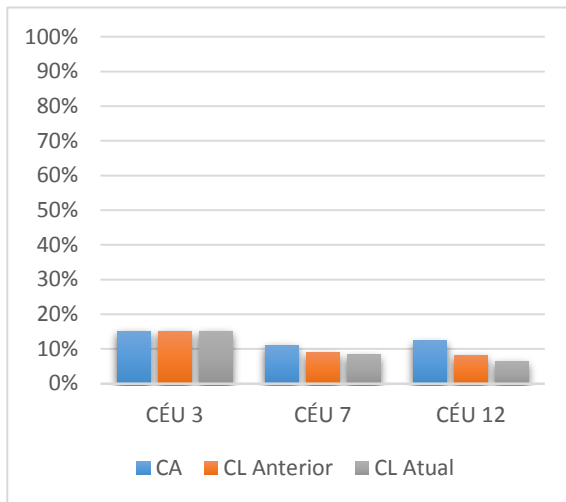


Fonte: A autora.

As áreas 2 e 3 (Gráficos 11 a 14), de maneira geral, apresentaram um comportamento semelhante, possivelmente por possuírem tipologias construtivas parecidas compondo o cenário atual (CA), ou seja, de edificações com o pavimento acima do térreo avançando sobre a calçada. Para o céu 3 (encoberto), de forma análoga à área 1, o índice de uniformidade permaneceu constante para todos os cenários, sendo 15% no período da manhã e 16% no período da tarde. Novamente, para os céus 7 e 12, o cenário da legislação atual (CL Atual) apresentou o menor percentual de uniformidade na parte da manhã e o melhor na parte da tarde para ambas as áreas. Nesse sentido, pode-se destacar que uma maior parcela de céu visível, em consequência das obstruções mais baixas impostas pelo PDM, propiciou maior uniformidade para situações nas quais a principal contribuição para iluminação provém da parcela

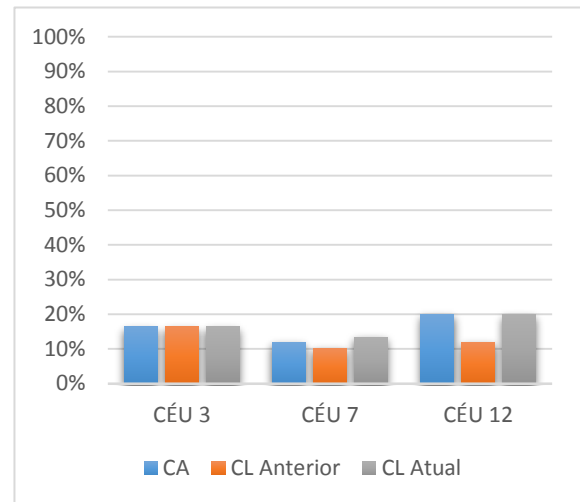
refletida da luz natural, fato que também foi possível observar na área 1 (Rua Gustavo Gerhardt). Coerentemente, a redução do gabarito e uma maior parcela de céu visível ocasionou menores índices de uniformidade nos períodos de maior incidência solar direta.

Gráfico 11- Uniformidade da iluminância na Área 2 (Rua Carlos Germano Schwambach) entre 7h e 12h (período da manhã). Orientação: Norte-Nordeste.



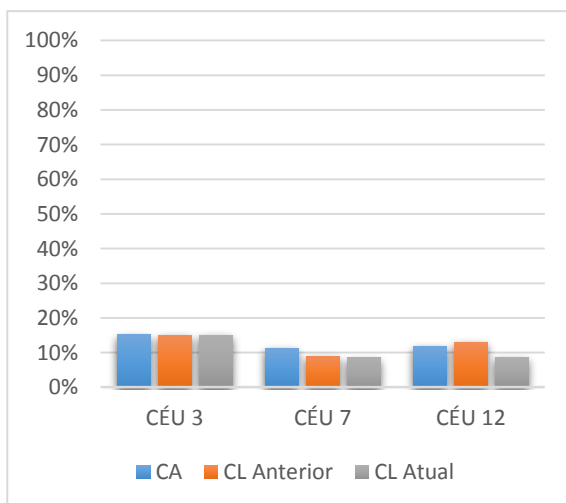
Fonte: A autora.

Gráfico 12- Uniformidade da iluminância na Área 2 (Rua Carlos Germano Schwambach) entre 13h e 17h (período da tarde). Orientação: Norte-Nordeste.



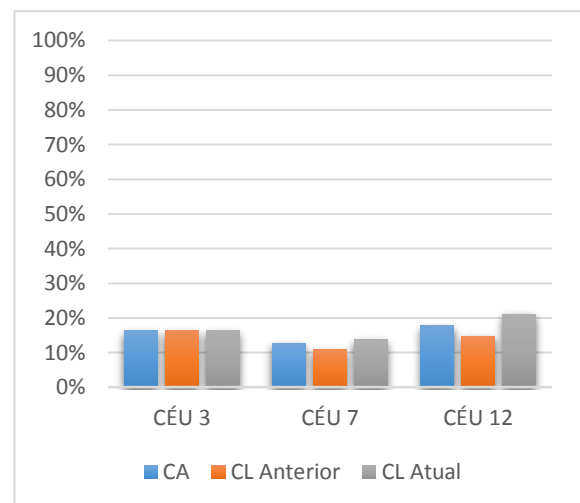
Fonte: A autora.

Gráfico 13- Uniformidade da iluminância na Área 3 (Rua Adolfo Hulle) entre 7h e 12h (período da manhã). Orientação: Norte-Nordeste.



Fonte: A autora.

Gráfico 14- Uniformidade da iluminância na Área 3 (Rua Adolfo Hulle) entre 13h e 17h (período da tarde). Orientação: Norte-Nordeste.



Fonte: A autora.

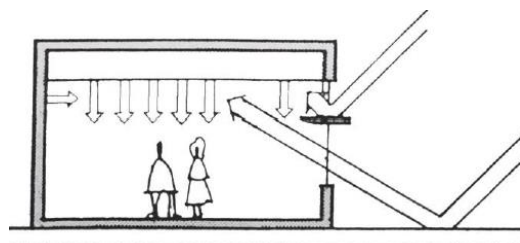
Entretanto, ainda sobre as áreas 2 e 3, observou-se que o cenário atual (CA), mesmo apresentando a menor parcela de céu visível (Figura 10), exibiu níveis iguais ou semelhantes aos do cenário da legislação atual (CL Atual) no período da tarde, principalmente para o céu 12 (claro), tendo maior destaque os resultados da área 2. Nesse sentido, observa-se que no cenário atual (CA) de ambas áreas houve uma redução da iluminância média e mínima (Gráficos 2 e 3), resultando em um determinado valor de uniformidade, porém, no cenário da legislação atual (CL Atual), tanto a média anual quanto o valor mínimo da iluminância interna aumentaram, ocasionando um índice de uniformidade equivalente ao constatado no cenário atual (CA). Além disso, Hopkinson e outros (1980), Robbins (1986) e Lam (1986) afirmam que o solo, o teto, as edificações do entorno e algumas partes da própria fachada do edifício podem funcionar como uma fonte indireta de iluminação por meio da reflexão da luz natural, contribuindo para a disponibilidade da mesma no ambiente interno (Figura 11).

Figura 10- Máscara de obstrução da área 2 (Rua Carlos Germano Schwambach). Em cinza, áreas obstruídas pelo entorno; em branco, parcela de céu visível.



Fonte: A autora.

Figura 11- Redirecionamento da luz natural por meio do piso externo, teto e outros elementos da edificação.

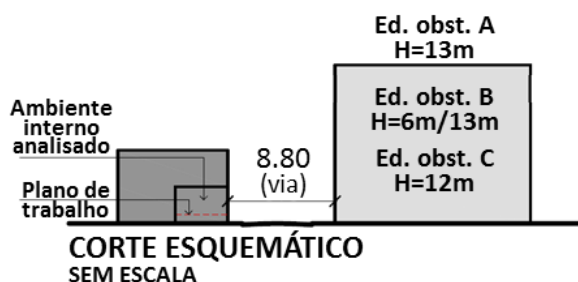


Fonte: Lam (1986).

Diante do anteriormente exposto, tomando como base o cenário da área 2 (Rua Carlos Germano Schwambach), investigou-se a influência do avanço das edificações sobre a calçada, simulando um cenário com a mesma largura de via (8,8 m), sem afastamento frontal e sem os avanços acima do térreo (Figura 12). O resultado, considerando o período da tarde para o céu 12 (claro) – situação de maior destaque, apontou uma redução de 8% na uniformidade do ambiente interno, ou seja, o novo cenário simulado (Figura 12) apresentou um percentual de uniformidade igual ao do cenário da legislação anterior (CL Anterior), de 12%, indicando uma possível

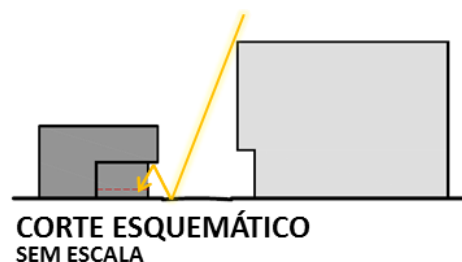
contribuição desses avanços, especificamente do teto, para a reflexão da luz natural e maior uniformidade no ambiente interno (Figura 13).

Figura 12- Perfil da área 2 (Rua Carlos Germano Schwambach) sem o avanço do pavimento acima do térreo sobre a calçada.



Fonte: A autora.

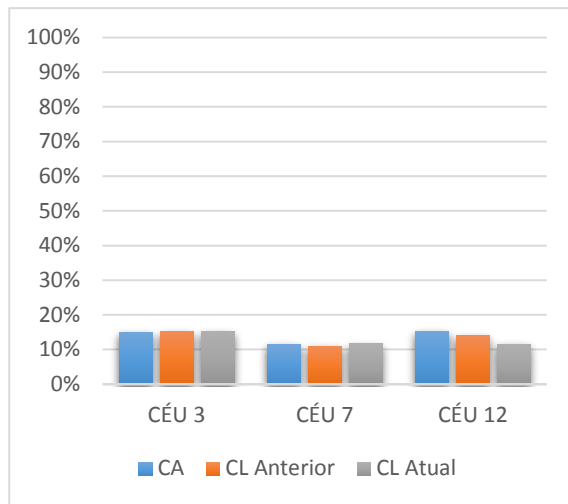
Figura 13- Contribuição do piso externo e do avanço do pavimento acima do térreo para a reflexão da luz natural para o ambiente interno.



Fonte: A autora.

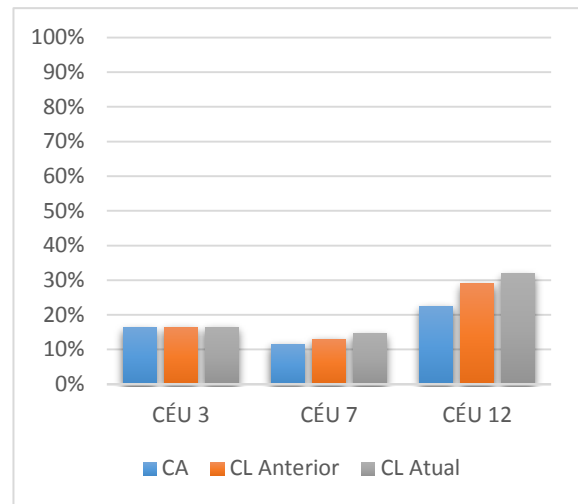
Na área 4 (Gráficos 15 e 16), para o céu 3 (encoberto), semelhantemente às demais áreas, o índice de uniformidade permaneceu em 15% e 16%, respectivamente para o período da manhã e da tarde, em todos os cenários. Para o céu 7 (parcialmente nublado), na parte da manhã e tarde, e para o céu 12 (claro), na parte da manhã, as variações nos percentuais de uniformidade, de maneira geral, foram discretas, visto que a alteração máxima foi de 4%. E, na parte da tarde, para o céu 12 (claro), os respectivos cenários alcançaram os melhores índices de uniformidade quando comparados às demais áreas, 22%, 29% e 32%, respectivamente para o cenário atual (CA), cenário da legislação anterior (CL Anterior) e cenário da legislação atual, destacando-se este último por apresentar o melhor percentual, possivelmente pela orientação da fachada principal (Sudeste), na qual a iluminância no período da tarde é predominantemente difusa, associada à diminuição do gabarito.

Gráfico 15- Uniformidade da iluminância na Área 4 (Rua Alfredo Velten) entre 7h e 12h (período da manhã). Orientação: Sudeste.



Fonte: A autora.

Gráfico 16- Uniformidade da iluminância na Área 4 (Rua Alfredo Velten) entre 13h e 17h (período da tarde). Orientação: Sudeste.



Fonte: A autora.

4.1.4 Conclusões e recomendações

Na primeira etapa de simulações, na qual foi considerada a malha viária existente e as características quanto à ocupação dessa área, pôde-se constatar a partir dos resultados obtidos nas simulações computacionais que o Plano Diretor Municipal, através da aplicação dos índices estabelecidos, especialmente o gabarito e afastamento frontal, contribui com o aumento da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. De maneira geral, percebeu-se também que o Código de Obras – regulamentação que vigorava até a aprovação do PDM – não era pernicioso em relação ao potencial de aproveitamento da luz natural no interior das edificações. De fato, a legislação anterior propiciou o aumento da iluminância na comparação com o cenário atual, o que permite concluir que o problema não eram os índices mais permissivos do Código de Obras, mas a tipologia que vinha sendo edificada na cidade, ou seja, construções geminadas, alinhadas no limite frontal dos terrenos e com pavimentos acima do térreo em balanço sobre a calçada. Nesse sentido, ressalta-se a importância do afastamento entre as edificações e, também, da largura da via e aplicação do recuo frontal para a disponibilidade de luz natural no interior das edificações.

No que diz respeito à iluminância, a aplicação dos índices propostos pela legislação anterior (CL Anterior) proporcionou o aumento dos valores para os três tipos de céu

estudados, nas áreas¹⁷ 2, 3 e 4 em relação ao cenário atual (CA), e, na área 1, os valores praticamente não se alteraram. O PDM (CL Atual), no entanto, permitiu um ganho ainda maior de luz natural no ambiente interno, para os três tipos de céu analisados.

Com relação ao parâmetro UDI, o Código de Obras (CL Anterior) propiciou o aumento nos valores de iluminância compreendidos no intervalo caracterizado como suficiente e desejável (500 lx/2000 lx) nas áreas 2 e 3, sob condições de céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro); e na área 4 sob condições de céu 12 (claro), denotando, assim, que o cenário da legislação anterior (CL Anterior) obteve melhor desempenho nas referidas situações. Entretanto, ainda para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), a legislação atual (CL Atual) permitiu a presença, em maior quantidade, da iluminação indesejada, principalmente nas áreas 1, 2 e 3 (orientações Nordeste e Norte-Nordeste), podendo causar ofuscamento nos ambientes internos pelo excesso de luz. Para essa situação percebe-se que a redução dos gabaritos precisa ser aliada ao uso de proteções solares nas aberturas em algumas circunstâncias, tanto para obter a melhor qualidade de iluminação como para auxiliar na redução da carga térmica incidente, evitando a eventual necessidade de resfriamento ativo do ambiente interno e um maior consumo de energia elétrica. Reforça-se, assim, a necessidade de vinculação entre as regulamentações urbanas e edilícias conforme destaca Laranja (2010) e o IBAM (INSTITUTO..., acesso em 04 jun. 2016).

Quanto à uniformidade da iluminância, de maneira geral, os índices estabelecidos por ambas as regulamentações não ocasionaram efetiva interferência, visto que as variações percentuais não foram significativas de forma a permitir conclusões sobre qual legislação possibilitou um melhor desempenho lumínico nesse sentido. Deveras, a legislação atual (CL Atual) mostrou um discreto destaque em relação aos outros cenários, apresentando índices mais baixos no período da manhã em função da incidência solar direta nas áreas 1, 2 e 3 (orientações Nordeste e Norte-Nordeste), e índices mais altos no período da tarde em todos os cenários.

¹⁷ Área 1 – largura da via = 4,4 m e orientação Nordeste;

Área 2 – largura da via = 8,8 m e orientação Norte-Nordeste;

Área 3 – largura da via = 10,5 m e orientação Norte-Nordeste;

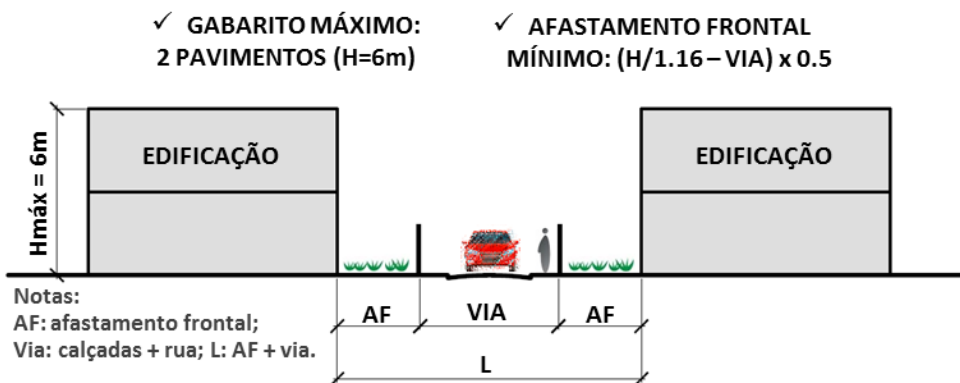
Área 4 – largura da via = 11,5 m e orientação Sudeste.

Além disso, o cenário atual (CA) nas áreas 2 e 3, para o céu 12 (claro), período da tarde, demonstrou um comportamento diferente das demais áreas – especialmente na área 2, isto é, mesmo com grande parcela de céu obstruída – fato que estava associado à índices ligeiramente inferiores nas demais áreas – o cenário atual (CA) exibiu uma uniformidade igual ou próxima ao do cenário da legislação atual (CL Atual). Por meio da realização da simulação de um novo cenário, foi possível averiguar que os avanços das edificações estavam colaborando para os referidos resultados, possivelmente, devido à contribuição da reflexão proporcionada pelo solo e teto (Figura 13). Ademais, o cenário do PDM (CL Atual), para o céu 12 (claro), na parte da tarde, destacou-se por alcançar os melhores resultados, considerando as quatro áreas estudadas, certamente em função da orientação da fachada (Sudeste) e uma maior parcela de céu visível.

Sendo assim, diante dos resultados e considerações expostas, estabeleceu-se algumas recomendações e critérios para a cidade de Domingos Martins, especialmente para a região central, pontuações estas que podem ser aplicadas em outros contextos com características semelhantes.

Para os locais compostos por vias (caixa viária e calçada) com dimensão em torno de 5 m (referência área 1), recomenda-se que o gabarito das edificações seja, no máximo, de 2 pavimentos (Figura 14), índice proposto pelo PDM para a maioria dos zoneamentos. Em relação ao afastamento frontal, de fato, a dimensão de 3 m exigida pelo Plano Diretor, que também era indicada pelo Código de Obras mas na prática não era efetivado, contribui para maiores níveis de luz natural, entretanto, essas vias, de maneira geral, possuem lotes pequenos, com profundidade máxima entre 8 m a 12 m, nos quais a aplicação desse afastamento inviabiliza a construção de uma edificação em função das dimensões resultantes. Nesse sentido, a flexibilização do afastamento frontal, desde que se estabeleça uma dimensão mínima tendo em vista a área verde e permeável, apresenta-se como uma alternativa, visto que a restrição do gabarito já propicia melhores níveis lumínicos. Para definição do afastamento frontal, sugere-se a adoção da relação $H/L=1.16$, sendo “L” a soma das dimensões da caixa viária, calçadas e afastamento frontal (Figura 14), justificando-se a recomendação da mesma na segunda etapa de simulações, conforme detalhado no item 4.2.4.

Figura 14- Exemplificação das recomendações urbanísticas para as áreas com vias em torno de 5 m.



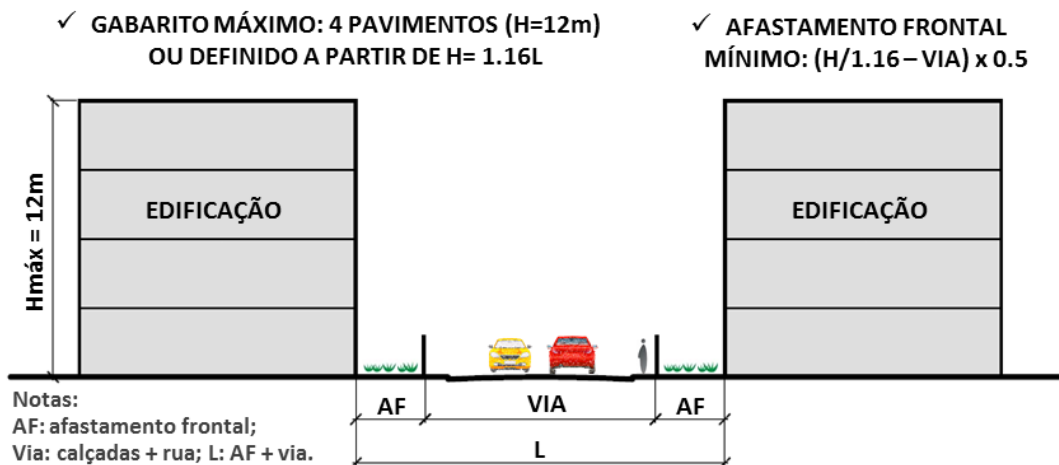
Fonte: A autora.

Para as vias com largura na faixa de 8 m a 11 m (referência áreas 2 e 3), considerando os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), a legislação anterior exibiu um desempenho melhor do que a legislação atual por permitir uma maior quantidade de horas consideradas como suficiente (100 lx/2000 lx) e um menor percentual de iluminância excessiva ($2000 \text{ lx} < E$). Contudo, tendo em vista a infraestrutura existente e o impacto do adensamento para o local¹⁸, recomenda-se um gabarito máximo de 4 pavimentos (Figura 15). Inclusive, esse índice já é proposto pela legislação atual, porém restringe-se à poucas zonas.

Ressalta-se ainda que essas áreas, semelhantemente à área 1, também possuem lotes pequenos, principalmente na região central da cidade, sendo a exceção os loteamentos adjacentes os quais surgiram após a ocupação do referido local. Logo, indica-se a flexibilização do afastamento frontal para os lotes de menor profundidade, desde que se estabeleça uma dimensão mínima tendo em vista a área verde e permeável, e recomenda-se que tanto a definição do gabarito máximo quanto a flexibilização do afastamento frontal para esse intervalo de via seja estabelecido através da relação entre a altura da edificação a ser construída e a largura da via (caixa viária e calçadas existentes + afastamento frontal a ser definido), conforme ilustrado na Figura 15. Sugere-se, ainda, a adoção da relação $H/L=1.16$, justificando-se a recomendação da mesma na segunda etapa de simulações, conforme detalhado no item 4.2.4.

¹⁸ Dentre os impactos pode-se destacar o aumento do fluxo de carros e pessoas, sendo que atualmente a infraestrutura existente já não atende à demanda do local.

Figura 15- Exemplificação das recomendações urbanísticas para as áreas com vias entre 8 m a 11 m.

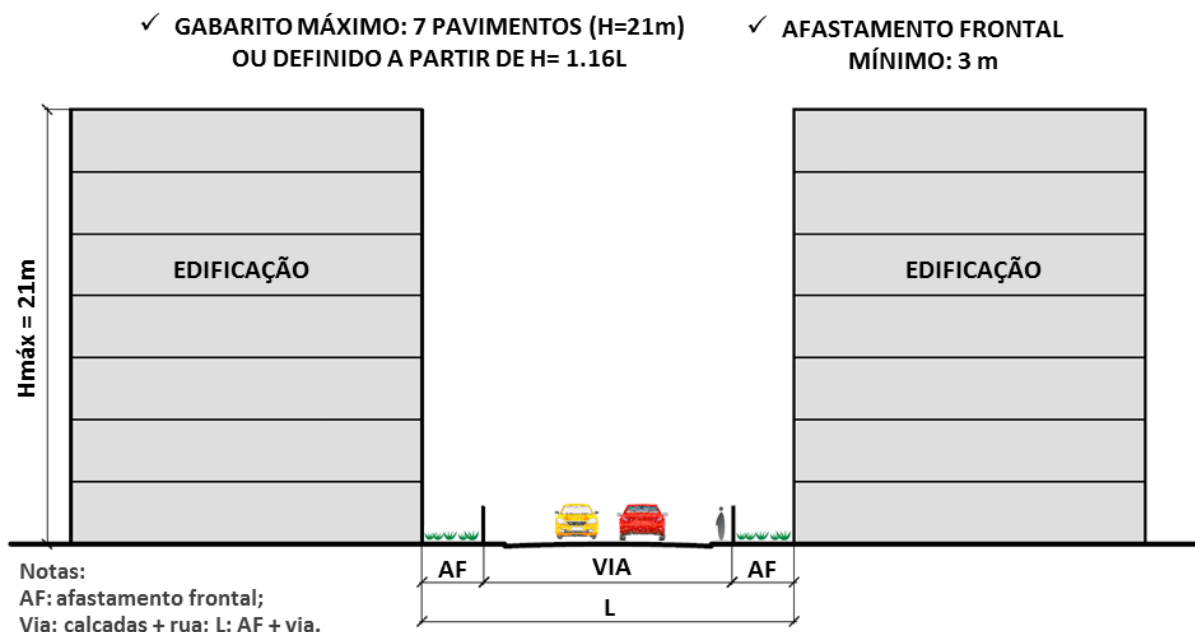


Fonte: A autora.

Para as vias no intervalo de 11 m a 12 m (referência área 4), o cenário da legislação atual apresentou melhor desempenho para os céus 3 (encoberto) e 7 (parcialmente nublado) por exibir maiores percentuais entre 500 lx/2000 lx e por apresentar o maior índice de uniformidade para o período da tarde (32%). Contudo, o ambiente analisado, na área 4, está orientado à Sudeste, fato que certamente colaborou para melhores resultados mediante à restrição do gabarito. Logo, deve-se considerar que muitas edificações estão sujeitas a radiação solar direta durante várias horas do dia em função das orientações predominantes das vias existentes (Nordeste/Sudeste, Noroeste/Sudoeste, e outras variações como Oeste-Noroeste/Leste-Sudeste nas quais os ambientes estão orientados à Norte-Nordeste e Sul-Sudoeste). Além disso, para o céu 12 (claro), o cenário atual e o da legislação anterior denotaram melhor desempenho por compreenderem maiores percentuais entre 500 lx/2000 lx e menores percentuais da iluminância excessiva e indesejável ($2000 \text{ lx} < E$).

Diante disso, para as vias no intervalo de 11 m a 12 m, conclui-se que o gabarito mais permissivo, desde que se aplique o afastamento frontal exigido de 3 m, não é prejudicial para o aproveitamento da luz natural. Sendo assim, recomenda-se a permissão de até 7 pavimentos e afastamento frontal de 3m, atualmente exigido pelo PDM, ou ainda a vinculação da altura máxima em função da largura da via (Figura 16), podendo ser adotada a relação $H/L=1,16$ conforme verificada na segunda etapa de simulações (item 4.2.4).

Figura 16- Exemplificação das recomendações urbanísticas para as áreas com vias entre 11 m a 12 m.



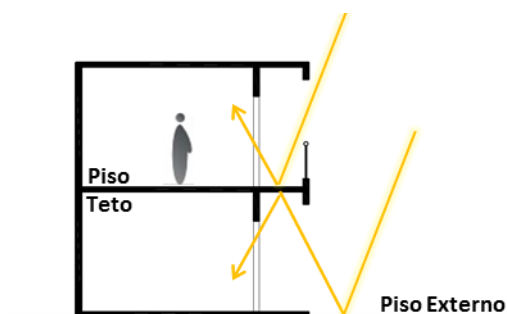
Fonte: A autora.

Ainda em observância aos resultados apresentados, considerando também as orientações das vias existentes na região estudada, indica-se que os ambientes voltados para orientações de maior incidência solar direta sejam providos de dispositivos de proteção solar visando, assim, obter melhor qualidade de iluminação e auxiliar na redução da carga térmica incidente. Nesse sentido, as prateleiras de luz apresentam-se como uma boa opção, visto que as mesmas auxiliam no bloqueio da radiação solar direta e redirecionam a luz natural promovendo maior uniformidade da iluminância no ambiente interno (FREEWAN, 2010; MERESI, 2016). Berardi e Anaraki (2015), baseando-se nas condições climáticas de Toronto (Canadá), apontam que a integração das prateleiras de luz nas aberturas das fachadas aumenta o percentual suficiente das UDI's (100 lx/2000 lx) na área próxima às janelas, tendo pouco efeito para redução dessa faixa de iluminância nas áreas mais distantes das aberturas. Maioli (2014) destaca também que a utilização desses dispositivos pode reduzir até 89% das horas registradas com iluminâncias excessivas para a condição de céu de Vitória - ES.

Nesse contexto, ressalta-se que o PDM permite o avanço de determinados elementos construtivos, nas devidas proporções, sobre o afastamento frontal, dentre estes, marquises, balcões e varandas (DOMINGOS MARTINS, 2013). Diante disso, destaca-

se que esses elementos podem ser aproveitados, em sua parte inferior (teto) e superior (piso) para a reflexão da luz natural para o interior dos ambientes (Figura 17), para tanto recomenda-se a indicação de materiais com refletâncias apropriadas para esses elementos construtivos na legislação edilícia, vinculando, dessa forma, o Plano Diretor e o Código de Obras.

Figura 17- Reflexão da luz natural pelo piso e teto de elementos construtivos da edificação.



Fonte: A autora.

Por fim, ainda considerando as áreas compostas por vias mais estreitas (até 12 m de largura), recomenda-se que, em locais com predominância de céu encoberto, o gabarito seja limitado de maneira que a ocupação urbana seja mais horizontal, isto é, que seja estabelecida uma menor relação entre a altura das edificações e a largura da via (H/L), tendo em vista que para o céu 3 (encoberto) nenhum dos cenários analisados alcançou a iluminância mínima, de 500 lx, recomendada pela NBR/ISO 8995-1.

4.2 SEGUNDA ETAPA DE SIMULAÇÕES

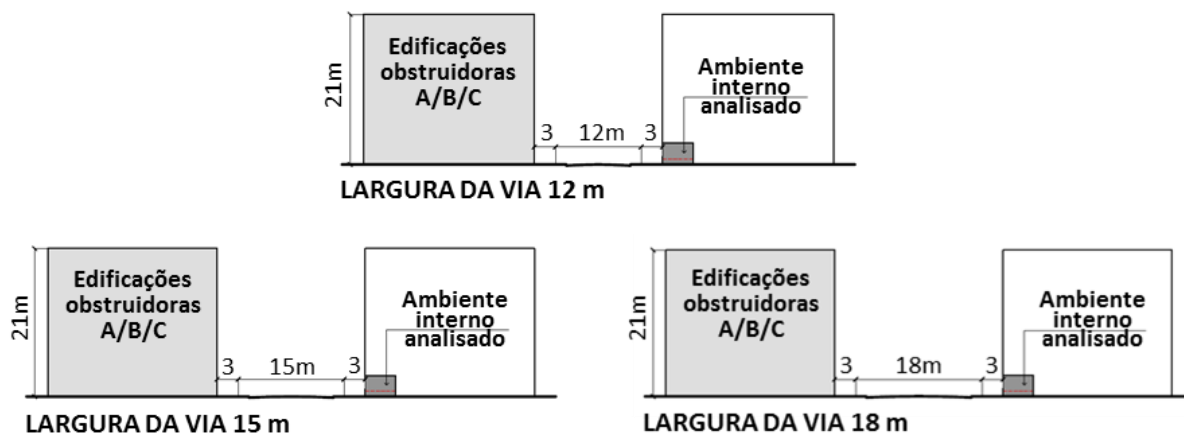
A segunda etapa de simulações objetivou verificar a interferência de determinados parâmetros propostos pelas legislações urbanas, sendo estes a largura da via, altura das edificações obstruidoras e afastamento lateral, na disponibilidade de luz natural no ambiente interno, tendo em vista as áreas de expansão urbana e futuros loteamentos. Nesta etapa, utilizou-se um cenário referência, conforme apresentado na metodologia (Figura 8), a partir do qual variou-se apenas o parâmetro investigado, mantendo-se os demais fixos. Na análise de cada parâmetro foram observadas as alterações dos valores referente às métricas de avaliação (iluminância, UDI e

uniformidade), considerando as principais orientações cardeais (Norte – Sul – Leste - Oeste). Os resultados foram separados e apresentados em função dos parâmetros urbanísticos analisados, encontrando-se os mesmos no Apêndice B.

4.2.1 Análise do parâmetro largura da via

O primeiro parâmetro analisado foi a largura da via, cujas dimensões adotadas foram 12 m, 15 m e 18 m. A largura da via de 12 m é a dimensão mínima (aproximada) recomendada pelo PDM para vias locais, e também a dimensão predominante das vias coletoras e arteriais na malha viária existente; e as larguras de via de 15 m e 18 m são dimensões indicadas pelo Plano Diretor para vias coletoras. Modelou-se três cenários para as simulações, nos quais variou-se apenas a largura da via e se mantiveram constantes os demais parâmetros, ou seja, altura da edificação obstruidora e afastamentos laterais (Figura 18).

Figura 18- Perfil esquemático dos cenários analisados em função da largura da via.



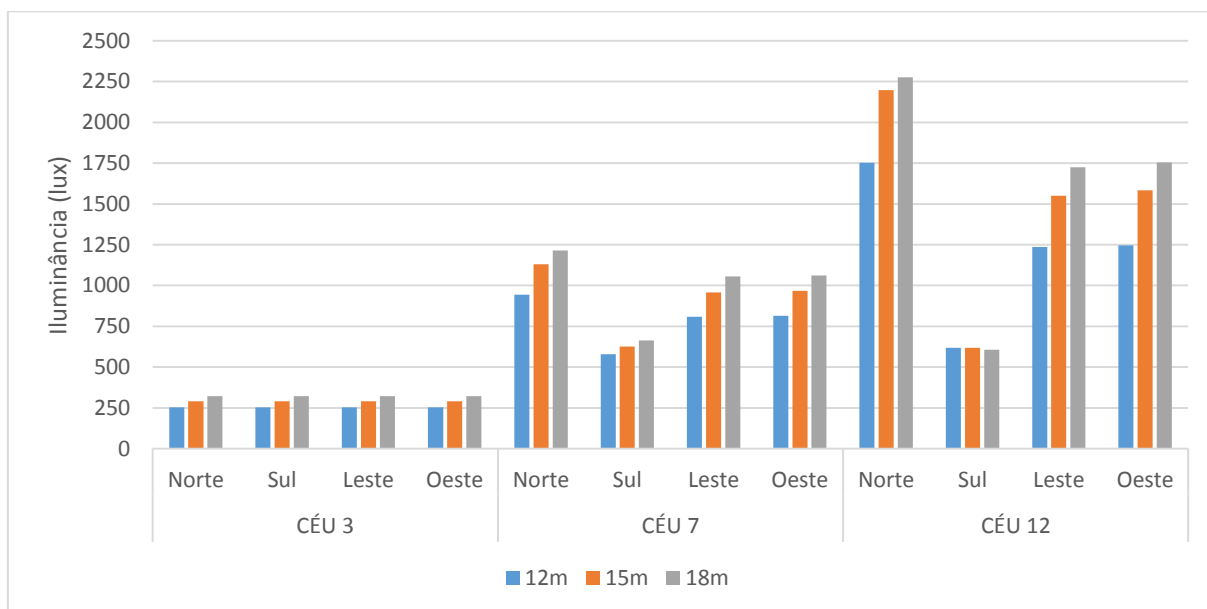
Fonte: A autora.

- Iluminância média global

O Gráfico 17, complementado pela Tabela 1, demonstra a interferência das diferentes larguras de via sobre a iluminância média global no ambiente interno, simulado para as principais orientações cardeais. Os resultados indicam que o referido parâmetro exerce influência sobre a iluminância interna. À medida em que se aumenta a largura da via, constata-se maiores percentuais de luz natural em todas as orientações e

tipos de céu analisados. Esse padrão só não foi observado, para o céu 12 (claro), nos ambientes orientados à Sul, certamente por não haver muita contribuição da luz direta para esta orientação, que faz a grande diferença no aumento da iluminância. Observa-se também que, como o percentual de variação foi pequeno ou nulo, não se julgou relevante a investigação desse comportamento, visto que na análise dos resultados considerou-se os valores médios da iluminância global, podendo estes apresentar variações. Além disso, o programa utilizado nas simulações computacionais admite a margem de erro de 5%, abarcando, dessa forma, as referidas alterações percentuais.

Gráfico 17- Iluminância média global em função da variação da largura da via.



Fonte: A autora.

Tabela 1- Percentuais de variação da iluminância média global em função da largura da via.

	CÉU 3		CÉU 7		CÉU 12	
	12 m – 15 m	15 m – 18 m	12 m – 15 m	15 m – 18 m	12 m – 15 m	15 m – 18 m
Norte	13%	10%	16%	7%	20%	3%
Sul	13%	10%	8%	6%	0%	-2%
Leste	13%	10%	16%	9%	20%	10%
Oeste	13%	10%	16%	9%	21%	10%

Fonte: A autora.

De maneira geral, as maiores variações ocorreram ao alterar a dimensão da via de 12 m para 15 m. Considerando esse intervalo, para o céu 3 (encoberto) ocorreu um acréscimo de 13% em todas as orientações; para o céu 7 (parcialmente nublado), o aumento foi de 16% na maioria das orientações, exceto para as edificações orientadas à Sul, cujo percentual foi de 8%; e, para o céu 12 (claro), o acréscimo foi cerca de 20% para os ambientes orientados à Norte, Leste e Oeste. No que tange ao alargamento da via de 15 m para 18 m, as variações foram menores. Para o céu 3 (encoberto), o acréscimo de iluminância foi de 10% em todas as orientações; para o céu 7 (parcialmente nublado), os níveis de luz natural aumentaram, em média, 8%, considerando todas as orientações; e, para o céu 12 (claro), a variação foi de 10% para as edificações orientadas à Leste e Oeste, e 3% para aquelas orientadas à Norte.

Observa-se ainda que a fachada orientada à Norte (via Leste-Oeste) foi a que apresentou maiores níveis de iluminação natural para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), fato devido à grande quantidade de incidência solar direta provinda dessa orientação durante o dia. A fachada orientada à Sul (via Leste-Oeste), para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), exibiu os menores resultados de iluminância, possivelmente por haver maior contribuição do céu. Destaca-se ainda que os menores níveis de iluminância encontrados foram para o céu 3 (encoberto), sendo que o percentual de alteração manteve-se constante para os dois intervalos analisados independente da orientação. Também para o céu 3 (encoberto) nenhum dos valores de luz natural alcançou o mínimo estabelecido pela norma NBR ISO/CIE 8995-1, 500 lux.

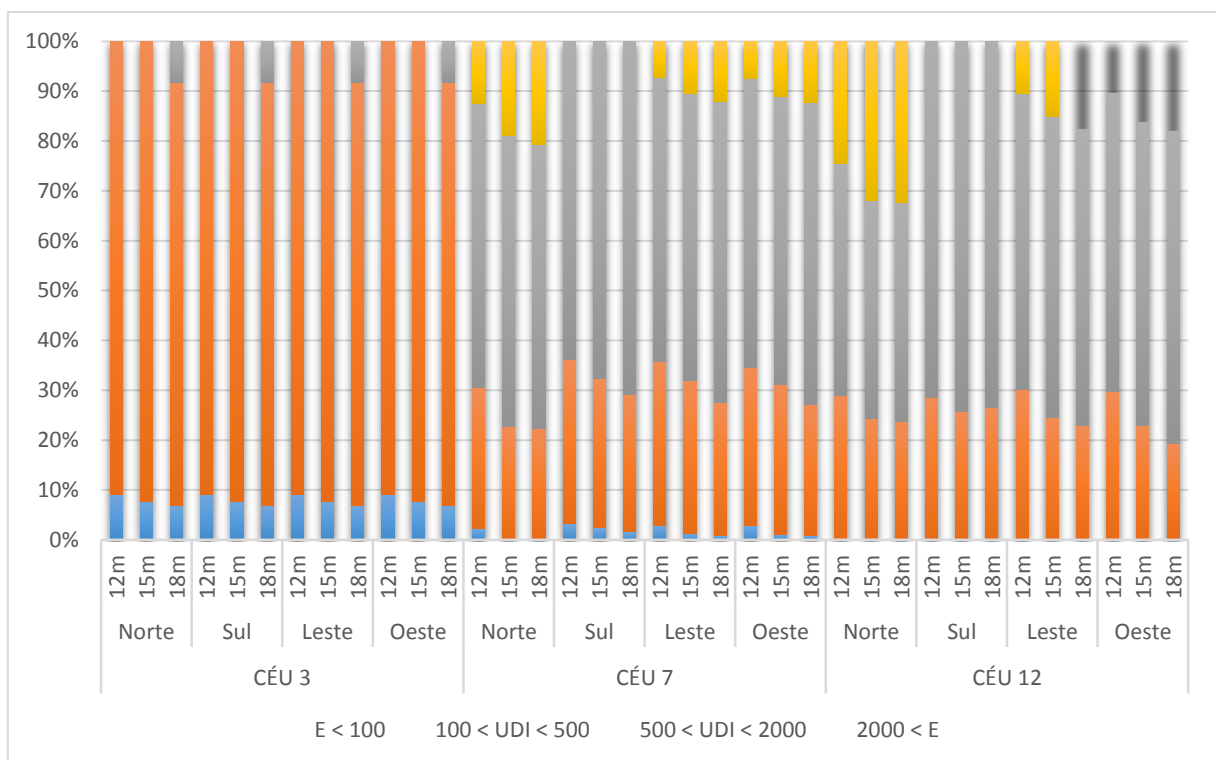
Logo, conclui-se que a variação na largura da via de 12 m para 15 m é mais influente na alteração da iluminância no ambiente interno, principalmente para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro). Ou seja, aumentos na largura de via compreendidos nesse intervalo contribuem com um acréscimo mais expressivo no nível de iluminação natural quando comparados ao intervalo de 15 m e 18 m.

- UDI (*Useful Daylight Illuminances*)

O parâmetro largura da via contribuiu para variações nos percentuais de horas dos dias dos intervalos das UDI's (Gráfico 18). Para o céu 3, considerando todas as orientações, no aumento da largura da via de 12 m para 15 m os percentuais

praticamente não se alteraram, estando a maior parte das horas do ano, cerca de 92%, concentradas no intervalo classificado como suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar (100 lx/500 lx). Já no alargamento da via de 15 m para 18 m houve um aumento de 8% nos percentuais da iluminação considerada suficiente e desejável (500 lx/2000 lx) em detrimento dos intervalos caracterizados como insuficiente ($E < 100$ lx) e suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar (100 lx/500 lx).

Gráfico 18- Percentuais das UDI's em função da variação da largura da via.



Fonte: A autora.

Para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), nos ambientes orientados à Norte, os percentuais compreendidos no intervalo considerado suficiente e desejável (500 lx/2000 lx) quase não se alteraram diante da variação da largura da via. Os valores das UDI's permaneceram na faixa de 57% e 44%, respectivamente para os céus 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro). Entretanto, para essas mesmas situações, os percentuais considerados como indesejáveis, por poderem causar ofuscamento e desconforto térmico ($2000 \text{ lx} < E$), aumentaram à medida em que a via tornou-se mais larga. Esse fato também pôde ser observado para as edificações

orientadas à Leste e Oeste, para os céus 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro), ou seja, apesar do intervalo entre 500 lx e 2000 lx (suficiente e desejável) pouco ter se alterado, permanecendo em torno de 60%, a iluminância classificada como excessiva ($2000 \text{ lx} < E$) aumentou ao se distanciar as edificações.

Observa-se ainda que os maiores acréscimos nos percentuais considerados como excessivos e indesejáveis ($2000 \text{ lx} < E$), embora não tão expressivos, ocorreram ao se aumentar a via de 12 m para 15 m para os céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro). As alterações foram, em média, de 7% para os ambientes orientados à Norte, e cerca de 4% e 5%, respectivamente para as fachadas voltadas para Leste e Oeste. Já no intervalo de via 15 m a 18 m, também para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), os percentuais de variação foram, em média, 1% para as edificações orientadas à Norte, e, na faixa, de 2% para os ambientes voltados para Leste e Oeste. Na orientação Sul, para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), de maneira geral, o alargamento da via proporcionou um discreto aumento nos percentuais caracterizados como suficientes e desejáveis (500 lx/2000 lx).

Logo, conclui-se que não houve uma variação expressiva nos percentuais enquadrados no intervalo entre 500 lx e 2000 lx (suficientes e desejáveis) mediante a variação da largura das vias, porém, para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro) é necessário atenção às orientações Norte, Leste e Oeste pelo fato de apresentarem maiores níveis de iluminância caracterizada como excessiva e indesejável ($2000 \text{ lx} < E$) à medida em que se aumenta a largura da via.

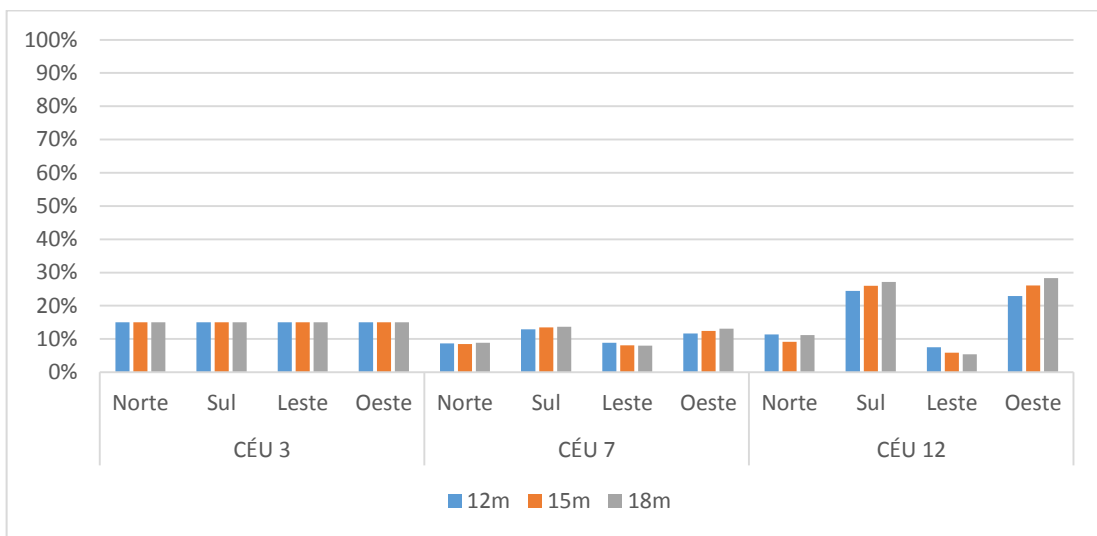
Para o céu 3 (encoberto) e ambientes orientados à Sul - céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro) - deve-se observar que as vias mais largas são mais favoráveis à disponibilidade de luz natural pois permitem maiores percentuais entre 500 lx e 2000 lx (suficientes e desejáveis).

Para o céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), orientações Norte, Leste e Oeste, as vias mais estreitas são mais favoráveis à disponibilidade de luz natural pois permitem maiores percentuais caracterizados como suficientes (100 lx/2000 lx) em detrimento de menores percentuais classificados como indesejáveis ($2000 \text{ lx} < E$).

- Uniformidade

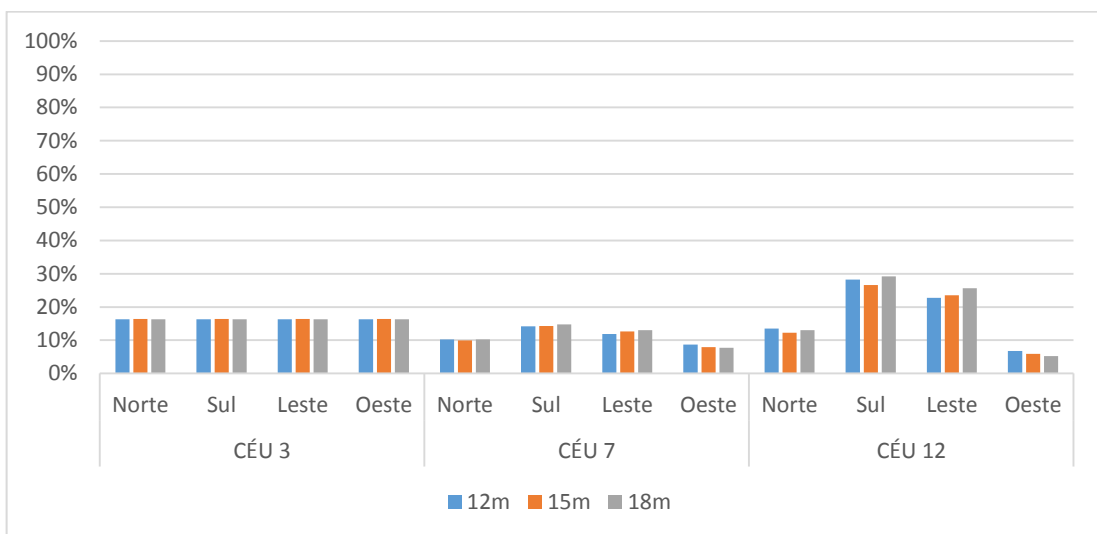
Na análise referente à uniformidade da iluminação, percebe-se que a variação do parâmetro largura da via não acarretou em alterações significativas nos percentuais de uniformidade, visto que estas, na maioria dos casos analisados, não ultrapassaram o percentual de 3% (ver Apêndice B). Os Gráficos 19 e 20 apresentam os resultados obtidos para o período da manhã (7h – 12h) e da tarde (13h – 17h).

Gráfico 19- Uniformidade da iluminância em função da variação da largura da via entre 7h e 12 h (período da manhã).



Fonte: A autora.

Gráfico 20- Uniformidade da iluminância em função da variação da largura da via entre 13h e 17 h (período da tarde).



Fonte: A autora.

Sob condições de céu 3 (encoberto), cuja distribuição da luminância na abóboda celeste é mais uniforme, os percentuais mantiveram-se constantes mediante a variação da largura da via em todas as orientações. O índice de uniformidade permaneceu em 15% para o período da manhã e em 16% para o período da tarde. Nesse sentido, pôde-se observar que o céu 3 (encoberto) apresentou os maiores percentuais de uniformidade juntamente com os ambientes orientados à Sul e Oeste, na parte da manhã, e os ambientes orientados à Sul e Leste, na parte da tarde, ambos sob condições de céu 12 (claro).

Os resultados apontaram que para situações nas quais a maior contribuição é proveniente do céu os índices de uniformidade são maiores e, nesses casos, a via de maior dimensão (18 m) apresentou discreta superioridade. Sendo assim, para os céus 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro), foi na orientação Sul que se alcançou percentuais mais elevados de uniformidade, tanto na parte da manhã quanto da tarde. Os resultados foram, em média, 14% para o céu 7 (parcialmente nublado) e 27% para o céu 12 (claro). Semelhantemente à orientação Sul, os ambientes orientados à Oeste na parte da manhã, e os ambientes orientados à Leste na parte da tarde, denotaram melhores índices de uniformidade, justamente por não terem a incidência solar direta nos referidos períodos do dia. Na parte da manhã, orientação Oeste, os percentuais foram cerca de 12% e 26%, respectivamente para o céu 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro), e, na parte da tarde, orientação Leste, a média foi de 12% e 24%, respectivamente para o céu 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro).

Coerentemente, as orientações nas quais se alcançou menores índices de uniformidade, para o céu 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro), foram a Norte e Leste, no período da manhã, e Norte e Oeste, no período da tarde, ou seja, orientações que propiciam radiação solar intensa nesses períodos. Na parte da manhã, orientação Norte, os resultados foram, em média, 9% e 11%, respectivamente para o céu 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro); e, para os ambientes orientados à Leste, os resultados foram cerca de 8% e 6%, respectivamente para o céu 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro). No período da tarde, orientação Norte, os percentuais foram em torno de 10% e 13%, respectivamente para o céu 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro); e, orientação Oeste, em média, 8% e 6%, respectivamente para o céu 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro).

Logo, apesar da variação do parâmetro largura da via não ocasionar alterações relevantes nos índices de uniformidade, pôde-se constatar que locais com predominância de céu encoberto apresentam ambientes com maior uniformidade, e sob condições de céu 7 (parcialmente nublado) e céu 12 (claro), considerando as principais orientações cardeais, as edificações orientadas à Sul mostraram desempenho superior, juntamente com os ambientes orientados à Oeste na parte da manhã, e à Leste na parte da tarde (Quadro 14).

Quadro 14- Identificação das orientações com melhores índices de uniformidade de iluminação em função dos tipos de céu e períodos do dia (manhã e tarde).

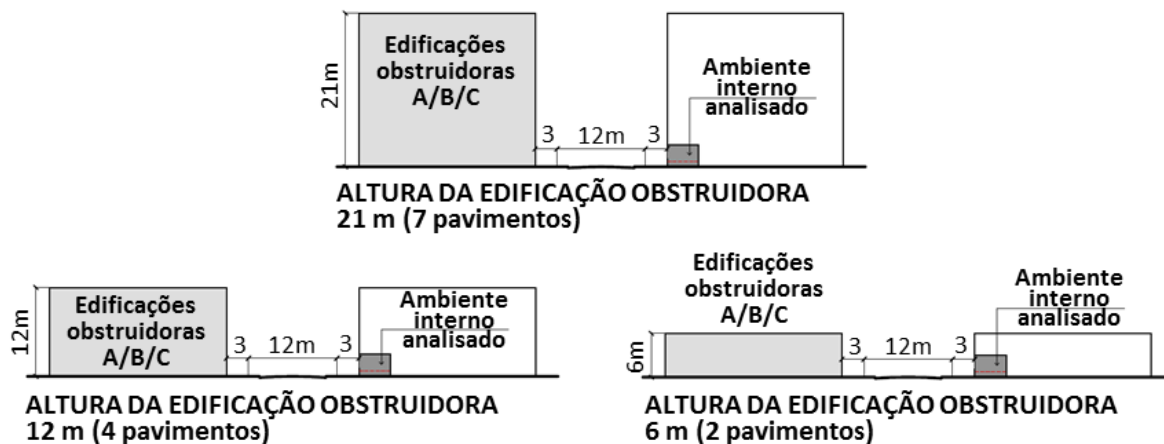
	CÉU 3		CÉU 7		CÉU 12	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
Norte	x	x				
Sul	x	x	x	x	x	x
Leste	x	x		x		x
Oeste	x	x	x		x	

Fonte: A autora.

4.2.2 *Análise do parâmetro altura das edificações obstruidoras*

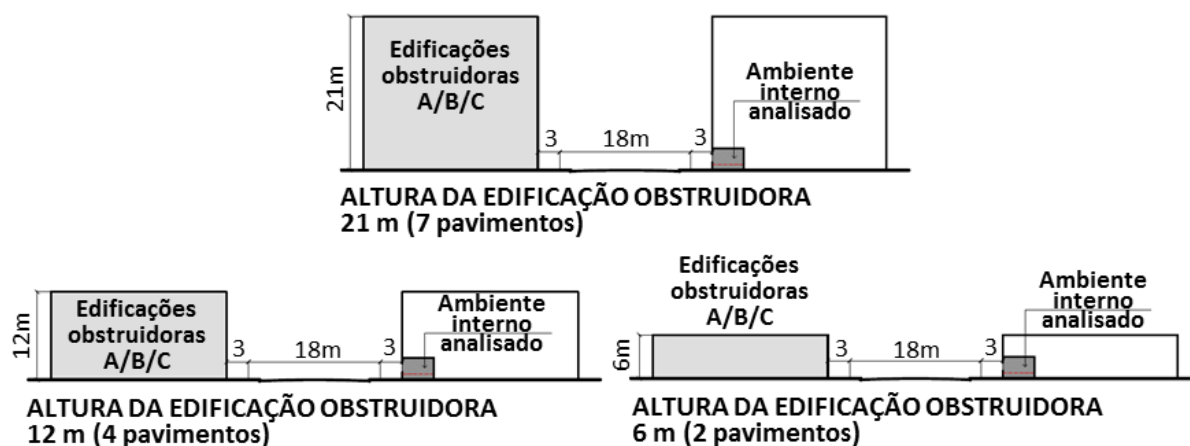
O segundo parâmetro analisado foi a altura das edificações obstruidoras, cujos gabaritos adotados foram 2, 4 e 7 pavimentos, correspondendo a edificações com alturas de 6 m, 12 m e 21 m respectivamente. Os gabaritos máximos de 2 e 4 pavimentos foram impostos pela legislação vigente (PDM), sendo o limite de 4 pavimentos restrito a poucos locais da cidade; já o gabarito de 7 pavimentos caracterizava-se como sendo a verticalização máxima permitida pela legislação anterior (Código de Obras). Inicialmente, a avaliação considerou a via de menor largura estudada (12 m – Figura 19), e, posteriormente, adotou-se a via de maior dimensão (18 m – Figura 20). Sendo assim, modelou-se três cenários para a primeira parte das simulações e três cenários para a segunda, nos quais variou-se apenas a altura das edificações e se mantiveram constantes os demais parâmetros: largura de via e afastamentos laterais (Figuras 19 e 20).

Figura 19- Esquema do perfil dos cenários analisados em relação à altura das edificações obstruidoras (cenário com largura de via de 12 m – 1ª etapa).



Fonte: A autora.

Figura 20- Esquema do perfil dos cenários analisados em relação à altura das edificações obstruidoras (cenário com largura de via de 18 m – 2ª etapa).



Fonte: A autora.

- Iluminância média global

Os resultados seguem apresentados por meio de gráficos e tabelas, os quais elucidam a interferência das diferentes alturas das edificações obstruidoras sobre a iluminância média global no ambiente interno, simulado para as principais orientações cardeais. Os resultados corroboram com pesquisas desenvolvidas por Laranja (2010) e Lima (2015), indicando que o referido parâmetro exerce influência sobre a iluminância interna.

Em geral, à medida em que o número de pavimentos aumenta, constata-se menores percentuais de luz natural em todas as orientações e tipos de céu analisados. A única exceção, semelhante ao ocorrido para o parâmetro largura da via, é para o céu 12 (claro), no ambiente orientado à Sul, que apresentou um comportamento inverso ao observado nas demais situações para ambas larguras de via consideradas (cenários com largura de via de 12 m e cenários com largura de via de 18 m), ou seja, nesse caso, os resultados apontam que à medida que a altura das edificações obstruidoras aumenta, os níveis de iluminância crescem (Gráficos 21 e 22; Tabelas 2 e 3).

O comportamento atípico apresentado para o ambiente orientado à Sul, sob condições de céu 12 (claro), pode ser explicado a partir de três hipóteses:

- a) a margem de erro de 5% admitida pelo programa Troplux nas simulações computacionais;
- b) o fato dos resultados basearem-se em valores médios de iluminância, isto é, os níveis de luz natural podem apresentar grande variabilidade em função das horas do dia e épocas do ano, alterando, dessa forma, os valores globais da iluminância média anual; e
- c) a contribuição da luz refletida pela fachada oposta (edificação obstruidora).

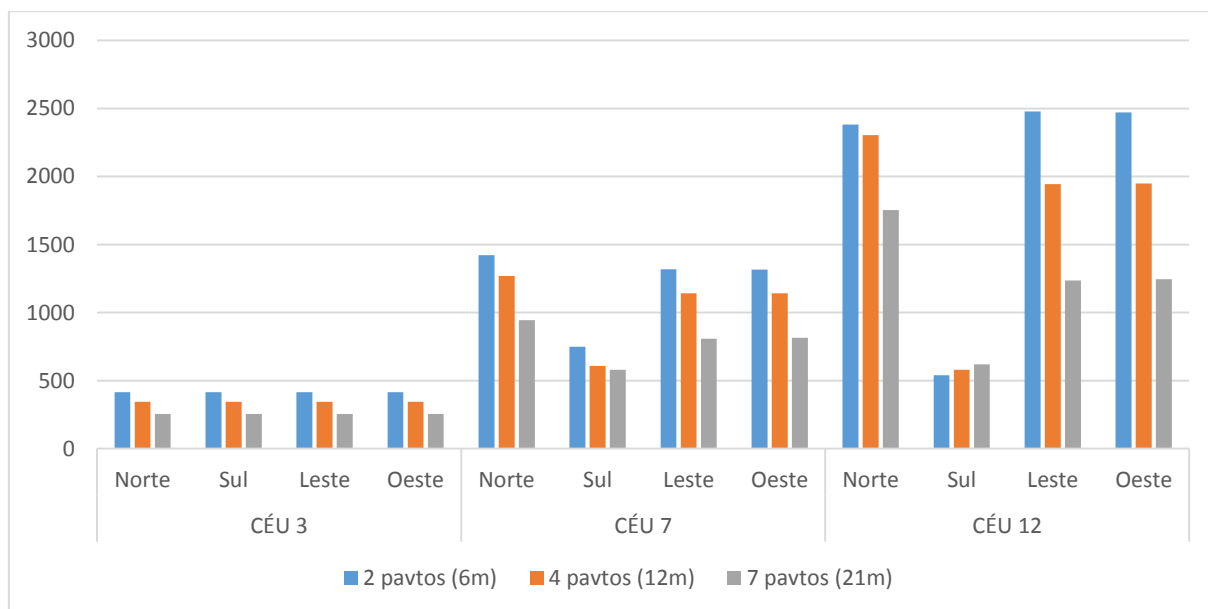
Em relação à reflexão da luz natural pelo entorno, as obstruções apresentam uma dualidade: por um lado, são desfavoráveis no que tange à disponibilidade de luz natural no ambiente interno e, por outro, podem caracterizar-se como benéficas por impedir a incidência de radiação solar direta e refletir a luz de outras partes do céu para o interior das edificações (HOPKINSON et al., 1980; STRØMANN-ANDERSEN; SATTRUP, 2011; LIMA, 2015). Li e outros (2010) corroboram afirmando que, em centros urbanos verticalizados, a maior parte da iluminação natural disponível nos pavimentos inferiores das edificações é proveniente das reflexões nas superfícies externas. Moore (1991) ressalta ainda que, sob condições de céu claro, as superfícies que refletem a luz do sol tornam-se importantes fontes secundárias de luz natural.

Nesse sentido, considerando a hipótese anteriormente levantada (c), estando o ambiente analisado orientado à Sul, a fachada oposta (Norte) recebe radiação solar direta durante grande parte do dia, sendo assim, aumentando-se a área obstruidora desta fachada oposta – neste caso, a quantidade de pavimentos –, maior será a quantidade de luz refletida para o ambiente em análise. Observa-se, porém, que o

aumento da área da fachada obstruidora contribui para o acréscimo da iluminância no ambiente interno do edifício analisado (desde que essa fachada possua revestimento com refletância pelo menos de 40%), até um determinado limite de altura, não sendo este limite averiguado neste trabalho. Ademais, sobre as três hipóteses anteriormente levantadas, ressalta-se que as mesmas não foram investigadas por não serem o foco principal desta pesquisa.

Na primeira parte da análise, na qual adotou-se os cenários com largura de via de 12 m (Gráfico 21 e Tabela 2), para o céu 3 (encoberto), em todas as orientações, considerando a relação entre o aumento da altura das edificações obstruidoras e o nível de luz natural, observa-se que o percentual de variação da iluminância no ambiente interno foi proporcional ao aumento do número de pavimentos, sendo que do segundo para o quarto pavimento (acrécimo de 6 m na altura) o decréscimo foi de 17%; e do quarto para o sétimo pavimento (acrécimo de 9 m na altura) o decréscimo foi de 26%.

Gráfico 21- Iluminância média global em função da variação da altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 12 m.



Fonte: A autora.

Tabela 2- Percentuais de variação da iluminância média global em função da altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 12 m.

	CÉU 3		CÉU 7		CÉU 12	
	2 – 4 pavtos	4 – 7 pavtos	2 – 4 pavtos	4 – 7 pavtos	2 – 4 pavtos	4 – 7 pavtos
Norte	-17%	-26%	-11%	-26%	-3%	-24%
Sul	-17%	-26%	-19%	-5%	8%	7%
Leste	-17%	-26%	-13%	-29%	-22%	-36%
Oeste	-17%	-26%	-13%	-29%	-21%	-36%

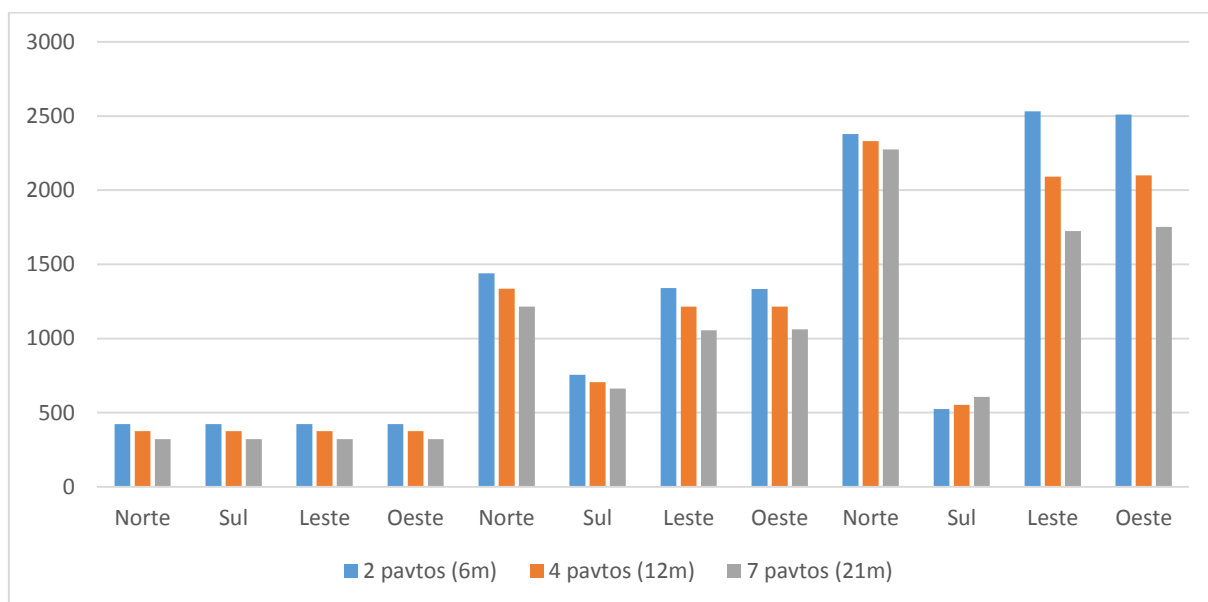
Fonte: A autora.

Para o céu 7 (parcialmente nublado), essas variações não foram proporcionais. Nos ambientes orientados à Norte, Leste e Oeste, o aumento do gabarito no intervalo entre 4 a 7 pavimentos exerceu maior influência na disponibilidade de iluminação natural. O decréscimo da iluminância foi, em média, 28% para o referido intervalo (4 a 7 pavimentos); em contrapartida, o intervalo 2 a 4 pavimentos ocasionou um decréscimo de cerca de 12% na iluminância interna. Ainda para o céu 7 (parcialmente nublado), orientação Sul, apesar dos percentuais de iluminância terem mantido o padrão observado nas demais orientações, isto é, a iluminância diminuiu com o aumento do gabarito, foi o intervalo 2 a 4 pavimentos que exerceu maior influência no decaimento do nível lumínico – cerca de 19% –, enquanto o intervalo 4 a 7 pavimentos ocasionou a variação de 5%. Nesse sentido, conclui-se que para ambientes orientados à Sul, sob condições de céu 7 (parcialmente nublado), a admissão de edificações obstruidoras com 7 pavimentos não seria mais perniciososa em relação à disponibilidade de luz natural do que edificações obstruidoras com 4 pavimentos.

Para o céu 12 (claro), orientação Norte, aumentando-se a altura das edificações obstruidoras de 2 para 4 pavimentos, praticamente não houve alteração no nível de iluminação natural, porém, no intervalo 4 a 7 pavimentos, o percentual de iluminância decresceu 24%. Nos ambientes orientados à Leste e Oeste, a queda da iluminância foi cerca de 21,5% para o intervalo 2 a 4 pavimentos e 36% para o intervalo 4 a 7 pavimentos. Para os ambientes orientados à Sul, ao contrário do observado nas demais situações, o aumento do gabarito proporcionou o acréscimo da luz natural no ambiente interno, conforme explanado anteriormente, sendo a variação da iluminância em torno de 7,5% para ambos os intervalos. Por fim, ressalta-se que, para o céu 3 (encoberto), nenhum dos resultados alcançou o mínimo recomendado pela NBR/ISO 8995-1 (2013), 500 lux.

Na segunda parte da análise do parâmetro altura das edificações obstruidoras (Gráfico 22 e Tabela 3), na qual adotou-se os cenários com uma largura de via maior, 18 m, percebe-se que o aumento do gabarito exerceu menor influência no decréscimo da iluminância do que nos cenários cuja largura da via é menor, 12 m. Sob condições de céu 3 (encoberto), em todas as orientações, os decréscimos nos percentuais de iluminância em função do aumento da altura das edificações obstruidoras foram de 12% no intervalo 2 a 4 pavimentos (acréscimo de 6 m na altura) e 14% no intervalo 4 a 7 pavimentos (acréscimo de 9 m na altura). Logo, observa-se que a diminuição dos níveis de luz natural não foram proporcionais ao aumento do gabarito das edificações obstruidoras, sendo que o intervalo 2 a 4 pavimentos exerceu maior influência para a variação da iluminação natural no ambiente interno.

Gráfico 22- Iluminância média global em função da variação da altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 18 m.



Fonte: A autora.

Tabela 3- Percentuais de variação da iluminância média global em função da altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 18 m.

	CÉU 3		CÉU 7		CÉU 12	
	2 – 4 pavtos	4 – 7 pavtos	2 – 4 pavtos	4 – 7 pavtos	2 – 4 pavtos	4 – 7 pavtos
Norte	-12%	-14%	-7%	-9%	-2%	-2%
Sul	-12%	-14%	-6%	-6%	6%	10%
Leste	-12%	-14%	-9%	-13%	-17%	-18%
Oeste	-12%	-14%	-9%	-13%	-16%	-17%

Fonte: A autora.

Para o céu 7 (parcialmente nublado), nos ambientes orientados à Norte, o aumento do gabarito ocasionou um decréscimo nos percentuais de iluminância de 7% no intervalo 2 a 4 pavimentos (acréscimo de 6 m na altura) e 9% no intervalo 4 a 7 pavimentos (acréscimo de 9 m na altura), ou seja, o intervalo 2 a 4 pavimentos exerceu maior influência para a variação dos níveis lumínicos no ambiente interno. Já para os ambientes orientados à Leste e Oeste, a variação foi praticamente proporcional, isto é, os níveis de luz natural diminuíram 9% no intervalo 2 a 4 pavimentos (acréscimo de 6 m na altura) e 13% no intervalo 4 a 7 pavimentos (acréscimo de 9 m na altura). Nos ambientes orientados à Sul, o aumento do gabarito ocasionou o mesmo percentual de diminuição da iluminância para ambos intervalos, 6%.

Sob condições de céu 12 (claro), orientação Norte, os decréscimos nos percentuais de luz natural foram iguais para ambos intervalos, 2%, sendo perceptível que o aumento do gabarito quase não influenciou a variação da iluminância neste caso. Nos ambientes orientados à Leste e Oeste, os decréscimos foram, em média, 16,5% e 17,5%, respectivamente para os intervalos 2 a 4 pavimentos e 4 a 7 pavimentos, ou seja, o intervalo 2 a 4 pavimentos apresentou-se como mais influente. Na orientação Sul, semelhante ao observado no cenário com largura de via de 12 m, o aumento do gabarito proporcionou o aumento dos níveis de iluminância no ambiente interno, possivelmente pela não incidência de radiação solar direta na fachada em questão e contribuição das edificações obstruidoras para reflexão da luz natural, conforme explicitado anteriormente. Por fim, ressalta-se que, para o céu 3 (encoberto), nenhum dos resultados alcançou o mínimo recomendado pela NBR/ISO 8995-1 (2013), 500 lux.

Diante do exposto, considerando as duas etapas de análise – cenários com largura de via de 12 m e 18 m – observa-se que o aumento do gabarito em ruas estreitas (cenários com via de 12 m) exerce maior interferência nas perdas de iluminação do ambiente interno para todos os céus analisados. Da mesma forma, o aumento do gabarito em ruas mais largas (cenários com via de 18 m) exerce menos impacto na perda de iluminância do ambiente interno.

Para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), orientações Norte, Leste e Oeste, observa-se:

- a) Nos cenários com largura de via de 12 m, é no intervalo 4 a 7 pavimentos que ocorrem os maiores decaimentos da iluminância;
- b) Nos cenários com largura de via de 18 m, é no intervalo 2 a 4 pavimentos que ocorrem os maiores decaimentos da iluminância.

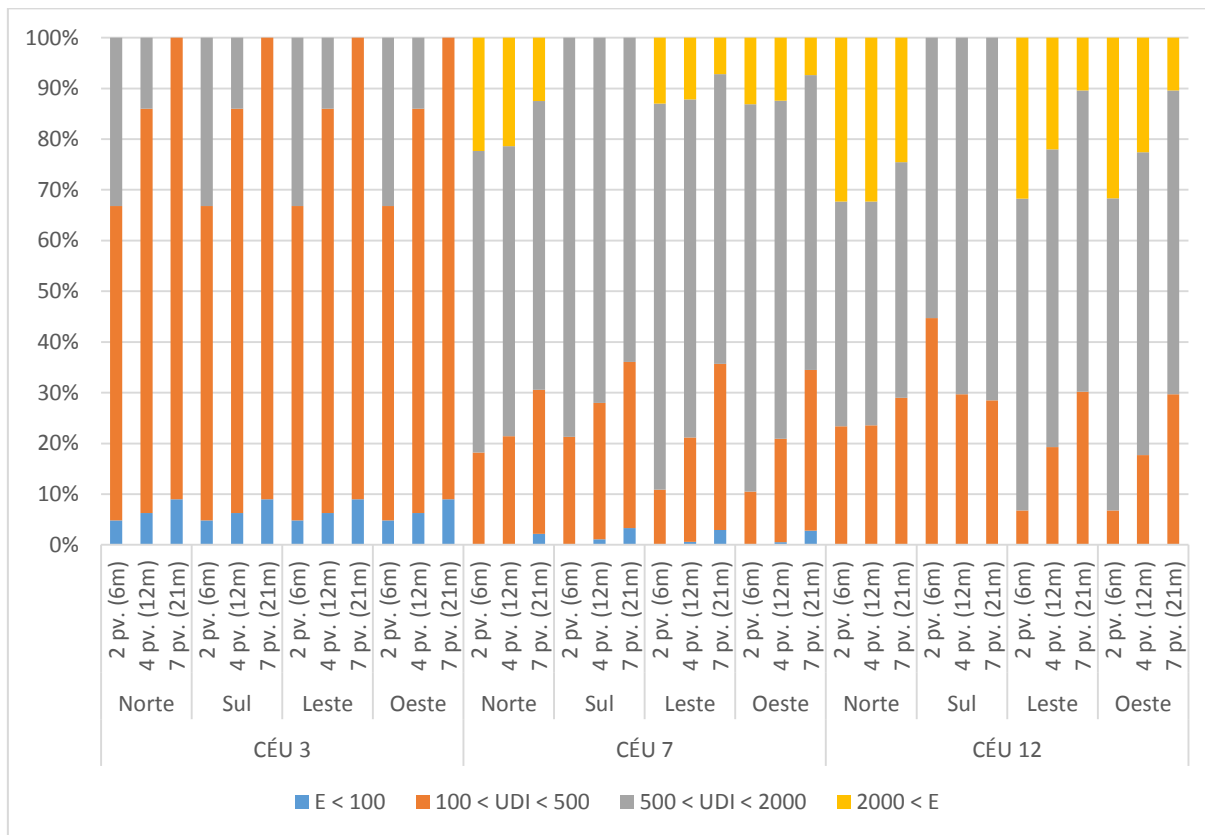
Essas evidências reforçam a constatação de que a relação entre vias mais estreitas e obstruções mais altas ocasionam maiores interferências na disponibilidade de luz natural do ambiente interno.

- UDI (*Useful Daylight Illuminances*)

A altura das edificações obstruidoras contribui para alterações nos percentuais de horas dos dias enquadrados nos intervalos das UDI's (Gráficos 23 e 24). Na primeira etapa de análise (Gráfico 23), na qual adotou-se a largura de via de 12 m para os cenários simulados, sob condições de céu 3 (encoberto), percebe-se um mesmo comportamento em relação à variação dos percentuais das UDI's em todas as orientações. Na medida em que o gabarito aumentou, a iluminância compreendida no intervalo entre 500 lx e 2000 lx, caracterizada como suficiente e desejável, diminuiu em detrimento do acréscimo dos percentuais classificados como suficiente mas com necessidade de iluminação complementar (100 lx/500 lx). Os percentuais de decréscimo dos valores enquadrados no intervalo entre 500 lx e 2000 lx foram de 19% no aumento do gabarito de 2 para 4 pavimentos e 14% no aumento do gabarito de 4 para 7 pavimentos. Ainda para o céu 3 (encoberto), o aumento da altura das edificações obstruidoras permitiu um discreto acréscimo nos percentuais da iluminância insuficiente ($E < 100$ lx).

Sob condições de céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), orientação Norte, os valores compreendidos no intervalo entre 500 lx e 2000 lx, considerados como suficientes e desejáveis, praticamente não se alteraram ao aumentar o gabarito das edificações obstruidoras, permanecendo em torno de 58% para o céu 7 (parcialmente nublado) e 45% para o céu 12 (claro). Além disso, observa-se que o aumento do gabarito para os ambientes orientados à Norte foi benéfico, pois além de manter os percentuais classificados como suficientes e desejáveis (500 lx/2000 lx), diminuiu os percentuais enquadrados no intervalo caracterizado como indesejável por poder causar desconforto térmico e visual ($2000 \text{ lx} < E$).

Gráfico 23- Percentuais das UDI's em função da variação da altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 12 m.



Fonte: A autora.

Ainda para o céu 7 (parcialmente nublado), orientações Leste e Oeste, o aumento do gabarito, tanto de 2 para 4 pavimentos quanto de 4 para 7 pavimentos, ocasionou um decréscimo de cerca de 10% nos percentuais compreendidos entre 500 lx e 2000 lx em detrimento do acréscimo de aproximadamente 11% nos percentuais enquadrados entre 100 lx e 500 lx. Quanto aos valores classificados como indesejáveis ($2000 \text{ lx} < E$), o aumento do gabarito de 4 para 7 pavimentos diminuiu, aproximadamente, 5% do percentual de horas enquadrados nesse intervalo. Nesse sentido, observa-se que, sob condições de céu 7 (parcialmente nublado), para os ambientes orientados à Leste e Oeste, a presença de edificações obstruidoras mais baixas – 2 e 4 pavimentos – é mais favorável no que tange à disponibilidade de luz natural no ambiente interno, visto que o aumento do gabarito diminuiu gradativamente a iluminância suficiente e desejável ($500 \text{ lx}/2000 \text{ lx}$), sendo o percentual de decréscimo, em média, 19% na comparação entre os cenários com obstruções de 2 e 7 pavimentos. Contudo, destaca-se que em todos os cenários – céu 7 (parcialmente nublado), orientações Leste e Oeste – o percentual das UDI's permaneceu predominantemente no intervalo

suficiente (100 lx/2000 lx), indicando que mesmo nos cenários com obstruções de 7 pavimentos é possível ter um bom aproveitamento da luz natural e provável economia de energia com uso de iluminação artificial.

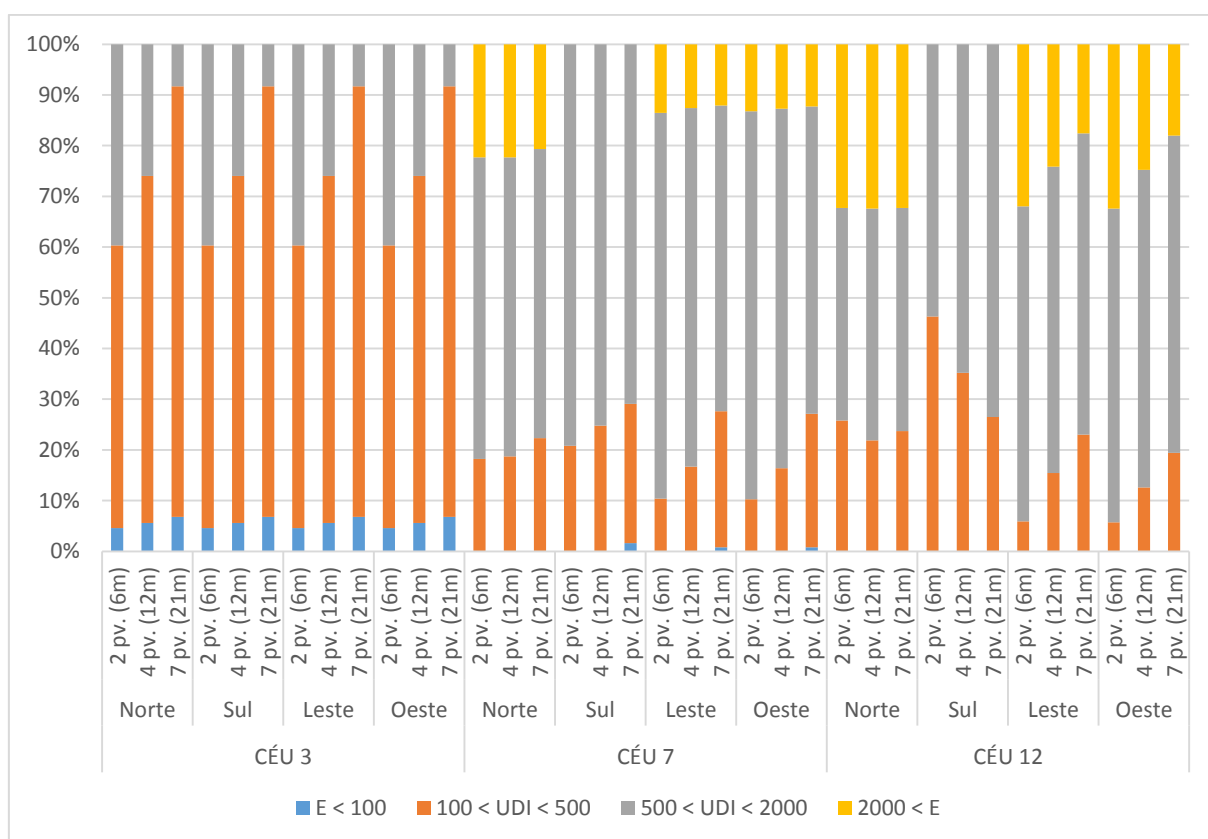
Nos ambientes orientados à Sul, para o céu 7 (parcialmente nublado), conforme esperado, não houve a presença da iluminância caracterizada como excessiva e indesejável ($2000 \text{ lx} < E$), visto a contribuição ser predominantemente do céu para essa fachada. Além disso, apesar do aumento do gabarito ter proporcionado o decréscimo de cerca de 7% nos valores compreendidos entre 500 lx e 2000 lx (suficientes e desejáveis), os percentuais das UDI's concentraram-se majoritariamente no intervalo classificado como suficiente (100 lx/2000 lx), denotando o potencial dos ambientes orientados à Sul para o aproveitamento da luz natural visando a economia de energia elétrica, mesmo em cenários com obstruções mais altas.

Para o céu 12 (claro), orientações Leste e Oeste, os valores considerados como suficientes e desejáveis (500 lx/2000 lx), praticamente não se alteraram ao aumentar a altura das edificações obstruidoras, permanecendo em torno de 60%. Ademais, verificou-se que o aumento do gabarito, para a referida situação, foi favorável à disponibilidade de luz natural, pois além de manter os percentuais entre 500 lx e 2000 lx (suficientes e desejáveis), propiciou o aumento dos percentuais compreendidos entre 100 lx e 500 lx (suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar) em detrimento do decréscimo dos percentuais considerados como indesejáveis por poderem ocasionar ofuscamento ($2000 \text{ lx} < E$). Ainda para o céu 12 (claro), nos ambientes orientados à Sul, o aumento do gabarito propiciou maiores percentuais classificados como suficientes e desejáveis (500 lx/2000 lx), sendo os cenários com obstruções de 4 e 7 pavimentos mais favoráveis à disponibilidade de luz natural. Ressalta-se ainda que na referida orientação não foram constatados percentuais de iluminância excessiva ($2000 \text{ lx} < E$).

Na segunda etapa de análise (Gráfico 24), na qual adotou-se a largura de via de 18 m, percebe-se, em geral, um comportamento semelhante ao observado para os cenários com largura de via de 12 m. A exceção foi para os percentuais considerados excessivos ($2000 \text{ lx} < E$), os quais praticamente não se alteraram mediante o aumento do gabarito das edificações obstruidoras para o céu 7 (parcialmente nublado), orientações Norte, Leste e Oeste, e para o céu 12 (claro), orientação Norte. Sob condições de céu 3 (encoberto), em todas as orientações, à medida em que o gabarito

aumentou, a iluminância compreendida no intervalo entre 500 lx e 2000 lx (suficiente e desejável) diminuiu em detrimento do acréscimo dos percentuais enquadrados no intervalo entre 100 lx/500 lx (suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar). Os percentuais de decréscimo dos valores enquadrados no intervalo entre 500 lx e 2000 lx foram de 14% no aumento do gabarito de 2 para 4 pavimentos e 18% no aumento do gabarito de 4 para 7 pavimentos. Ainda para o céu 3 (encoberto), o aumento da altura das edificações obstruidoras permitiu um discreto acréscimo nos valores da iluminância insuficiente ($E < 100$ lx).

Gráfico 24- Percentuais das UDI's em função da variação da altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 18 m.



Fonte: A autora.

Para o céu 7 (parcialmente nublado), orientação Norte, os valores das UDI's mantiveram-se praticamente constantes apesar do aumento da altura das edificações obstruidoras. Os percentuais permaneceram, em média, em 20% para o intervalo 100 lx/500 lx (suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar), 58% para o intervalo 500 lx/2000 lx (suficiente e desejável) e 22% para o intervalo acima

de 2000 lx (indesejável). Ainda para o céu 7 (parcialmente nublado), nas orientações Leste e Oeste, o aumento da altura das edificações obstruidoras ocasionou um decréscimo nos percentuais compreendidos entre 500 lx e 2000 lx em detrimento do acréscimo nos percentuais enquadrados entre 100 lx e 500 lx. As variações foram, em média, de 5% na mudança de gabarito de 2 para 4 pavimentos, e de 10% na alteração de 4 para 7 pavimentos. Entretanto, a somatória dos percentuais permaneceu majoritariamente nos intervalos caracterizados como suficientes (100 lx/2000 lx), cerca de 87% das horas do ano consideradas. Observa-se ainda, para a referida situação, que o aumento do gabarito quase não variou os percentuais da iluminância classificada como indesejável e excessiva ($2000 \text{ lx} < E$), os quais mantiveram-se na faixa de 13%.

Na orientação Sul, para o céu 7 (parcialmente nublado), conforme esperado, não houve a presença de valores excessivos ($2000 \text{ lx} < E$) visto a contribuição ser predominantemente do céu para essa fachada e, apesar do aumento do gabarito ter proporcionado o decréscimo nos valores compreendidos entre 500 lx e 2000 lx, a somatória dos percentuais concentrou-se predominantemente no intervalo suficiente (100 lx/2000 lx). Observa-se ainda que, apesar do cenário com 7 pavimentos compreender um percentual entre 500 lx e 2000 lx discretamente inferior aos cenários com obstruções de 2 e de 4 pavimentos – tanto nos cenários com largura de via de 12 m como nos cenários com largura de via de 18 m -, esses percentuais foram superiores nos cenários com largura de via de 18 m, denotando que o efeito das obstruções em relação à disponibilidade de luz natural é atenuado quando estas estão associadas a uma maior largura de via.

Para o céu 12 (claro), orientação Norte, semelhante ao ocorrido para o céu 7 (parcialmente nublado), os valores praticamente não se alteraram. Os percentuais mantiveram-se em torno de 24% para o intervalo 100 lx/500 lx (suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar), 44% para o intervalo 500 lx/2000 lx (suficiente e desejável) e 32% para o intervalo acima de 2000 lx (indesejável). Observa-se que para os ambientes orientados à Norte, céu 12 (claro), o aumento da altura das obstruções não reduziu os percentuais caracterizados como indesejáveis e excessivos ($2000 \text{ lx} < E$). Destaca-se, ainda, que, para os cenários com largura de via de 18 m, a referida situação foi a que apresentou os maiores percentuais de

iluminância excessiva ($2000 \text{ lx} < E$), juntamente com os cenários que possuem obstruções de 2 pavimentos, orientados à Leste e Oeste.

Ainda sob condições de céu 12 (claro), orientações Leste e Oeste, praticamente não houve variações nos valores enquadrados entre $500 \text{ lx}/2000 \text{ lx}$ (suficientes e desejáveis) ao se aumentar a altura das edificações obstruidoras, permanecendo os percentuais em torno de 61%. Ademais, verificou-se que o aumento do gabarito, para referida situação, foi favorável à disponibilidade de luz natural, pois além de manter os percentuais classificados como suficientes e desejáveis ($500 \text{ lx}/2000 \text{ lx}$), propiciou o aumento dos percentuais compreendidos entre 100 lx e 500 lx (suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar), em detrimento dos percentuais considerados como excessivos e indesejáveis ($2000 \text{ lx} < E$).

Diante do exposto, considerando as duas etapas de análise – cenários com largura de via de 12 m e 18 m –, conclui-se que, sob condições de céu 3 (encoberto), quanto mais restrita a altura das obstruções maior é o percentual compreendido entre $500/2000 \text{ lx}$ (suficiente e desejável).

Para o céu 7 (parcialmente nublado) observa-se que:

- a) Orientações Leste, Oeste e Sul (ambos cenários) – os cenários com edificações mais baixas apresentaram melhor desempenho por compreenderem maiores percentuais entre $500 \text{ lx}/2000 \text{ lx}$ (suficientes e desejáveis). Entretanto, mesmo nos cenários com obstruções de 7 pavimentos os percentuais de horas permaneceram predominantemente no intervalo suficiente ($100 \text{ lx}/2000 \text{ lx}$), sendo que, em média, 62% dessas horas estão no intervalo entre 500 lx e 2000 lx ;
- b) Orientação Norte (cenários com largura de via de 12 m) – as obstruções mais altas mostraram-se mais favoráveis ao aproveitamento da luz natural, visto que o aumento do gabarito praticamente não alterou os percentuais caracterizados como suficiente e desejável, aumentando ainda o intervalo entre 100 lx e 2000 lx (suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar), e reduzindo a iluminância excessiva ($2000 \text{ lx} < E$);
- c) Orientação Norte (cenários com largura de via de 18 m) – os percentuais praticamente não se alteraram, evidenciando que o efeito de obstruções mais altas pode ser minorado mediante à associação com vias mais largas.

Para o céu 12 (claro) as obstruções mais altas denotaram melhor desempenho em todas as orientações, conforme a seguir detalhado:

- a) Orientação Sul (ambos cenários) – houve um acréscimo nos percentuais entre 500 lx e 2000 lx mediante o aumento do gabarito das edificações obstruidoras;
- b) Orientações Leste e Oeste (ambos cenários) – o aumento do gabarito praticamente não alterou os percentuais entre 500 lx e 2000 lx, acrescentando ainda o intervalo entre 100 lx e 500 lx, e reduzindo a iluminância excessiva;
- c) Orientação Norte (cenários com largura de via de 12 m) – semelhantemente ao observado para as orientações Leste e Oeste, o aumento do gabarito praticamente não alterou os percentuais entre 500 lx e 2000 lx, acrescentando ainda o intervalo entre 100 lx e 500 lx, e reduzindo a iluminância excessiva;
- d) Orientação Norte (cenários com largura de via de 18 m) – os percentuais praticamente não se alteraram.

Por fim, reitera-se a constatação de que o aumento da largura da via atenuou o impacto das obstruções na disponibilidade de luz natural no ambiente interno, confirmando que a associação entre a altura máxima das edificações e a largura da via é uma estratégia eficaz para o controle da admissão da iluminação natural, especialmente em áreas com potencial de verticalização.

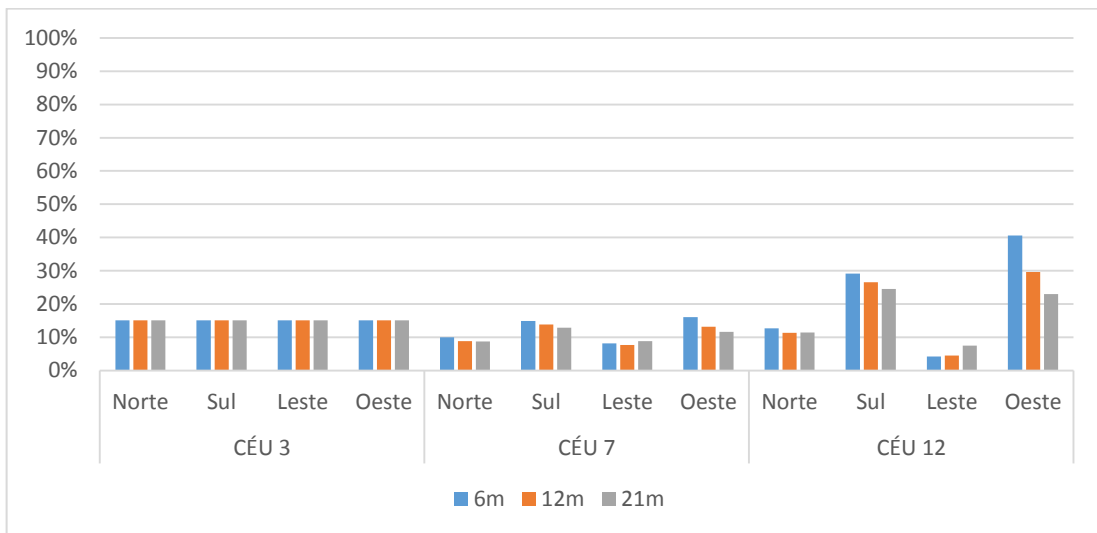
- Uniformidade

Na análise referente à uniformidade da iluminação, percebe-se que a variação do parâmetro altura das edificações obstruidoras, semelhantemente ao parâmetro largura da via, não acarretou em grandes alterações nos percentuais de uniformidade, salvo algumas exceções, visto que as variações, na maioria dos casos analisados, foram em torno de 3% (ver Apêndice B). Os Gráficos 25 e 26 apresentam os resultados obtidos na primeira etapa de análise – cenários com largura de via de 12 m –, e os Gráficos 27 e 28 são referentes à segunda etapa de análise – cenários com largura de via de 18 m –, sendo que ambos consideram o período da manhã (7h - 12h) e da tarde (13h – 17h).

Na primeira etapa (Gráficos 25 e 26), sob condições de céu 3 (encoberto), cuja distribuição da luminância na abóboda celeste é mais uniforme, os percentuais

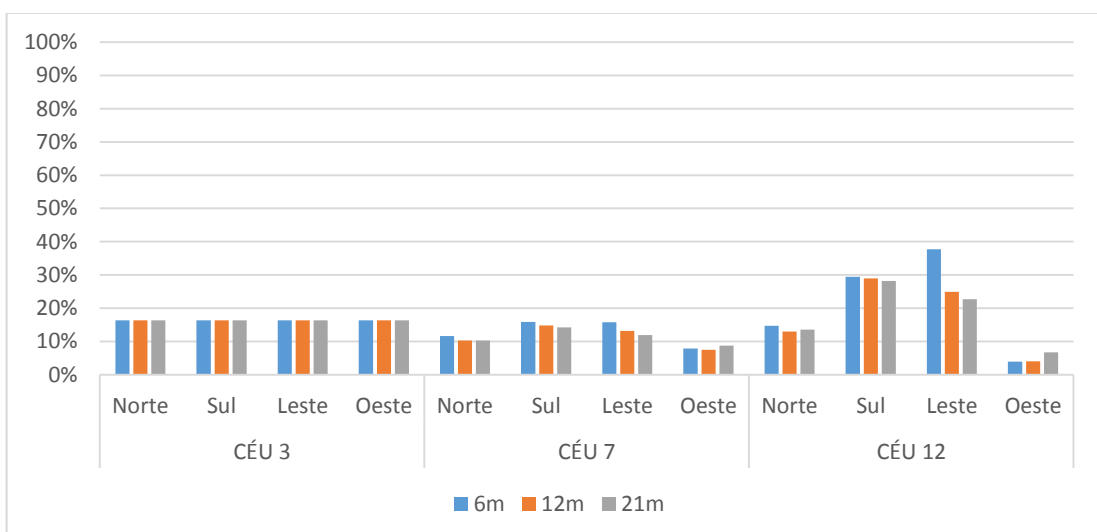
mantiveram-se constantes mediante a variação da altura das edificações obstruidoras em todas as orientações. O índice de uniformidade permaneceu em 15% para o período da manhã e em 16% para o período da tarde. Nesse sentido, pôde-se observar que os cenários, para o céu 3 (encoberto), juntamente com os ambientes orientados à Sul e Oeste na parte da manhã, e os ambientes orientados à Sul e Leste na parte da tarde, ambos sob condições de céu 12 (claro), apresentaram os melhores percentuais de uniformidade.

Gráfico 25- Uniformidade da iluminância em função da variação da altura da edificação obstruidora, nos cenários com largura de via de 12 m, entre 7h e 12h (período da manhã).



Fonte: A autora.

Gráfico 26- Uniformidade da iluminância em função da variação da altura da edificação obstruidora, nos cenários com largura de via de 12 m, entre 13h e 17h (período da tarde).



Fonte: A autora.

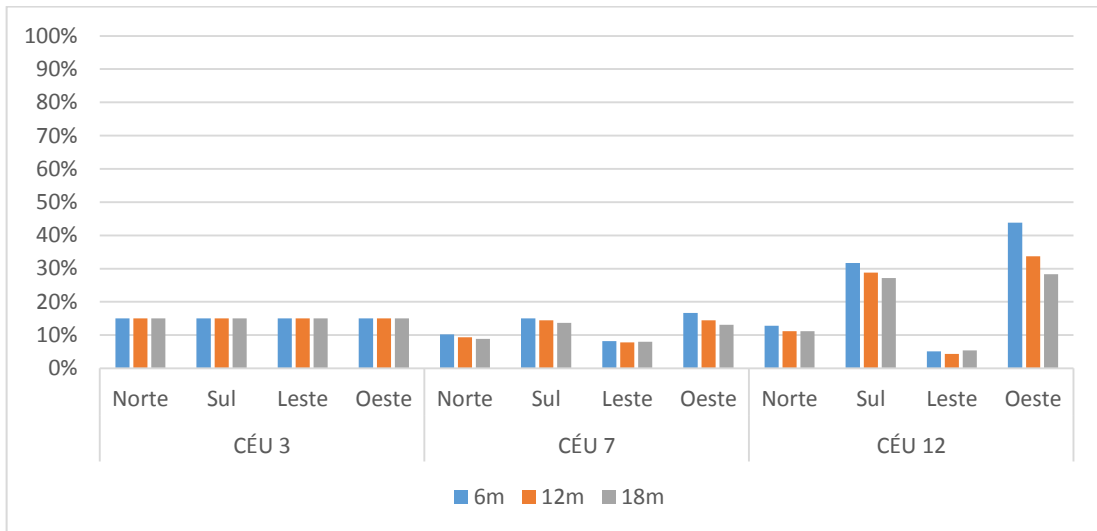
Em relação à altura, os cenários com obstruções mais baixas exibiram melhores percentuais de uniformidade, destacando-se, para o céu 12 (claro), os ambientes orientados à Sul e Oeste na parte da manhã, respectivamente com índices de 27% e 41%, e os ambientes orientados à Sul e Leste na parte da tarde, alcançando, respectivamente, os percentuais de 29% e 38%. Para o céu 7 (parcialmente nublado), nas orientações Sul e Oeste no período da manhã, e Sul e Leste no período da tarde, os cenários com obstruções de 2 pavimentos apresentaram, em média, 16% de uniformidade da iluminância (manhã e tarde). Nesse sentido, observou-se que as orientações que recebem maior contribuição do céu foram as que apresentaram melhores índices de uniformidade, isto é, para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), ambientes orientados à Sul e Oeste, no período da manhã, e ambientes orientados à Sul e Leste no período da tarde.

Em contrapartida, os índices de uniformidade mais baixos, para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), foram nos ambientes que recebem grande contribuição da parcela direta do sol, ou seja, ambientes orientados à Norte e Leste no período da manhã, e à Norte e Oeste no período da tarde. Nesse sentido, as obstruções mais altas (7 pavimentos) contribuíram com melhores índices para as orientações Leste, na parte da manhã, e Oeste, na parte da tarde, principalmente sob condições de céu 12 (claro). Os percentuais de uniformidade, para o céu 12 (claro) foram de 8% na orientação Leste, período da manhã, em detrimento de 4% nos cenários com 2 e 4 pavimentos; e 7% para os ambientes orientados à Leste, no período da tarde, em detrimento de 4% nos cenários com 2 e 4 pavimentos. Destaca-se ainda que a variação da altura das obstruções exerceu maior influência para os ambientes orientados à Oeste, na parte da manhã, e Leste, na parte da tarde, ambos sob condições de céu 12 (claro). O aumento das obstruções de 2 para 4 pavimentos ocasionou um decréscimo na uniformidade, em média, de 12%.

Na segunda etapa da análise (Gráficos 27 e 28) – cenários com largura de via de 18 m –, o comportamento da uniformidade, mediante a variação das alturas das edificações obstruidoras foi bem semelhante ao observado na primeira etapa da análise, na qual os cenários possuíam vias mais estreitas (12 m), especialmente sob condições de céu 3 (encoberto) e 7 (parcialmente nublado). Para o céu 3 (encoberto), os percentuais mantiveram-se em 15% para o período da manhã e em 16% para o

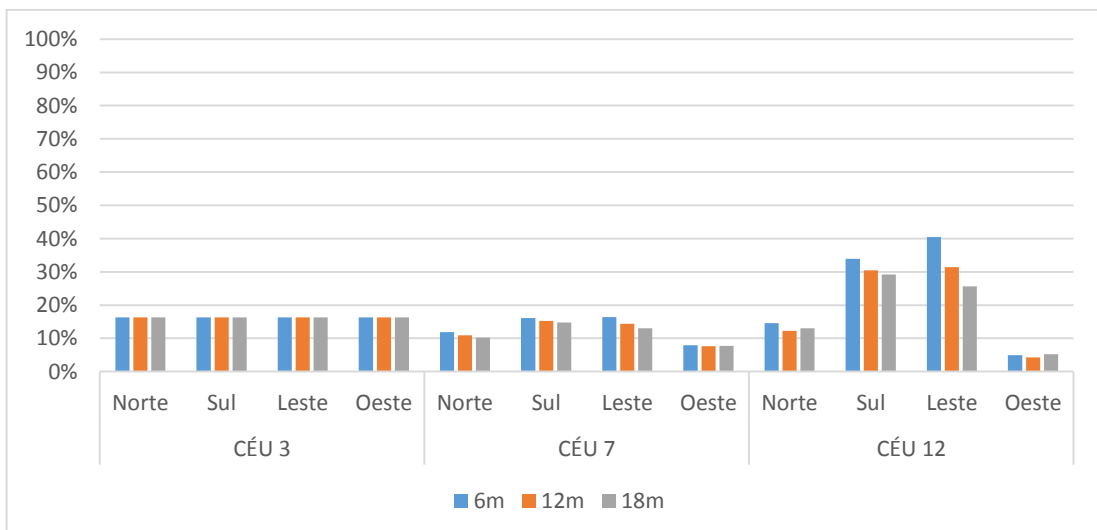
período da tarde, considerando as diferentes alturas das obstruções e todas as orientações cardeais.

Gráfico 27- Uniformidade da iluminância em função da variação da altura da edificação obstruidora, nos cenários com largura de via de 18 m, entre 7h e 12h (período da manhã).



Fonte: A autora.

Gráfico 28- Uniformidade da iluminância em função da variação da altura da edificação obstruidora, nos cenários com largura de via de 18 m, entre 13h e 17h (período da tarde).



Fonte: A autora.

Em relação à altura, os cenários com obstruções mais baixas exibiram melhores percentuais de uniformidade, destacando-se, para o céu 12 (claro), os ambientes orientados à Sul e Oeste na parte da manhã, respectivamente com índices de 32% e 44%, e os ambientes orientados à Sul e Leste na parte da tarde, alcançando,

respectivamente, os percentuais de 34% e 40%. Para o céu 7 (parcialmente nublado), nas orientações Sul e Oeste no período da manhã, e Sul e Leste no período da tarde, os cenários com obstruções de 2 pavimentos apresentaram, em média, 15% de uniformidade da iluminância (manhã e tarde).

Nesse sentido, observa-se que as orientações que recebem maior contribuição do céu foram as que apresentaram melhores índices de uniformidade, isto é, para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), ambientes orientados à Sul e Oeste no período da manhã, e ambientes orientados à Sul e Leste no período da tarde. Em contrapartida, os índices de uniformidade mais baixos, para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), foram constatados nos ambientes que recebem grande contribuição da parcela direta do sol, ou seja, ambientes orientados à Norte e Leste no período da manhã, e à Norte e Oeste no período da tarde.

Diferentemente da primeira etapa da análise, nestes cenários com largura de via maior (18 m), as obstruções mais altas (7 pavimentos) não contribuíram em nenhum dos casos com melhores índices de uniformidade, conforme observa-se nos cenários com largura de via de 12 m. Destaca-se ainda, que a variação na altura das obstruções exerceu maior influência para os ambientes orientados à Oeste, na parte da manhã, e Leste, na parte da tarde, ambos sob condições de céu 12 (claro). O aumento das obstruções de 2 para 4 pavimentos ocasionou um decréscimo na uniformidade, em média, de 10%. Esse fato corrobora os resultados encontrados no que tange à uniformidade, na primeira etapa de simulações, nas áreas 2 e 3 (Gráficos 11 a 14), isto é, para o céu 12 (claro), para as orientações ou situações nas quais se obtém maior contribuição da parcela refletida da luz natural, quanto maior a desobstrução do céu, maior será o índice de uniformidade.

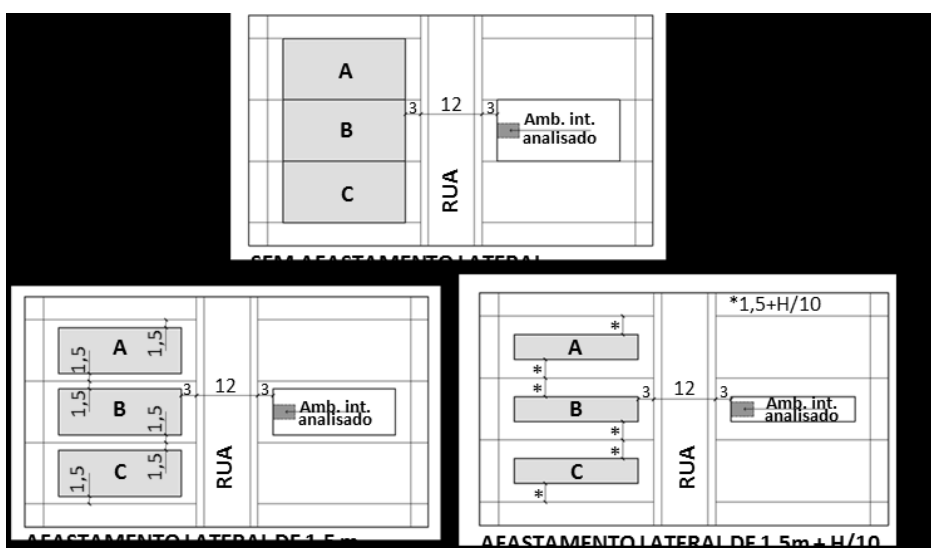
Logo, diante dos resultados obtidos em ambas etapas de análise – cenários com largura de via de 12 m e 18 m –, pôde-se observar que, de maneira geral, o parâmetro altura das edificações obstruidoras não exerceu grandes variações nos índices de uniformidade no ambiente interno, sendo as maiores alterações constatadas na mudança do gabarito das obstruções de 2 para 4 pavimentos nos ambientes orientados à Oeste, na parte da manhã, e à Leste, na parte da tarde. Além disso, semelhantemente ao observado na análise do parâmetro largura da via (Quadro 14), os resultados apontaram que as orientações que recebem maior contribuição do céu foram as que apresentaram melhores índices de uniformidade. Coerentemente, os

piores percentuais, considerando o céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), ocorrem para as situações com maior incidência de radiação solar direta. Em geral, os cenários com obstruções mais baixas exibiram melhor desempenho no que tange à uniformidade. Entretanto, para os cenários com vias mais estreitas (12 m), nos ambientes orientados à Leste, no período da manhã, e à Oeste no período da tarde, principalmente sob condições de céu 12 (claro), as obstruções mais altas (7 pavimentos) propiciaram melhores índices de uniformidade.

4.2.3 Análise do parâmetro afastamento lateral

O terceiro parâmetro analisado foi o afastamento lateral para o qual adotou-se três cenários diferentes: edificações obstruidoras sem afastamento lateral, representando a tipologia que vinha sendo edificada até a aprovação do PDM; edificações obstruidoras com afastamento lateral de 1,5 m, distanciamento proposto pela legislação anterior (Código de Obras) quando houvesse abertura na fachada, e constante também na regulamentação em vigor para determinadas situações; e edificações obstruidoras respeitando a fórmula $1,5\text{ m} + H/10$, conforme estabelecido pelo Plano Diretor, que vincula o afastamento lateral à altura das edificações. Na análise, variou-se apenas o parâmetro afastamento lateral, mantendo-se constante os demais, ou seja, largura da via e altura das edificações obstruidoras (Figura 21).

Figura 21- Esquema básico de situação das edificações no perfil dos cenários analisados em relação ao afastamento lateral.

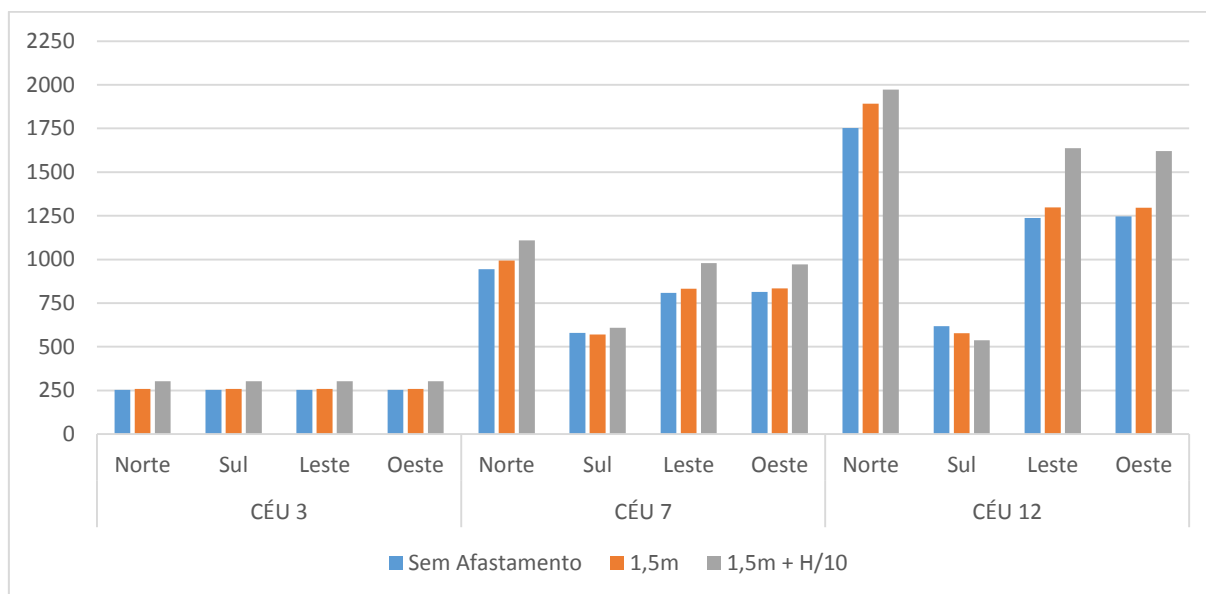


Fonte: A autora.

- Iluminância média global

O Gráfico 29, complementado pela Tabela 4, mostra a interferência dos diferentes cenários, caracterizados pela ausência de afastamento lateral, inserção e aumento do mesmo, sobre a iluminância média global no ambiente interno, simulado para as principais orientações cardeais. De maneira geral, um maior afastamento lateral entre as edificações obstruidoras proporcionou o aumento do percentual de luz natural no ambiente interno, entretanto, observou-se que a inserção do distanciamento de 1,5 m entre as edificações, quando comparado ao cenário sem afastamento, não acarretou em alterações significativas nos níveis de iluminância. Logo, destaca-se que o referido parâmetro exerce influência sobre a iluminância interna a partir de um distanciamento mínimo entre as obstruções, neste caso, o afastamento lateral de 1,5 m.

Gráfico 29- Iluminância média global em função da variação do afastamento lateral.



Fonte: A autora.

Tabela 4- Percentuais de variação da iluminância média global em função do afastamento lateral.

	CÉU 3		CÉU 7		CÉU 12	
	S/Afast. – 1,5 m	1,5 m – 1,5+H/10	S/Afast. – 1,5 m	1,5 m – 1,5+H/10	S/Afast. – 1,5 m	1,5 m – 1,5+H/10
Norte	2%	15%	5%	10%	7%	4%
Sul	2%	15%	-2%	6%	-6%	-7%
Leste	2%	15%	3%	15%	5%	21%
Oeste	2%	15%	2%	14%	4%	20%

Fonte: A autora.

Sob condições de céu 3 (encoberto), a aplicação do afastamento lateral de 1,5 m não contribuiu para o aumento das iluminâncias internas, visto que o percentual de variação foi de 2% em relação aos cenários sem afastamento lateral em todas as orientações. O afastamento 1,5 m + H/10, proposto pelo PDM, ocasionou alterações mais significativas, acrescentando os percentuais de iluminância em 15% em todas as orientações. Para o céu 7 (parcialmente nublado), na comparação entre os cenários sem afastamento lateral e os cenário com afastamento lateral de 1,5 m, também percebeu-se que não houve alterações significativas, sendo que os percentuais giraram em torno de 2% para mais nas orientações Leste e Oeste, e para menos nos ambientes orientados à Sul. Ainda para o céu 7 (parcialmente nublado), observa-se que a aplicação do índice proposto pelo Plano Diretor (1,5 m + H/10) proporcionou aumentos mais significativos nos percentuais de iluminação natural, em média, 14,5% nas orientações Leste e Oeste, e 10% na orientação Norte.

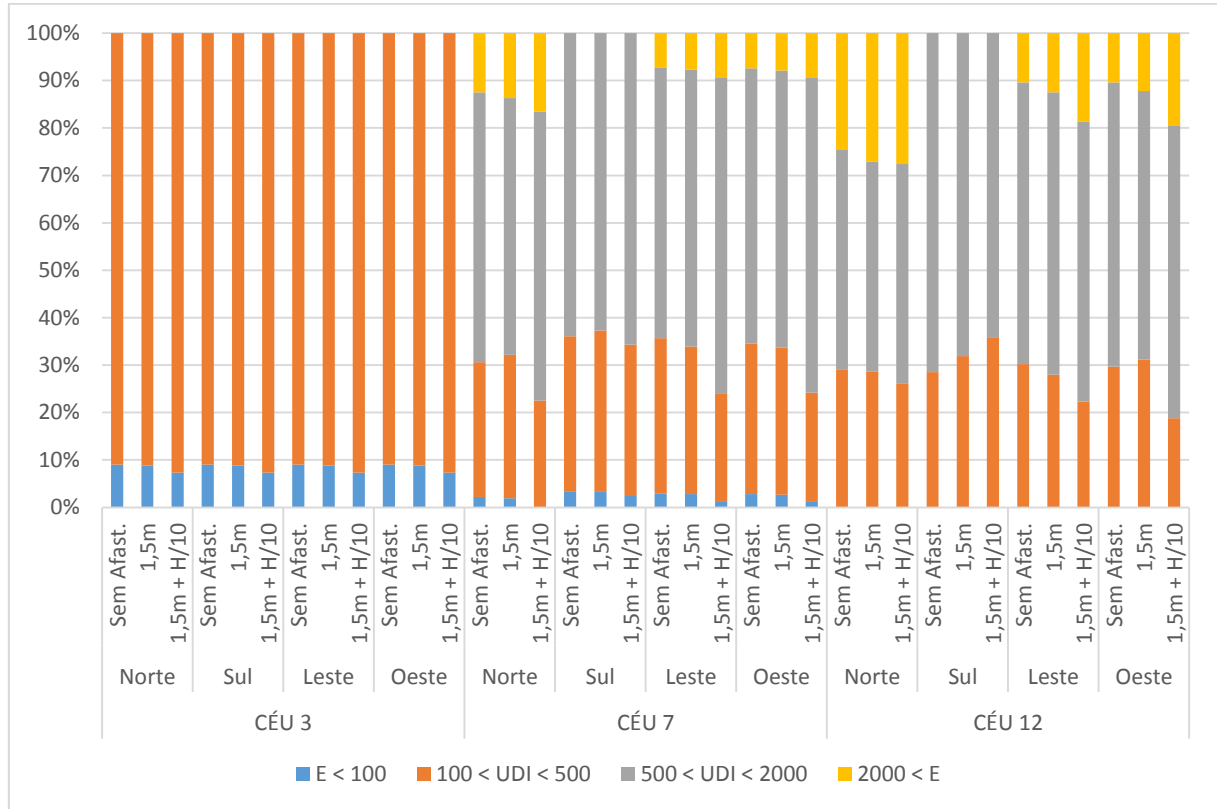
Para o céu 12 (claro), orientações Leste e Oeste, também foi o afastamento lateral proposto pelo Plano Diretor (1,5 m + H/10) que acarretou em maiores níveis de luz natural no ambiente interno, em média, 20,5%. Já nos ambientes orientados à Norte, o afastamento estabelecido pelo PDM pouco alterou o nível de iluminação natural, cerca de 4%. Nos ambientes orientados à Sul, o comportamento da luz natural foi o inverso do observado nas demais situações, isto é, a iluminância reduziu ao aumentar os afastamentos laterais entre as edificações obstruidoras, semelhantemente ao observado na análise dos demais parâmetros, para os ambientes orientados à Sul, sob condições de céu 12 (claro). Na comparação entre os cenários com afastamento lateral de 1,5 m e os cenários sem afastamento lateral, orientações Leste e Oeste, as alterações percentuais foram bem menores, em média, 4,5%. O ambiente orientado à Norte teve um acréscimo de 7% mediante a aplicação do afastamento lateral de 1,5 m, e na orientação Sul houve um decréscimo de 6% no nível de iluminância.

- UDI (*Useful Daylight Illuminances*)

Constatou-se que o parâmetro afastamento lateral, de maneira geral, não contribuiu com alterações significativas nos percentuais de horas dos dias enquadrados nos intervalos das UDI's (Gráfico 30). Para o céu 3 (encoberto), os valores mantiveram-se praticamente constantes em todos os cenários analisados, considerando as quatro orientações, permanecendo, em média, em 8% para o intervalo classificado como

insuficiente ($E < 100$ lx) e 92% para o intervalo caracterizado como suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar (100 lx/ 500 lx).

Gráfico 30- Percentuais das UDI's em função da variação do afastamento lateral.



Fonte: A autora.

Sob condições de céu 7 (parcialmente nublado), a aplicação do afastamento lateral de 1,5 m praticamente não variou os percentuais das UDI's em relação ao cenário sem afastamento lateral. Nos ambientes orientados à Norte, os valores permaneceram em torno de 29% e 55%, respectivamente para os intervalos 100 lx/500 lx (suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar) e 500 lx/2000 lx (suficiente e desejável); e, nos ambientes orientados à Leste e Oeste, os valores permaneceram na faixa de 32% e 58%, respectivamente para os intervalos 100 lx/500 lx (suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar) e 500 lx/2000 lx (suficiente e desejável). Já a aplicação do afastamento lateral proposto pelo PDM (1,5 m + H/10), nos ambientes orientados à Norte, Leste e Oeste, propiciou o aumento, em média, de 8% dos percentuais enquadrados no intervalo caracterizado como suficiente e desejável (500 lx/2000 lx). Para as referidas orientações, constatou-

se a presença da iluminância considerada excessiva e indesejável ($2000 \text{ lx} < E$), entretanto, os referidos afastamentos pouco interferiram na variações desses percentuais entre os cenários, tendo em vista que essas alterações não excederam a 5%.

Para o céu 12 (claro), nos ambientes orientados à Norte, os percentuais das UDI's praticamente não se alteram mediante o aumento do afastamento lateral, sendo que nos três cenários a média permaneceu em torno de 28% para os intervalos 100 lx/500 lx (suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar), 45% para o intervalo 500 lx/2000 lx (suficiente e desejável) e 26% para o intervalo $2000 \text{ lx} < E$ (excessivo e indesejável). Ainda para o céu 12 (claro), nos ambientes orientados à Leste e Oeste, na comparação entre os cenários sem afastamento lateral e com afastamento de 1,5 m, os valores das UDI's, em geral, mantiveram-se em torno de 30% para os intervalos 100 lx/500 lx, 59% para o intervalo 500 lx/2000 lx e 11% para o intervalo $2000 \text{ lx} < E$. Já a aplicação do afastamento proposto pelo PDM, ainda para os ambientes orientados à Leste e Oeste, permitiu o aumento, em média, de 6,5% dos valores enquadrados como excessivos e indesejáveis ($2000 \text{ lx} < E$) em detrimento da redução dos percentuais entre 100 lx e 500 lx. Nos ambientes orientados à Sul, houve um discreto aumento no intervalo entre 100 lx e 500 lx conforme aumentou-se o afastamento lateral entre as edificações obstruidoras, contudo, os percentuais permaneceram concentrados predominantemente no intervalo suficiente (100 lx/2000 lx).

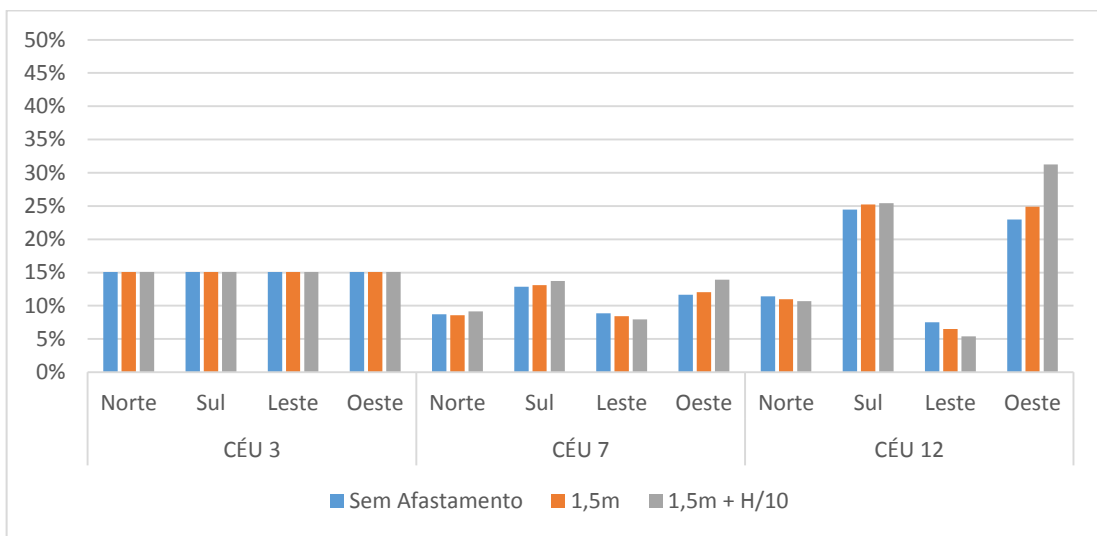
- Uniformidade

Na análise referente à uniformidade da iluminação, percebe-se que a variação do afastamento lateral entre as edificações obstruidoras, semelhantemente aos demais parâmetros analisados, não acarretou em alterações significativas, visto que as variações foram, no máximo, em torno de 3% (Apêndice B), exceto para o céu 12 (claro), nos ambientes orientados à Oeste pela manhã, e à Leste pela tarde. Os Gráficos 31 e 32 apresentam os resultados obtidos, respectivamente, para o período da manhã (7h – 12h) e da tarde (13h – 17h).

Sob condições de céu 3 (encoberto), cuja distribuição da luminância na abóboda celeste é mais uniforme, os percentuais mantiveram-se constantes mediante a

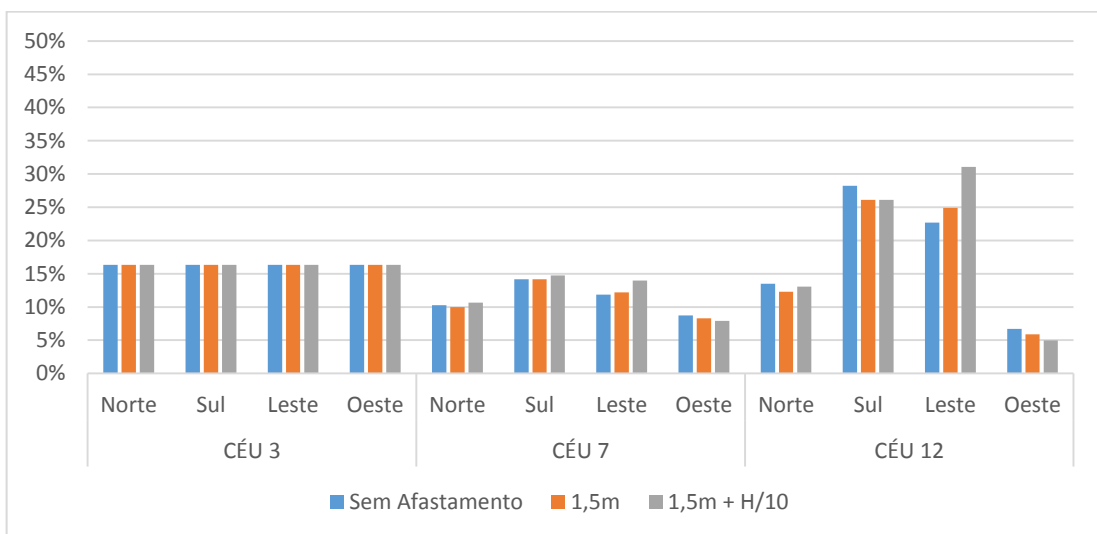
variação da altura das edificações obstruidoras em todas as orientações. O índice de uniformidade permaneceu em 15% para o período da manhã e em 16% para o período da tarde. Nesse sentido, pôde-se observar que os cenários para o céu 3 (encoberto), juntamente com os ambientes orientados à Sul e Oeste, na parte da manhã, e os ambientes orientados à Sul e Leste, na parte da tarde, ambos sob condições de céu 12 (claro), apresentaram os melhores percentuais de uniformidade.

Gráfico 31- Uniformidade da iluminância em função da variação do afastamento lateral entre 7h e 12h (período da manhã).



Fonte: A autora.

Gráfico 32- Uniformidade da iluminância em função da variação do afastamento lateral entre 13h e 17h (período da tarde).



Fonte: A autora.

Para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), os resultados demonstraram que as orientações que recebem maior contribuição do céu foram as que apresentaram melhores índices de uniformidade. Sendo assim, foram nas orientações Sul e Oeste, na parte da manhã, e Sul e Leste, na parte da tarde, em que se alcançou percentuais mais elevados de uniformidade. Para o céu 7 (parcialmente nublado), os resultados foram, em média, 13% para os ambientes orientados à Sul e Oeste no período da manhã, e cerca de 12% para os ambientes orientados à Sul e Leste no período da tarde. Para o céu 12 (claro), orientação Sul, os percentuais foram, em média, 26%. Ainda nesse contexto, para os ambientes orientados à Oeste, pela manhã, e à Leste, pela tarde, a aplicação do afastamento lateral proposto pela legislação vigente ($1,5\text{ m} + H/10$) permitiu acréscimos mais significativos nos índices de uniformidade: em relação aos cenários com afastamento lateral de 1,5 m o aumento foi de 6%; e em comparação aos cenários sem afastamentos entre as edificações obstruidoras o ganho de uniformidade foi de 8%.

As orientações que alcançaram menores índices de uniformidade, para o céu 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro), foram a Norte e Leste, no período da manhã, e Norte e Oeste, no período da tarde, ou seja, situações onde há maior incidência solar direta. Na parte da manhã, orientação Norte, os resultados foram 9% e 11%, respectivamente para o céu 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro); e, nos ambientes orientados à Leste, cerca de 8% e 6%, respectivamente para o céu 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro). No período da tarde, orientação Norte, os percentuais foram em torno de, 10% e 13%, respectivamente para o céu 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro); e, nos ambientes orientados à Oeste, em média, de 8% e 6%, respectivamente para o céu 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro).

Logo, apesar da variação do parâmetro afastamento lateral das edificações obstruidoras não ocasionar, em geral, alterações significativas nos índices de uniformidade, pôde-se constatar, semelhantemente ao observado na análise dos demais parâmetros (Quadro 14), que locais com predominância de céu encoberto apresentam ambientes com maior uniformidade, e sob condições de céu 7 (parcialmente nublado) e céu 12 (claro), considerando as principais orientações cardiais, as edificações orientadas à Sul mostraram desempenho superior, juntamente com os ambientes orientados à Oeste na parte da manhã, e à Leste na parte da tarde - principalmente sob condições de céu 12 (claro).

4.2.4 Conclusões e recomendações

Diante dos resultados e considerações expostas, listou-se a seguir as principais conclusões referente às análises de cada parâmetro bem como recomendações visando contribuir com as ações vinculadas ao planejamento urbano.

Em relação à **largura da via**, constatou-se que os níveis de iluminância aumentam conforme a via torna-se mais larga. Dentre os intervalos analisados, observou-se que o intervalo compreendido pelas vias mais estreitas (12 m a 15 m) acarretou em maiores alterações nos níveis de iluminância. Isso significa que aumentos compreendidos nos intervalos de via mais estreitos contribuirão com aumentos mais expressivos nos níveis lumínicos se comparados aos intervalos mais largos de via (15 m a 18 m). Ressalta-se, entretanto, que o intervalo entre 12 m e 15 m foi o que se mostrou mais influente para o aumento da iluminância excessiva ($2000 \text{ lx} < E$).

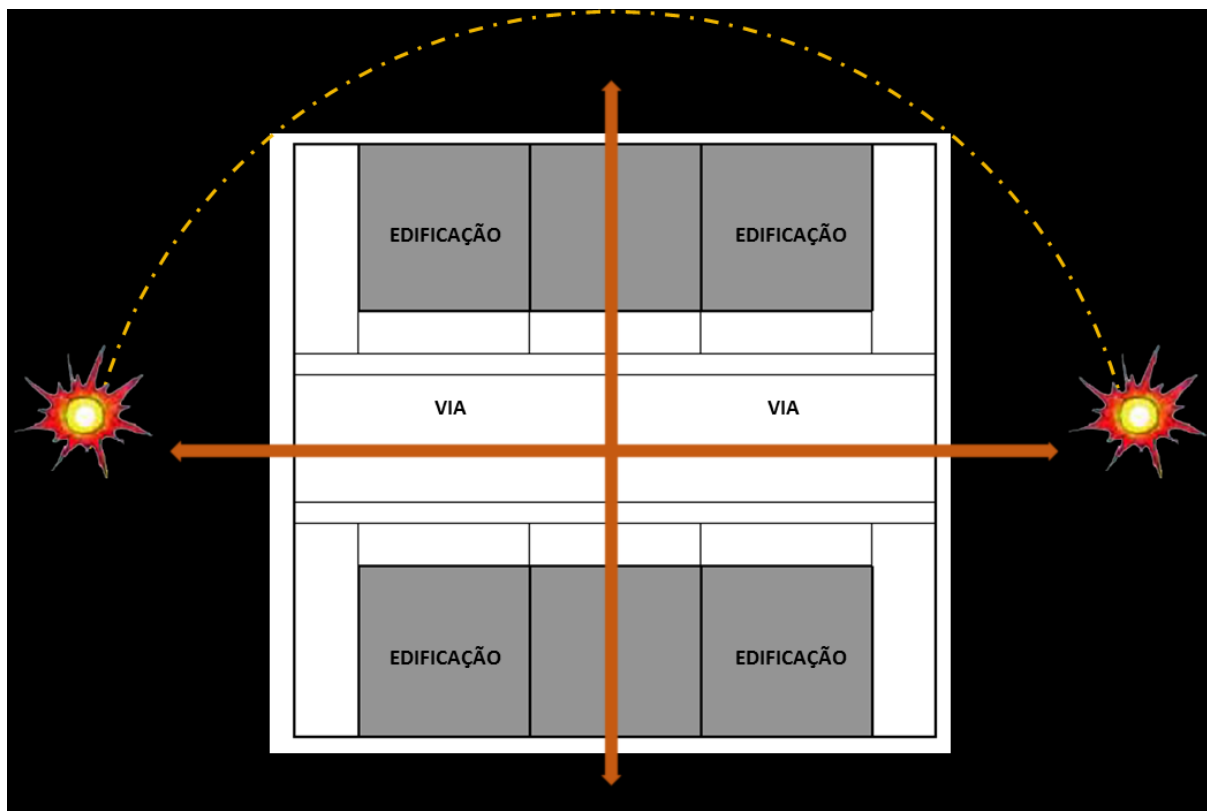
As vias mais largas apresentaram-se como mais favoráveis à disponibilidade de luz natural em situações cuja luminosidade é mais uniforme, isto é, sob condições de céu 3 (encoberto) e ambientes voltados para orientação Sul (orientação da via Leste - Oeste), pois além de compreenderem maiores percentuais no intervalo suficiente ($100 \text{ lx}/2000 \text{ lx}$), não abarcaram percentuais da iluminância excessiva ($2000 \text{ lx} < E$). Sob condições de céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), para os ambientes voltados para orientações que propiciam maior incidência solar direta, e conseqüentemente, menor uniformidade, as vias mais estreitas são preferíveis por apresentarem melhor desempenho, visto contribuírem com maiores percentuais no intervalo suficiente ($100 \text{ lx}/2000 \text{ lx}$) em detrimento de menores valores excessivos e indesejáveis ($2000 \text{ lx} < E$).

Em relação à uniformidade da iluminância, a variação na dimensão da largura da via não acarretou em alterações significativas nesses percentuais, entretanto, pôde-se constatar que locais com predominância de céu encoberto apresentam ambientes com maior uniformidade, e sob condições de céu 7 (parcialmente nublado) e céu 12 (claro), considerando as principais orientações cardeais, as edificações orientadas à Sul mostraram desempenho superior, juntamente com os ambientes orientados à Oeste na parte da manhã, e à Leste na parte da tarde.

Nesse contexto, tendo em vista as áreas de expansão urbana e futuros loteamentos, para locais com céu tipicamente encoberto, recomenda-se a adoção de vias mais

largas. Para locais com céu tipicamente claro e parcialmente nublado, conforme explicitado por Baker e Steemers (2002) e Corbella e Yannas (2009), é preferível que a disposição das vias seja, preferencialmente, no eixo Leste e Oeste, de forma que as fachadas principais dos edifícios estejam voltadas para Norte e Sul (Figura 22).

Figura 22- Orientação recomendável para as vias em locais com céu tipicamente claro e parcialmente nublado.



Fonte: A autora

No que tange à **altura das edificações obstruidoras**, pôde-se corroborar os resultados encontrados por outros autores, como Laranja (2010) e Lima (2015), isto é, conforme aumenta-se a altura das edificações, o nível lumínico no ambiente interno decresce. A exceção ocorreu apenas para os ambientes orientados à Sul, sob condições de céu claro, nos quais o aumento do gabarito propiciou maiores níveis de iluminância, bem como maiores percentuais suficientes e desejáveis (500 lx/2000 lx), permitindo assim maior economia no consumo de energia. Destaca-se também que as variações foram minoradas na via de maior dimensão (18 m). Nesse sentido, recomenda-se que a definição do gabarito das edificações seja associada à largura da via.

O aumento do gabarito ocasionou maiores variações percentuais nos cenários com vias mais estreitas, considerando que a análise foi realizada em cenários com largura de via de 12 m e 18 m. Nos cenários com largura de via de 12 m, para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), exceto para os ambientes orientados à Sul, o aumento do gabarito de 4 para 7 pavimentos exerceu maior influência para o decaimento da iluminância no ambiente interno. Assim, observa-se que a admissão de até 4 pavimentos como gabarito máximo em vias locais (12 m), em detrimento da restrição à 2 pavimentos, não será pernicioso em relação à disponibilidade de luz natural, tendo em vista também que, em geral, a iluminância caracterizada como suficiente e desejável (500 lx/2000 lx) pouco se alterou e que o aumento do gabarito propiciou menores níveis da iluminância excessiva ($2000 \text{ lx} < E$). Nos cenários com largura de via de 18 m, o aumento do gabarito de 2 para 4 pavimentos exerceu maior influência, inclusive sob condições de céu encoberto, reforçando a constatação de que o impacto do aumento da altura das obstruções é menor em vias mais largas.

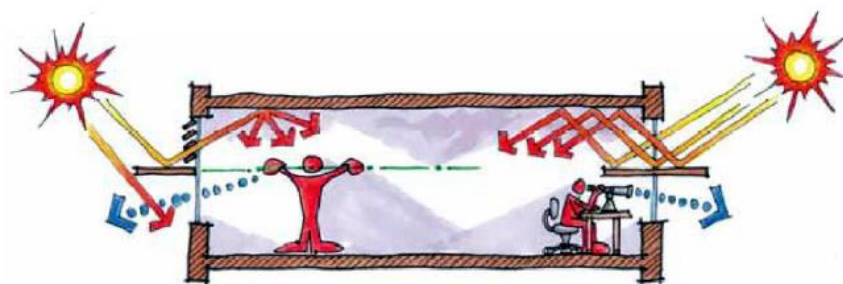
No que tange aos percentuais das UDI's, para o céu 3 (encoberto), as obstruções mais baixas denotaram melhor desempenho para ambas larguras de via (12 m e 18 m). Para o céu 7 (parcialmente nublado), orientações Leste e Oeste, as edificações mais baixas (2 e 4 pavimentos) também mostraram-se mais favoráveis ao aproveitamento da luz natural em ambos os cenários, porém ressalta-se que mesmo nos cenários com obstruções de 7 pavimentos os percentuais permaneceram majoritariamente no intervalo suficiente (100 lx/2000 lx), indicando que é possível um bom aproveitamento da iluminância útil, visando à economia de energia com iluminação artificial, nos referidos cenários. Sob condições de céu 12 (claro), as obstruções mais altas apresentaram melhor desempenho em todas as orientações para os cenários com largura de via de 12 m.

Nos ambientes orientados à Norte, para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), as edificações obstruidoras com 7 pavimentos denotaram melhor performance nos cenários com largura de via de 12 m, sendo que nos cenários com largura de via de 18 m os percentuais das UDI's pouco se alteraram. Nos ambientes orientados à Sul, em ambos cenários (via de 12 m e 18 m), para o céu 7 (parcialmente nublado), apesar do percentual entre 500 lx/2000 lx ter sido reduzido proporcionalmente ao aumento do gabarito, os valores permaneceram majoritariamente no intervalo suficiente (100 lx/2000 lx) e não houve percentuais excessivos ($2000 \text{ lx} < E$), conforme o

esperado. Além disso, para o céu 12 (claro), também nos ambientes orientados à Sul, o intervalo suficiente e desejável (500 lx/2000 lx) teve acréscimos à medida em que o gabarito aumentou.

Diante do exposto, recomenda-se para áreas destinadas à verticalização, situadas em localidades com predominância de céu parcialmente nublado e claro, a disposição das vias no eixo Leste-Oeste, de maneira que as fachadas frontais das edificações estejam dispostas à Norte e Sul (Figura 22), visto que para a orientação Norte as obstruções de 7 pavimentos mostraram-se mais favoráveis para o aproveitamento da luz natural, e para os ambientes orientados à Sul, os percentuais concentraram-se majoritariamente no intervalo suficiente (100 lx/2000 lx), além de terem apresentado os maiores índices de uniformidade. Recomenda-se, ainda, que as fachadas orientadas à Norte sejam providas de dispositivos de sombreamento, especialmente as edificações localizadas em vias coletoras (18 m), considerando que esta orientação concentra um grande percentual de iluminância excessiva ($2000 \text{ lx} < E$), sendo estes valores maiores para os edifícios localizados em vias mais largas. Nesse sentido, reitera-se que as prateleiras de luz (Figura 23) podem apresentar-se como uma opção eficaz por auxiliarem no bloqueio da radiação solar direta, reduzindo os níveis excessivos de iluminância, e promovendo uma distribuição mais uniforme da luz natural no ambiente interno (FREEWAN, 2010; MAIOLI, 2014; MERESI, 2016).

Figura 23- Prateleira de luz: dispositivo de proteção solar e redirecionamento da luz natural.



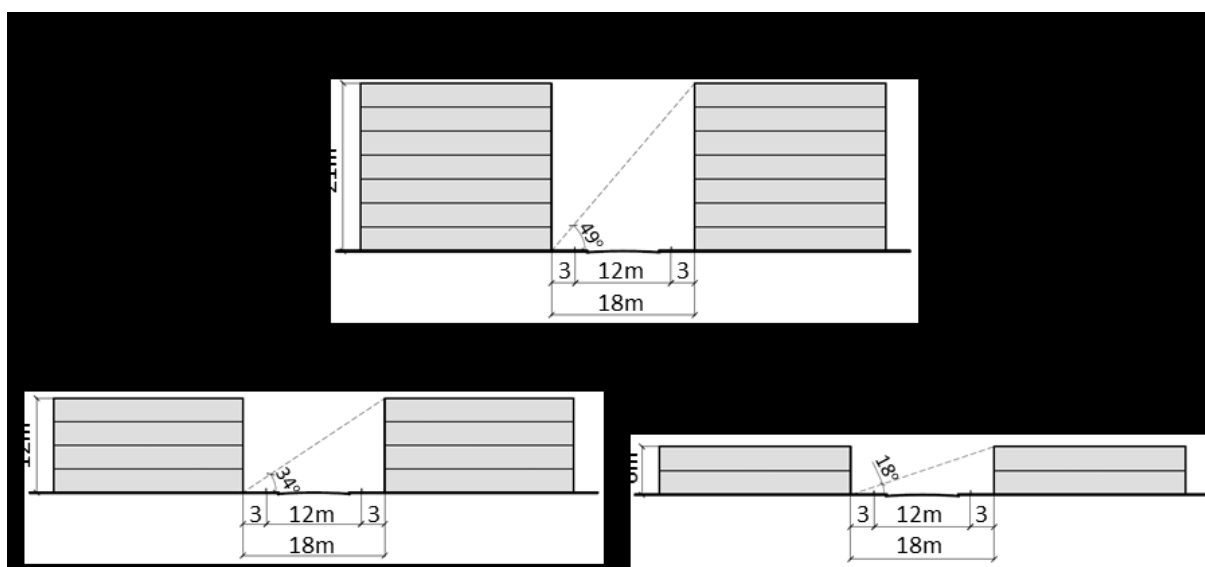
Fonte: Lamberts e outros (2014)

Quanto à uniformidade, de maneira geral, as obstruções não ocasionaram variações significativas, considerando que o percentual máximo de variação foi de 5%, exceto para as orientações Oeste, no período da manhã, e Leste, no período da tarde, quando o aumento do gabarito de 2 para 4 pavimentos ocasionou um decréscimo, em média, de 12% no percentual de uniformidade. Apesar da pouca ou nenhuma

interferência das obstruções nos índices de uniformidade, pode-se corroborar o fato observado para o parâmetro largura da via, isto é, os melhores índices de uniformidade apresentam-se para situações cuja distribuição da luminância na abóboda celeste é mais uniforme, ou seja, sob condições de céu encoberto; e para locais com predominância de céu parcialmente nublado e claro, para os ambientes orientados à Sul, juntamente com os ambientes orientados à Oeste na parte da manhã, e à Leste na parte da tarde.

Por fim, tendo em vista a recomendação anteriormente exposta de que o gabarito das edificações deve estar associado à largura da via, sendo a recíproca verdadeira, buscou-se identificar a relação entre altura da edificação (H) e distanciamento frontal (L - largura da via + afastamentos frontais), dentre as relações estudadas, que proporcionasse um melhor aproveitamento da iluminação natural em função das condições da abóboda celeste e orientações cardeais, possibilitando, dessa forma, a aplicação dessas relações em outros contextos. Destaca-se que se considerou os cenários com via de 12 m por ser a dimensão que propiciou maiores variações nos percentuais de luz natural. Sendo assim, os resultados previamente apresentados para os cenários com edificações obstruidoras de 2, 4 e 7 pavimentos (Gráficos 21 a 28) podem ser expressos pelas relações $H/L=0,33$ (Figura 24c), $H/L=0,66$ (Figura 24b) e $H/L=1,16$ (Figura 24a). Ademais, as informações do Quadro 15 respaldam outras indicações e observações realizadas anteriormente.

Figura 24- Perfil das geometrias urbanas analisadas.



Fonte: A autora.

Quadro 15- Identificação da relação H/L com melhor desempenho lumínico em função dos tipos de céu e orientações.

	CÉU 3			CÉU 7			CÉU 12		
	H/L= 0.33	H/L= 0.66	H/L= 1.16	H/L= 0.33	H/L= 0.66	H/L= 1.16	H/L= 0.33	H/L= 0.66	H/L= 1.16
Norte	x					x			x
Sul	x			x					x
Leste	x			x	x				x
Oeste	x			x	x				x

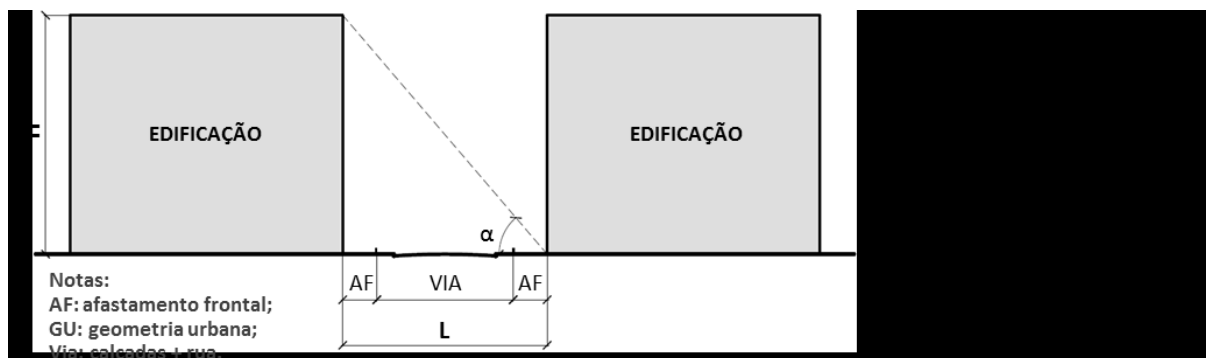
Fonte: A autora.

Logo, para locais com céu predominantemente encoberto é preferível uma ocupação mais horizontal ou o estabelecimento de menores relações na associação entre H/L, podendo ser adotada a proporção H/L=0,33. Sendo assim, em vias locais (12 m), essa relação permite o gabarito máximo de 2 pavimentos, considerando o afastamento frontal de 3 m. Em contextos cujo céu predominante é o claro, é preferível o estabelecimento de maiores relações na associação entre altura das edificações e largura de via, sendo que a relação H/L=1,16, dentre as geometrias estudadas, foi a que denotou melhor potencial para o aproveitamento da iluminação natural.

Sob condições de céu parcialmente nublado, a relação H/L=1,16 permitiu um melhor desempenho para as edificações orientadas à Norte, entretanto, apesar da relação H/L=0.33 ter denotado um melhor aproveitamento da luz natural quando comparada às demais relações analisadas para os ambientes orientados à Sul, Leste e Oeste, destaca-se que os percentuais das UDI's, nas relações H/L=0,66 e H/L=1,16, permanecem concentrados majoritariamente no intervalo suficiente (100 lx/2000 lx) para as referidas situações, possibilitando também o aproveitamento da luz natural para economia de energia elétrica. Além disso, conforme exposto anteriormente a permissão de 4 pavimentos em detrimento da restrição a 2 pavimentos não seria perniciososa em relação à disponibilidade de luz natural. Sendo assim, considerando que a disposição de uma via ao longo de um eixo condiciona as edificações situadas ao longo da mesma à duas orientações opostas, para locais com céu típico parcialmente nublado, recomenda-se que as edificações orientadas à Norte e Sul adotem a relação H/L=1.16, e para as construções orientadas à Leste e Oeste, utilize-se uma relação intermediária, ou seja, H/L=0.66. Destaca-se ainda que a partir da equação H/L=geometria urbana (GU) é possível definir a altura máxima das

edificações ($H_{m\acute{a}x}$) e o afastamento frontal mínimo ($AF_{m\acute{i}n}$) conforme pode-se verificar na Figura 25.

Figura 25- Geometria urbana genérica e respectivas equações para definição da altura máxima e afastamento frontal mínimo das edificações.



Fonte: A autora.

Em relação ao parâmetro **afastamento lateral**, a inserção do afastamento de 1,5 m proposto pela legislação anterior (Código de Obras) não ocasionou alterações significativas nos níveis lumínicos na comparação com o cenário que representa a tipologia que vinha sendo edificada até a aprovação do PDM, isto é, sem afastamento lateral. Entretanto, o índice proposto pela atual regulamentação urbana ($1,5\text{ m} + H/10$) permitiu maiores valores de luz natural no ambiente interno. Pôde-se então observar que, a partir de uma distância mínima, um maior afastamento lateral entre as edificações obstruidoras proporciona maiores níveis de iluminação natural. A única exceção foi para o céu 12 (claro), orientação Sul, que, semelhantemente ao observado na análise dos demais parâmetros (largura da via e altura das edificações obstruidoras), apresentou um comportamento inverso ao padrão verificado nos demais cenários, isto é, a iluminância reduziu à medida em que se aumentou os afastamentos laterais entre as edificações obstruidoras.

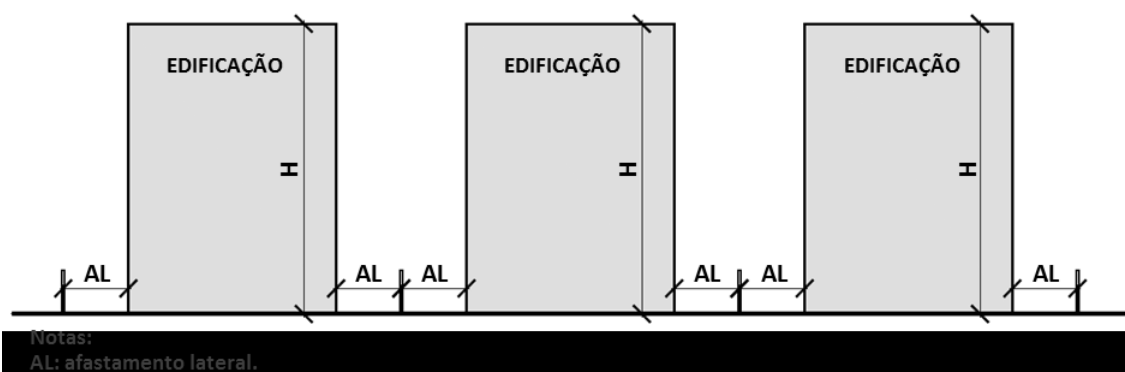
No que tange aos percentuais das UDI's, dentre os três parâmetros urbanísticos analisados, o afastamento lateral foi o que exerceu menor influência para a alteração dos percentuais de horas anuais enquadrados nos intervalos das UDI's. De maneira geral, os percentuais mantiveram-se constantes, exceto para o céu 7 (parcialmente nublado), orientações Norte, Leste e Oeste, nas quais a aplicação do índice proposto pelo Plano Diretor proporcionou o aumento de cerca de 8% dos percentuais entre

500 lx e 2000 lx (suficiente e desejável); e, para o céu 12 (claro), orientações Leste e Oeste, nas quais o afastamento lateral do PDM propiciou o aumento, em média, de 6,5% da iluminância excessiva ($2000 \text{ lx} < E$).

Em relação à uniformidade da iluminância, apesar da variação do parâmetro afastamento lateral das edificações obstruidoras não ocasionar, em geral, alterações significativas nos índices de uniformidade, pôde-se constatar que locais com predominância de céu encoberto apresentam ambientes com maior uniformidade. Além disso, para o céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), ambientes orientados à Sul, à Oeste na parte da manhã, e à Leste na parte da tarde, denotaram desempenho superior, principalmente sob condições de céu 12 (claro).

Diante do exposto, pode-se afirmar que o parâmetro proposto pela atual regulamentação urbana, o qual associa o afastamento lateral à altura da edificação ($1,5 \text{ m} + H/10$) – exemplificado na Figura 26 -, foi benéfico para a disponibilidade de iluminação natural. Ademais, apesar da análise ter sido realizada nos ambientes posicionados na fachada frontal, ressalta-se que, certamente, o índice proposto favorece o aproveitamento da luz natural, principalmente para os ambientes posicionados nas laterais das edificações. Logo, reitera-se a importância de vincular a definição do afastamento lateral à altura da edificação, bem como recomenda-se que esta prática seja usual no estabelecimento dos afastamentos e recuos propostos pelas legislações urbanísticas (Figura 26).

Figura 26- Definição do afastamento lateral vinculado à altura da edificação.



Notas:
AL: afastamento lateral.

Fonte: A autora.

A análise dos resultados obtidos na segunda etapa de simulações permitiu constatar que, dentre os parâmetros urbanísticos analisados, a altura das edificações

obstruidoras foi o índice que mais influenciou para a variação dos níveis lumínicos e dos percentuais das UDI's. Quanto aos índices de uniformidade, de maneira geral, os parâmetros não exerceram uma interferência significativa. De fato, as obstruções mais altas ocasionaram menores níveis de luz natural, exceto para o céu 12 (claro) nos ambientes orientados à Sul; e menores percentuais no intervalo com o melhor potencial para economia com energia elétrica (500 lx/2000 lx) em determinadas situações. Entretanto, os efeitos das obstruções podem ser suavizados mediante a adoção de vias mais largas.

Dessa forma, reitera-se a relevância da associação entre a altura das edificações e seus afastamentos, sendo recomendado que o gabarito máximo das edificações seja definido em função do distanciamento frontal entre elas (caixa viária + calçadas + afastamento frontal), e que os afastamentos laterais estejam vinculados à altura das edificações. Confirmou-se, também, a importância de se considerar as características climáticas de cada contexto e as orientações das vias e edificações no estabelecimento dos índices urbanísticos, visto que para cada tipo de céu e orientação uma determinada geometria urbana apresenta melhor desempenho para o aproveitamentos da luz natural.

Por fim, considerando as áreas de expansão urbana, de maneira geral, avalia-se o estabelecimento da atual legislação urbana de Domingos Martins como favorável ao aproveitamento da luz natural, especialmente em relação à proposição de vias mais largas e o afastamento lateral associado à altura da edificação. Contudo, a permissão de edificações mais altas mostra-se como uma opção possível e favorável, em determinadas situações, para o melhor aproveitamento da iluminação natural, indicando assim a viabilidade da verticalização em futuros loteamentos em função da largura e orientação das vias, bem como do correto distanciamento entre as edificações.

4.3 SÍNTESE DAS RECOMENDAÇÕES

No intuito de reunir as principais recomendações e critérios estabelecidos em função das duas etapas de simulações, o Quadro 16 apresenta a síntese das indicações oriundas da análise dos resultados obtidos nos estudos desenvolvidos nesta

pesquisa, considerando as delimitações da mesma, as quais foram expostas na Metodologia (capítulo 3).

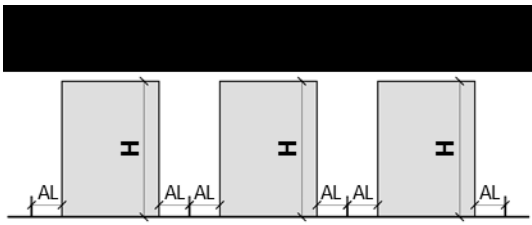
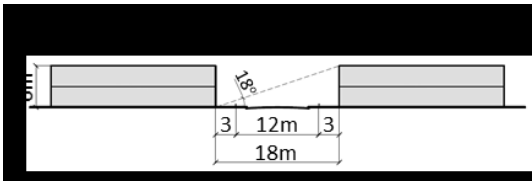
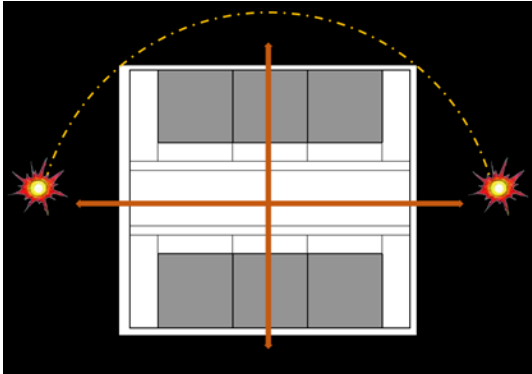
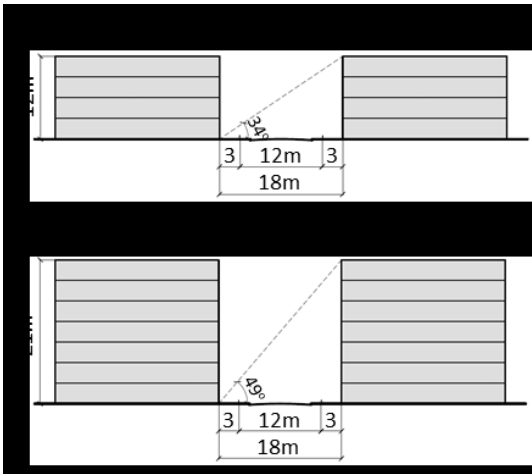
Quadro 16- Síntese das principais recomendações e critérios.

(continua)

RECOMENDAÇÕES E CRITÉRIOS		
Área de ocupação urbana consolidada	<p>Edificações localizadas em vias com dimensão em torno de 5 m (céu predominantemente claro e parcialmente nublado): gabarito máximo de 2 pavimentos; afastamento frontal baseado na relação $H/L=1,16$ (L=caixa viária + calçadas + afastamento frontal), ou seja, $AF_{min}=(H/1,16 - via) \times 0,5$.</p>	
	<p>Edificações localizadas em vias com dimensão entre 8 m e 11 m (céu predominantemente claro e parcialmente nublado): gabarito máximo de 4 pavimentos, desde que a altura máxima atenda a relação $H/L=1,16$, isto é, $H_{máx}= 1,16 \times (via + 2 \times AF)$; afastamento frontal baseado na relação $H/L=1,16$ (L=caixa viária + calçada + afastamento frontal), ou seja, $AF_{min}=(H/1,16 - via) \times 0,5$.</p>	
	<p>Edificações localizadas em vias com dimensão entre 11 m e 12 m (céu predominantemente claro e parcialmente nublado): gabarito máximo de 7 pavimentos ou definido baseado na relação $H/L=1,16$ (L=caixa viária + calçada + afastamento frontal), ou seja, $H_{máx}=1,16 \times (via + 2AF)$; afastamento frontal de 3 m.</p>	
	<p>Em locais com céu predominantemente encoberto, para edificações localizadas em vias com dimensão inferior a 12 m, deve-se adotar menores relações H/L.</p>	
Áreas de expansão urbana e futuros loteamentos	<p>Para definição dos parâmetros urbanísticos deve-se adotar o conceito de proporcionalidade, considerando a orientação das vias e as características climáticas de cada local.</p>	
	<p>A definição da altura máxima das edificações deve estar vinculada à largura da via, assim como o afastamento frontal à altura máxima da edificação.</p>	

Quadro 16- Síntese das principais recomendações e critérios.

(conclusão)

Áreas de expansão urbana e futuros loteamentos	<p>A definição do afastamento lateral deve estar vinculada à altura da edificação, podendo ser adotada a relação já estabelecida pelo PDM de $1,5\text{ m} + H/10$, com exceção dos ambientes orientados à Sul para os locais com céu predominantemente claro.</p>	 <p>Nota: Adaptado da Figura 26.</p>
	<p>Em locais com céu tipicamente encoberto é preferível uma ocupação mais horizontal ou a adoção de menores relações na associação entre H/L (altura e largura), podendo ser utilizada a proporção $H/L=0,33$.</p>	 <p>Nota: Adaptado da Figura 24.</p>
	<p>Em locais com céu tipicamente claro e parcialmente nublado, as vias devem ser dispostas, preferencialmente, no eixo Leste e Oeste, de forma que as fachadas principais dos edifícios estejam voltadas para Norte e Sul, especialmente as áreas destinadas à verticalização.</p>	 <p>Nota: Adaptado da Figura 22.</p>
	<p>Em locais com céu tipicamente claro e parcialmente nublado, recomenda-se a adoção da relação $H/L=1,16$ para as vias dispostas no eixo Leste-Oeste, e a relação $H/L=0,66$ para as vias dispostas no eixo Norte-Sul.</p>	 <p>Nota: Adaptado da Figura 24.</p>
Outras	<p>Utilização de dispositivos de proteção solar, como prateleiras de luz, para os ambientes voltados para orientações com radiação solar intensa, como Norte, Leste, Oeste, e orientações intermediárias à estas, situados em locais com céu predominantemente claro e parcialmente nublado (vínculo com regulamentação edilícia).</p>	

Fonte: A autora.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa buscou investigar a influência da legislação urbana de Domingos Martins - ES, por meio de seus principais parâmetros urbanísticos, na disponibilidade de iluminação natural no interior das edificações, visando, dessa forma, propor critérios e recomendações que possam ser aplicados em cidades ou áreas específicas com características semelhantes ao objeto de estudo. Para tanto, em um primeiro momento, avaliou-se a interferência dos índices mais restritivos impostos pela atual regulamentação urbana municipal, o PDM, e dos índices mais permissivos da legislação que vigorava até o final de 2013, o Código de Obras. Na segunda etapa de avaliação, analisou-se alguns dos parâmetros que regulam a ocupação urbana – como a largura da via, altura das edificações e afastamento lateral –, considerando as principais orientações cardeais, sendo possível, dessa forma, verificar a interferência desses parâmetros no desempenho lumínico dos edifícios. Observa-se, ainda, que por meio dos resultados obtidos nas duas etapas, foi possível avaliar a adequabilidade de ambas regulamentações urbanas de Domingos Martins - ES, a atual e a anterior, no que tange à iluminação natural no ambiente interno, considerando a ocupação urbana existente e as áreas de expansão urbana.

O principal instrumento para obtenção de dados foi a ferramenta computacional TropLux, a qual se mostrou adequada a esta pesquisa, permitindo a modelagem do ambiente analisado e do entorno construído, bem como a obtenção, direta ou indiretamente, dos resultados necessários para avaliar o desempenho da luz natural no ambiente interno, sendo os parâmetros de análise a iluminância média global, os percentuais da métrica UDI e os percentuais de uniformidade. No entanto, não foi possível trabalhar com simulações dinâmicas, em função da inexistência, inicialmente, de um arquivo climático, tornando a análise mais trabalhosa, visto que para a obtenção dos dados foram considerados três diferentes tipos de céu padrão CIE (encoberto, parcialmente nublado e claro), no intuito de englobar as condições que propiciam níveis menores, medianos e maiores de luz natural. Entretanto, ressalta-se que dessa forma foi possível avaliar o desempenho lumínico para cada condição de céu separadamente, viabilizando recomendações em função das características climáticas de diferentes locais.

A partir dos resultados obtidos, verificou-se, assim como nos estudos realizados por Leder (2007), Laranja (2010), Strømman-Andersen e Sattrup (2011), Lima (2015) e

outros, a influência da geometria urbana e, conseqüentemente, da legislação urbanística na disponibilidade de luz natural no interior das edificações. Com relação a cidade de Domingos Martins-ES, apesar de não ter sido considerada nenhuma metodologia específica relacionada ao conforto ambiental na elaboração da legislação atual, as simulações computacionais mostraram que o Plano Diretor Municipal, através da aplicação dos índices estabelecidos, contribui com o aumento da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. Percebeu-se também que o Código de Obras – regulamentação que vigorava até a aprovação do PDM – não era pernicioso em relação ao potencial de aproveitamento da luz natural no interior das edificações.

Assim, considerando a ocupação urbana existente, de fato, a legislação anterior propiciou o aumento da iluminância na comparação com o cenário atual, o que permite concluir que o problema não eram os índices mais permissivos do Código de Obras, mas a tipologia que vinha sendo edificada na cidade, ou seja, de construções geminadas, alinhadas no limite frontal dos terrenos e com pavimentos acima do térreo em balanço sobre a calçada. Em relação as áreas de expansão urbana, constatou-se que a permissão de edificações mais altas mostra-se como uma opção possível e favorável, em determinadas situações, para o melhor aproveitamento da iluminação natural, indicando assim a viabilidade da verticalização em futuros loteamentos em função da largura e orientação das vias, bem como do correto distanciamento entre as edificações, comprovando, dessa forma, a hipótese de investigação desta pesquisa.

A análise de determinados parâmetros urbanos propostos pelas regulamentações, sendo estes a largura da via, altura das edificações e afastamento lateral, corroboram com os resultados obtidos por outros autores como Laranja (2010) e Lima (2015), confirmando que os referidos parâmetros exercem influência na disponibilidade de luz natural no ambiente interno, especialmente em relação aos níveis de luz natural e percentuais da iluminância com potencial de contribuição para economia de energia elétrica. No que tange à distribuição da iluminação natural no ambiente interno, de maneira geral, a variação dos parâmetros analisados não ocasionou alterações significativas nos percentuais de uniformidade. Pode-se constatar, inclusive, que dentre os parâmetros urbanísticos analisados, a altura das edificações é o índice que mais influencia para a variação dos níveis lumínicos e dos percentuais das UDI's. De

fato, as obstruções mais altas ocasionaram menores níveis de luz natural, exceto para os ambientes orientados à Sul sob condições de céu 12 (claro); e menores percentuais no intervalo com o melhor potencial para economia de energia (500 lx/2000 lx) em determinadas situações. Entretanto, ressalta-se que o efeito das obstruções pode ser suavizado através do estabelecimento de uma maior largura de via.

Nesse sentido, reitera-se a importância da associação entre a altura das edificações e os distanciamentos entre elas, sendo estes últimos representados pela largura da via, afastamento frontal e lateral. Destaca-se, que o conceito de proporcionalidade é um artifício encontrado em regulamentações de diversas capitais, como as de Maceió-AL, Porto Alegre-RS, Vitória-ES entre outras. Recomenda-se ainda que a vinculação entre os referidos parâmetros seja uma prática usual para o estabelecimento dos índices urbanísticos, inclusive para as cidades de menor porte, onde o adensamento, geralmente, é menos vertical, mas a malha viária é composta por vias mais estreitas. Reitera-se também a importância de se considerar as características climáticas de cada contexto e as orientações das vias e edificações para o estabelecimento dos índices urbanísticos, visto que para cada tipo de céu e orientação uma determinada geometria urbana apresenta melhor desempenho para o aproveitamento da luz natural. Nesse contexto, destaca-se que, dentre as regulamentações pesquisadas, apenas a legislação de Curitiba-PR considera a orientação para a flexibilização dos afastamentos, e a regulamentação de Belo Horizonte-MG, na sua formulação, baseou-se também nas condições da abóboda celeste local.

Em síntese, de maneira geral, o estabelecimento da atual legislação urbana, o Plano Diretor, é benéfico ao município de Domingos Martins no que diz respeito à iluminação, favorecendo o aproveitamento da luz natural e, por conseguinte, o conforto ambiental no que se refere à iluminação, a economia de energia pela menor necessidade de uso da iluminação artificial, e a aproximação ao conceito de sustentabilidade do ambiente construído. O mesmo pode-se afirmar em relação à regulamentação anterior, o Código de Obras, que também contribuía com a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. Como principais recomendações para a definição dos parâmetros reguladores do espaço urbano construído no que diz respeito à iluminação natural, destacam-se: a adoção do conceito de proporcionalidade, por meio da vinculação entre os índices urbanísticos;

a associação desses parâmetros à orientação das vias e fachadas principais dos edifícios; e a consideração das características climáticas de cada local. Ressalta-se, por fim, que os resultados desta pesquisa devem ser considerados em associação aos demais parâmetros da legislação urbana, visando contribuir com a melhoria da qualidade do ambiente urbano. Recomenda-se ainda o desenvolvimento de estudos complementares considerando outros aspectos relevantes para a sustentabilidade do ambiente construído e para o conforto dos usuários, tais como insolação, ventilação, paisagem, entre outros, objetivando especialmente propor critérios e recomendações mais adequados à realidade de cada local.

Limitações da Pesquisa e Sugestões para Trabalhos Futuros

Alguns aspectos podem ser destacados no sentido de identificar pontos da pesquisa que limitam a abrangência e/ou aplicabilidade dos resultados obtidos. Expõem-se assim as limitações do trabalho, bem como sugestões de ações futuras para melhor aplicação deste estudo e continuidade desta pesquisa.

- O estudo limitou-se a três tipos de céu: céu 3 (encoberto), céu 7 (parcialmente nublado) e céu 12 (claro). A caracterização do padrão predominante de céu da localidade considerada, por meio do estudo de dados climáticos locais, ou ainda a utilização de simulações dinâmicas, permitirá resultados mais próximos da realidade do objeto de estudo investigado;
- O ambiente analisado situa-se no térreo e está localizado na fachada frontal. Sugere-se a investigação considerando outros pavimentos e ambientes voltados para as laterais e fundos do prédio;
- A avaliação da disponibilidade da iluminação natural limitou-se à uma média dos valores anuais de iluminância no plano de trabalho.
- Sugere-se a realização de estudos semelhantes considerando simulações integradas de iluminação e eficiência energética;
- Sugere-se testar outros intervalos de via, alturas, afastamentos e orientações, bem como outros parâmetros urbanísticos presentes nas legislações;

- Sugere-se investigar variadas combinações entre parâmetros urbanísticos e edifícios, buscando-se estabelecer associações entre ambas as regulamentações.

REFERÊNCIAS

- ALBANI, E.; HUBER, J. Vereadores aprovam construções de até sete andares em Domingos Martins. **Montanhas Capixabas**, Domingos Martins, 2 ago. 2013, Política. Disponível em: <<http://www.montanhascapixabas.com.br/index.php?x=materia&codItem=6953&codArea=2>>. Acesso em: 26 fev. 2016.
- ANDREOU, E. The effect of urban layout, street geometry and orientation on shading conditions in urban canyons in the Mediterranean. **Renewable Energy**, v. 63, p. 587-596, Mar. 2014.
- ARAÚJO, I. A. L.; CABÚS, R. Influência da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios em cânions urbanos no trópico úmido. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Antac, 2007.
- 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, MG. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1., 1995, Gramado. **Anais...** Gramado, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-4**: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – método de medição. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: iluminação de ambientes de trabalho. Rio de Janeiro, 2013.
- BAKER, N.; STEEMERS, K. **Daylighting design of buildings**. London: James & James Ltd, 2002.
- BARANDIER, H.; ALMEIDA, M. C. T. S. de; MORAES, R. **Guia técnico Procel Edifica**: Planejamento e controle ambiental-urbano e a eficiência energética. Rio de Janeiro: IBAM/DUMA; ELETROBRÁS/PROCEL, 2013.

BERARDI, U.; ANARAKI, H. K. Analysis of the impacts of light shelves on the Useful Daylight Illuminance in office buildings in Toronto. **Energy Procedia**, v. 78, p. 1793-1798, Nov. 2015.

BORUCKE, M.; MOORE, D.; CRANSTON, G.; GRACEY, K.; IHA, K.; LARSON, J.; LAZARUS, E.; MORALES, J. C.; WACKERNAGEL, M.; GALLI, A. Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. **Ecological Indicators**, v. 24, p. 518-533, Jan. 2013.

BOYCE, P. R. **Human Factors in Lighting**. 3.ed. New York: Taylor & Francis Group, 2014.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil, de 05 de outubro de 1988**. Texto consolidado até a Emenda Constitucional nº 91 de 18 de fevereiro de 2016. Brasília: Senado Federal, 2016. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/atividade/const/con1988/con1988_18.02.2016/CON1988.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2016.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2015 – Ano base 2014**: Relatório Síntese. Rio de Janeiro: EPE, 2015. 62 p.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, 10 jul. 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 27 fev. 2016.

CABÚS, R. C. **Tropical daylighting**: predicting sky types and interior illuminance in north-east Brazil. 2002. 288 f. Tese (PhD) - School of Architectural Studies, University of Sheffield, Sheffield, 2002.

CABÚS, R. C. Troplux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, 2005.

CARLO, J.; PEREIRA, F. O. R.; LAMBERTS, R. Iluminação natural para redução do consumo de energia de edificações de escritório aplicando propostas de eficiência

energética para o código de obras do recife. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2004.

CASTANHEIRA, L. M. **Estudo da influência da luz natural na qualidade da iluminação e na eficiência energética.** 2012. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

COMMISSION INTERNATIONALE L'ACLAIRAGE. **CIE S 011/E:2003:** Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky. Viena, 2003.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos:** conforto ambiental. 2. ed. Rio de Janeiro: Revan, 2009.

CURITIBA (Município). **Lei nº 9800, de 2000.** Dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo no Município de Curitiba, revoga as Leis nº 4199/72, 5234/75, 5263/75, 5490/76, 6204/81, 6769/85, 7068/87 e 7622/91, e dá outras providências. Disponível em: <<http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2014/00146666.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2016

DOMINGOS MARTINS (Município). **Lei Complementar nº 25, de 2013.** Dispõe sobre a organização do espaço territorial do Município de Domingos Martins, conforme determina o disposto no art. 182 CRFB de 1988 e o art. 41 do Estatuto da Cidade – Lei 10.257 de 2001. Domingos Martins, ago. 2013. Disponível em: <<http://www.domingosmartins.es.gov.br/prefeitura/pdm>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

DOMINGOS MARTINS (Município). **Lei nº 1.238, de 1992.** Institui o Código de obras do Município de Domingos Martins. Domingos Martins, 1992.

DOMINGOS MARTINS. Prefeitura Municipal. **Aspectos geográficos.** Disponível em: <<http://www.domingosmartins.es.gov.br/#>>. Acesso em: 24 jul. 2014.

FERREIRA, M. A. M. A. **A eficiência energética na reabilitação de edifícios.** 2009. 160 f. Dissertação (Mestrado em engenharia do ambiente, perfil gestão e sistemas ambientais). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

FORTALEZA (Município). **Lei Complementar nº 062, de 02 de fevereiro de 2009.** Institui o Plano Diretor Participativo do Município de Fortaleza e dá outras providências. Fortaleza, 2009. Disponível em: <http://www.fortaleza.ce.gov.br/sites/default/files/pdp_com_alteracoes_da_lc_0108.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2016.

FORTALEZA (Município). **Lei nº 5.530, de 17 de dezembro de 1981.** Dispõe sobre o código de obras e posturas do município de fortaleza e dá outras providências. Fortaleza, 1981. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/ce/f/fortaleza/lei-ordinaria/1981/553/5530/lei-ordinaria-n-5530-1981-dispoe-sobre-o-codigo-de-obras-e-posturas-do-municipio-de-fortaleza-e-da-outras-providencias?q=5530>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

FORTALEZA (Município). **Lei nº 7987, de 23 de dezembro de 1996, consolidada em julho de 1998.** Dispõe sobre o uso e ocupação do solo do Município de Fortaleza, e adota outras providências. Fortaleza, 1996. Disponível em: <http://www.fortaleza.ce.gov.br/sites/default/files/lei_municipal_no_7.987-96_-_lei_de_uso_e_ocupacao_do_solo.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2016.

FREEWAN, A. A. Maximizing the lightshelf performance by interaction between lightshelf geometries and curved ceiling. **Energy Conversion and Management**, n. 51, p. 1600-1604, 2010.

FUNDAÇÃO CECILIANO ABEL DE ALMEIDA. **Plano Diretor Municipal de Domingos Martins:** etapa 01 – levantamento, organização e análise das informações existentes. Vitória, [200-].

FUNDAÇÃO CECILIANO ABEL DE ALMEIDA. **Plano Diretor Municipal de Domingos Martins:** etapa preliminar – metodologia. Vitória, 2009.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. **Footprint basics.** Disponível em: <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/footprint_basics_overview>. Acesso em: 12 abr. 2016.

GOMES, P. S.; LAMBERTS, R. O estudo do clima urbano e legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros – MG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 73-91, 2009.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81, 2006.

HARB, F.; HIDALGO, M. P.; MARTAU, B. Lack of exposure to natural light in the workspace is associated with physiological, sleep and depressive symptoms. **Chronobiology International**, v. 32, n. 3, p. 368-375, 2015.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação natural**. 2ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980.

HOPPE, S. B.; ALVAREZ, C. E.; LARANJA, A. C. Iluminação natural e legislação urbana: a experiência de Domingos Martins – ES (Brasil). In: LATIN-AMERICAN AND EUROPEAN CONFERENCE ON SUSTAINABLE BUILDINGS AND COMMUNITIES, 1., 2015, Guimarães, Portugal. **Proceedings...** Guimarães: Multicomp, 2015, v. 3, p. 1735-1744. Disponível em: <http://civil.uminho.pt/Euro-ELECS-2015/files/Euro-ELECS_2015-Proceedings_Vol3.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2016.

HUBER, J. Moradores querem barrar emendas do PDM em Domingos Martins. **Montanhas Capixabas**, Domingos Martins, 6 ago. 2013, Política. Disponível em: <<http://www.montanhascapixabas.com.br/index.php?x=materia&codItem=6970&codArea=2>>. Acesso em: 26 fev. 2016.

HUBER, J. Vereadores propõem mudanças no PDM de Domingos Martins. **Montanhas Capixabas**, Domingos Martins, 8 set. 2015, Política. Disponível em: <<http://www.montanhascapixabas.com.br/index.php?x=materia&codItem=12086&codArea=2>>. Acesso em: 26 fev. 2016.

IGAWA, N.; NAKAMURA, H.; MATSUURA, K. Sky luminance distribution model for simulation of daylit environment. In: INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION CONFERENCE, 1999, Kyoto. **Proceedings...** Kyoto, 1999. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS1999/BS99_PB-01.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Código de obras**. Disponível em: <<http://www.ibam.org.br/projeto/3>>. Acesso em: 04 jun. 2016.

KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

KRÜGER, E.; SUGA, M. Proposta de restrições de altura para cânios urbanos para aproveitamento de luz natural em edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Antac, 2007.

LAM, W. C. **Sunlighting as formgiver for architecture**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS/PROCEL, 2014.

LARANJA, A. C. **Parâmetros urbanos e a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno**. 2010. 285 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

LARANJA, A. C.; ALVAREZ, C. E.; CAMPOS, N. P. A influência dos afastamentos laterais das edificações na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. **Labor & Engenho**, Campinas, v. 8, n.4, p. 88-98, 2014.

LARANJA, A. C.; CABÚS, R.; ALVAREZ, C. E.; CORREIA, L. G. 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**, Belo Horizonte, v. 20, n. 26, p. 151-167, 2013.

LEDER, S. M. **Ocupação urbana e luz natural**: proposta de parâmetro de controle da obstrução do céu para garantia da disponibilidade à luz natural. 2007. 240 f. Tese (Doutorado em Construção Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

LI, D. H. W.; CHEUNG, G. H. W.; CHEUNG, K. L.; LAM, J. C. Simple method for determining daylight illuminance in a heavily obstructed environment. **Building and Environment**, v. 44, n. 5, p. 1074-1080, May 2009.

LI, D. H. W.; CHEUNG, G. H. W.; CHEUNG, K. L.; LAM, T. N. T. Determination of vertical daylight illuminance under non-overcast sky conditions. **Building and Environment**, v. 45, n. 2, p. 498-508, Feb. 2010.

LI, D. H. W.; LAM, J. C. Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls. **Energy and Buildings**, v. 33, n.8, p. 793–803, Oct. 2001.

LI, D. H. W.; LAM, T. N. T.; WONG, S. L. Lighting and energy performance for an office using high frequency dimming controls. **Energy Conversion and Management**, v. 47, n. 9-10, p. 1133–1145, Jun. 2006.

LI, D. H. W.; WONG, S. L. Daylighting and energy implications due to shading effects from nearby buildings. **Applied Energy**, v. 84, n. 12, p. 1199-1209, Dec. 2007.

LI, D. H. W.; WONG, S. L.; TSANG, C. L.; CHEUNG, G. H. W. A study of the daylighting performance and energy use in heavily obstructed residential buildings via computer simulation techniques. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 11, p. 1343-1348, Nov. 2006.

LIMA, R. C. **Interferência do entorno construído na disponibilidade de luz natural no interior do ambiente no litoral norte de Maceió – AL**. 2015. 132 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.

MACEIÓ (Município). **Lei Municipal nº 5.593, de 08 de fevereiro de 2007**. Institui o Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió. Maceió, 2007. Disponível em: <http://www.sempla.maceio.al.gov.br/sempla/dpu/C%C3%93DIGO%20_2007_MAPA_S_A3/codigo_Maceio_junho%202007_FORMATADO.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2016.

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 em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

MARIĆ, I.; PUCAR, M.; KOVAČEVIĆ, B. Reducing the impact of climate change by applying information technologies and measures for improving energy efficiency in urban planning. **Energy and Buildings**, v. 115, p. 102-111, Mar. 2016.

MAYHOUB, M. Building regulations influence on sunlight penetration. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 28., 2012, Lima. **Proceedings...** Lima, 2012.

MERESI, A. Evaluating daylight performance of light shelves combined with external blinds in south-facing classrooms in Athens, Greece. **Energy and Buildings**, v. 116, p. 190-205, Mar. 2016.

MESA, N. A.; CORICA, L.; PATTINI, A. Evaluation of the potential of natural light to illuminate buildings in dense urban environment: A study in Mendoza, Argentina. **Renewable Energy**, v. 36, n. 9, p. 2414-2423, Sept. 2011.

MOORE, F. **Concepts and practice of architectural daylighting**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 905-913, jul. 2006.

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

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, 2008.

PETERSEN, S.; MOMME, A. J.; HVIID, C. A. A simple tool to evaluate the effect of the urban canyon on daylight level and energy demand in the early stages of building design. **Solar Energy**, v. 108, p. 61-68, Oct. 2014.

PIDERIT, M. B.; CORALIE, C.; DIAZ, M. Definition of the CIE standard skies and application of high dynamic range imaging technique to characterize the spatial distribution of daylight in Chile. **Revista de la construcción**, Santiago, v. 13, n. 2, p. 22-30, Ago. 2014.

PORTO ALEGRE (Município). **Lei Complementar nº 646, de 22 de julho de 2010**. Altera e inclui dispositivos, figuras e anexos na Lei Complementar nº 434, de 1º de dezembro de 1999 – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre (PDDUA), e alterações posteriores, e dá outras providências. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/spm/usu_doc/planodiretortexto.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2016.

REINHART, C. F. A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylight zone depth rule-of-thumb. In: INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION CONFERENCE, 9., 2005, Montreal, Canada. **Proceedings...** Montreal: IBPSA, 2005.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. **Leukos**, v. 3, n. 1, 2006.

ROBBINS, C. L. **Daylighting, Design and Analysis**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

RUPP, R. F.; GHISI, E. Potencial de economia de energia elétrica através do uso da luz natural e da ventilação híbrida em edifícios comerciais em Florianópolis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 75-86, 2013.

SCALCO, V. A. **Método para a avaliação dos impactos de edificações sobre a iluminação natural e insolação em vizinhanças urbanas**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2010.

SCARAZZATO, P. S. **Conceito de dia típico de projeto aplicado à iluminação natural**: dados referenciais para localidades brasileiras. 1995. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SCHMID, A. L. **Edifícios altos**: a regularidade das aberturas (de cima até embaixo questionada do ponto de vista ambiental. *Arquitextos*, São Paulo, ano 08, n. 094.02, Vitruvius, 2008. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/08.094/157>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

SILVA, F. T.; ALVAREZ, C. E. A exegese legislativa acerca da ventilação urbana: proposição de sistema para avaliação de adequabilidade. **Paranoá**, n. 11, p. 23-34, 2014.

STRØMANN-ANDERSEN, J.; SATTRUP, P. A. The urban canyon and building energy use: urban density versus daylight and passive solar gains. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 8, p. 2011–2020, Aug. 2011.

ÜNVER, R. Prediction of interior daylight availability for external obstructions in Istanbul. **Light & Engineering**, v. 17, n. 3, p. 54-64, 2009. Disponível em: <<http://www.sveto-tekhnika.ru/files/2009/LE32009.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2016.

VAZ, J. C.; ROLNICK, R.; CYMBALISTA, R. Legislação de uso e ocupação do solo. **Boletim Dicas do Instituto Pólis-Ildesfes**, São Paulo, 1996. Disponível em: <<http://polis.org.br/publicacoes/legislacao-de-uso-e-ocupacao-do-solo/>>. Acesso em: 04 jun. 2016.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**. 3ª. ed. São Paulo: Geros s/c Ltda, 2007.

VITÓRIA (Município). **Lei nº. 6.705, de 2006**. Dispõe sobre o desenvolvimento urbano no Município de Vitória, institui o Plano Diretor Urbano e dá outras providências. Vitória, 2006. Disponível em: <<http://sistemas.vitoria.es.gov.br/webleis/Arquivos/2006/L6705.PDF>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

APÊNDICE A -

Resultados extraídos na 1ª etapa de simulações (*Software TropLux*)

Tabela 5- Valores de iluminância média global na Área 1 – Rua Gustavo Gerhardt (1ª etapa de simulações).

Iluminância Média Global (lux)		
Céu padrão CIE	Cenário analisado	Iluminância
CÉU 3 (encoberto)	Cenário Atual	167,9
	Cenário Legislação Anterior	168,8
	Cenário Legislação Atual	366,4
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Cenário Atual	535,6
	Cenário Legislação Anterior	525
	Cenário Legislação Atual	1332,2
CÉU 12 (claro)	Cenário Atual	832,6
	Cenário Legislação Anterior	839
	Cenário Legislação Atual	2437,6

Fonte: A autora.

Tabela 6- Percentuais das UDI's na Área 1 - Rua Gustavo Gerhardt (1ª etapa de simulações).

UDI - <i>Useful Daylight Illuminances</i> (%)					
Céu padrão CIE	Cenário analisado	E<100	100<UDI<500	500<UDI<2000	2000<E
CÉU 3 (encoberto)	Cenário Atual	23,3	76,7	0	0
	Cenário L. Anterior	23,2	76,8	0	0
	Cenário L. Atual	5,8	70,3	24	0
CÉU 7 (parc. nublado)	Cenário Atual	6,2	53,6	37,1	3,1
	Cenário L. Anterior	5,9	57,1	34,2	2,8
	Cenário L. Atual	0	17,7	64,7	17,6
CÉU 12 (claro)	Cenário Atual	3,5	49,5	38	9
	Cenário L. Anterior	3,1	46,6	41,7	8,6
	Cenário L. Atual	0	11,7	56,2	32,1

Fonte: A autora.

Tabela 7- Uniformidade da iluminância na Área 1 – Rua Gustavo Gerhardt (1ª etapa de simulações).

Uniformidade da Iluminância (%)				
Céu padrão CIE	Período da manhã (7 às 12h)		Período da Tarde (13 às 17h)	
	Cenário analisado	Uniformidade	Cenário analisado	Uniformidade
CÉU 3 (encoberto)	Cenário Atual	15	Cenário Atual	16
	Cenário L. Anterior	15	Cenário L. Anterior	16
	Cenário L. Atual	15	Cenário L. Atual	16
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Cenário Atual	9	Cenário Atual	11
	Cenário L. Anterior	10	Cenário L. Anterior	11
	Cenário L. Atual	7	Cenário L. Atual	14
CÉU 12 (claro)	Cenário Atual	9	Cenário Atual	11
	Cenário L. Anterior	9	Cenário L. Anterior	13
	Cenário L. Atual	3	Cenário L. Atual	26

Fonte: A autora.

Tabela 8- Valores de iluminância média global na Área 2 – Rua Carlos Germano Schwambach (1ª etapa de simulações).

Iluminância Média Global (lux)		
Céu padrão CIE	Cenário analisado	Iluminância
CÉU 3 (encoberto)	Cenário Atual	137,5
	Cenário Legislação Anterior	212,8
	Cenário Legislação Atual	398,6
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Cenário Atual	376,7
	Cenário Legislação Anterior	724,8
	Cenário Legislação Atual	1375,6
CÉU 12 (claro)	Cenário Atual	537,7
	Cenário Legislação Anterior	1184,5
	Cenário Legislação Atual	2301,6

Fonte: A autora.

Tabela 9- Percentuais das UDI's na Área 2 – Rua Carlos Germano Schwambach (1ª etapa de simulações).

UDI - Useful Daylight Illuminances (%)					
Céu padrão CIE	Cenário analisado	E<100	100<UDI<500	500<UDI<2000	2000<E
CÉU 3 (encoberto)	Cenário Atual	26,6	73,4	0	0
	Cenário L. Anterior	11,1	88,9	0	0
	Cenário L. Atual	5,1	64,4	30,5	0
CÉU 7 (parc. nublado)	Cenário Atual	7,5	69,8	22	0,7
	Cenário L. Anterior	4,2	33,3	55	7,5
	Cenário L. Atual	0	18,2	59,7	22,1
CÉU 12 (claro)	Cenário Atual	3,6	67,9	24,2	4,2
	Cenário L. Anterior	0	38,6	46,4	15
	Cenário L. Atual	0	19,1	48,1	32,7

Fonte: A autora.

Tabela 10- Uniformidade da iluminância na Área 2 – Rua Carlos Germano Schwambach (1ª etapa de simulações).

Uniformidade da Iluminância (%)				
Céu padrão CIE	Período da manhã (7 às 12h)		Período da Tarde (13 às 17h)	
	Cenário analisado	Uniformidade	Cenário analisado	Uniformidade
CÉU 3 (encoberto)	Cenário Atual	15	Cenário Atual	16
	Cenário L. Anterior	15	Cenário L. Anterior	16
	Cenário L. Atual	15	Cenário L. Atual	16
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Cenário Atual	11	Cenário Atual	12
	Cenário L. Anterior	9	Cenário L. Anterior	10
	Cenário L. Atual	8	Cenário L. Atual	13
CÉU 12 (claro)	Cenário Atual	12	Cenário Atual	20
	Cenário L. Anterior	8	Cenário L. Anterior	12
	Cenário L. Atual	6	Cenário L. Atual	20

Fonte: A autora.

Tabela 11- Valores de iluminância média global na Área 3 – Rua Adolfo Hulle (1ª etapa de simulações).

Iluminância Média Global (lux)		
Céu padrão CIE	Cenário analisado	Iluminância
CÉU 3 (encoberto)	Cenário Atual	147,7
	Cenário Legislação Anterior	242,2
	Cenário Legislação Atual	407,3
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Cenário Atual	417,4
	Cenário Legislação Anterior	847,3
	Cenário Legislação Atual	1395,9
CÉU 12 (claro)	Cenário Atual	652,1
	Cenário Legislação Anterior	1414,7
	Cenário Legislação Atual	2317

Fonte: A autora.

Tabela 12- Percentuais das UDI's na Área 3 – Rua Adolfo Hulle (1ª etapa de simulações).

UDI - Useful Daylight Illuminances (%)					
Céu padrão CIE	Cenário analisado	E<100	100<UDI<500	500<UDI<2000	2000<E
CÉU 3 (encoberto)	Cenário Atual	25,3	74,7	0	0
	Cenário L. Anterior	9,5	90,5	0	0
	Cenário L. Atual	4,9	63	32,1	0
CÉU 7 (parc. nublado)	Cenário Atual	6,6	68,7	24	0,7
	Cenário L. Anterior	2,8	29,7	57,8	9,7
	Cenário L. Atual	0	18,2	59,7	22,1
CÉU 12 (claro)	Cenário Atual	1,6	69,2	22,5	6,7
	Cenário L. Anterior	0	30,6	51	18,5
	Cenário L. Atual	0	19,6	47,6	32,7

Fonte: A autora.

Tabela 13- Uniformidade da iluminância na Área 3 – Rua Adolfo Hulle (1ª etapa de simulações).

Uniformidade da Iluminância (%)				
Céu padrão CIE	Período da manhã (7 às 12h)		Período da Tarde (13 às 17h)	
	Cenário analisado	Uniformidade	Cenário analisado	Uniformidade
CÉU 3 (encoberto)	Cenário Atual	15	Cenário Atual	16
	Cenário L. Anterior	15	Cenário L. Anterior	16
	Cenário L. Atual	15	Cenário L. Atual	16
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Cenário Atual	11	Cenário Atual	13
	Cenário L. Anterior	9	Cenário L. Anterior	11
	Cenário L. Atual	8	Cenário L. Atual	14
CÉU 12 (claro)	Cenário Atual	12	Cenário Atual	18
	Cenário L. Anterior	13	Cenário L. Anterior	15
	Cenário L. Atual	9	Cenário L. Atual	21

Fonte: A autora.

Tabela 14- Valores de iluminância média global na Área 4 – Rua Alfredo Velten (1ª etapa de simulações).

Iluminância Média Global (lux)		
Céu padrão CIE	Cenário analisado	Iluminância
CÉU 3 (encoberto)	Cenário Atual	195,5
	Cenário Legislação Anterior	250,4
	Cenário Legislação Atual	407,8
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Cenário Atual	565,3
	Cenário Legislação Anterior	690,5
	Cenário Legislação Atual	956,7
CÉU 12 (claro)	Cenário Atual	856
	Cenário Legislação Anterior	1026
	Cenário Legislação Atual	1324,6

Fonte: A autora.

Tabela 15- Percentuais das UDI's na Área 4 – Rua Alfredo Velten (1ª etapa de simulações).

UDI - Useful Daylight Illuminances (%)					
Céu padrão CIE	Cenário analisado	E<100	100<UDI<500	500<UDI<2000	2000<E
CÉU 3 (encoberto)	Cenário Atual	14,9	85,1	0	0
	Cenário L. Anterior	9,1	90,9	0	0
	Cenário L. Atual	4,9	62,9	32,1	0
CÉU 7 (parc. nublado)	Cenário Atual	4,7	39,8	52,8	2,8
	Cenário L. Anterior	2,9	30,8	63,5	2,8
	Cenário L. Atual	0	16,6	78,2	5,2
CÉU 12 (claro)	Cenário Atual	0	25,5	69,9	4,6
	Cenário L. Anterior	0	22	69,6	8,4
	Cenário L. Atual	0	25,1	58,8	16,1

Fonte: A autora.

Tabela 16- Uniformidade da iluminância na Área 4 – Rua Alfredo Velten (1ª etapa de simulações).

Uniformidade da Iluminância (%)				
Céu padrão CIE	Período da manhã (7 às 12h)		Período da Tarde (13 às 17h)	
	Cenário analisado	Uniformidade	Cenário analisado	Uniformidade
CÉU 3 (encoberto)	Cenário Atual	15	Cenário Atual	16
	Cenário L. Anterior	15	Cenário L. Anterior	16
	Cenário L. Atual	15	Cenário L. Atual	16
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Cenário Atual	12	Cenário Atual	11
	Cenário L. Anterior	11	Cenário L. Anterior	13
	Cenário L. Atual	12	Cenário L. Atual	15
CÉU 12 (claro)	Cenário Atual	15	Cenário Atual	22
	Cenário L. Anterior	14	Cenário L. Anterior	29
	Cenário L. Atual	11	Cenário L. Atual	32

Fonte: A autora.

APÊNDICE B -

Resultados extraídos na 2ª etapa de simulações (*Software TropLux*)

Tabela 17- Valores de iluminância média global em função da variação do parâmetro largura da via (2ª etapa de simulações).

Iluminância Média Global (lux)			
Céu padrão CIE	Orientação do ambiente analisado	Largura da via	Iluminância
CÉU 3 (encoberto)	Norte	12 m	254,1
		15 m	291,7
		18 m	322,8
	Sul	12 m	254,1
		15 m	291,7
		18 m	322,8
	Leste	12 m	254,1
		15 m	291,7
		18 m	322,8
	Oeste	12 m	254,1
		15 m	291,7
		18 m	322,8
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Norte	12 m	944,8
		15 m	1131,2
		18 m	1215,1
	Sul	12 m	578,8
		15 m	626
		18 m	662,7
	Leste	12 m	808,9
		15 m	957,7
		18 m	1056,7
	Oeste	12 m	813,7
		15 m	967,7
		18 m	1061,2
CÉU 12 (claro)	Norte	12 m	1752,9
		15 m	2197,1
		18 m	2275,5
	Sul	12 m	618,7
		15 m	617,9
		18 m	606,7
	Leste	12 m	1237,1
		15 m	1550,1
		18 m	1725,5
	Oeste	12 m	1246,2
		15 m	1583,2
		18 m	1753,1

Fonte: A autora.

Tabela 18- Percentuais das UDI's em função da variação do parâmetro largura da via (2ª etapa de simulações).

UDI - Useful Daylight Illuminances (%)						
Céu padrão CIE	Orientação do ambiente analisado	Largura da via	E<100	100<UDI<500	500<UDI<2000	2000<E
CÉU 3 (encoberto)	Norte	12 m	9	91	0	0
		15 m	7,6	92,4	0	0
		18 m	6,8	84,9	8,3	0
	Sul	12 m	9	91	0	0
		15 m	7,6	92,4	0	0
		18 m	6,8	84,9	8,3	0
	Leste	12 m	9	91	0	0
		15 m	7,6	92,4	0	0
		18 m	6,8	84,9	8,3	0
	Oeste	12 m	9	91	0	0
		15 m	7,6	92,4	0	0
		18 m	6,8	84,9	8,3	0
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Norte	12 m	2,2	28,4	56,9	12,5
		15 m	0	22,7	58,4	18,9
		18 m	0	22,3	57	20,7
	Sul	12 m	3,3	32,8	63,9	0
		15 m	2,4	29,9	67,7	0
		18 m	1,6	27,5	70,9	0
	Leste	12 m	2,9	32,8	57,1	7,2
		15 m	1,2	30,7	57,6	10,5
		18 m	0,8	26,8	60,3	12,1
	Oeste	12 m	2,8	31,7	58,1	7,4
		15 m	1,1	30	57,8	11,1
		18 m	0,8	26,3	60,6	12,3
CÉU 12 (claro)	Norte	12 m	0	29	46,4	24,5
		15 m	0	24,3	43,9	31,9
		18 m	0	23,7	44	32,3
	Sul	12 m	0	28,5	71,5	0
		15 m	0	25,8	74,2	0
		18 m	0	26,5	73,5	0
	Leste	12 m	0	30,2	59,4	10,4
		15 m	0	24,6	60,4	15
		18 m	0	23	59,4	17,6
	Oeste	12 m	0	29,7	59,9	10,4
		15 m	0	23	60,6	16,3
		18 m	0	19,4	62,6	18

Fonte: A autora.

Tabela 19- Uniformidade da iluminância em função da variação do parâmetro largura da via (2ª etapa de simulações).

Uniformidade da Iluminância (%)						
Céu padrão CIE	Período da manhã (7 às 12h)			Período da Tarde (13 às 17h)		
	Orientação do ambiente analisado	Largura da via	Uniformidade	Orientação do ambiente analisado	Largura da via	Uniformidade
CÉU 3 (encoberto)	Norte	12 m	15	Norte	12 m	16
		15 m	15		15 m	16
		18 m	15		18 m	16
	Sul	12 m	15	Sul	12 m	16
		15 m	15		15 m	16
		18 m	15		18 m	16
	Leste	12 m	15	Leste	12 m	16
		15 m	15		15 m	16
		18 m	15		18 m	16
	Oeste	12 m	15	Oeste	12 m	16
		15 m	15		15 m	16
		18 m	15		18 m	16
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Norte	12 m	9	Norte	12 m	10
		15 m	8		15 m	10
		18 m	9		18 m	10
	Sul	12 m	13	Sul	12 m	14
		15 m	13		15 m	14
		18 m	14		18 m	15
	Leste	12 m	9	Leste	12 m	12
		15 m	8		15 m	13
		18 m	8		18 m	13
	Oeste	12 m	12	Oeste	12 m	9
		15 m	12		15 m	8
		18 m	12		18 m	8
CÉU 12 (claro)	Norte	12 m	11	Norte	12 m	14
		15 m	9		15 m	12
		18 m	11		18 m	13
	Sul	12 m	24	Sul	12 m	28
		15 m	26		15 m	27
		18 m	27		18 m	29
	Leste	12 m	8	Leste	12 m	23
		15 m	6		15 m	23
		18 m	5		18 m	26
	Oeste	12 m	23	Oeste	12 m	7
		15 m	26		15 m	6
		18 m	28		18 m	5

Fonte: A autora.

Tabela 20- Valores de iluminância média global em função da variação do parâmetro altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 12m (2ª etapa de simulações).

Iluminância Média Global (lux)			
Céu padrão CIE	Orientação do ambiente analisado	Altura da edificação obstruidora	Iluminância
CÉU 3 (encoberto)	Norte	2 Pavimentos (6m)	414,1
		4 Pavimentos (12m)	344
		7 Pavimentos (21m)	254,1
	Sul	2 Pavimentos (6m)	414,1
		4 Pavimentos (12m)	344
		7 Pavimentos (21m)	254,1
	Leste	2 Pavimentos (6m)	414,1
		4 Pavimentos (12m)	344
		7 Pavimentos (21m)	254,1
	Oeste	2 Pavimentos (6m)	414,1
		4 Pavimentos (12m)	344
		7 Pavimentos (21m)	254,1
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Norte	2 Pavimentos (6m)	1421,3
		4 Pavimentos (12m)	1268,8
		7 Pavimentos (21m)	944,8
	Sul	2 Pavimentos (6m)	749,1
		4 Pavimentos (12m)	608,2
		7 Pavimentos (21m)	578,8
	Leste	2 Pavimentos (6m)	1317,4
		4 Pavimentos (12m)	1140,9
		7 Pavimentos (21m)	808,9
	Oeste	2 Pavimentos (6m)	1315,7
		4 Pavimentos (12m)	1142,7
		7 Pavimentos (21m)	813,7
CÉU 12 (claro)	Norte	2 Pavimentos (6m)	2383,1
		4 Pavimentos (12m)	2303,5
		7 Pavimentos (21m)	1752,9
	Sul	2 Pavimentos (6m)	539,7
		4 Pavimentos (12m)	580,3
		7 Pavimentos (21m)	618,7
	Leste	2 Pavimentos (6m)	2479
		4 Pavimentos (12m)	1943,5
		7 Pavimentos (21m)	1237,1
	Oeste	2 Pavimentos (6m)	2471,5
		4 Pavimentos (12m)	1950
		7 Pavimentos (21m)	1246,2

Fonte: A autora.

Tabela 21- Percentuais das UDI's em função da variação do parâmetro altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 12m (2ª etapa de simulações).

UDI - Useful Daylight Illuminances (%)						
Céu padrão CIE	Orientação do amb. analisado	Altura edificação obstruid.	E<100	100<UDI<500	500<UDI<2000	2000<E
CÉU 3 (encoberto)	Norte	2 pv. (6m)	4,8	62	33,2	0
		4 pv. (12m)	6,3	79,8	14	0
		7 pv. (21m)	9	91	0	0
	Sul	2 pv. (6m)	4,8	62	33,2	0
		4 pv. (12m)	6,3	79,8	14	0
		7 pv. (21m)	9	91	0	0
	Leste	2 pv. (6m)	4,8	62	33,2	0
		4 pv. (12m)	6,3	79,8	14	0
		7 pv. (21m)	9	91	0	0
	Oeste	2 pv. (6m)	4,8	62	33,2	0
		4 pv. (12m)	6,3	79,8	14	0
		7 pv. (21m)	9	91	0	0
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Norte	2 pv. (6m)	0	18,2	59,5	22,3
		4 pv. (12m)	0	21,4	57,2	21,4
		7 pv. (21m)	2,2	28,4	56,9	12,5
	Sul	2 pv. (6m)	0	21,3	78,7	0
		4 pv. (12m)	1,1	26,9	72	0
		7 pv. (21m)	3,3	32,8	63,9	0
	Leste	2 pv. (6m)	0	10,9	76,1	13
		4 pv. (12m)	0,6	20,6	66,7	12,2
		7 pv. (21m)	2,9	32,8	57,1	7,2
	Oeste	2 pv. (6m)	0	10,5	76,4	13,1
		4 pv. (12m)	0,5	20,4	66,7	12,4
		7 pv. (21m)	2,8	31,7	58,1	7,4
CÉU 12 (claro)	Norte	2 pv. (6m)	0	23,4	44,3	32,3
		4 pv. (12m)	0	23,6	44,1	32,3
		7 pv. (21m)	0	29	46,4	24,5
	Sul	2 pv. (6m)	0	44,7	55,3	0
		4 pv. (12m)	0	29,7	70,3	0
		7 pv. (21m)	0	28,5	71,5	0
	Leste	2 pv. (6m)	0	6,8	61,4	31,7
		4 pv. (12m)	0	19,3	58,7	22
		7 pv. (21m)	0	30,2	59,4	10,4
	Oeste	2 pv. (6m)	0	6,8	61,5	31,7
		4 pv. (12m)	0	17,7	59,7	22,6
		7 pv. (21m)	0	29,7	59,9	10,4

Fonte: A autora.

Tabela 22- Uniformidade da iluminância em função da variação do parâmetro altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 12m (2ª etapa de simulações).

Uniformidade da Iluminância (%)						
Céu padrão CIE	Período da manhã (7 às 12h)			Período da Tarde (13 às 17h)		
	Orientação do amb. analisado	Altura edific. obstruid.	Uniformidade	Orientação do amb. analisado	Altura edific. obstruid.	Uniformidade
CÉU 3 (encoberto)	Norte	2 pv (6m)	15	Norte	2 pv (6m)	16
		4 pv (12m)	15		4 pv (12m)	16
		7 pv (21m)	15		7 pv (21m)	16
	Sul	2 pv (6m)	15	Sul	2 pv (6m)	16
		4 pv (12m)	15		4 pv (12m)	16
		7 pv (21m)	15		7 pv (21m)	16
	Leste	2 pv (6m)	15	Leste	2 pv (6m)	16
		4 pv (12m)	15		4 pv (12m)	16
		7 pv (21m)	15		7 pv (21m)	16
	Oeste	2 pv (6m)	15	Oeste	2 pv (6m)	16
		4 pv (12m)	15		4 pv (12m)	16
		7 pv (21m)	15		7 pv (21m)	16
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Norte	2 pv (6m)	10	Norte	2 pv (6m)	12
		4 pv (12m)	9		4 pv (12m)	10
		7 pv (21m)	9		7 pv (21m)	10
	Sul	2 pv (6m)	15	Sul	2 pv (6m)	16
		4 pv (12m)	14		4 pv (12m)	15
		7 pv (21m)	13		7 pv (21m)	14
	Leste	2 pv (6m)	8	Leste	2 pv (6m)	16
		4 pv (12m)	8		4 pv (12m)	13
		7 pv (21m)	9		7 pv (21m)	12
	Oeste	2 pv (6m)	16	Oeste	2 pv (6m)	8
		4 pv (12m)	13		4 pv (12m)	7
		7 pv (21m)	12		7 pv (21m)	9
CÉU 12 (claro)	Norte	2 pv (6m)	13	Norte	2 pv (6m)	15
		4 pv (12m)	11		4 pv (12m)	13
		7 pv (21m)	11		7 pv (21m)	14
	Sul	2 pv (6m)	29	Sul	2 pv (6m)	29
		4 pv (12m)	27		4 pv (12m)	29
		7 pv (21m)	24		7 pv (21m)	28
	Leste	2 pv (6m)	4	Leste	2 pv (6m)	38
		4 pv (12m)	4		4 pv (12m)	25
		7 pv (21m)	8		7 pv (21m)	23
	Oeste	2 pv (6m)	41	Oeste	2 pv (6m)	4
		4 pv (12m)	30		4 pv (12m)	4
		7 pv (21m)	23		7 pv (21m)	7

Fonte: A autora.

Tabela 23- Valores de iluminância média global em função da variação do parâmetro altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 18m (2ª etapa de simulações).

Iluminância Média Global (lux)			
Céu padrão CIE	Orientação do ambiente analisado	Altura da edificação obstruidora	Iluminância
CÉU 3 (encoberto)	Norte	2 Pavimentos (6m)	424
		4 Pavimentos (12m)	375,2
		7 Pavimentos (21m)	322,8
	Sul	2 Pavimentos (6m)	424
		4 Pavimentos (12m)	375,2
		7 Pavimentos (21m)	322,8
	Leste	2 Pavimentos (6m)	424
		4 Pavimentos (12m)	375,2
		7 Pavimentos (21m)	322,8
	Oeste	2 Pavimentos (6m)	424
		4 Pavimentos (12m)	375,2
		7 Pavimentos (21m)	322,8
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Norte	2 Pavimentos (6m)	1439,7
		4 Pavimentos (12m)	1337
		7 Pavimentos (21m)	1215,1
	Sul	2 Pavimentos (6m)	755,4
		4 Pavimentos (12m)	707
		7 Pavimentos (21m)	662,7
	Leste	2 Pavimentos (6m)	1340,9
		4 Pavimentos (12m)	1215
		7 Pavimentos (21m)	1056,7
	Oeste	2 Pavimentos (6m)	1334,9
		4 Pavimentos (12m)	1215,4
		7 Pavimentos (21m)	1061,2
CÉU 12 (claro)	Norte	2 Pavimentos (6m)	2377,9
		4 Pavimentos (12m)	2330,9
		7 Pavimentos (21m)	2275,5
	Sul	2 Pavimentos (6m)	523,9
		4 Pavimentos (12m)	553,1
		7 Pavimentos (21m)	606,7
	Leste	2 Pavimentos (6m)	2531,4
		4 Pavimentos (12m)	2091,7
		7 Pavimentos (21m)	1725,5
	Oeste	2 Pavimentos (6m)	2510,7
		4 Pavimentos (12m)	2101
		7 Pavimentos (21m)	1753,1

Fonte: A autora.

Tabela 24- Percentuais das UDI's em função da variação do parâmetro altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 18m (2ª etapa de simulações).

UDI - Useful Daylight Illuminances (%)						
Céu padrão CIE	Orientação do amb. analisado	Altura edificação obstruid.	E<100	100<UDI<500	500<UDI<2000	2000<E
CÉU 3 (encoberto)	Norte	2 pv. (6m)	4,6	55,7	39,7	0
		4 pv. (12m)	5,6	68,4	26	0
		7 pv. (21m)	6,8	84,9	8,3	0
	Sul	2 pv. (6m)	4,6	55,7	39,7	0
		4 pv. (12m)	5,6	68,4	26	0
		7 pv. (21m)	6,8	84,9	8,3	0
	Leste	2 pv. (6m)	4,6	55,7	39,7	0
		4 pv. (12m)	5,6	68,4	26	0
		7 pv. (21m)	6,8	84,9	8,3	0
	Oeste	2 pv. (6m)	4,6	55,7	39,7	0
		4 pv. (12m)	5,6	68,4	26	0
		7 pv. (21m)	6,8	84,9	8,3	0
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Norte	2 pv. (6m)	0	18,2	59,5	22,3
		4 pv. (12m)	0	18,7	59	22,3
		7 pv. (21m)	0	22,3	57	20,7
	Sul	2 pv. (6m)	0	20,8	79,2	0
		4 pv. (12m)	0	24,8	75,2	0
		7 pv. (21m)	1,6	27,5	70,9	0
	Leste	2 pv. (6m)	0	10,4	76	13,5
		4 pv. (12m)	0	16,7	70,7	12,6
		7 pv. (21m)	0,8	26,8	60,3	12,1
	Oeste	2 pv. (6m)	0	10,3	76,5	13,2
		4 pv. (12m)	0	16,4	70,9	12,7
		7 pv. (21m)	0,8	26,3	60,6	12,3
CÉU 12 (claro)	Norte	2 pv. (6m)	0	25,8	41,9	32,3
		4 pv. (12m)	0	21,9	45,7	32,4
		7 pv. (21m)	0	23,7	44	32,3
	Sul	2 pv. (6m)	0	46,3	53,7	0
		4 pv. (12m)	0	35,2	64,8	0
		7 pv. (21m)	0	26,5	73,5	0
	Leste	2 pv. (6m)	0	5,9	62,1	32
		4 pv. (12m)	0	15,4	60,4	24,1
		7 pv. (21m)	0	23	59,4	17,6
	Oeste	2 pv. (6m)	0	5,7	61,9	32,4
		4 pv. (12m)	0	12,6	62,6	24,8
		7 pv. (21m)	0	19,4	62,6	18

Fonte: A autora.

Tabela 25- Uniformidade da iluminância em função da variação do parâmetro altura da edificação obstruidora nos cenários com largura de via de 18m (2ª etapa de simulações).

Uniformidade da Iluminância (%)						
Céu padrão CIE	Período da manhã (7 às 12h)			Período da Tarde (13 às 17h)		
	Orientação do amb. analisado	Altura edific. obstruid.	Uniformidade	Orientação do amb. analisado	Altura edific. obstruid.	Uniformidade
CÉU 3 (encoberto)	Norte	2 pv (6m)	15	Norte	2 pv (6m)	16
		4 pv (12m)	15		4 pv (12m)	16
		7 pv (21m)	15		7 pv (21m)	16
	Sul	2 pv (6m)	15	Sul	2 pv (6m)	16
		4 pv (12m)	15		4 pv (12m)	16
		7 pv (21m)	15		7 pv (21m)	16
	Leste	2 pv (6m)	15	Leste	2 pv (6m)	16
		4 pv (12m)	15		4 pv (12m)	16
		7 pv (21m)	15		7 pv (21m)	16
	Oeste	2 pv (6m)	15	Oeste	2 pv (6m)	16
		4 pv (12m)	15		4 pv (12m)	16
		7 pv (21m)	15		7 pv (21m)	16
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Norte	2 pv (6m)	10	Norte	2 pv (6m)	12
		4 pv (12m)	9		4 pv (12m)	11
		7 pv (21m)	9		7 pv (21m)	10
	Sul	2 pv (6m)	15	Sul	2 pv (6m)	16
		4 pv (12m)	14		4 pv (12m)	15
		7 pv (21m)	14		7 pv (21m)	15
	Leste	2 pv (6m)	8	Leste	2 pv (6m)	16
		4 pv (12m)	8		4 pv (12m)	14
		7 pv (21m)	8		7 pv (21m)	13
	Oeste	2 pv (6m)	17	Oeste	2 pv (6m)	8
		4 pv (12m)	15		4 pv (12m)	8
		7 pv (21m)	13		7 pv (21m)	8
CÉU 12 (claro)	Norte	2 pv (6m)	13	Norte	2 pv (6m)	15
		4 pv (12m)	11		4 pv (12m)	12
		7 pv (21m)	11		7 pv (21m)	13
	Sul	2 pv (6m)	32	Sul	2 pv (6m)	34
		4 pv (12m)	29		4 pv (12m)	30
		7 pv (21m)	27		7 pv (21m)	29
	Leste	2 pv (6m)	5	Leste	2 pv (6m)	40
		4 pv (12m)	4		4 pv (12m)	31
		7 pv (21m)	5		7 pv (21m)	26
	Oeste	2 pv (6m)	44	Oeste	2 pv (6m)	5
		4 pv (12m)	34		4 pv (12m)	4
		7 pv (21m)	28		7 pv (21m)	5

Fonte: A autora.

Tabela 26- Valores de iluminância média global em função da variação do parâmetro afastamento lateral (2ª etapa de simulações).

Iluminância Média Global (lux)			
Céu padrão CIE	Orientação do ambiente analisado	Afastamento lateral	Iluminância
CÉU 3 (encoberto)	Norte	Sem afastamento	254,1
		1,5 m	258,6
		1,5 m + H/10	303,3
	Sul	Sem afastamento	254,1
		1,5 m	258,6
		1,5 m + H/10	303,3
	Leste	Sem afastamento	254,1
		1,5 m	258,6
		1,5 m + H/10	303,3
	Oeste	Sem afastamento	254,1
		1,5 m	258,6
		1,5 m + H/10	303,3
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Norte	Sem afastamento	944,8
		1,5 m	994,5
		1,5 m + H/10	1108,8
	Sul	Sem afastamento	578,8
		1,5 m	569,9
		1,5 m + H/10	608,9
	Leste	Sem afastamento	808,9
		1,5 m	832,2
		1,5 m + H/10	978,5
	Oeste	Sem afastamento	813,7
		1,5 m	834,3
		1,5 m + H/10	971,2
CÉU 12 (claro)	Norte	Sem afastamento	1752,9
		1,5 m	1891,5
		1,5 m + H/10	1972,1
	Sul	Sem afastamento	618,7
		1,5 m	578,5
		1,5 m + H/10	537,2
	Leste	Sem afastamento	1237,1
		1,5 m	1298,8
		1,5 m + H/10	1636,6
	Oeste	Sem afastamento	1246,2
		1,5 m	1295,6
		1,5 m + H/10	1620,6

Fonte: A autora.

Tabela 27- Percentuais das UDI's em função da variação do parâmetro afastamento lateral (2ª etapa de simulações).

UDI - Useful Daylight Illuminances (%)						
Céu padrão CIE	Orientação do amb. analisado	Afast. lateral	E<100	100<UDI<500	500<UDI<2000	2000<E
CÉU 3 (encoberto)	Norte	Sem Afast.	9	91	0	0
		1,5m	8,8	91,2	0	0
		1,5m+H/10	7,3	92,7	0	0
	Sul	Sem Afast.	9	91	0	0
		1,5m	8,8	91,2	0	0
		1,5m+H/10	7,3	92,7	0	0
	Leste	Sem Afast.	9	91	0	0
		1,5m	8,8	91,2	0	0
		1,5m+H/10	7,3	92,7	0	0
	Oeste	Sem Afast.	9	91	0	0
		1,5m	8,8	91,2	0	0
		1,5m+H/10	7,3	92,7	0	0
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Norte	Sem Afast.	2,2	28,4	56,9	12,5
		1,5m	1,9	30,3	54,1	13,7
		1,5m+H/10	0	22,5	61	16,5
	Sul	Sem Afast.	3,3	32,8	63,9	0
		1,5m	3,4	33,9	62,7	0
		1,5m+H/10	2,4	31,9	65,7	0
	Leste	Sem Afast.	2,9	32,8	57,1	7,2
		1,5m	2,8	31,1	58,4	7,7
		1,5m+H/10	1,3	22,8	66,7	9,3
	Oeste	Sem Afast.	2,8	31,7	58,1	7,4
		1,5m	2,7	31	58,4	7,9
		1,5m+H/10	1,3	22,9	66,5	9,3
CÉU 12 (claro)	Norte	Sem Afast.	0	29	46,4	24,5
		1,5m	0	28,6	44,3	27,1
		1,5m+H/10	0	26,2	46,3	27,6
	Sul	Sem Afast.	0	28,5	71,5	0
		1,5m	0	31,9	68,1	0
		1,5m+H/10	0	35,9	64,1	0
	Leste	Sem Afast.	0	30,2	59,4	10,4
		1,5m	0	28	59,5	12,5
		1,5m+H/10	0	22,3	59,1	18,6
	Oeste	Sem Afast.	0	29,7	59,9	10,4
		1,5m	0	31,2	56,7	12,2
		1,5m+H/10	0	18,8	61,8	19,4

Fonte: A autora.

Tabela 28- Uniformidade da iluminância em função da variação do parâmetro afastamento lateral (2ª etapa de simulações).

Uniformidade da Iluminância (%)						
Céu padrão CIE	Período da manhã (7 às 12h)			Período da Tarde (13 às 17h)		
	Orientação do amb. analisado	Afast. lateral	Uniformidade	Orientação do amb. analisado	Afast. lateral	Uniformidade
CÉU 3 (encoberto)	Norte	Sem Afast.	15	Norte	Sem Afast.	16
		1,5m	15		1,5m	16
		1,5m+H/10	15		1,5m+H/10	16
	Sul	Sem Afast.	15	Sul	Sem Afast.	16
		1,5m	15		1,5m	16
		1,5m+H/10	15		1,5m+H/10	16
	Leste	Sem Afast.	15	Leste	Sem Afast.	16
		1,5m	15		1,5m	16
		1,5m+H/10	15		1,5m+H/10	16
	Oeste	Sem Afast.	15	Oeste	Sem Afast.	16
		1,5m	15		1,5m	16
		1,5m+H/10	15		1,5m+H/10	16
CÉU 7 (parcialmente nublado)	Norte	Sem Afast.	9	Norte	Sem Afast.	10
		1,5m	9		1,5m	10
		1,5m+H/10	9		1,5m+H/10	11
	Sul	Sem Afast.	13	Sul	Sem Afast.	14
		1,5m	13		1,5m	14
		1,5m+H/10	14		1,5m+H/10	15
	Leste	Sem Afast.	9	Leste	Sem Afast.	12
		1,5m	8		1,5m	12
		1,5m+H/10	8		1,5m+H/10	14
	Oeste	Sem Afast.	12	Oeste	Sem Afast.	9
		1,5m	12		1,5m	8
		1,5m+H/10	14		1,5m+H/10	8
CÉU 12 (claro)	Norte	Sem Afast.	11	Norte	Sem Afast.	14
		1,5m	11		1,5m	12
		1,5m+H/10	11		1,5m+H/10	13
	Sul	Sem Afast.	24	Sul	Sem Afast.	28
		1,5m	25		1,5m	26
		1,5m+H/10	25		1,5m+H/10	26
	Leste	Sem Afast.	8	Leste	Sem Afast.	23
		1,5m	7		1,5m	25
		1,5m+H/10	5		1,5m+H/10	31
	Oeste	Sem Afast.	23	Oeste	Sem Afast.	7
		1,5m	25		1,5m	6
		1,5m+H/10	31		1,5m+H/10	5

Fonte: A autora.

ANEXO A -

Número de vagas destinadas ao estacionamento de veículos (privativo e visitante)
exigidas pelo Plano Diretor Municipal de Domingos Martins – ES

Quadro 17- Quantidade mínima de vagas em função dos grupos de atividades.

Grupos de atividades	Número mínimo de vagas de garagem para veículos - privativo	Número mínimo de vagas de estacionamento para visitante – aberta ao público	Número mínimo de vagas para bicicleta
Habitação - Residencial unifamiliar	1 vaga para até 75m ² de área construída; 2 vagas para acima de 75m ² de área construída.		
Habitação - Residencial multifamiliar e condomínios por unidades autônomas com características uni e multifamiliar	1 vaga por unidade residencial de até 75m ² ; 1,5 vagas por unidades residenciais entre 75m ² e 100m ² ; 2 vagas para unidades residenciais entre 100m ² e 150m ² ; 3 vagas por unidade residencial com área acima de 150m ² .		1 vaga para cada vaga de veículo – unidade residencial e visitante
Lojas ou salas comerciais, isoladas ou em conjunto, e demais atividades de G1, G2, G3, exceto as especificadas neste anexo	1 vaga até 100m ² . 1 vaga para cada 50 m ² ou fração que exceder os 100m ² .		1 vaga para cada vaga de veículo
Supermercados, hortifrutigranjeiros, hipermercados	1 vaga para cada 25m ² ou fração de área administrativa	1 vaga para cada 25m ² ou fração de área construída, descontada a área administrativa	1 vaga para cada vaga de veículo
Bares, restaurantes, choperias, outros estabelecimentos especializados em servir bebidas, refeições e lanches	1 vaga obrigatoriamente ou para cada 50m ² ou fração de área administrativa	1 vaga para cada 50m ² ou fração, descontada a área administrativa	1 vaga para cada vaga de veículo

Fonte: Domingos Martins (2013).

Nota: O Quadro completo encontra-se no Anexo 6 do Plano Diretor Municipal.