

## CONFIGURAÇÃO URBANA NA DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

### URBAN CONFIGURATION OF DAYLIGHT AVAILABILITY IN THE INDOOR ENVIRONMENT

Luciana Mota Beck<sup>1</sup>

Fernando Oscar Ruttkay Pereira<sup>2</sup>

#### Resumo

As formas urbanas são controladas pelos regulamentos que podem não ser suficientes para assegurar o desempenho da luz natural no interior dos ambientes de todos os pavimentos de uma edificação. Diante disso, este artigo analisa a combinação de índices urbanos (índice de aproveitamento – IA, taxa de ocupação – TO e gabarito) e do índice de performance (Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA<sub>300,50%</sub>), considerando cenários de bloco isolado no lote, para a cidade de Florianópolis. Outros parâmetros são avaliados: ângulo de obstrução vertical, porcentagem de céu visível e índice de espaço aberto – OSR, que relaciona a área construída total com a área aberta. Como resultados da pesquisa, são identificados valores de OSR, ângulo máximo de obstrução e porcentagem mínima de céu visível, correspondentes ao sDA igual a 45%, para que cenários de diferentes IA, TO e gabarito, obtenham desempenho satisfatório. As análises realizadas gradualmente permitem desenvolver estratégias específicas por pavimento, colaborando na escolha da configuração mais adequada para uma determinada condição de projeto. Verificou-se que as regras urbanas criadas a partir da escala do lote, restringem a criatividade arquitetônica, pois limitam a disposição dos arranjos espaciais e a geometria das edificações, importantes requisitos para a qualidade arquitetônica, urbana e de conforto.

**Palavras-chave:** Forma urbana. Índices urbanos. Luz natural.

#### Abstract

Urban forms are controlled by applied rules, that may be insufficient to guarantee adequate daylight performance at indoor environments of all floors of a building. Therefore, this work evaluate the combination of urban indexes (Floor Space Index- FSI, Ground Space Index – GSI, and number of floors), and the daylight performance (Spatial Daylight Autonomy – sDA<sub>300,50%</sub>), in isolated tower typology in the lot, for the city of Florianópolis – Brasil. Other parameters area evaluated, the vertical obstruction angle, the percentage of visible sky and Open Space Ratio – OSR, relating to the total build area with the open area. As research results, values of the OSR and maximum obstruction angle and minimum percentage of visible sky are identified, corresponding to sDA = 45%, so that scenarios of diferent IA, TO and number of floors, obtain results considered satisfactory. The gradually analyzes permit the development of specific strategies for each floor, allowing to choose the most appropriate configuration for a given project condition. It was found that the urban rules created from the scale of the lot, restrict architectural creativity, as they limit the dispositions among buildings and the geometry, important requirements of architectural, urban and comfort quality.

**Keywords:** Daylight availability. Urban Form. Urban Index.

<sup>1</sup> UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, [orcid.org/0000-0003-1391-0663](https://orcid.org/0000-0003-1391-0663), lumotabeck@gmail.com

<sup>2</sup> UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, [orcid.org/0000-0001-8679-1816](https://orcid.org/0000-0001-8679-1816), ruttkay.pereira@ufsc.br

## INTRODUÇÃO

Os regulamentos urbanos, em certa medida normativos, controlam o uso e a ocupação do solo, através dos índices, índice de aproveitamento – IA, taxa de ocupação – TO, gabarito das edificações e afastamentos, que determinam os valores máximos e mínimos permitidos e o dimensionamento dos compartimentos. Ainda, os vãos de iluminação mínimos são exigidos, sendo indicados sem considerar a influência do entorno urbano, o que pode não garantir o desempenho da luz natural no interior dos ambientes.

Os IA definem a área máxima a ser edificada, mas não controlam completamente a geometria das edificações. A TO, com função de manter parte do lote livre, equilibra a relação entre espaços edificados e espaços abertos, sendo que Jacobs (1) defende valores entre 60% e 80%, para trazer as pessoas para as ruas públicas e os parques.

Os afastamentos mínimos são determinados de acordo com a altura dos gabaritos (2). Busca-se o máximo de altura realizável que permita um retorno econômico, relacionando com dados máximos de exposição à luz natural, regulação das densidades e da forma (3).

Em relação aos níveis de luz natural no interior dos ambientes, as normas existentes, como a NBR ISO/CIE 8995 (4), discorrem sobre os valores de iluminância e ofuscamento a serem alcançados em ambientes de trabalho, e a americana Illuminating Engineering Society – IES LM83 (5), traz recomendações quanto ao desempenho mínimo da iluminação natural.

A IES LM83 publica documento que estabelece a medida dinâmica de desempenho da luz natural: a Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA (Spatial Daylight Autonomy). O sDA300, 50 % é a área em que se consegue obter pelo menos 300 lux nos ambientes regularmente ocupados da edificação em um período das 8h às 18h por 50 % das horas do ano. O valor de 300 lux representa uma correlação melhor para a preferência dos ocupantes para suficiência da luz natural do que outras opções, como 100, 200, 500, 1000 lux (6).

Quanto à classificação da forma, assume-se que, em grande parte, a geometria externa das edificações em planta é ortogonal. As paredes externas estão alinhadas no plano em um sistema de coordenadas retangular e todos os cantos formados por essas paredes são ângulos retos (7).

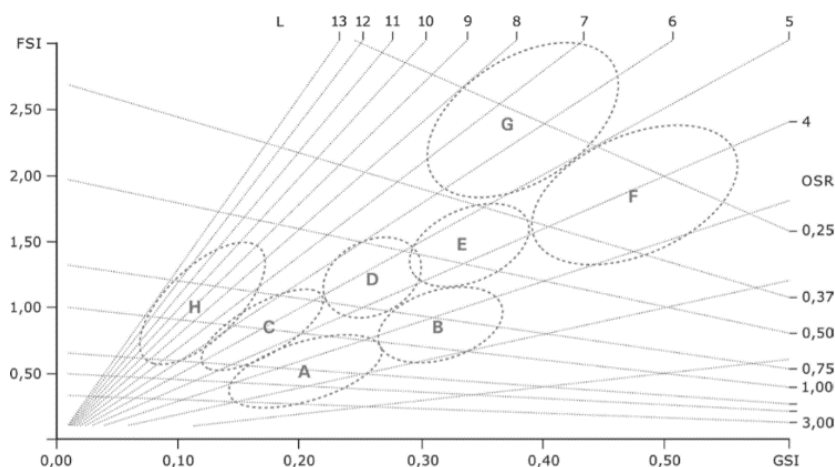
A forma de muitos edifícios é limitada pela exigência de luz e ventilação naturais (8). Brown e Steadman (9) avaliam a profundidade de layout de casas isoladas e apartamentos, e como respostas obtiveram valores médios de 7,4 metros e 7 metros, respectivamente. Gagne e Andersen (10) analisam dez variáveis de projetos relacionados com as aberturas, e identificam que um dos parâmetros mais influentes nos resultados de desempenho é a área de abertura. Reinhart (11) estuda a relação da altura da abertura com a profundidade do ambiente interno e comprova uma variação proporcional entre 1,5 e 2,5.

Cheng et al. (12) analisaram três diferentes formas urbanas, uniforme, pirâmide e híbrida, com mesma TO, IA e altura média das edificações, e encontraram como resultado a configuração híbrida com valores mais significativos, sugerindo que a variação de altura cria menor área obstruída.

Além dos índices urbanos atuais, não muito conhecido no contexto brasileiro, está o índice de espaço aberto (Open Space Ratio – OSR). Foi introduzido na década de 1920 por Anton Hoenig, que propôs um mínimo de 1 m<sup>2</sup> de espaço aberto para cada 1 m<sup>2</sup> de área construída. O OSR mede a proporção entre as áreas não construídas e a área total construída em um recorte (13). Esse indicador pode ser visto como uma expressão das compensações entre maximizar o IA e a demanda pública e privada por espaço aberto adequado.

Uma maneira de representar simultaneamente os valores de IA, TO, gabarito e OSR, é através da ferramenta *Spacemate* criada por Berghauser Pont e Haupt (14). No eixo vertical encontra-se o IA (Floor Space Index – FSI), enquanto que no eixo horizontal está a TO (Ground Space Index – GSI). Um terceiro “eixo”, oblíquo, representa o gabarito (L), obtido a partir da relação entre IA e TO. E por fim, no eixo oblíquo oposto ao gabarito, está o OSR (Figura 1).

Figura 1: Diagrama Spacemate (13)



As áreas “A” e “B” demarcam as edificações de gabarito 2 a 4 e dividem-se em áreas espaçosas e/ou compactas, resultando valores baixos de IA e TO. As áreas “C”, “D”, “E” e “F” contemplam edificações de gabaritos 3 a 6, e 5 a 8, com IA baixo e TO alto. Por fim, “G” e “H”, acima de gabarito 7, apresentam valores de IA alto e TO baixo (14).

A correlação entre esses índices urbanos, concentra-se no fato de que o IA máximo será empregado dentro dos limites demarcados pela TO máxima, de forma que, aumentando-se o IA, a metragem quadrada a mais ocasionará sua elevação vertical, enquanto o aumento da TO permitirá construções mais baixas, diminuindo espaços livres no lote.

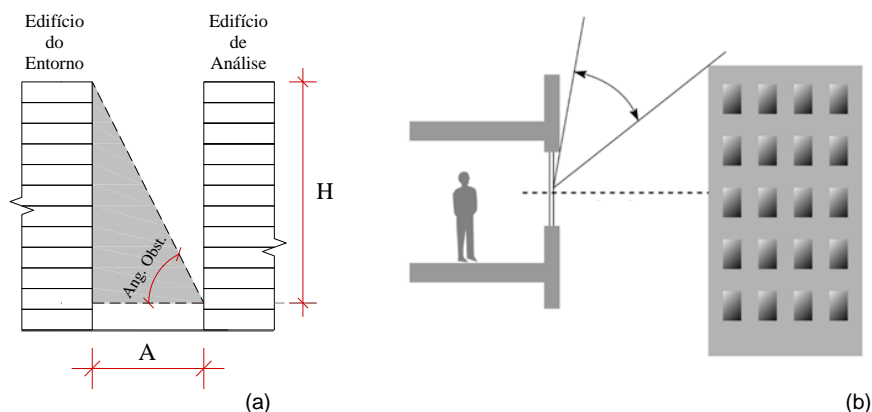
Diante desse contexto, esta pesquisa analisa a disponibilidade de luz natural (índice performativo) de cenários simulados com diferentes configurações urbanas, IA, TO e gabarito, de tipologia de bloco isolado no lote, com o intuito de verificar as combinações que resultam em desempenhos satisfatórios.

Na pesquisa, o diagrama é adaptado para apresentar, além do IA, TO gabarito e OSR, também os valores de sDA, permitindo a visualização simultânea do resultado de todos os cenários simulados para a cidade de Florianópolis-SC (latitude 27°), a fim de auxiliar na escolha da melhor

configuração urbana e arquitetônica, para uma determinada condição de projeto.

Para avaliar a interferência do entorno imediato, são utilizados ainda outros parâmetros: o ângulo de obstrução vertical e a porcentagem de céu visível. As medidas da altura (H) e do afastamento (A) entre a edificação de análise e a edificação do entorno formam um triângulo retângulo, sendo que, com a tangente do ângulo, é possível calcular o ângulo de obstrução (15) (Figura 2a). A porcentagem de céu visível (correspondente ao ângulo vertical do céu) simulada através das máscaras solares, complementa as análises de desempenho da luz natural no interior do ambiente construído, uma vez que avalia toda a abóbada celeste (Figura 2b).

Figura 2: Ângulo de obstrução vertical (a) e ângulo vertical do céu (b)



Esses parâmetros são associados com o índice performativo (resultados de desempenho de sDA), para identificar um valor máximo do ângulo de obstrução e uma porcentagem mínima para o céu visível de cada TO analisada, necessários para se obter desempenho satisfatório.

Para Ng (16), uma área de céu visível seria um indicador da performance da luz natural. Assim, as análises performativas, baseadas no desempenho, buscam alcançar resultados satisfatórios de projeto dentro de determinados critérios, permitindo alterar a forma do edifício, de acordo com os resultados de desempenho.

Esta pesquisa é dividida em três etapas: criar os cenários para a realização de simulações paramétricas de sDA (índice performativo), analisar a influência do OSR e determinar valores limites de ângulo de obstrução vertical e a porcentagem de céu visível para obter resultados de desempenho satisfatório.

## MÉTODO

O desempenho da luz natural (sDA) no interior dos cenários de diferentes combinações urbanas (IA, TO e gabarito), é correlacionado com os valores de OSR, ângulo de obstrução e porcentagem de céu visível.

## Características urbanas e arquitetônicas dos cenários do estudo

Com base na legislação vigente da cidade de Florianópolis – SC (17) (Figura 3a) (latitude 27°), a área mista central – AMC 16.5 é a escolhida para o estudo, por ser considerada uma das que permite maior verticalização, o que possibilitou analisar situações nas quais as obstruções do entorno são mais impactantes na disponibilidade de luz natural dos ambientes internos (Figura 3b - representada na cor amarela).

Em relação às condições de conforto, o clima de Santa Catarina é predominantemente subtropical, de caráter mesotérmico, com estações bem definidas, com frio no inverno e calor no verão, apresentando temperaturas médias que variam entre 13 °C e 25 °C, e ventos predominantes Nordeste e Sul (18).

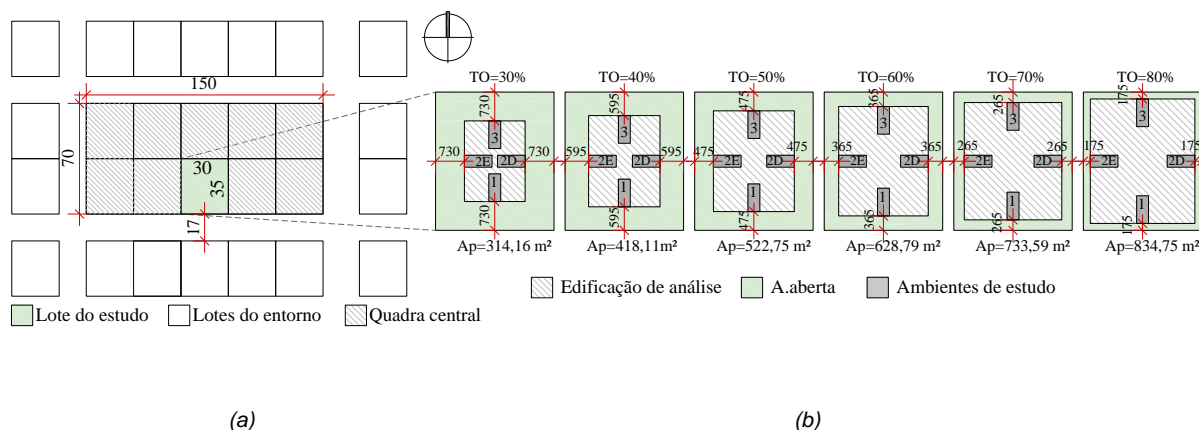
Figura 3: Planta de situação da área do estudo (16) e Beira Mar Norte – Florianópolis (19)



A quadra criada para o estudo possui um único traçado, formato retangular de 150 m x 70 m, dividida em 10 lotes, com testada de 30 m e área de 1.050 m<sup>2</sup> (valores mínimos permitidos), sendo o entorno imediato replicado nove vezes, de forma idêntica (Figura 4a).

Os cenários são concebidos com TO iguais a 30%, 40%, 50%, 60%, 70% e 80%, gabaritos entre 2 e 22, resultando em IA entre 0,6 e 17,5 (Figura 4b) e 126 cenários de blocos isolados no lote (Figura 3C). Essa tipologia é uma das mais comumente encontradas na cidade de Florianópolis, e também em outras cidades brasileiras e, por esse motivo, é analisada nesta pesquisa.

Figura 4: Configuração da quadra (a) e planta baixa dos cenários (b)



As edificações de análise são centralizadas no lote, computando afastamentos iguais (frente, laterais e fundos) de 7,3 m, 5,95 m, 4,75 m, 3,65 m, 2,65 m e 1,75 m, nas TO analisadas respectivamente. Neste estudo, os afastamentos mantêm-se constantes, mesmo com o aumento do gabarito. As áreas de projeção calculadas resultam em 314,16 m<sup>2</sup>, 418,11 m<sup>2</sup>, 522,75 m<sup>2</sup>, 628,79 m<sup>2</sup>, 733,59 m<sup>2</sup> e 834,75 m<sup>2</sup>.

As edificações do entorno imediato, no que diz respeito às características arquitetônicas e parâmetros urbanos (TO, IA e gabarito), são definidas como idênticas às da edificação de análise, gerando cenários uniformes, condição mais restritiva à disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes.

Os ambientes do estudo são denominados de 1, os voltados para o sistema viário (orientação sul); 2E e 2D, os voltados para as laterais (orientações oeste e leste, respectivamente), e 3, os voltados para os fundos (orientação norte), centralizados nas fachadas, em todos os pavimentos da edificação de análise. Assim, marcados de forma aleatória, mesmo que a testada da quadra seja voltada apenas para o sul, todas as demais orientações principais também são consideradas nos resultados de desempenho.

Os ambientes são definidos com área de 21 m<sup>2</sup>, com 3m de largura, 7 m de profundidade e pé-direito de 3m. A abertura de 3,6 m<sup>2</sup> corresponde à área mínima permitida pelo código de obras de Florianópolis (17), de 1/6 da área do piso para ambientes de permanência prolongada. A localização da abertura é centralizada em relação à parede, com largura de 3 metros, peitoril e altura fixos de 0,90 m e 1,20 m, respectivamente.

Finalizando-se essa etapa, novas simulações são realizadas com os mesmos cenários, mas alterando-se as características arquitetônicas de profundidade dos ambientes de 7 m para 5 m e área de abertura, de 1/6 para 1/3 da área do piso, com o intuito de identificar os cenários que quando apresentam características mais favoráveis à disponibilidade de luz natural, alcançam resultados satisfatórios de desempenho.

## **Desempenho da Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA**

A disponibilidade de luz natural é verificada através da simulação da medida dinâmica Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA<sub>300,50%</sub>, considerando-se o valor de 300 lux para 50% de horas de ocupação do ano.

Em 2014, o Green Building Council – EUA, adota uma versão do LM-83 para avaliar o desempenho da luz natural em seu sistema de classificação de construção verde LEED v4 (20), concedendo dois pontos para atingir um alvo de sDA<sub>300,50%</sub> = 55% e três pontos para atingir uma meta de sDA<sub>300,50%</sub> = 75% na área ocupada regularmente. Em 2019, o valor de 55% altera-se para 40%. Esta pesquisa utiliza o valor referência de sDA = 45%, com base nos estudos de Saratsis, Dogan e Reinhart (21), que estabelecem o valor de sDA ≥ 45, suficiente para a disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes.

O programa computacional utilizado para a modelagem paramétrica dos cenários é o software Rhinoceros 6.0 (22), utilizando-se do plug-in Grasshopper para gerenciar parametricamente a TO e o gabarito, assim como a profundidade dos ambientes e a dimensão da abertura. Para as simulações da disponibilidade de luz natural é usado o plug-in DIVA 4.0. O arquivo climático da cidade de Florianópolis, para a realização das

simulações, foi do tipo SWERA (23), desenvolvido pelo projeto Solar and Wind Energy Resource Assessment, que permite considerar as medidas de todo o ano.

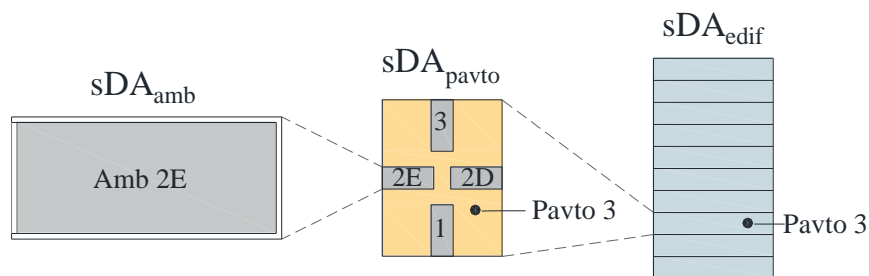
As refletâncias dos materiais internos para piso, parede e teto são estabelecidas em 20%, 50% e 70%, respectivamente, e a transmitância do vidro de 88%. Esses valores são adotados baseados nas faixas de refletâncias úteis para as superfícies internas levantadas pela NBR ISO/CIE 8995-1(4), de piso entre 0,1 e 0,5, de parede entre 0,3 e 0,8, e de teto entre 0,6 e 0,9.

A refletância das superfícies externas das edificações é fixada em 50%, valor próximo ao de 43,9%, obtido no estudo da caracterização de um coeficiente de reflexão médio para superfícies verticais na área central de Florianópolis (24). As refletâncias do sistema viário e lotes são fixadas em 20%.

Os resultados da disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes (sDA) são analisados segundo: (a) sDA da edificação –  $sDA_{edif}$ , (b) sDA dos pavimentos –  $sDA_{pavto}$ , e (c) sDA dos ambientes –  $sDA_{amb}$  (Figura 5).

O  $sDA_{edif}$  corresponde ao somatório dos valores de sDA de todos os pavimentos existentes na edificação. Os cálculos do  $sDA_{pavto}$  contemplam os valores de sDA de todos os ambientes do pavimento. Nas análises de  $sDA_{edif}$  e  $sDA_{pavto}$  são considerados somente os ambientes obstruídos (ambientes 2E, 2D e 3). Os ambientes 1, voltados para o sistema viário, não foram incluídos nessas avaliações.

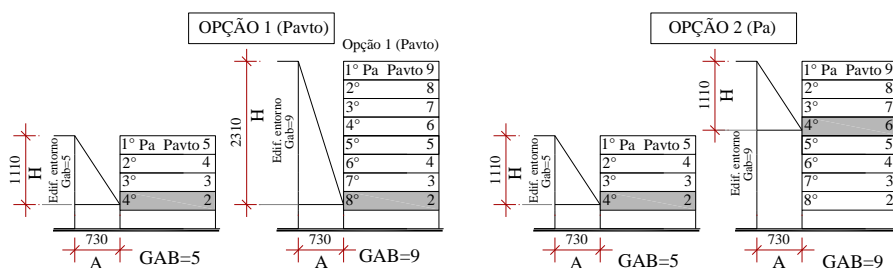
Figura 5: Esquema do sDA:  $sDA_{edif}$ ,  $sDA_{pavto}$  e  $sDA_{amb}$  para um determinado pavimento



Em relação ao  $sDA_{amb}$ , primeiramente, é realizado o somatório do mesmo ambiente (1, 2E, 2D e 3), em todos os pavimentos da edificação. Posteriormente, são utilizados individualmente, nas tabelas de classificação dos resultados, e analisados segundo a estratégia criada na pesquisa, denominada de pavimentos de análise – Pa.

O 1ºPa é aquele localizado no último pavimento da edificação, o 2ºPa é o penúltimo pavimento e, assim, sucessivamente. Essa condição de começar a contagem a partir do último pavimento permite comparar cenários de diferentes gabaritos. A Figura 6 mostra a comparação entre o cenário de gabarito 5 e 9. Na opção 1, o mesmo pavimento da edificação, o 2, é comparado, observando-se que a altura da obstrução (H) é maior no gabarito 9.

Figura 6: Diferença de análises de pavto (opção 1) e Pa (opção 2)



Na opção 2, a análise é realizada no 4ºPa, que corresponde ao pavimento 2 no cenário de gabarito 5 e no 6, no gabarito 9, resultando mesma H entre os cenários. Essa estratégia de utilizar o mesmo Pa, permite comparar cenários de diferentes gabaritos, sem que o ambiente do cenário de gabarito menor seja favorecido, por apresentar sempre menor obstrução.

Os resultados de  $sDA_{edif}$  são apresentados no *Spacemate*, sendo os cenários demarcados do cruzamento dos índices de IA, TO, OSR e gabarito. Para a pesquisa, uma área verde é criada, a partir da ligação dos cenários que computam resultado satisfatório ( $sDA_{edif} \geq 45\%$ ). Três outras áreas representam os cenários que não alcançam valores satisfatórios, sendo classificados em  $sDA_{edif} = 44\%$  a  $30\%$ ,  $sDA_{edif} = 29\%$  a  $15\%$  e  $sDA_{edif} < 15\%$ , ilustradas em tons de laranja.

Em relação aos valores de  $sDA_{pavto}$ , estes são apresentados também nas quatro faixas de categorização, sendo definido que, para a edificação ser considerada satisfatória, é necessário alcançar uma porcentagem mínima de 50% na faixa de  $sDA_{pavto} \geq 45\%$ , ou seja, pelo menos a metade dos pavimentos da edificação deve computar valor de  $sDA_{pavto} \geq 45\%$ .

Com os resultados de  $sDA$  simulados na pesquisa tem-se o intuito de ampliar as diretrizes para projetos, uma vez que apresentam os valores pontualmente, e assim estratégias específicas podem ser realizadas para melhorar o desempenho da luz natural no interior dos ambientes.

## Influência do índice de espaço aberto – OSR

O OSR é calculado através do cálculo  $OSR = [1 - (TO/100) / IA]$  (13), podendo também ser obtido pela divisão do espaço aberto pelo espaço construído. O espaço aberto é obtido pela área de projeção da edificação subtraída da área do lote, enquanto o espaço construído é a área de projeção, multiplicada pelo número de pavimentos.

Para possibilitar a criação de áreas com mesmo valor de OSR, é utilizada a mesma estratégia do  $sDA$ , sendo os valores de OSR arredondados, conforme divisão a seguir: (a) 0,0 a 0,4 iguais a  $OSR = 0,0$ ; (b) 0,5 a 1,4 iguais a  $OSR = 0,1$ ; (c) 1,5 a 2,4 iguais a  $OSR = 0,2$ ; e (d) 2,5 a 3,4 iguais a  $OSR = 0,3$ .

Os cenários nas mesmas faixas de OSR são ligados entre si, gerando áreas iguais a 0,0, 0,1, 0,2 e 0,3, e posteriormente sobrepostos aos resultados de desempenho no diagrama *Spacemate*. Essa estratégia é criada na pesquisa com o intuito de determinar um valor mínimo de OSR associado ao valor de  $sDA = 45\%$ .



## **Determinação do ângulo máximo de obstrução e a porcentagem mínima de céu visível**

O ângulo de obstrução vertical e a porcentagem de céu visível são correlacionados com os valores de desempenho de cada ambiente dos cenários simulados. Para determinar o ângulo vertical de obstrução do entorno imediato é utilizado o cálculo da razão entre a altura da obstrução e a medida do afastamento da obstrução, da tangente do ângulo de obstrução.

Para as simulações da porcentagem do fator de céu visível é utilizado o software Apolux IX, fundamentado nos algoritmos propostos por Claro (25). O programa determina a relação de visibilidade entre diferentes pontos de um ambiente, bem como a exposição desses pontos à abóbada celeste, através das máscaras solares (sendo na pesquisa considerado o centro do peitoril da abertura).

Para cada TO analisada na pesquisa, é identificado o valor máximo do ângulo de obstrução e a porcentagem mínima de céu visível correspondente ao valor mínimo de desempenho, considerado  $sDA = 45\%$ .

## **Validação dos resultados da pesquisa**

Os resultados de desempenho encontrados na pesquisa são testados e aplicados para um lote, criado de maneira aleatória de entorno imediato consolidado, considerando os seguintes passos:

- Passo 1: Verificar no diagrama *Spacemate*, o resultado de desempenho ( $sDA_{edif}$ ) da configuração urbana escolhida a ser implantada em um determinado projeto.
- Passo 2: Identificar os resultados de desempenho para cada pavimento da edificação ( $sDA_{pavto}$ ), através dos resultados do ângulo máximo de obstrução e porcentagem mínima de desempenho.

O passo 1 tem como finalidade apresentar simultaneamente opções de diferentes configurações urbanas, a fim de auxiliar na escolha da configuração mais adequada para uma determinada condição de projeto. No passo 2, os resultados pontuais permitem identificar em que pavimentos é necessário utilizar estratégias para minimizar o impacto do entorno urbano. Com os valores máximos do ângulo de obstrução e porcentagem mínima de céu visível, é possível testar a implantação da edificação do lote com o intuito de aumentar os afastamentos entre edificações, melhorando assim, os resultados de desempenho.

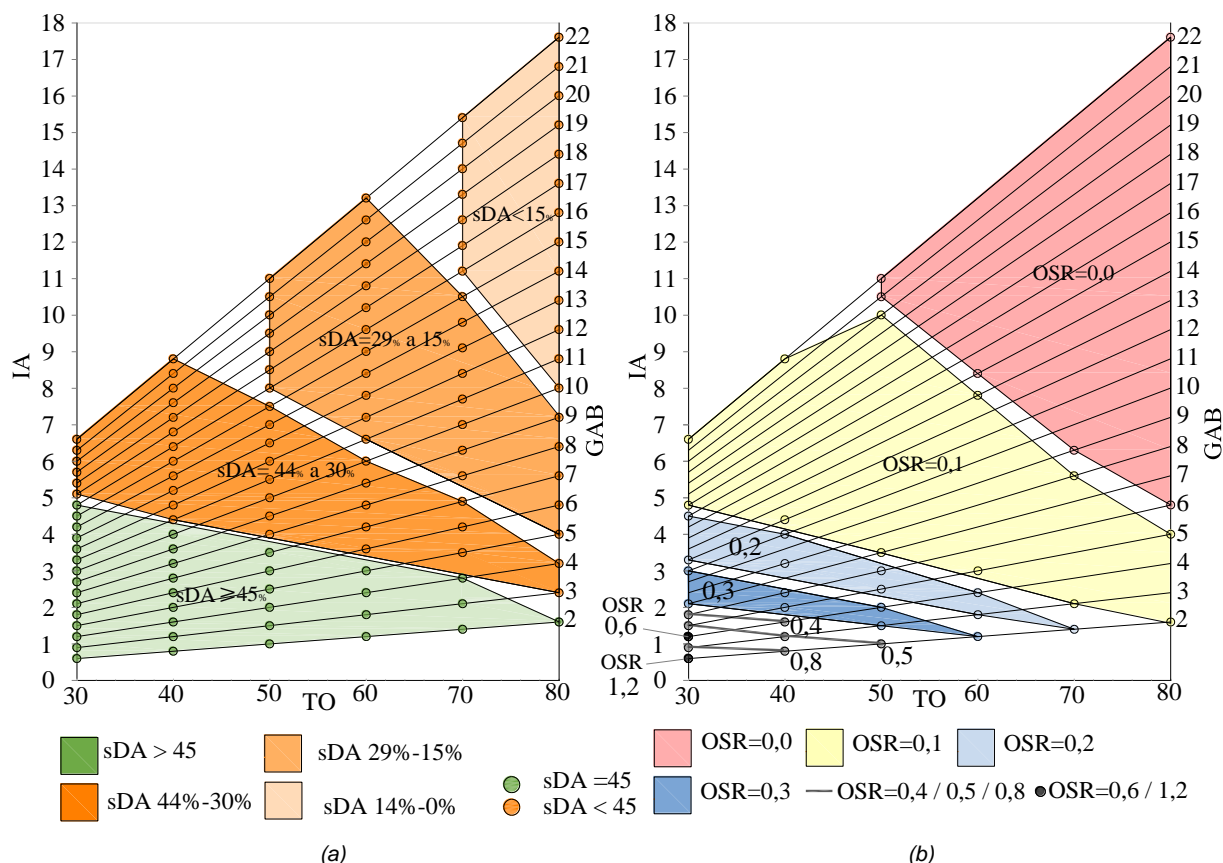
## **RESULTADOS**

Os resultados da pesquisa permitem analisar a tipologia de bloco isolado no lote, através da correlação entre os valores de desempenho, índice de espaço aberto, ângulo de obstrução vertical e porcentagem de céu visível. Investigam-se os cenários de diferentes configurações (IA, TO e gabarito) que resultam em desempenho ( $sDA$ ) satisfatório da luz natural no interior dos ambientes.

## Correlação dos valores de sDA e OSR

No diagrama *Spacemate* estão representados os valores de  $sDA_{edif}$  para todos os cenários simulados na pesquisa (Figura 7a). Os resultados satisfatórios são computados para os cenários de gabarito 2 a 16 na  $TO = 30\%$ , 2 a 10 na  $TO = 40\%$ , 2 a 7 na  $TO = 50\%$ , 2 a 5 na  $TO = 60\%$ , 2 a 4 na  $TO = 70\%$ , e o somente o 2 na  $TO = 80\%$ . Os demais cenários, já muito obstruídos pelo entorno, com valores mais elevados de  $TO$  e gabarito, resultam em valores de  $sDA < 45\%$ .

Figura 7: *Spacemate* adaptado com os valores de sDA e os valores de OSR



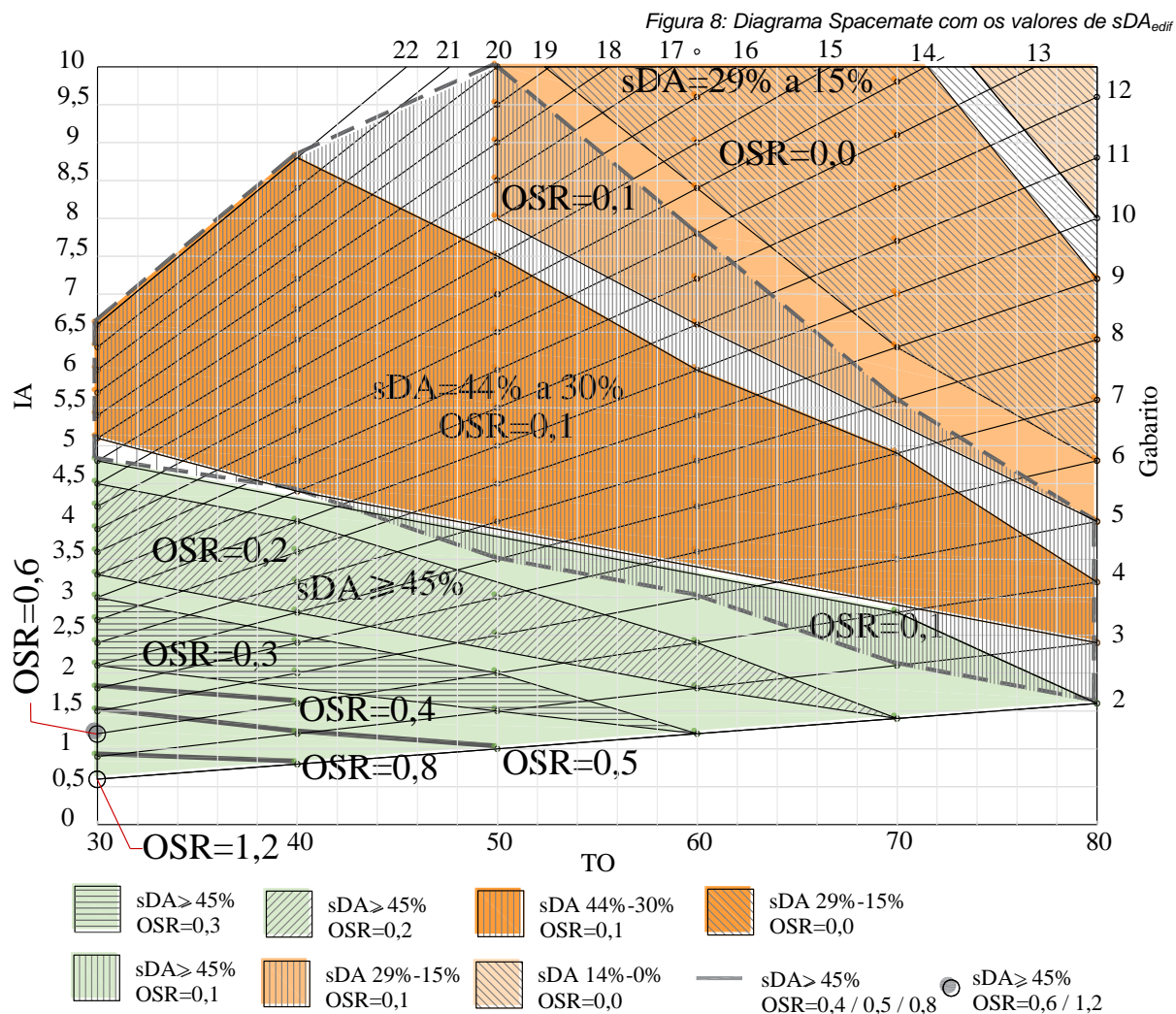
A Figura 7b mostra os cenários nos limites das faixas de OSR, sendo os valores de 0,0, 0,1, 0,2 e 0,3 representados por áreas. Os cenários de OSR = 0,4, 0,5 e 0,8 (com apenas 2, 3 e 2 cenários, respectivamente) estão posicionados em linhas diagonais. Somente são computados um cenário de OSR=0,6 (gabarrito 4 e  $TO = 30\%$ ) e um de OSR = 1,2 (gabarrito 2 e  $TO = 30\%$ ).

Da correlação dos valores de sDA e OSR (Figura 8) é possível verificar que a faixa de OSR igual a 0,1 (área da linha pontilhada), é a de transição e, por isso, não é suficiente para garantir apenas resultados de desempenho satisfatório.

Em relação à faixa de 0,0, com os resultados mais restritivos, maiores gabaritos e  $TO$ , não são computados cenários nas  $TO = 30\%$  e  $40\%$ , e na  $TO = 50\%$  apenas os gabaritos 21 e 22. Na faixa de 0,2, por sua vez, todos os resultados computam valores satisfatórios ( $sDA \geq 45$ ), enquanto que, nas

configurações que se apresentam na faixa de OSR igual a 0,0, nenhuma obtém  $sDA > 45\%$ .

Para verificar o melhor desempenho entre dois cenários inseridos numa mesma faixa de  $sDA$  e OSR, são identificadas quatro relações entre os parâmetros (TO, IA e gabarito).



A primeira relação compara cenários com o mesmo valor de IA. Para obter os melhores resultados de  $sDA$  e OSR, um determinado cenário deve ter a TO diminuída e o gabarito aumentado. Nessa condição, constata-se que a influência da TO é maior do que a do gabarito, ou seja, o cenário de maior gabarito e menor TO produz melhor desempenho do que os cenários de menor gabarito e maior TO.

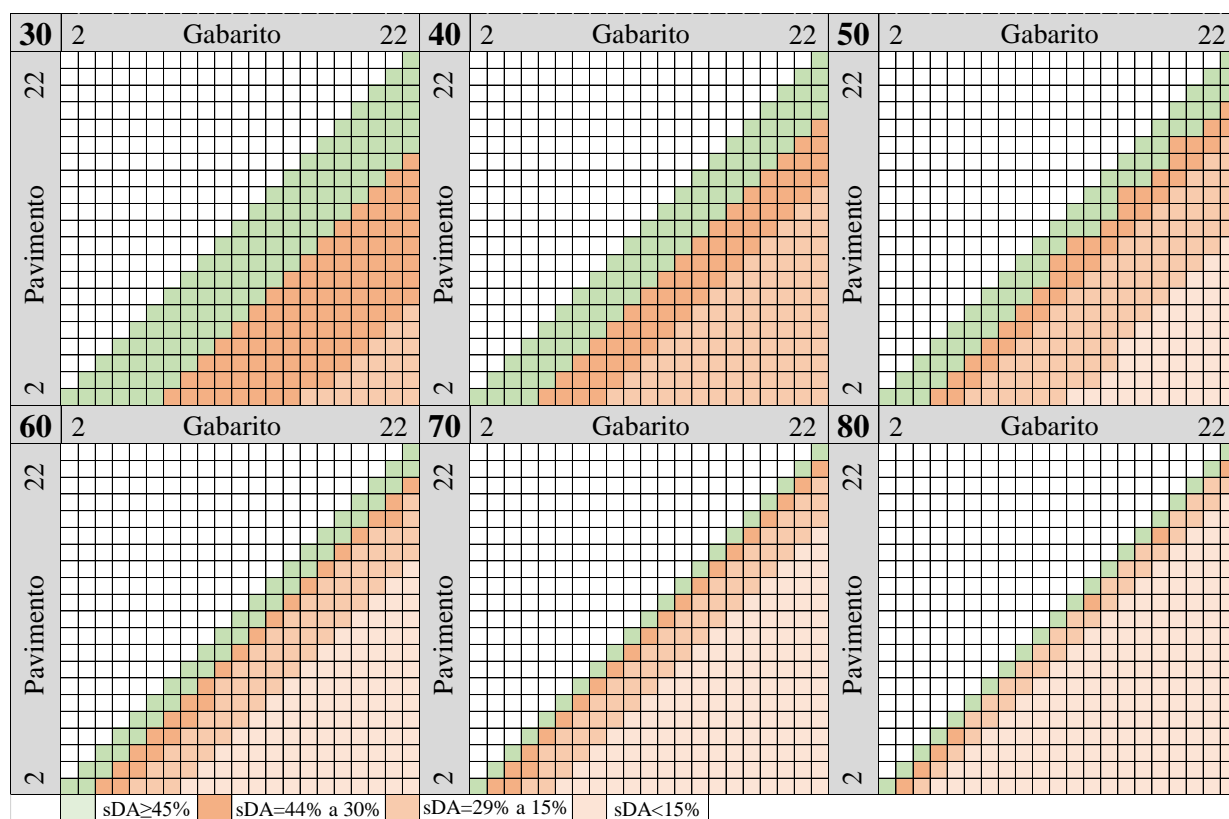
Na segunda relação, dois cenários apresentam mesmos valores de TO. Os resultados de desempenho mais significativos são encontrados para o cenário de menor IA e gabarito. Nessa relação, quanto maior a área construída, com a mesma projeção, menor será o valor de OSR.

Na terceira, o gabarito é mantido constante e, dessa forma, para melhorar os resultados de desempenho e o OSR, os valores de IA e da TO devem

diminuir. E, por fim, na relação 4, os resultados de sDA e OSR são mais significativos na condição em que o gabarito e o IA diminuem, quando a TO aumenta.

Os valores de  $sDA_{pavto}$  (Figura 9), por sua vez, exibem os resultados de maneira mais pontual. A leitura é realizada na diagonal, no sentido do canto inferior direito (situação mais restritiva e maior IA), em direção ao canto superior esquerdo (melhores resultados).

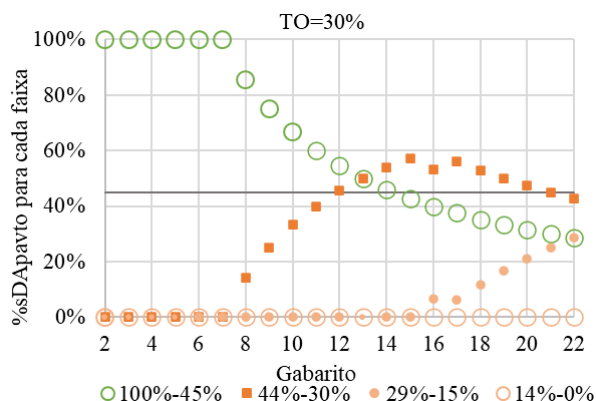
Figura 9: Valores de  $sDA_{pavto}$  das TO analisadas



Na TO igual a 30%, 40% e 50%, todos os pavimentos têm resultados satisfatórios nos cenários de gabarito 2 a 7, 2 a 5 e 2 a 4, respectivamente. Na TO igual a 50% começam a ser computados valores de  $sDA < 15\%$ . Na análise que considera satisfatórios pelo menos 50% dos pavimentos atendidos, os resultados são estendidos do 7 ao 13, do 5 ao 9 e do 4 ao 7. A Figura 10 mostra detalhadamente os valores simulados dos cenários da TO igual a 30%.

Todos os pavimentos dos cenários de 2 a 7 estão na faixa de  $sDA \geq 45\%$ . Do gabarito 8 ao 16, os resultados na faixa de  $sDA \geq 45\%$  decrescem continuamente e, por consequência, os valores de  $sDA = 44\%$  a 30% aumentam. Do gabarito 16 em diante, são introduzidos valores na faixa de  $sDA = 29\%$  a 15% e, por isso, os valores da faixa de  $sDA = 44\%$  a 30% decrescem. No gabarito 13, a porcentagem de pavimentos de  $sDA \geq 45\%$  e  $sDA = 44\%$  a 30% é exatamente a mesma. Nessa TO, o cenário de gabarito 14 é o considerado de maior potencial construtivo, com pelo menos 50% dos pavimentos atendidos (apresenta maior aproveitamento do lote, condição geralmente requerida).

Figura 10: Detalhe dos resultados de  $sDA_{pavto}$  da  $TO=30\%$



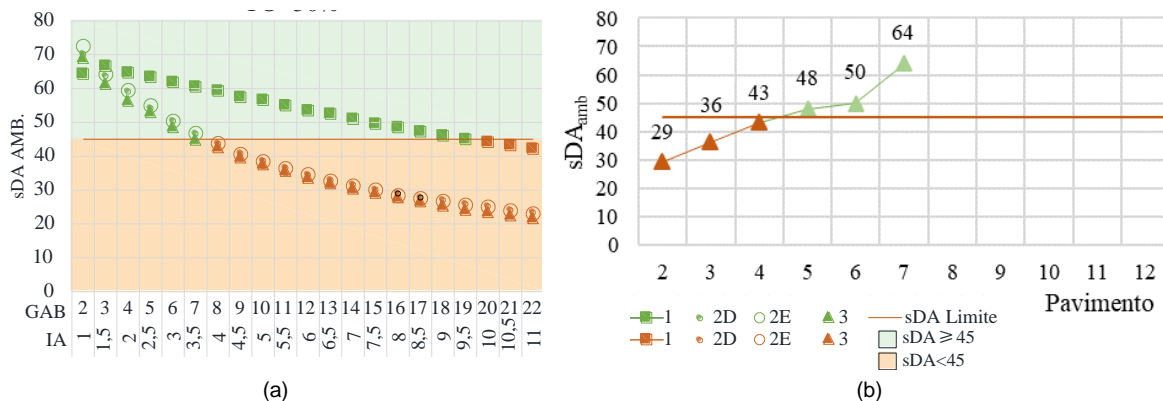
T.O.	GABARITO																					
30%	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
PAVIMENTOS	22																				72	
	21																			73	62	
	20																		73	62	57	
	19																	73	62	57	53	
	18																73	62	57	53	50	
	17																73	63	57	53	50	
	16															73	63	57	53	50	46	
	15														73	62	57	53	50	47	43	
	14													73	64	57	54	50	47	43	40	
	13												73	64	57	54	50	48	43	41	36	
	12										73	63	57	54	50	48	43	43	41	36	36	
	11										73	64	57	55	50	48	43	43	41	36	36	
	10																					
	9									71	64	57	55	50	48	43	43	42	36	36	36	
	8									73	64	57	57	50	49	43	43	42	36	36	35	
	7									73	64	57	57	50	49	43	43	42	36	36	35	
	6																					
	5																					
	4																					
	3																					
	2																					
1	74	64	62	57	51	49	44	43	38	37	36	36	35	31	29	29	29	29	29	28	27	

Nas  $TO=60\%$  a  $80\%$ , os pavimentos já estão tão obstruídos que, mesmo com a diminuição do gabarito e o aumento do pavimento, os valores de desempenho ficam inalterados. Nessas  $TO$ , considerando pelo menos a metade dos pavimentos atendidos, são considerados satisfatórios somente os gabaritos de 2 a 5 ( $TO=60\%$ ), 2 e 3 ( $TO=70\%$  e  $80\%$ ).

Em relação aos valores de  $sDA_{amb}$ , a diferença entre os ambientes 1 (voltados para o sistema viário) e os ambientes 2 e 3 (laterais e fundos) é mais significativa, nas maiores  $TO$ . Visto que a pesquisa visa analisar as condições mais restritivas, fica justificada a exclusão dos ambientes 1 das análises do  $sDA_{pavto}$  e  $sDA_{edif}$  (Figura 11a). Nos cenários mais densos, os ambientes 1, do gabarito 20 a 22, na  $TO=50\%$ , não garantem desempenho satisfatório, mesmo acrescentando, ao afastamento, a largura do sistema viário.

No cenário de gabarito 7, o valor de  $sDA_{amb3}$  é exatamente  $45\%$ , o que não significa que todos os pavimentos obtêm resultados satisfatórios (Figura 11b).

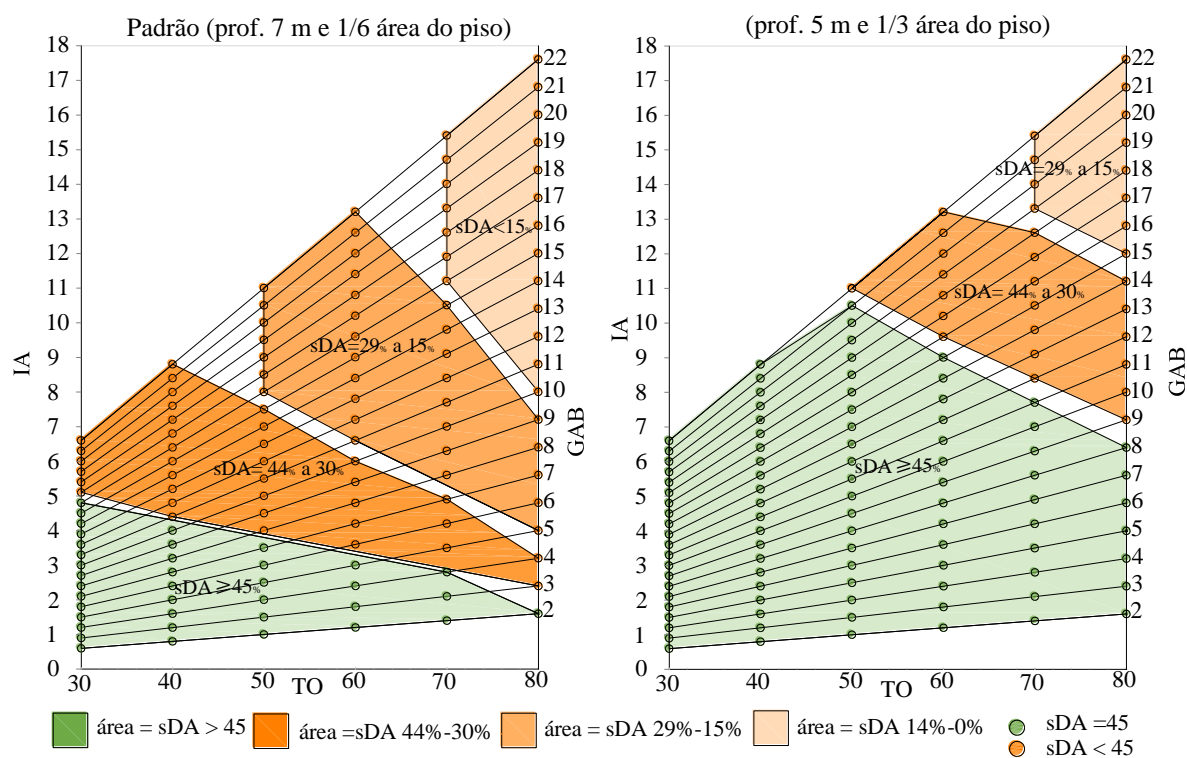
Figura 11: Detalhe dos resultados de  $sDA_{pavto}$  da  $TO=50\%$  e  $sDA_{amb}$  do cenário de gabarito 7



Em relação aos ambientes 2E e 2D, a diferença não é significativa, mesmo em diferentes orientações solares (leste e oeste). Nas TO=30% e 40%, os valores computados para os ambientes 3 são mais restritivos que os dos ambientes 2, mas, com o aumento da TO, essa diferença diminui, até alcançar resultados equivalentes nas taxas mais elevadas. Essa proximidade nos resultados dos ambientes 2 e 3 justifica as análises dos somatórios dos pavimentos e por edificação, com preocupação para não disfarçar os resultados médios. Ainda assim, as análises realizadas de maneira pontual ( $sDA_{pavto}$ ), podem ser visualizadas (Figura 9), para identificar a partir de qual pavimento, os resultados não são mais considerados satisfatórios.

O potencial de luz natural da edificação também pode ser explorado através de soluções arquitetônicas que busquem compensar os impactos causados pelo entorno urbano. As novas simulações mostram que a diminuição da profundidade de 7cm para 5cm e o aumento da área de abertura (1/6 para 1/3 da área do piso) são suficientes para que todos os cenários de TO=30% e 40% obtenham resultados satisfatórios (Figura 12).

Figura 12: Diagrama Spacemate para diferentes configurações arquitetônicas



Na TO= 50%, somente o gabarito 22 não atendeu ao valor mínimo estipulado. Nas TO=60% e 70%, as porcentagens passaram de um total de 19% e 14% de cenários atendidos, para 67% e 48%, ou seja, de 4 e 3 cenários, para 14 e 10 atendidos, respectivamente.

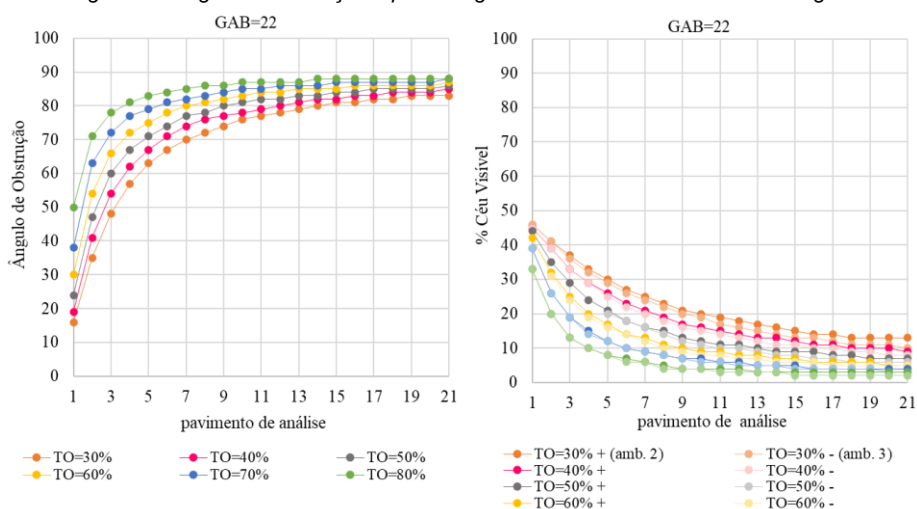
A relação proporcional entre o espaço e a abertura adequada permite manipular a luz natural para minimizar a interferência do entorno urbano imediato. Entretanto, nas TO e gabaritos mais elevados, como nas TO=70% e 80%, acima do gabarito de 12 e 7, nem melhorando as características arquitetônicas é possível garantir desempenho satisfatório.



## Determinação do ângulo máximo de obstrução e da porcentagem mínima de céu visível

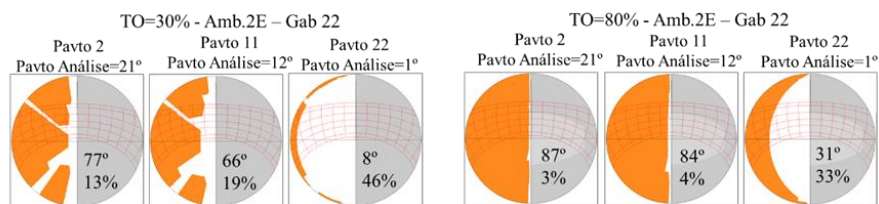
Considerando o cenário de gabarito 22, para um mesmo Pa, o ângulo é menor e a porcentagem é maior para os cenários de menor TO, sendo que no 1ºPa, a variação entre as diferentes TO é de 16º a 50º (Figura 13). Essa variação é menor entre os últimos Pa, sendo computados valores entre 83º e 88º.

Figura 13: Ângulo de obstrução e porcentagem de céu visível dos cenários de gabarito 22



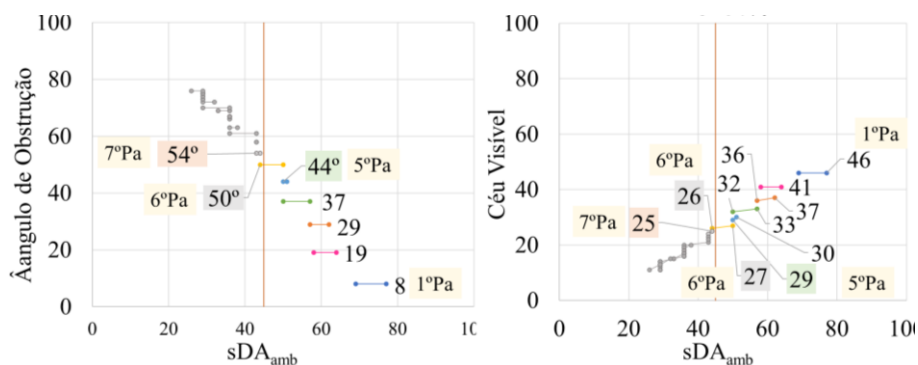
Na TO=80%, os cenários já estão fortemente obstruídos, e a partir do 14ºPa, os ângulos permanecem inalterados, computando-se valores similares até o 21ºPa. A Figura 14 mostra os resultados das simulações da máscara solar representando o 1ºPa, 12ºPa e 21ºPa para as TO iguais a 30% e 80%, dos ambientes 2E. O interior dos ambientes está ilustrado na cor cinza, a obstrução na cor laranja e o céu visível na cor branca.

Figura 14: Ângulo de obstrução e céu visível da TO=30% e TO=80% dos ambientes 2



Os resultados da TO = 30% estão apresentados na Figura 15. Nas extremidades das linhas horizontais/inclinadas estão o maior e o menor valor de  $sDA_{amb}$  computado para cada Pa analisado. A linha vertical marca o valor limite satisfatório de  $sDA_{amb} = 45\%$ . Os Pa que se encontram cruzando essa linha são os transitórios, enquanto os ilustrados na cor cinza são os que não alcançam valores satisfatórios.

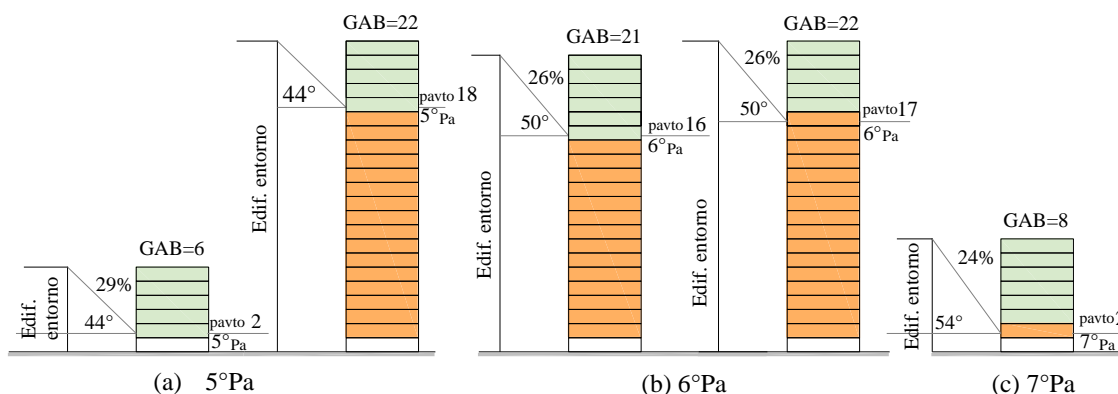
Figura 15: Valores do ângulo de obstrução e porcentagem de céu visível da TO=30%



Para garantir desempenho satisfatório o ângulo deve ser  $\leq 44^\circ$  (5°Pa) (Figura 16a). O 6°Pa é o transitório (cruza linha vertical) e os ângulos computam resultados entre  $45^\circ$  a  $53^\circ$  (Figura 16b - 50°). No 7°Pa, ângulos  $\geq 54^\circ$  não obtêm valores satisfatórios (Figura 16c). Isso significa que o cenário de gabarito 6, garante resultados até o 5°Pa, assim como, todos os pavimentos dos cenários de gabarito 2 a 5.

Em relação à porcentagem de céu visível, o valor  $\geq 29\%$  confirma resultado no 5°Pa, e assim o cenário de gabarito 6 tem todos os pavimentos atendidos (Figura 16a). Os valores transitórios estão entre 26% e 28%, no 6°Pa, e por isso, mesmo que o cenário de gabarito 21 compute ângulo de  $50^\circ$  (valor transitório), não alcança valor mínimo de céu visível (Figura 16b). No 7° Pa (Figura 16c), o gabarito 8, com porcentagem menor que 25% (7°Pa), é o único pavimento que não tem desempenho satisfatório.

Figura 16: Aplicação dos valores mínimos do ângulo e da porcentagem na TO=30%



A Figura 17 mostra os valores limites do ângulo de obstrução e da porcentagem de céu visível das TO analisadas na pesquisa.

Nas TO=40% e 70%, a porcentagem de céu visível máxima é de 26%, entretanto, correspondem ao 5°Pa e ao 2°Pa. Isto quer dizer, que o mesmo ângulo é necessário para alcançar resultados satisfatórios, mas essa condição ocorre em diferentes Pa. O mesmo acontece nas TO=50% e 60%, ambas com 24%, no 4°Pa e no 3°Pa.

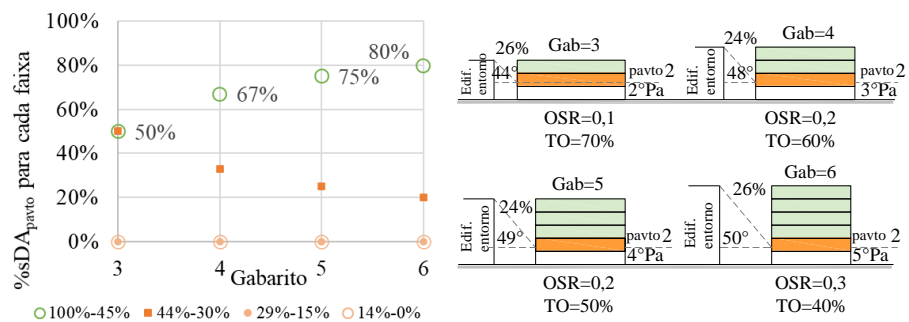


Figura 17: Resultados dos valores do ângulo de obstrução e porcentagem de céu visível

TO	30%	40%	50%	60%	70%	80%
ângulo obstrução vertical	≤44° (1-4 Pa)	≤34° (1=3 Pa)	≤28° (1-2Pa)	≤35° (1-2 Pa)	≤22° (1 Pa)	≤31° (1 Pa)
	45° - 53° (5-6 Pa)	35° - 49° (4 Pa)	29° - 48° (3 Pa)	36° - 47°	23° - 43°	32° - 55° (5-6 Pa)
	≥54° (7-21 Pa)	≥50° (5-21 Pa)	≥49° (4-21 Pa)	≥48° (3-21 Pa)	≥44° (2-21 Pa)	≥56° (2-21 Pa)
porcentagem de céu visível	≥29% (1-5 Pa)	≥33% (1-3 Pa)	≥35% (1-2 Pa)	≥32% (1-2 Pa)	≥39% (1 Pa)	≥33% (1 Pa)
	26%-28% (6 Pa)	27%-32% (4 Pa)	25%-34% (3 Pa)	25%-31%	27%-38%	21%-32%
	≤25% (7-21 Pa)	≤26% (5-21 Pa)	≤24% (4-21 Pa)	≤24% (3-21 Pa)	≤26% (2-21 Pa)	≤20% (2-21 Pa)

A Figura 18 mostra que o cenário de gabarito 6 é considerado o mais significativo (maior porcentagem na faixa satisfatória), seguido dos cenários de gabarito 5, 4 e 3. Esses cenários possuem o mesmo valor de  $IA=2,5$ , e mesmo valor de  $sDA_{amb} = 43\%$ .

Figura 18: Cenários de igual porcentagem de céu visível em diferentes Pa



Considerando cenários com mesmo  $IA$ , verifica-se maior influência da  $TO$  do que do gabarito nos resultados de desempenho. Nessas condições, cenários com maior gabarito e menor  $TO$  obtêm valores mais significativos de desempenho e  $OSR$ .

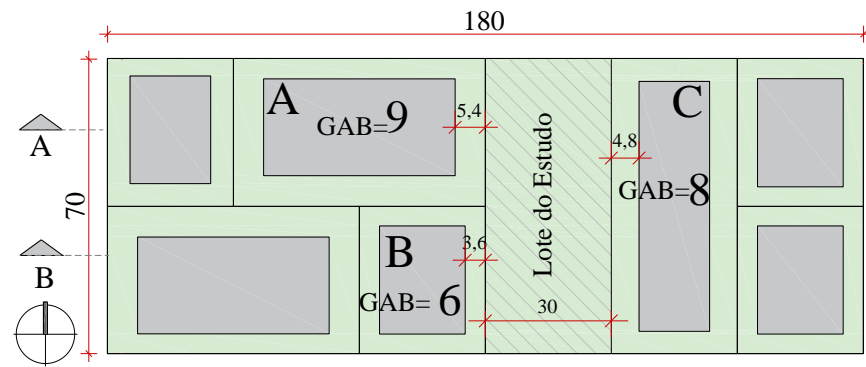
## Validação dos resultados da pesquisa

Os resultados são visualizados simultaneamente no diagrama, o que permite, identificar o desempenho de qualquer outra configuração, dentro dos limites estipulados da pesquisa, e verificar a configuração mais adequada para uma determinada condição de projeto.

Para validar os resultados, um lote de 70 x 30 m, computando um total de 2.100 m<sup>2</sup>, foi analisado, sendo o entorno consolidado e constituído das edificações "A", "B" e "C", criadas de forma aleatória para o estudo (Figura 19).

Dos limites de ocupação estabelecidos pela legislação de Florianópolis (17) é utilizada a área AMC 16.5 e determinado valor máximo do  $IA = 4,7$  e  $TO = 45\%$ . Os afastamentos mínimos de 1/5 da altura do gabarito são respeitados, e os valores utilizados são os da  $TO = 40\%$ , ângulo de obstrução ≤ 34° e ≥ 50° e porcentagem de céu visível, de ≥ 33% e ≤ 26%.

Figura 19: Cenário de lote com entorno consolidado

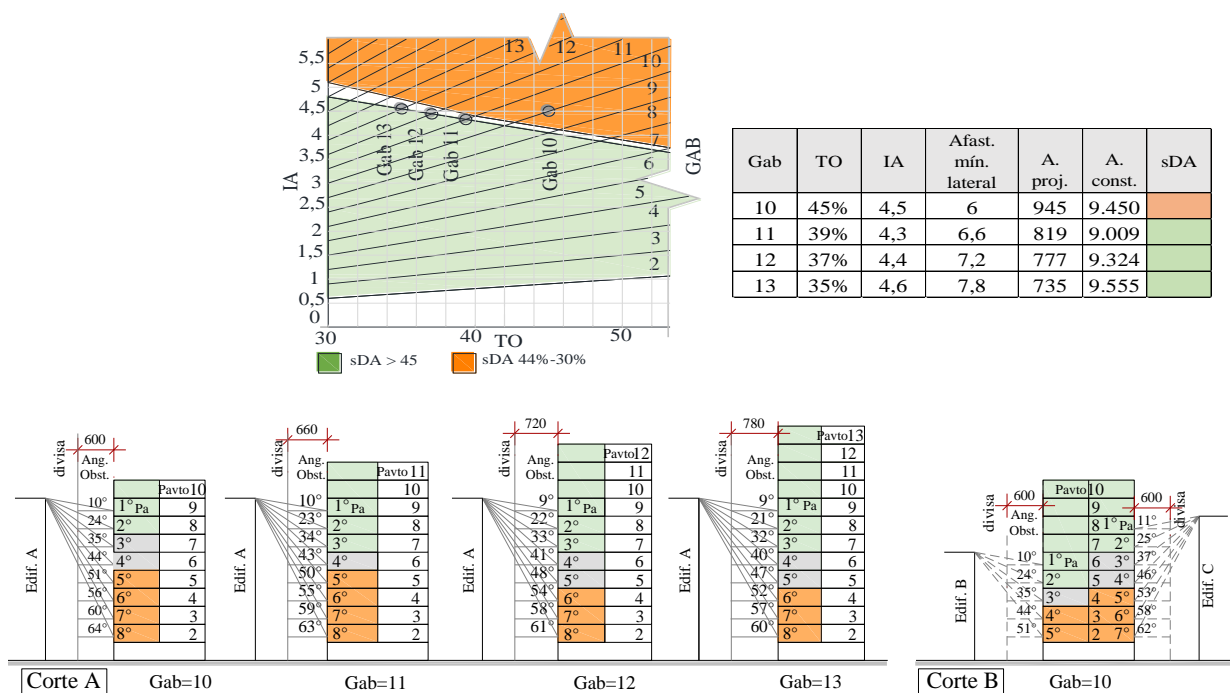


No passo 1 referente à aplicação dos resultados da pesquisa, verifica-se que a configuração estipulada para esta análise, que corresponde ao cenário de gabarito 10, não alcança valor de desempenho da edificação satisfatório. Entretanto, contando que o diagrama permite a visualização simultânea do desempenho de outros cenários com configurações similares, é possível constatar que os gabaritos 11, 12 e 13 são alternativas satisfatórias (Figura 20).

Para o passo 2, primeiramente em relação a divisa com a edificação “A” (corte A), de maior gabarito, igual a 9, o 1ºPa da edificação a ser implantada é o pavimento 9. Nas edificações 10, 11, 12 e 13, os pavimentos 10, 10 e 11, 10 e 12 e 10 e 13, estão livres da obstrução do entorno, respectivamente.

Para a verificação dos valores dos ângulos e identificar o desempenho por pavimento, as edificações foram centralizadas no lote, considerando os afastamentos laterais mínimos.

Figura 20: Análise dos cenários com configurações similares



Os pavimentos em cinza são os considerados transitórios. O cenário de gabarito 13, com maior quantidade de pavimentos atendidos, além de computar a maior área construída, pode ser considerado uma ótima opção para a implantação no lote.

Quando a edificação de gabarito 10 é analisada em relação as edificações “B” e “C”, o corte B mostra que o 1ºPa é o pavimento 8, e em razão das diferentes alturas e afastamentos do entorno imediato, os resultados de desempenho se diferem para um mesmo pavimento.

O cenário de gabarito 10, também pode se tornar configuração a ser empregada, se observados por exemplo, diretrizes para os pavimentos inferiores. É possível identificar que a partir do pavimento 5, no corte A e pavimento 3 e 4 no corte B, alterar as características arquitetônicas melhora os resultados de desempenho. Ainda, pode-se projetar espaços de permanência transitória, como estacionamentos, depósitos, auditórios, etc. Os layouts internos podem ser concebidos e os usos definidos de maneira a aproveitar a luz natural, considerando cada condição específica.

## CONCLUSÕES

A forma urbana é controlada pelos índices, que determinam valores máximos e mínimos de IA, TO, gabarito e afastamentos entre edificações, mas que muitas vezes, não são suficientes para assegurar o desempenho da luz natural no interior dos ambientes de todos os pavimentos de uma edificação.

Como resultados da pesquisa, são identificados valores mínimos de OSR e ângulo de obstrução, e a porcentagem máxima de céu visível, considerando a simulação de cenários de bloco isolado no lote, na cidade de Florianópolis, que combinam diferentes valores de IA, TO e gabarito, para alcançar valores de desempenho satisfatório.

Ainda, com os resultados dos valores dos ângulos de obstrução e da porcentagem de céu visível, é possível verificar e testar diferentes maneiras de implantação da edificação no lote, considerando o entorno urbano imediato. A visualização simultânea dos valores de desempenho auxilia na escolha do cenário que apresenta uma melhor configuração para se adequar a uma determinada condição.

A estratégia de combinar os índices urbanos (índice de aproveitamento – IA, taxa de ocupação – TO e gabarito) com os índices de performance (desempenho de sDA) mostra previamente que é possível computar resultados satisfatórios de desempenho, integrando ainda características arquitetônicas (áreas de abertura e profundidade dos ambientes), mesmo em configurações mais densas, de TO e IA elevados. Assim, demonstra-se a consistência do método adotado na pesquisa para avaliar o desempenho da luz natural no interior do ambiente construído.

Além disso, as análises realizadas por pavimento, permitem desenvolver estratégias pontuais para minimizar o impacto das obstruções vizinhas como, dispor de maior área de abertura em um determinado pavimento ou menor profundidade em outro, dar usos diferenciados para espaços com pouca incidência de luz natural (garagem, espaços de serviço, auditórios, etc.). Se o desempenho da luz natural no interior do ambiente construído é modificado

de acordo com o pavimento em que se situa, estes não precisam ter mesmos arranjos internos e/ou ser dimensionados com mesma área de abertura.

Na tipologia de bloco isolado no lote, a mais comumente encontrada na cidade do estudo, as regras urbanas genéricas, limitam a disposição dos arranjos espaciais e a geometria das edificações. A relação entre espaços abertos e construídos maximiza os afastamentos entre obstrução, condição que proporciona aumento nos resultados de desempenho. A ocupação e o uso do solo podem ser condicionados por normas e legislações que definam a forma urbana, de maneira a trazer melhores resultados de conforto, não limitando na escala do lote, mas atentando-se com relação ao seu tecido e à escala urbana existente.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES/DS e ao CNPQ pelos recursos financeiros aplicados em forma de bolsa de pesquisa e doutorado.

## REFERÊNCIAS

1. JACOBS, Jane. *Morte e Vida de Grandes Cidades*. Martins Fontes, 2011. ISBN 85788274210.
2. TALEN, Emily. *City rules: How regulations affect urban form*. Island Press, 2011. ISBN 1597266922.
3. LEHNERER, Alex. *Grand urban rules*. Nai010 publishers, 2014. ISBN 9462080542.
4. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior. 2013.
5. IESNA. Lighting Measurement #83, Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). [S. l.: s. n.]
6. HESCHONG, Lisa. DAYLIGHT METRICS PIER Daylighting Plus Research Program. Public Interest Energy Research (PIER) Program, [S. l.], 2012. Available from: [https://www.researchgate.net/profile/Lisa\\_Heschong2/publication/328965606\\_DAYLIGHT\\_METRICS\\_REPORT\\_for\\_the\\_CEC\\_PIER\\_Daylighting\\_Plus\\_Research\\_Program/links/5bed9e694585150b2bb9fcb3/DAYLIGHT-METRICS-REPORT-for-the-CEC-PIER-Daylighting-Plus-Research-Program.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Lisa_Heschong2/publication/328965606_DAYLIGHT_METRICS_REPORT_for_the_CEC_PIER_Daylighting_Plus_Research_Program/links/5bed9e694585150b2bb9fcb3/DAYLIGHT-METRICS-REPORT-for-the-CEC-PIER-Daylighting-Plus-Research-Program.pdf)
7. STEADMAN, Philip et al. A classification of built forms. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2000. <https://doi.org/10.1068/bst7>
8. STEADMAN, Philip; EVANS, Stephen; BATTY, Michael. Wall area, volume and plan depth in the building stock. *Building Research and Information*. 2009. 37:5-6, 455-467. <https://doi.org/10.1080/09613210903152531>
9. BROWN, F. E.; STEADMAN, J. P. The morphology of British housing: an empirical basis for policy and research. Part I: Functional and dimensional characteristics. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1991. <https://doi.org/10.1068/b180277>
10. GAGNE, Jaime M. L.; ANDERSEN, Marilynne. A daylighting knowledge base for performance-driven facade design exploration. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 2011. <https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2011.08.02.001>
11. REINHART, C. F. A simulation-based review of the ubiquitous window-headheight to daylight zone depth rule-of-thumb. In: 2005, IBPSA 2005 - International Building Performance Simulation Association 2005. Available from: [http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2005/BS05\\_1011\\_1018.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2005/BS05_1011_1018.pdf)
12. CHENG, Vicky et al. Urban form, density and solar potential. In: 2006a, PLEA 2006 - 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Conference

- Proceedings. Available from:  
[https://www.researchgate.net/publication/37434409\\_Urban\\_Form\\_Density\\_and\\_Solar\\_Potential](https://www.researchgate.net/publication/37434409_Urban_Form_Density_and_Solar_Potential)
13. BERGHAUSER-PONT, M. Y.; HAUPT, P. A. The Spacemate: Density and the typomorphology of the urban fabric. In: Urbanism Laboratory for Cities and Regions. Available from:  
[https://www.researchgate.net/publication/284028541\\_The\\_Spacemate\\_Density\\_and\\_the\\_typomorphology\\_of\\_the\\_urban\\_fabric](https://www.researchgate.net/publication/284028541_The_Spacemate_Density_and_the_typomorphology_of_the_urban_fabric)
  14. BERGHAUSER PONT, Meta; HAUPT, Per. Space, Density and Urban Form, 2009. ISBN 9789052693750.
  15. O'CONNOR, J. et al. Tips for daylighting with windows: An integrated approach. In: (LBNL-39945, Org.) 1997, Berkeley (CA). Anais [...]. Berkeley (CA): [s. n.], 1997. Available from: <https://facades.lbl.gov/sites/default/files/tips-for-daylighting-1997.pdf>
  16. NG, Edward. A study of the relationship between daylight performance and height difference of buildings in high density cities using computational simulation. In: 2005, IBPSA 2005 - International Building Performance Simulation Association 2005. Available from: [https://www.aivc.org/sites/default/files/BS05\\_0847\\_852.pdf](https://www.aivc.org/sites/default/files/BS05_0847_852.pdf)
  17. FLORIANÓPOLIS, Prefeitura Municipal de. Plano Diretor de Florianópolis. Florianópolis, 2014.
  18. PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P.; MASSIGNAN, A.M.; PEREIRA, E.S.; THOMÉ, V.M.R.; VALCI, F.V. Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-ROM.
  19. GOOGLE EARTH. Vista aérea da área do estudo - AMC 16.5, Florianópolis. 2019. Localização 27°35'20"S, 48°33'08"O, altura da câmera 16 m.
  20. USGBC. LEED v4 for building design and construction. Washington, DC: [s. n.], 2015.
  21. SARATSIS, Emmanouil; DOGAN, Timur; REINHART, Christoph F. Simulation-based daylighting analysis procedure for developing urban zoning rules. Building Research and Information, [S. l.], 2017. <https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1159850>
  22. MCNEEL, R. Grasshopper - Generative Modelling with Rhino. [S. l.], 2017.
  23. Dados de irradiação solar da base swera. Available from:  
[https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos\\_climaticos/manual\\_swera.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/manual_swera.pdf)
  24. LEDER, M. S.; PEREIRA, F. O. R.; MORAES, L. N. Determinação Experimental de Coeficiente de Reflexão Médio Para Superfícies Verticais em Um Meio Urbano. In: ENCONTRO NACIONAL, 9.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., Ouro Preto, 2007. Available from:  
[https://www.researchgate.net/publication/270881313\\_DETERMINACAO\\_EXPERIMENTAL\\_DE\\_COEFICIENTE\\_DE\\_REFLEXAO\\_MEDIO\\_PARA\\_SUPERFICIES\\_VERTICAIS\\_EM\\_UM\\_MEIO\\_URBANO](https://www.researchgate.net/publication/270881313_DETERMINACAO_EXPERIMENTAL_DE_COEFICIENTE_DE_REFLEXAO_MEDIO_PARA_SUPERFICIES_VERTICAIS_EM_UM_MEIO_URBANO)
  25. PEREIRA, Roberto Carlos; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay; CLARO, Anderson. Caracterização da contribuição do entorno na avaliação da iluminação natural em edificações. Ambiente Construído, 2008. Available from:  
<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/5147/4725>

**Submetido: 20/12/2021**  
**Aceito: 20/02/2022**