

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO E
PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL
ESCOLA DE ARQUITETURA

Larissa Arêdes Monteiro

**Iluminação natural em salas de aula – análise por novos parâmetros
normativos**

Belo Horizonte
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO E
PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL
ESCOLA DE ARQUITETURA

Larissa Arêdes Monteiro

**Iluminação natural em salas de aula – análise por novos parâmetros
normativos**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, do Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais.

Área de concentração: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável

Linha de Pesquisa: Tecnologia do Ambiente Construído

Orientadora: Profa. Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Belo Horizonte
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

M775i Monteiro, Larissa Arêdes.
Iluminação natural em salas de aula [manuscrito] : análise por novos parâmetros normativos / Larissa Arêdes Monteiro. - 2023.
239 f. : il.

Orientadora: Roberta Vieira Gonçalves de Souza.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Iluminação - Teses. 2. Conforto humano - Teses. 3. Salas de aula - Teses. 4. Simulação (computadores) - Teses. I. Souza, Roberta Vieira Gonçalves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.47



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL

FOLHA DE APROVAÇÃO

"Iluminação natural em salas de aula - análise de novos parâmetros normativos"

LARISSA ARÊDES MONTEIRO

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **dez de fevereiro de dois mil e vinte e três**, pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Profa. Dra. Cláudia Naves David Amorim

Universidade de Brasília (UnB)

Profa. Dra. Raphaela Walger da Fonseca

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Profa. Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza - Orientadora

PPG-ACPS/UFMG

Belo Horizonte, 10 de fevereiro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Roberta Vieira Gonçalves de Souza, Professora do Magistério Superior**, em 14/02/2023, às 11:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Raphaela Walger da Fonseca, Usuária Externa**, em 15/02/2023, às 09:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cláudia Naves David Amorim, Usuária Externa**, em 07/03/2023, às 16:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2078219** e o código CRC **68CDA8AF**.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar meu caminho sempre.

Aos meus pais Dary e Sandra, e minha irmã Ludmila, pelo apoio, incentivo e compreensão, que são alicerce para todas as minhas realizações.

À minha orientadora, Professora Roberta Souza, por conduzir com tanta sabedoria e humanidade o processo de orientação e transmissão de conhecimento, por tanta leveza e segurança doados em cada passo, e pelas valiosas contribuições em minha vida acadêmica e profissional.

À CAPES/FUNDEP pelo apoio financeiro e estímulo à pesquisa.

Aos estudantes de iniciação científica do LABCON: Bruno Almeida, pela elaboração do modelo tridimensional do CAD 3, e Daniella Padilha, pelo acompanhamento e contribuição nas visitas técnicas.

Aos demais colegas do LABCON, pelas trocas de conhecimento e por facilitarem a conclusão dessa pesquisa. Em especial à Ludmila Mendes, amiga de jornada, pelos trabalhos em conjunto e pelas trocas de experiências e incentivos constantes.

À Universidade Federal de Minas Gerais por me proporcionar grandes oportunidades de desenvolvimento pessoal e profissional.

Ao Professor Paulo Scarazzato, pelo incentivo, tempo e conhecimento doado, com disposição ímpar em contribuir com meu mestrado.

Aos colegas de trabalho da Iluminar e da Atiaña Design, por contribuírem na ampliação dos meus conhecimentos e horizontes, e no encantamento com o universo da iluminação.

Por fim, a minha enorme gratidão a todos os amigos que torceram e contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, com tanto apoio e carinho, fundamentais no alcance de mais uma meta.

RESUMO

Os instrumentos normativos contribuem para a avaliação de espaços de forma quantitativa e qualitativa e avaliações mais centradas na saúde do ocupante e que abarcam a dinâmica da luz natural têm sido apresentadas em normas nacionais e internacionais. A norma brasileira NBR 15215-3 está em revisão e deverá incorporar estas novas avaliações com cinco critérios: disponibilidade da luz natural, vista exterior, ofuscamento, insolação mínima e exposição à luz solar direta. A fim de analisar a aplicabilidade dos novos parâmetros normativos e a interferência entre esses, a pesquisa buscou compreender a incidência da luz natural, a ocorrência do ofuscamento e a qualidade das vistas exteriores em salas de aula de ensino superior, tendo como estudo de caso o edifício do Centro de Atividades Didáticas de Ciências Exatas 3, da UFMG. Foi feita simulação dinâmica da luz natural nos espaços, através do *software* Rhinoceros com o *plug-in* ClimateStudio, considerando a altura do campo visual do usuário sentado e em pé, e variando as condições dos sistemas de luz natural, confrontando: a eficiência dos sistemas existentes, janelas com disposições exigidas em normas e as configurações das janelas no dia-a-dia dos usuários. Foram simulados ainda novos dispositivos de controle do ofuscamento visando sanar o desconforto visual, buscando o equilíbrio entre os demais parâmetros. Propôs-se a consideração do ofuscamento como crítico sempre que o *Spatial Disturbing Glare* (sDG) for maior ou igual a 0,38 (ofuscamento perturbador) em 5% do tempo e em 5% das vistas. O estudo de caso mostrou que analisar apenas a disponibilidade de luz natural e a exposição à luz solar pode não ser suficiente para a análise da qualidade visual, já que nas salas de aula, de modo geral, o usuário não pode escolher suas direções de visão ou sua posição. Nestes ambientes, o ofuscamento passa a ser um fenômeno de análise predominante. A mitigação do ofuscamento acarretou na queda da disponibilidade da luz natural e da qualidade da vista para o exterior. No entanto, no estudo de caso, o uso de *brises* horizontais diminuíram em até 59% o número de vistas com presença de ofuscamento perturbador, garantindo a autonomia da luz natural e a vista em níveis satisfatórios. Verificou-se ainda que não foi possível atender a todos os critérios simultaneamente para o usuário sentado, e que estes devem ser priorizados em cada tipo de ambiente.

Palavras-chave: Iluminação natural. Ofuscamento. Vista exterior. NBR 15215. ClimateStudio.

ABSTRACT

Normative instruments contribute to the evaluation of spaces in a quantitative and qualitative way, and evaluations that are more centered on the health of the occupant and that encompass the dynamics of natural light have been presented in international standards. The Brazilian standard NBR 15215-3 is being revised and should incorporate these new assessments with five criteria: availability of natural light, exterior view, glare, minimum insolation and exposure to direct sunlight. In order to analyze the applicability of the new normative parameters and the interference between them, the research sought to understand the incidence of natural light, the occurrence of glare and the quality of exterior views in higher education classrooms, using as a case study the building of the Center for Didactic Activities of Exact Sciences 3, at UFMG. A dynamic simulation of natural light in the spaces was carried out using Rhinoceros software with the ClimateStudio plug-in, considering the height of the visual field of the sitting and standing user, and varying the conditions of the natural light systems, comparing: the efficiency of existing systems, windows with provisions required by standards and the configurations of windows in the daily life of users. New glare control devices were also simulated to remedy visual discomfort, seeking balance between the other parameters. It was proposed to consider glare as critical whenever the Spatial Disturbing Glare (sDG) is greater than or equal to 0.38 in 5% of the time in 5% of the views. The mitigation of glare leads to a decrease in the availability of natural light and the view to the outside. However, in the case study, the use of horizontal louvers reduces glare by up to 59%, ensuring the autonomy of natural light and the view at satisfactory levels. The case study showed that analyzing only the availability of natural light and exposure to sunlight may not be enough for the analysis of visual quality, since in classrooms, in general, users cannot choose their viewing directions or your position. In these environments, glare becomes a predominant analysis phenomenon. It was also verified that it was not possible to meet all the criteria simultaneously for the seated user, and that these should be prioritized in each type of environment.

Keywords: Daylighting. Glare. View out. NBR 15215. ClimateStudio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Corte transversal do olho humano	20
Figura 2. Dilatação muscular versus contração com base em intensidades de luz...	21
Figura 3. Dispersão de luz no olho devido ao brilho.....	22
Figura 4. Parte da retina ampliada com células fotorreceptoras e suas conexões....	23
Figura 5. Campo visual humano.....	24
Figura 6. Altura do cone de visão para adultos em pé e sentados.....	25
Figura 7. Iluminação e trabalho: estrutura conceitual das rotas que influenciam o desempenho humano.....	26
Figura 8. Iluminância difusa e global medidas, para os tipos de céu claro, intermediário e encoberto	31
Figura 9. Influência do entorno edificado nos ambientes internos.....	32
Figura 10. Impacto na luz natural interna com diferentes sistemas de sombreamento	32
Figura 11. Ilustração da luminância média da cena e das fontes de brilho	35
Figura 12: Brilho da luz do dia e taxas de contraste de luminância em um espaço ..	36
Figura 13. Fluxograma síntese da normalização em iluminação natural.....	38
Figura 14. Sala de aula com janelas nas fachadas norte e oeste, em Escola Pública de Juiz de Fora/MG.....	45
Figura 15. Sala de aula com janelas nas fachadas norte e oeste, em Escola Pública de Juiz de Fora/MG.....	45
Figura 16: sala de aula com janelas nas fachadas norte e oeste, em Escola Pública de Juiz de Fora/MG.....	45
Figura 17: sala de aula com janelas nas fachadas norte e oeste, em Escola Pública de Juiz de Fora/MG.....	45
Figura 18: sala de aula com janelas na fachada oeste, pintada com tinta na cor branca	46
Figura 19. Prateleira de luz no interior de sala de aula	47
Figura 20. Prateleira de luz coberta com papel em interior de sala de aula.....	47
Figura 21. Exemplos de imagens HDR	54
Figura 22. Resultado gráfico do DGP calculado no ClimateStudio	60
Figura 23. Ângulo de visão horizontal medido em planta.....	62
Figura 24. Aberturas vistas de uma mesma fachada	63
Figura 25. Corte esquemático para avaliação da vista no método simplificado	65
Figura 26. Posição de um objeto F visto por uma pessoa no ponto Q	66
Figura 27. Procedimento de avaliação da vista: (a) Número de camadas visíveis; (b) e (d) Imagens olho de peixe do <i>software</i> ; (c) Ângulo de visão horizontal	67
Figura 28. Resultados para cada critério de análise da Vista no ClimateStudio	68
Figura 29. Resultado gráfico de Vista analisada no ClimateStudio para EN 17037:2018	69
Figura 30. Fluxograma da metodologia da pesquisa.....	74
Figura 31. Planta-baixa do pavimento 2 do Bloco 1 do CAD 3.....	76
Figura 32. Planta-baixa do pavimento 3 do Bloco 1 do CAD 3.....	76
Figura 33. Planta-baixa do pavimento 4 do Bloco 1 do CAD 3.....	76
Figura 34. Fluxograma resumo das etapas de simulações	80
Figura 35. Árvore mais próxima à fachada norte.....	83
Figura 36. Telas perfuradas com diferentes aberturas.....	87
Figura 37. Tela perfurada 40% Hunter Douglas	87
Figura 38. Edifício do Centro de Atividades Didáticas de Ciências Exatas 3 da UFMG	

.....	92
Figura 39. Implantação do edifício CAD 3.....	94
Figura 40. Afastamento dos edifícios mais próximos ao CAD 3.....	95
Figura 41. Vista desde a passarela de ligação entre Blocos 1 e 2.....	95
Figura 42. Vista das fachadas norte e oeste do CAD 3.....	96
Figura 43. Fachada norte do Bloco 1, em perspectiva.....	97
Figura 44. Fachada norte do Bloco 1.....	98
Figura 45. Fachada sul do Bloco 1.....	98
Figura 46. Interior de sala de aula do bloco 1, do CAD 3.....	99
Figura 47. Desenho esquemático de corte na sala 201N da fachada norte.....	101
Figura 48. Desenho esquemático de corte na sala 305N da fachada sul.....	101
Figura 49. (A) Vista em perspectiva do detalhamento do <i>brise</i>	101
Figura 50. Interior da sala 407S, a partir de fotos tiradas pela autora em 29/09/2022 às 14h00.....	102
Figura 51. Interior da sala 407S, a partir de fotos tiradas pela autora em 29/09/2022 às 14h00.....	103
Figura 52. Janelas com película nas salas de aula do CAD 2.....	105
Figura 53. Interior de sala de aula do CAD 2, janelas com película.....	105
Figura 54. Planta-baixa do modelo 3D.....	106
Figura 55. Perspectiva do modelo 3D com vista da fachada sul.....	107
Figura 56. Perspectiva do modelo 3D com vista da fachada norte.....	107
Figura 57. Direções de visão com ofuscamento.....	111
Figura 58. Mapas da ocorrência de ofuscamento no ano para uma direção de visualização específica.....	112
Figura 59. Imagens esquemáticas para detecção do ofuscamento.....	113
Figura 60. Cortes esquemáticos do campo visual humano no objeto em estudo....	119
Figura 61. Compartimentação vertical (verga e peitoril) segundo o CBMMG.....	119
Figura 62. Compartimentação Vertical (Fachadas Envidraçadas).....	119
Figura 63. Vista da pessoa sentada (h=1,20 m) mais próxima à janela.....	121
Figura 64. Vistas da pessoa sentada (h=1,20 m) mais distante da janela.....	121
Figura 65. Vista da pessoa em pé (h=1,60 m) mais próxima à janela.....	122
Figura 66. Vista da pessoa em pé (h=1,60 m) mais distante da janela.....	122

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Setorização de uso dos espaços das Unidades Acadêmicas da UFMG ..96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Recomendação para exposição diária à luz solar mínima	30
Tabela 2. Níveis de E_A e $E_{A\text{ min}}$ recomendados pela NBR 15215 em edificações não residenciais	52
Tabela 3. Escala para consideração do DGI	56
Tabela 4. Classificação e escala de DGP	57
Tabela 5. Escalas para DGP encontrados por Jones.....	58
Tabela 6. Níveis de limiar $DGP_e < 5\%$ para proteção de brilho	59
Tabela 7. Parâmetros para classificação da vista	62
Tabela 8. Condições para simulação dos ambientes	78
Tabela 9. Classificação para as métricas de iluminação utilizadas	82
Tabela 10. Configuração dos parâmetros Radiance	85
Tabela 11. Dispositivos de controle de ofuscamento desenhados para o estudo	88
Tabela 12. Áreas e aberturas das salas de aulas do CAD 3	100
Tabela 13. Propriedades ópticas dos materiais.....	107
Tabela 14. Resultados das simulações em todas as salas de aula	109
Tabela 15. Luminâncias verticais no campo de visão do observador com detecção de ofuscamento.....	111
Tabela 16. Salas selecionadas para complementação de estudo.....	115
Tabela 17. Resultados das simulações para sala 403N.....	117
Tabela 18. Resultados para salas 203N, 303N e 409S.....	123
Tabela 19. Resultados gráficos da simulação da luz natural	138
Tabela 20. Luminâncias verticais no campo visual do observador que experimenta o ofuscamento.....	218
Tabela 21. Resultados gráficos da simulação da luz natural com medidas de dispositivos de controle	222
Tabela 22. Resultados gráficos da simulação da luz natural com medidas de dispositivos de controle para salas 203N, 303N e 409S	233

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: UGR.	55
Equação 2: DGI.....	56
Equação 3: DGP	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Justificativa.....	16
1.2. Objetivos	18
1.2.1. Objetivo Geral	18
1.2.2. Objetivos Específicos.....	19
1.3. Estrutura do trabalho.....	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1. Olho humano: questões fisiológicas e percepção do brilho da luz.....	20
2.1.1. Campo visual humano.....	24
2.2. O impacto da iluminação sobre o usuário	25
2.2.1. Regulação do ciclo circadiano	27
2.2.2. Acesso a vistas exteriores	28
2.2.3. Exposição à luz solar direta	29
2.3. Disponibilidade de luz natural	30
2.4. Conforto visual	33
2.4.1. Ofuscamento.....	34
2.5. Normalização em iluminação natural	36
2.6. Impacto da luz natural e das vistas em ambientes de ensino	38
2.7. Tarefas visuais em salas de aula de ensino superior.....	41
2.8. Usuário e sistemas de controle da iluminação em espaços de ensino	43
2.9. Dispositivos de sombreamento no desempenho da luz do dia, conforto visual e vista.....	47
2.10. Simulação dinâmica	48
2.11. Métricas para disponibilidade de luz natural	50
2.11.1. <i>Spatial Daylight Autonomy</i> – sDA	50
2.11.2. <i>Annual Sunlight Exposure</i> - ASE	52
2.12. Métodos de avaliação de ofuscamento em ambientes internos.....	53
2.12.1. Estudos experimentais	54
2.12.2. Imagens HDR	54
2.12.3. <i>Unified Glare Rating</i> – UGR.....	55
2.12.4. <i>Daylight Glare Index</i> – DGI	55
2.12.5. <i>Daylight Glare Probability</i> – DGP	56
2.12.6. <i>Spatial Disturbing Glare</i> – sDG	59
2.12.7. Simulação computacional	60
2.12.8. Análise dinâmica do ofuscamento.....	61
2.13. Qualificação da Vista para o exterior	61
2.14. Métodos de avaliação da vista externa em ambientes internos	64
2.14.1. Estudos experimentais.....	64
2.14.2. Método gráfico	65
2.14.3. Método de projeção	66
2.14.4. Simulação computacional	67
2.15. Diretrizes para a simulação dinâmica da luz natural e vista dos espaços.....	69
2.15.1. Modelagem dos espaços	69
2.15.2. Parâmetros de entrada num programa de simulação dinâmica.....	70
2.15.3. Camadas para análise da vista	72

2.16. Resumo.....	73
3. METODOLOGIA	74
3.1. Definição do objeto de estudo.....	74
3.1.1. Diagnóstico do estudo de caso	75
3.1.2. Definição dos espaços analisados	75
3.1.3. Verificação dos sistemas de controle da luz natural nos espaços analisados	76
3.2. Verificação da autonomia de luz do dia, exposição anual à luz solar, ofuscamento e vista	77
3.2.1. Simulação da luz natural.....	77
3.2.2. Simulação computacional no Rhinoceros com <i>plug-in</i> ClimateStudio	80
3.2.3. Modelagem dos espaços	83
3.2.4. Parâmetros de entrada para o programa de simulação	84
3.3. Tratamento de dados	86
3.4. Estudo de dispositivos de controle de ofuscamento para os problemas encontrados	86
4. ESTUDO DE CASO	92
4.1. CAD 3: apresentação do edifício.....	92
4.2. CAD 3: localização e entorno.....	94
4.3. Levantamento de dados do edifício	96
4.4. Caracterização dos espaços analisados no Bloco 1	97
4.5. Sistemas de abertura para luz natural nos espaços analisados	99
4.6. Sistemas de controle de luz natural e usuários em salas de aula na UFMG	104
5. RESULTADOS	106
5.1. Simulações de autonomia de luz do dia, exposição à luz solar direta e ofuscamento	106
5.1.1. Modelos desenvolvidos.....	106
5.2. Resultados das simulações	108
5.2.1. Resultado das simulações dos dispositivos existentes	108
5.2.2. Estudo das salas com desempenhos inferiores para ofuscamento	114
5.2.3. Resultados das simulações com novos dispositivos de controle de ofuscamento.....	115
5.3. Considerações sobre as simulações no Rhinoceros com ClimateStudio.....	124
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	126
REFERÊNCIAS.....	130
APÊNDICE.....	138
6.1. APÊNDICE A – Resultados das simulações para todas as salas	138
6.2. APÊNDICE B – Luminâncias verticais no campo de visão do observador com ofuscamento	218
6.3. APÊNDICE C – Resultados das simulações com novos dispositivos de controle para a sala 403N.....	222
6.4. APÊNDICE D – Resultados simulações com novos dispositivos de controle para salas 203N, 303N e 409S.....	233

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, no ano de 2020, o último Censo da Educação Superior registrou a existência de 2.456 instituições de ensino superior, com 8.680.354 alunos matriculados e 323.376 docentes em exercício. Na modalidade de ensino presencial, 1.277.790 estudantes ingressaram em cursos de ensino superior em 2020, sendo que esse número cresceu 36% em relação aos dez anos anteriores (BRASIL, 2022). Não se tem dados após a pandemia de COVID-19.

A iluminação natural é proveniente da luz do sol, fornecida por raios solares diretos e indiretos, retransmitidos pela abóboda celeste, pelas nuvens, pela vegetação, por edifícios ou outros corpos. A luz natural pode fornecer iluminação em quantidade significativa nos ambientes internos, conferida ainda com alta reprodução de cores e dinamismo ao longo do dia e das estações do ano (ABNT, 2023).

Espaços de ensino mais saudáveis auxiliam no desempenho de alunos e professores e o aproveitamento da luz natural com conforto visual apresenta-se como uma das alternativas para contribuir com o bem-estar dos usuários e com a redução do consumo de energia elétrica neste setor. Estudos recentes mostram a correlação entre a iluminação natural, o desempenho e a saúde dos usuários. Além de fornecer informações visuais, a luz contribui para a regulação do ritmo circadiano e influencia em aspectos não visuais, como estado de alerta, o foco mental e o desempenho cognitivo (ISLAM, 2021; MIRMORADI, 2021; SHISHEGAR, BOUBEKRI, 2016).

A ausência da luz do dia em ambientes de ensino pode contribuir para a desregulação da produção de melatonina no organismo, um dos hormônios responsáveis pela regulação do ciclo circadiano. A maior quantidade de melatonina no organismo pode causar sonolência nos usuários. Além disso, a melatonina desregulada afeta a produção de outros hormônios, podendo comprometer o desempenho cognitivo dos usuários, com a redução da atividade física e mental (BURGOS, GRIGOLETTI E PAIXÃO, 2015).

Os projetistas, responsáveis pela concepção dos sistemas e controles do edifício, possuem responsabilidade em relação ao conforto e ao desempenho energético do edifício. Para a elaboração de projetos mais adequados é necessário entender as demandas do usuário e diversos autores citam a falta de entendimento das ações

deste usuário, como o maior responsável pelo consumo de energia e por alterações no edifício, a fim de mitigar desconfortos (KEYVANFAR *et al.*, 2014).

Estudos mostram que na prática construtiva brasileira, o projeto de iluminação é iniciado quando o projeto de arquitetura está em etapas mais avançadas, o que prejudica a escolha de soluções mais eficientes para o aproveitamento da luz natural com conforto e mais eficiente para a edificação (BANDEIRA, SCARAZZATO, 2018).

As funções mais importantes das janelas são o fornecimento de luz natural e a vista para o exterior (WACZYNSKA, SOKOL, MARTYNIUK-PECZEK, 2021). Segundo Deroisy e Deneyer (2017), as aberturas devem ser dimensionadas para fornecer luz natural suficiente, vista externa e a transmitância de luz dos vidros deve ser a mais alta possível, pelo menos de 70%. Já a certificação WELL recomenda a transmitância do vidro mínima em 40% e o uso de dispositivos de sombreamento (IWBI, 2023). À medida que as pessoas passam mais tempo em ambiente internos, os sistemas de iluminação e controles de luz solar devem fornecer condições luminosas adequadas para se adaptar à demandas da dinâmica da luz natural e dos usuários desses espaços. Por isso, vidros transparentes e dispositivos de controle são primordiais nos sistemas de iluminação do edifício (DEROISY, DENEYER, 2017).

Diversos instrumentos normativos, internacionais e nacionais, têm incorporado novas métricas baseadas no clima para avaliação da iluminação natural, abarcando o caráter dinâmico dessa luz. Nesse contexto, o objeto de análise do presente trabalho é a análise da luz natural em salas de aula, conforme novos parâmetros normativos expostos na proposta de revisão da NBR 15215-3, e a proposição de medidas para mitigação do ofuscamento, de forma a garantir níveis de iluminação adequados e o acesso à vista exterior. Pretende-se compreender os sistemas de iluminação natural, as atitudes dos usuários frente aos sistemas de controle desta e as necessidades dos ambientes de ensino. Espera-se ainda entender a dinâmica da direção visual do observador no ofuscamento, averiguar a exequibilidade da nova norma e compreender como os parâmetros para qualificação da luz do dia se tangenciam.

1.1. Justificativa

O presente trabalho apresenta como objeto de estudo a iluminação natural e a avaliação conforme novos parâmetros normativos colocados pela proposta de revisão

da NBR 15215-3. A norma brasileira NBR 15.215-3 (Iluminação Natural Parte 3: Procedimentos para avaliação da iluminação natural em ambientes internos) está em processo final de revisão. A autora da pesquisa participa da Comissão de Estudo de Iluminação Natural de Edificações - CE-002:135.002 da ABNT, responsável pelo processo de atualização da norma. A revisão da norma visa a incorporação de novas métricas relativas à luz do dia e, segundo a versão de março de 2023 da NBR 15.215-3, a avaliação da luz natural em espaços internos deve considerar a disponibilidade de luz natural, a vista para o exterior, a avaliação da necessidade de proteção contra o ofuscamento, a exposição à luz solar direta máxima e a insolação mínima. A insolação mínima deve ser analisada para climas frios, em ambientes voltados para a saúde, educação (como hospitais e escolas infantis) e residências, sendo essa última não aplicável ao objeto dessa pesquisa. A norma pontua ainda que, ao contrário, em ambientes com atividades de leitura e escrita, a insolação direta deve ser controlada e a distribuição da luz difusa deve ser pensada para redução do desconforto visual (ABNT, 2023).

O estudo compreende análise das novas métricas propostas, tomando como estudo de caso salas de aula de ensino superior, haja vista uma necessidade de entender a dinâmica das atividades que esses ambientes abarcam com preocupações de garantia da disponibilidade da luz natural, a sensibilidade destes ambientes à ocorrência do ofuscamento provocado pela luz do dia, a exposição à luz solar e o desconforto visual, e da vista para o exterior nesses espaços. A provisão de luz solar direta não foi tratada no estudo porque a norma brasileira a recomenda para climas frios, em espaços de saúde, de educação infantil e residenciais. Notou-se em uma primeira abordagem do assunto, a precariedade de estudos que abarquem a dinâmica do campo de visão e das posições experimentadas pelos usuários em ambientes de ensino, para a compreensão da ocorrência de situações em que há ofuscamento. O objetivo da pesquisa, então, foi o de analisar a iluminação natural em salas de aula a partir das novas métricas apresentadas na revisão da NBR 15215-3 e propor medidas para mitigar o desconforto visual, com equilíbrio entre os parâmetros normativos.

Para isso, fez-se necessário entender: o processo da visão e os sistemas que esse abarca na fisiologia humana; o impacto da luz natural sobre o usuário; os instrumentos normativos nacionais e internacionais, que norteiam o uso da luz natural; o comportamento do usuário frente aos sistemas de iluminação; a influência de

dispositivos de sombreamento no desempenho da luz do dia e da vista para o exterior; as métricas e os parâmetros de simulação da iluminação natural; o conforto visual e o ofuscamento; as grandezas do ofuscamento, os fatores que influenciam sua ocorrência; as questões relativas à vista externa; métodos e técnicas para análise da luz natural; as dinâmicas visuais em salas de aula; o impacto da luz natural e da vista exterior nos usuários de ambientes de ensino; as tarefas visuais em salas de aula de ensino superior.

Parte-se da premissa de que os professores são os usuários sujeitos a maior incômodo visual no ambiente de sala de aula, visto que sua posição e as direções do seu campo de visão dentro de salas de aula variam a fim de dedicar sua atenção a alunos em diversas posições no espaço. Já os alunos normalmente têm sua atenção voltada ao professor e ao quadro, ponto focal na sala, tendo esses a opção de se virar de costas para as janelas ou mudar de posição quando experimentam a ocorrência de ofuscamento devido à luz natural.

A pesquisa tem como o estudo de caso o Centro de Atividades Acadêmicas e Ciências Exatas 3 da UFMG (CAD 3), localizado no campus Pampulha, na cidade de Belo Horizonte. O estudo se organiza no anseio de ampliar os conhecimentos sobre disponibilidade de luz natural, ofuscamento e vista, contemplando a constante variação do campo visual humano em direção e a dinâmica das atividades visuais em espaços de ensino na avaliação do desconforto por ofuscamento causado pela luz do dia. Espera-se ampliar noções da dinâmica da luz natural e a análise dos cenários que geram desconforto no uso da mesma, e das atividades visuais e demandas dos espaços de ensino, com conhecimentos que possam ser incorporados ao projeto e uso do edifício, para contribuir com a saúde e desempenho dos usuários. Além disso, espera-se avaliar a aplicabilidade dos instrumentos normativos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Analisar a iluminação natural em salas de aula a partir das métricas colocadas pela NBR 15215-3¹ e propor medidas para mitigar o ofuscamento mantendo níveis

¹ A NBR 15215-3 passou por revisão entre os anos de 2021 e de 2022 junto ao CB002 da ABNT e atualmente encontra-se em fase final de revisão para ser submetida à consulta pública.

adequados de iluminação e acesso à vista.

1.2.2. Objetivos Específicos

A pesquisa tem como objetivos específicos:

- 1 – Compreender, através de revisão da literatura, a dinâmica das atividades visuais que ocorrem em salas de aula de ensino superior e o comportamento de professores e alunos em relação ao sistema de iluminação;
- 2 - Discutir as questões ligadas à incorporação da luz natural em salas de aula de ensino superior;
- 3 - Compreender a influência das vistas externas nos ambientes de ensino;
- 4 - Investigar a influência da geometria dos elementos arquitetônicos na constatação do ofuscamento e da qualidade da vista externa;
- 5 - Propor estratégias para a mitigação de possíveis desconfortos com a garantia da qualidade da luz, segundo novos parâmetros normativos da NBR 15215-3.

1.3. Estrutura do trabalho

O trabalho é composto por cinco capítulos. Este primeiro capítulo traz introdução do tema, justificativa, objetivos e a descrição da estrutura da pesquisa. O segundo capítulo traz a revisão bibliográfica e fundamentações teóricas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa, reunindo temas como a visão humana, saúde e comportamento do usuário, impacto da iluminação sobre o usuário, espaços de ensino e atividades visuais, dispositivos de sombreamento no desempenho da luz do dia e da vista, métricas e métodos para análise da luz natural, da exposição À luz solar direta, do ofuscamento e da vista. O terceiro capítulo contempla a metodologia, com definição das etapas exploratórias, desde a caracterização do objeto de estudo, métodos e técnicas aplicadas na pesquisa. O quarto capítulo contempla a exposição dos resultados do capítulo anterior. Por fim, o quinto capítulo faz as considerações finais, concluindo toda a pesquisa, pontuando as dificuldades encontradas e com sugestões para pesquisas futuras.

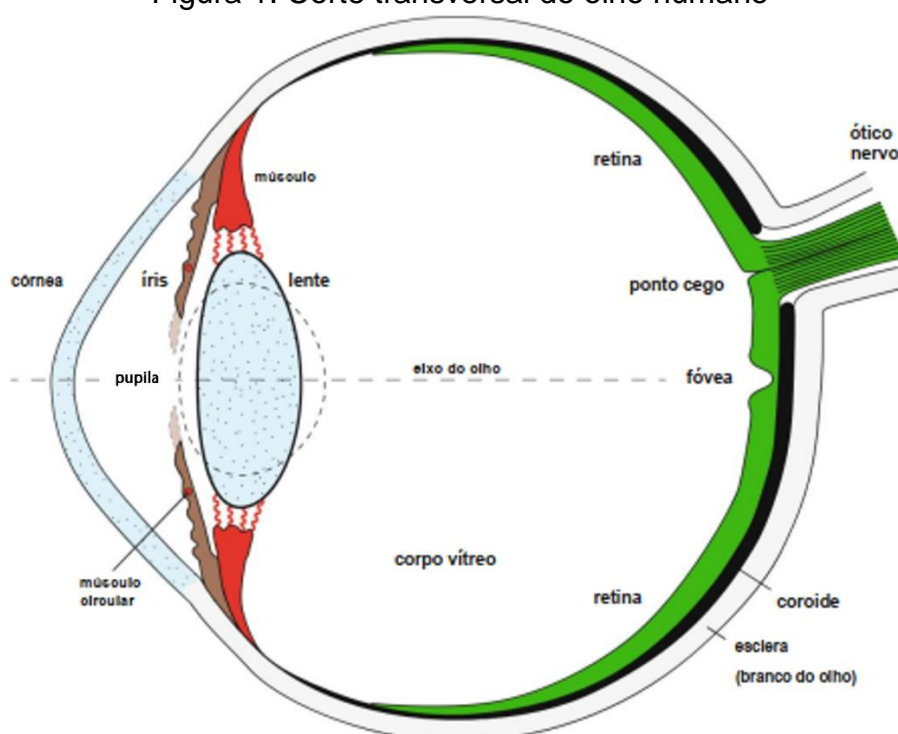
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Olho humano: questões fisiológicas e percepção do brilho da luz

Para entender a relação entre iluminação e atividades de trabalho, deve-se antes compreender as rotas pelas quais a iluminação pode afetar o desempenho visual humano. São três as rotas: através do sistema visual, através do sistema circadiano e através do sistema perceptivo. O efeito da iluminação na visão é o impacto mais óbvio da luz nos humanos (BOYCE, 2003). O efeito no sistema circadiano e no sistema perceptivo, também chamados de efeitos não visuais da luz, serão discutidos no tópico 2.2, em “O impacto da iluminação sobre o usuário”.

O sistema visual é um sistema de processamento de imagens (BOYCE, 2003) que utiliza processos fotomecânicos, fotoquímicos e fotoelétricos. A palavra “foto” alude ao fato de que a luz controla esses processos. Os processos fotomecânicos acontecem no próprio olho, com as alterações da pupila e da lente do olho. Processos fotoquímicos e fotoelétricos acontecem nas células fotorreceptoras, situadas na retina do olho. Esses processos são fundamentais para conduzir mensagens desses fotorreceptores para a área do cérebro onde a sensação visual é evocada. Os efeitos visuais de iluminação resultam desses processos (BOMMEL, 2019).

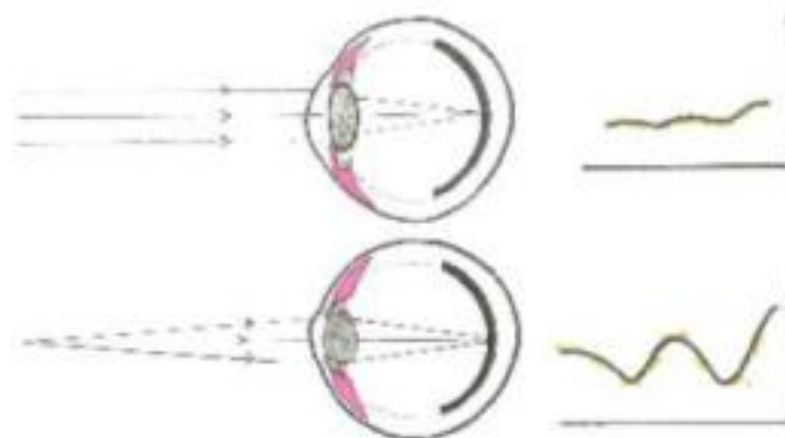
Figura 1. Corte transversal do olho humano



Fonte: BOMMEL, 2019. Adaptado pela autora.

A Figura 1 mostra um corte transversal do olho. A camada externa do olho, a esclera, é formada por um tecido branco duro, responsável pela rigidez do globo ocular. A projeção frontal desse tecido, que é sua parte translúcida, é chamada de córnea. A luz penetra no olho pela córnea e é conduzida pela íris, uma espécie de diafragma circular, responsável por determinar a cor do olho. A fresta da íris é conhecida como pupila. Um músculo circular que cruza a íris é capaz de alterar o tamanho da pupila. Essa alteração do tamanho da pupila é influenciada pela quantidade de luz que entra no olho e consiste em um dos mecanismos de adaptação a diversos níveis de luz. A lente do olho, na porção frontal, projeta uma imagem invertida na retina, localizada na parte de trás do olho. A lente pode variar de tamanho devido a um sistema de músculos, conforme a distância do objeto. Ela assume um formato mais plano quando a distância do objeto é maior, e um formato mais esférico quando essa distância é menor. Esse mecanismo de ajuste é chamado de acomodação (Figura 2). Internamente, a lente possui fibras transparentes com proteínas de cristalino. O corpo vítreo é toda a área atrás da lente, composta por um gel incolor constituído por 99% de água, responsável por pressionar a retina e mantê-la no lugar. É na retina que a imagem projetada é convertida em atividade neural. Atrás da retina encontra-se a coroide, responsável por absorver a luz que não é transformada em atividade neural, evitando a reflexão interna perturbadora da luz dentro do olho (BOMMEL, 2019).

Figura 2. Dilatação muscular versus contração com base em intensidades de luz

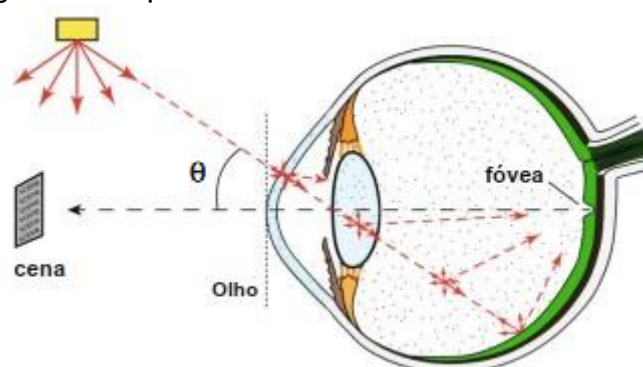


Fonte: ALAQTUM, 2020.

A perda do desempenho visual, conhecida como ofuscamento inabilitador, ocorre mais frequentemente sob condições de iluminação externa, mas também a partir de fontes de brilho pontuais ou intensas em ambientes internos (ABNT, 2013). O

ofuscamento inabilitador ocorre com a dispersão de luz dentro do olho do observador. A Figura 3 ilustra como isso acontece. Ao avistar uma cena iluminada, uma imagem é gerada na retina do olho. Ao mesmo tempo, a luz é espalhada na córnea, na lente e no globo ocular. Parte dessa luz espalhada é redirecionada para a fóvea, na retina, onde atua como brilho velador no campo de visão. Esse brilho velador tem um efeito duplo, positivo e negativo. Ele aumenta a luminância de adaptação do olho, melhorando a sensibilidade do olho ao contraste. No entanto, o brilho velador diminui o contraste dos objetos através do efeito de mascaramento do brilho e esse efeito é maior do que o efeito positivo do aumento da luminância de adaptação. A ocorrência desse brilho velador depende da iluminância no olho e do ângulo entre a direção de visão e a direção da incidência da fonte de brilho (BOMMEL, 2019).

Figura 3. Dispersão de luz no olho devido ao brilho

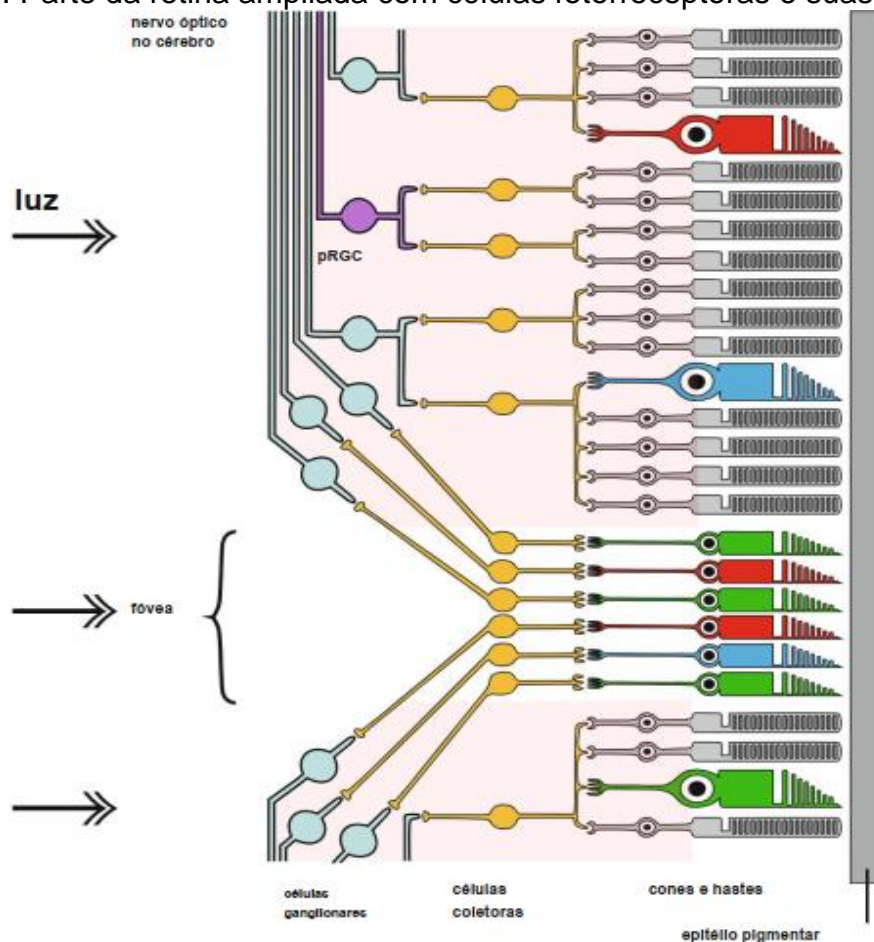


Fonte: BOMMEL, 2019. Adaptado pela autora.

Já o ofuscamento conhecido como desconfortável está mais presentes em cenas internas, e esse acontece no processamento das células ganglionares dentro do sistema visual. A retina é um tecido fino, formado por várias camadas diferentes. A Figura 4 mostra suas principais camadas de forma ampliada. Na parte de trás da retina está localizada a camada de células fotorreceptoras, categorizadas em dois tipos: cones e bastonetes, diferenciados por função e geometria. Os bastonetes são responsáveis pela visão em presença de pouca luz. Os cones são responsáveis pela visão de cores e detalhes. O olho humano possui de 5 a 6 milhões de cones e de 100 a 120 milhões de bastonetes. A parte externa das células fotorreceptoras possui placas finas de membrana que possuem moléculas de fotopigmento, chamadas de opsinas. As extremidades dos fotorreceptores se ligam com a camada do epitélio pigmentar, responsáveis pela ligação com as moléculas fotossensíveis. Estimuladas pelo epitélio pigmentar, as opsinas absorvem fótons de luz e desencadeiam reações

químicas, modificando eletricamente a célula fotorreceptora. Esse processo é denominado de fototransdução. O resultado são sinais elétricos conduzidos para as células ganglionares. Depois de um processamento primário, o nervo óptico encaminha esses sinais para o cérebro, para a área do córtex visual, onde são processados em sensação de luz e cor (BOMMEL, 2019).

Figura 4. Parte da retina ampliada com células fotorreceptoras e suas conexões



Fonte: BOMMEL, 2019. Adaptado pela autora.

A visão de cores é permitida por três tipos de cones: um com sensibilidade para o azul, outro para o verde e outro para o vermelho (Figura 4). Os cones ficam localizados em maior número na fóvea. Na área periférica localizam-se os bastonetes e poucos cones. Cada cone na fóvea possui conexão direta com o nervo óptico e o cérebro, o que explica a visão de alta acuidade. Já na área periférica, várias células juntas se convertem em um sinal para o cérebro, justificando a visão de baixa acuidade.

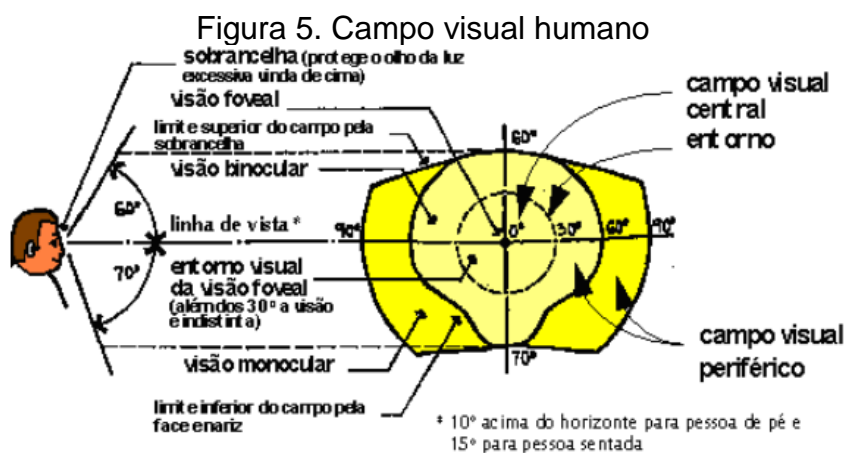
Quando um ftopigmento assimila um fóton, a cor do fotorreceptor branqueia e ele fica indisponível temporariamente. Quando muitos ftopigmentos são branqueados, devido à altos níveis de luz, a absorção dos fótons cai e a célula fica menos ativa. Os

bastonetes são mais sensíveis à luz do que os cones. Se os bastonetes continuassem ativos com altos níveis de iluminação, o resultado seria a percepção de um forte brilho indesejado. Ao diminuir o nível de luz, uma reação química reversa reativa os fotorreceptores. Esse é um processo muito lento. Por isso, a adaptação à níveis de iluminação discrepantes pode levar minutos. A transformação bem-sucedida da luz em sinais para o cérebro depende do nível de luz ao qual os olhos estão adaptados. O brilho tem muito a ver com transições claro-escuro (BOMMEL, 2019).

Os bastonetes funcionam na faixa de 10^{-6} a 10 cd/m^2 . Já os cones funcionam na faixa de $0,03$ a 108 cd/m^2 . Os bastonetes funcionam na faixa escotópica, enquanto os cones funcionam na faixa fotópica. Os bastonetes e cones ficam ativos, com funções sobrepostas, na faixa entre $0,03$ a 10 cd/m^2 , que é a chamada faixa mesópica. Por isso, o olho pode perceber uma grande escala de níveis de luminância e iluminância, podendo perceber valores de luminância na faixa de 10^{-6} a 108 cd/m^2 e valores de iluminância de $0,01$ a 10.000 lux (ALAQTUM, 2020).

2.1.1. Campo visual humano

A visão binocular humana compreende o campo visual vertical dentre os ângulos de 60° na parte superior, com limite da testa, e de 70° na parte inferior, delimitada pela face. Os ângulos de 30° na vertical, superior e inferior, compreendem o campo médio de visão nítida. O campo visual horizontal é formado pelos ângulos de 30° , sendo esse de visão imediata (campo visual central), 60° de visão média (entorno do campo central) e 90° compreendido pela visão periférica (de visão binocular e monocular) (EGAN, 1983; BOYCE, 2003).

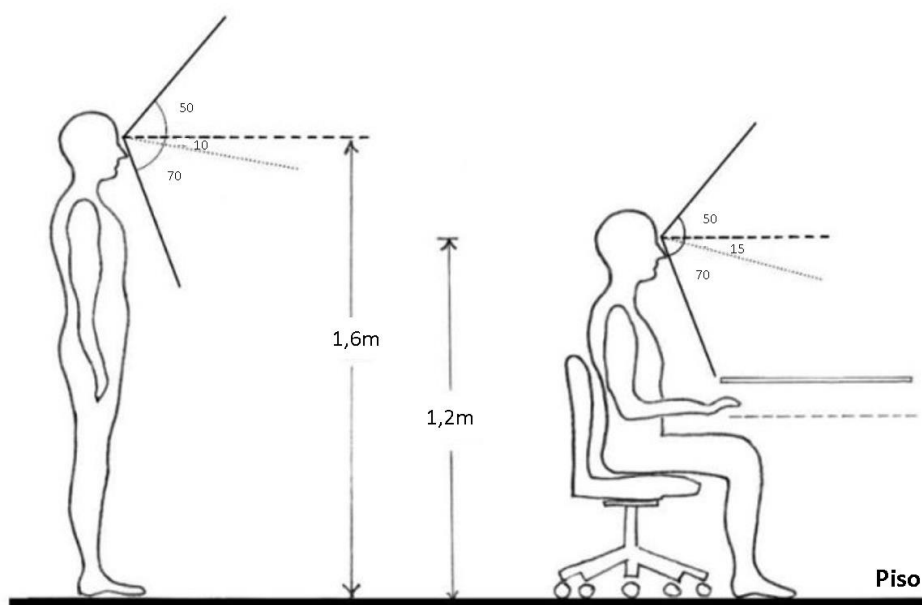


Fonte: EGAN, 1983. Adaptado pela autora.

A Figura 5 ilustra o campo visual humano. A análise da vista envolve uma série de raios da posição do olho de uma pessoa dentro de um cone de visão de 120 graus (Figura 5). As áreas coloridas em amarelo mais forte, são visíveis a apenas um olho (BOYCE, 2003).

Baseado em estudos da população dos Estados Unidos, a altura média padrão dos olhos de um adulto em pé é de aproximadamente 1,60 m, e para um ser humano sentado, é de cerca de 1,20 m (ERGOTRON, 2014). A Figura 6 ilustra as diferentes alturas dos olhos, em pé e sentado.

Figura 6. Altura do cone de visão para adultos em pé e sentados



Fonte: ALAQTUM, 2020. Adaptado pela autora.

Para análise de ocorrência de ofuscamento todos os ângulos de visão devem ser considerados, entendendo que a pessoa pode mudar a direção e o ângulo de sua visão.

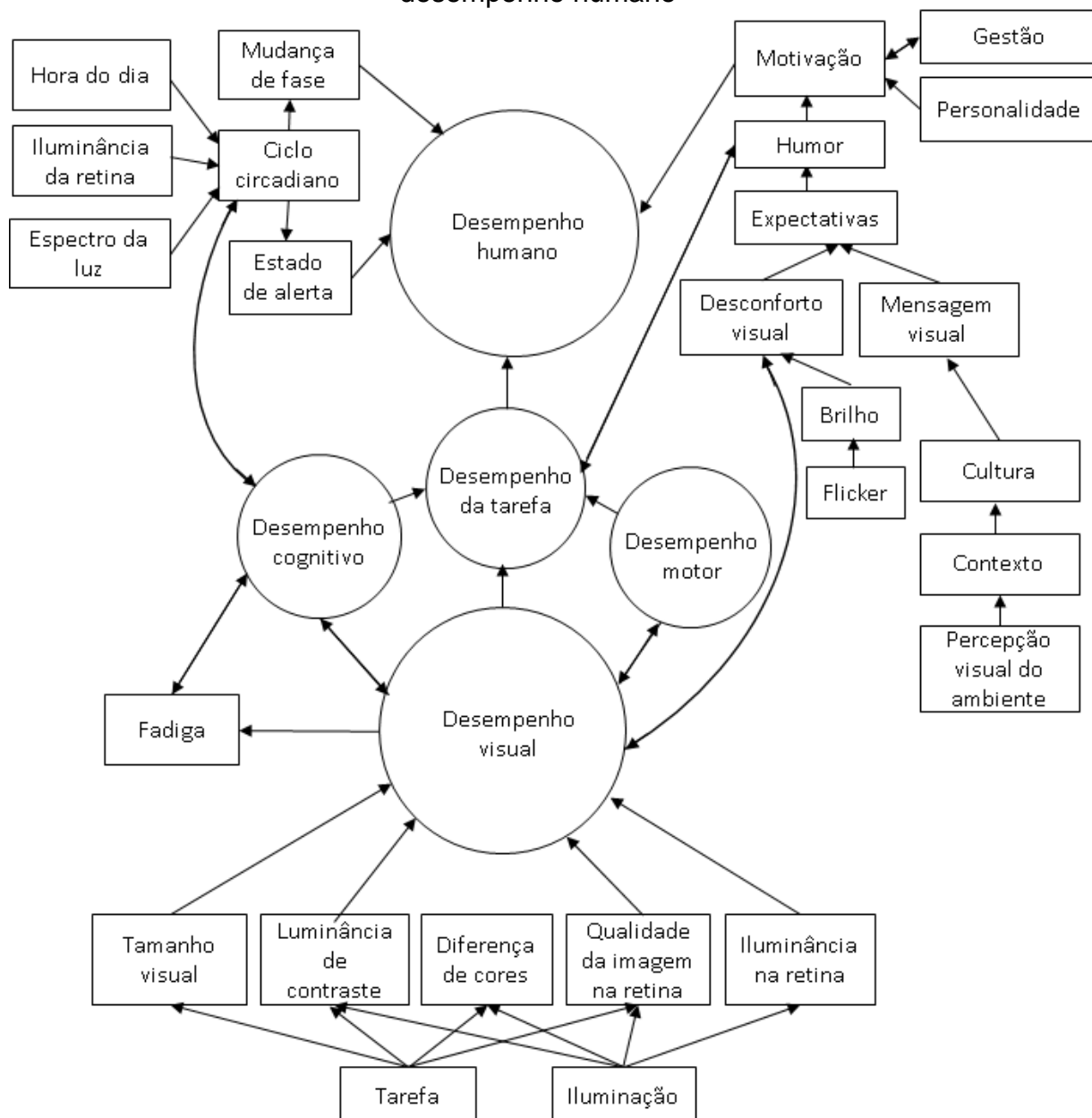
2.2. O impacto da iluminação sobre o usuário

Ambientes internos adequados e saudáveis exigem condições ambientais que garantam o conforto térmico, acústico e visual aos usuários. A falta de um desses fatores pode afetar significativamente na saúde e no desempenho dos usuários (BURGOS, GRIGOLETTI, PAIXÃO, 2015).

Boyce (2003) afirma que, para entender o impacto da iluminação no homem, é necessário identificar as rotas pelas quais a luz pode afetar o desempenho humano.

Conforme mencionado no tópico 2.1, ele classifica as rotas em três: através do sistema visual, através do sistema circadiano e através do sistema perceptivo. Na Figura 7 ele mostra uma estrutura conceitual para considerar os fatores que influenciam o progresso em cada rota e as interações entre elas. As setas no diagrama indicam a direção do efeito.

Figura 7. Iluminação e trabalho: estrutura conceitual das rotas que influenciam o desempenho humano



Fonte: BOYCE, 2003. Adaptado pela autora.

Nota-se que os três sistemas interferem mutuamente em todo o processo visual humano (Figura 7). O impacto da luz no sistema visual é o efeito mais óbvio para

humanos. O sistema visual é o responsável pelo processamento das imagens, afinal, “com luz podemos ver, sem luz não podemos” (BOYCE, 2003). Os estímulos ao sistema visual são definidos em cinco parâmetros: tamanho visual, (consiste no tamanho do objeto visto, medido pelo ângulo sólido que o objeto forma com o olho), contraste de luminância, diferença de cor, qualidade da imagem e iluminância na retina. Para Boyce (2003), esses parâmetros são importantes para mostrar até que ponto a visão pode detectar o estímulo. Nota-se que, no sistema visual, a iluminação impacta diretamente no desempenho cognitivo, de tarefa e motor.

“A qualidade do desempenho visual com a luz depende da qualidade do sistema de visão, da qualidade da iluminação e da dificuldade da tarefa visual” (BOMMEL, 2019). A complexidade da tarefa visual é ditada por suas propriedades físicas, como tamanho e contraste, e o tipo de desempenho preciso, como detecção ou reconhecimento. Medidas como velocidade e precisão no desenvolvimento da tarefa podem indicar a qualidade do desempenho visual.

Shishegar e Boubekri (2016) afirmam que a presença da iluminação natural aumenta a conexão com a natureza e pode melhorar o humor dos ocupantes do edifício. Dentre os benefícios da luz natural, os autores destacam, fisicamente, a melhora dos níveis de vitamina D, do sistema visual, do ciclo circadiano e da qualidade do sono, e a redução da possibilidade de câncer e de anormalidades da formação óssea. Psicologicamente, citam a melhora do humor, das atividades mentais, do estado de alerta e da atividade cerebral, e a diminuição da depressão, do estresse, da tristeza e do comportamento violento.

2.2.1. Regulação do ciclo circadiano

Estudos emergentes evidenciam a influência da iluminação em repostas fisiológicas que vão além do desempenho visual, chamadas de estímulos não visuais, como a regulação do ciclo circadiano e efeitos de alerta (SAFRANEK *et al.*, 2020). O ciclo circadiano é o ciclo do relógio biológico humano, e remonta ao período aproximado de 24 horas, influenciado principalmente pela luz percebida, especialmente pelo comprimento de onda curto da luz (ACOSTA *et al.*, 2019). Efeitos biológicos e comportamentais, propiciados por estímulos não visíveis da luz do dia, são influenciados por um tipo de células ganglionares fotossensíveis da retina, chamadas

ipRGCs, que possuem melanopsina (EZPELETA *et al.*, 2019).

A iluminação natural tem impacto na regulação da melatonina, produzida pela glândula pineal. A supressão da melatonina é também conhecida como estímulo circadiano (*circadian stimulus* - CS), principal responsável pela sincronização do ritmo circadiano, capaz de afetar o sono, a atenção e demais funções biológicas humanas. Por isso, a luz do dia é ideal para promover a regulação do ciclo circadiano, se fornecida com conforto, em quantidade, espectro e duração adequados para a contribuição dos ciclos biológicos. O rompimento desse ciclo contribui para a morbidade, depressão e outras doenças mentais (ACOSTA *et al.*, 2019). Em um estudo onde mediram o estímulo circadiano em salas de aula, Acosta *et al.* (2019), concluíram que dentre as variáveis mais influentes na promoção de um bom estímulo circadiano estão as refletâncias internas das superfícies do ambiente, bem como a distribuição espectral da fonte de luz.

A proposta de revisão da NBR 15215-3 menciona formas de se quantificar a luz como estímulo não visual, chamado também de potencial circadiano. A norma recomenda a avaliação através da resposta espectral dos fotopigmentos nos bastonetes, cones e ipRGCs; e através da avaliação da supressão noturna do hormônio melatonina. Este estudo, no entanto, não será abarcado no presente trabalho que está focado nos efeitos visuais da luz. A revisão sobre o tema visa, no entanto, justificar a importância da presença de sistemas de iluminação natural em sala de aula.

2.2.2. Acesso a vistas exteriores

A norma brasileira 15215-3 (2023), define a vista exterior como o contato visual que o observador faz com o ambiente externo através de uma abertura na fachada, capaz de fornecer informações a respeito da paisagem, das condições do tempo ao longo do dia e do clima. A mudança de cenário e de foco possibilita descanso e relaxamento para os ocupantes do espaço (ABNT, 2023).

O contato visual com o espaço externo melhora o relacionamento com o ambiente em que se está inserido, gerando uma sensação de bem-estar. Quek *et al.* (2021) afirmam que:

As janelas nos edifícios e as possibilidades que trazem de vistas para o exterior têm sido associadas à satisfação, mitigação do estresse e

aumento da produtividade dos usuários. Além de ser fonte de iluminação, a luz do dia em espaços internos está fortemente ligada à aspectos fisiológicos, como regulação dos ciclos circadianos do homem e a indução do estado de alerta (tradução nossa).

Diversos estudos identificaram a importância de estabelecer uma conexão visual com o ambiente externo. Dentre esses, benefícios associados com recuperação pós-operatória mais rápida e melhora de tratamentos de saúde foram demonstrados (DEROISY, DENEYER, 2017).

Segundo a NBR 15215-3 (ABNT, 2023) a vista para o exterior é preferível quando: possui elementos naturais, comparada a elementos construídos; possui diversidade e dinamismo, comparada à cenas de monotonia; é ampla e distante. A proposta de norma indica ainda que as vistas para o exterior devem alcançar o máximo de usuários, independente de idade, altura ou limitações de mobilidade, afirmando que o usuário prefere sentar-se próximo à janelas para olhar para fora e que esse é um dos fatores que lhe causam bem-estar no interior dos espaços.

2.2.3. Exposição à luz solar direta

A exposição à radiação solar apresenta benefícios à saúde humana como a síntese de vitamina D, redução da pressão arterial, supressão de doenças autoimunes e sensação de bem-estar (DEROISY e DENEYER, 2017). Dependendo da função dos espaços, a provisão de luz solar direta é desejável em espaços internos em períodos frios. Uma insolação mínima - exposição mínima à luz solar - deve ser garantida em edificações residenciais, em pelo menos um ambiente, e em edificações de cuidados da saúde e educação, como hospitais, creches e escolas infantis (ABNT, 2023).

A proposta de revisão NBR 15215-3 recomenda a exposição à luz solar direta por um período de tempo, classificado em níveis, para ambientes específicos, conforme a Tabela 1. Essa exposição deve ser verificada entre os dias 1º de agosto e 21 de setembro, entre 7 e 17 horas, em locais situados nas zonas bioclimáticas de 1 e 2, conforme a NBR 15.220-3:2005 (Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social).

Tabela 1. Recomendação para exposição diária à luz solar mínima segundo a NBR 15215-3

Nível de recomendação para exposição à luz solar	Exposição à luz solar
Nível I	1,5 horas
Nível II	3,0 h
Nível III	4,0 h

Fonte: ABNT, 2023.

No entanto, a penetração excessiva de luz solar no interior dos edifícios é um risco potencial de desconforto visual, como a ocorrência do ofuscamento, no interior de ambientes de trabalho. Para isso, recomenda-se que os ocupantes de um edifício tenham acesso a estratégias de controle para bloquear a luz solar direta e dirimir os efeitos dessa, que podem ser através de cortinas, persianas, toldos, vidros de controle solar ou outros dispositivos móveis (IESNA, 2012). Para prever o desconforto visual causado pela exposição solar à luz direta, a LM-83-12 faz recomendações quanto ao máximo de exposição a ser tolerada em espaços internos, através da métrica ASE (*Annual Sunlight Exposure*) que será exposta no tópico 2.11.2.

Tem-se também que pode ocorrer ofuscamento devido ao efeito de contraste e que pode ser potencializado pela exposição solar direta. Segundo Boyce (2003) estudos mostraram que quando os valores de contraste de luminância são inferiores a 40%, o tempo de desempenho da tarefa é afetado, desencadeando na perda de velocidade e precisão na execução de tarefas. No entanto, valores muito elevados podem também desencadear o ofuscamento ou reflexões desconfortáveis aos usuários.

2.3. Disponibilidade de luz natural

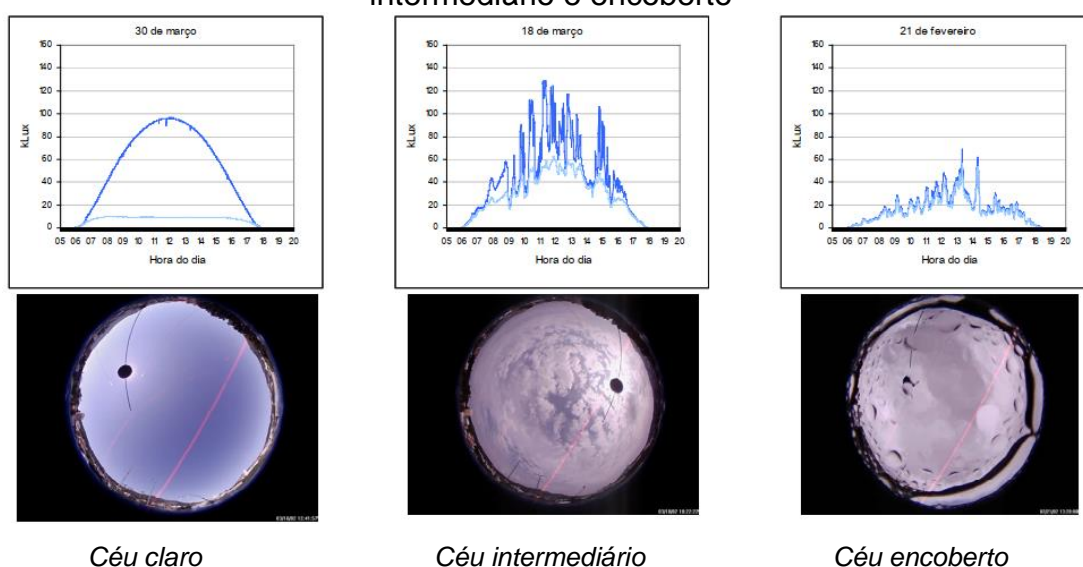
A luz natural deve iluminar espaços durante uma fração significativa das horas anuais durante o ano. A provisão de luz natural depende, em primeiro lugar, da disponibilidade da luz natural externa e, posteriormente, do entorno do edifício, dos componentes imediatos ao redor da abertura e da configuração dos espaços interiores (CEN, 2018).

Entre os parâmetros que influenciam o desempenho da iluminação natural, estão clima, latitude, obstruções e reflexões do local, propriedades dos materiais, aberturas para o exterior do edifício e elementos de sombreamento. As condições climáticas

predominantes no local determinam as pré-condições gerais para o projeto de iluminação em termos de disponibilidade de luz e conforto visual (VELUX, 2022).

Ao medir as iluminâncias de diferentes tipos de céu, na Estação de Medição de Iluminação Natural de Florianópolis, em 2001, Souza e Pereira (2003) demonstraram a influência de diferentes tipos de céu nos níveis de iluminação. Os autores encontraram que a iluminância global de um céu encoberto é da ordem de 30.000 lux, para céu claro varia de 10.000 a 100.000 lux, tendo o céu parcialmente encoberto valores intermediários entre 40.000 a 120.000 lux. A Figura 8 apresenta os resultados.

Figura 8. Iluminância difusa e global medidas, para os tipos de céu claro, intermediário e encoberto



Fonte: SOUZA, PEREIRA, 2003.

A latitude determina a altitude solar para as horas do dia e do ano e define a duração do dia e a disponibilidade do sol em diferentes épocas do ano. A elevação solar máxima e mínima dependerá da latitude do local. Ao se afastar da linha do equador em direção ao norte ou ao sul, a diferença entre verão e inverno aumenta à medida que as latitudes aumentam. Nas cidades com latitudes menores, a duração da noite e do dia são semelhantes. Já as cidades localizadas em latitudes maiores têm maior variação das horas do dia e da noite, com dias mais longos no verão e noites mais longas no inverno (GUIDI, 2016; VELUX, 2022).

O entorno edificado e a topografia do terreno são fatores importantes na disponibilidade de luz natural. Obstruções de elementos vizinhos (edifícios, vegetação, superfície do solo, etc.) e as reflexões externas influenciarão na

quantidade de luz que chega no interior de um edifício, conforme situações mostradas como exemplo na Figura 9 (GUIDI, 2016; VELUX, 2022).

Figura 9. Influência do entorno edificado nos ambientes internos



Fonte: VELUX, 2022.

Elementos externos que compõem a construção do próprio edifício e o entorno construído podem aumentar a incidência de luz natural no interior das edificações, influenciada pelas condições climáticas do local. Carvalho e Cabús (2020) afirmam que proteções solares instaladas junto às esquadrias reduzem consideravelmente o fator de céu, mas aumentam a quantidade de luz refletida, resultando em maior disponibilidade de luz natural no interior dos edifícios. Superfícies externas como solo, edifícios construídos e dispositivos de proteção solar, considerando seus materiais, refletâncias, dimensões e disposição, são convertidos em fontes de luz para espaços internos. Os autores afirmam que as componentes de céu refletidas e as reflexões de edifícios do entorno podem ser a principal contribuinte nas iluminâncias internas onde fatores de céu são diminuídos devido à necessidade de proteção solar das aberturas e em cânions urbanos de grande altura.

Os elementos de sombreamento e proteção solar, internos ou externos, são fundamentais para o desempenho da iluminação natural com conforto e irão influenciar na iluminação que chega no interior dos espaços. A Figura 10 ilustra a influência de dispositivos de controle solar acoplados às aberturas (VELUX, 2022).

Figura 10. Impacto na luz natural interna com diferentes sistemas de sombreamento



Fonte: VELUX, 2022.

A correta especificação das esquadrias voltadas para o exterior do edifício é fundamental para uma adequada incidência da luz do dia nos espaços internos. A orientação, dimensão e transmissividade dos vidros das aberturas do ambiente influenciam diretamente na disponibilidade de luz do dia nos espaços internos. As propriedades dos materiais internos também irão influenciar na incidência da luz natural nesses espaços. A cor e a refletância das superfícies de um espaço interferem em todo sistema de iluminação. Superfícies escuras refletem menos luz, enquanto superfícies claras refletem mais luz.

2.4. Conforto visual

O conforto visual em espaços internos é um dos principais elementos que contribuem para a satisfação dos usuários, junto a outras qualidades ambientais internas, como condições térmicas, qualidade do ar e ambiente acústico (QUEK *et al.*, 2021). O uso da luz natural é desejável nos espaços internos, mas essa deve ser fornecida com precaução, já que a luz em excesso ou mal distribuída pode gerar brilhos em demasia, perturbações e perda de visibilidade ao usuário, além de ganhos desnecessários de calor. O ofuscamento desconfortável e o ofuscamento inabilitador estão entre as principais preocupações de conforto visual.

O conforto visual pode ser definido como uma relação entre a iluminação e a visibilidade tendo como objetivo o desenvolvimento das atividades com maior acuidade visual, menor esforço e sem prejuízos à vista (LAMBERTS, PEREIRA, DUTRA, 2014).

Segundo Jakubiec e Reinhart (2015), o layout dos espaços internos exerce grande influência no conforto visual dos espaços, pois o desconforto visual depende da direção de visualização do observador.

Não foi encontrado na revisão da literatura, até o momento, um consenso sobre os valores limites de luminância que podem identificar conforto ou desconforto visual pela presença de brilho. Ademais, alguns autores afirmam que, apesar de estudados experimentalmente, esses limites não podem ser fixados, pois não podem ser atribuídos apenas a luminância vertical percebida pelo olho humano, mas devem ser avaliados no conjunto dos demais termos presentes na métrica que esteja sendo utilizada (Pierson, Wienold, Bodart, 2014; Quek *et al.*, 2021).

Ainda assim, Suk (2019) afirma que a taxa de contraste de limiar aceitável, entre a luminância da tarefa e luminância geral, é de 1:11,7, e que sensações de ofuscamento perturbador e intolerável podem ocorrer quando um valor de luminância excede 2.420 cd/m², para direção de visão paralela às janelas, sendo essa taxa mais alta do que para direção de visão perpendicular às aberturas.

Baker *et al.* (2002) apontam que as taxas de contraste limites para o conforto visual são de 1:3 para a área da tarefa próxima, e de 1:10 para o ambiente geral. Quek *et al.* (2021) comentam que para tarefas, o brilho no campo de visão é identificado quando a luminância do entorno excede cinco vezes a área da tarefa, ou estão acima de um limite de luminância de 2.000 cd/m².

Em um estudo experimental realizado em salas de aula, Jakubiec e Reinhart (2015) propuseram o conceito de conforto visual de longo prazo, a fim de investigar os efeitos do tempo de exposição ao ofuscamento no conforto dos ocupantes. Os estudiosos afirmam que a duração da exposição ao ofuscamento afeta a qualidade visual dos usuários, e que mais estudos com tipologias funcionais diferentes são necessárias para validação do conceito. Sobretudo, os autores ressaltam quatro maneiras principais de desconforto visual experimentados pelos participantes nas salas de aula: o ofuscamento desconfortável, o contraste insuficiente do monitor do computador, a visibilidade direta do sol e a luz solar direta no plano de trabalho.

2.4.1. Ofuscamento

O ofuscamento é uma perturbação visual causada pela presença de brilho no campo de visão de luminâncias mais altas do que a luminância à qual os olhos estão adaptados, podendo gerar desconforto ou perda de desempenho visual e visibilidade. A exposição à luz solar direta ou a diferenças significativas de luminosidade podem causar risco de ofuscamento (BOYCE, 2003).

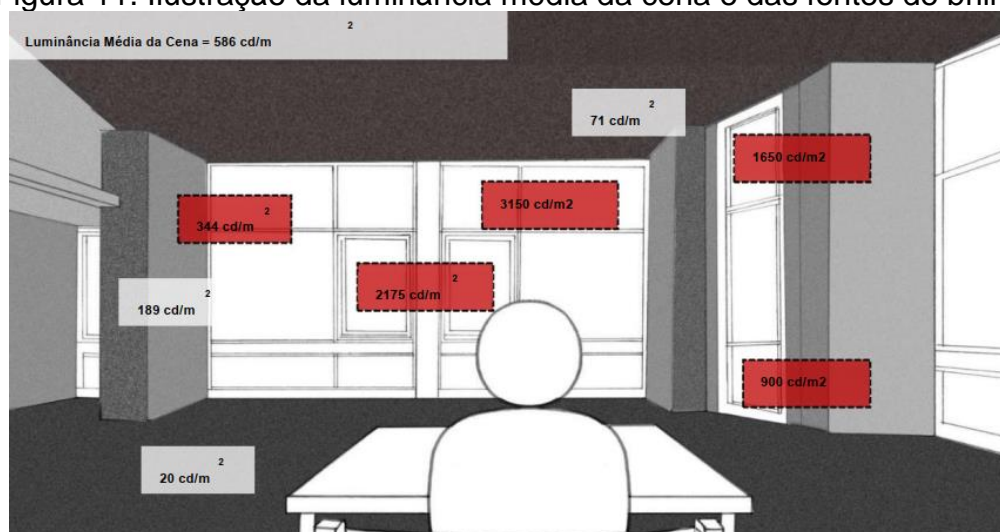
O brilho é uma forma mais extrema de não uniformidade e geralmente é percebido de imediato. Ao se deparar com uma luminância muito alta no campo visual, o comportamento usual é piscar e desviar o olhar, ou proteger os olhos da alta luminância. Este comportamento pode ser considerado como uma indicação de que o brilho está presente (BOYCE, 2003).

O ofuscamento pode ocorrer como ofuscamento desconfortável quando apresenta desconforto na condição de visão, sem necessariamente prejudicar a visualização dos objetos; ofuscamento inabilitador, quando acarreta a redução da capacidade de ver objetos significativos; ofuscamento refletido ou de superfícies veladoras, quando advém da reflexão de superfícies especulares. O ofuscamento desconfortável é o mais presente em espaços de trabalho (BOMMEL, 2019).

De acordo com Quek *et al.* (2021), o ofuscamento desconfortável pode ocorrer devido ao brilho excessivo, conhecido como efeito de saturação, representado pela iluminância fotópica geral no olho. E quando ocorre devido a uma faixa variada de luminâncias no campo de visão, é conhecido como efeito de contraste. Os quatro principais fatores que influenciam o contraste são a luminância, o tamanho e a posição da fonte de brilho, e o nível de adaptação ou iluminação geral.

Conforme mencionado anteriormente, os fotorreceptores localizados na retina podem perceber variações de 10^{-6} a 108 cd/m^2 . No entanto, o olho não é capaz de se adaptar a toda essa faixa da escala de uma só vez, podendo levar mais tempo dependendo da variação. De forma geral, se considera qualquer superfície com luminância superior à luminância média da cena como uma fonte de brilho. A Figura 11 mostra um homem sentado em um espaço de ensino, com janela para o exterior e com luminância média de 586 cd/m^2 , calculada no *software* DIVA. As caixas em vermelho representam os valores que serão percebidos como brilho na cena (ALAQTUM, 2020).

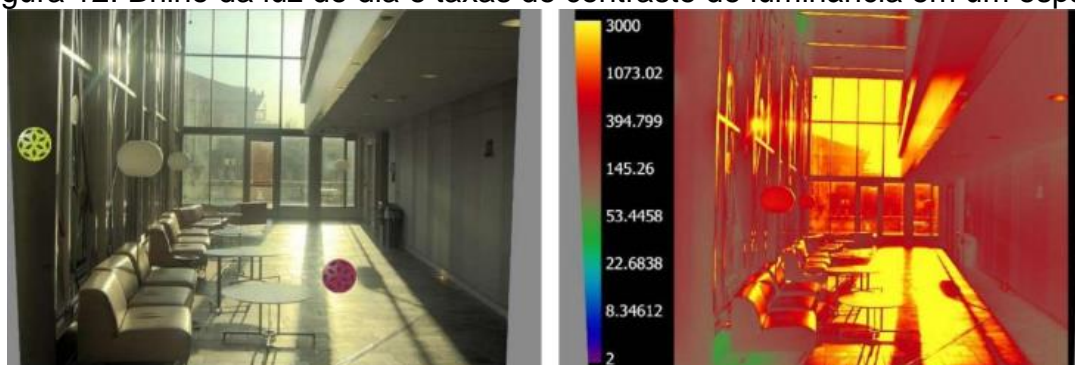
Figura 11. Ilustração da luminância média da cena e das fontes de brilho



Fonte: ALAQTUM, 2020.

No exemplo, o olho achará difícil se adaptar simultaneamente a uma luminância de 71cd/m^2 (teto) e 3.150cd/m^2 da cena externa, medida no vidro. Os planos com luminâncias muito inferiores ou muito superiores a 586cd/m^2 , causarão desconforto aos olhos do observador. A Figura 12 representa o brilho percebido em uma cena e as luminâncias presentes no espaço.

Figura 12: Brilho da luz do dia e taxas de contraste de luminância em um espaço



Fonte: SCHAMBURECK, 2020.

Segundo Alaqtum (2020), o ofuscamento está relacionado com a luz natural, em muitos casos. Ele pode ser gerado pelo alto nível de iluminação da radiação solar direta ou da abóbada celeste (quando parte dessa estiver no campo de visão do observador), ou pela reflexão secundária da luz por superfícies internas e externas.

A revisão da norma brasileira de iluminação natural NBR 15215-3, recomenda o uso de dispositivos de proteção da luz natural móveis, que permitem ajustes pelo indivíduo, ou dispositivos fixos combinados à elementos de sombreamento, quando necessário, nas aberturas para o exterior, a fim de evitar a visão direta para o sol e reflexos da luz direta, que implicam na ocorrência do ofuscamento. Segundo a proposta de norma, o ofuscamento pode causar efeitos colaterais ou prolongados na saúde do indivíduo, como dores de cabeça e fadiga (ABNT, 2023).

2.5. Normalização em iluminação natural

A presente pesquisa é norteada por normas internacionais e nacionais, relacionadas ao uso da luz natural nos espaços internos, descritas nesse capítulo. A proposta de revisão da norma brasileira NBR 15215-3 é a principal referência da pesquisa.

Estudos sobre iluminação natural utilizam frequentemente, para as análises, a norma norte-americana IES LM-83-12 (IESNA, 2012). Essa norma, publicada pela sociedade

norte-americana de iluminação em 2012, introduziu a avaliação de desempenho da luz natural com métricas dinâmicas baseadas no clima, tratando de *Spatial Daylight Autonomy* (sDA) e *Annual Sunlight Exposure* (ASE)². A norma afirma que nenhuma métrica por si só consegue abordar adequadamente todos os fatores envolvidos em um sistema de iluminação natural bem-sucedido (IESNA, 2012).

A norma europeia EN 17037, publicada pelo Comitê Europeu de Normalização em 2018, foi a primeira a incorporar a qualificação das vistas para o exterior em uma normalização, tratando também de conceitos relacionados à disponibilidade de luz natural, à exposição a luz solar direta (tratada como insolação mínima) e ao ofuscamento, ressaltando a importância da iluminação natural nos edifícios (CEN, 2018). A qualidade das vistas era antes abordada apenas em certificações ambientais como o LEED.

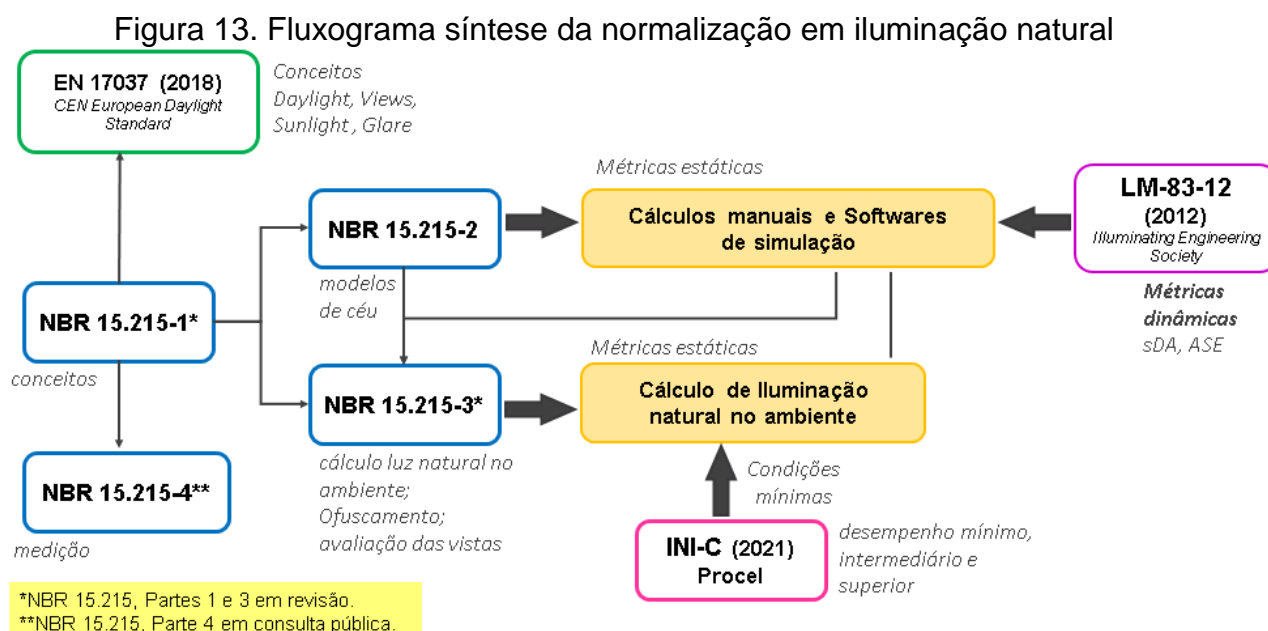
No Brasil, a norma de iluminação natural NBR 15215 tem sua última versão datada de 2005. A norma é dividida em quatro partes. A parte 1 trata de conceitos básicos e definições. A parte 2 aborda procedimentos de cálculo para estimativa da luz natural. A parte 3 trata de procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Já a parte 4 trata da verificação experimental das condições de iluminação interna de edificação, com método de medição. Tendo o processo de sua revisão se iniciado em 2021, a parte 2 da norma foi publicada em 2022, a parte 4 da norma foi enviada para consulta pública, a parte 3 da norma está em fase final de adequações para envio à consulta pública para substituição da versão anterior e a a parte 1 da norma teve seu processo de revisão iniciado no final de 2022. A revisão da parte 3 da norma baseou-se na norma europeia 17037:2018 e na LM-83:2012. Um dos principais objetivos da revisão dessa parte da norma foi inserir métodos de avaliação dinâmica da luz natural. A revisão propõe a análise da luz natural com base em quatro parâmetros: disponibilidade da luz do dia, exposição direta à luz do sol, ofuscamento e qualidade da vista (ABNT, 2023).

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), responsável pela Etiqueta Nacional de Conservação de Energia no Brasil (ENCE), publicou em 2021 a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de

² Estas métricas serão adequadamente definidas no item 2.11.

Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que, no âmbito do sistema de iluminação, estabelece parâmetros para sua eficiência energética, com o aproveitamento da luz natural e uso mais racional da luz elétrica. A INI-C tem como uma de suas referências a LM-83-12. A Instrução Normativa dispõe sobre parâmetros para aproveitamento da luz natural, com estimativa da iluminação natural através de dois métodos: simplificado ou de simulação computacional baseada em métricas dinâmicas, e pré-requisitos para integração da luz natural à iluminação elétrica (BRASIL, 2021).

A Figura 13 apresenta um fluxograma resumindo as normas consultadas.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

2.6. Impacto da luz natural e das vistas em ambientes de ensino

Um ambiente interno é influenciado pela qualidade da iluminação, especialmente em locais de ensino. A iluminação natural é capaz de fornecer ganhos desde a saúde e bem-estar dos seres humanos até a eficiência energética nos edifícios de ensino. A presença da luz natural está diretamente ligada ao bem-estar e ao processo de aprendizagem, sendo capaz de melhorar os processos de ensino para os usuários e ainda permitir a redução do consumo de energia elétrica, com a redução do uso da iluminação artificial. Segundo Eleyan e Ariffin (2021) a importância da luz natural em ambientes de ensino é amplamente aceita e esta é uma ferramenta primária de iluminação nos projetos desses espaços.

Utilizar a iluminação natural em ambientes internos pode trazer muitos benefícios para a saúde humana. Estudos têm mostrado como a iluminação impacta no humor, no comportamento, na capacidade de concentração e aprendizagem, na atenção e na memória em ambientes escolares. A importância da luz natural nos espaços internos de ensino vai além do contato com o ambiente externo. O acesso à luz natural de qualidade nas salas de aula impacta positivamente o bem-estar psicológico dos alunos, também porque reforça o ritmo circadiano natural, levando a uma melhor qualidade do sono, estado de alerta e regulação hormonal, aspectos que se relacionam diretamente com o desempenho acadêmico, a frequência dos alunos e os processos de aprendizagem (ISLAM, 2021; SHISHEGAR, BOUBEKRI, 2016).

Em um estudo sobre a presença de luz natural em ambientes de ensino infantil na Europa, foi encontrada uma relação positiva entre as pontuações dos alunos e o tipo de sombreamento da janela, a latitude, o percentual de janela voltada para sul (no hemisfério Norte) e os tipos de vidros de janela, com maior impacto devido à área da janela em relação ao piso. Os dados recolhidos no estudo SINPHONIE em 12 países europeus indicam que os parâmetros de iluminação natural são relevantes para o desempenho das crianças (BALOCH *et al.*, 2021).

Existe a necessidade de controlar a luz do dia nas salas de aula, o que pode ser possível com a adoção de dispositivos de sombreamento e de controle da luz do dia. De forma geral esforços estão sendo feitos para superar os problemas da integração da luz natural à luz elétrica e para a criação de um ambiente visual mais confortável para o aprendizado e o ensino (ELEYAN E ARIFFIN, 2021).

Burgos, Grigoletti e Paixão (2015) afirmam que um bom projeto de iluminação escolar deve ter em conta a média de idade dos usuários, a refletância das superfícies e o tipo de atividade desenvolvida. A visualização de tarefas depende da diferença entre o brilho das superfícies que estão no campo de visão dos indivíduos. Grandes diferenças entre os níveis de brilho causam desconforto visual, já que demandam tempos maiores para adaptação do olho. A redução desses contrastes indesejáveis pode ser obtida com maior homogeneidade entre os níveis de luminâncias das superfícies internas dos ambientes.

Burton (2022) examinou a influência do *design* biofílico na percepção dos alunos, no

seu desempenho de aprendizagem e no bem-estar em sala de aula universitária na *Georgia Southern University*. Uma descoberta importante da pesquisadora foi a de que os alunos gostariam de ter janelas nas salas de aula, com acesso a vista do ambiente externo. Um dos alunos relatou que a falta de vista para o exterior os deixavam mais sonolentos e entediados no ambiente. O estudo concluiu que a vista externa é um estímulo aos alunos, podendo deixá-los mais despertos e alertas nas aulas.

Outro estudo demonstrou que as vistas da sala de aula para paisagens verdes têm impactos positivos significativos na recuperação do estresse e da fadiga mental. Visualizações verdes produziram melhor funcionamento da atenção e maior recuperação do estresse (SHISHEGAR e BOUBEKRI, 2016). É importante a possibilidade de visualizar objetos distantes na visão externa, para a redução da fadiga ocular (DEROISY e DENEYER, 2017).

Mirmoradi (2021) avaliou a satisfação da relação entre o ambiente interno e o ambiente externo de 65 alunos em três salas de aula do curso de arquitetura, na *Babol Noshirvani University of Technology*, localizada no Irã. A hipótese do estudo, confirmada pelo pesquisador, era de que a fadiga mental pudesse ser melhorada com ambientes naturais no entorno e com a possibilidade de olhar para os espaços externos como uma pausa dos espaços internos fechados. Segundo Mirmoradi (2021), a qualidade do ambiente físico é um dos fatores mais importantes no processo de aprendizagem e, conforme indica a Teoria da Restauração da Atenção (*Attention Restoration Theory - ART*) de Kaplan, ambientes com vistas externas naturais aumentam significativamente a função cognitiva e a atenção dos indivíduos. Dentre os parâmetros avaliados, que incluíam a avaliação de ruído externo e os níveis de luz natural, a atratividade de paisagens visuais externas foi o mais influente na satisfação dos alunos. O estudo concluiu que ambientes com vistas externas abertas e amplas e com vista para a paisagem natural, afetam diretamente no bem-estar dos usuários desses espaços.

A Teoria da Restauração da Atenção (ART), baseou-se nos estudos de James, em 1982, que propôs a separação do mecanismo de atenção em dois componentes conforme explica Mirmoradi (2021):

Essa teoria é formada com base nos primeiros estudos que indicam a separação do mecanismo de atenção em dois componentes, incluindo atenção involuntária, onde a atenção de uma pessoa é captada voluntariamente por estímulos atrativos, e a atenção direta, onde a atenção do indivíduo é captada para um estímulo por meio de um processo de atenção controlada.

Kaplan propôs a Teoria da Restauração em 1989, defendendo que os processos de focalização da atenção em estímulos individuais são eleitos conforme as características do ambiente. A atenção direta demanda concentração mental, porque o indivíduo deve distinguir o estímulo dos demais ou simplesmente porque o estímulo não capta a atenção. Então, a exposição permanente a esses estímulos pode desencadear fadiga mental e perda cognitiva. Já o segundo processo refere-se ao estímulo da atração, onde a pessoa concentra sua atenção sem necessidade de foco mental, devido à natureza inerente do estado de atenção. Kaplan acreditava que existem elementos e estímulos inerentemente absorventes nos ambientes naturais, onde o tempo gasto pode restaurar a energia necessária para a concentração mental (KAPLAN, 1995).

Kharvari e Moez (2021) concluíram que as janelas têm papel fundamental na satisfação dos usuários, devido a entrada de luz natural e o acesso à vista para o exterior. Ao finalizar aulas que utilizam projetores, as primeiras ações dos alunos se concentraram em abrir as cortinas e acessar as janelas. No entanto, notaram também que o ofuscamento e a luz solar direta provocavam o fechamento das cortinas e o acendimento do sistema de luz artificial. Os autores afirmam que várias características internas, como qualidade de visão, condição das cortinas, condições do quadro, condição da mesa e orientação dos assentos, exercem impacto nas ações comportamentais dos ocupantes.

Compreender a relação entre o desempenho visual e a iluminação nos informa quais parâmetros de iluminação são fundamentais e como esses podem influenciar no desempenho visual, colaborando para melhores projetos em ambientes de ensino (BOMMEL, 2019).

2.7. Tarefas visuais em salas de aula de ensino superior

A iluminação exerce papel fundamental no processo de aprendizagem, sendo uma das variáveis do ambiente que influenciam no desempenho dos alunos. Atualmente,

novas tecnologias e novos métodos de ensino superior apontam que tarefas visuais diferentes acontecem em salas de aula e que mais pesquisas são necessárias, a fim de proporcionar uma iluminação mais adequada para novas tarefas e a dinâmica que essas abarcam (LLINARES, CASTILLA, TRUJILLO, 2021).

O ensino nas universidades está evoluindo, com novos métodos educacionais e novas tecnologias. Essas mudanças demandam ambientes mais complexos e exigem modificações nos espaços físicos de ensino. Novas atividades nas salas de aula requerem novas diretrizes de iluminação, para abrigar as diferentes tarefas visuais que ocorrem nesses espaços (CASTILLA *et al.*, 2018).

O desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação modificou a pedagogia do ensino, tradicionalmente centrada no professor, para uma aprendizagem mais colaborativa e ativa entre professores e alunos. Os espaços de aprendizagem universitários demandam mais interação, colaboração e mobilidade física. O desenho da sala de aula deve permitir o envolvimento dos professores com os alunos, onde ele se move livremente, fazendo parte dos mecanismos que facilitam e melhoram a aprendizagem (LAM, CHAN, WONG, 2019).

Lam, Chan e Wong (2019) citam atividades diversas que ocorrem nesses ambientes atualmente, como debates, discussões, trabalho em equipe e a presença de computadores como parte do material de ensino para alunos e professores. Os autores expõem o Plano Estratégico de PolyU, executado na Universidade Politécnica de Hong Kong, onde os ambientes de ensino passaram por renovações, a fim de fornecer novas experiências e maior envolvimento de alunos e professores na aprendizagem. Como parte importante dessas remodelações, citam a inserção de diferentes sistemas de iluminação artificial, para diferentes efeitos de luz, e sistemas que permitem ajuste e controle de temperatura da luz, a fim de facilitar diferentes tipos de apresentações e aumentar o conforto para a aprendizagem.

Castilla *et al.* (2018) pontuam a importância de se realizar estudos em ambientes de salas de aula reais, já que esses são espaços em que os alunos passam várias horas do dia, em condições em que a luz varia muito. Ressaltam ainda a importância de contemplar as diversas variáveis e dinâmicas desses espaços, como a presença da luz natural.

2.8. Usuário e sistemas de controle da iluminação em espaços de ensino

Práticas de pesquisa estão mudando para métricas e avaliações mais centradas no ocupante. De acordo com Inanici e Hashemloo (2017, p.1), isso se deve basicamente aos seguintes fatores:

- i) os seres humanos são os ativos mais caros dos edifícios; e seu bem-estar, saúde e satisfação afetam a produtividade e a saúde pública em geral; ii) a economia de energia prevista frequentemente não se correlaciona com as operações reais dos edifícios, pois (dentre outras questões) o uso intencional do edifício ou dos sistemas deste pode ser alterado pela insatisfação dos ocupantes.

Keyvanfar *et al.* (2014) afirmaram que as ferramentas de avaliação de construção sustentável não são suficientes para medir a real eficiência do edifício, já que consideram o potencial de redução do consumo energético na fase de concepção, sem incorporar a fase de uso da edificação concluída, considerando a interação dos usuários com os sistemas de controle dos espaços e as medidas adaptativas tomadas por estes.

Na busca do melhor desempenho energético do edifício, o uso da luz do dia como fonte primária de iluminação, para acomodar as necessidades visuais do ocupante, conjugando o conforto luminoso e o térmico, é um desafio. Os atuais sistemas de controle de iluminação natural não consideram adequadamente as preferências visuais e são frequentemente utilizados pelos ocupantes do edifício para bloquear a iluminação natural (HARA; PEREIRA; ALVES, 2018; WYMELENBERG; INANICI, 2014).

França, Fonseca e Pereira (2020) defendem que a integração entre os sistemas de luz natural e artificial é fundamental para a eficiência energética do edifício. A disponibilidade de luz natural deve guiar a setorização do sistema de iluminação. A possibilidade de o usuário interferir nos sistemas de controle da iluminação, de acordo com a oferta de luz natural, pode gerar um significativo potencial de economia à energia elétrica.

Gonçalves (2014) afirma que, apesar dos avanços dos instrumentos para avaliação e melhoria do desempenho das edificações, pouco se sabe sobre as situações de pós-ocupação desses edifícios, sendo que a certificação dos edifícios não garante economia de fato, devido a falhas de projeto e a como o edifício é utilizado. A autora

defende que apenas com a observância do comportamento do usuário é possível entendê-lo e entendê-lo implicará em melhores projetos. Segundo a autora, o projeto influencia enormemente na forma como o usuário utiliza o espaço. Ao estudar o comportamento dos usuários da Escola de Arquitetura da UFMG sobre os sistemas de iluminação nas salas de aula do edifício, a autora notou que, de modo geral, o principal atuante na alteração dos sistemas é o professor e que alunos sentados próximos a janelas também tendem a interagir mais com os sistemas disponíveis. No entanto, em grande parte dos momentos, o professor é o responsável principal pelas modificações feitas nas salas de aula, evidenciando uma hierarquia de atuação nos sistemas.

Outro fator importante percebido por Gonçalves (2014) é que os usuários tendem a atuar nos sistemas de iluminação ao entrar ou sair da sala, ou na mudança de atividade visual, como no uso do *data show*.

Estudos demonstraram como a falta de sistemas eficientes acarreta no desconforto dos usuários em ambientes de ensino e, como o usuário faz adaptações nos sistemas dos ambientes devido à falha de projetos que não previram controle para os efeitos indesejáveis da incidência de luz natural (ATHALYE, 2016; GONÇALVES, 2014; HYBINER, 2015). Em dissertação de mestrado sobre a iluminação de escolas públicas de ensino fundamental, localizadas em Minas Gerais, na região de Juiz de Fora, Ponte Nova e Ubá, Hybiner (2015) detectou adaptações realizadas pelos usuários, para bloquear os efeitos mais incômodos da luz natural. De modo geral, a autora observou que as esquadrias não foram projetadas levando-se em conta a disposição e orientação mais adequadas. As Figuras 14 e 15 mostram uma escola municipal em Juiz de Fora, com janelas voltadas para as fachadas norte e oeste, mostram todos os vidros dessas pintados com tinta na cor verde escuro, bloqueando a luz natural totalmente quando fechadas.

Figura 14. Sala de aula com janelas nas fachadas norte e oeste, em Escola Pública de Juiz de Fora/MG



Figura 15. Sala de aula com janelas nas fachadas norte e oeste, em Escola Pública de Juiz de Fora/MG



Fonte: HYBINER, 2015.

A Figura 16 demonstra a mesma situação, em outra sala da mesma escola, com janelas na fachada leste, pintadas com tinta na cor verde. A Figura 17, da mesma sala, mostra uma aluna incomodada com a incidência da luz natural direta.

Figura 16: sala de aula com janelas nas fachadas norte e oeste, em Escola Pública de Juiz de Fora/MG



Figura 17: sala de aula com janelas nas fachadas norte e oeste, em Escola Pública de Juiz de Fora/MG



Fonte: HYBINER, 2015.

Hybiner (2015) concluiu que os dispositivos de proteção solar instalados não eram eficazes, barrando a incidência da radiação solar direta, mas impedindo também que as esquadrias exerçam sua função principal de captação da luz natural, tornando os

ambientes mais dependentes do uso da luz artificial e colaborando para o superaquecimento desses espaços.

Sistemas ineficazes de iluminação também são evidenciados na falta de manutenção dos dispositivos de controle solar. Na Escola de Arquitetura da UFMG Gonçalves (2014) registrou esta situação que pode ser vista na Figura 18: os vidros das janelas de uma sala de aula foram pintados com tinta na cor branca, impedindo a incidência de radiação solar direta quando a janela se encontrava totalmente fechada. Em outras salas, foi relatado que os *brises* se encontravam em mau estado de conservação e parte das aletas não se movimentavam, bem como cortinas rolôs e, por isso, encontravam-se sempre abertas.

Figura 18: sala de aula com janelas na fachada oeste, pintada com tinta na cor branca



Fonte: Gonçalves, 2014.

As Figuras 19 e 20 mostram uma prateleira de luz (*lightshelf*) projetada e instalada no interior de uma sala de aula, na cidade de Richland, em Washington, para maior difusão da luz natural no espaço. No entanto, durante o uso do espaço, no mesmo dispositivo foram colocadas folhas de papel na cor pardo, para bloquear a luz natural (ATHALYE, 2016). Acredita-se que o bloqueio da luz natural pode ser necessário para o uso do *Data show*. Tal indica que as salas de aula requerem sistemas dinâmicos de iluminação que possam ser alterados conforme a atividade didática realizada nestes espaços.

Figura 19. Prateleira de luz no interior de sala de aula



Figura 20. Prateleira de luz coberta com papel em interior de sala de aula



Fonte: ATHALYE, 2016.

Um fato comum constatado pelos estudos citados é de que o usuário interfere nos dispositivos de luz natural nos espaços sempre que se sente incomodado, sendo essas interferências nem sempre as mais eficazes, podendo causar mais desconforto e maior consumo de energia para iluminação.

2.9. Dispositivos de sombreamento no desempenho da luz do dia, conforto visual e vista

O controle do ofuscamento, com a inserção de dispositivos de sombreamento e controle da luz do sol pode, adversamente, afetar as vistas para o exterior e demais parâmetros de luz do dia. Por isso, é fundamental identificar fatores de *design* eficazes para os dispositivos de sombreamento, de forma a permitir uma resposta máxima às necessidades do usuário (DABAJ, RAHBAR, FAKHRC, 2022).

Para Ko *et al.* (2022), apesar da qualidade geral da visão ser complexa e dependente de vários fatores, é importante considerar o conteúdo, o acesso e a clareza das visualizações de aberturas dentro do contexto em que os edifícios estão inseridos. É fundamental evitar o desconforto causado pelo brilho, mantendo a qualidade da visão e demandas de luz natural. Segundo os autores, o desempenho da luz do dia nos espaços internos melhora com o aumento da relação janela-parede. No entanto, é necessário entender as motivações que levam à operação das fachadas e como essas afetam a clareza da visão, a ocorrência do brilho, o superaquecimento e a privacidade. Isso porque, o controle de brilho pode entrar em conflito com a clareza da visão, por exemplo. Entender a função dos espaços contribui para que o projetista encontre o equilíbrio entre os parâmetros exigidos.

Carvalho e Pedrini (2014) estudaram desenhos de *brises* conjugados com marquises para a redução do ofuscamento em salas de aula na cidade de Natal – RN, com percentual de abertura de fachada (PAF) de 20%, 40% e 50%, através de simulação dinâmica. Os autores concluíram que na fachada norte, os dispositivos de sombreamento que obtiveram melhor desempenho luminoso nas salas de aula foram *brises* horizontais, conjugados com marquise dupla.

Atualmente a chapa perfurada tem sido utilizada como dispositivo de controle solar externo, a fim de permitir o fluxo de ar também. Chapas perfuradas duplas, com diferentes taxas de perfuração, foram utilizadas para um estudo no Japão, com o objetivo de equilibrar a entrada de luz do dia e a ventilação natural. Segundo os autores, as melhores telas perfuradas para obter a luz do dia sem ofuscamento são as telas com porcentagem perfurada de 40% (SRISAMRANRUNGRUANG, HIYAMA, 2020).

2.10. Simulação dinâmica

As limitações da abordagem de cálculo estático levaram ao desenvolvimento da modelagem de luz do dia baseada no clima (*Climate Based Daylight Modeling - CBDM*) realizadas graças aos *softwares*.

O avanço dos programas de simulação computacional contribuiu para dar agilidade e amplitude para os processos de análise do ofuscamento causado pela luz natural. A simulação dinâmica da luz natural possibilitou maior controle das variáveis e simulações de um número grande de situações. Normas e recomendações têm surgido dessa metodologia (ALAQTUM, 2020).

Segundo a INI-C (BRASIL, 2021), para ser capaz de avaliar a luz do dia nos edifícios, o programa de simulação deve: possibilitar a modelagem climática anual horária por meio de arquivos climáticos, modelando 8.760 horas por ano; modelar a posição e a intensidade solar, como também a luminância e a distribuição da abóbada celeste fazendo uso dos modelos de céu propostos por Perez *et al.* em 1993 ou por meio da CIE ISO 15569:2004; fazer uso da divisão de céu para a modelagem do sol com ângulo inferior a 5°, ou com mais de 2.305 divisões; usar programas que utilizem o algoritmo do raio traçado ou da radiosidade; comportar a modelagem geométrica tridimensional, inclusive de soluções tecnológicas e geometrias complexas a serem

analisadas, bem como as propriedades dos materiais, com suas características de reflexão e transmissão difusa e especular; permitir a modelagem e operação de persianas e cortinas conforme a IES LM-83-12; os resultados devem ser fornecidos de forma que permita aos usuários examiná-los graficamente, com a geometria avaliada, a malha de pontos e a indicação do norte verdadeiro, e com a leitura dos resultados de Exposição Anual à Luz Solar Direta e Autonomia de Luz Natural Espacial para cada plano de análise individualmente, em cada ponto (BRASIL, 2021).

O *plug-in* DAYSIM para SketchUp criado por Reinhart e Herkel foi validado em 2001. Era uma ferramenta de simulação de luz do dia baseada no RADIANCE que usava o conceito de coeficientes de luz do dia e modelos de luminância do céu para simular iluminâncias internas sob diferentes condições de céu. O DAYSIM calculava a quantidade anual de luz do dia dentro e fora dos edifícios, e permitia aos usuários modelar fachadas dinâmicas, sistemas que vão desde persianas padrão até elementos de redirecionamento de luz de última geração, vidros comutáveis e suas combinações (REINHART, WALKENHORST, 2001).

Após o DAYSIM, foi desenvolvido o *plug-in* DIVA. O DIVA-for-Rhino foi um *plug-in* de modelagem para Rhinoceros desenvolvido inicialmente em 2009, pelo MIT *Sustainable Design Lab* na Escola de Pós-Graduação da Universidade de Harvard. O DIVA integrava os modelos de cálculo Radiance e do Daysim no Rhinoceros (MIT, 2022). Um avanço do DIVA foi a introdução da simulação de ofuscamento pela luz do dia, ao longo do ano, através do índice DGP (MIT, 2022).

Criado como sucessor do DIVA, o ClimateStudio é um programa de análise de desempenho ambiental, desenvolvido pelo Solemma LLC e lançado em 2020. É um *plug-in* para Rhinoceros, com os motores de simulação validados do EnergyPlus e do Radiance, o que torna o fluxo de trabalho mais rápido, com simulações mais ágeis e resultados mais precisos. Segundo os criadores do *software*, ele apresenta um nível de confiança de 95% em seus resultados (SOLEMMA, 2022). Ao contrário de seus antecessores, o ClimateStudio implementa o Radiance em um rastreamento de caminho progressivo, onde, ao invés de traçar todos os caminhos de luz possíveis antes de calcular um resultado, ele traça caminhos por vez, atualizando o resultado à medida que avança na simulação (ISLAM, 2021).

O ClimateStudio trouxe uma ampla biblioteca de materiais do mundo real, advindos de medições com fontes validadas, através de *benchmarks* da DOE (*United States Department of Energy*), padrões ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) e produtos de envidraçamento do IGDB (*International Glazing Database*). Permite a visualização dinâmica de ângulos e sombras no projeto. Ele engloba a análise dos índices de sDA e ASE, conforme recomendações da LM-83-12, da EN 17037:2018, do LEED³ versão 4.1 ou do BREEAM UK⁴ 4, e inovou ao permitir a análise da probabilidade de ofuscamento de centenas de posições de visualização do usuário, para cada hora do ano, com base no índice de DGP (SOLEMMMA, 2022).

2.11. Métricas para disponibilidade de luz natural

Na avaliação da luz nos espaços, as métricas de iluminação estáticas giram em torno principalmente das iluminâncias horizontal e vertical, luminâncias e índices de brilho (WYMELEMBERG e INANICI, 2014). Porém, essas métricas são capazes de analisar apenas um ponto, em um momento.

A luz do dia precisa ser considerada com as variações climáticas ao longo do dia e do ano e as métricas de avaliação da iluminação natural baseadas no clima surgiram para suprir a incapacidade das métricas ponto-no-tempo de avaliar o desempenho anual da luz natural nos espaços, considerando sua variabilidade ao longo das horas e dias do ano. As métricas dinâmicas constantes em normativa atualmente são a Autonomia da Luz Natural Espacial (sDA - *Spatial Daylight Autonomy*) e de Exposição Anual à Luz Solar Direta (ASE - *Annual Sunlight Exposure*).

A seguir, serão apresentadas as métricas mais encontradas em uso na literatura.

2.11.1. *Spatial Daylight Autonomy* – sDA

A grandeza de Autonomia da Luz Natural (DA - *Daylight Autonomy*) remonta a 1989, quando foi mencionada em uma norma suíça (*Association Suisse des Electriciens*).

³ O LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) é um instrumento de certificação de construção sustentável. A avaliação aborda todo o edifício, desde a fase de projeto até a construção final e a manutenção do mesmo (GBC BRASIL, 2023).

⁴ BREEAM UK é uma certificação de sustentabilidade, com avaliação e comparação de ativos imobiliários novos e existentes em vários tipos de edifícios. Ele define padrões para práticas em projeto, construção e operação de edifícios sustentáveis ambiental, social e economicamente (BREEAM, 2023).

Seu conceito foi sendo aprimorado e em 2006, foi proposta por Reinhart e Andersen, referindo-se à porcentagem das épocas do ano em que a luz natural está presente em um ambiente em um nível mínimo de iluminância a ser estipulado (REINHART, MARDALJEVIC, ROGERS, 2013).

A métrica Autonomia Espacial da Luz Natural Espacial (sDA – *Spatial Daylight Autonomy*) foi proposta na norma norte-americana LM-83-12 como uma medida da suficiência de iluminância da luz do dia para espaços internos, indicando a porcentagem da área do piso que excede um nível de iluminância para uma quantidade de horas anuais. O nível de iluminância e a fração de tempo são incluídos como subscritos, $sDA_{\text{nível de iluminação, porcentagem de tempo}}$, como $sDA_{300,50}$. O valor resultante é expresso como uma porcentagem da área (IESNA, 2012). A norma LM-83-12 recomenda critérios de desempenho para a suficiência de luz natural utilizando $sDA_{300,50}$, onde analisa-se a porcentagem de área do piso que atinge, no mínimo, 300 lux em 50% do tempo anual. Assim, para que uma área seja considerada como preferida em suficiência de luz natural, o resultado de $sDA_{300,50}$ deve ser igual ou superior a 75%. Com resultados entre 55% e 75%, a classificação é que a luz do dia é considerada aceitável e, para valores abaixo de 55%, insuficiente.

A EN 17037 (CEN, 2018), incorporou o princípio da métrica da Autonomia da Luz Natural através da análise da métrica de Iluminância Alvo (*Target illuminance* - E_T), onde níveis de iluminação são recomendados ao atingir iluminâncias com valores definidos (300 lux – mínimo; 500 lux – médio; 750 lux – máximo) em pelo menos 50% da área do espaço.

Seguindo essa análise, a NBR 15215 (ABNT, 2023) atribui diferentes níveis para iluminância alvo (E_A) de 250 lux e para iluminância alvo mínima ($E_{A \text{ min}}$) de 100 lux, para edificações não residenciais em função da área em que essas atingem no ambiente, pelo tempo do uso do espaço, que é de pelo menos 50% de horas de disponibilidade de luz natural. A Tabela 2 mostra os valores recomendados.

Tabela 2. Níveis de E_A e $E_{A\text{mín}}$ recomendados pela NBR 15215 em edificações não residenciais

Nível de recomendação para abertura para luz do dia vertical e inclinada	Iluminância alvo E_A (lx)	Fração de espaço para nível alvo. $F_{plane, \%}$	Iluminância alvo mínima $E_{A\text{mín}}$ (lx)	Fração de espaço para nível alvo mínimo. $F_{plane, \%}$	Fração de horas de luz natural $F_{time, \%}$
Nível I		40 %		60 %	
Nível II	250	55 %	100	75 %	50 %
Nível III		70 %		90 %	

Fonte: ABNT, 2023.

A LM-83-12 (IESNA, 2012) afirma que nenhuma métrica dinâmica deve ser analisada de forma singular, mas sempre combinada com outras métricas dinâmicas. Em complemento, uma das métricas que permite a análise da exposição à luz solar direta é a Exposição Anual à Luz Solar Direta, ASE.

2.11.2. Annual Sunlight Exposure - ASE

A Exposição à Luz Solar foi tratada pela LM-83-12, com a métrica Exposição Anual à Luz Solar Direta (*Annual Sunlight Exposure - ASE*), que fornece uma dimensão da análise da luz do dia, olhando para uma fonte potencial de desconforto visual, a luz solar direta (IESNA, 2021).

A métrica considera que quanto maior a área da tarefa exposta à certo nível de luz solar direta por ano, maior a probabilidade de ocorrência de desconforto visual para os ocupantes. O cálculo de ASE determina a porcentagem da área exposta a mais de 1.000 lux de luz solar direta por mais de 250 horas no ano. Para isso, o nível de iluminância e o tempo são incluídos como subscritos como $ASE_{1000,250}$. Embora não haja um limite claro para métrica, a norma menciona que, com base em pesquisas de apoio realizadas, ASE com valor de até 3% é considerado aceitável, abaixo de 7% é considerado neutro e acima de 10% insatisfatório (IESNA, 2012).

A LM-83-12 (IESNA, 2012) instrui que a ASE seja calculada sem uso de persianas ou de sistemas de controle da luz solar. Por isso, a métrica descreve a condição de risco ou o pior caso da quantidade de luz solar que um espaço pode experimentar durante

um ano com clima típico.

O *plug-in* ClimateStudio do *software* Rhinoceros permite o cálculo de métricas dinâmicas de sDA e ASE. A análise das métricas de sDA e ASE juntas, fornecem uma compreensão significativa de primeiro nível de como um espaço deve funcionar e colabora com o processo de avaliação de projeto de luz natural, à medida que soluções de projeto são desenvolvidas e refinadas (IESNA, 2021).

2.12. Métodos de avaliação de ofuscamento em ambientes internos

Em um estudo sobre as métricas atuais de ofuscamento, Quek *et al.* (2021) pesquisaram a capacidade dos indicadores de prever o ofuscamento percebido pelo usuário, para cenas com menor e maior faixas de níveis de adaptação. As métricas de ofuscamento geralmente são responsáveis por pelo menos um efeito que explica o ofuscamento por desconforto, o efeito de contraste ou de saturação, mas podem também incorporar ambos. Por isso, os autores classificaram quinze métricas em três categorias: baseadas no contraste, baseadas na saturação e híbridas. Os autores concluíram que as métricas de ofuscamento que melhor predizem o desconforto percebido pelo usuário são as métricas híbridas de DGP (*Daylight Glare Probability*) e Eccologit, que é um modelo baseado em probabilidade com múltiplas variáveis.

A combinação de métricas dinâmicas, estáticas e outras metodologias, capazes de incorporar variáveis ambientais e espaciais nessas análises, faz-se fundamental. Apesar da importância do caráter dinâmico da luz, considerando as variações de céu durante o dia e o ano, em um experimento recente, Rizzardi e Pereira (2018) constataram que a percepção dos usuários poderia ter pouca relação de dependência com as diferentes condições de céu e maior conexão com as características do ambiente, como geometria espacial e orientação geográfica.

Vásquez *et al.* (2016) diagnosticaram diversas pesquisas que pontuam a falta da consideração da dinâmica da direção da visão como fator limitante na detecção do brilho. A direção da visão, determinada pela mudança combinada de movimentos dos olhos, cabeça e corpo, é vista como uma das principais carências dos índices de brilho.

2.12.1. Estudos experimentais

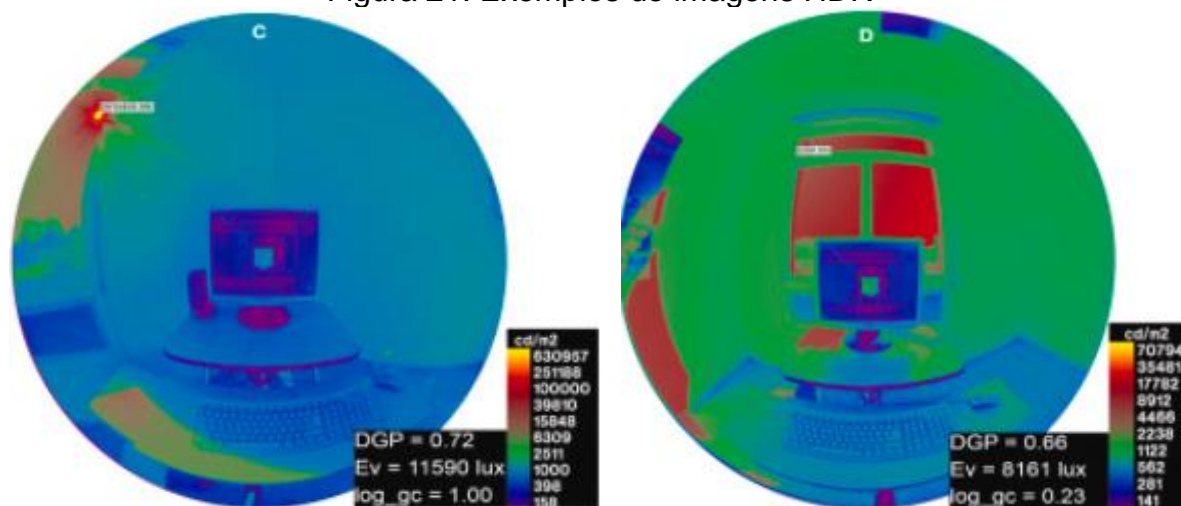
Estudos envolvendo a percepção dos usuários sobre a iluminação natural e possíveis desconfortos são uma das metodologias utilizadas para aferir qualitativamente a luz natural em espaços internos. Esses estudos levam os usuários a demonstrar, através de desenhos esquemáticos, como percebem a luz do dia nos espaços. A aplicação de questionários também é uma forma de aferir essa percepção (GONÇALVES, 2014; VÁSQUEZ *et al.*, 2016; RIZZARDI; PEREIRA, 2018).

O uso das métricas de brilho atualmente acontecem pela aplicação dos índices de ofuscamento por diversas ferramentas, capazes de criar mapas de luminâncias, sendo essa ferramenta indispensável em detecções mais precisas (QUEK *et al.*, 2021).

2.12.2. Imagens HDR

A detecção do brilho através de mapas de luminâncias pode ser feito com imagens de alta faixa dinâmica (*High Dynamic Range* - HDR) ou com renderizações baseadas em simulações computacionais. As imagens HDR são utilizadas para criar um mapa de luminância de 180° contendo dentro do campo de visão do usuário. Esse levantamento de dados através de imagens HDR olho de peixe calibradas, geralmente é obtido em momentos diferentes e durante as avaliações do usuário, para gerar mapas de luminância do ambiente visual que ele experimenta, sendo calibrados com medições de luminância pontual, conforme mostrado na Figura 21 (VÁSQUEZ *et al.*, 2016; QUEK *et al.*, 2021).

Figura 21. Exemplos de imagens HDR



Fonte: Quek *et al.* (2021).

2.12.3. *Unified Glare Rating – UGR*

Em 1987, uma fórmula de ofuscamento de desconforto foi proposta por Sorensen, a *Unified Glare Rating* (UGR), ou Avaliação de Brilho Unificada (BOYCE, 2003). O UGR é uma medida para avaliar o brilho em ambientes internos. É um índice desenvolvido para iluminação artificial, para análise em um ponto, para um horário. UGR é calculado pela fórmula abaixo:

Equação 1:
$$UGR = 8 \log_{10} (0.25/L_b) \sum (L_s^2 \cdot \omega/p^2)$$

Onde, L_b é a luminância de fundo (cd/m^2), L_s é a luminância da fonte de brilho (cd/m^2), ω é o ângulo sólido da fonte de brilho vista do olho do observador pela fonte de brilho (esterradianos), e P o índice de posição Guth da fonte de brilho. Em uma escala de avaliação, UGR é considerado pouco perceptível quando apresenta valores abaixo de 13 e, intolerável, com valores acima de 28.

O sistema UGR representou uma melhoria da manipulação matemática sobre a percepção humana do brilho. A Comissão Internacional de Iluminação (*Commission Internationale de L'Eclairage - CIE*) adotou a fórmula em 1995 e a partir dela desenvolveu uma série de métodos para apresentar os resultados em formas familiares aos usuários de diferentes países, o que facilitou sua globalização. No entanto, o UGR foi desenvolvido a partir de fórmulas originais de desconforto por brilho e a precisão com que essas fórmulas predizem respostas subjetivas é considerada baixa (BOYCE, 2003).

2.12.4. *Daylight Glare Index – DGI*

O *Daylight Glare Index* (DGI) foi desenvolvido por Hopkinson em 1972, em Cornell, com base em trabalhos anteriores para o brilho de fontes de luminárias (REINHART, 2010). A primeira expressão de DGI, chamada fórmula de Cornell, foi baseada em uma relação analítica, desenvolvida para definir o desconforto por brilho com a iluminação artificial. A aplicabilidade da fórmula de Cornell para análise da luz natural foi verificada em diversos estudos, que incluíram inclusive uma avaliação subjetiva de desconforto. Depois disso, a fórmula de Cornell foi modificada por Chauvel, e proposta de forma simplificada como (BELLIA *et al.*, 2008):

Equação 2:
$$DGI = 10 \log \sum_{i=1}^n G_i$$

Onde, G_i :
$$G_i = 0,478 \cdot \left(\frac{L_s^{1,6} \cdot \Omega_i^{0,8}}{L_b + (0,07 \omega^{0,5} \cdot L_w)} \right)$$

L_s é a luminância de cada parte da fonte [cd/m^2]; L_b é a luminância média das superfícies do ambiente, dentro do campo de visão [cd/m^2]; L_w é a luminância média ponderada da janela, em função das áreas relativas do céu, obstrução e solo [cd/m^2]; ω é o ângulo sólido da janela [sr]; Ω é o ângulo sólido da fonte, modificado em função da linha de visão (BELLIA *et al.*, 2008).

O DGI foi a primeira métrica a considerar grandes fontes de brilho, no caso, o céu visto através de uma janela. Uma crítica à métrica é que, normalmente, luz solar direta e reflexões não são consideradas para efeitos do cálculo (REINHART, 2010). A Tabela 3 mostra a classificação de DGI, em uma escala de resultados.

Tabela 3. Escala para consideração do DGI

Grau de brilho percebido	DGI
Perceptível	16 - 18
Aceitável	20
Limite entre conforto e desconforto	22
Desconfortável	24 - 26
Intolerável	28

Fonte: BELLIA *et al.*, 2008. Adaptado pela autora.

2.12.5. Daylight Glare Probability – DGP

O *Daylight Glare Probability* (DGP) foi proposto por Jan Wienold e Jens Christoffersen em 2005 e indica a probabilidade de ofuscamento da luz do dia. DGP calcula o brilho com base no efeito de saturação, com a iluminância vertical como indicador de quantidade de luz que atinge os olhos, e no efeito de contraste, com a relação entre a luminância da fonte e da tarefa (MONTEOLIVA, GARRETÓN, PATTINI, 2021).

O DGP foi adotado pela norma europeia EN 17037 (CEN, 2018). Ela leva em conta dois termos principais em sua equação que correspondem ao efeito de saturação e ao efeito de contraste, respectivamente (JONES, 2019; QUEK *et al.*, 2021), conforme Equação 3.

Equação 3:
$$DGP = \underbrace{5.87 \cdot 10^{-5} E_v}_{\text{Termo de saturação}} + \underbrace{9.18 \cdot 10^{-2} \log_{10} \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{L_{s,i}^2 \omega_{s,i}}{E_v^{1.87} P_{s,i}^2} \right)}_{\text{Termo de contraste}} + 0.16$$

Na fórmula, E_v refere-se à iluminância vertical (lux), $L_{s,i}$ refere-se à luminância da fonte de brilho (cd/m^2), $\omega_{s,i}$ refere-se ao ângulo sólido da fonte de brilho (esterradianos) e $P_{s,i}$ refere-se ao índice de posição da fonte de brilho para a i -ésima fonte de brilho (QUEK *et al.*, 2021).

Assim, o índice de DGP indica a saturação através da iluminância no nível dos olhos e indica o contraste entre uma fonte que causa ofuscamento (dada pelo seu tamanho, luminância e posição dentro do campo de visão) e a luminância média de fundo.

A Tabela 4 (DGP¹) mostra a escala das sensações de ofuscamento e seus valores para DGP, originalmente proposta por Wienold e Christoffersen, em 2005. No entanto, pesquisas mais recentes adotam uma escala de avaliação para DGP com valores mais restritivos, também indicados na Tabela 4 (DGP²) (MONTEOLIVA, GARRETÓN, PATTINI, 2021; QUEK *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2022; WIENOLD *et al.*, 2019).

Tabela 4. Classificação e escala de DGP

Categorias de sensação de brilho	DGP¹ (2005)	DGP²
Brilho imperceptível	< 0.35	$DGP < 0,34$
Brilho perceptível	$0,35 \leq DGP < 0,40$	$0,34 \leq DGP \leq 0,38$
Brilho perturbador	$0,40 \leq DGP < 0,45$	$0,38 < DGP \leq 0,45$
Brilho intolerável	$DGP \geq 0,45$	$DGP < 0,45$

Fonte: REINHART, 2010; WIENOLD *et al.*, 2019.

Em revisão acerca dos limiares para classificação de ofuscamento através do DGP, Jones (2019) identificou diversos estudos com valores discrepantes, sugerindo que esses podem depender da situação e da cultura de cada local. Essa discrepância é mostrada na Tabela 5.

Tabela 5. Escalas para DGP encontrados por Jones

Localização	Limite de brilho		
	Perceptível	Perturbador	Intolerável
Alemanha, Dinamarca	35%	40%	45%
Idaho, EUA	23%	25%	-
Indonésia	21%	22%	24 - 26%
Califórnia, EUA	-	85%	-

Fonte: Jones, 2019.

Além de outros fatos detalhados nessa revisão, Jones relata que o estudo realizado na Califórnia permitiu que os usuários ajustassem suas posições, por isso o limite para DGP foi significativamente maior.

Uma das limitações do DGP é a capacidade de considerar efeitos temporais. Além da saturação e do contraste, vários fatores podem influenciar na sensação de brilho, como a exposição à luz do dia experimentada ao longo das horas do dia (MONTEOLIVA, GARRETÓN, PATTINI, 2021). No entanto, considera-se que o DGP apresenta melhor desempenho e robustez em relação às demais métricas disponíveis, sendo amplamente aceita para uso em cenários de iluminação natural (REINHART, 2010; MONTEOLIVA, GARRETÓN, PATTINI, 2021).

A probabilidade de ofuscamento pela luz natural é utilizada na EN 17037 (CEN, 2018) e na proposta de revisão da NBR 15215 (ABNT, 2023) para recomendar a proteção contra o desconforto. As normas afirmam que, principalmente em ambientes com atividades de leitura, escrita e uso de telas, e em que o usuário não possui a opção de mudar a direção da visão, como em salas de aulas, deve haver proteção contra o ofuscamento. A revisão da NBR 15215-3 recomenda que a proteção para o DGP seja analisada em função do tempo de uso do espaço e que haja, no mínimo, proteção para que DGP no espaço (DGP_e) não exceda 0,45 (ofuscamento intolerável) em mais de 5% do tempo de ocupação do ambiente.

A Tabela 6 mostra a recomendação de proteção contra DGP segundo a proposta da NBR 15215-3 onde DGP_e representa o DGP excedido.

Tabela 6. Níveis de limiar $DGP_e < 5\%$ para proteção de brilho

Nível de Proteção contra ofuscamento	$DGP_e < 5\%$	Proteção contra no mínimo:
Nível mínimo de proteção	0,45	Ofuscamento intolerável
Nível médio de proteção	0,38	Ofuscamento perturbador
Nível alto de proteção	0,34	Ofuscamento perceptível

Fonte: ABNT, 2023.

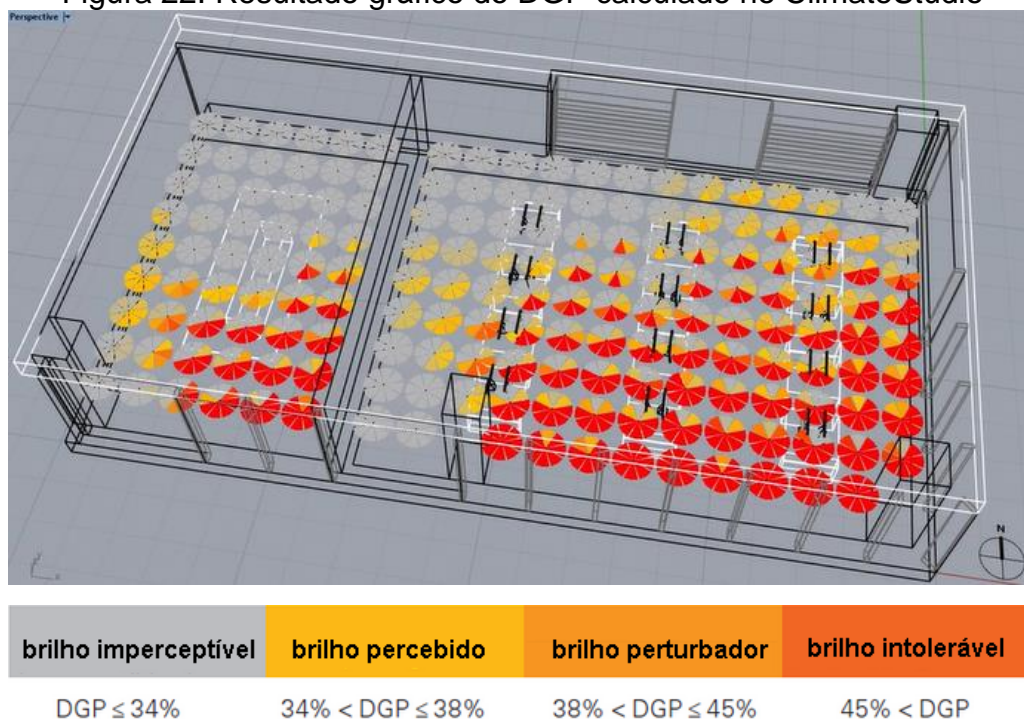
A proposta de revisão da NBR 15215-3 orienta ainda que, em caso de haver diversas posições para o usuário, a análise de ofuscamento deve ser feita para a posição mais crítica. Em caso de uso de simulação computacional, as posições mais críticas devem ser analisadas e se os critérios de ofuscamento forem aceitos para as posições mais críticas, eles podem ser aceitos para as demais posições.

2.12.6. Spatial Disturbing Glare – sDG

O *plug-in* ClimateStudio permite o cálculo de distribuições anuais da probabilidade de ofuscamento através da área ocupada de um ambiente, considerando diferentes direções da visão (SOLEMMA, 2023). Estes cálculos são baseados na métrica DGP, descrita no item anterior. Para as simulações anuais, o *plug-in* se baseia nos valores propostos por Wienold e Christofferen adotados pela revisão da NBR 15215-3 (Tabela 6) e se baseia na parte relativa à iluminância vertical da equação de DGP, mais uma medição de contraste.

Somado à essa análise, o *plug-in* permite o cálculo do Ofuscamento Perturbador Espacial (sDG – *Spatial Disturbing Glare*). Ele conta com a porção de iluminância vertical da fórmula DGP, além de uma medição de contraste do disco solar. A análise apresentada pelo *plug-in* mostra a porcentagem de direções de visão da malha de pontos que experimenta um DGP superior a 0,38, valor que considera o ofuscamento perturbador ou intolerável, em pelo menos 5% das horas ocupadas anualmente. A avaliação recomendando o tempo máximo 5% do tempo das horas ocupadas baseia-se na sugestão da EN 17037 (CEN, 2018). O cálculo baseia-se nos valores de DGP por hora, para oito direções de visualizações em cada ponto de análise, como mostra a Figura 22. A altura de visualização padrão é a de 1,20 m, medidos da altura de visão do observador sentado até o piso (SOLEMMA, 2022), porém esse valor pode ser alterado.

Figura 22. Resultado gráfico do DGP calculado no ClimateStudio



Fonte: SOLEMMA (2022). Adaptado pela autora.

O estudo do ofuscamento causado pela luz natural, considerando a dinâmica do campo de visão do usuário, contribui para o preenchimento da lacuna da análise do ofuscamento considerando as diversas posições possíveis do indivíduo, de forma quantitativa e qualitativa.

2.12.7. Simulação computacional

O Radiance foi desenvolvido por Greg Ward no Lawrence Berkeley National Laboratories e produz simulações físicas de iluminância interna e distribuições de luminância para superfícies de materiais difusos, especulares e parcialmente especulares (REINHART, WALKENHORST, 2001).

Uma ferramenta estática muito utilizada na previsão do ofuscamento é o Evalglare, uma metodologia baseada no Radiance, desenvolvida por Wienold e Christoffersen, que incrementa o índice de DGP. A ferramenta demanda um mapa de luminância de 180° do campo visual como entrada e, a partir desse, executa um algoritmo para diagnosticar as fontes de ofuscamento. Após, o Evalglare calcula diferentes índices de ofuscamento de desconforto das fontes detectadas (PIERSON, WIENOLD, BODART, 2018). Assim como o Evalglare, os *softwares* VELUX e Radiance Rendering, produzem imagens de luminância, a partir de renderizações com o

Radiance, possibilitando a detecção de DGP (ALAQTUM, 2020).

2.12.8. Análise dinâmica do ofuscamento

Conforme mencionado anteriormente, a métrica de DGP é uma das mais confiáveis para detecção do ofuscamento por desconforto, incluindo o efeito de saturação e contraste. Quek *et al.* (2021) defendem que as métricas de brilho devem evitar a simplificação excessiva em seu uso, para a análise do ofuscamento, que comporta tantas variáveis. Para os autores, com a melhoria de processamento dos computadores e da eficiência da simulação, os métodos de simulação computacional devem incorporar a análise dos efeitos de contraste concomitante aos efeitos da saturação, abrindo novas possibilidades para as métricas anuais de brilho.

Dadas as ferramentas atualmente disponíveis, e a complexidade envolvendo a análise das diversas variáveis na detecção de ofuscamento pela luz do dia, a presente pesquisa optou por utilizar o método de simulação, através do *software* Rhinoceros, com o *plug-in* ClimateStudio.

2.13. Qualificação da Vista para o exterior

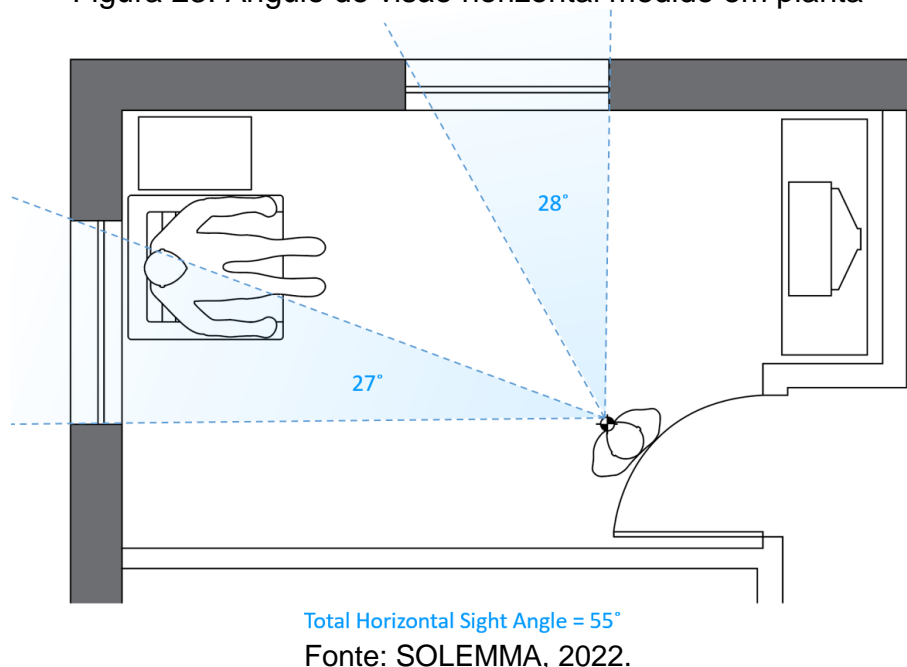
A classificação da vista para o exterior foi proposta pela primeira vez pela norma europeia EN 17037 (CEN, 2018). A revisão da norma brasileira incorpora a classificação da vista conforme a EN 17037, com modificações pontuais.

A qualidade da vista para o exterior depende do tamanho da abertura, do ângulo de visão horizontal, da distância externa de visão, do número de camadas vista e da qualidade das informações ambientais da vista (ABNT, 2023).

A vista para o exterior deve ser analisada a partir de pontos internos do ambiente, de acordo com os locais que as pessoas ocupam, e é avaliada de acordo com três parâmetros, de forma quantitativa. (1) O ângulo de visão horizontal define a largura da abertura da vista do observador, e deve ser de 14°, no mínimo. A Figura 23 ilustra como o ângulo de visão é medido em planta, podendo ser somado quando advindo de diferentes aberturas. (2) A distância externa da vista, onde se classifica a vista de acordo com a distância em que essa se encontra da paisagem observada, devendo ser de 6 metros, no mínimo. (3) A avaliação do número de camadas, onde considera-se que a vista externa ideal é composta por três camadas: uma porção de céu, uma

porção de paisagem antrópica e/ou natural e uma porção de piso. Entende-se que a vista deve ser composta, no mínimo, pela camada de paisagem (ABNT, 2023).

Figura 23. Ângulo de visão horizontal medido em planta



A EN 17037 (CEN, 2018) propõe a avaliação da vista classificando-a com níveis mínimo, médio e superior. Já a norma brasileira NBR 15215 (ABNT, 2023) propõe a qualificação da vista pela recomendação em níveis, partindo do nível I (condição adequada), para o nível II (condição ótima) até o nível III (condição excelente). A Tabela 7 resume a classificação da vista, de acordo com a NBR 15215-3:

Tabela 7. Parâmetros para classificação da vista

Nível de recomendação para vista externa	Ângulo de visão horizontal	Distância externa da vista	Parâmetro ^a
			Número de camadas a serem vistas em a partir da área utilizada. Camadas consideradas para a análise: – céu – paisagem (antrópica e/ou natural) – chão piso externo
Nível I	≥ 14°	≥ 6,0 m	Pelo menos a camada de paisagem deve estar incluída
Nível II	≥ 28°	≥ 20,0 m	Camada de paisagem e uma camada adicional devem estar incluídas na mesma abertura de exibição da vista
Nível III	≥ 54°	≥ 50,0 m	Todas as camadas devem estar incluídas na mesma abertura de exibição da vista

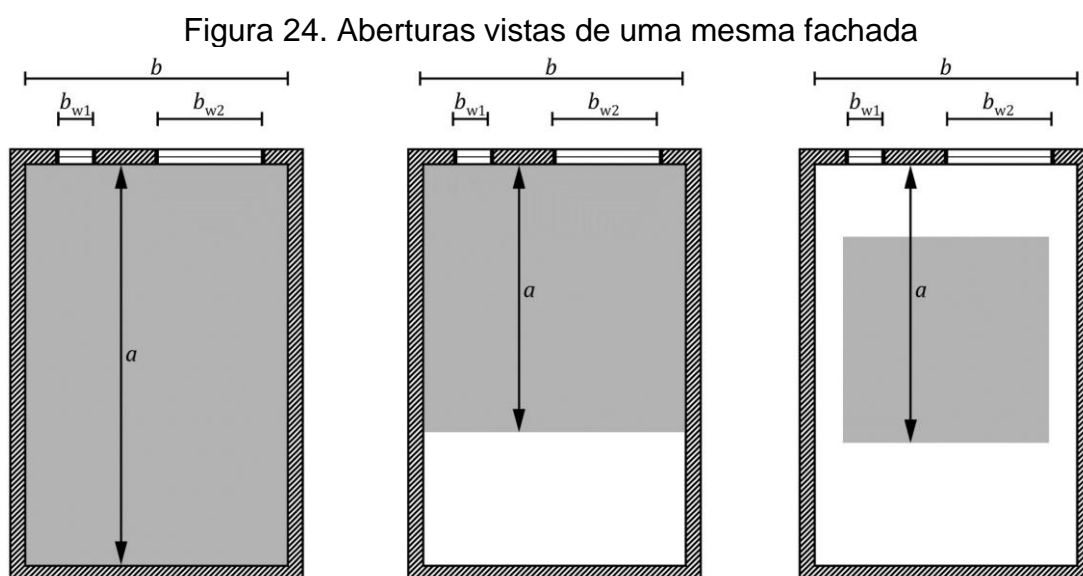
^a Para um espaço com profundidade de ambiente superior a 4 m, recomenda-se que a respectiva soma das dimensões de abertura de vista seja de pelo menos 1,0 m x 1,25 m (largura x altura).

Fonte: ABNT, 2023.

O nível de classificação da vista para o exterior deve ser adotado de acordo com o critério de menor avaliação, dentre os três parâmetros analisados.

A norma pontua ainda que o material transparente da abertura para o exterior deve proporcionar visão clara e sem distorções de cores. Para uma análise qualitativa da vista deve-se levar em conta também o valor estético da composição da vista externa, que se relaciona com a complexidade, o grau de manutenção, o interesse histórico das edificações, a presença de natureza, etc. Ademais, a norma propõe uma classificação subjetiva, igualmente em níveis, para maiores informações do ambiente externo, como localização, tempo, clima, natureza e presença de pessoas, fatores também importantes para a dinâmica da vista (ABNT, 2023).

Para garantir a largura da vista, a norma recomenda que sejam atendidas relações entre a largura da abertura para a vista (b_w), a distância entre a fachada e o ponto mais remoto da área utilizada no ambiente (a), e a largura da fachada entre as paredes internas do ambiente (b), mostradas na Figura 24.



Legenda:

- a distância entre a fachada e a parte mais remota da área utilizada, expressa em metros (m)
- b largura da fachada entre as paredes internas, expressa em metros (m)
- b_{w1} largura a abertura 1, expressa em metros (m)
- b_{w2} largura a abertura 2, expressa em metros (m)

Fonte: ABNT, 2023.

Baseadas na Figura 24, duas condições devem ser respeitadas: (1) a soma das

larguras das aberturas deve ser maior ou igual à metade da distância entre a fachada e o ponto mais remoto da área utilizada no ambiente ($b_{w1}+b_{w2} \geq a/2$); (2) a soma das larguras das aberturas deve ser maior ou igual à metade da largura do ambiente ($b_{w1}+b_{w2} \geq b/2$) (ABNT, 2023).

2.14. Métodos de avaliação da vista externa em ambientes internos

A NBR 15215-3 (ABNT, 2023) propõe dois métodos para classificação da vista, sendo o simplificado, feito de forma gráfica, e o avançado, que incorpora projeções, uso de imagens olho de peixe e simulação computacional.

2.14.1. Estudos experimentais

Assim como exposto para ofuscamento, no tópico 2.12.1, estudos experimentais para análise da vista buscam comparar resultados da qualificação da vista com a percepção dos usuários do espaço.

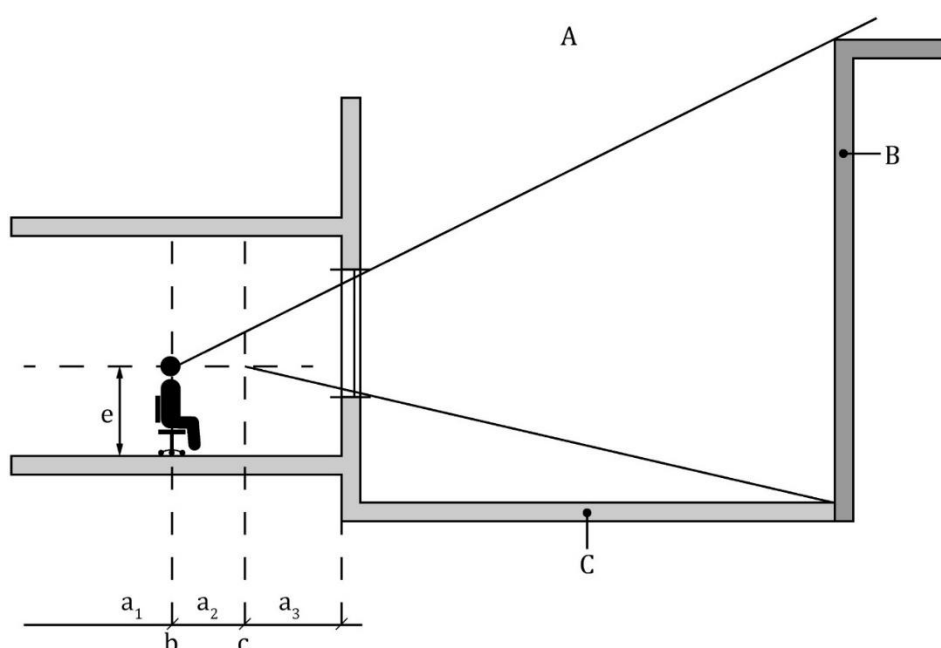
A fim de entender a satisfação de alunos com o ambiente externo, Mirmoradi (2021) fez um estudo experimental no Irã, em três salas de aula de uma universidade com geometria semelhantes, com diferentes dimensões de aberturas, em diferentes orientações de fachada, com diferentes proximidades com o exterior. O autor concluiu que um dos fatores que mais agradam aos usuários na vista exterior é a presença da natureza e, entre os fatores que mais desagradam, está a falta de planejamento do ambiente interno, com a presença de aberturas com dimensões insuficientes para a entrada de luz e limitação da vista externa. O autor pontua a importância de aferir a vista externa com métodos quantitativos e qualitativos do espaço, sendo a opinião do usuário capaz de trazer conhecimentos para a produção de espaços melhores.

Com a aplicação de questionários, Burton (2022) aferiu a percepção dos usuários em espaços de salas de aula, a fim de compreender a relação do ambiente físico, o desempenho acadêmico e o bem-estar dos alunos. Além do questionário quantitativo, que buscava elencar as principais variáveis da sala de aula na satisfação dos alunos, perguntas abertas também foram aplicadas. Dentre as respostas abertas, o estudo notou que o maior desejo dos alunos era ter acesso à vistas através de janelas na sala de aula sem abertura.

2.14.2. Método gráfico

A proposta de revisão da NBR 15215-3 apresenta como método gráfico para avaliação da vista para o exterior o método simplificado, feito com a combinação de conceitos das linhas sem-céu e sem-piso, junto à largura da vista. Essa avaliação pressupõe que a largura do ângulo de visão horizontal e a distância externa estejam sendo atendidos em níveis mínimos, ao menos. Para a classificação mínima, recomenda-se que seja vista a camada de paisagem, no mínimo.

Figura 25. Corte esquemático para avaliação da vista no método simplificado



Legenda

- a Indicação de camadas visíveis
- b Ponto a partir do qual o céu não é visível;
- c Ponto a partir do qual o terreno não é visível;
- e altura do nível dos olhos do usuário ou altura ocular do usuário, 1,2 m
- A céu
- B paisagem antrópica ou natural
- C chão/ piso externo

Fonte: ABNT, 2023.

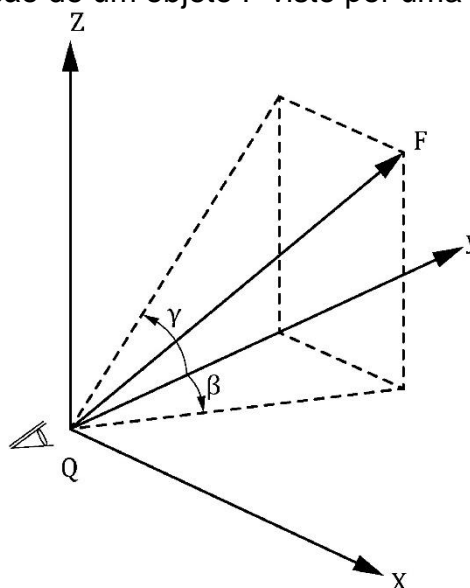
A Figura 25 mostra um corte esquemático da análise da vista através do método simplificado. A NBR 15215-3 (ABNT, 2023) indica ainda que o ponto de referência para análise da vista deve estar a uma altura mínima de 1,20 m do piso, ou 0,30 m acima do peitoril da abertura de luz, para os casos em que o peitoril tiver altura maior que 1,20 m.

2.14.3. Método de projeção

O método avançado proposto pela NBR 15215-3 (ABNT, 2023) é o método de projeção. Ele é recomendado para formas mais complexas de aberturas e que possuem mais componentes, como dispositivos de sombreamento. O método consiste na projeção tipo olho de peixe, feita através de desenho manual, câmera fotográfica ou programa computacional.

Na Figura 26, o ponto Q indica a altura de visão do observador (considerado 1,20 m para uma pessoa sentada e 1,60 m para uma pessoa em pé). O eixo y indica a direção de visão do observador. F é o ponto onde um objeto é visto dentro do campo visual. O vetor QF é traçado nos planos yz e xy , resultando nos ângulos γ e β entre as projeções de QF e o eixo y , respectivamente.

Figura 26. Posição de um objeto F visto por uma pessoa no ponto Q



Legenda

- y direção da visão
- Q altura do olho
- F local em que um objeto é observado

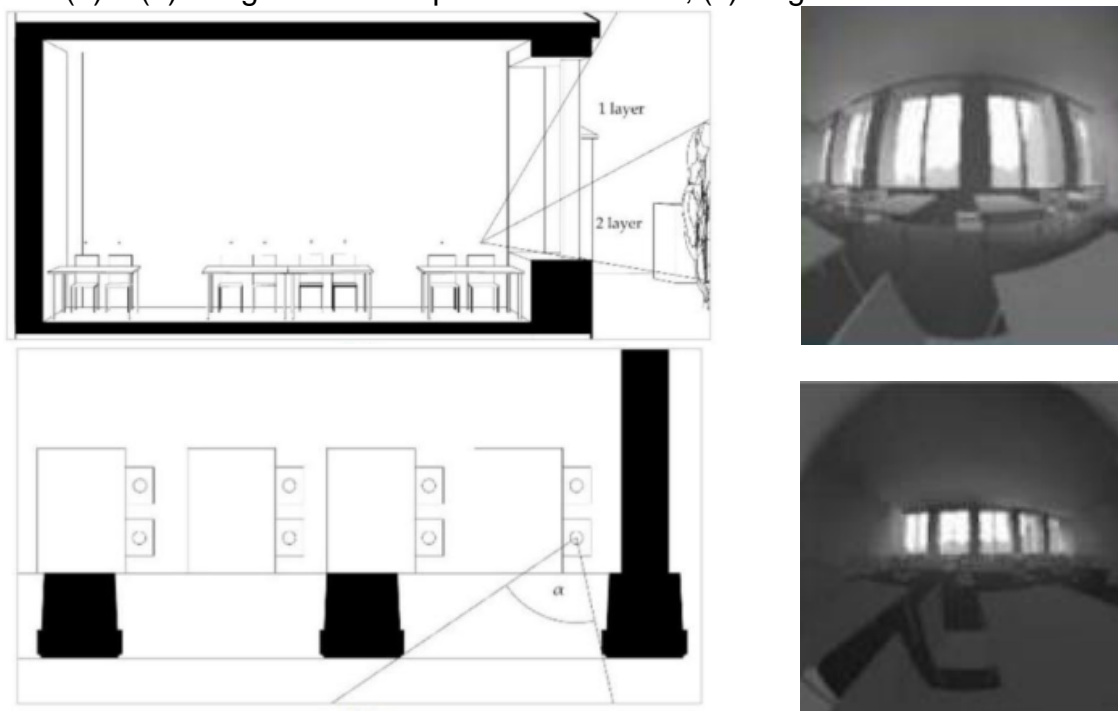
Fonte: ABNT, 2023.

Outros métodos podem ser utilizados, como o método de projeções cilíndricas ou projeções esféricas.

Um estudo de Waczynska, Sokol e Martyniuk-Peczek (2021) utilizou programa computacional para geração das imagens olho de peixe na avaliação da vista. O ângulo de visão horizontal foi medido no plano 2D, enquanto a distância horizontal

externa foi medida no modelo 3D. Já o número de camadas foi analisado através de programa computacional. O modelo 3D foi desenhado no Rhinoceros e as imagens olho de peixe foram geradas com o *plug-in* DIVA, de acordo com as instruções da EN 17037:2018 (Figura 27).

Figura 27. Procedimento de avaliação da vista: (a) Número de camadas visíveis; (b) e (d) Imagens olho de peixe do *software*; (c) Ângulo de visão horizontal



Fonte: WACZYNSKA, SOKOL, MARTYNIUK-PECZEK, 2021.

Os autores do estudo constataram que o modelo tridimensional dos ambientes internos e externos foi importante no processo de avaliação da vista. O modelo 3D com a previsão das dimensões, distribuição espacial, a transparência e mobilidade dos elementos que estão na paisagem foram fundamentais no processo de avaliação (WACZYNSKA, SOKOL, MARTYNIUK-PECZEK, 2021).

2.14.4. Simulação computacional

A classificação da vista através da simulação computacional é possível através da modelagem no Rhinoceros, com análise feita no *plug-in* ClimateStudio, onde as vistas podem ser avaliadas segundo a certificação LEED v.4 (*Leadership in Energy and Environmental Design v.4*) ou segundo a EN 17037:2018.

Para a avaliação das vistas, uma etiqueta de visualização deve ser atribuída às camadas utilizadas. Na análise feita baseada na EN 17037 (2018), as etiquetas devem

ser aplicadas para distinguir os vidros (*Vision Glass*) que permitem a visão. É através dessas superfícies que a distância externa da vista e o ângulo de visão são medidos. Além da etiqueta para vidros, a etiqueta de solo (*Ground*) também deve ser atribuída. Para análise baseada no LEED v.4, demais etiquetas também devem ser utilizadas, para classificação de natureza (*Nature*), paisagens urbanas movimentadas (*Movement*) e arte ou pontos de referência urbanos (*Art or urban landmarks*).

Assim, os três critérios de vista podem ser analisados pelo programa, que compreende as camadas de paisagem, piso e céu. O programa considera todas as *layers*⁵ de desenho sem etiqueta como partes integrantes da camada paisagem (SOLEMMA, 2022). O nível de classificação geral é o de pior desempenho entre os três critérios analisados, para cada ponto de visualização (SOLEMMA, 2022).

Na Figura 28 é possível ver outra possibilidade de visualização dos resultados que o programa oferece, onde é possível ver os resultados de classificação geral e para cada critério, atribuídos para cada nível da escala (na imagem: vista geral, número de camadas, ângulo de visão horizontal, e distância externa).

Figura 28. Resultados para cada critério de análise da Vista no ClimateStudio

Building-wide View Levels [% floor area]																	
Fail		Minimum				Medium				High							
0,0%		0,0%				93,9%				6,1%							

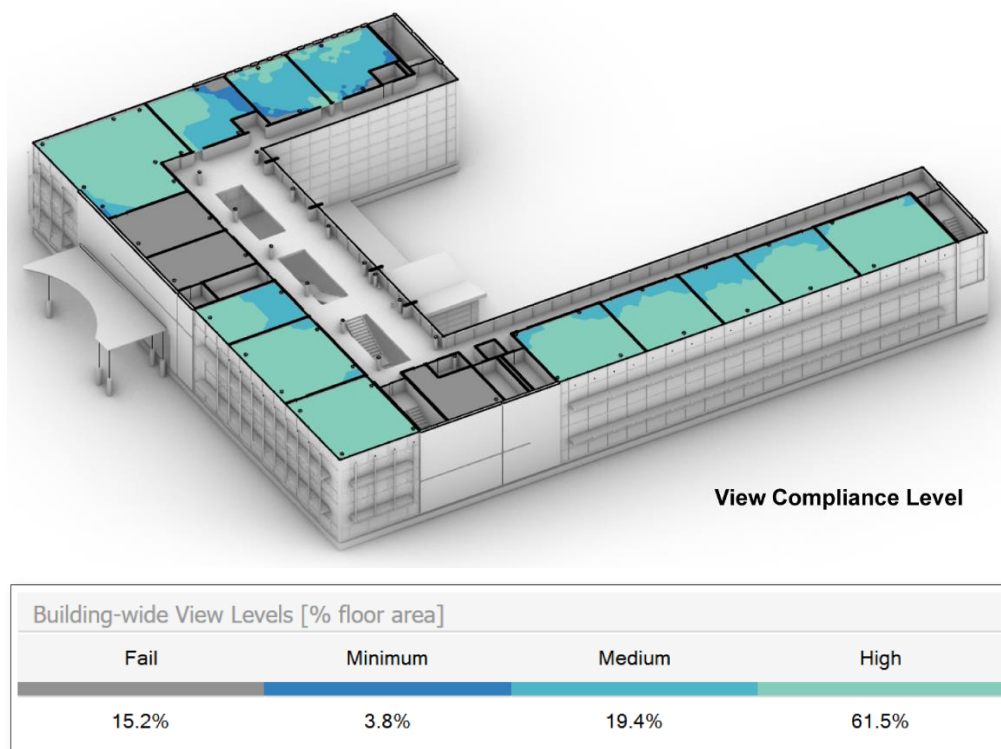
Rooms [% floor area]																		
ID	Description	Sq.m	View.Fail	View.Min	View.Med	View.High	Layers.Fail	Layers.Min	Layers.Med	Layers.High	Sight.Fail	Sight.Min	Sight.Med	Sight.High	Dist.Fail	Dist.Min	Dist.Med	Dist.High
403N		92,6	0,0%	0,0%	93,9%	6,1%	0,0%	0,0%	93,9%	6,1%	0,0%	0,0%	0,6%	99,4%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O *software* também permite a visualização gráfica do resultado da classificação para cada critério, conforme mostra a Figura 29.

⁵ Foi usado o termo *layer* para diferenciar camada de desenho do termo camada usado para a qualificação das vistas externas.

Figura 29. Resultado gráfico de Vista analisada no ClimateStudio para EN 17037:2018



Fonte: SOLEMMA, 2022.

2.15. Diretrizes para a simulação dinâmica da luz natural e vista dos espaços

A simulação dinâmica requer cuidados para o desenvolvimento de avaliações precisas que vão desde a modelagem dos espaços à correta entrada de dados. Estes são descritos nos itens a seguir.

2.15.1. Modelagem dos espaços

A modelagem deve representar a volumetria fiel da edificação, independentemente da quantidade de espaços analisados, a fim de caracterizar qualquer condição de auto obstrução. Deve ser modelada também, nas três dimensões, qualquer abertura que permita a incidência da luz natural no interior dos ambientes, seja de forma direta ou indireta. Detalhes de aberturas com dimensões mais significativas também devem ser modelados. A modelagem deve permitir uma boa leitura espacial geométrica da edificação e das propriedades dos materiais com suas características de reflexão, transmissão difusa e especular. Qualquer elemento de sombreamento e controle de luz solar, interno ou externo ao edifício, também deve ser representado no modelo

(BRASIL, 2021; SOLEMMA, 2022).

Segundo a INI-C o entorno pode ser modelado apenas com superfícies planas, sem detalhamentos. A modelagem de vegetação é opcional, devendo ser analisadas sua variabilidade e características. Caso seja modelada, pode ser feita com formas simplificadas, em tamanho apropriados e refletância de 20%. Obstruções externas devem ser desenhadas levando-se em consideração as edificações e topografia do entorno imediato. O afastamento e a largura das vias devem ser contabilizados (BRASIL, 2021).

2.15.2. Parâmetros de entrada num programa de simulação dinâmica

Após a modelagem do edifício e do entorno, devem ser configurados parâmetros de entrada para o programa de simulação, explicitadas nos tópicos a seguir.

2.15.2.1 Arquivo Climático

Para a etapa da simulação, um dos principais requisitos é a informação da localidade, com o uso de um arquivo climático, que resume a zona climática em questão, trazendo para o programa condicionantes de projeto de uma localidade (SOLEMMA, 2022), o que permite a modelagem climática anual horária.

Informações do céu são importantes na entrada para a simulação. O programa de simulação usa o arquivo climático para definir o modelo de céu a partir de informações de irradiâncias diretas e difusas baseadas na data e hora selecionadas. Ou seja, a especificação da data e hora do dia definem como a distribuição de luminância do céu é calculada (SOLEMMA, 2022).

Segundo a Instrução Normativa (2021), o arquivo climático utilizado deve, pelo menos, ter uma série temporal anual de 8.760 valores horários anuais; fornecer parâmetros mínimo como irradiação/iluminância horizontal global, irradiação/iluminância direta normal e irradiação/iluminância difusa horizontal; representar os dados climáticos do grupo climático onde o projeto estará locado; ter o formato INMET, publicado no website⁶ do PBE Edifica, ou no formato SWERA, TMY ou TRY⁷.

⁶ No endereço: <<http://pbeedifica.com.br/arquivos-climaticos>>

⁷ SWERA – Solar and Wind Energy Resource Assessment; TMY – Typical Meteorological Year; TRY – Test Reference Year (BRASIL, 2021).

2.15.2.2 Período de Análise

Outra exigência do programa de simulação é a informação do intervalo do período de análise para a simulação. A programação é usada pelas métricas de luz natural ao executar uma análise de disponibilidade de luz natural (SOLEMMA, 2022).

Para a IESNA (2012), o horário de 10 horas representa uma aproximação razoável das horas de trabalho comuns e possibilita a comparação entre projetos de edificações, mesmo quando esses possuem horários de operação diferentes, ou antes que a ocupação seja definida. Por isso, afirmam que “é melhor pensar em sDA como uma descrição do valor da suficiência de luz do dia em um determinado espaço” (tradução nossa) (IESNA, 2012).

Já a EN 17037 (CEN, 2018) recomenda que o tempo de avaliação da luz natural seja da metade das horas de luz do dia, ou, seja 12 horas por dia.

A proposta de revisão da NBR 15215 (ABNT, 2023) por sua vez recomenda que o período de análise corresponda ao período de 10 horas de luz natural diária, ao longo de todo o ano.

Segundo a INI-C (2021), para a tipologia educacional, deve-se considerar o funcionamento do edifício de 8 horas diárias, em 200 dias no ano, calculados com base na média de dias úteis por ano, excluindo-se os meses de férias, feriados nacionais e fins de semana (BRASIL, 2021).

A disponibilidade de luz do dia varia muito ao longo do dia, bem como as condições climáticas e de céu. Por isso, mudar o período de análise também altera a disponibilidade anual da luz natural e, para fins de pesquisa, o período de tempo fixo é necessário para definir padrões amplamente compartilhados de desempenho.

2.15.2.3 Refletância dos materiais

Diferentes superfícies tem diferentes refletâncias. A forma como a luz interage com as superfícies, é ditada pelos materiais, suas texturas e cores. Dados de refletância, especularidade e difusão são características das superfícies ligadas diretamente com a luminância. Por isso, atribuir os materiais corretamente às superfícies do modelo determina adequadamente os efeitos da iluminação nos espaços internos (BISSOLOTI e PEREIRA, 2019).

Na configuração do modelo, objetos com diferentes propriedades de material devem ser colocados em diferentes *layers*, com cada *layer* recebendo um material apropriado. A biblioteca de materiais do programa ClimateStudio exibe as propriedades de cada material por categoria, que devem ser seguidas para atribuição no modelo (SOLEMMA, 2022).

2.15.2.4 Configuração das malhas de pontos

Para definição dos espaços ocupados e para a análise dos resultados posteriormente, malhas de pontos devem ser criadas. Tal define a precisão na definição dos limites do ambiente e permite a leitura dos resultados de forma gráfica após a simulação (SOLEMMA, 2022).

As malhas de pontos tem seus parâmetros configurados conforme instruções normativas. Elas serão configuradas com uma determinada altura em relação ao piso de referência. Devem conter sensores de análise, que são configurados com espaçamentos da borda até os limites do ambiente (paredes e janelas) e espaçamentos entre os próprios sensores.

A proposta de revisão da NBR 15215-3 (ABNT, 2023) recomenda que a malha de pontos esteja a 0,75 m acima do piso e com espaçamento entre suas extremidades para as paredes internas de 0,5 m. A norma indica ainda que malhas de pontos que se aproximem de uma figura quadrada são preferíveis, respeitando uma razão entre comprimento e largura de 0,5 a 2.

2.15.3. Camadas para análise da vista

A avaliação de Vista através do *software* de simulação tem caráter estático. Ela analisa a visão do usuário em direção às aberturas, desde diversos pontos internos da sala de aula. Conforme explicitado no item 2.14.4, essa avaliação requer a atribuição de etiquetas às diferentes *layers* desenhadas tridimensionalmente, onde são definidos para o programa quais são as *layers* referentes à vidro e à solo, no caso da avaliação de acordo com a EN 17037 (CEN, 2018) e, conseqüentemente, a NBR 15215-3 (ABNT, 2023).

2.16. Resumo

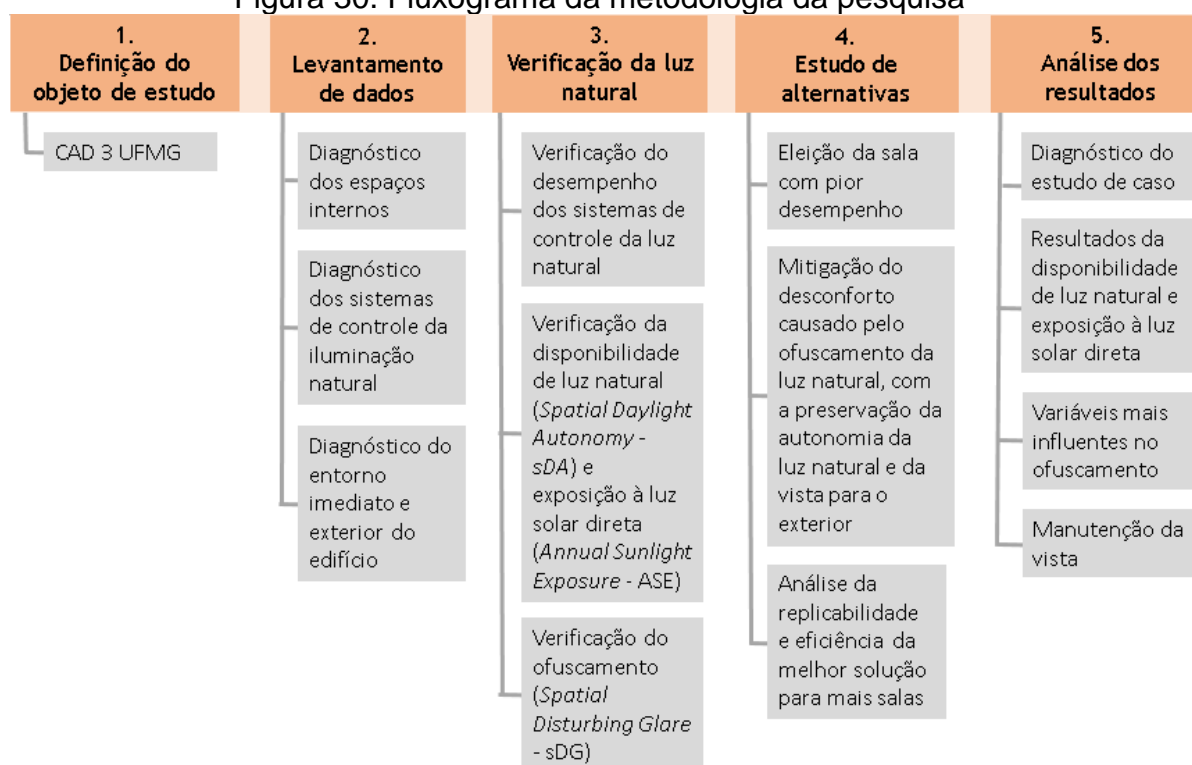
Tendo feito uma revisão sobre as questões relativas ao comportamento dos usuários em espaços iluminados com luz natural e especificamente em ambientes de ensino, a revisão da literatura permitiu identificar que a ocorrência de ofuscamento, em especial a dinâmica do campo visual humano na sua ocorrência, é um assunto ainda pouco tratado na literatura. Identificou-se que o usuário reage à presença de ofuscamento atuando sobre os espaços construídos e que as intervenções deste usuário nem sempre são eficazes para resolver o problema identificado, além de interferir na qualidade da disponibilidade da luz natural e da vista para o exterior. Em ambientes de ensino em especial, identificou-se que há hierarquia no uso e na intervenção dos sistemas de iluminação natural, sendo o professor um dos principais agentes em ambientes de sala de aula, seguido pelos alunos. As avaliações da luz natural atualmente, constantes em normas, giram em torno da disponibilidade de luz natural, do ofuscamento, da vista e da provisão ou exposição à luz solar direta. A revisão da literatura passou então a identificar essas métricas e os métodos para avaliação do ofuscamento, tendo selecionado como método a ser aprofundado o uso da simulação dinâmica para avaliação do desconforto causado pelo brilho, método este introduzido recentemente e inovado com a análise do ofuscamento sob várias direções visuais do observador. A simulação dinâmica permite ainda a avaliação da autonomia da luz natural, da exposição à luz solar direta e da vista para o exterior.

A metodologia do presente trabalho apresentada a seguir, descreve então, passos metodológicos para uma avaliação mais aprofundada da questão do ofuscamento em ambientes escolares tomando como estudo de caso uma edificação universitária com a presença extensiva de salas de aula.

3. METODOLOGIA

A metodologia da presente pesquisa é dividida em 5 etapas. A primeira consiste na definição do objeto de estudo. A segunda se faz no levantamento de dados, com diagnósticos e caracterização do objeto de estudo. A terceira etapa consiste na verificação da iluminação natural nos espaços analisados, através de simulações computacionais. A quarta etapa consiste no estudo de alternativas para mitigação do ofuscamento causado pela luz natural nos ambientes analisados, com preservação da autonomia da luz natural e da vista. A quinta etapa é composta pela análise dos resultados, com base no levantamento bibliográfico, nos diagnósticos realizados e nos resultados da avaliação da luz natural no objeto de estudo. A Figura 30 apresenta um fluxograma esquemático da metodologia da pesquisa.

Figura 30. Fluxograma da metodologia da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3.1. Definição do objeto de estudo

Conforme Soares e Camargo (2021), o estudo de caso é uma importante forma de análise qualitativa dos espaços, com caráter teórico e empírico, permite a compreensão da problemática em um espaço real, com um caso existente na atualidade. Aproveitando o problema real, alia-se a possibilidade de analisar

diferentes variáveis, testar e melhorar esses espaços, trazendo mais qualidade para os usuários.

O objeto de estudo escolhido foi o edifício do Centro de Atividades Didáticas de Ciências Exatas 3 (CAD 3) da Universidade Federal de Minas Gerais, devido à verificação inicial e empírica de existência de incômodo com a luz natural incidente nos espaços internos. Verificou-se, em um primeiro momento, que o edifício de fachadas norte e sul, apesar de apresentar *brises* projetados para gerar proteção solar da incidência de radiação direta na fachada norte, apresenta em suas janelas a colocação posterior de película, que levou ao questionamento motivador da presente pesquisa.

3.1.1. Diagnóstico do estudo de caso

O levantamento do edifício compreende a coleta de dados relativos à forma, projeto, dimensões espaciais, materiais de acabamento construtivos, posições e dimensões das aberturas e dados de funcionamento do prédio. Tendo sido reconhecida a importância do contexto de implantação do edifício na análise da incidência da luz natural nos espaços internos, o levantamento compreende também as construções do entorno, com sua geometria, dimensões e materiais de acabamento, afastamentos, presença de vegetação e a topografia ao redor do edifício.

3.1.2. Definição dos espaços analisados

Tendo reconhecido as salas de aula como espaços importantes para o desempenho dos usuários nas funções em que se colocam e onde passam muito tempo durante o dia, o presente estudo irá analisar esses ambientes no edifício.

Conforme metodologia de Islam (2021), para o estudo foram selecionadas salas com aberturas localizadas em diferentes fachadas, com diferentes orientações e em diferentes alturas na edificação para que se pudesse diversificar ao máximo as vistas obtidas para o exterior e a relação dos ambientes com as obstruções do entorno. Foram selecionadas para tal as salas de aulas que estão nos pavimentos 2, 3 e 4 do CAD 3 conforme mostrado nas imagens de planta-baixa dos pavimentos (Figuras 31, 32 e 33).

Figura 31. Planta-baixa do pavimento 2 do Bloco 1 do CAD 3

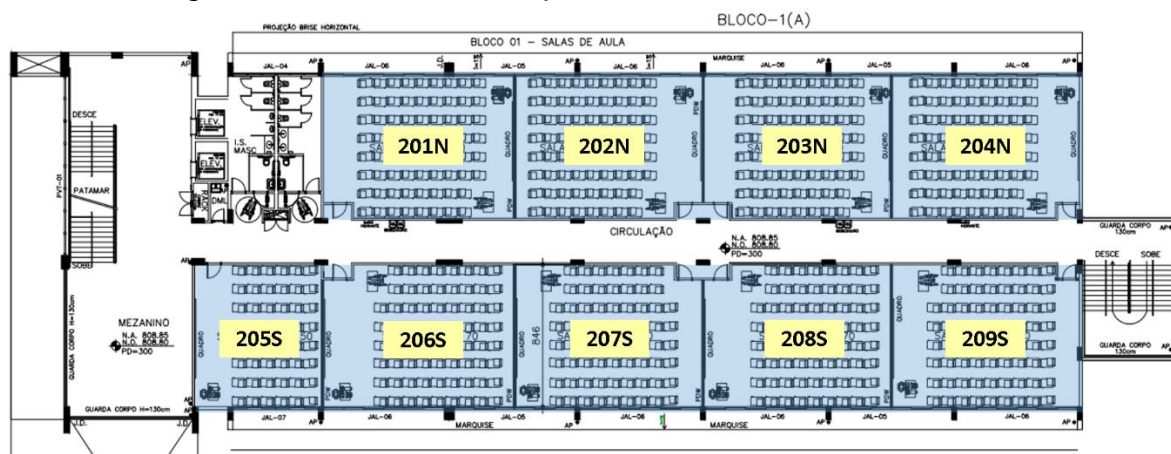


Figura 32. Planta-baixa do pavimento 3 do Bloco 1 do CAD 3

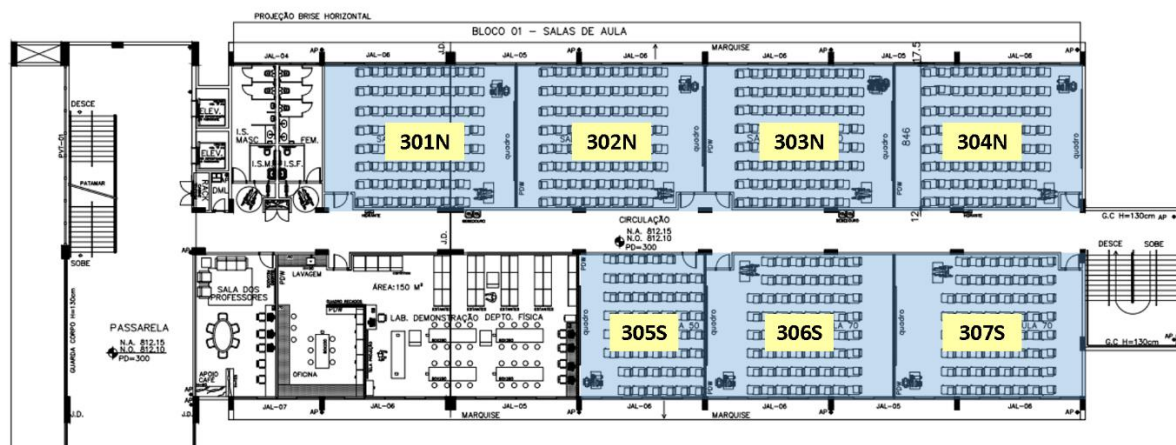
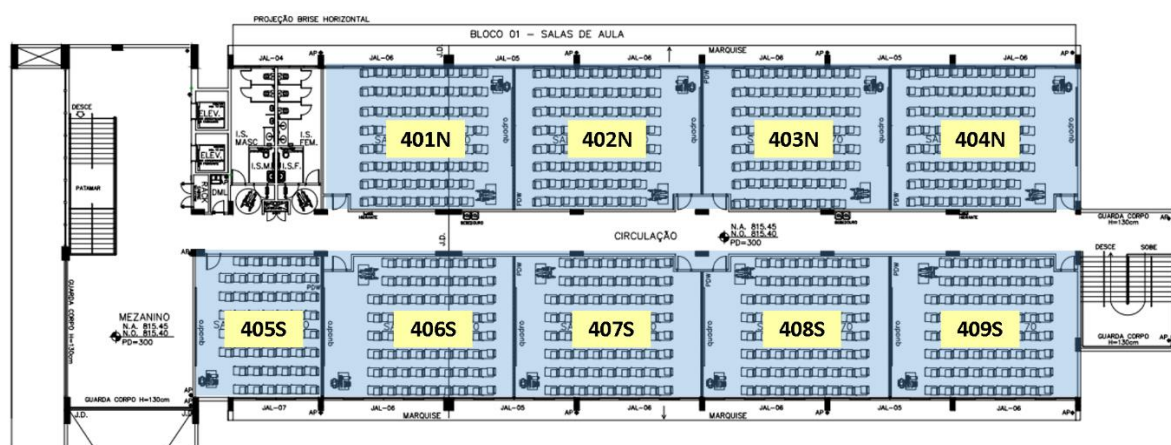


Figura 33. Planta-baixa do pavimento 4 do Bloco 1 do CAD 3



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

3.1.3. Verificação dos sistemas de controle da luz natural nos espaços analisados

Os sistemas de controle da luz natural existentes no prédio foram levantados, com suas características óticas, dimensões e composições. As janelas foram um dos

sistemas levantados, envolvendo também os cálculos da relação entre área da janela e do piso das salas, e o percentual de área de abertura na fachada (PAF), conforme indica a INI-C (BRASIL, 2021).

3.2. Verificação da autonomia de luz do dia, exposição anual à luz solar, ofuscamento e vista

A luz natural no interior do edifício foi examinada em um modelo de simulação que auxilia na compreensão da iluminância no interior dos espaços e do ofuscamento no campo de visão em diferentes direções.

3.2.1. Simulação da luz natural

Conforme mencionado por Islam (2021), embora seja um desafio identificar fisicamente o efeito de uma variável da arquitetura e do entorno, o uso da simulação computacional auxilia na investigação do impacto de um único fator enquanto mantém outros fatores constantes. Portanto, uma série de simulações de luz do dia foram realizadas neste estudo para analisar a influência de elementos de controle da luz natural na incidência desta e no ofuscamento que pode causar.

Primeiramente, foi analisado o desempenho da iluminação natural nas salas de aula na edificação original, através das métricas sDA, ASE e sDG (para as alturas de 1,20 m e 1,60 m). Depois, as mesmas métricas foram calculadas com variação na abertura das janelas.

As normas que contemplam a avaliação da luz natural, de modo geral, recomendam a simulação da iluminação considerando-se vidros fechados. No entanto, considerou-se que, para a análise da ocorrência de ofuscamento, a simulação com as janelas abertas poderia mostrar mais adequadamente as situações encontradas em salas de aula que são ventiladas naturalmente, já que as janelas ficam abertas para este fim. Para a iluminação destes espaços que possuem película aplicada nos vidros, a abertura das janelas indica que na área onde as folhas estão fechadas haverá uma redução da transmissividade dos vidros e na área aberta haverá entrada desobstruída da luz natural acarretando um maior contraste na entrada de luz.

Em etapa posterior, foi analisada a eficiência de novos dispositivos para controle do ofuscamento, com os cálculos de sDA, ASE e sDG (para as alturas de 1,20 m e

1,60 m) e também a análise da vista. As etapas de simulação são descritas mais adiante.

3.2.1.1 Simulações exploratórias

Para esta avaliação, as investigações sobre a iluminação natural e seus elementos de controle foram feitas em cinco condições do prédio, resumidas na Tabela 8. Ressalta-se que “elementos de proteção” referem-se à platibandas verticais e horizontais, pilares e *brises* horizontais (presentes na fachada norte). A película, também elemento de proteção, é tratado aqui como tipo de vidros das janelas.

Condição 1: vidro transparente original, sem elementos de proteção solar, com todas as folhas e bandeiras das janelas fechadas.

Condição 2: vidro transparente original, com elementos de proteção solar, com todas as folhas e bandeiras das janelas fechadas.

Condição 3: vidro com película, com elementos de proteção solar, com todas as folhas e bandeiras das janelas fechadas.

Condição 4: vidro com película, com elementos de proteção solar, com folhas das janelas abertas e bandeiras fechadas.

Condição 5: vidro com película, com elementos de proteção solar, com todas as folhas das janelas fechadas e bandeiras abertas.

Tabela 8. Condições para simulação dos ambientes

Condição	Com <i>brise</i> e platibandas	Com película	Janelas abertas	Bandeiras abertas
1				
2	X			
3	X	X		
4	X	X	X	
5	X	X		X

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A condição sem proteção solar e janelas com vidro transparente (Condição 1) foi simulada para analisar a eficiência dos elementos de proteção solar presentes na edificação, exceto a película (Condição 2). Conforme recomenda a revisão da NBR 15215, as simulações foram feitas com janelas fechadas (Condições 1, 2 e 3). Simulação com as folhas das janelas abertas foram feitas por ser a condição de uso

desses ambientes normalmente, e que permite a ventilação nesses espaços (Condição 4). Bem como a simulação com folhas das janelas fechadas, mas com bandeiras abertas (Condição 5), que permite ventilação higiênica em épocas mais frias.

3.2.1.2 Simulações para mitigação da ocorrência de ofuscamento

Foram feitas simulações com a introdução de elementos de controle para mitigação dos problemas de ofuscamento, buscando garantir bons níveis de autonomia da luz natural, exposição à luz direta solar e vista para o exterior. Estas simulações foram definidas com base na revisão da literatura e pesquisa comercial de dispositivos existentes.

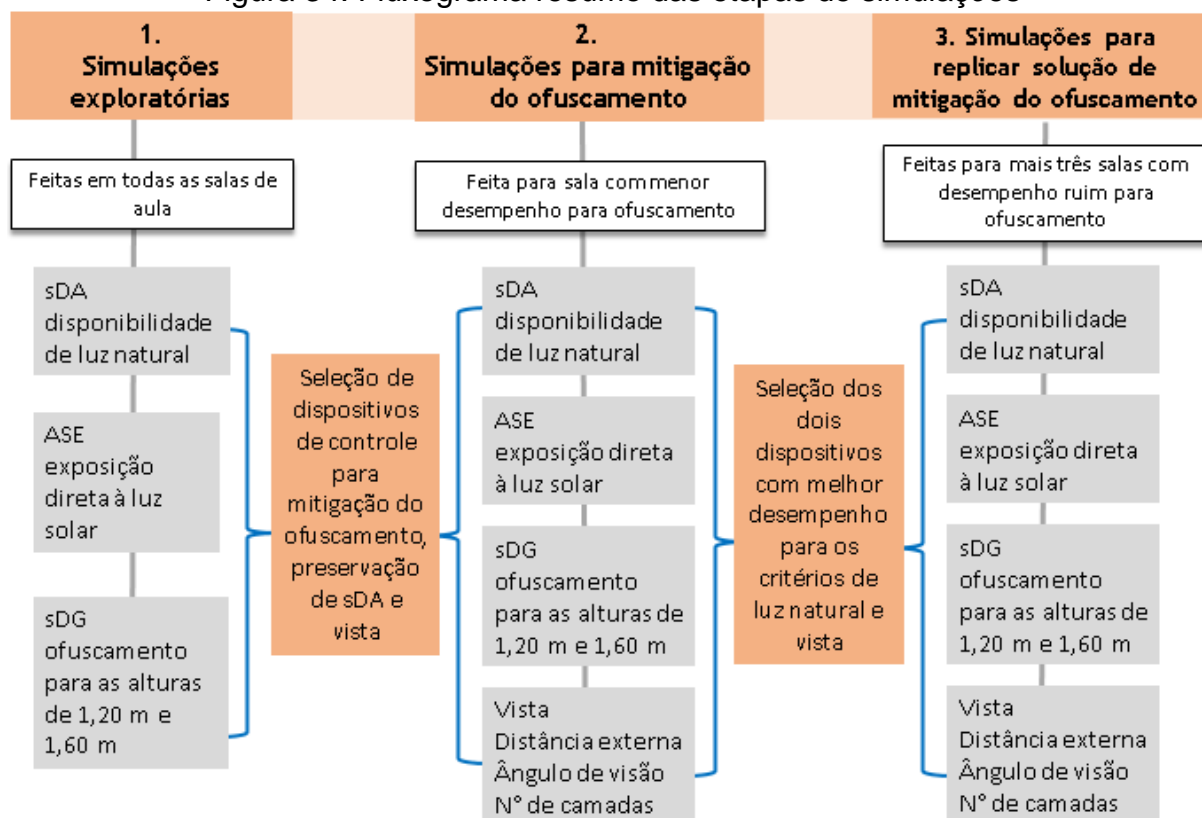
Para essas simulações foram consideradas a Condição 2, exposta no tópico 3.2.1.1, com os ambientes considerando o vidro transparente original, com elementos de proteção solar, mas sem os *brises* horizontais existentes na fachada norte, a fim de melhor avaliar a eficiência dos novos dispositivos. Por isso, a Condição 2, mas sem os *brises* na fachada norte foi simulada apenas para as salas onde os novos dispositivos foram testados, para efeitos de comparação das situações. Considerou-se todas as folhas e bandeiras das janelas fechadas, conforme instruções da revisão da NBR 15215-3.

As simulações das alternativas de novos dispositivos de controle de ofuscamento envolveram a avaliação das salas com desempenhos mais baixos para sDG. Para agregar essa análise, avaliou-se ainda a porcentagem da área do ambiente que experimenta o ofuscamento, a fim de quantificar quantas posições na sala estão suscetíveis ao desconforto visual. Adotou-se que seria admitido a presença de ofuscamento em até 25% da área da sala, conjugado à análise dos outros parâmetros. Primeiro, foi elencada a sala com os resultados mais críticos de ofuscamento. Posteriormente, foram selecionadas mais três salas com desempenhos críticos no desconforto causado por ofuscamento devido à luz do dia.

Para a primeira sala, foram simulados dez opções de dispositivos de controle de ofuscamento, com cálculos de disponibilidade da luz natural, exposição direta à luz solar, ofuscamento e vista para o exterior. Dessa análise, foram elencados os dois dispositivos de controle de ofuscamento mais eficientes para o estudo. Então, foram

simulados esses dois dispositivos para as outras três salas, com cálculo dos mesmos parâmetros analisados para a primeira sala, de sDA, ASE, sDG e vista. A Figura 34 resume as etapas das simulações.

Figura 34. Fluxograma resumo das etapas de simulações



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.2.2. Simulação computacional no Rhinoceros com *plug-in* ClimateStudio

O *plug-in* ClimateStudio foi utilizado no *software* Rhinoceros para as simulações de luz do dia. Seus fluxos de trabalho de simulação colaboram para otimizar edificações para o conforto ambiental, com análises da luz do dia e conforto visual.

A partir das simulações, foi possível analisar a disponibilidade da luz natural, para verificar os níveis de atendimento à iluminâncias recomendados pela revisão da NBR 15215-3. Conforme mencionado anteriormente, a norma propõe a avaliação de disponibilidade da luz natural através da Iluminância Alvo de 250 lux em metade do tempo de incidência da luz natural. O programa computacional utilizado representa essa informação com base na métrica *Spatial Daylight Autonomy* (sDA). Por isso, o conceito de autonomia da luz natural foi analisado e representado por sDA_{250,50}. Junto

à classificação de níveis da norma brasileira, a pesquisa incorporou a qualificação adjetiva da norma europeia 17037:2018. Não foi analisada a Iluminância Alvo Mínima de 100 lux recomendada pela proposta da norma, para fins de simplificação das análises.

Para exposição direta à luz do dia, foi analisada a recomendação da LM-83-12 (IESNA, 2012) e da INI-C (BRASIL, 2021), que apresenta valores limites para exposição à luz solar, entendido que essa análise pode prever o desconforto visual, com uso da métrica utilizada pelo programa de *Annual Sunlight Exposure* (ASE), representado por $ASE_{1000,250}$.

A provisão de luz solar direta em ambientes internos, recomendada pela revisão da NBR 15215-3 não foi considerada no estudo, visto que a norma a indica em ambientes de saúde, educação infantil e residenciais, para climas frios, sendo que a edificação de ensino superior não se enquadra na recomendação.

Para ofuscamento, foi considerada como situação crítica DGP indicando brilho perturbador ou intolerável, com valores acima de 38%, em 5% do tempo de uso - conforme a proposição do *software* e recomendação mínima de proteção contra ofuscamento segundo a revisão da NBR 15215 - em pelo menos 5% das vistas, sendo esse valor de análise espacial proposto pela presente pesquisa, na falta de dados da literatura. Este valor não se encontra referenciado por nenhuma norma, mas permite comparar os resultados de simulação obtidos no presente estudo. Assim, considerou-se que a partir da detecção de 5% das vistas com $DGP \geq 0,38$, em 5% do tempo, ter-se-ia uma presença de ofuscamento considerado crítico. Essas variáveis da análise de DGP são expressas na métrica de sDG (*Spatial Disturbing Glare*).

Para vista para o exterior, foram consideradas as classificações propostas na revisão da NBR 15215-3, com classificação em níveis I, II e III para os três critérios analisados e posteriormente para a classificação geral. Aqui, a pesquisa incorporou também a qualificação adjetiva aos níveis dada pela EN 17037:2018, conforme feito para disponibilidade da luz natural. As métricas e parâmetros analisados foram resumidos na Tabela 9, com representação da escala de cores utilizadas para classificação dos resultados.

Tabela 9. Classificação para as métricas de iluminação utilizadas

Métrica	Valor de referência	Classificação	Fonte
sDA _{250,50}	40 ≤ sDA < 55%	Nível I - mínimo	NBR 15215 (2023)
	55% ≥ sDA > 70%	Nível II - médio	
	≥ 70%	Nível III - máximo	
ASE _{1000,250}	< 10%	Aceitável	LM-83-12 (2012); INI-C (2021)
	≥ 10%	Desconforto visual	
sDG 5% do tempo	< 5% do espaço	Bom	SOLEMMA (2022); NBR 15215 (2023)
	≥ 5% do espaço	Crítico	
	para: DGP ≤ 34% 34% < DGP ≤ 38% 38% < DGP ≤ 45% DGP < 45%	Brilho imperceptível Brilho perceptível Brilho perturbador Brilho intolerável	
Vista	Ângulo visão horiz. ≥ 14°; Distância externa ≥ 6 m; Nº de camadas = paisagem	Nível I Mínimo	Na avaliação geral, prevalece a classificação mais baixa entre os 3 critérios
	Ângulo visão horiz. ≥ 28°; Distância externa ≥ 20 m; Nº de camadas = paisagem e piso ou céu	Nível II Médio	
	Ângulo visão horiz. ≥ 54°; Distância externa ≥ 50 m; Nº de camadas = paisagem e piso e céu	Nível III Máximo	

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Após a primeira análise, foi realizada a análise de Ofuscamento Perturbador Espacial (sDG - *Spatial Disturbing Glare*), para a qual foram explorados os resultados gráficos que revelam as direções das vistas com maior ocorrência de brilho dentro dos espaços. O programa de simulação possibilita a verificação do ofuscamento em oito direções, distribuídas em 360°, para cada ponto de análise. Tomando esse resultado do *software*, a pesquisa calculou a porcentagem de posições do ambiente que experimenta ofuscamento na sala tomada como referência para estudos específicos de dispositivos de controle, a fim de entender a proporção da ocorrência do ofuscamento na área dos espaços analisados.

Para a análise da vista o *plug-in* toma como resultado para vista para o exterior em cada ponto analisado, o resultado mais baixo entre os três critérios analisados, de camadas visíveis, ângulo de visão e distância externa, conforme a EN 17037:2018.

3.2.3. Modelagem dos espaços

O modelo tridimensional do edifício e seu entorno foi feito no *software* de modelagem ArchiCad. Posteriormente, o modelo foi exportado para o *software* Rhinoceros 6.0 com o *plug-in* ClimateStudio, onde foi feita a atribuição de materiais e demais parâmetros exigidos para a simulação, explicitados nos tópicos a seguir.

Os espaços internos foram modelados sem a presença de usuários, para evitar o bloqueio da luz do dia, conforme indicado por Islam (2021). As simulações não contemplaram as árvores do entorno, pois próximo à fachada sul não há árvores e, próximo à fachada norte, há apenas uma árvore próxima às janelas de salas de aula. Na Figura 44 é possível ver essa árvore no ano de 2020, à frente das salas 201N, 301N e 401N, distante cerca de 8 m. No entanto, em visita ao prédio em 25 de agosto de 2022, notou-se que a árvore encontra-se pouco densa, como mostra a Figura 35.

Uma simulação com uma volumetria simplificada dessa árvore foi feita, porém, como a disponibilidade de luz natural diminuiu muito no interior da sala 201N, optou-se por não a considerar na simulação, visto que seu impacto poderia não corresponder ao impacto real.

Figura 35. Árvore mais próxima à fachada norte



Fonte: A autora (2022).

3.2.4. Parâmetros de entrada para o programa de simulação

A definição dos parâmetros de entrada seguiu, em ordem, os seguintes passos: importação do modelo 3D; inserção do arquivo climático do grupo climático local; definição dos materiais do modelo com suas refletâncias; seleção do tipo de análise desejada, primeiro sDA e ASE, depois sDG; configuração customizada para a análise de sDA, com verificação da iluminância alvo de 250 lux em 50% do tempo, já que o valor referente de iluminância é exclusivo da revisão da NBR 15215-3; configuração da malha de pontos para análise; processamento da simulação. No estudo de alternativas de dispositivos de controle solar, foi realizada ainda a seleção da análise de vista pelo programa, com a atribuição de etiquetas para as *layers* de objetos externos.

3.2.4.1 Arquivo Climático

Para a análise desta pesquisa, foi inserido o arquivo climático BRA_MG_Belo.Horizonte-Pampulha.AP.868000_INMET.epw, do ano 2018, disponível na página virtual do PBE Edifica (2022). A plataforma indica que correções em variáveis foram realizadas pela equipe do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações do PBE Edifica, juntamente com Dru Crawley e Linda Lawrie, da plataforma Climate.OneBuilding.Org para os arquivos apresentados.

3.2.4.2 Período de Análise

Em concordância com a importância da definição do período de análise da luz natural, para fins comparativos padronizados, foi estipulado o período para a simulação, que seguiu a consideração da proposta de revisão da NBR 15215-3 de 10 horas diárias, no intervalo das 8h00 às 18h00, como as horas de luz do dia, total de 3.650 horas no ano. Esse período é também considerado pela LM-83-12 (IESNA, 2012).

3.2.4.3 Propriedades óticas dos materiais

A configuração dos materiais do modelo baseou-se no levantamento dos revestimentos e acabamentos do prédio, constantes no memorial descritivo junto ao projeto executivo. Para a película aplicada no vidro das janelas, levantou-se os dados junto ao fornecedor. Para edifícios e superfícies externas, levantou-se as cores dos materiais através de comparações feitas visualmente. Após o levantamento de todos os materiais, considerou-se as propriedades óticas indicadas na literatura para as

superfícies dos materiais presentes no exterior e no interior do edifício analisado.

3.2.4.4 Configuração das malhas de pontos

A configuração das malhas de pontos seguiu a recomendação da revisão da NBR 15215-3, com espaçamento entre as extremidades da malha para as paredes internas (*sensor inset*) de 0,5 m. Para distância entre os pontos da malha (*sensor spacing*) utilizou-se 0,5 m, conforme indicação da INI-C (2021). A altura da malha em relação ao piso (*workplane offset*) foi de 0,75 m, para a malha de sDA e ASE, considerando essa a altura do plano de trabalho. Já para análise de sDG, foram criadas duas malhas, uma com altura de 1,20 m, sendo essa considerada a altura média dos olhos de um observador sentado (ABNT, 2023; ALAQTUM, 2020; SOLEMMA, 2022), e a outra com altura de 1,60 m, sendo essa considerada a altura média do campo de visão de pessoas em pé (ABNT, 2023; ALAQTUM, 2020).

3.2.4.5 Configurações do programa para simulação

Para simulação, o programa apresenta valores padrões para configuração dos parâmetros do Radiance. São eles: *ambient bounces*, *samples per pass*, *max number of passes*, *limit weight*. No entanto, pesquisa em literatura foi feita para encontrar as configurações recomendadas para o tipo de simulação e análises requeridas no estudo em questão. A Tabela 10 mostra a configuração dos parâmetros do Radiance utilizados nas simulações.

Tabela 10. Configuração dos parâmetros Radiance

Parâmetros	Valor utilizado	Referência
<i>Ambient bounces</i>	7; para ambientes com mais complexidade, com elementos de proteção solar	Bissoloti e Pereira (2019)
<i>Samples per pass</i>	64	Solemma (2022)
<i>Max number of passes</i>	100	Solemma (2022)
<i>Weight limit</i>	0.01	Reinhart, 2010

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A configuração de *ambient bounces* refere-se ao número de vezes que a luz é rebatida dentro do ambiente, ou seja, as reflexões que acontecem até que ela atinja a área de trabalho. *Samples per pass* diz do número de amostras passadas por sensor. *Max number of passes* diz do número de passadas da simulação antes da sua finalização. *Limit weight* refere-se à mínima radiação refletida no espaço (ANTONUTTO, MCNEIL,

2014; BISSOLOTTI, PEREIRA, 2019; SOLEMMMA, 2022).

3.3. Tratamento de dados

Nessa etapa, confrontaram-se os resultados das simulações e estudos de referência, para compreender o comportamento da luz natural em espaços de ensino. A intenção foi verificar incidência da luz natural nesses espaços e compreender a ocorrência do ofuscamento, para propor estratégias que propiciassem maior conforto para os usuários desses ambientes, atendendo às recomendações das normas tomadas como base.

Para leitura dos resultados do *software* de simulação, os passos seguidos foram: geração dos resultados automaticamente pelo programa, de acordo com a variável desejada; interpretação dos resultados gerados em números e gráficos; edição de parâmetros de visualização; captura das vistas e arquivamento de relatório.

3.4. Estudo de dispositivos de controle de ofuscamento para os problemas encontrados

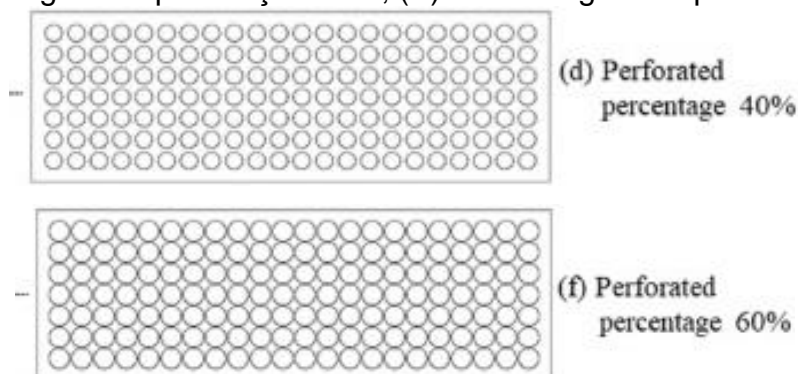
No estudo de alternativas de dispositivos de controle de ofuscamento, considerou-se dispositivos fixos externos, que não necessitam de ajustes de usuários. Para melhor averiguar a eficiência dos novos dispositivos, optou-se por eliminar o *brise* existente na fachada norte. Os novos dispositivos foram desenhados para fixação nas platibandas verticais externas, com seus desenhos terminando junto às platibandas horizontais, distantes das esquadrias para facilitar a locomoção de uma pessoa entre o novo dispositivo e a esquadria. A disposição de instalação destes levou em consideração a garantia da boa manutenção dos elementos e a contribuição para aspectos de conforto térmico.

A partir do estudo de Carvalho e Pedrini (2014), foram testados dez dispositivos de controle de ofuscamento, entre esses, *brises* horizontais e verticais, e telas perfuradas. A pesquisa explorou os *brises* sem inclinação para a máxima preservação da vista.

A partir do estudo de Srisamranrungruang e Hiyama (2020), a pesquisa simulou as telas perfuradas, partindo da configuração com 40% de abertura. Posteriormente, foi testada a tela com porcentagem de 60% de abertura, para comparar seus efeitos na

análise da vista. A Figura 36 mostra as telas o desenho de suas perfurações no estudo base.

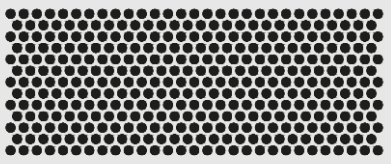
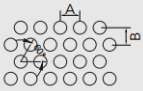
Figura 36. Telas perfuradas com diferentes aberturas
(A) Porcentagem de perfuração 40%; (B) Porcentagem de perfuração 60%



Fonte: SRISAMRANRUNGRUANG, HIYAMA, 2020.

Todos os dispositivos de controle de ofuscamento foram considerados em material alumínio branco, com refletância de 47,21%. A Figura 37 mostra um modelo de tela com perfuração de 40%, fornecida pela Hunter Douglas, fabricada no Brasil.

Figura 37. Tela perfurada 40% Hunter Douglas

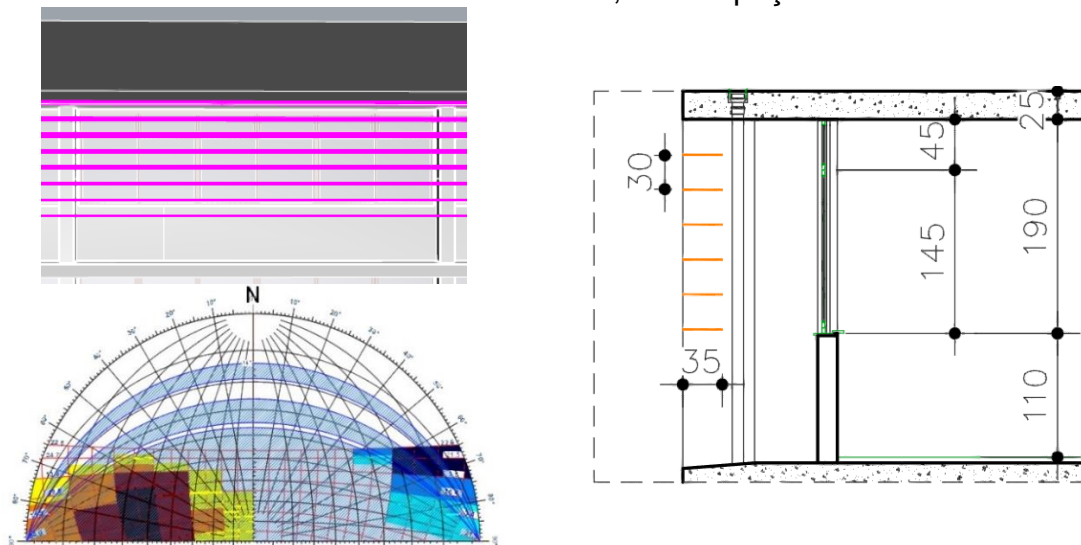
DESIGN	DIMENSÕES EM mm				ÁREA ABERTA	NRO. DE PERFURAÇÕES m ²	
	A	B	Ø	<			
	6	5.2	4 ^{±0.05}	60°	40%	100	
	DIST. ENTRE PERFURAÇÕES LONGITUDINAIS	DIST. ENTRE PERFURAÇÕES TRANSVERSAIS	DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO	ÂNGULO DA PERFURAÇÃO			

Fonte: Hunter Douglas, 2022.

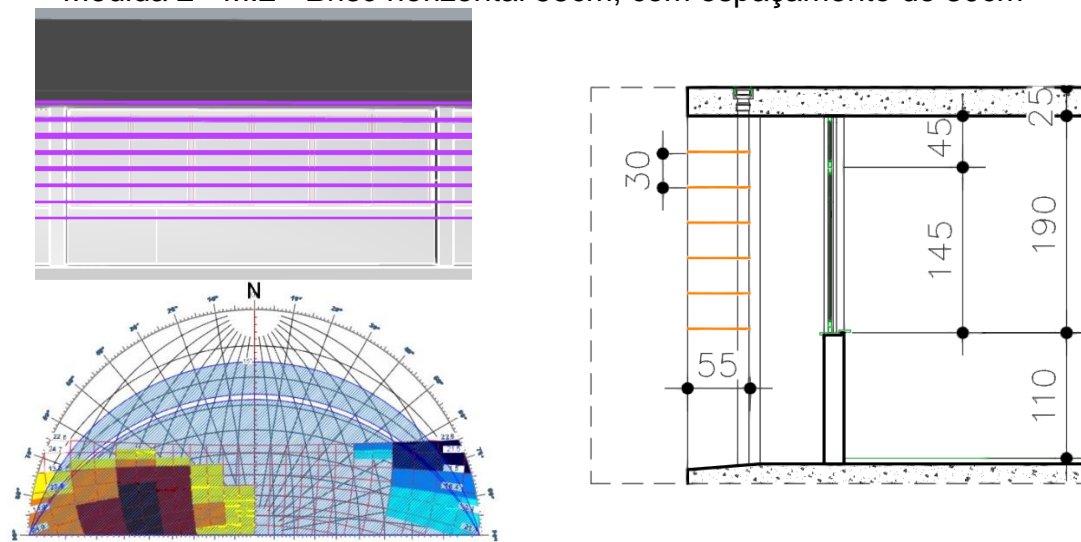
Assim, para a análise de medidas para mitigar o desconforto causado pelo ofuscamento, com preservação da autonomia da luz natural e da vista para o exterior, foram utilizados os dispositivos de controle da Tabela 11, que apresenta o modelo tridimensional do dispositivo aplicado à esquadria, a máscara dos *brises* horizontais e verticais e o corte dos dispositivos. Ressalta-se que os dispositivos foram representados coloridos apenas para efeito de melhor visualização.

Tabela 11. Dispositivos de controle de ofuscamento desenhados para o estudo

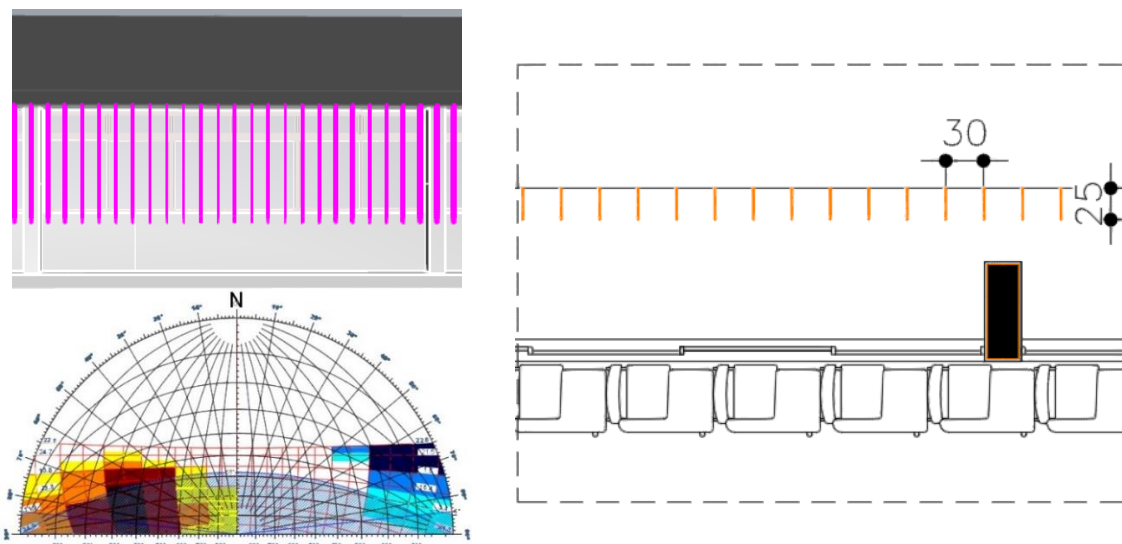
Medida 1 - M.1 - *Brise horizontal 35cm, com espaçamento de 30cm*



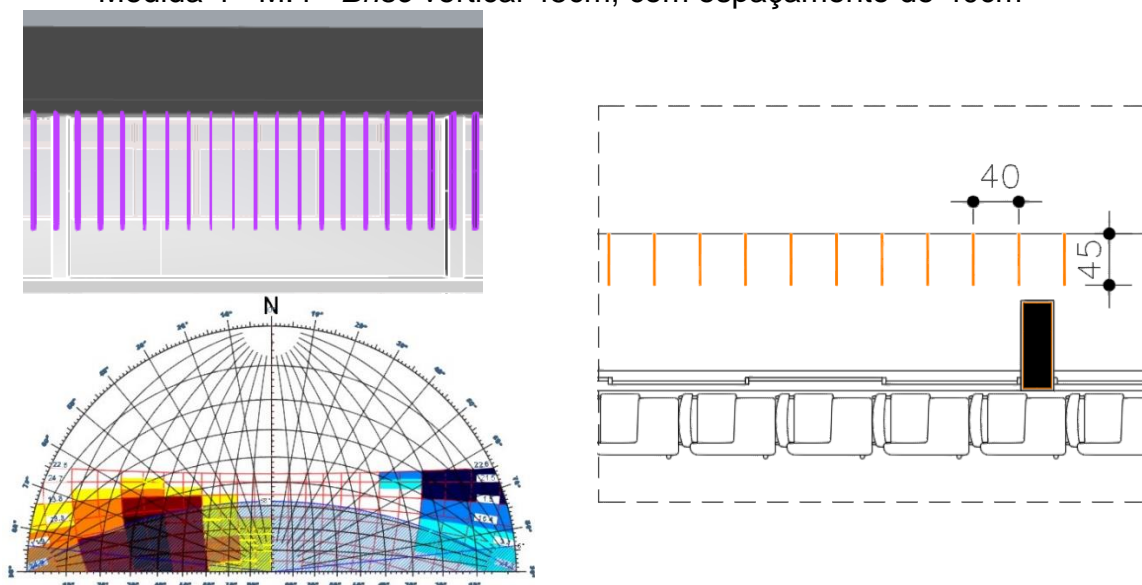
Medida 2 - M.2 - *Brise horizontal 55cm, com espaçamento de 30cm*



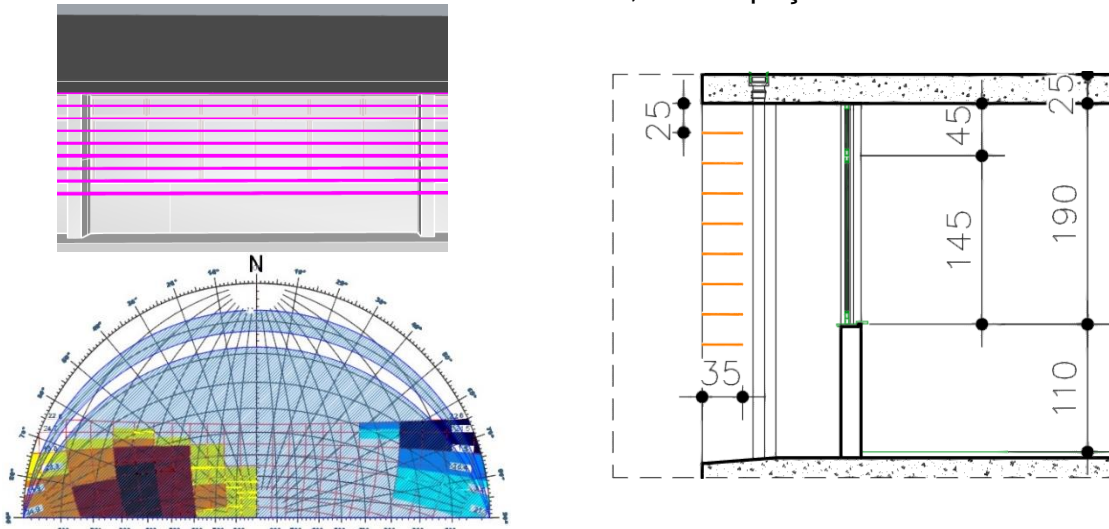
Medida 3 - M.3 - *Brise vertical 25cm, com espaçamento de 30cm*



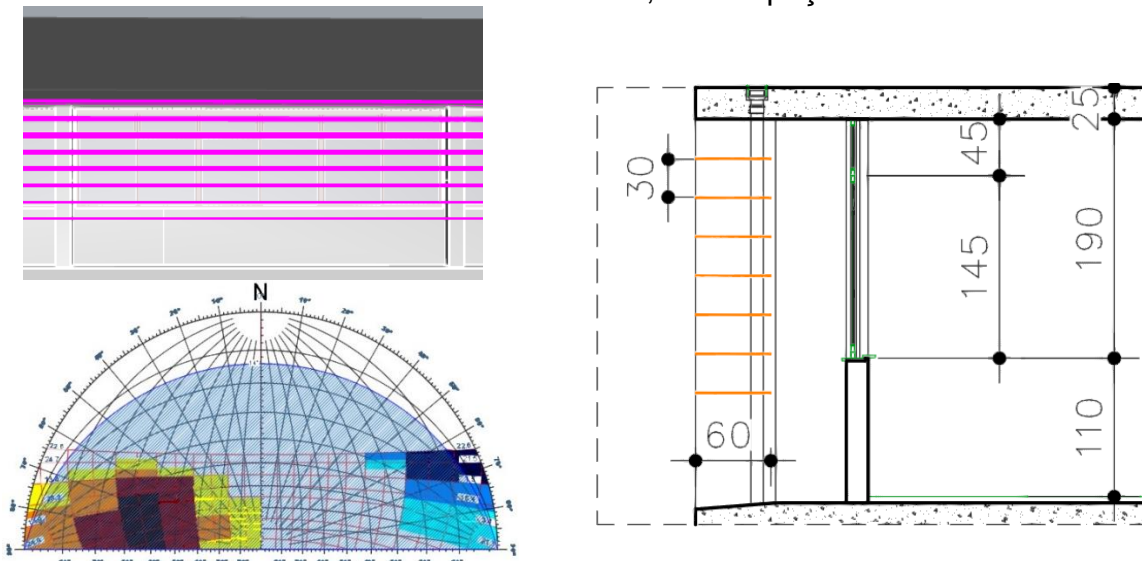
Medida 4 - M.4 - *Brise vertical* 45cm, com espaçamento de 40cm



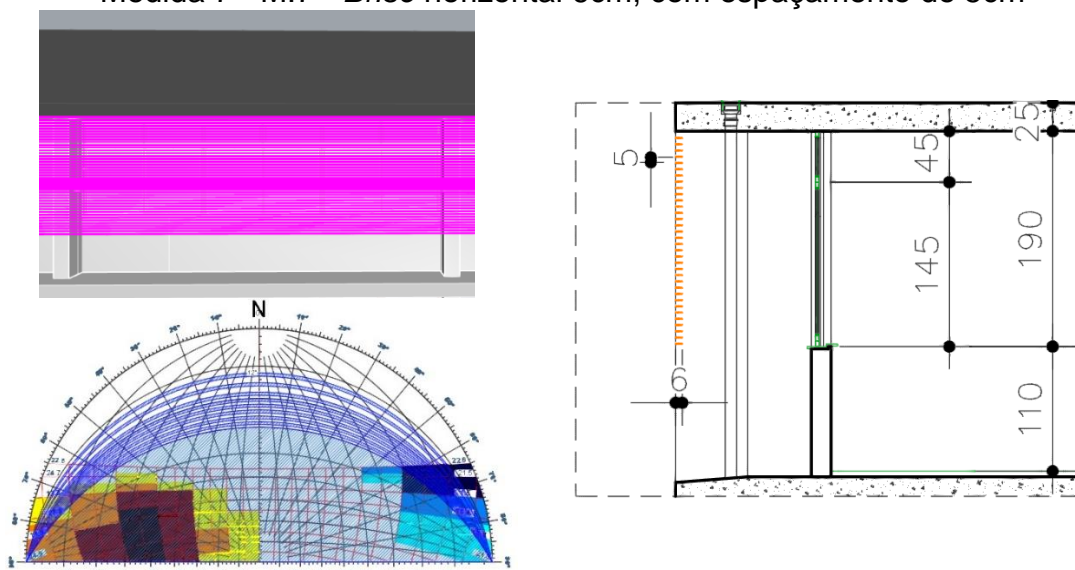
Medida 5 - M.5 - *Brise horizontal* 35cm, com espaçamento de 25cm



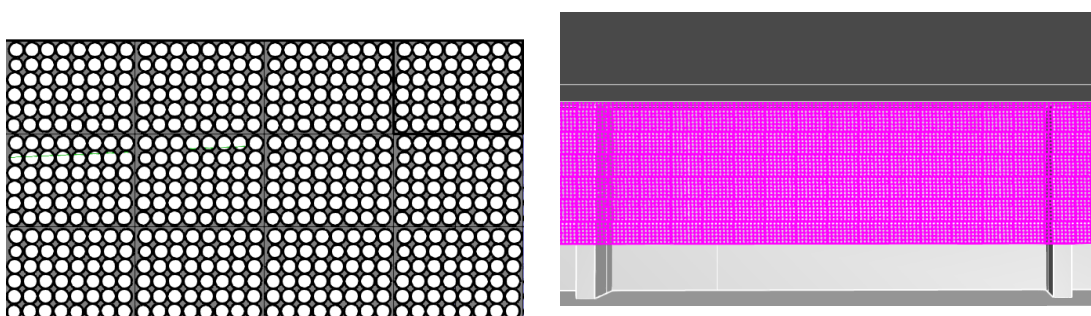
Medida 6 - M.6 - *Brise horizontal* 60cm, com espaçamento de 30cm



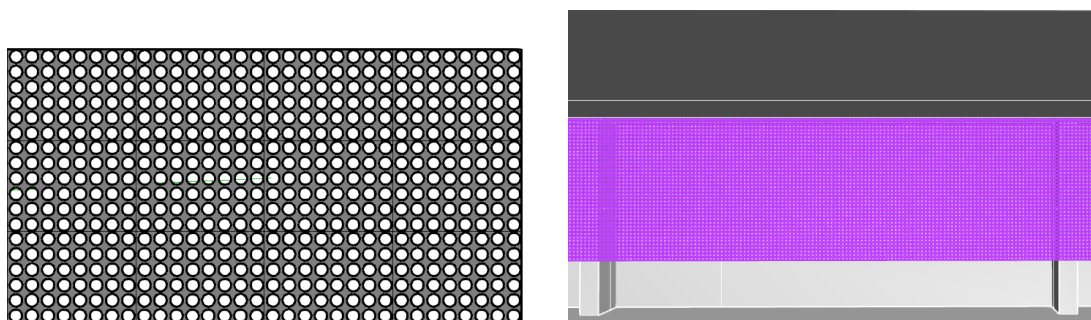
Medida 7 - M.7 - *Brise horizontal* 6cm, com espaçamento de 5cm



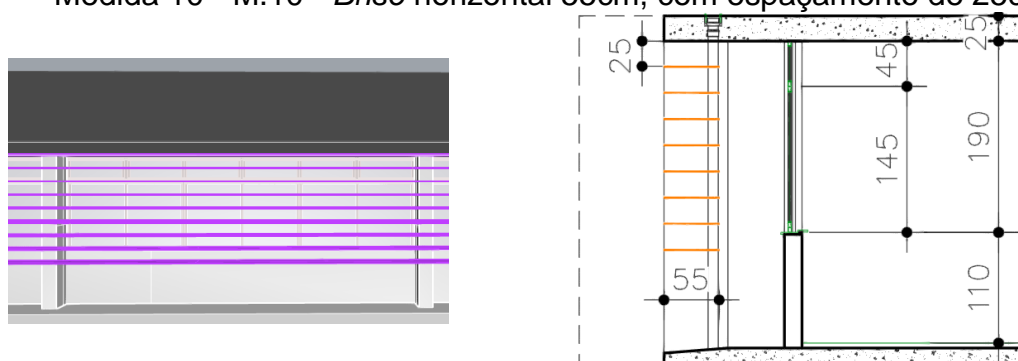
Medida 8 - M.8 - *Tela perfurada* com abertura 60%

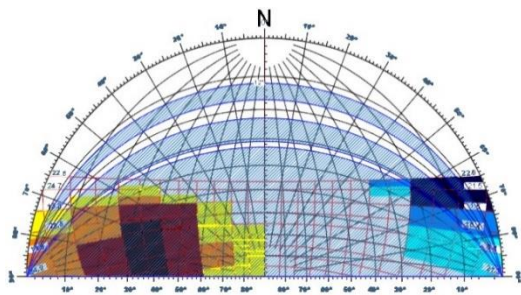


Medida 9 - M.9 - *Tela perfurada* com abertura 40%



Medida 10 - M.10 - *Brise horizontal* 55cm, com espaçamento de 25cm





Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4. ESTUDO DE CASO

A seguir são apresentados os diagnósticos do Centro de Atividades Didáticas 3 (CAD 3), da UFMG.

4.1. CAD 3: apresentação do edifício

O CAD 3 localiza-se no campus Pampulha, na rua Reitor Pires Albuquerque (Figura 38). O edifício foi concebido de forma coletiva, com metodologia liderada pela professora, pesquisadora e arquiteta Maria Lúcia Malard. O projeto contou com a participação de seis arquitetos, além do acompanhamento dos projetistas da UFMG, e foi inaugurado em 2018 (BERZOINI, 2021).

O edifício se destacou no campus com uma arquitetura simples, de qualidade e baixo custo. Em 2021, o CAD 3 participou da 12ª edição do Prêmio *Building of the Year*, na categoria de prédio educacional, promovido pelo ArchDaily⁸, sendo um dos sete edifícios brasileiros a concorrer ao prêmio dentre 80 projetos distribuídos em 50 países do mundo (BERZOINI, 2020; BERZOINI, 2021).

Figura 38. Edifício do Centro de Atividades Didáticas de Ciências Exatas 3 da UFMG



Fonte: Projeto OÁSIS, 2021.

⁸ O ArchDaily é considerado o mais importante website de divulgação de projetos arquitetônicos do mundo (BERZOINI, 2020).

O edifício segue a mesma linha de construção de outros prédios do *campus*, compostos de até quatro pavimentos, fachadas voltadas para norte e sul e janelas em fita. Os prédios possuem também *brises* horizontais na fachada norte.

Atualmente, o CAD 3 faz parte do escopo do projeto de pesquisa e desenvolvimento institucional “Minirrede de Energia Elétrica Oásis-UFMG”, mais conhecido como Projeto Oásis, organizado pela Comissão Permanente de Gestão Energética, Hídrica e Ambiental da UFMG (CPGEHA). O projeto inclui entre suas ações a gestão do consumo de energia elétrica, com a avaliação e implementação de melhorias nos prédios do *campus* da Pampulha (iluminação, ventilação e outros) e campanhas educativas quanto ao uso da energia elétrica (SANCHES, 2020).

O projeto foi iniciado com a implementação de Usinas Fotovoltaicas nos edifícios dos CADs e visa obter etiqueta PBE Edifica nível A através da aplicação da INI-C - Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (BRASIL, 2021). Para isso, intervenção nos sistemas atuais de iluminação é parte da demanda para o aumento do nível de eficiência energética no prédio.

De acordo com levantamento feito pelo Projeto Oásis (2021), o consumo de energia elétrica anual médio do CAD 3, ano base de 2019, foi de 210.000 kWh, ou seja, 19,8 kWh/m² no ano.

Dentro do projeto Oasis, a equipe de gestão do uso de energia, da qual a autora deste trabalho faz parte, está realizando a avaliação de eficiência energética do prédio por meio da aplicação dos requisitos da INI-C. Dentre os sistemas de avaliação da INI-C estão a avaliação da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento artificial do ar. Contribuindo para a eficiência energética e o conforto ambiental no edifício, a integração da iluminação natural com qualidade faz-se fundamental nesta avaliação. Tendo proposto um *retrofit* para o sistema de iluminação existente, Monteiro *et al.* (2022) estimaram uma economia mínima de 28% no gasto energético a partir da substituição das luminárias de lâmpadas fluorescentes por luminárias LED e pela integração da iluminação natural com a iluminação artificial, seguindo os critérios colocados pela INI-C. E, com a instalação das Usinas Fotovoltaicas, espera-se que o prédio alcance a autogestão em termos de energia

elétrica.

4.2. CAD 3: localização e entorno

A Figura 39 mostra a implantação do edifício. Os acessos principais ao CAD 3 se dão através das ruas Reitor Pires de Albuquerque e Reitor Samuel Caetano Júnior. A edificação possui dois blocos sendo que para o estudo de caso, foi selecionado o Bloco 1 no qual estão localizadas as salas de aula presentes na edificação. O Bloco 1 está conectado à sul ao Bloco 2, através de uma passarela de circulação. Em quase todo seu entorno, existem árvores de baixo e médio porte. À norte, o Bloco 1 possui vistas para o Instituto de Ciências Exatas, à leste tem vistas para a Escola de Engenharia da UFMG, à sul tem vista para o Bloco 2, e à oeste tem vista livre de construções, com a presença de árvores.

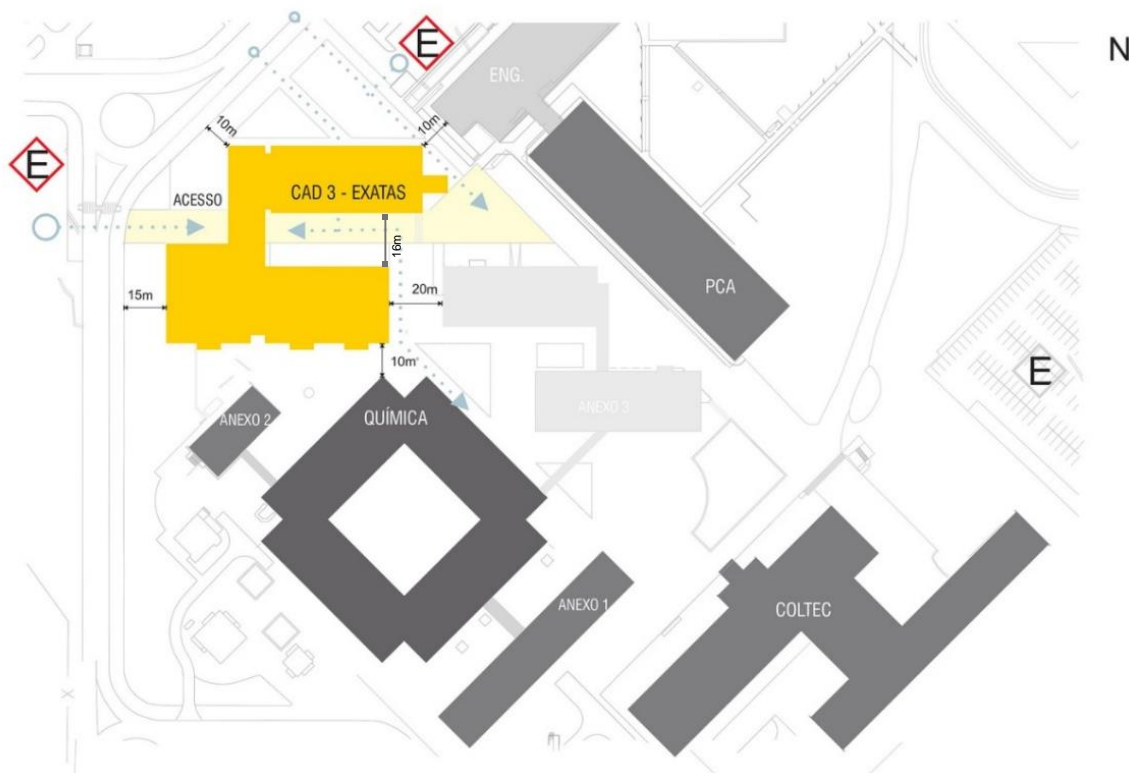
Figura 39. Implantação do edifício CAD 3



Fonte: Google, 2022. Adaptado pela autora.

Na Figura 40 é possível ver os afastamentos do CAD 3 para as construções mais próximas e para suas vias de acesso.

Figura 40. Afastamento dos edifícios mais próximos ao CAD 3



Fonte: ARCHDAILY, 2020. Adaptado pela autora.

As Figuras 41 e 42 mostram o entorno da edificação.

Figura 41. Vista desde a passarela de ligação entre Blocos 1 e 2



Fonte: ARCHDAILY, 2020.

Figura 42. Vista das fachadas norte e oeste do CAD 3

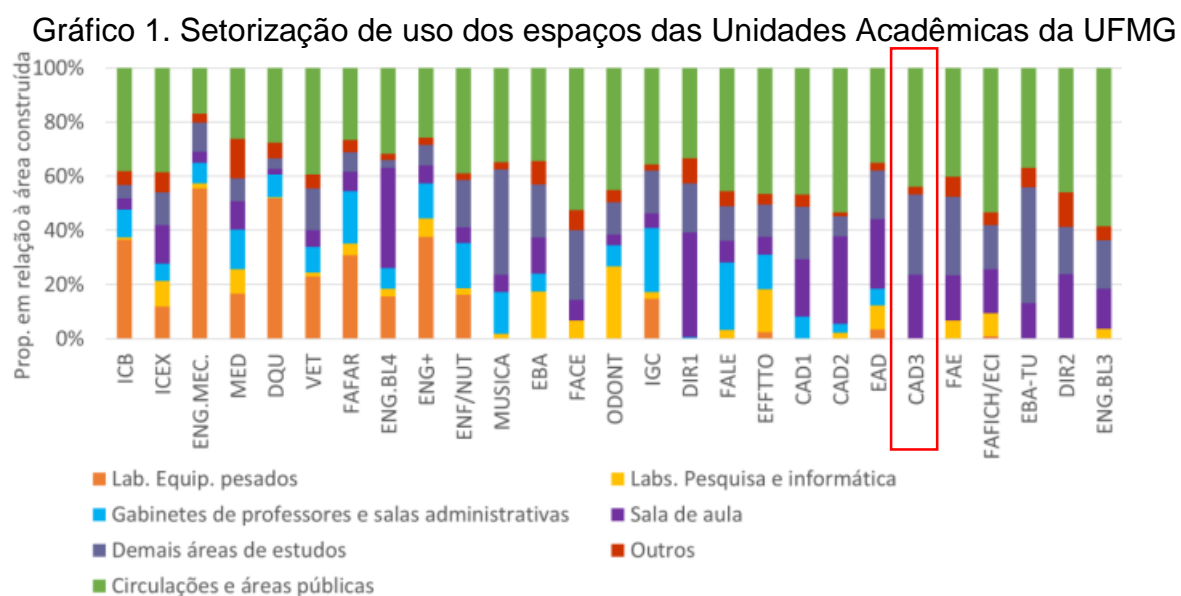


Fonte: ARCHDAILY, 2020.

4.3. Levantamento de dados do edifício

O prédio do CAD 3 possui 10,6 mil metros quadrados de área construída, dividido em dois blocos: o Bloco 1 (em cinza na Figura 39), com 25 salas, sendo três salas de aula de 50 lugares e 22 salas com 70 lugares, e o Bloco 2 (em amarelo na Figura 39), com oito auditórios com 150 lugares (BERZOINI, 2021).

De acordo com o Gráfico 1, cerca de 55% da área do edifício é destinada a salas de aula e áreas de estudos, tendo esses espaços de permanência prolongada, funções essenciais na tipologia do edifício.



Fonte: Garcia, 2022.

Segundo a administração, o prédio funciona de segunda à sábado para atividades de ensino. De segunda à sexta, o horário é das 7h00 às 22h00, sendo 15 horas diárias de funcionamento. E no sábado das 07h00 às 13h00, sendo 6 horas no dia. Além disso, mesmo quando alunos e professores encontram-se de férias, a edificação continua aberta a atividades, com o funcionamento de laboratórios, desenvolvimento de pesquisas e iniciações científicas, além dos serviços de manutenção do prédio.

4.4. Caracterização dos espaços analisados no Bloco 1

O Bloco 1 é composto por quatro pavimentos. As Figuras 43, 44 e 45 mostram vistas em perspectiva das fachadas do edifício. Nas extremidades leste e oeste, concentram-se as circulações verticais do bloco, com escadas e elevadores. O 1º pavimento abriga espaços de hall, cantina, cozinha, despensa, instalações sanitárias, DML, serviços gerais e em maior área, o pilotis.

Os pavimentos 2 e 4 abrigam salas de aulas, circulação, mezanino, instalações sanitárias, DML e sala técnica. O pavimento 3 abriga os mesmos ambientes dos pavimentos 2 e 4, com o acréscimo de sala de professores, laboratório e a passarela de ligação ao Bloco 2.

Figura 43. Fachada norte do Bloco 1, em perspectiva



Fonte: ARCHDAILY, 2020.

Figura 44. Fachada norte do Bloco 1



Fonte: ARCHDAILY, 2020.

Figura 45. Fachada sul do Bloco 1



Fonte: ARCHDAILY, 2020.

O Instituto de Ciências Exatas, ao norte do edifício do CAD 3, possui seis andares e sua pintura externa é na cor cinza clara. Ao norte e ao sul do Bloco 1, as áreas imediatas do edifício possuem gramado, calçada com bloco intertravado ou em concreto liso, em cores claras. À norte, há seis árvores de médio e pequeno porte e a via asfaltada.

Quanto ao prédio do CAD 3, a pintura externa dos Blocos 1 e 2 foi feita com tinta acrílica, com acabamento semi-brilho. Para o Bloco 1 utilizou-se as cores branco neve e cinza escuro e, para o Bloco 2, utilizou-se a cor amarela (Figura 41).

As salas de aulas possuem pé-direito de 3,00 m. As dimensões internas das salas são variadas, sendo 6 das salas com 11,16 m x 8,46 m; 3 salas com 11,35 m x 8,46 m; e 2 salas com 7,52 m x 8,46 m. A Figura 46 mostra o interior de uma sala de aula.

Figura 46. Interior de sala de aula do bloco 1, do CAD 3



Fonte: ARCHDAILY, 2020.

Todas as pinturas internas de paredes foram feitas com tinta acrílica, acabamento semi-brilho, na cor branco neve. Nos ambientes de salas de aula e sala de professores, os tetos possuem pintura em tinta látex acrílica, acabamento fosco, na cor branco neve. O piso é do tipo marmorite na cor cinza claro. As portas de acesso às salas de aula e sala de professores têm dimensões de 0,82 m x 2,1 m (comprimento e altura), e são em madeira Angelim, com acabamento em verniz.

4.5. Sistemas de abertura para luz natural nos espaços analisados

Todas as salas de aula possuem janelas com peitoril de 1,10 m, altura de 1,90 m (Figuras 47 e 48) e comprimentos variados, ocupando quase a totalidade da largura dos espaços, sempre interrompidas por pilares estruturais, sendo que, nas salas de aula 205S e 405S, uma parede em alvenaria de 1,80 m de comprimento contribui para a interrupção do plano de esquadrias. As janelas possuem basculantes superiores de 0,45 m de altura, e folhas de correr de 1,45 m de altura, em estrutura metálica com vidro incolor (originalmente) com 6 mm de espessura.

A relação entre áreas de aberturas e áreas de piso e o percentual de área de abertura na fachada (PAF) das salas de aula é mostrado na Tabela 12.

Tabela 12. Áreas e aberturas das salas de aulas do CAD 3

Sala	Área do piso da sala (m ²)	Área da parede com abertura (m ²)	Área do vidro das janelas (m ²)	Relação área da abertura / área do piso (%)	PAF (%)
201N	94,6	34,1	19,3	36	57
202N	92,6	33,4	19,3	36	58
203N	92,6	33,4	19,3	36	58
204N	93,1	33,5	19,3	36	58
205S	63,9	22,7	8,6	35	38
206S	94,4	34,1	19,3	36	57
207S	92,6	33,4	19,3	36	58
208S	92,6	33,4	19,3	36	58
209S	93,1	33,5	19,3	36	58
301N	94,6	34,1	19,3	36	57
302N	92,6	33,4	19,3	36	58
303N	92,6	33,4	19,3	36	58
304N	93,1	33,5	19,3	36	58
305S	63,2	22,3	12,8	35	58
306S	92,6	33,4	19,3	36	58
307S	93,1	33,5	19,3	36	58
401N	94,6	34,1	19,3	36	57
402N	92,6	33,4	19,3	36	58
403N	92,6	33,4	19,3	36	58
404N	93,1	33,5	19,3	36	58
405S	63,9	22,7	8,6	35	38
406S	94,4	34,1	19,3	36	57
407S	92,6	33,4	19,3	36	58
408S	92,6	33,4	19,3	36	58
409S	93,1	33,5	19,3	36	58

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Com a configuração das janelas em fita, as salas possuem grandes áreas de aberturas para luz natural, com relações entre áreas de abertura e de piso de 35% a 36%. Apenas as salas 205S e 405S apresentaram os valores de PAF mais baixos, de 38%, onde as janelas não seguem o comprimento total da parede (em fita). O Código de Edificações do Município de Belo Horizonte (BELO HORIZONTE, 2014) exige que a relação entre a área mínima do vão de iluminação e ventilação e o piso seja de 1/6, ou seja, a abertura deve ter área mínima de 17% da área do piso, em ambientes de salas de aula.

O projeto arquitetônico e estrutural do edifício contemplou platibandas verticais e horizontais (com projeções horizontais de 1,20 m) e pilares (com projeções horizontais de 0,60 m), nas fachadas norte e sul, formando estruturas fixas que funcionam como elementos de proteção solar, conforme mostrado nas Figuras 47 e 48.

Foram utilizados ainda *brises* horizontais nas janelas das salas com orientação norte, do Bloco 1, com projeção horizontal de 1,20 m. O sistema é composto por porta-painéis e painéis modulares em alumínio anodizado, na cor prata, fixados em perfis metálicos, chumbados nas lajes. A Figura 49 mostra (A) o detalhamento e (B) a máscara formada pelos *brises*, platibandas e pilares verticais.

Figura 47. Desenho esquemático de corte na sala 201N da fachada norte

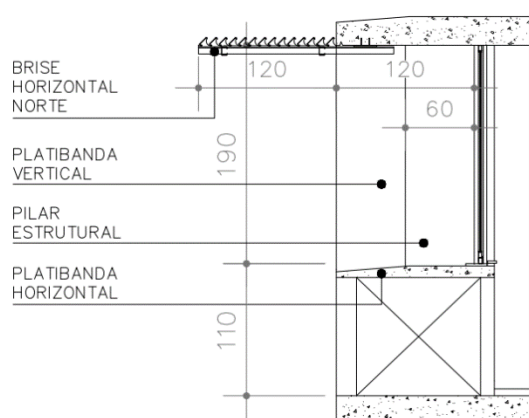
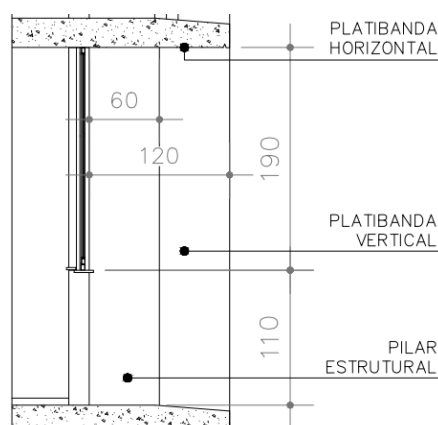
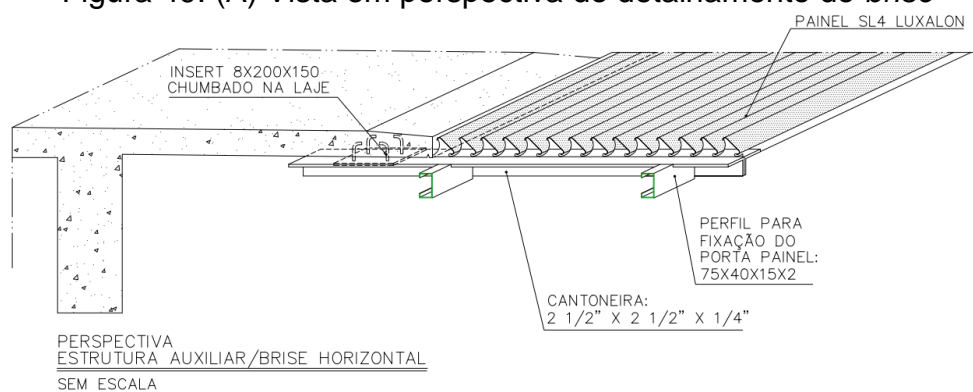


Figura 48. Desenho esquemático de corte na sala 305N da fachada sul

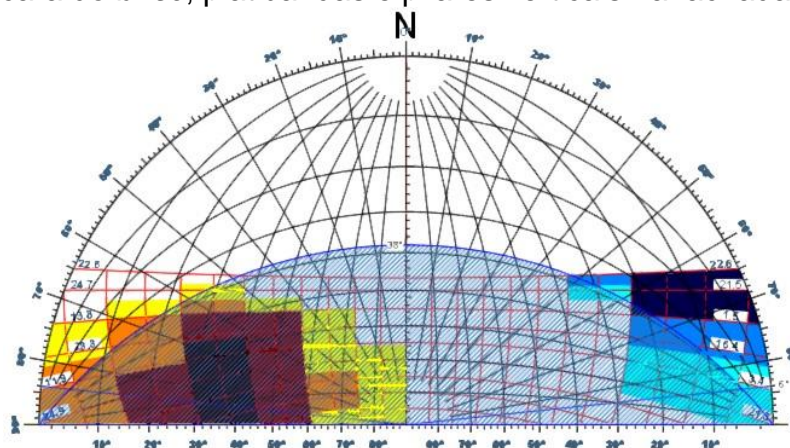


Fonte: Adaptado de DFPF UFMG, 2023.

Figura 49. (A) Vista em perspectiva do detalhamento do *brise*



(B) Máscara do *brise*, platibandas e pilares verticais na fachada norte

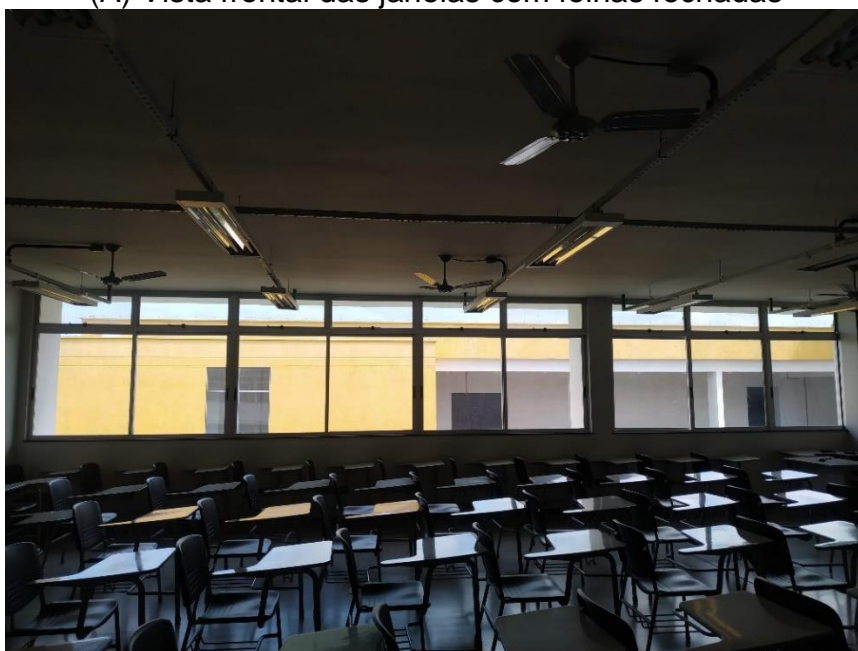


Fonte: (A) DFPF UFMG, 2011; (B) A autora, 2023.

Apesar de haver proteção solar nas salas de aula da fachada norte, foi identificado o uso de película nos vidros das janelas das salas de aula, cuja especificação foi informada pelo Departamento de Obras da UFMG. Através da máscara do *brise* e elementos estruturais do prédio, nota-se que na fachada norte, a sala 403N, por exemplo, ainda apresentava luz solar direta em alguns momentos do dia. A película foi instalada depois que o prédio já estava em uso, em todas as janelas de salas de aula com fachada norte e sul, devido à reclamação dos professores por incômodos advindos da luz natural. Na Figura 46 é possível perceber a aplicação da película nos vidros, desde o interior da sala de aula. A Figura 43 mostra com proximidade a parte externa da fachada norte, com *brises* instalados e película nas janelas.

As Figuras 50 e 51, A e B, foram tiradas pela autora, através de visita *in loco* no dia 29 de setembro de 2022. Nessas, é possível ver a película instalada nas janelas da fachada sul do Bloco 1.

Figura 50. Interior da sala 407S, a partir de fotos tiradas pela autora em 29/09/2022 às 14h00
(A) Vista frontal das janelas com folhas fechadas



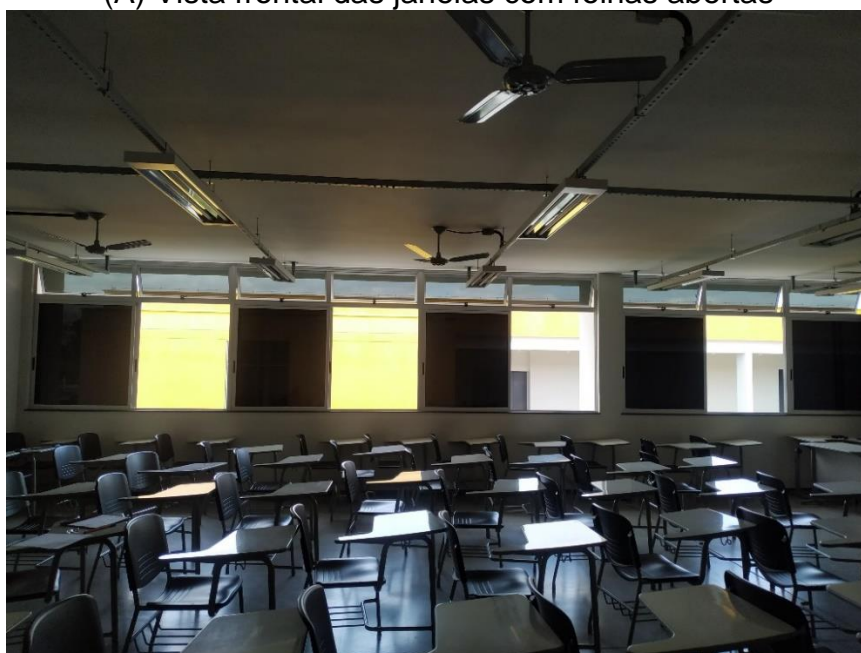
(B) Vista lateral das janelas com folhas fechadas



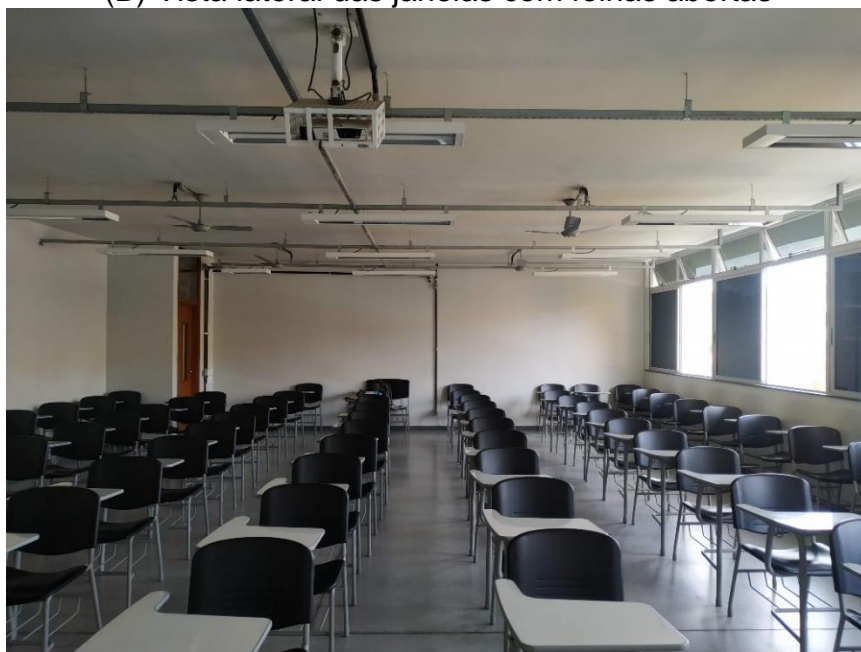
Fonte: A autora (2022).

Figura 51. Interior da sala 407S, a partir de fotos tiradas pela autora em 29/09/2022 às 14h00

(A) Vista frontal das janelas com folhas abertas



(B) Vista lateral das janelas com folhas abertas



Fonte: A autora (2022).

Nas Figuras 50 e 51 é possível perceber que a película aplicada ao vidro interfere na vista do exterior especialmente quando as folhas de correr das janelas estão abertas.

4.6. Sistemas de controle de luz natural e usuários em salas de aula na UFMG

O uso de película e de dispositivos para controle de ofuscamento em prédios da UFMG também foi constatado em outras edificações da UFMG, e considera-se que o estudo ora desenvolvido possa ser ampliado para outras Unidades da Universidade auxiliando na compreensão do comportamento do usuário e na proposição de soluções mais adequadas para mitigação do desconforto por ofuscamento.

Edificações com mesmas características do CAD 3, com salas de aulas com aberturas voltadas para as fachadas norte e sul e uso de *brise* horizontal na fachada norte são facilmente encontradas no campus. É o caso do Centro de Atividades Didáticas 2 (CAD 2), Escola de Farmácia, Faculdade de Educação, Faculdade de Ciências Econômicas e o Anexo 3 do Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas.

Em estudo para disciplina junto ao PP-ACPS observou-se o uso de dispositivos de controle solar no Centro de Atividades Didáticas 2 (CAD 2), da Universidade Federal de Minas Gerais. As salas de aulas da edificação possuem esquadrias instaladas nas fachadas norte e sul e assim como no CAD 3 apesar dos dispositivos existentes,

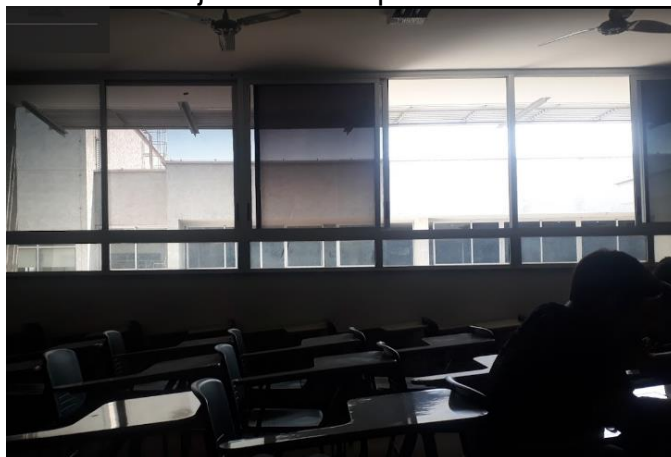
películas foram instaladas nas janelas das salas de aulas, depois da construção do prédio, devido a reclamações dos usuários (Figuras 52 e 53).

Figura 52. Janelas com película nas salas de aula do CAD 2



Fonte: Google, 2017.

Figura 53. Interior de sala de aula do CAD 2, janelas com película



Fonte: Google, 2019.

5. RESULTADOS

5.1. Simulações de autonomia de luz do dia, exposição à luz solar direta e ofuscamento

A seguir apresentam-se o modelo tridimensional desenvolvido e os resultados obtidos a partir das simulações computacionais dos espaços selecionados.

5.1.1. Modelos desenvolvidos

As Figuras 54, 55 e 56 mostram o modelo tridimensional do edifício do CAD 3 com seu entorno imediato, no *software* Rhinoceros. O modelo foi configurado para simulação com o *plug-in* ClimateStudio.

Figura 54. Planta-baixa do modelo 3D



Figura 55. Perspectiva do modelo 3D com vista da fachada sul

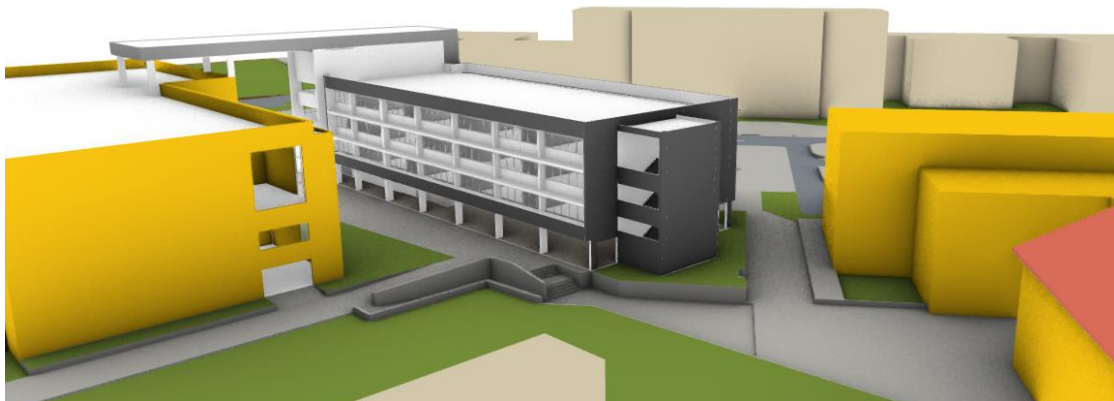
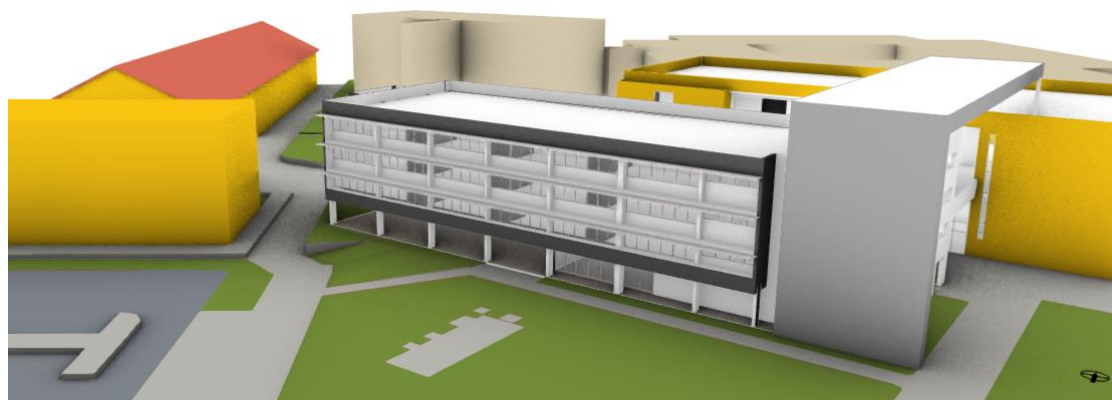


Figura 56. Perspectiva do modelo 3D com vista da fachada norte



Fonte: Elaborado por Bruno Guimarães de Melo Almeida (2022).

5.1.1.1 Refletância dos materiais

As propriedades ópticas dos materiais levantados são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13. Propriedades ópticas dos materiais

Material	Propriedade	Fonte
Parede internas CAD 3	Branco - Refletância = 84,2%	Dornelles (2008)
Parede externa CAD 3	Cinza - Refletância = 51,5%	LABCCB (2022)
Parede externa edifício vizinho	Cinza - Refletância = 51,5%	LABCCB (2022)
Parede externa edifício vizinho	Cinza escuro - Referência 19,85%	Solemma (2022)
Parede externa	Branco - Refletância = 84,2%	Dornelles (2008)
Parede externa edifício vizinho	Branco - Refletância = 84,2%	Dornelles (2008)
Parede externa	Amarelo - Refletância = 44,8%	Dornelles (2008)
Parede externa edifício vizinho	Amarelo - Refletância = 44,8%	Dornelles (2008)
Telhado edifício vizinho	Cerâmico - Refletância = 18,4%	Solemma (2022)
Piso interno	Cinza - Refletância = 42,9%	Pereira, Hirashima, Oliveira (2021)

Piso externo	Cinza - Refletância = 42,9%	Pereira, Hirashima, Oliveira (2021)
Forro interno	Branco - Refletância = 84,2%	Dornelles (2008)
Vidro incolor 6mm	Transmissividade da luz visível = 85%	Lamberts (2016)
Vidro incolor 6mm com película	Insulfilm Black 35 - Transmissividade da luz visível = 33% ⁹	Polibrako (2022)
Brise existente	Alumínio prata - Refletância = 51% ¹⁰	Solemma (2022)
Vias de asfalto	Asfalto - Refletância = 10%	Souza e Kux (2005)
Gramado	Grama baixa – refletância = 13,84%	Design for Climate and Confort Lab (2022)
Brises e telas perfuradas	Alumínio cinza – Refletância = 20%	Solemma (2022)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na simulação, foram considerados as refletâncias e transmitâncias apresentados na Tabela 13. No entanto, conforme orientação da INI-C, para os vidros das esquadrias das fachadas foi aplicado ainda um fator de depreciação de 5%, estimado para sujidades, tendo sido considerado então a transmissividade de luz visível de 81% para o vidro incolor e 31% para o vidro com película.

5.2. Resultados das simulações

Foram feitas simulações para os sistemas atualmente instalados no CAD 3 e para dispositivos propostos com objetivo de mitigação de ofuscamento e manutenção das janelas abertas para fins de ventilação. Os resultados são fornecidos pelo *plug-in* através de valores e gráficos. Os resultados gráficos encontram-se no APÊNDICE A – Resultados das simulações para todas as salas.

5.2.1. Resultado das simulações dos dispositivos existentes

A Tabela 14 mostra os resultados resumidos para a avaliação dos sistemas existentes com e sem uso de película e com janelas fechadas e abertas, classificados segundo os parâmetros base do estudo, conforme colocado em 3.2.2.

⁹ O dado de Transmissividade da Luz Visível da película foi informado pelo fornecedor Black Out Insulfilm, com confirmação de modelo e especificações conforme o site do fabricante Polibrako. Ressalta-se que foi solicitado a esses profissionais o laudo técnico realizado em laboratório, do produto fornecido. Porém, esses desconhecem a existência de um laudo específico, informando apenas os dados já constantes em website.

¹⁰ Apesar da tentativa de obter os dados técnicos de laboratório através do fornecedor Hunter Douglas, o mesmo desconhece a informação de refletância do produto. Por isso, utilizou-se como referência material da biblioteca do ClimateStudio, com o uso do alumínio medido pelo *Architecture and Sustainable Design* da *Singapore University of Technology and Design* (ASD-UTD).

Tabela 14. Resultados das simulações em todas as salas de aula

Sala	Condição 1				Condição 2				Condição 3				Condição 4				Condição 5																							
	vidro transparente original, sem elementos de proteção solar, com todas as folhas e bandeiras das janelas fechadas								vidro transparente original, com elementos de proteção solar, com todas as folhas e bandeiras das janelas fechadas								vidro com película, com elementos de proteção solar, com todas as folhas e bandeiras das janelas fechadas								vidro com película, com elementos de proteção solar, com folhas das janelas abertas e bandeiras fechadas								vidro com película, com elementos de proteção solar, com todas as folhas das janelas fechadas e bandeiras abertas							
	sDA _{250,50} (%)	ASE (%)	sDG 1,2m	sDG 1,6m	sDA _{250,50} (%)	ASE (%)	sDG 1,2m	sDG 1,6m	sDA _{250,50} (%)	ASE (%)	sDG 1,2m	sDG 1,6m	sDA _{250,50} (%)	ASE (%)	sDG 1,2m	sDG 1,6m	sDA _{250,50} (%)	ASE (%)	sDG 1,2m	sDG 1,6m	sDA _{250,50} (%)	ASE (%)	sDG 1,2m	sDG 1,6m																
201N	100	22,7	42,11	38,34	100	0	7,74	5,96	86,9	0	0	0	100	0	4,03	2,43	87,21	0	0	0	100	0	0	0																
202N	100	22,6	43,88	39,82	100	0	8,44	6,49	98,8	0	0	0	100	0	3,26	2,25	100	0	0	0	100	0	0	0																
203N	100	22,3	44,02	39,78	100	0	8,77	6,7	95,1	0	0	0	100	0	4,17	3,01	100	0	0	0	100	0	0	0																
204N	100	19,9	41,44	37,68	100	0	7,3	5,85	95,1	0	0	0	100	0	2,82	2,06	100	0	0	0	100	0	0	0																
205S	74,2	0	3,75	3,59	41,7	0	0,1	0,16	14,2	0	0	0	22,5	0	0,16	0,21	18,3	0	0	0	100	0	0	0																
206S	100	0	6,98	7,05	90,1	0	0,65	0,76	32,6	0	0	0	47,7	0	0,47	0,33	40,1	0	0	0	100	0	0	0																
207S	100	0	9,89	9,24	100	0	1,7	2,14	42,3	0	0	0	80,6	0	0,69	0,91	53	0	0	0	100	0	0	0																
208S	100	0	13,84	13,41	100	0	4,49	5,04	62,3	0	0	0	98,6	0	1,34	1,56	95,7	0	0	0	100	0	0	0																
209S	100	0	16,47	16,08	100	0	5,96	6,65	83,5	0	0	0	100	0	2,46	2,78	100	0	0	0	100	0	0	0																
301N	100	22,7	43,53	40,15	100	0	9,81	8,5	100	0	0	0	100	0	5,2	4,22	100	0	0	0	100	0	0	0																
302N	100	22,6	45,29	40,29	100	0	10,29	9,35	100	0	0	0	100	0	4,28	3,91	100	0	0	0	100	0	0	0																
303N	100	22,3	45,36	41,59	100	0	11,05	9,42	100	0	0	0	100	0	5,76	4,96	100	0	0	0	100	0	0	0																
304N	100	22,5	43,64	39,67	100	0	9,36	8,24	100	0	0	0	100	0	3,36	3,18	100	0	0	0	100	0	0	0																
305S	100	0	12,85	11,87	100	0	4,15	5,65	58,5	0	0	0	98,2	0	1,32	2,19	60,8	0	0	0	100	0	0	0																
306S	100	0	15,07	15,62	100	0	6,09	8,12	87,5	0	0	0	100	0	1,85	2,72	93,9	0	0	0	100	0	0	0																
307S	100	0	17,74	17,92	100	0	7,48	9,43	100	0	0	0	100	0	2,71	3,93	100	0	0	0	100	0	0	0																
401N	100	22,7	45,24	41,61	100	0	11,01	9,85	100	0	0	0	100	0	5,89	5,09	100	0	0	0	100	0	0	0																
402N	100	22,6	45,87	42,21	100	0	11,67	10,47	100	0	0	0	100	0	5,25	4,24	100	0	0	0	100	0	0	0																
403N	100	22,3	47,46	42,93	100	0	12,25	10,65	100	0	0,04	0	100	0	6,63	5,51	100	0	0	0	100	0	0	0																
404N	100	22,5	46,21	42,09	100	0	11,34	9,72	100	0	0	0	100	0	4,44	3,97	100	0	0	0,04	100	0	0	0																
405S	100	0	6,41	5,62	96,7	0	1,61	2,03	28,7	0	0	0	51,2	0	0,68	0,83	32,1	0	0	0	100	0	0	0																
406S	100	0	13,37	11,77	100	0	4,25	4,58	65,7	0	0	0	98,8	0	1,45	1,49	74,4	0	0	0	100	0	0	0																
407S	100	0	15,8	14,71	100	0	6,09	6,81	91	0	0	0	100	0	1,63	2,32	98	0	0	0	100	0	0	0																
408S	100	0	17,79	17,72	100	0	8,22	9,17	99,7	0	0	0	100	0	2,68	3,33	100	0	0	0	100	0	0	0																
409S	100	0	19,15	18,75	100	0	8,82	10,77	100	0	0	0	100	0	3,72	4,88	100	0	0	0	100	0	0	0																

LEGENDA PARÂMETROS

sDA		ASE		sDG	
40 ≤ sDA _{250,50} < 55	nível I - mínimo	ASE < 10	Aceitável	sDG _{50%tempo} < 5%	Bom
55 ≥ sDA _{250,50} < 70	nível II - médio	ASE ≥ 10	Inaceitável	sDG _{50%tempo} ≥ 5%	Crítico
sDA _{250,50} ≥ 70	nível III - máximo				

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

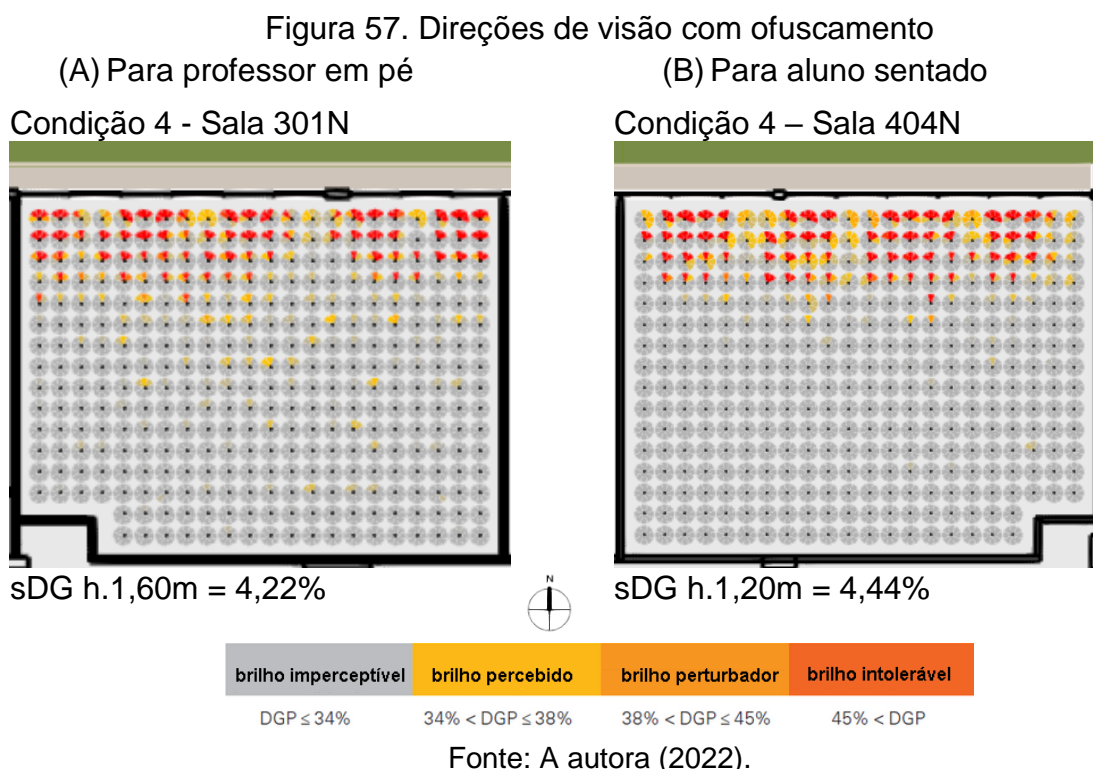
Verificou-se, de forma geral, que as aberturas sem qualquer tipo de obstrução ou proteção (Condição 1) apresentam altos valores de sDA, acompanhados de alta exposição direta à luz solar, com ofuscamento crítico em significativa área dos ambientes. No entanto, os elementos de proteção solar - *brise* horizontal na fachada norte, platibandas verticais e horizontais e pilares em ambas as fachadas (Condição 2) - anulam a exposição direta à luz solar (ASE), mantendo o nível máximo da disponibilidade da luz natural (sDA) em 100% e mitigando o ofuscamento (sDG) de forma significativa, reduzindo de 43% a 97% a ocorrência do ofuscamento nas salas, quando comparadas as Condições 1 e 2. O uso de película nos vidros (Condição 3) anula a ocorrência do ofuscamento, ao mesmo passo que mantêm sDA em níveis máximos. No entanto, notou-se por visitas *in loco*, que o uso da película (transmissividade 33%) atrapalha a vista externa, com distorção de cores e limitação da visualização da paisagem.

Com as folhas das janelas abertas (Condição 4), considerada a situação mais usada

pelos usuários desses espaços, nota-se perda no efeito da película (comparada à Condição 3). Há ainda perda de visão do ambiente externo quando as janelas estão abertas, com folhas sobrepostas, onde a transmissividade total dos vidros sobrepostos com a película passa a ser de 11%, acarretando ainda no aumento do contraste da cena. A disponibilidade de luz natural varia de nível médio para máximo (com aumento de 50% a 68% em relação a Condição 3) nas salas 208S, 305S e 406S, enquanto na sala 207S varia de nível mínimo para máximo, com ganho de 91% em relação à Condição 3. Porém, a ocorrência de ofuscamento, antes nulo, aparece em todas as salas, sendo que sDG ultrapassa 5% nas salas 301N, 303N e 402N para a posição sentada, e nas salas 401N e 403N para as posições sentada e em pé. Isso mostra que apesar da película se mostrar eficiente na mitigação do ofuscamento, quando as janelas permanecem fechadas (Condição 3), ela não funciona na prática dos usuários, com as janelas abertas (Condição 4), podendo contribuir para o aumento do contraste nas cenas internas das salas de aula, quando as folhas das janelas estão sobrepostas, conforme visto nas Figuras 50 e 51.

Considerando as bandeiras das janelas abertas com as folhas de correr fechadas (Condição 5), para propiciar ventilação higiênica em dias frios, ao comparar a Condição 5 com a Condição 3, nota-se um ganho na disponibilidade de luz do dia, ressaltando que nas salas 208S e 406S passam de nível médio para máximo, enquanto mantêm os níveis de ofuscamento nulos.

O estudo compreendeu que as direções de visão com maior ocorrência de ofuscamento nas salas de aula são as direções voltadas para as janelas, conforme mostram as Figura 57 - A e B. De forma geral verifica-se maiores valores de sDG para a altura do aluno sentado em sala de aula (1,2 m) e que a ocorrência de ofuscamento é maior justamente em direções de visão para a janela, comuns para os alunos no momento em que podem descansar a vista e, conseqüentemente, restaurar sua atenção. Já para direções de visão mais habituais dos alunos em sala de aula (voltada para a região do quadro), o ofuscamento tem caráter mais imperceptível. Para o professor (altura de 1,6 m), o ofuscamento também ocorre em direções de visão para a janela, quando olha para alunos sentados mais próximos às aberturas. No entanto, entende-se que o professor tem menos escolha para onde direcionar sua visão, já que está constantemente alternando sua visão para toda a área da sala e, por isso, talvez seja o mais incomodado pelo ofuscamento causado pela luz do dia.



Os resultados são fornecidos pelo programa também em forma de gráficos, com mapeamento anual do comportamento da métrica no ambiente simulado. A partir do mapa anual resultado para ofuscamento, selecionou-se aleatoriamente dias e horários que apresentavam a ocorrência desse incômodo visual, com sDG acima de 0,38, conforme mostra a Figura 58. A partir disso, para maior compreensão do fenômeno, imagens olho de peixe foram geradas no programa, com indicação das luminâncias verticais experimentadas por professores (altura do campo visual de 1,60 m) e por alunos (altura do campo visual de 1,20 m). Selecionou-se dois dias para as alturas de 1,20 m e 1,60 m. A Tabela 15 mostra esses resultados.

Tabela 15. Luminâncias verticais no campo de visão do observador com detecção de ofuscamento

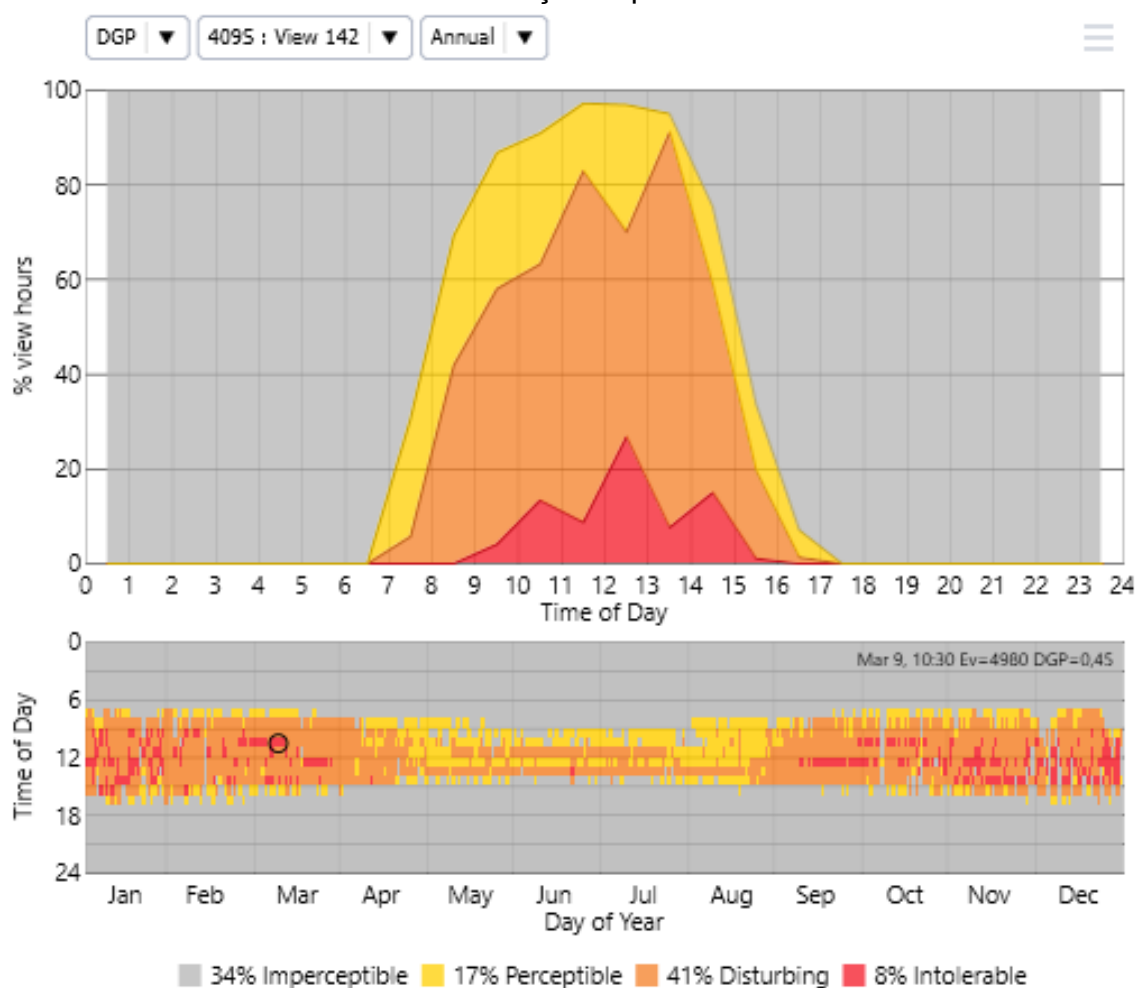
Vista	Altura (m)	Condição	Sala	Data	Horário	Ev média da cena (cd/m ²)	Faixa de Ev detectadas (cd/m ²)
1	1,60	4	409S	09/03	10h30	4.980	118 - 14.033
2	1,60	4	404N	15/06	09h30	4.250	149 - 15.186
3	1,20	4	404N	28/05	11h30	4.173	91,4 - 14.527
4	1,20	4	409S	05/03	13h30	5.436	204 - 15.394

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A partir da revisão bibliográfica, entendeu-se que o ofuscamento é percebido pelo usuário em cenas com luminância vertical acima de 2.000 cd/m². Como exemplo, notou-se nas imagens geradas para a Vista 1, uma luminância média de 4.980 cd/m²,

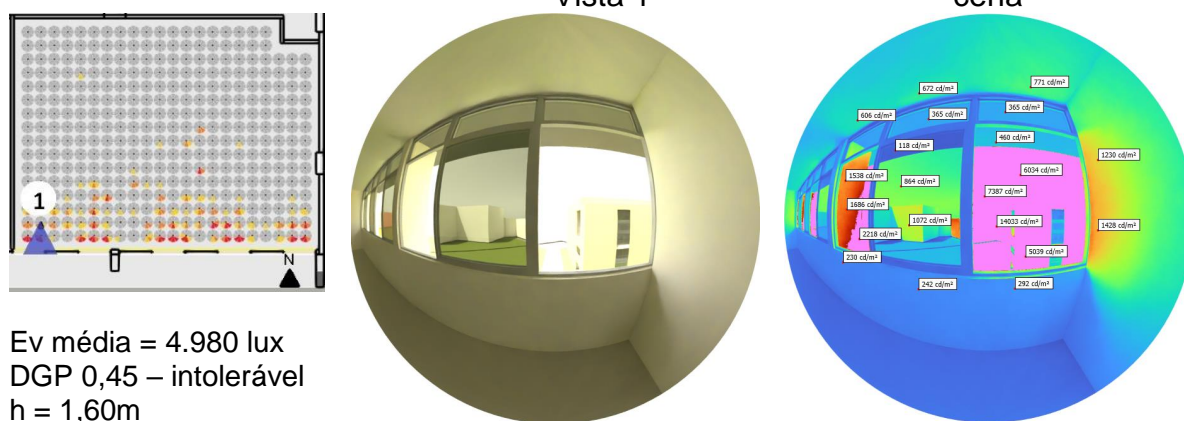
muito acima do limiar de conforto indicado pela literatura. As Figura 59 (A, B e C) apresentam a condição encontrada para a Vista 1, detectada a partir do mapa da Figura 58, na sala 409S no dia 09/03 às 10h30, a partir do ponto de vista do professor a 1,60 m de altura. Para essa direção de vista, nota-se que a iluminância vertical varia entre 118 e 14.033 cd/m², ou seja, uma taxa de contraste de 1:119, com ofuscamento considerado intolerável quando as janelas estão abertas. Essas e demais imagens das cenas citadas na Tabela 15 encontram-se no APÊNDICE B – Luminâncias verticais no campo de visão do observador com ofuscamento.

Figura 58. Mapas da ocorrência de ofuscamento no ano para uma direção de visualização específica



Fonte: A autora (2022).

Figura 59. Imagens esquemáticas para detecção do ofuscamento
 (A) Mapa-chave (B) Olho de peixe da Vista 1 (C) Luminâncias verticais na cena



Sendo as taxas de contraste aceitáveis para conforto visual entre 1:5 ou 1:11,7 (SUK, 2019; QUEK *et al.*, 2021), as cenas capturadas na simulação (APÊNDICE B) apresentam desconforto por brilho (Tabela 15), com taxas de contraste muito altas, onde percebe-se luminâncias no plano vertical variando de 1:75 (Vista 4) à 1:159 (Vista 3).

De modo geral, as análises mostraram que, apesar da fachada sul não ter exposição direta à luz solar, e a fachada norte receber muito pouco desta, os ambientes apresentaram valores de disponibilidade da luz natural satisfatórios, conjugados à ASE nulos (Condições 2, 3, 4 e 5), o que corrobora com o fato de que a luz difusa e as orientações de fachadas para norte e para sul são propícias para iluminar os espaços internos. O ofuscamento em salas de aula pode ser causado principalmente pela luminosidade excessiva do entorno.

Apesar da exposição anual à luz solar direta apresentar valores nulos nas simulações, a análise de sDG indicou desconforto por ofuscamento significativo em todas as condições, exceto para as Condições 3 e 5. No entanto, apesar de a Condição 3 (janelas fechadas) ser a condição de simulação solicitada pelas normas, essa não representa o uso frequente do prédio no dia-a-dia. Enquanto a Condição 5 também aponta conforto visual, com sDG nulos, mas configura uma condição quase não utilizada pelos usuários desses espaços (apenas bandeiras das janelas abertas). No entanto, essas condições são as que também apresentam valores de níveis médio e mínimo para sDA, detectados entre 14,2 e 65,7% do ambiente (na Condição 3) e 18,3 e 60,8% do ambiente (na Condição 5).

Salienta-se ainda que as salas estudadas apresentam aberturas com áreas duas vezes maiores do que a mínima requerida pelo Código de Edificações do Município de Belo Horizonte (BELO HORIZONTE, 2014). Entende-se que grandes aberturas propiciam mais entrada de luz natural e mais incômodos provocados pela luz do dia, que devem ter sua dinâmica controlada com sistemas eficientes.

5.2.2. Estudo das salas com desempenhos inferiores para ofuscamento

As simulações de novos dispositivos de controle de ofuscamento pela luz do dia envolveram a avaliação das salas com desempenhos mais baixos para sDG, em cada andar, e o estudo das alternativas de dispositivos de controle solar, com resultados apresentados no tópico 5.2.3.

Conforme mencionado anteriormente, o uso da película nos vidros das janelas prejudica a vista para o exterior. Por isso, o estudo considerou a Condição 2 como melhor situação para ser explorada, onde os elementos de arquitetura e *brise* horizontal norte foram considerados eficientes como dispositivos de controle solar, mas sem o uso da película nos vidros, a fim de manter a vista. A Tabela 16 mostra os resultados da Condição 2 e as salas que foram elencadas para estudo de novos dispositivos de controle de ofuscamento.

Tabela 16. Salas selecionadas para complementação de estudo

	Simulação 2					
	sDA _{z0,50}	ASE (%)	sDG 1,2m	área do piso (%) com DGP	sDG 1,6m	área do piso (%) com DGP
201N	100	0	7,74	32	5,96	28,8
202N	100	0	8,44	33,6	6,49	30,4
203N	100	0	8,77	33,4	6,7	27,7
204N	100	0	7,3	31,2	5,85	26
205S	41,7	0	0,1	2,1	0,16	2,1
206S	90,1	0	0,65	6,4	0,76	5,2
207S	100	0	1,7	11,6	2,14	13,9
208S	100	0	4,49	23,8	5,04	26,4
209S	100	0	5,96	27,9	6,65	31,7
301N	100	0	9,81	36,6	8,5	35,2
302N	100	0	10,29	37,7	9,35	34,5
303N	100	0	11,05	39,7	9,42	35,7
304N	100	0	9,36	36,9	8,24	32,3
305S	100	0	4,15	18	5,65	24
306S	100	0	6,09	28	8,12	37,4
307S	100	0	7,48	31	9,43	37
401N	100	0	11,01	38,7	9,85	36
402N	100	0	11,67	41,7	10,47	38,3
403N	100	0	12,25	43,8	10,65	39,4
404N	100	0	11,34	41,6	9,72	36,3
405S	96,7	0	1,61	9,6	2,03	7,9
406S	100	0	4,25	19,5	4,58	20
407S	100	0	6,09	26,1	6,81	25,2
408S	100	0	8,22	29,3	9,17	36
409S	100	0	8,82	33,4	10,77	40,1

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A sala de aula com valores mais altos para sDG em todo o prédio foi a 403N. Em cada um dos pavimentos 2 e 3, foram selecionadas as salas com os desempenhos mais baixos para este índice (203N e 303N). Já no pavimento 4, selecionou-se mais uma sala com desempenho ruim, mas optou-se por eleger uma sala na fachada sul (409S), para que pudesse ser verificada uma situação diversa da já apresentada pela fachada norte (403N).

5.2.3. Resultados das simulações com novos dispositivos de controle de ofuscamento

Os resultados da primeira análise dos dispositivos de controle de ofuscamento, para a sala 403N, são apresentados na Tabela 17, que mostra os valores obtidos para sDA,

ASE, e para o percentual de vistas com classificação mínima, média e máxima tanto total quanto por requisito específico (número de camadas, ângulo de visão para o exterior e distância da vista para o exterior) para as alturas de 1,20 m e de 1,60 m. Além dos resultados de sDG, avaliou-se em cada situação o percentual da área da sala que apresenta alguma direção de visualização com DGP acima de 0,38 em 5% do tempo para que se tivesse uma comparação não apenas do número de vistas com ocorrência de ofuscamento, mas também uma noção do percentual da área do ambiente afetado pelo fenômeno, sendo admitido a presença de ofuscamento em até 25% da área da sala. Em azul estão marcadas as medidas com melhor desempenho para cada uma das alturas do olho do observador. Os resultados gráficos encontram-se no APÊNDICE C – Resultados das simulações com novos dispositivos de controle para a sala 403N.

Tabela 17. Resultados das simulações para sala 403N

para sala: 403N

	sDA 250,60	ASE	sDG h=1,20m % área do piso com DGP	Vista máxima	Vista média	Vista mínima	Vista insuficiente	∑ total vistas	Camadas máxima (β camadas visíveis)	Camadas média (α camadas visíveis)	Camadas mínima (λ camada visível)	Camadas insuficiente (nada é visto)	∑ camadas	Ângulo máximo (âng horizontal ≥ 54°)	Ângulo médio (âng horizontal ≥ 28°)	Ângulo mínimo (âng horizontal ≥ 14°)	Ângulo insufic. (âng horizontal < 14°)	∑ ângulo	Distância máxima (dist externa ≥ 50m)	Distância média (dist externa ≥ 20m)	Distância mínima (dist externa ≥ 6m)	Distância insufic. (dist externa < 6m)	∑ distância
C.2	100	0	23 63%	6,1	93,9	0	0	100	6,1	93,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	100	0	0	0	100
C.3	100	0	0 0%	6,1	93,9	0	0	100	6,1	93,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	100	0	0	0	100
M.1	100	0	10 42%	1,4	93	1	5,2	95	6,1	93,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	89	5,2	0,6	5,2	95
M.2	100	0	2,1 16%	0	62	0	38	62	6,1	93,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	0	62	0,3	38	62
M.3	100	1	13 45%	0,3	40	0	60	40	6,1	93,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	40	0	0,3	60	40
M.4	100	1	11 33%	0	19	0	81	19	6,1	93,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	0	19	0	81	19
M.5	100	0	7,3 36%	79	0,3	0	21	79	6,1	93,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	76,8	1,7	0,3	21	79
M.6	100	0	1,1 10%	0	58	0	42	58	6,1	93,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	55,9	1,7	0	42	58
M.7	100	0	8,2 37%	0,3	84	0	16	84	6,1	93,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	80	3,8	0,3	16	84
M.8	100	5	0,9 14%	4,9	66	0	30	70	6,1	93,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	68,4	2	0	30	70
M.9	69	2	0 7%	0	3,8	0	96	3,8	6,1	93,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	3,5	0,3	0	96	3,8
M.10	100	0	0,3 4%	0	55	0	46	55	6,1	93,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	52,8	1,7	0	46	55

	sDA 250,60	ASE	sDG h=1,60m % área do piso com DGP	Vista máxima	Vista média	Vista mínima	Vista insuficiente	∑ total vistas	Camadas máxima (β camadas visíveis)	Camadas média (α camadas visíveis)	Camadas mínima (λ camada visível)	Camadas insuficiente (nada é visto)	∑ camadas	Ângulo máximo (âng horizontal ≥ 54°)	Ângulo médio (âng horizontal ≥ 28°)	Ângulo mínimo (âng horizontal ≥ 14°)	Ângulo insufic. (âng horizontal < 14°)	∑ ângulo	Distância máxima (dist externa ≥ 50m)	Distância média (dist externa ≥ 20m)	Distância mínima (dist externa ≥ 6m)	Distância insufic. (dist externa < 6m)	∑ distância
C.2	100	0	20 56%	89,6	10,4	0	0	100	92,8	7,2	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	100	0	0	0	100
C.3	100	0	0 0%	89,6	10,4	0	0	100	92,8	7,2	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	100	0	0	0	100
M.1	100	0	10 34%	84	16	0	0	100	92,8	7,2	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	91,9	8,1	0	0	100
M.2	100	0	6,2 27%	69	17	0	14	86	92,8	7,2	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	76,2	9,3	0,3	14	86
M.3	100	1	10 38%	40	12	1	47	53	91,9	8,1	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	44,6	7,5	1,2	47	53
M.4	100	1	8,9 34%	18	4,6	0	77	23	91	9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	21,4	0,9	0,3	77	23
M.5	100	0	8,8 33%	81	19	0	0	100	92,5	7,5	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	89,3	11	0	0	100
M.6	100	0	4,8 24%	67	9,6	2	22	78	92,8	7,2	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	74,5	2	1,7	22	78
M.7	100	0	9,1 32%	82	18	0	0	100	92,5	7,5	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	90,1	9,9	0	0	100
M.8	100	5	0,1 3%	37	18	0	45	55	91,6	8,4	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	40,6	15	0	45	55
M.9	69	2	0 0%	18	8,4	0	74	26	90,7	9,3	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	20,3	5,8	0	74	26
M.10	100	0	3,7 21%	60	17	0	24	77	91,6	8,4	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	68,7	7,8	0	24	77

LEGENDA PARÂMETROS

sDG < 5%	% área piso < 25%	∑ camadas ≥ 75	∑ total vistas ≥ 75	resultados iguais
sDG > 5%	% área piso ≥ 25%	∑ camadas < 75	∑ total vistas < 75	

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Considerando que o ofuscamento foi o problema primário que motivou a aplicação da película no vidro, esse foi o critério analisado como primordial, visto que a autonomia de luz natural e a exposição anual solar são atendidos em todas as situações. Em segundo lugar, o critério da vista para o exterior foi analisado.

Apesar dos brises horizontais apresentarem máscaras que bloqueiam a maior parte da vista direta do céu, no geral, esses ainda apresentaram altos índices de ofuscamento, reforçando que o incômodo visual não ocorre apenas pela vista direta

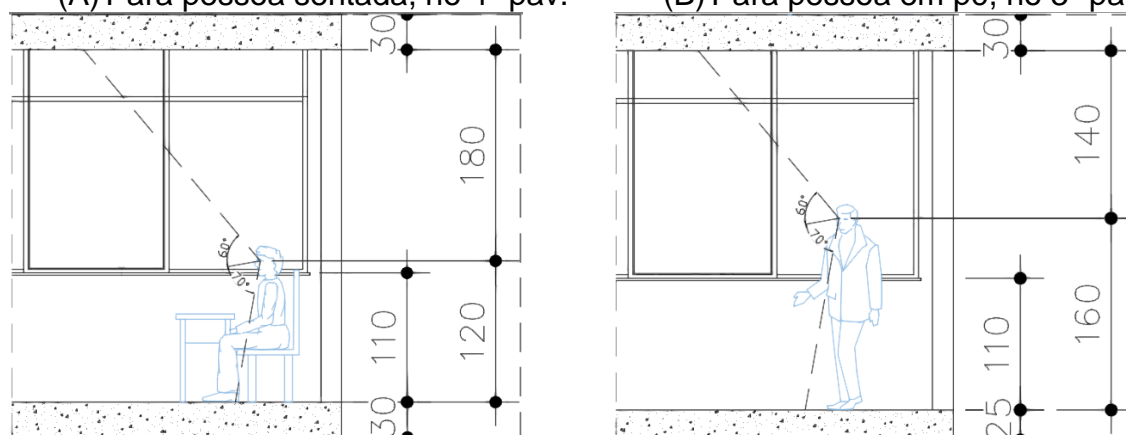
dos raios solares e que apenas a métrica de ASE não é capaz de diagnosticar o ofuscamento.

Analisando o conjunto de resultados para o usuário sentado, posição de 1,20 m de altura, nenhuma das novas medidas de controle do ofuscamento atendeu satisfatoriamente ao requerido para ofuscamento e vista ao mesmo tempo. Ao passo que, para o usuário em pé, em altura de 1,60 m, o *brise* horizontal com 60 cm e espaçamento de 30 cm entre aletas (M.6) e o *brise* horizontal de 55 cm e espaçamento entre aletas de 25 cm (M.10), obtiveram desempenho satisfatório para ofuscamento e vista, sendo eleitos como as melhores medidas de controle contra o ofuscamento para os problemas encontrados. Deve-se considerar que a presença de elementos de controle restringe a vista para o exterior especialmente para usuários sentados, mas que pelo resultado das simulações o requisito mais prejudicado foi aquele relativo à distância da vista.

As medidas que apresentaram bom desempenho para vista a 1,20 m de altura, foram o *brise* horizontal de 35 cm e espaçamento entre aletas de 30 cm (M.1), o *brise* horizontal de 35 cm e espaçamento entre aletas de 25 cm (M.5) e o *brise* horizontal de 6 cm e espaçamento entre aletas de 5 cm (M.7). No entanto, essas apresentaram valores altos para ofuscamento, indicando a presença de desconforto por brilho em pelo menos 36% da área da sala. Talvez, para o *brise* horizontal, aletas menores (6 cm e 35 cm) sejam insuficientes para conter o ofuscamento.

No entanto, nota-se que o critério da vista não foi satisfatório a 1,20 m de altura, para a maioria dos dispositivos testados. Analisando o peitoril das janelas, que são de 1,10 m, entende-se que parte da visão para o exterior do aluno sentado é cortada, conforme mostram as Figura 60, A e B, o que prejudica a classificação deste requisito que acaba restrito ao nível médio.

Figura 60. Cortes esquemáticos do campo visual humano no objeto em estudo
 (A) Para pessoa sentada, no 4º pav. (B) Para pessoa em pé, no 3º pav.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Além disso, o Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) (2022), estabelece um valor mínimo para compartimentação vertical entre a verga e o peitoril da janela, com a finalidade de impedir a propagação de incêndio no sentido vertical (entre pavimentos elevados consecutivos). Esse valor mínimo é de 1,20 m, sendo que, para uma laje que possui espessura mínima de 0,10 m, esse peitoril deve ser de no mínimo 1,10 m. Mesmo para fachadas envidraçadas, onde os materiais também devem ter propriedades incombustíveis, o Corpo de Bombeiros exige a construção de uma parede de alvenaria atrás do vidro. As Figuras 61 e 62 ilustram essas exigências.

Figura 61. Compartimentação vertical (verga e peitoril) segundo o CBMMG

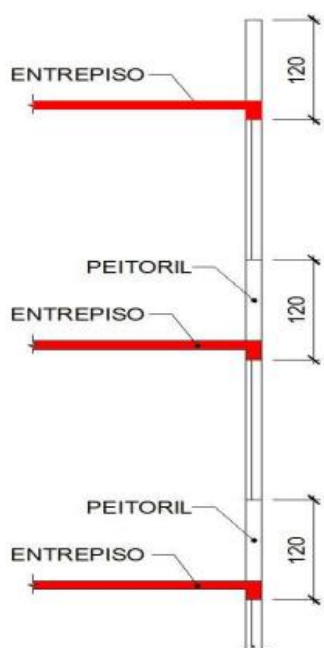
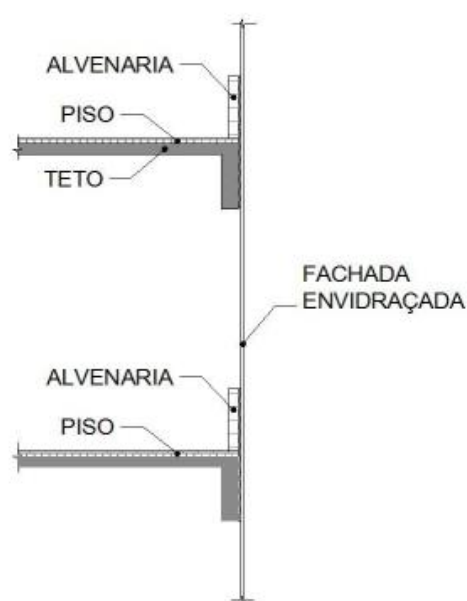


Figura 62. Compartimentação Vertical (Fachadas Envidraçadas)



Fonte: CBMMG, 2022.

Esse fato corroborou com a decisão de priorizar o *brise* com melhor desempenho para o ofuscamento, em detrimento do resultado para vista, já que na altura de 1,20 m o campo visual estará sempre limitado pelo peitoril da janela, no estudo em questão.

No entanto, nas salas de aula estudadas, as lajes possuem espessura entre 0,25 m e 0,30 m (Figura 60, A e B). Por isso, esse peitoril, ainda em conformidade com o Corpo de Bombeiros, poderia ser de 0,90 m, no mínimo, com janelas instaladas em níveis mais baixos, contribuindo para uma vista mais ampla para a pessoa sentada.

Dentre as medidas testadas, pode-se afirmar que os *brises* horizontais têm o melhor desempenho para os critérios de vista. Os *brises* verticais apresentam desempenhos inferiores para distância externa e, conseqüentemente, para vista total. Isso porque os *brises* verticais diminuem o ângulo de visão horizontal que o usuário faz com o sistema de abertura, e limitam mais o critério de distância externa percebido pelo usuário. As telas perfuradas também apresentam resultados insatisfatórios, principalmente a tela com transmissividade de 40%, entendendo-se que essas podem limitar a distância externa, em uma análise mais rígida feita pelo programa, melhor comentada no tópico 5.3.

Notou-se que a avaliação total da vista foi definida pelo critério de distância externa, ou seja, o dispositivo de controle do ofuscamento interfere na distância de visão externa e é o que muda a classificação da vista, tendo sido o único parâmetro a sofrer variações significativas.

O número de camadas visíveis não é alterado pelos elementos de controle do ofuscamento para a altura de 1,20 m e, nesse caso, as camadas visíveis desempenham um papel satisfatório por permitirem a vista de duas camadas, de paisagem e céu (Figura 64), em 93,9% das posições, considerando a sala 403N. Por estarem no andar mais elevado do prédio, com o campo visual a 11,10 m de altura para o aluno sentado, os 6,1% de posições que tem visualização das três camadas, incluindo também o piso, são os que estão próximos às janelas (Figura 63).

Já para a altura de 1,60 m, os resultados para camadas visíveis apresentam alterações entre si, não muito significativas, mas apontam que o observador em pé pode ver três camadas em pelo menos 90,7% do espaço da sala 403N (Figuras 65 e

66). Sendo que, até 9,3% das posições enxergam duas camadas, posições localizadas mais ao fundo da sala.

Figura 63. Vista da pessoa sentada ($h=1,20$ m) mais próxima à janela

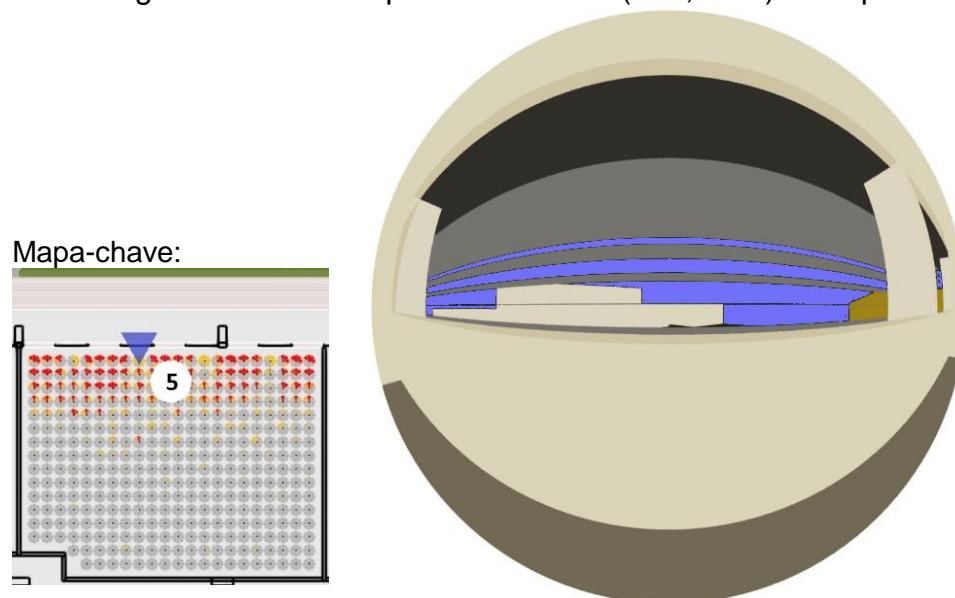
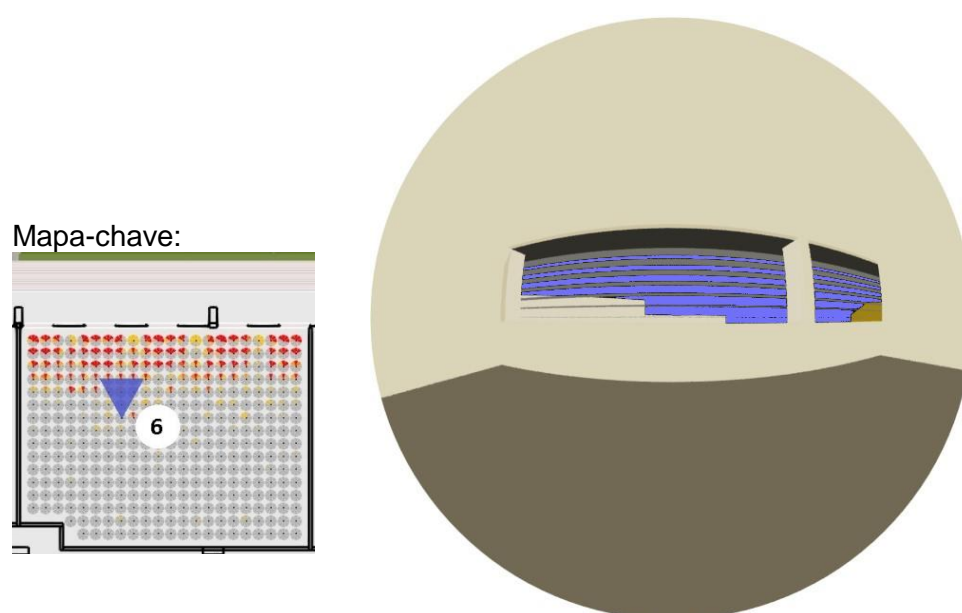


Figura 64. Vistas da pessoa sentada ($h=1,20$ m) mais distante da janela



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 65. Vista da pessoa em pé ($h=1,60$ m) mais próxima à janela

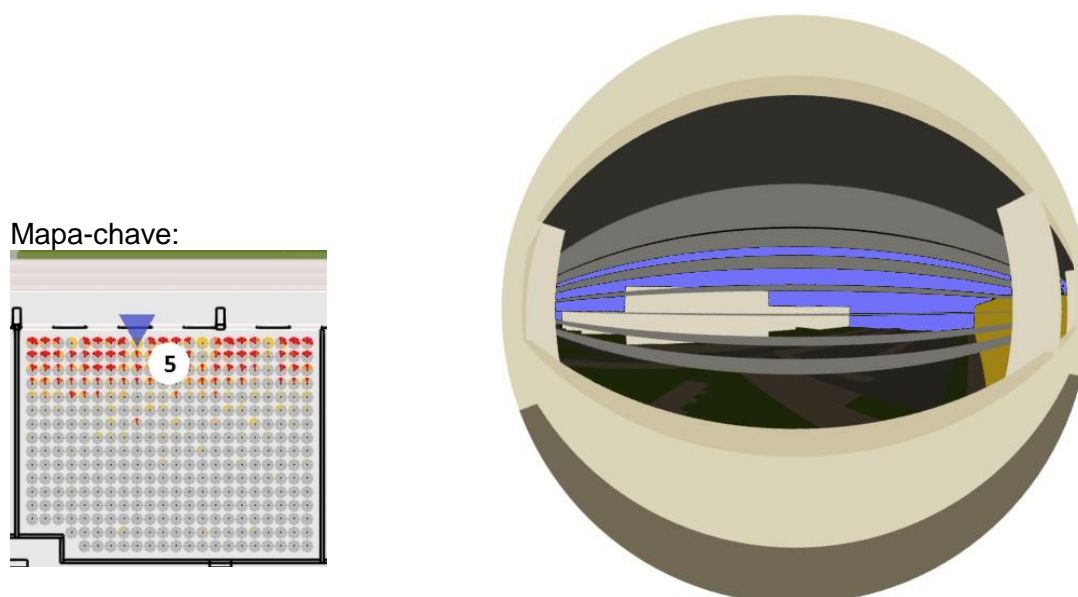
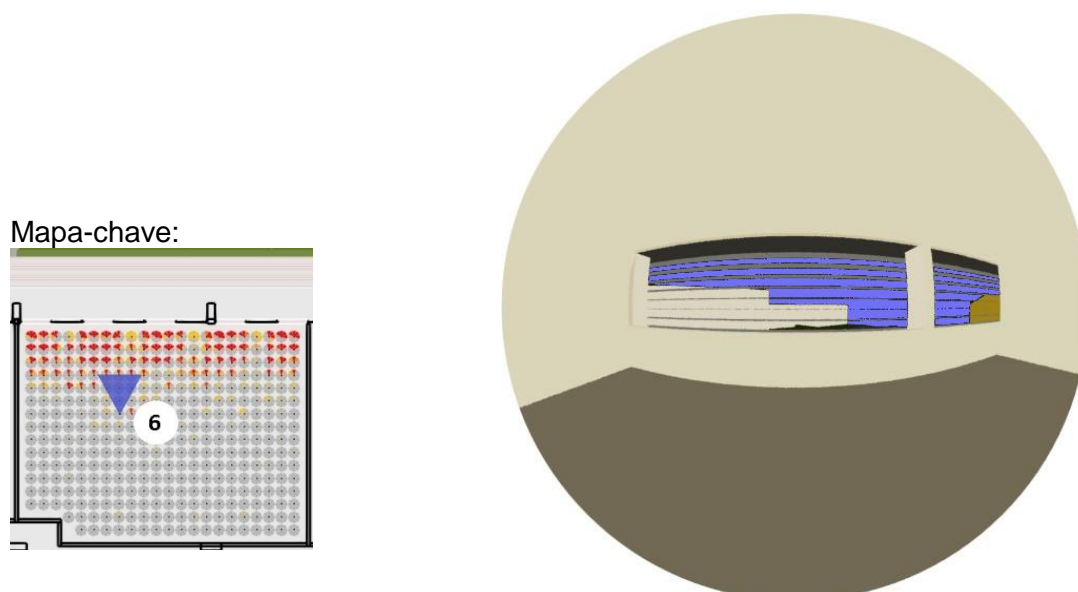


Figura 66. Vista da pessoa em pé ($h=1,60$ m) mais distante da janela



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O fato de que o usuário com campo visual na altura de 1,60 m tem mais visão que o campo visual a 1,20 m, é corroborado pelas simulações nas salas 203N, 303N e 409S, apresentadas na Tabela 18, que mostra os resultados das simulações dos *brises* M.6 e M.10, para as demais salas. Os resultados gráficos destas simulações são apresentados no APÊNDICE D – Resultados simulações com novos dispositivos de controle para salas 203N, 303N e 409S.

Tabela 18. Resultados para salas 203N, 303N e 409S

		para demais salas: 203N, 303N, 409S																						
		SDA 250,50	ASE	sDG h=1,20m % área do piso com DGP	Vista máxima	Vista média	Vista mínima	Vista insuficiente	∑ total vistas	Camadas máxima (3 camadas visíveis)	Camadas média (2 camadas visíveis)	Camadas mínima (1 camada visível)	Camadas insuficiente (nada é visto)	∑ camadas	Ângulo máximo (âng horizontal ≥ 54°)	Ângulo médio (âng horizontal ≥ 26°)	Ângulo mínimo (âng horizontal ≥ 14°)	Ângulo insufic. (âng horizontal < 14°)	∑ ângulo	Distância máxima (dist externa ≥ 50m)	Distância média (dist externa ≥ 20m)	Distância mínima (dist externa ≥ 6m)	Distância insufic. (dist externa < 6m)	∑ distância
203N	Condição 2 - sem brise	100	7	20 56%	11	89	0	0	100	11	89	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	100	0	0	0	100
	M.6	100	0	0 2%	0	58,8	0	41,2	58,8	11	89	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	55,7	3,2	0	41,2	59
	M.10	100	0	0 0%	0	54,2	0	45,8	54,2	11	89	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	50,1	4,1	0	45,8	54
303N	Condição 2 - sem brise	100	7	22 60%	6,1	93,9	0	0	100	6,1	93,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	100	0	0	0	100
	M.6	100	0	0,7 5%	0	57,7	0	42,3	57,7	6,1	93,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	55,1	2,6	0	42,3	58
	M.10	100	0	0,1 1%	0	55,4	0	44,6	55,4	6,1	93,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	51,3	4,1	0	44,6	55
409S	Condição 2 - sem brise	100	0	9,2 34%	0	100	0	0	100	0	100	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100
	M.6	100	0	0 0%	0	53,8	1	45,4	54,7	0	100	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	11,6	42,2	0,9	45,4	55
	M.10	100	0	0 0%	0	47,4	4	49,1	50,9	0	100	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	3,13	34,1	3,5	49,1	41
203N	Condição 2 - sem brise	100	0	16,2 50%	91,9	8,1	0	0	100	95,1	4,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	97,1	2,9	0	0	100
	M.6	100	0	0,83 10%	62,6	9,3	0	28,1	71,9	95,1	4,9	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	67,8	4,1	0	28,1	72
	M.10	100	0	0,43 5%	55,7	11	0	33,3	66,7	93,9	6,1	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	62	4,6	0	33,3	67
303N	Condição 2 - sem brise	100	0	17,8 55%	92,5	7,5	0	0	100	93	7	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	99,7	0,3	0	0	100
	M.6	100	0	4,42 23%	67	8,4	1,7	22,9	77,1	93	7	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	74,2	1,2	1,7	22,9	77
	M.10	100	0	3,41 19%	59,1	15,4	3,2	22,3	77,7	91,9	8,1	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	22,3	3,2	7	67,5	33
409S	Condição 2 - sem brise	100	0	10,5 40%	37,6	62,4	0	0	100	41,6	58,4	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	85,3	14,7	0	0	100
	M.6	100	0	2,71 19%	2,6	71,7	1,7	24	76	39,6	60,4	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	26,9	47,4	1,7	24	76
	M.10	100	0	2,85 17%	3,2	63,6	4	29,2	70,8	36,7	63,3	0	0	100	99,4	0,6	0	0	100	23,1	43,6	4	29,2	71

LEGENDA PARÂMETROS

sDG < 5%	% área piso < 25%	∑ camadas ≥ 75	∑ total vistas ≥ 75	resultados iguais
sDG > 5%	% área piso ≥ 25%	∑ camadas < 75	∑ total vistas < 75	

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O fato de que o usuário com campo visual na altura de 1,60 m tem mais visão que o campo visual a 1,20 m, é corroborado pelas simulações nas salas 203N, 303N e 409S, apresentadas na Tabela 18, que mostra os resultados das simulações dos *brises* M.6 e M.10, para as demais salas. Os resultados gráficos destas simulações são apresentados no APÊNDICE D – Resultados simulações com novos dispositivos de controle para salas 203N, 303N e 409S.

Tabela 18, ainda na análise da vista, na sala 409S, a distância externa e, consequentemente a avaliação da vista total, possuem desempenho inferiores devido à presença do Bloco 2 da mesma edificação, localizado ao sul do Bloco 1, distante em 16 metros.

Os resultados para ângulos de visão não se alteram em nenhuma das situações, com ou sem as medidas de dispositivos de proteção contra o ofuscamento, em nenhuma

das quatro salas testadas, visto que dependem do ângulo de visão horizontal que o olho do observador faz com a abertura.

Ao replicar as medidas dos *brises* M.6 e M.10 nas salas 203N, 303N e 409S, notou-se a inviabilidade de atender ao critério de vista de forma satisfatória, na altura de 1,20 m. Na sala 203N, quando o campo visual da pessoa em pé está localizado a 4,90 m de altura do piso externo da edificação, houve ocorrência de pontos no ambiente em que a vista foi classificada como insuficiente para os *brises* M.6 e M.10. Tal fato se deve à altura da sala na edificação e a impossibilidade de ver piso ou céu da maior parte do ambiente. O *brise* M.10 também apresentou vista insuficiente na sala 409S, fato que pode ter sido influenciado pelo espaçamento menor entre as aletas, comparado ao *brise* M.6, revelando o *brise* M.6 como melhor medida geral para atendimento à todos os critérios.

No entanto, no geral, considera-se que as medidas de *brises* aprovadas para a sala 403N apresentaram bons resultados também para as salas 203N, 303N e 409S, podendo ser replicadas nas demais salas de aula do prédio, com bons desempenhos no atendimento do conjunto dos critérios de luz natural e vista.

5.3. Considerações sobre as simulações no Rhinoceros com ClimateStudio

Conforme mencionado anteriormente, o ClimateStudio faz a análise da vista através da EN 17037 (CEN, 2018). Apesar da norma citar que o material do vidro deve permitir visão clara, sem distorções e com cores neutras, a análise do programa computacional não faz distinção da película aplicada ao vidro (Tvis 33%), visto pelos resultados para vista obtidos nas simulações para Condição 2 e Condição 3 (ver Tabela 17). Sobretudo, na Condição 4 (mais utilizada pelos usuários) a sobreposição das folhas de correr das janelas quando abertas limita consideravelmente a vista externa e acarreta aumento do contraste na cena, onde pode-se ver a área externa muito iluminada e as folhas de vidro sobrepostas com faixas mais escuras, pois os vidros com película se sobrepõem e diminuem ainda mais a transmissividade da abertura, conforme visto nas Figuras 50 e 51, A e B, no tópico 4.5. Por isso, notou-se que essa diferença da transmissividade do vidro não é entendida na análise da vista pelo programa.

Deve-se considerar que a presença de elementos de controle restringe a vista para o exterior, especialmente para usuários sentados, mas no resultado das simulações o

requisito mais prejudicado foi aquele relativo à distância da vista. Isso porque entendeu-se que o programa interpreta o dispositivo de controle como parte da vista e não como parte do sistema da janela. No caso das telas perfuradas (M.8 e M.9), o programa pode ter lido as partes opacas como bloqueadores da vista e os orifícios como permissivos da vista externa. Sem o uso de dispositivos de controle nas janelas, o programa interpreta o critério de distância máxima da vista como total, conforme mostrado nos resultados para as Condições 2 e 3, tanto para o campo visual na altura de 1,20 m, quanto para 1,60 m (Tabela 17). Neste caso, considera-se como indevida a interpretação da distância do dispositivo de controle para a análise e para a qualificação da vista externa.

Tais constatações mostram que uma avaliação crítica do projetista sobre as condições dos espaços analisados e dos resultados obtidos pelo programa computacional, bem como das análises sugeridas pelos instrumentos normativos, faz-se fundamental na qualificação do critério de vista nos espaços. Considera-se que o programa computacional não é capaz de compreender e avaliar todas as variáveis que envolvem as análises sugeridas pelos instrumentos normativos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreender as diversas atividades visuais que existem em ambientes de ensino e as ferramentas de aprendizagem é uma demanda atual no projeto desses espaços com mais qualidade. É necessário mais estudos experimentais nesses ambientes, que abarquem o entorno construído, a dinâmica da luz do dia e as tarefas visuais que acontecem no espaço. A ocorrência do ofuscamento nos ambientes de ensino também é dinâmica, dada pela variação da luz natural, mas principalmente pela flexibilidade das posições e das direções de visualização dos usuários nas atividades nesses espaços. O professor possui grande mobilidade em sala de aula, condição nata do exercício de sua função, mas menos opção de escolha quando se trata de situar seu campo de visão para direções mais confortáveis, visto que esse pode ser solicitado por alunos e funções em toda área do espaço. Entende-se que, diante da incidência da luz natural nas salas de aula, os alunos são quem mais têm opção de alterar sua posição para seu maior conforto. Tal fato pode justificar o fato de os professores serem os principais responsáveis pelas modificações dos sistemas de iluminação em espaços de ensino.

A análise conjunta de várias métricas oferece, além do atendimento de forma quantitativa aos parâmetros de iluminação, luz natural com mais qualidade para os usuários no interior dos espaços. O estudo compreende que o projetista dos espaços deve analisar o conjunto de parâmetros da luz natural e vista a serem atendidos e que, definir quais parâmetros e desempenhos deve priorizar é uma importante tarefa projetual. Isso porque, o desempenho dos parâmetros da luz natural são intrinsecamente interligados e, a melhoria de um, pode ocasionar na diminuição de outro.

É possível afirmar que a autonomia da luz natural e a vista são prejudicadas sempre que o usuário se sente desconfortável no espaço, optando por soluções inadequadas, para bloquear os efeitos mais incômodos dessa luz, como no uso da película, que anula o ofuscamento, mas reduz a disponibilidade de luz natural e limita a vista exterior, acarretando no uso desmedido do sistema de iluminação artificial como única opção de iluminação.

O uso do *brise* horizontal é a melhor medida de mitigação do ofuscamento, quando comparado ao uso de películas em vidros nas aberturas, *brises* verticais e telas perfuradas. Considerando a situação mais utilizada pelos usuários das salas, onde as janelas estão abertas, o uso da película agrava o ofuscamento, com aumento do contraste nas cenas de visão para a janela. Já o uso do *brise* horizontal, como dispositivo de controle, consegue mitigar a ocorrência do ofuscamento em até 59%, preservando a disponibilidade da luz natural e da vista, independente das janelas estarem abertas ou fechadas.

As salas de aula do CAD 3 possuem altas relações entre áreas de abertura e piso (35% a 36%), pelo menos o dobro do mínimo exigido pelo Código de Edificações de Belo Horizonte, o que permite alta admissão da luz natural nos espaços internos e também gera alto ofuscamento. Mesmo com os dispositivos de proteção existentes no prédio, quando analisada a situação atual e a forma mais usual do edifício com janelas abertas, o ofuscamento ainda está presente em 20% das salas de aula em níveis críticos. Ao analisar a condição do edifício sem o uso da película nos vidros, notou-se que o ofuscamento está presente em 88% das salas de aula e que, com o uso de dispositivos de controle do ofuscamento, tomado os *brises* horizontais com melhor desempenho para garantia da disponibilidade de luz natural e de vista para o exterior no estudo em questão, os valores para sDG diminuem pelo menos em 53%, trazendo o desconforto para níveis toleráveis no espaço estudado.

Entende-se que mais estudos são necessários para propor uma classificação para o ofuscamento no espaço (sDG), já que existem recomendações para a análise do tempo de exposição ao brilho, mas falta uma análise espacial nessa classificação. No entanto, na análise da métrica sDG (sDG \geq 0,38 em 5% do tempo em 5% das vistas), conclui-se que, apesar de 5% das vistas parecer um número pequeno, ele pode ser atendido com o uso de dispositivos de controle de ofuscamento eficazes. Se o programa computacional permite a visualização do percentual de vistas, o valor de 5% proposto pode ser um bom indicador na análise do ofuscamento, tendo funcionado para o estudo em questão.

A vista do usuário sentado, onde considera-se o campo visual com 1,20 m de altura, é muito limitada pela altura do peitoril de janelas. Por isso, apesar da possibilidade de conseguir um equilíbrio satisfatório entre os parâmetros de disponibilidade de luz

natural, ofuscamento e vista, o quesito de número de camadas da vista será sempre mais limitado na análise global das vistas de um espaço, por causa da altura das janelas. A altura de instalação das aberturas, em novas construções, pode ser melhor pensada de forma a atender exigências construtivas e ainda sim proporcionar visões mais amplas do ambiente externo.

A pesquisa compreende que a simulação computacional é uma ferramenta importante no desenvolvimento de estudos mais complexos, com a correlação de diversas variáveis, bem como da avaliação que considera a dinâmica climática anual e a dinâmica da direção do campo visual. No entanto, essas são ferramentas em aperfeiçoamento e uma barreira para esses estudos é a necessidade de mão de obra qualificada para realização da modelagem, das simulações computacionais e a interpretação dos resultados. Entende-se também que a avaliação da vista não pode se basear apenas no *software*, que uma análise primária do projetista para o material das aberturas deve ser feita, já que o programa computacional não distingue a cor e transmitância dos vidros para análise da vista.

A interlocução entre os instrumentos normativos é importante para verificação dos parâmetros quantitativos e qualitativos de luz natural e vista, bem como a interlocução com metodologias de avaliação dos parâmetros, em especial no melhoramento de *softwares* computacionais. Conclui-se que a proposta de revisão da NBR 15.215 pode ser um direcionador para a seleção do sistema de iluminação e dispositivos de proteção.

Por fim, considera-se que uma das limitações do estudo foi a pandemia causada pelo vírus da COVID-19, que impediu a visita ao objeto de estudo e o uso de outras metodologias, como a aplicação de questionários, em etapas primárias da pesquisa. A falta de manuais específicos sobre o *plug-in* de simulação é um limitador no entendimento do funcionamento do programa, já que não se encontram fontes com explicações mais aprofundadas de como o *software* calcula os parâmetros em questão.

Para pesquisas futuras, a pesquisa sugere: busca da representação das árvores e suas dinâmicas com o desempenho das simulações de ambientes internos; estudos experimentais para a proposição da classificação de sDG com as variáveis de tempo

de exposição ao brilho e área do espaço; medição *in loco* do parâmetro da vista para o exterior, conforme metodologias normativas, para comparar com os resultados do programa computacional; estudo do peso que as diferentes direções de vista têm na análise do ofuscamento; estudo espectral da película e sua interferência nos estados de alerta dos usuários nos espaços internos.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, Ignacio; CAMPANO, Miguel Ángel; LESLIE, Russell; RADETSKY, Leora. Daylighting design for healthy environments: Analysis of educational spaces for optimal circadian stimulus. **Solar Energy, Elsevier**, v. 193, 15, p. 584-596, oct. 2019.

ANTONUTTO, Giulio; MCNEIL, Andrew. **Radiance Primer**. 2013. Disponível em: <https://www.radiance-online.org/learning/tutorials/radiance-primer.pdf>. Acessado em maio de 2022.

ARCHDAILY. Centro de Atividades Didáticas CAD 3 / DFPF UFMG. **ArchDaily Brasil**, 25 mai. 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/940256/centro-de-atividades-didaticas-cad-3-dfpf-ufmg>. Acesso em 7 abr. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15215-1**: Iluminação natural - Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISSO/CIE 8995**: Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15215-3**: Iluminação natural - Parte 3: Procedimentos para avaliação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ALAQTUM, Tasbeeh Musa. A methodology to assess and mitigate daylight discomfort glare and provide views in daylit learning environments. **Cap. 2, 3 and 4**. (Dissertation of Master of Science Architecture Design & Energy Conservation) - University of Arizona, 2020. p. 21-41.

ATHALYE, Rahul. **Daylighting Controls for Commercial Buildings**. Pacific Northwest National Laboratory. Richland, WA, sep. 2016.

BAKER, N. V.; PARPAIRI, K.; STEEMERS, K. A.; COMPAGNON, R. The Luminance Differences index: a new indicator of user preferences in daylit spaces. **Lighting Research & Technology**, v. 34, 1, p. 53-68, 2002.

BALOCH, Ramen Munir; MAESANO, Cara Nichole; CHRISTOFFERSEN, Jens; MANDIN, Corinne; CSOBOD, Eva; FERNANDES, Eduardo de Oliveira; ANNESI-MAESANO, Isabella. Daylight and School Performance in European Schoolchildren. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 258, jan. 2021.

BANDEIRA, F. B.; SCARAZZATO, P. S. Iluminação artificial aplicada à arquitetura: processo de projeto. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 13, n. 2, p. 67-80, 2018.

BELO HORIZONTE. Lei nº 10.715, de 17 de janeiro de 2014. **Altera a Lei Nº 9.725/09, que institui o Código de Edificações do Município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: Câmara Municipal, 2014.

BELLIA, Laura; CESARANO, Arcangelo; IULIANO, Giuseppe Fabio; SPADA,

Gennaro. Daylight glare: a review of discomfort indexes. **Visual quality and energy efficiency in indoor lighting: today for tomorrow**. Rome, 2008.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. **Instrução Normativa para a classificação de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas - INI-C**. Portaria Nº 42, de 24 de fevereiro de 2021. Brasília, 2021, 133 p.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA - INEP. **Censo da Educação Superior, 2020**. Brasília: MEC, 2022.

BELO HORIZONTE. Lei nº 10.715, de 17 de janeiro de 2014. **Altera a Lei Nº 9.725/09, que institui o Código de Edificações do Município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: Câmara Municipal, 2014.

BERZOINI, Juliana. Projeto do CAD 3 é apresentado no principal site de divulgação da arquitetura mundial. **UFMG Comunicação**, 2020. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/projeto-do-cad-3-e-apresentado-no-principal-site-de-divulgacao-da-arquitetura-mundial>. Acesso em 25 mar. 2022.

BERZOINI, Juliana. CAD 3 concorre em prêmio promovido pelo principal site de arquitetura do mundo. **UFMG Comunicação**, 2021. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/projeto-arquitetonico-do-cad-3-concorre-ao-premio-building-of-the-year-2021>. Acesso em 25 mar. 2022.

BISSOLOTTI, Kaila; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Metodologia para análise de iluminação natural zenital em quadras poliesportivas. XV ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, XI ELACAC - Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2019, João Pessoa. **Anais...** p. 2845-2855.

BOYCE, Peter. **Human Factors in Lighting**. 2nd ed. London: Taylor & Francis, 2003.

BOMMEL, Wout Van. **Interior Lighting**. Fundamentals, Technology and Application. Cap 1-4. Springer Nature, Switzerland, 2019, p. 3-136.

BREEAM. **Introduction to BREEAM**. United Kingdom, 2022. Disponível em: https://files.bregroup.com/breeam/technicalmanuals/NC2018/#01_introduction_newcon/2introductiontobreem_nc.htm%3FTocPath%3DIntroduction%2520to%2520BREEAM%7C_____0. Acesso em 05 jan. 2023.

BURGOS, Eduardo Goettert; GRIGOLETTI, Giane de Campos; PAIXÃO, Dinara Xavier da. Otimização do conforto ambiental no espaço escolar: uma visão sustentável. **Cinergis**, v. 16 (1), p. 66-70, 2015.

BURTON, Danielle. **Biophilic Design in Higher Education: Exploring Nature-Based Design Inclusion in Classrooms**. Honors College Theses. 734. Georgia Southern University, 2022. 55p.

CARVALHO, Juliana; PEDRINI, Aldomar. Análise da ocorrência de ofuscamento no uso da luz natural em edificações escolares para Natal-RN, por simulação. XV ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2014, Maceió. **Anais...** p. 695-793.

CARVALHO, Marlise Lila Silva; CABÚS, Ricardo Carvalho. Eficiência da luz solar refletida e desempenho de dispositivos de sombreamento. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 2, p. 191-209, abr./jun. 2020.

CASTILLAA, Nuria; LLINARES, Carmen; BISEGNAC, Fabio; GIMÉNEZA, Vicente Blanca-. Affective evaluation of the luminous environment in university classrooms. **Journal of Environmental Psychology**, 58, p. 52–62, 2018.

CBMMG – Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Instrução Técnica N. 07: Compartimentação horizontal e compartimentação vertical**. Portaria N° 69, de 25 de agosto de 2022. Diário Oficial de Minas Gerais, n. 184, ano 130, Belo Horizonte, 2022, 16 p.

DEROISY, B; DENEYER, A. A new standard for daylight: Towards a daylight revolution? In: LUX Europa. Liubliana, sep. 2017.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas**: métodos de determinação e base de dados para tintas látex, acrílica e PVA. 2008. 160p. (Tese de Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

EGAN, M. David. **Concepts in Architectural Lighting**. 2nd ed. New York: Mcgraw-Hill College, 1983.

ELEYAN, Sabreen E. E.; ARIFFIN, Noor Aziah Mohd. Daylighting and visual comfort studies of design studios in institutional buildings. **Journal of Architecture, Planning & Construction Management**, vol. 11, issue 2, 2021.

ERGOTRON. **Mounting Heights & Ergonomics Data**. California, EUA, jan. 2014. Available at: https://www.ergotron.com/portals/0/reserved/resources/ergonomics_arms_data-orig.pdf. Access in: 02 feb., 2021.

CEN - European Committee for Standardization. **EN 17037**: Daylight in buildings. Brussels, 2018.

EZPELETA, S.; ORDUNA-HOSPITAL, E.; SOLANA, T.; APORTA, J.; PINILLA, I.; SÁNCHEZ-CANO, A. Analysis of Photopic and Melanopic Lighting in Teaching Environments. **MDPI, Buildings**, 2021, 11, 439.

FRANÇA, S. S. de; FONSECA, R. W. da; PEREIRA, F. O. R. Método simplificado baseado na disponibilidade de luz difusa para estimar o potencial energético do aproveitamento da luz natural em edificações. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - PosFAUUSP**. FAUUSP: São Paulo, v. 27, n. 51, 2020.

GARCIA, M. S. **Consumo de energia e conforto térmico em campus universitário: uma proposta de benchmarking**. Tese (Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

GBC BRASIL – Green Building Council. **Conheça a Certificação LEED**. Disponível

em: <https://www.gbcbrazil.org.br/sobre-nos/>. Acesso em 05 jan. 2023.

GONÇALVES, Camila Campos. **A influência dos usuários sobre os sistemas de iluminação natural e artificial: estudo de caso de salas da escola de arquitetura da UFMG**. 2014. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

GUIDI, Cláudia Rocha. **Influência dos parâmetros urbanos e da topografia para a disponibilidade de luz natural em edifícios residenciais em Belo Horizonte**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.

HARA, Américo; PEREIRA, Fernando; ALVES, Fernando. Avaliação da adaptação visual em espaços de transição e permanência e o uso dos sistemas de Iluminação natural e artificial. ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 17, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** p. 1326 - 1334.

HUNTER DOUGLAS. **Book Controle Solar**. 2022. Disponível em: <https://architectural.hunterdouglas.com.br/productos/termobrise/>. Acesso em 14 out. 2022.

HYBINER, Juliana Mara B. M. **Análise da iluminação em salas de aulas de escolas da rede de ensino pública das superintendências regionais de ensino de Juiz de Fora, Ponte Nova e Ubá, MG**. Dissertação. 2015. (Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Viçosa, 2015.

IESNA - Illuminating Engineering Society of North America. **LM-83-12: Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. New York, 2012.

INANICI, Mehlika; HASHEMLOO, Alireza. An investigation of the daylighting simulation techniques and sky modeling practices for occupant centric evaluations. **Building and Environment, Elsevier**. v. 113, p. 220-231, feb. 2017.

ISLAM, Md Fahad. The Impacts of Adjustable Light Shelf Heights over the Daylight Illuminance in Classrooms in Dhaka. **Asian Journal of Applied Science and Engineering**, v. 10, issue 1, p. 53-57, 2021.

JAKUBIEC, J. Alstan; REINHART, Christoph F. A concept for predicting occupants' long-term visual comfort within daylit spaces. **LEUKOS: The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America**, v. 12, 4, p. 185-202, nov. 2015.

JONES, Nathaniel. Fast Climate-Based Glare Analysis and Spatial Mapping. In Proceedings of Building Simulation 2019: **16th Conference of International Building Performance Simulation Association**. Rome: sep. 2019.

KAPLAN, Stephen. The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. **Journal of Environmental Psychology**, v. 15, p. 169-182, 1995.

KEYVANFAR, Ali; SHAFAGHAT, Arezou; MAJID, Muhd; LAMIT, Hasanuddin; HUSSIN, Mohd; ALI, Kherun; SAAD, Alshahri. User satisfaction adaptive behaviors for

assessing energy efficient building indoor cooling and lighting environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier**, v. 39, p. 277-295, jul. 2014.

KO, W.; SCHIAVON, S.; ALTOMONTE, S.; ANDERSEN, M.; BATOOL, A.; BROWNING, W.; BURRELL, G.; CHAMILOTHORI, K.; CHAN, Y.; CHINAZZO, G.; CHRISTOFFERSEN, J.; CLANTON, N.; CONNOCK, C.; DOGAN, T.; FAIRCLOTH, B.; FERNANDES, L.; HESCHONG, L.; HOUSER, K.; INANICI, M.; JAKUBIEC, A.; JOSEPH, A.; KARMANN, C.; KENT, M.; KONIS, K.; KONSTANTZOS, I.; LAGIOS, K.; LAM, L.; LAM, F.; LEE, E.; LEVITT, B.; LI, W.; MACNAUGHTON, P.; ARDAKAN M.; MARDALJEVIC, J.; MATUSIAK, B.; OSTERHAUS, W.; PETERSEN, S.; PICCONE, M.; PIERSON, C.; PROTZMAN, B.; RAKHA, T.; REINHART, C.; ROCKCASTLE, S.; SAMUELSON, H.; SANTOS, L.; SAWYER, A.; SELKOWITZ, S.; SOK, E.; ANDERSEN, J.; SULLIVAN, W.; TURAN, I.; UNNIKRIISHNAN, G.; VICENT, W.; WEISSMAN, D.; WIENOLD, J. Window View Quality: Why It Matters and What We Should Do. **LEUKOS: The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America**, v. 18, 3, p. 259-267, may. 2022.

LABCCB - Laboratório Centro Cerâmico do Brasil. **Tabelas Comparativo de Desempenho**. Santa Gertrudes, 2021. Disponível em: <https://www.ccb.org.br/pt/laboratorios>. Acesso em: 15 fev. 2022.

LAM, Edmond W.M.; CHAN, Daniel W.M.; WONG, Irene. The Architecture of Built Pedagogy for Active Learning - A Case Study of a University Campus in Hong Kong. **Buildings**, 2019, 9, 230.

LAMBERTS, Roberto. **Apostila Desempenho Térmico de Edificações**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª ed. Eletrobrás: Rio de Janeiro, 2014.

LLINARES, Carmen; CASTILLA, Nuria; TRUJILLO, Juan Luis Higuera-. Do Attention and Memory Tasks Require the Same Lighting? A Study in University Classrooms. **Sustainability**, 2021, 13, 8374.

MIT - Massachusetts Institute of Technology. Decision Support Tools. **MIT Sustainable Design Lab**, 2022. Available at: <https://web.mit.edu/sustainabledesignlab/software.html>. Access in: 19 mar. 2022.

MIRMORAD, Seyedeh Somayeh. The Effect of the Relationship between Indoor Architectural Design Studios and Outdoor Landscape on Increasing Students' Satisfaction Level. **International Journal of Built Environment and Sustainability**, v. 8, 1, p. 47–56, 2021.

MONTEIRO, Larissa A; AVELAR, Pâmela R.; PADILHA, D. B.; MEDEIROS, Helder G.; SOUZA, Roberta V. G. de. Sistema de iluminação do CAD 3 - análise pela INI-C para retrofit. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19, 2022, Canela. **Anais...** p. 1-11.

MONTEOLIVA, Juan Manuel; GARRETÓN, Julieta A. Yamín; PATTINI, Andrea E. Comparative Investigation of Daylight Glare Probability (DGP) Comfort Classes in

Clear Sky Condition. **Journal of Daylighting**, vol. 8, p. 284-293, Mendoza, 2021.

PEREIRA, Adriana; HIRASHIMA, Simone; OLIVEIRA, Raquel. Utilização do espectrômetro Alta II para obtenção da absorvância solar de superfícies opacas. **Tecnologia e Sociedade**, v. 17, n. 46, p.216-228, jan./mar., 2021.

PBE Edifica. INMET 2018. **PBE Edifica Arquivos Climáticos**, 2022. Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/arquivos-climaticos>. Acesso em 23 jan. 2022.

PIERSON, Clotilde; WIENOLD, Jan Wienold; BODART, Magali. Review of factors influencing discomfort glare perception from daylight. **LEUKOS: The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America**, v. 14, 3, p. 111-148, feb. 2018.

POLIBRAKO Produtos Ltda. **Insuglass**, Filme de Arquitetura – Especificações Técnicas. Curitiba, 2022. Disponível em: <http://www.polibrako.com.br/peliculas-de-arquitetura.php>. Acesso em 1 fev. 2022.

QUEK, Geraldine; WIENOLD, Jan; KHANIE, Mandana Sarey; ERELL, Evyatar; KAFTAN, Eran; TZEMPELIKOS, Athanasios; KONSTANTZOS, Iason; CHRISTOFFERSEN, Jens; KUHN, Tilmann; ANDERSEN, Marilynne. Comparing performance of discomfort glare metrics in high and low adaptation levels. **Building and Environment**, v. 206, jun. 2021.

REINHART, Christoph F. The Use of Glare Metrics in the Design of Daylit Spaces: Recommendations for Practice, 2010. **9th International Radiance Workshop**, sep. 2010.

REINHART, Christoph F.; WALKENHORST, Oliver. Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. **Elsevier: Energy and Buildings**, v. 33, issue 7, p. 683-697, sep. 2001.

REINHART, Christoph F.; MARDALJEVIC, John; ROGERS, Zack. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. **LEUKOS: The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America**, v. 3, n. 1, p. 7-31, sep. 2013.

RIZZARDI, Alana; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Estudo experimental de percepção visual da iluminação natural. XVII ENCAC – ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Foz do Iguaçu, 2018. **Anais...** p. 596-602

SAFRANEK, Sarah; COLLIER, Jessica M.; WILKERSON, Andrea; DAVIS, Robert G. Energy impact of human health and wellness lighting recommendations for office and classroom applications. **Energy and Buildings, Elsevier**, v. 226, 2020.

SANCHES, Teresa. UFMG mira geração própria de energia e economia de 50% na conta de luz. **UFMG Comunicação**, 2020. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/projeto-de-eficiencia-energetica-da-ufmg-mira-geracao-propria-e-economia-de-50-na-conta-de-luz>. Acesso em 12 jan. 2022.

SCHAMBURECK, E. 2020. Luminance Contrast. **Design for Sight**. Available at: <http://www.designforsight.com/luminancecontrast.html>. Access in: 02 feb. 2022.

SOARES, Gabriela; CAMARGO, Maria Aparecida Santana. Inserção do estudo de caso na arquitetura e urbanismo: uma prática recorrente para análise de obras arquitetônicas. **RevInt - Revista Interdisciplinar de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 9, 2021, p. 364 - 371.

SOLEMMA LLC. Climate Studio. Minneapolis, 2022. Available at: <https://www.solemma.com/climatestudio>. Access in: 20 mar. 2022.

SOUZA, Rita de Cassya Almeida; KUX, Hermann Johan Heinrich. Comportamento Espectral e Alvos Urbanos: simulação com as bandas espectrais do satélite CBERS. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, abr. 2005. **Anais...** p. 1099-1106.

SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Primeira estação de medição de iluminação natural em território brasileiro: análise dos dados dos dois primeiros anos de funcionamento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 79-94, jul./set. 2004.

SRISAMRANRUNGRUANG, Thanyalak; HIYAMA, Kyosuke. Balancing of natural ventilation, daylight, thermal effect for a building with double-skin perforated facade (DSPF). **Energy and Buildings, Elsevier**, v. 210, 1, mar. 2020.

VASCONCELLOS, Gabriela Dutra de. Evaluation of Annual Sunlight Exposure (ASE) as a Proxy to Glare: A Field Study in a NZEB and LEED Certified Office in San Francisco. **Cap. 5 – Results**. 2017. (Dissertation of Master of Science in Architecture) - University of California, Berkeley, 2017.

VÁSQUEZ, Natalia Giraldo; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay; MORAES, Leticia Niero; PIRES, Maíra Oliveira. Proposta de um procedimento alternativo para avaliar o ofuscamento: uma abordagem temporal da direção da visão. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, jan.-mar. 2016.

VELUX. Parameters influencing daylighting performance. **Velux**. Hørsholm, Denmark, 2022. Available at: <https://www.velux.com/what-we-do/research-and-knowledge/deic-basic-book/daylight/parameters-influencing-daylighting-performance>. Access in: 17 mar. 2022.

WACZYNSKA, Marta; SOKOL, Natalia; Martyniuk-Peczek, Justyna. Computational and experimental evaluation of view out according to European Standard EN17037. **Elsevier: Buildings and Environment**, v. 188, jan. 2021.

WANG, Taoning; LEE, Eleanor; WARD, Gregory; YU, Tammie. Field validation of data-driven BSDF and peak extraction models for lighting-scattering fabric shades. **Elsevier: Energy and Buildings**, v. 262, may. 2022.

IWBI. International WELL Building Institute. **WELL v2**. Daylight Design Strategies. 2023. Available at: <https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/light/feature/5>. Access in: jan. 2023.

WIENOLD, J.; IWATA, T.; KHANIE, M.; ERELL, E.; KAFTAN, E; RODRIGUEZ, R.; GARRETÓN, J.; TZEMPELIKOS, T.; KONSTANTZOS, I.; CHRISTOFFERSEN, j.; KUHN, T.; PIERSON, C.; ANDERSEN, M. Cross-validation and robustness of daylight

glare metrics. **Lighting Research & Technology**, v. 51, issue 7, p. 983-1013, mar. 2019.

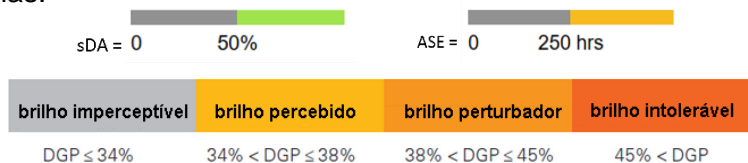
WYMELENBERG, Kevyn; INANICI, Mehlika. A Critical Investigation of Common Lighting Design Metrics for Predicting Human Visual Comfort in Offices with Daylight. **LEUKOS: The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America**, London, v. 10, n. 3, p. 145-164, jan. 2014.

APÊNDICE

6.1. APÊNDICE A – Resultados das simulações para todas as salas

Tabela 19. Resultados gráficos da simulação da luz natural

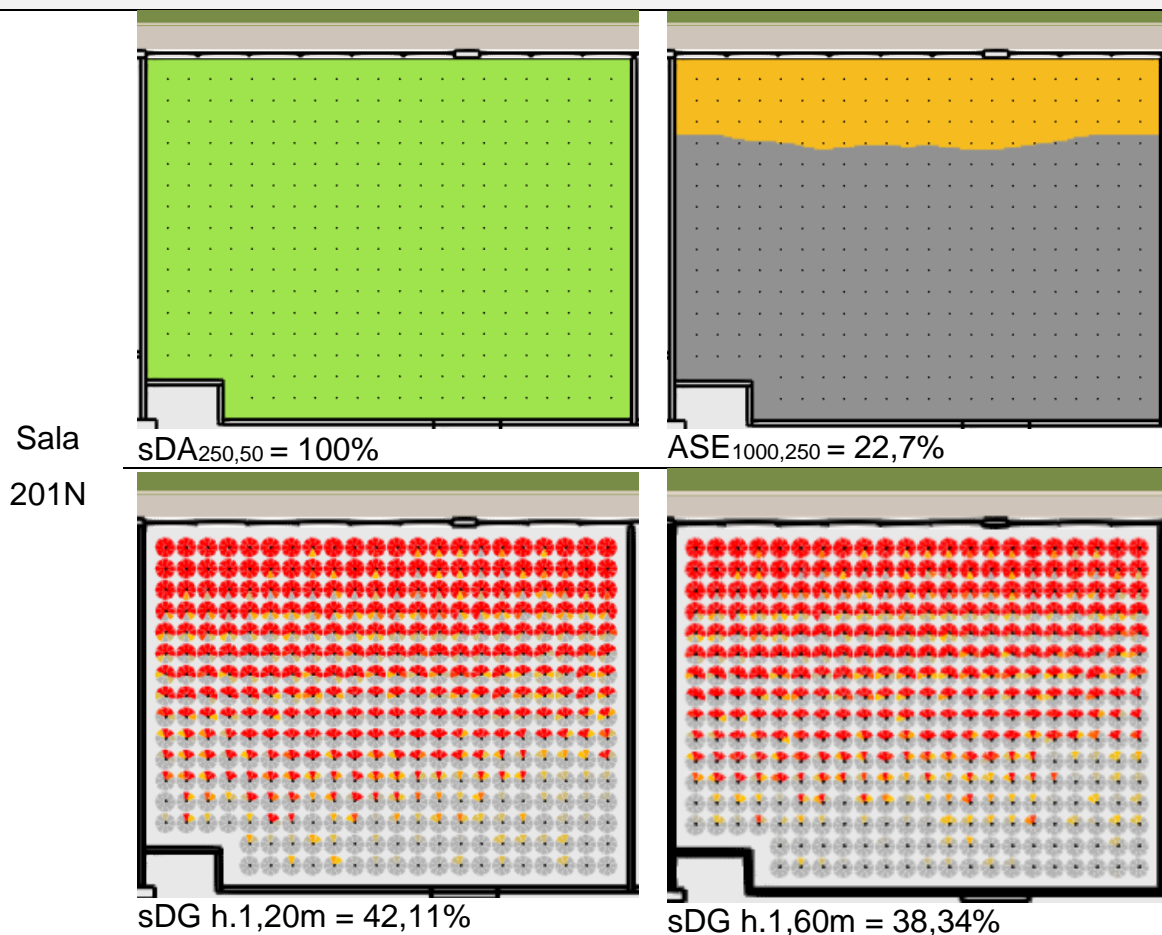
Escalas:

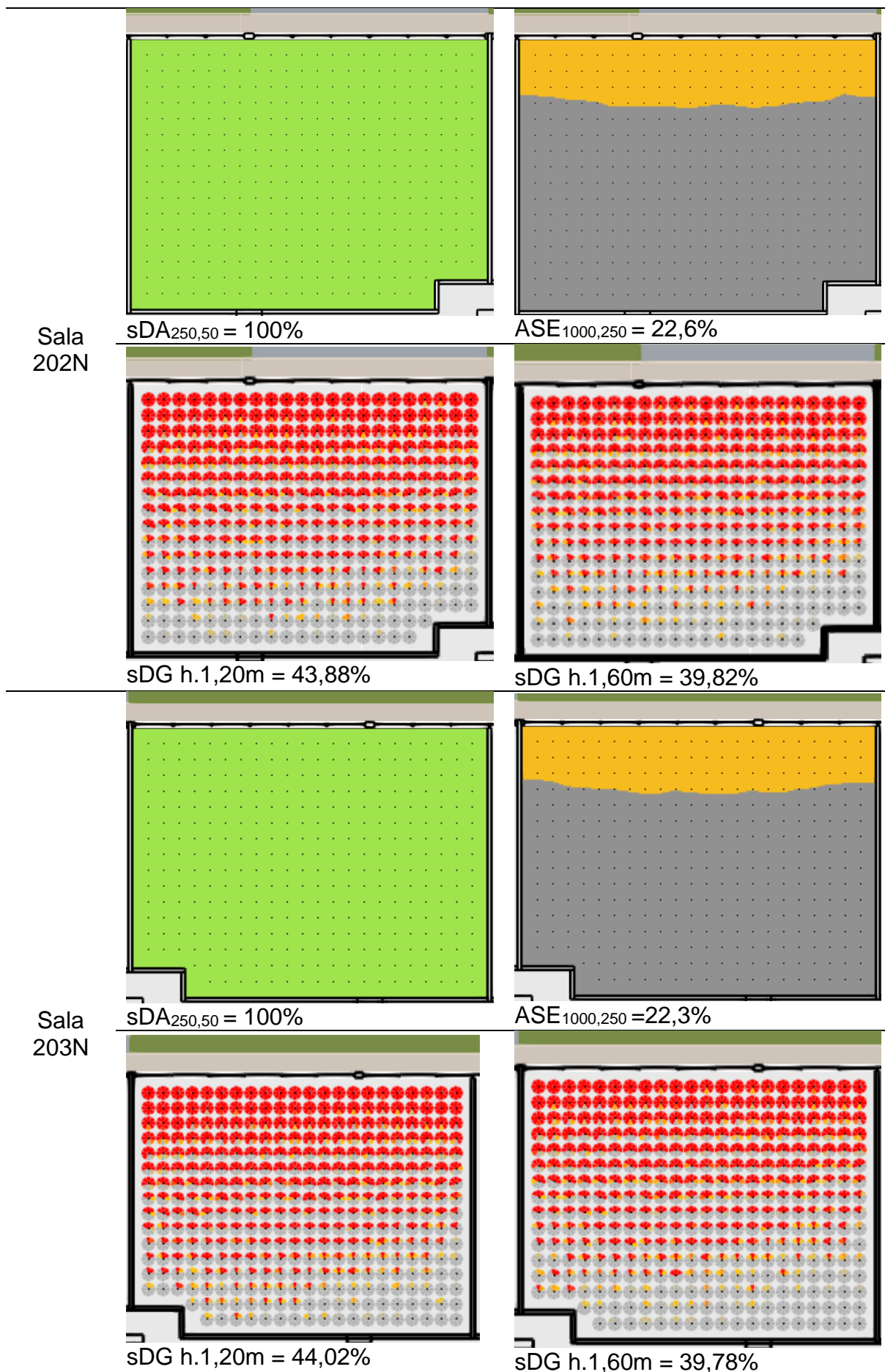


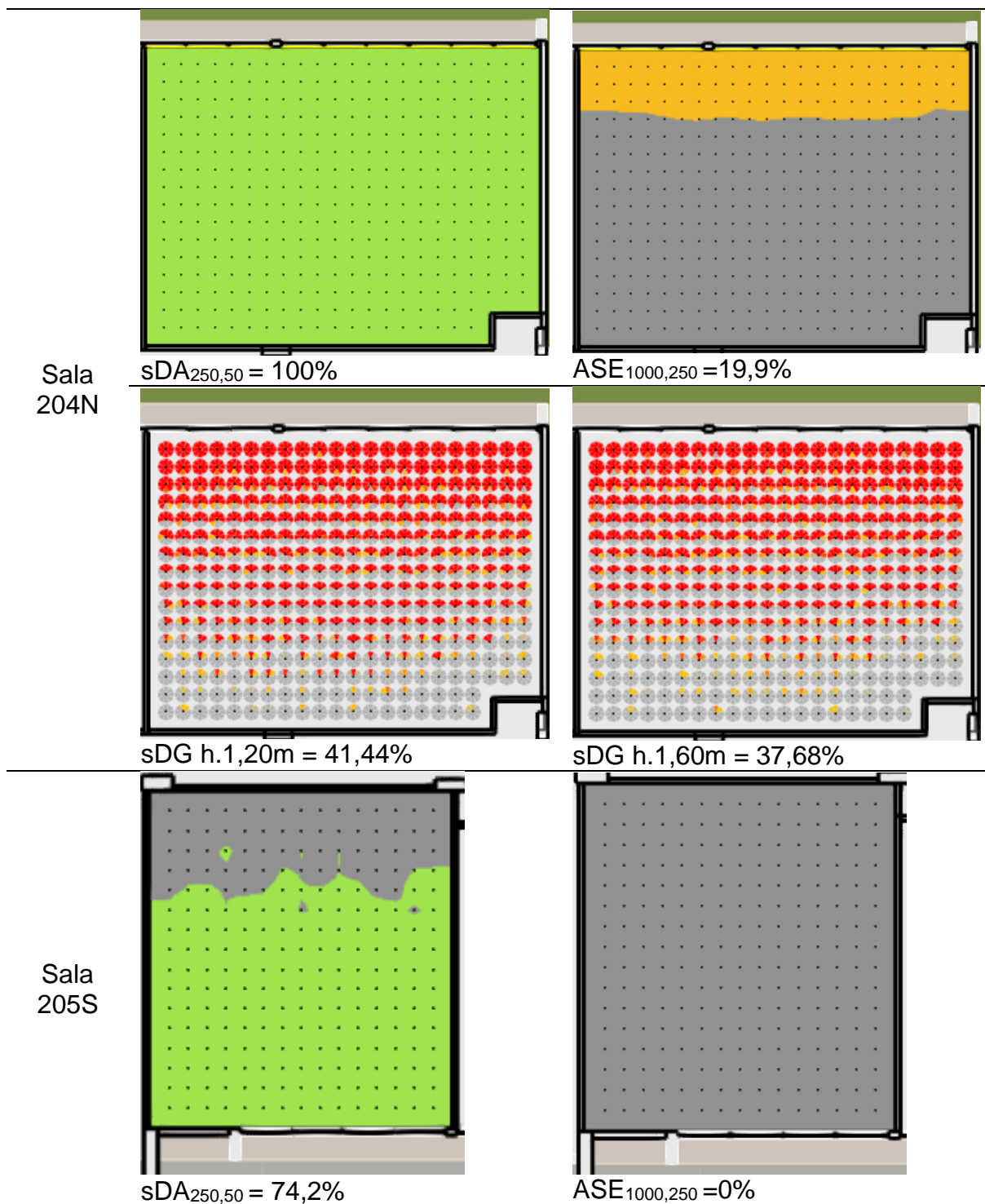
Ambiente

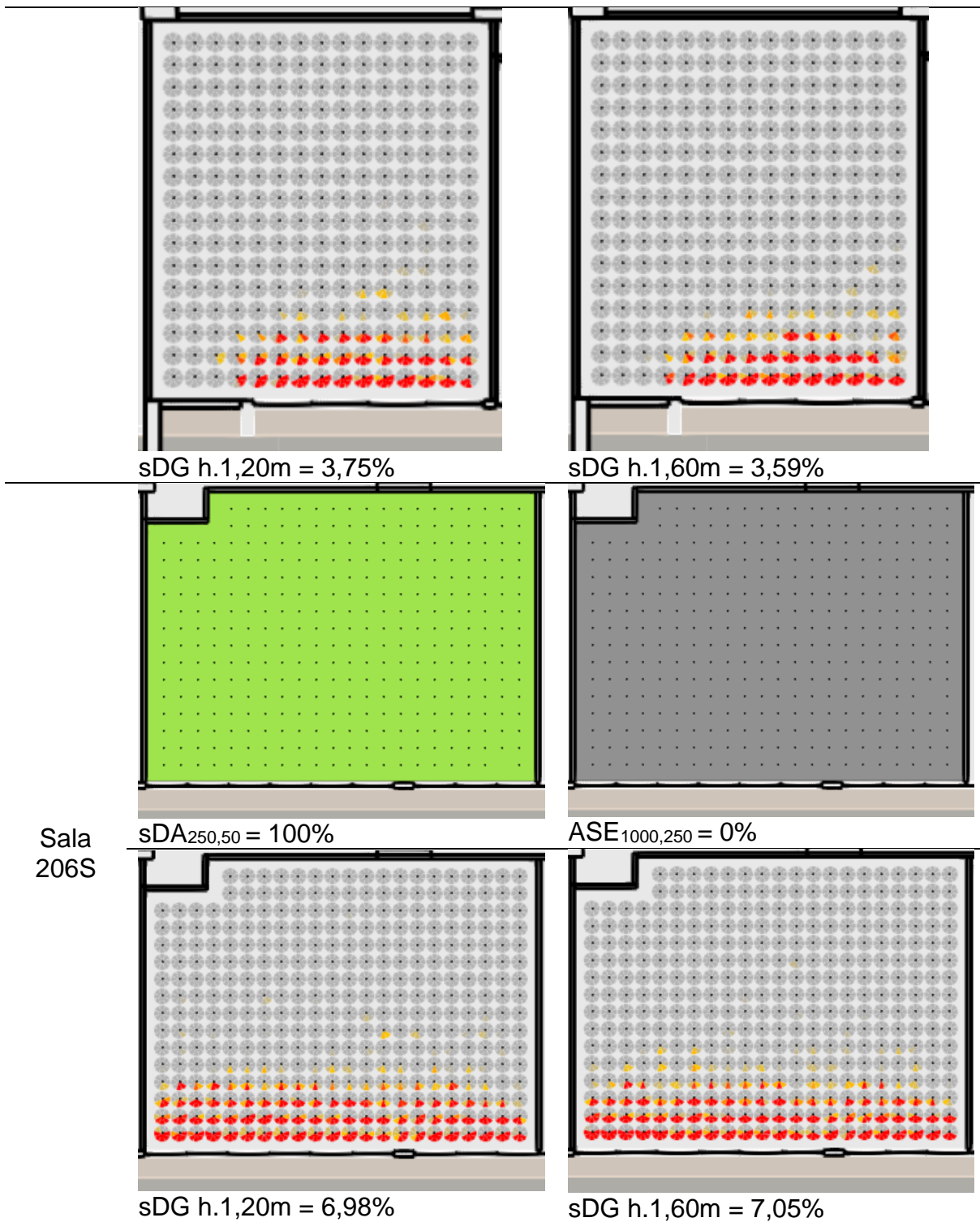
Resultados

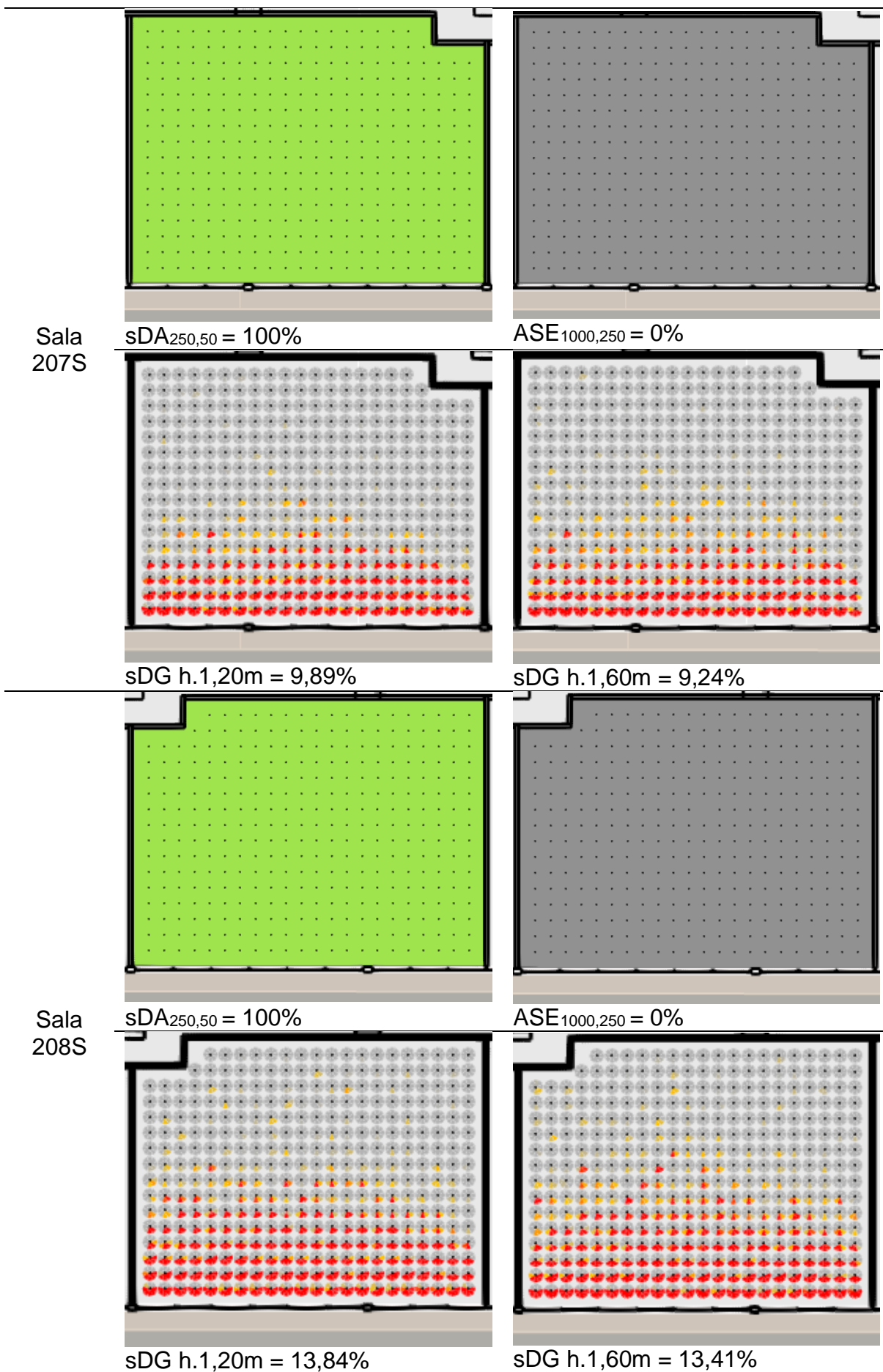
Condição 1: vidro transparente original, sem elementos de proteção solar, com folhas das janelas e bandeiras fechadas

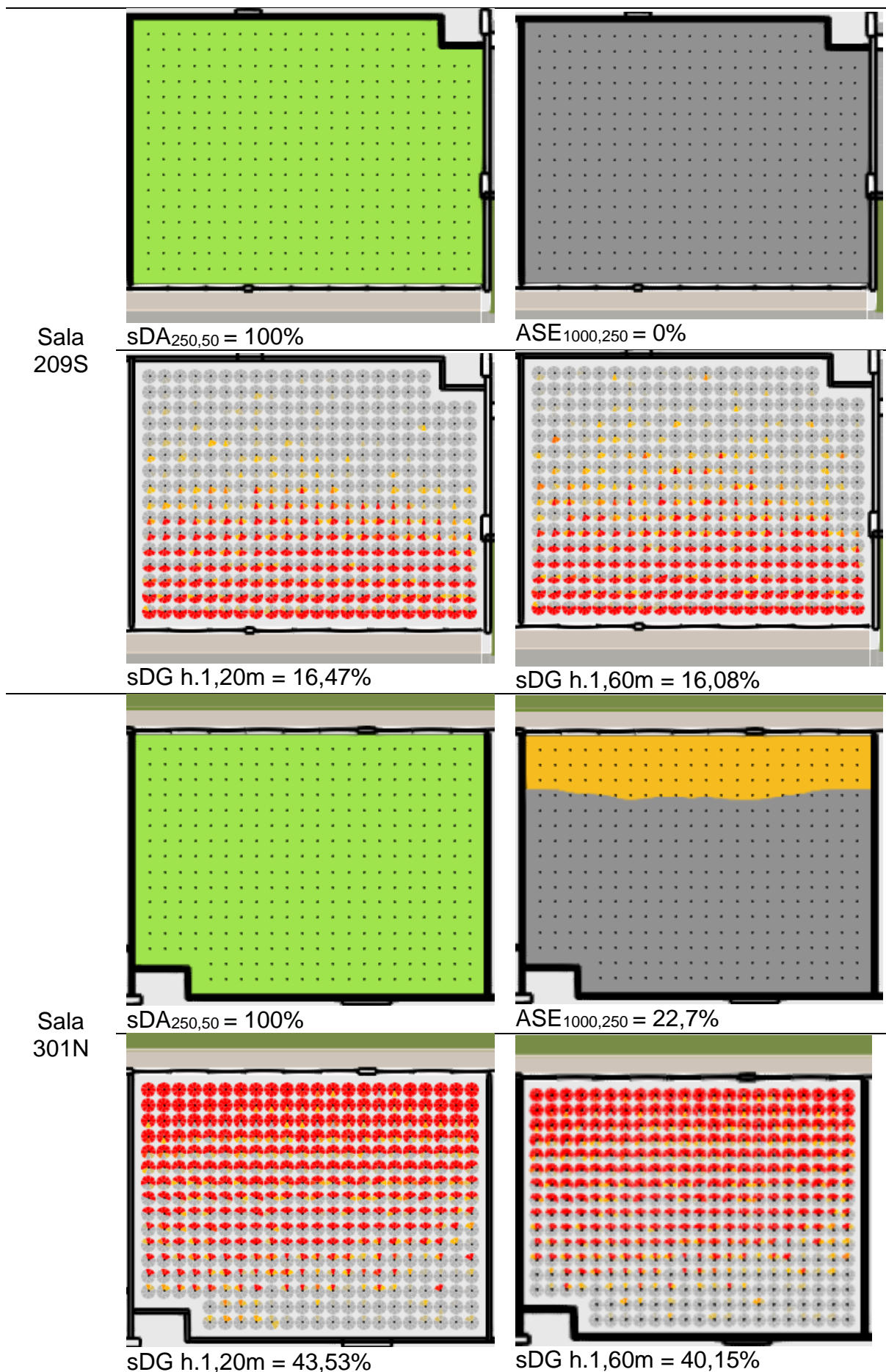


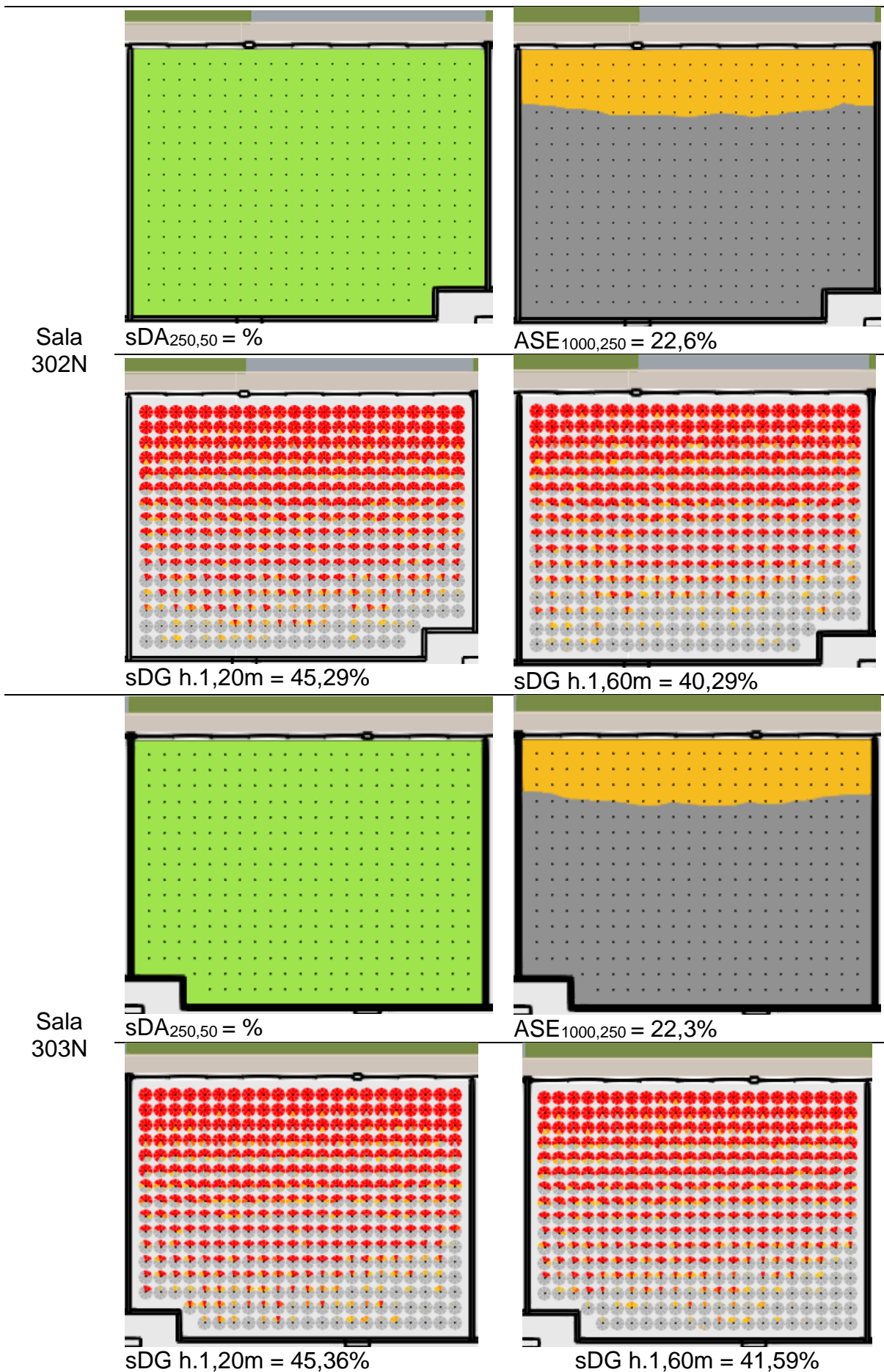


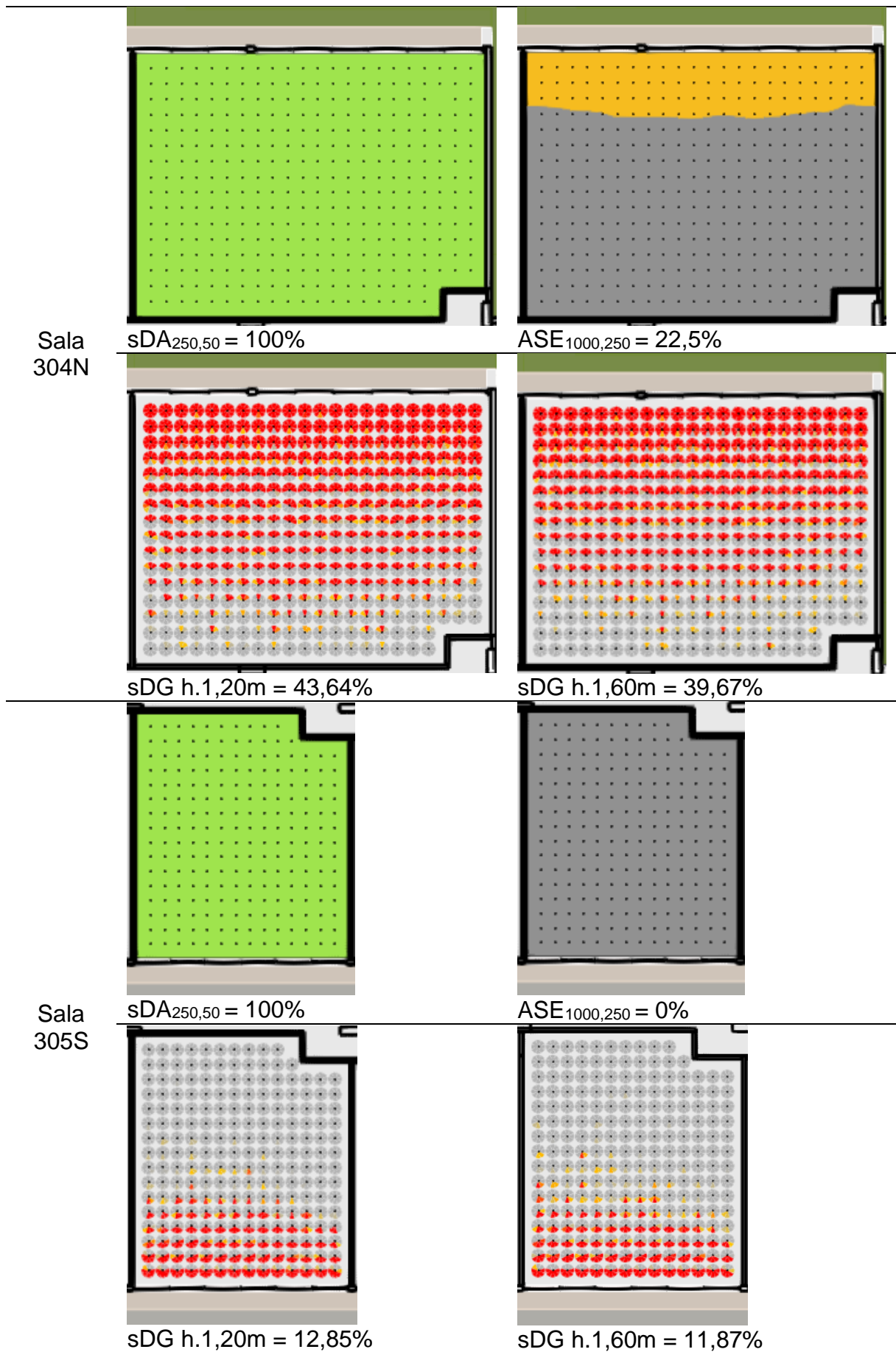


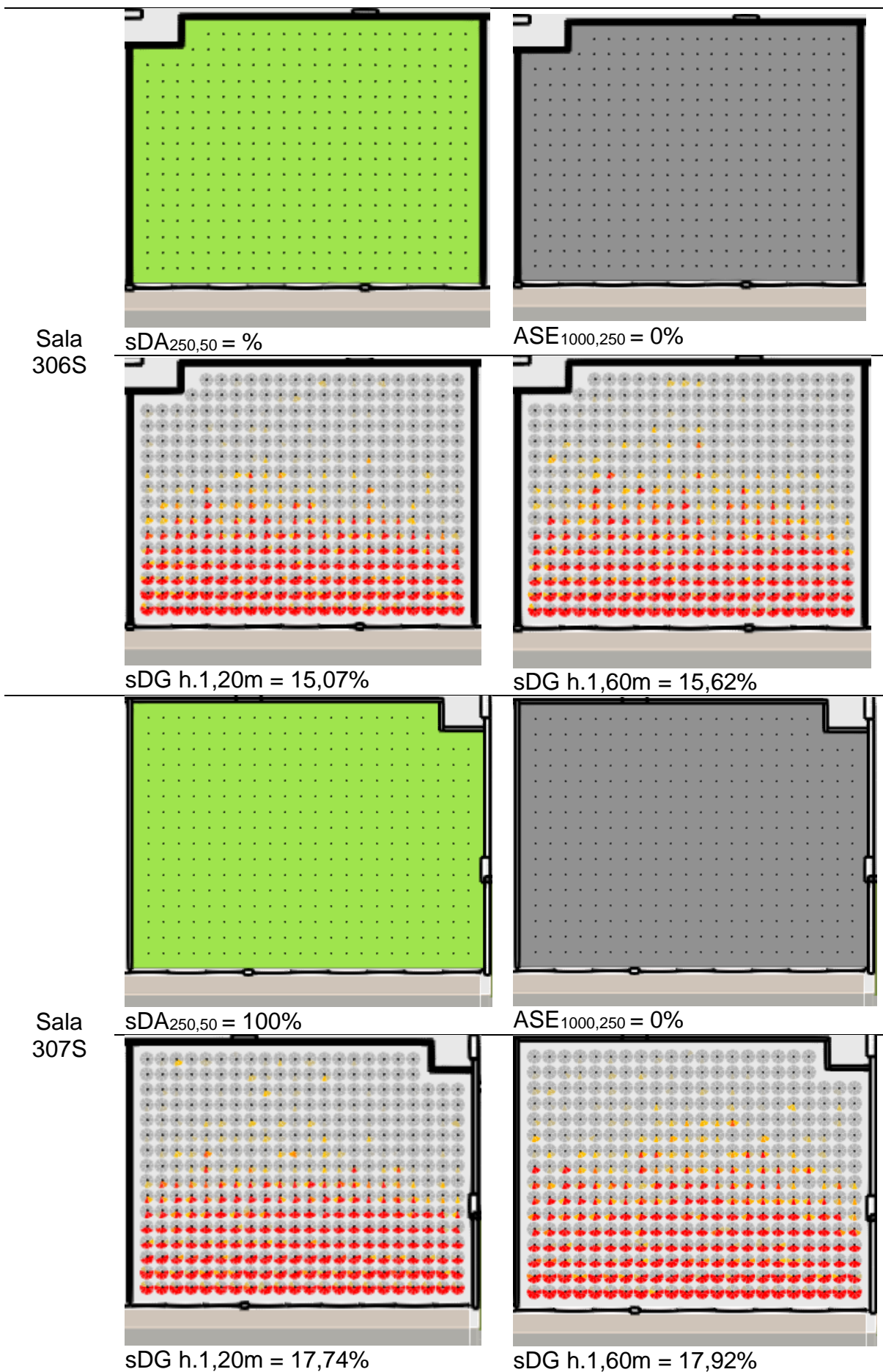


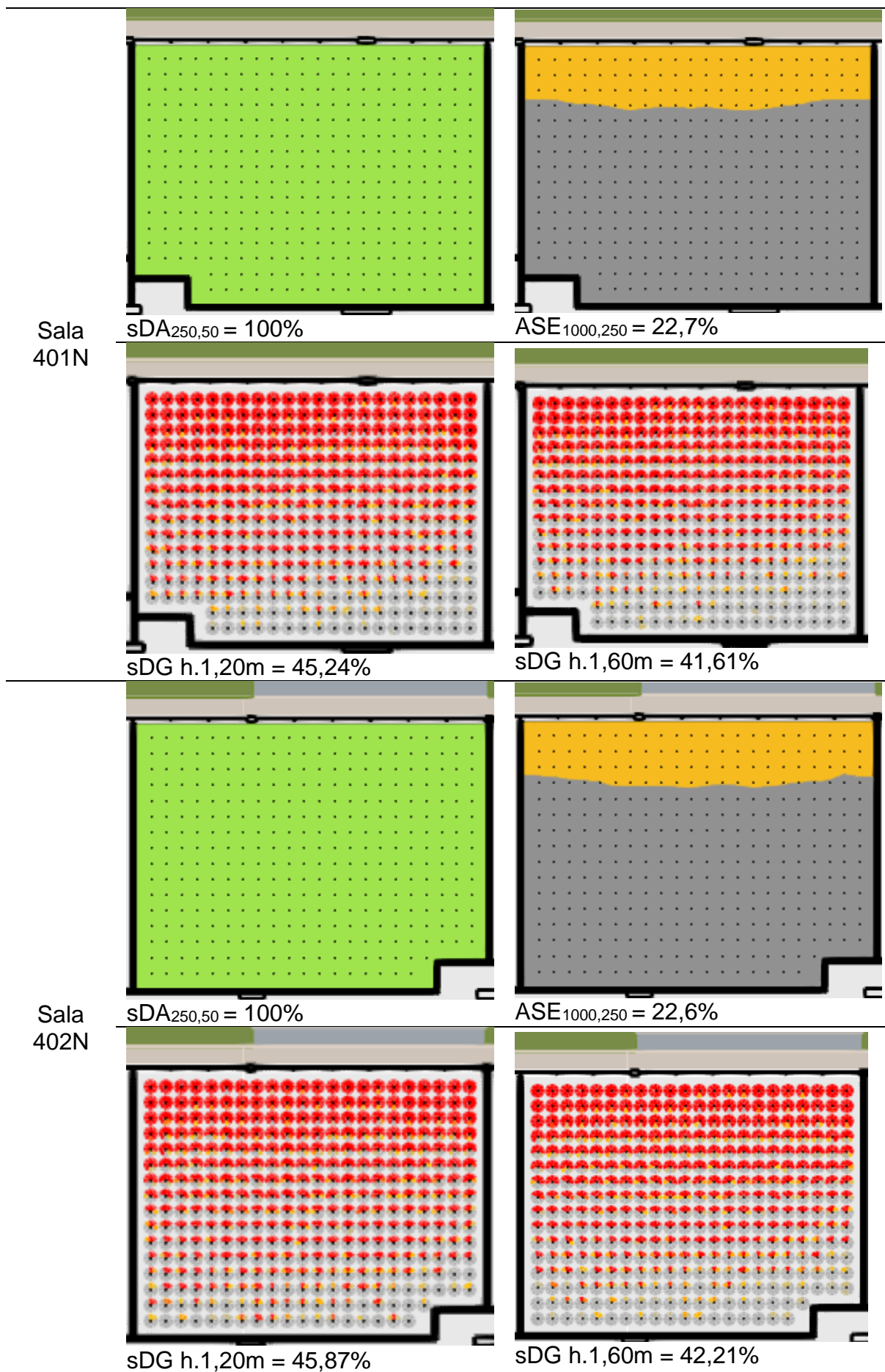


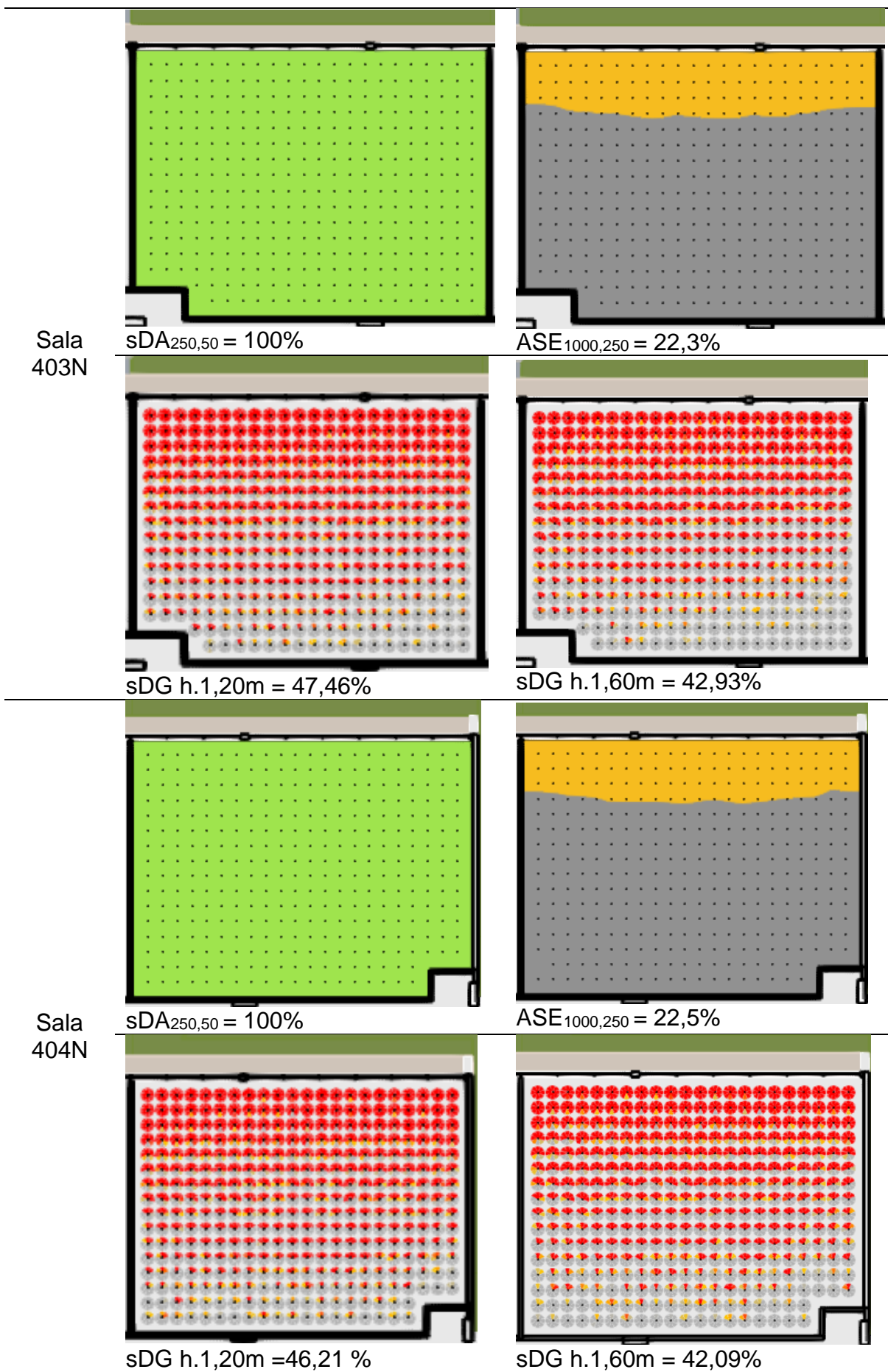


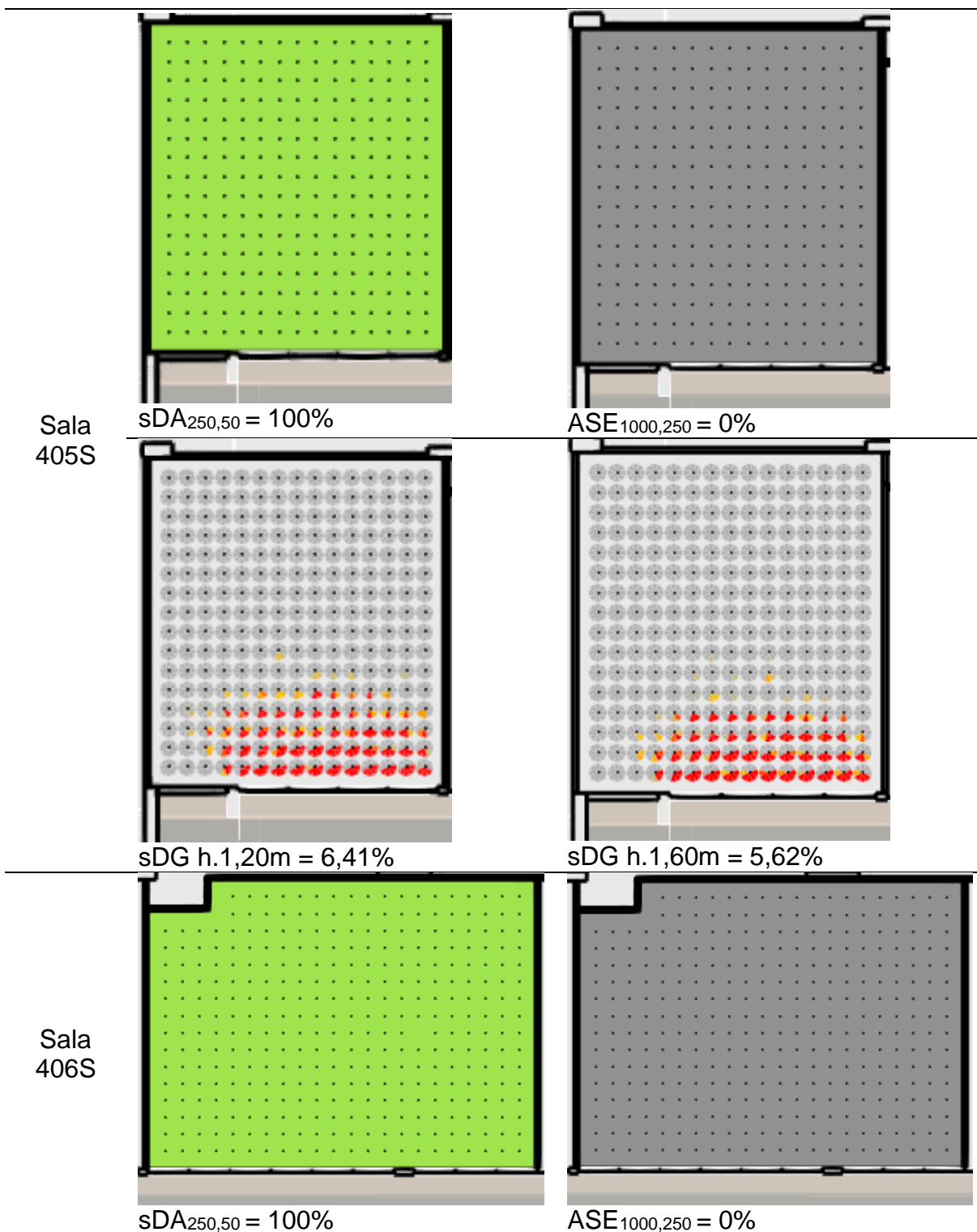


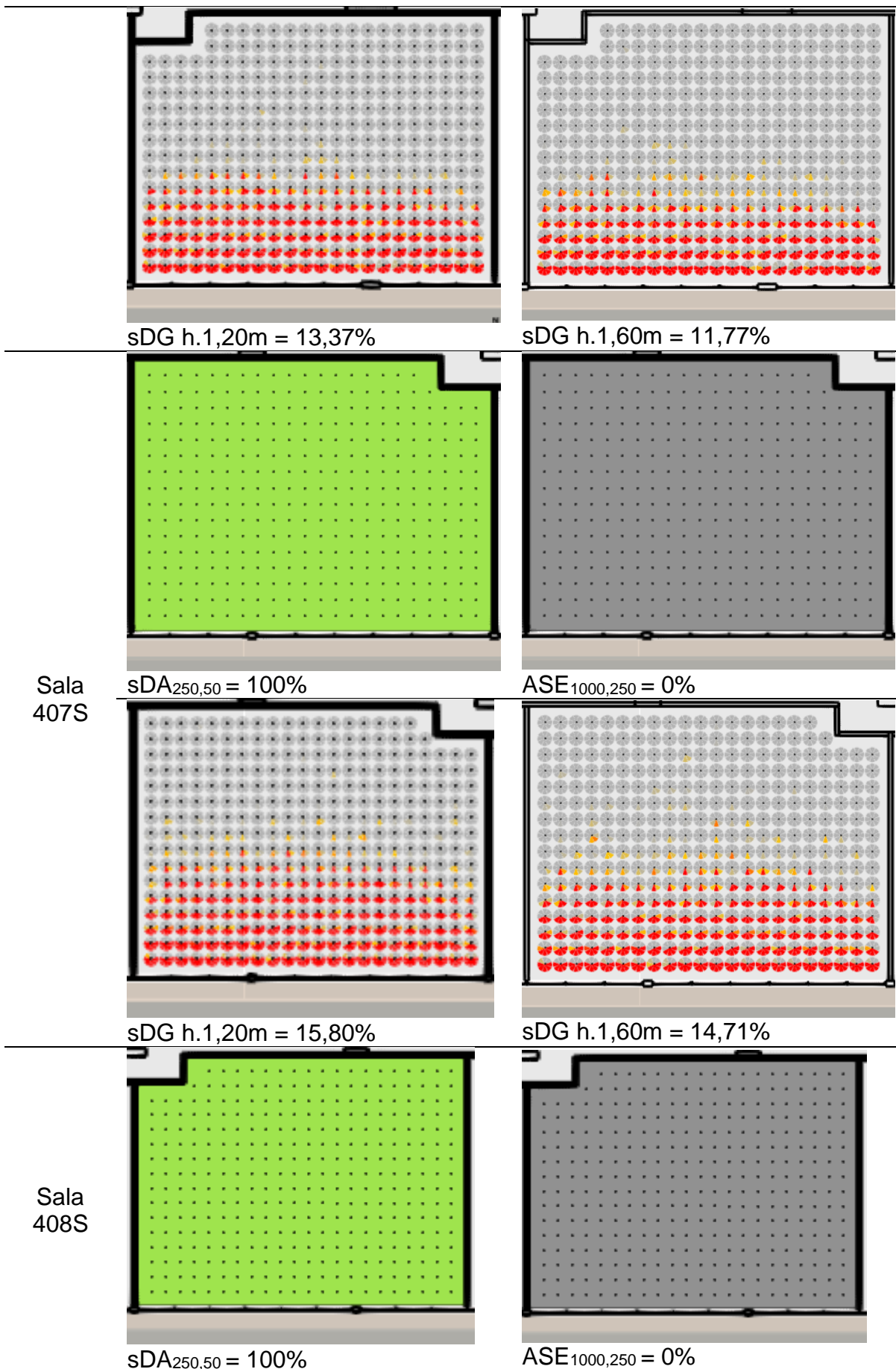


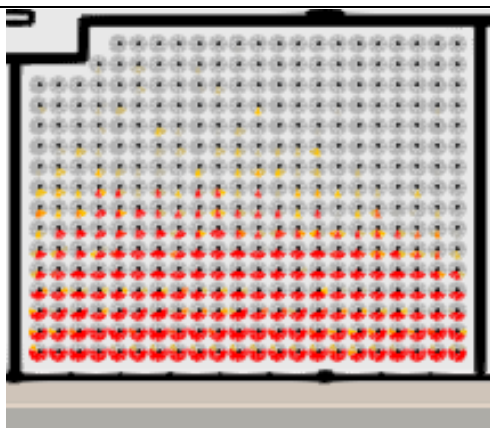




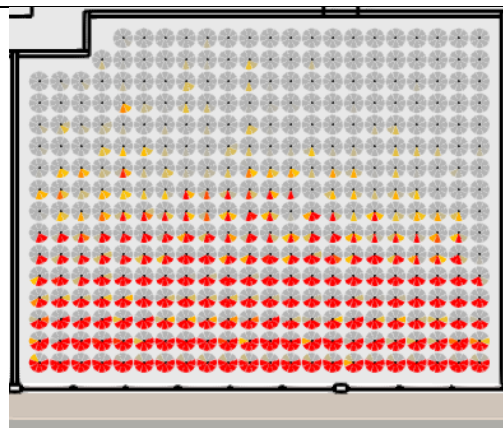




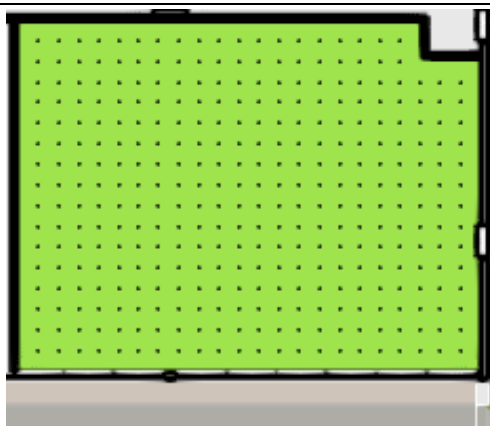




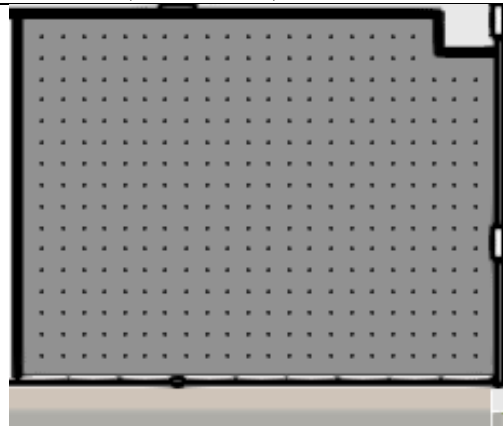
sDG h.1,20m = 17,79%



sDG h.1,60m = 17,72%

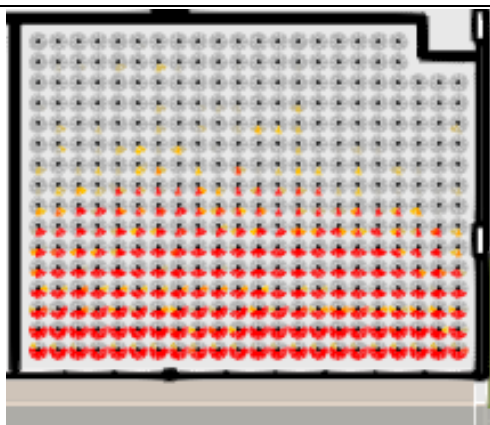


SDA_{250,50} = 100%

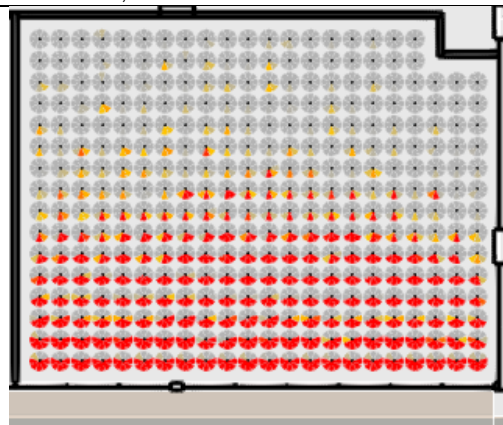


ASE_{1000,250} = 0%

Sala
409S

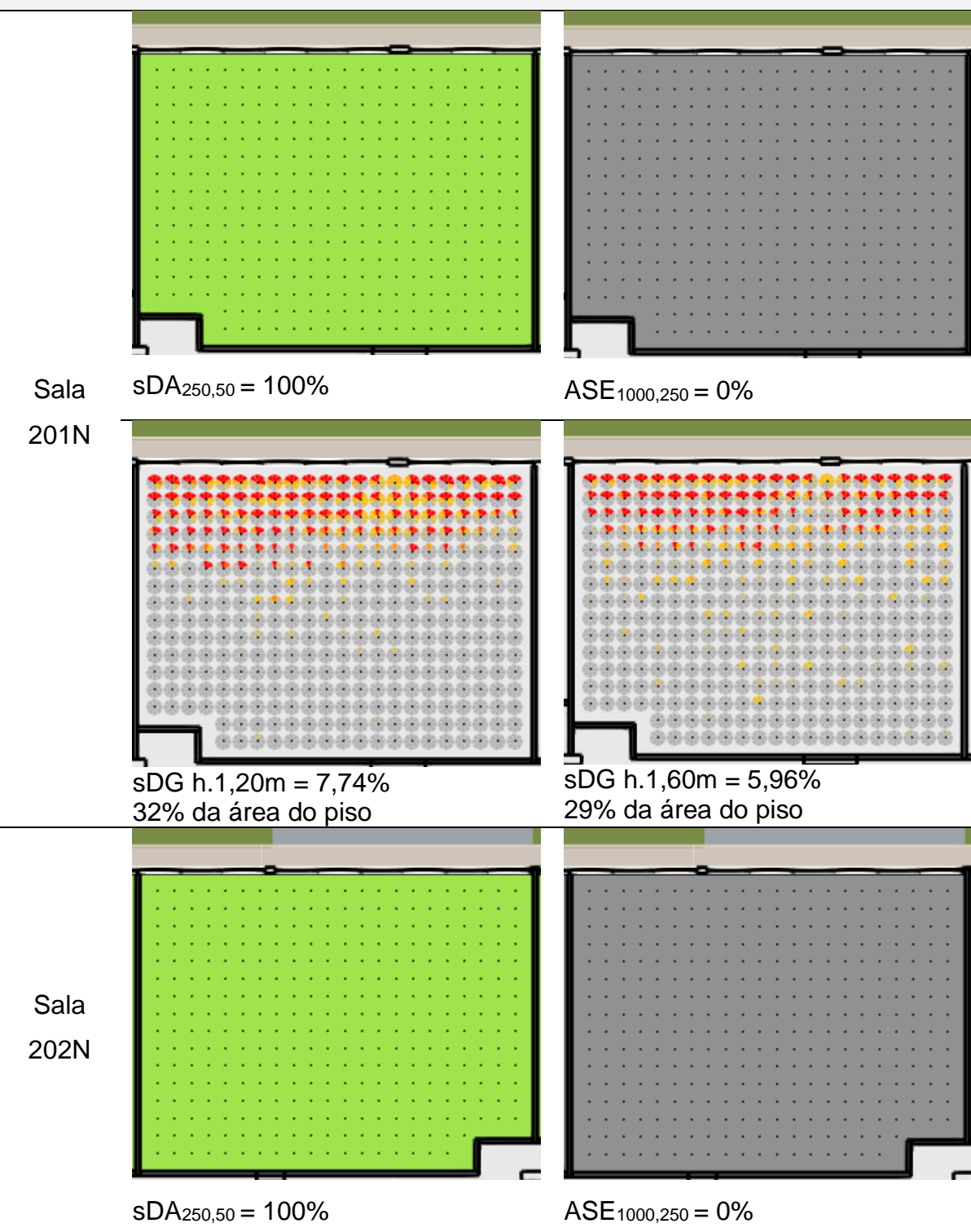


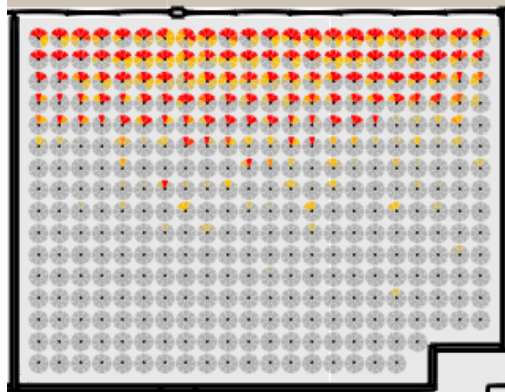
sDG h.1,20m = 19,15%



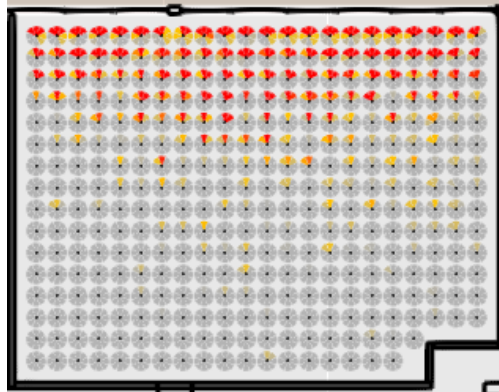
sDG h.1,60m = 18,75%

Condição 2: vidro transparente original, com demais elementos de proteção solar, com folhas das janelas e bandeiras fechadas





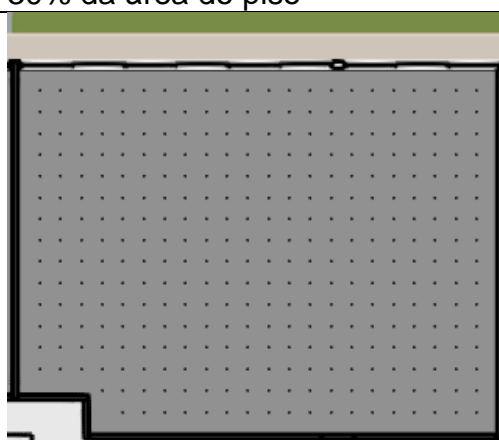
sDG h.1,20m = 8,44%
34% da área do piso



sDG h.1,60m = 6,49%
30% da área do piso

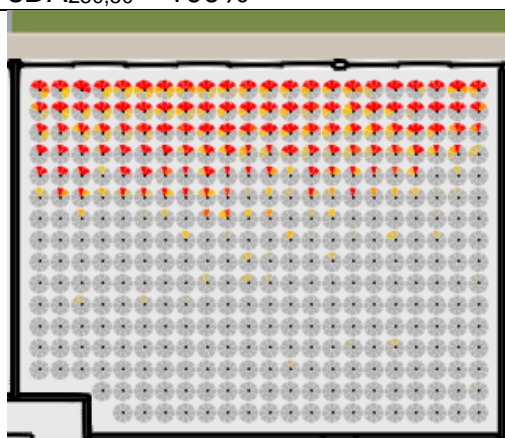


SDA_{250,50} = 100%

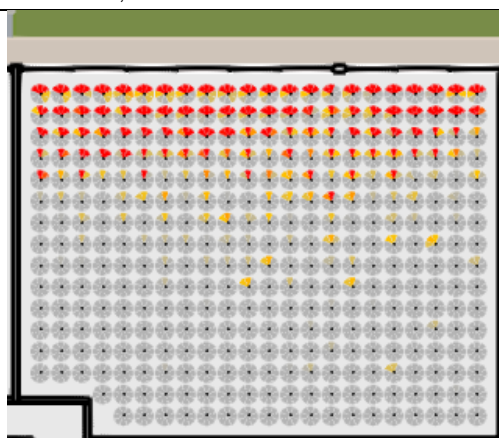


ASE_{1000,250} = 0%

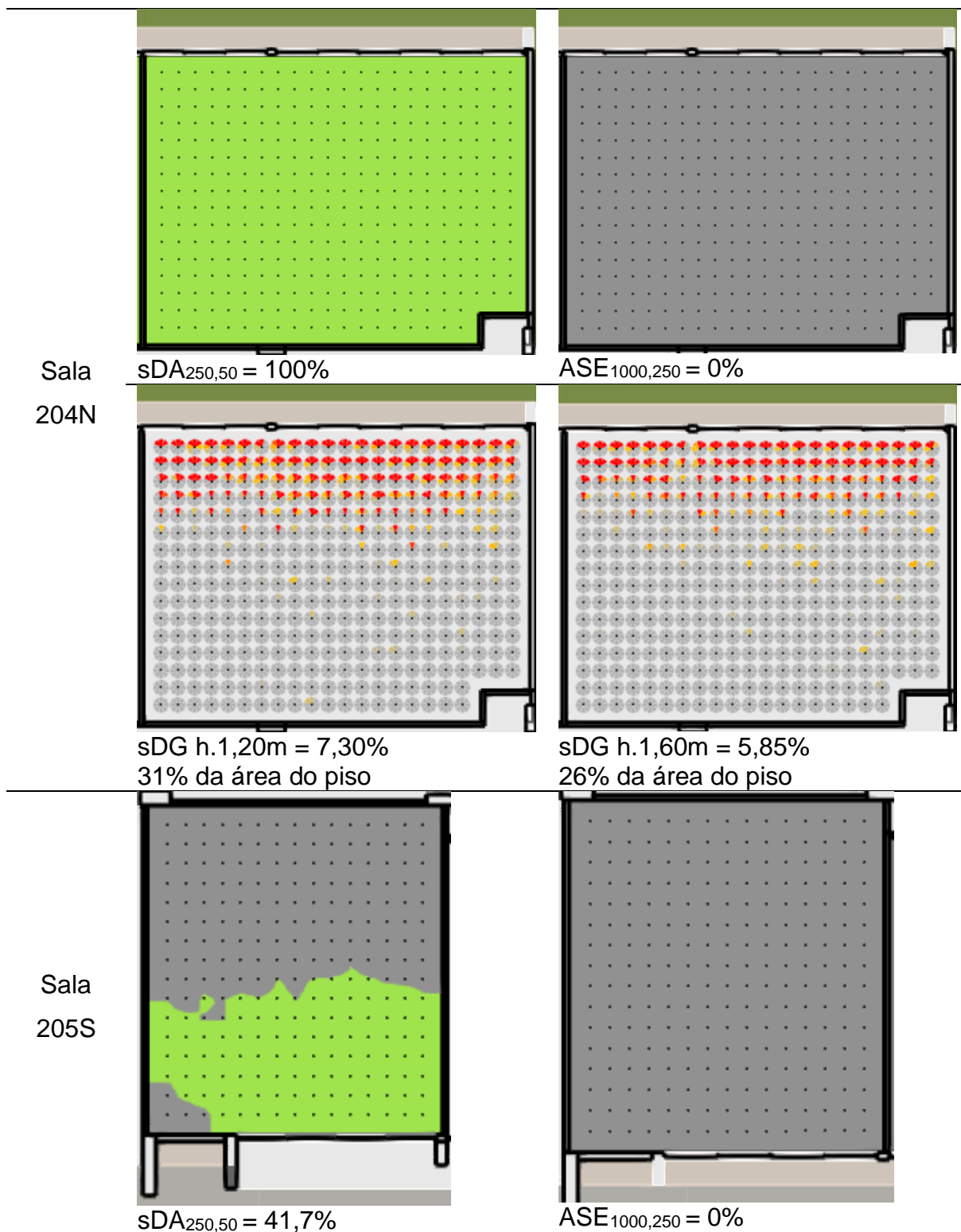
Sala
203N

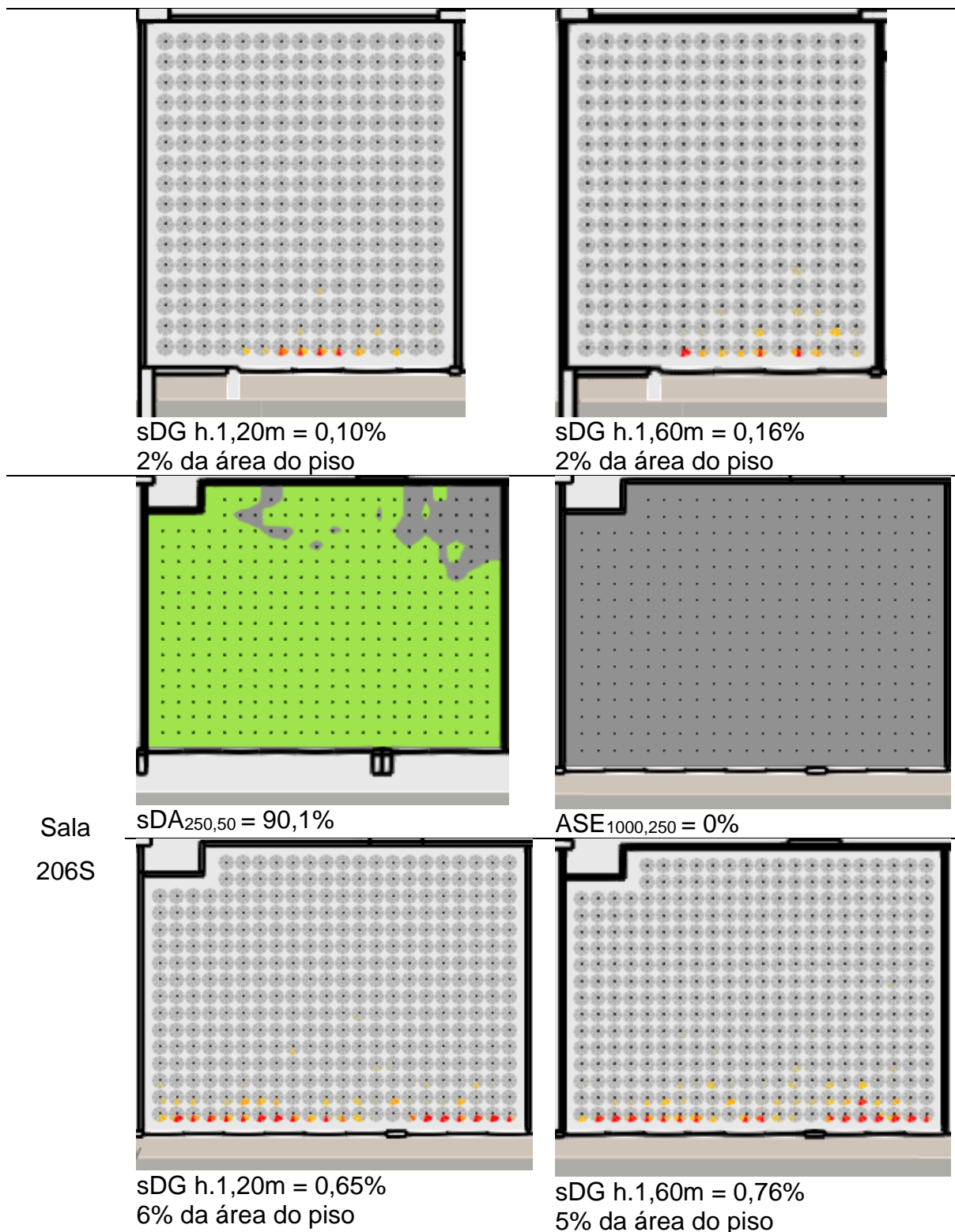


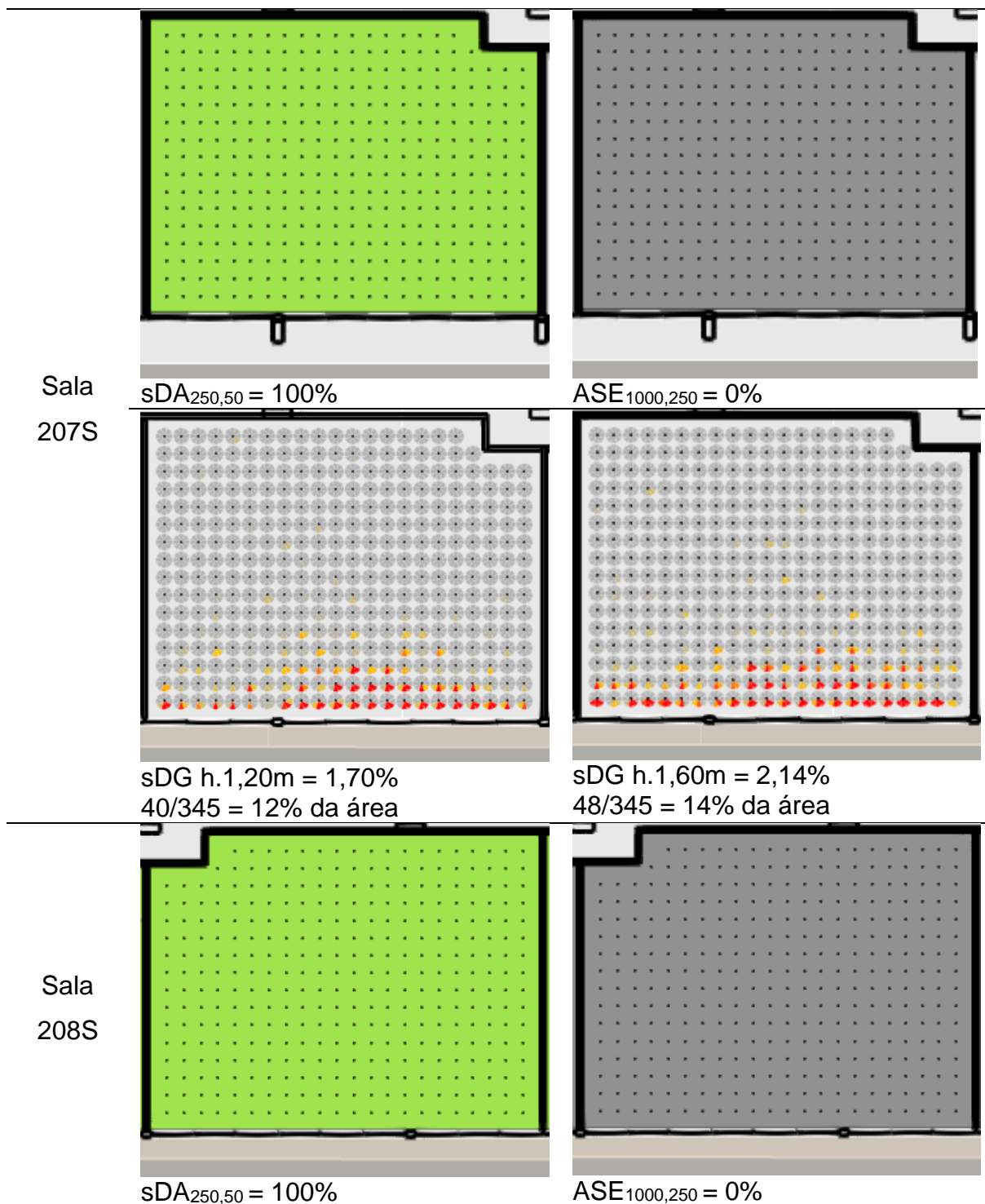
sDG h.1,20m = 8,77%
33% da área do piso

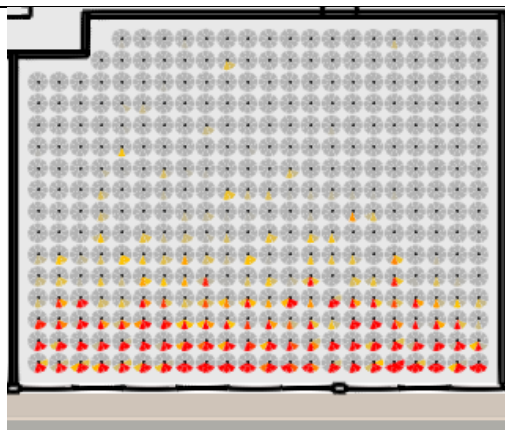


sDG h.1,60m = 6,70%
28% da área do piso

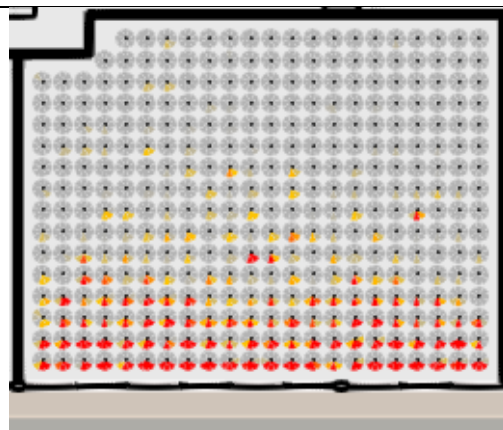




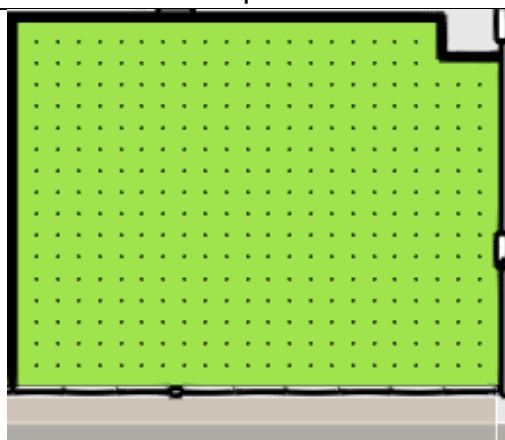




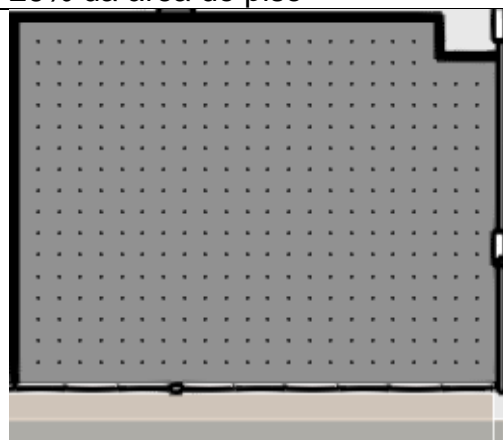
sDG h.1,20m = 4,49%
24% da área do piso



sDG h.1,60m = 5,04%
26% da área do piso

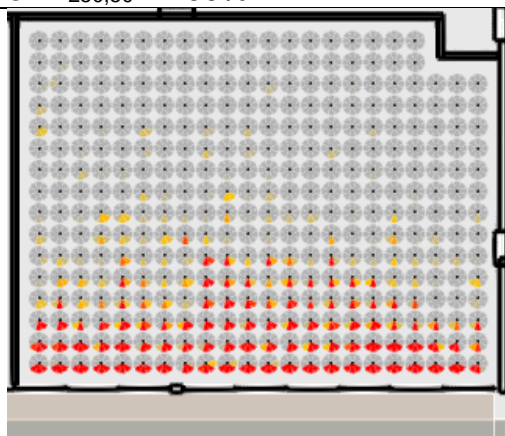


sDA_{250,50} = 100%

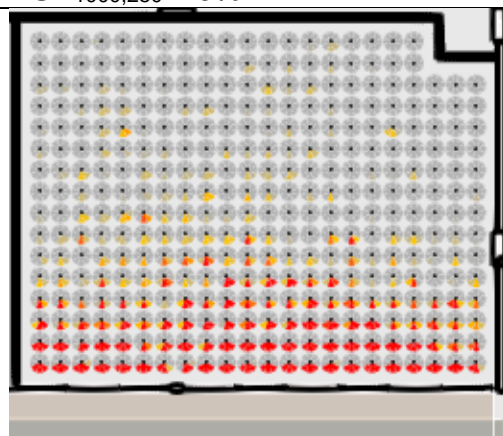


ASE_{1000,250} = 0%

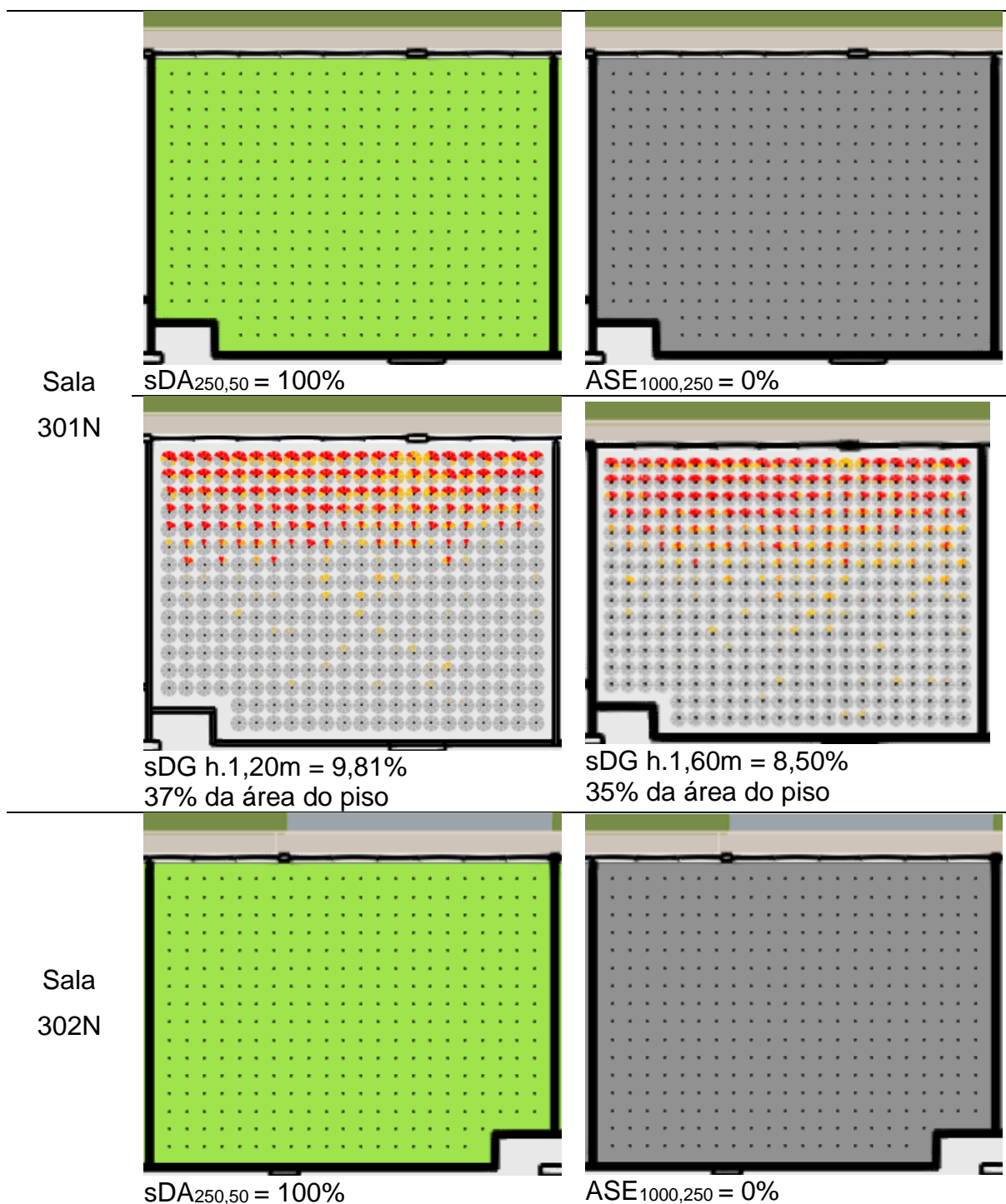
Sala
209S

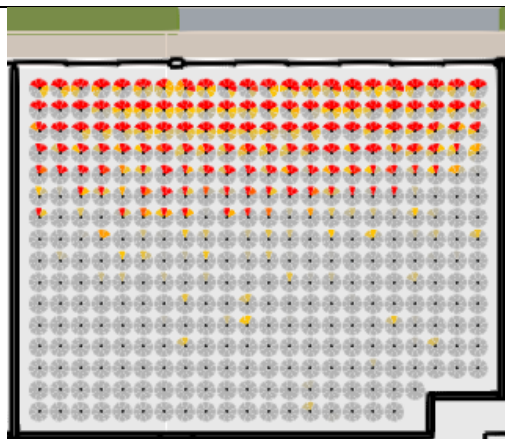


sDG h.1,20m = 5,96%
28% da área do piso

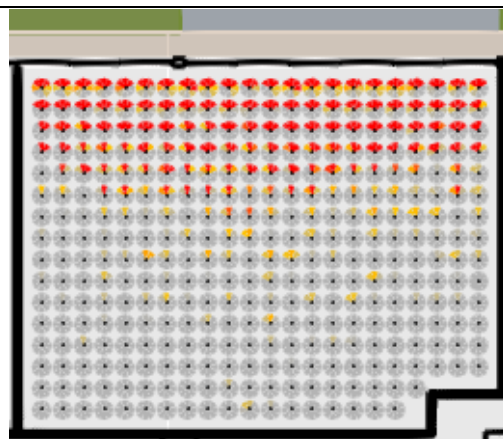


sDG h.1,60m = 6,65%
32% da área do piso

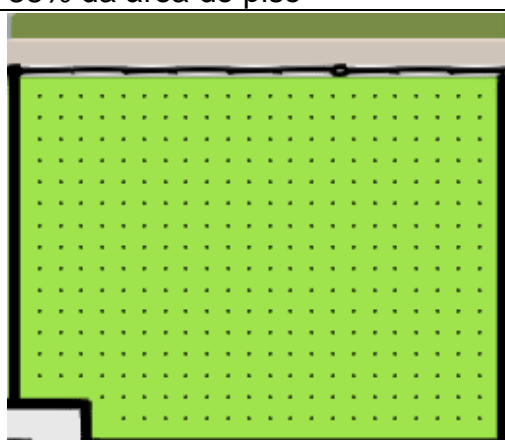




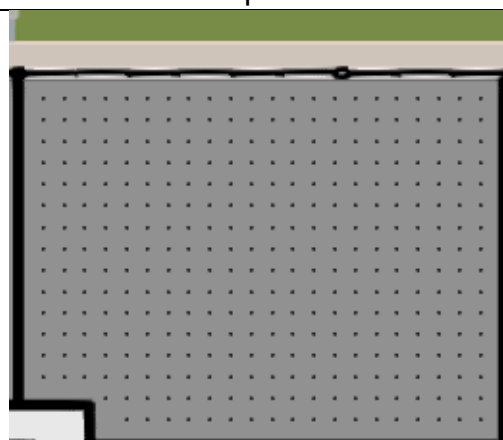
sDG h.1,20m = 10,29%
38% da área do piso



sDG h.1,60m = 9,35%
35% da área do piso

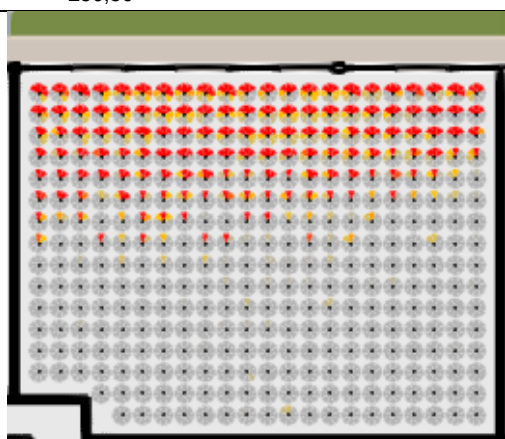


SDA_{250,50} = 100%

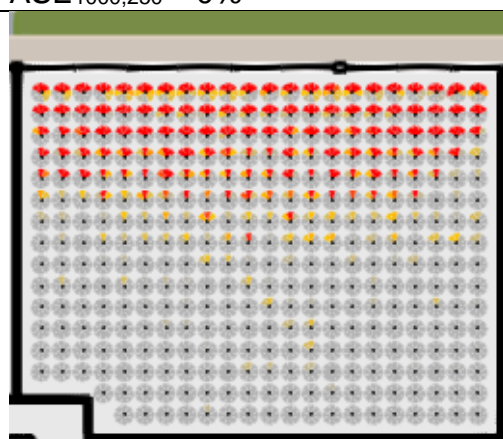


ASE_{1000,250} = 0%

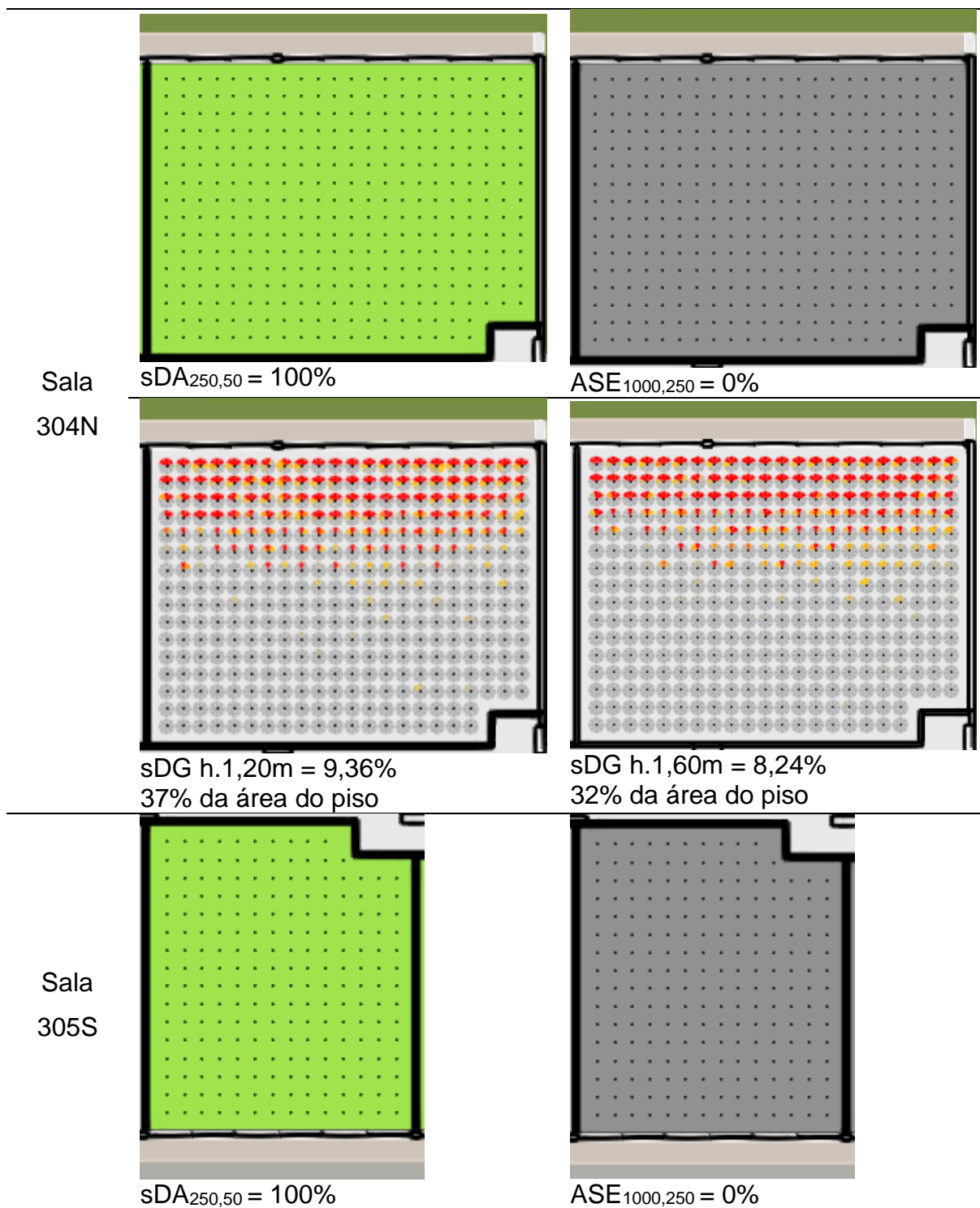
Sala
303N

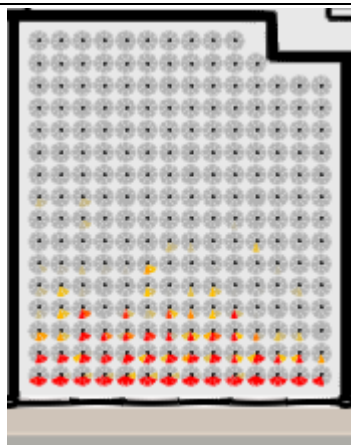


sDG h.1,20m = 11,05%
40% da área do piso

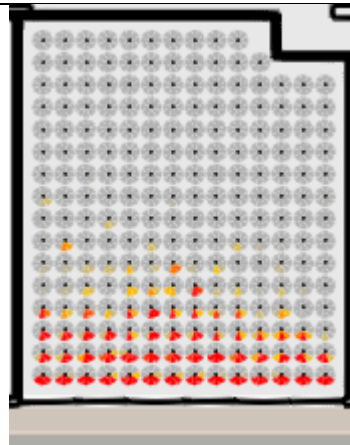


sDG h.1,60m = 9,42%
36% da área do piso

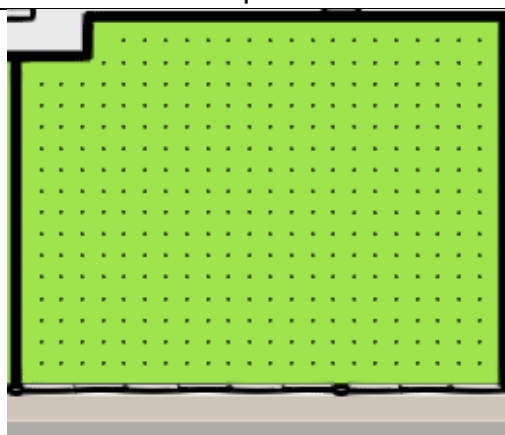




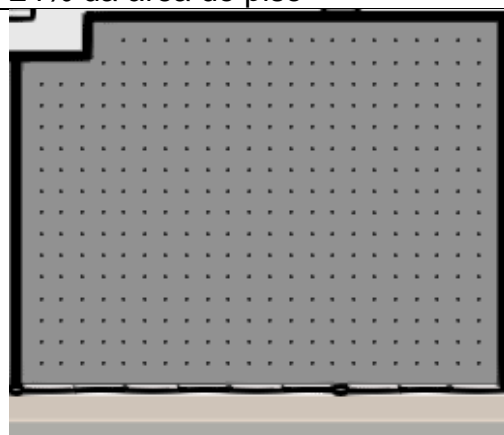
sDG h.1,20m = 4,15%
18% da área do piso



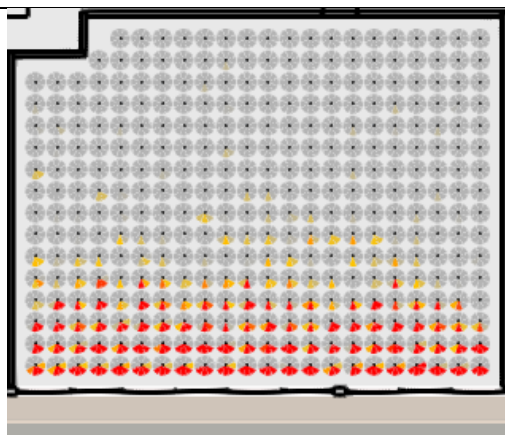
sDG h.1,60m = 5,65%
24% da área do piso



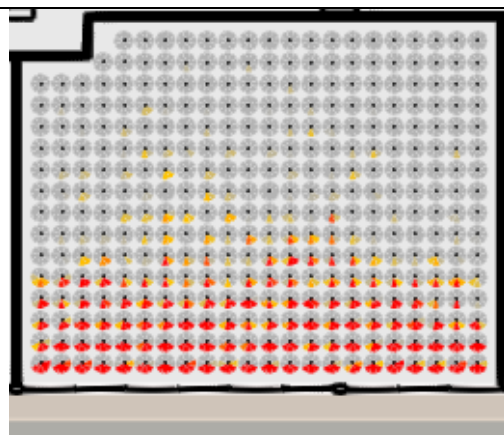
Sala
306S
sDA_{250,50} = 100%



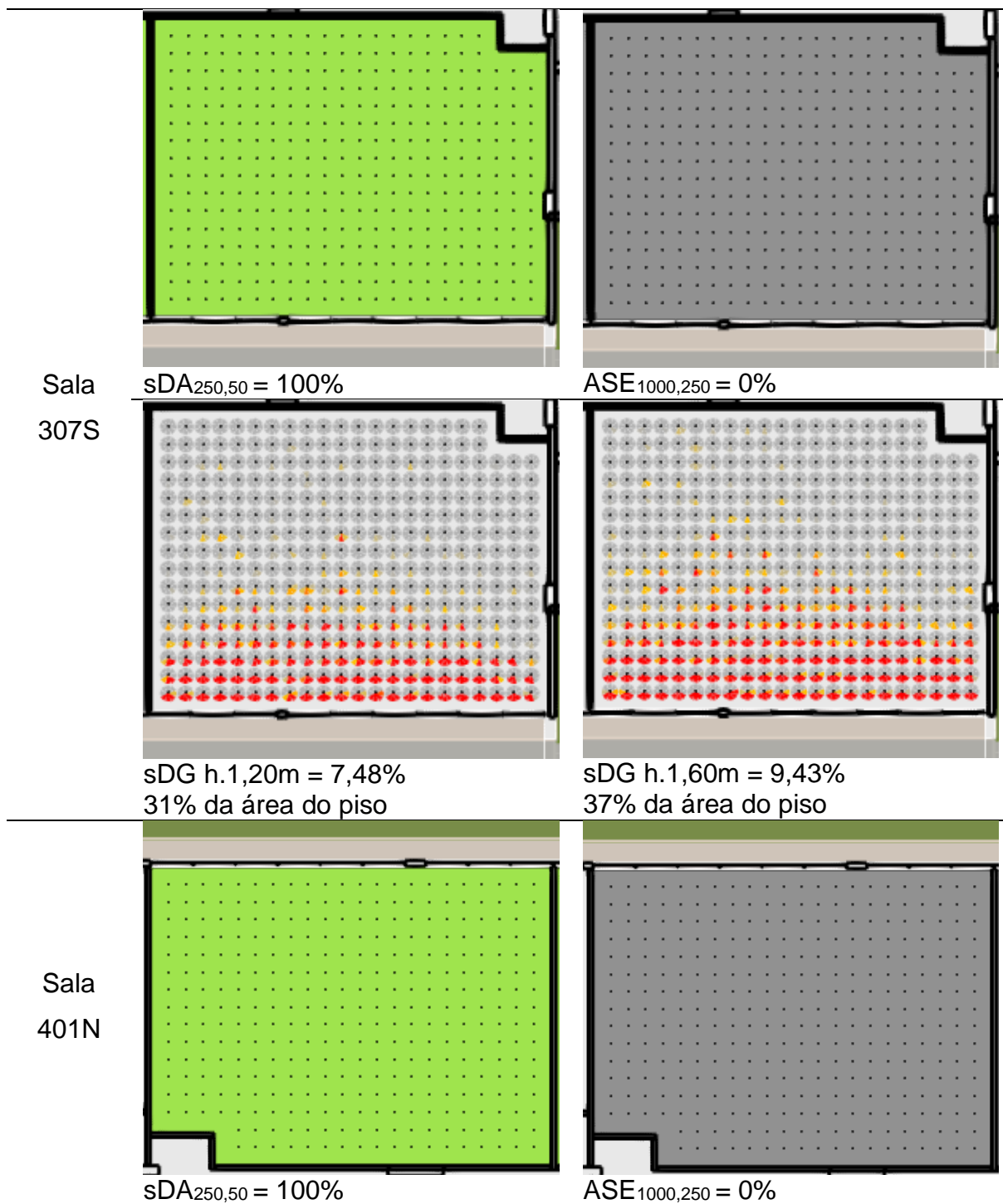
ASE_{1000,250} = 0%

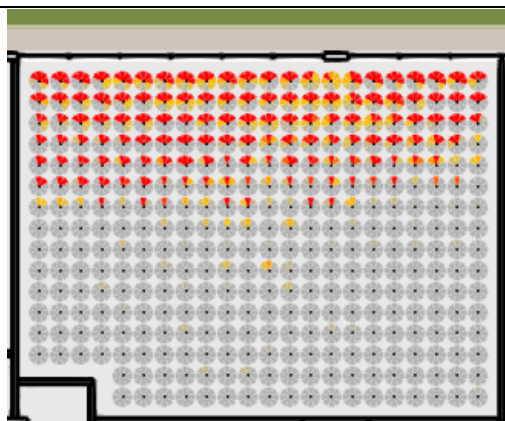


sDG h.1,20m = 6,09%
28% da área do piso

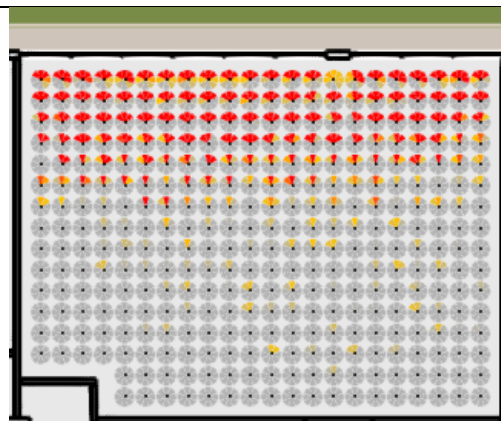


sDG h.1,60m = 8,12%
37,4% da área do piso

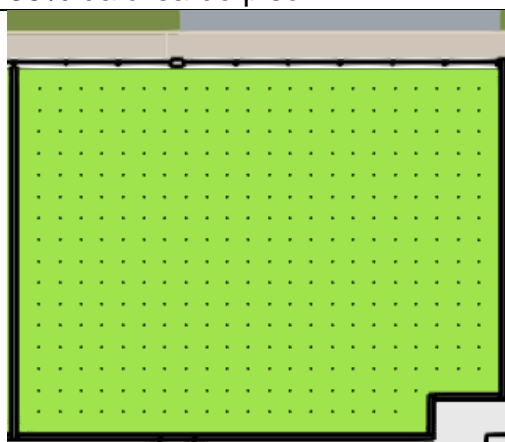




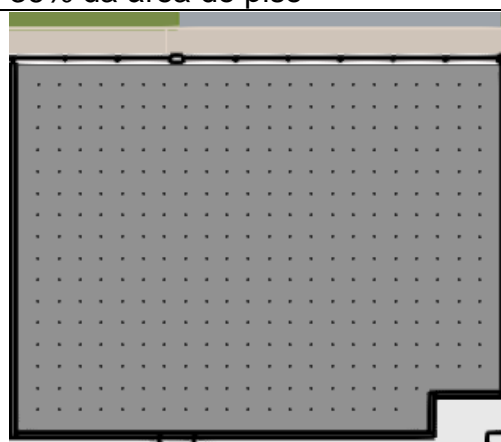
sDG h.1,20m = 11,01%
39% da área do piso



sDG h.1,60m = 9,85%
36% da área do piso

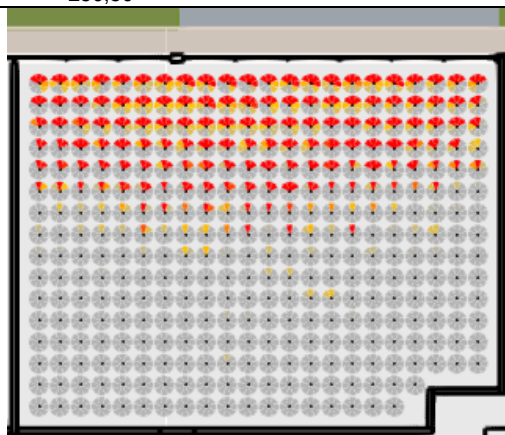


sDA_{250,50} = 100%

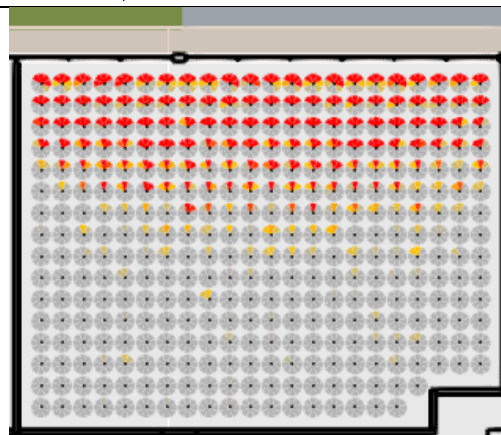


ASE_{1000,250} = 0%

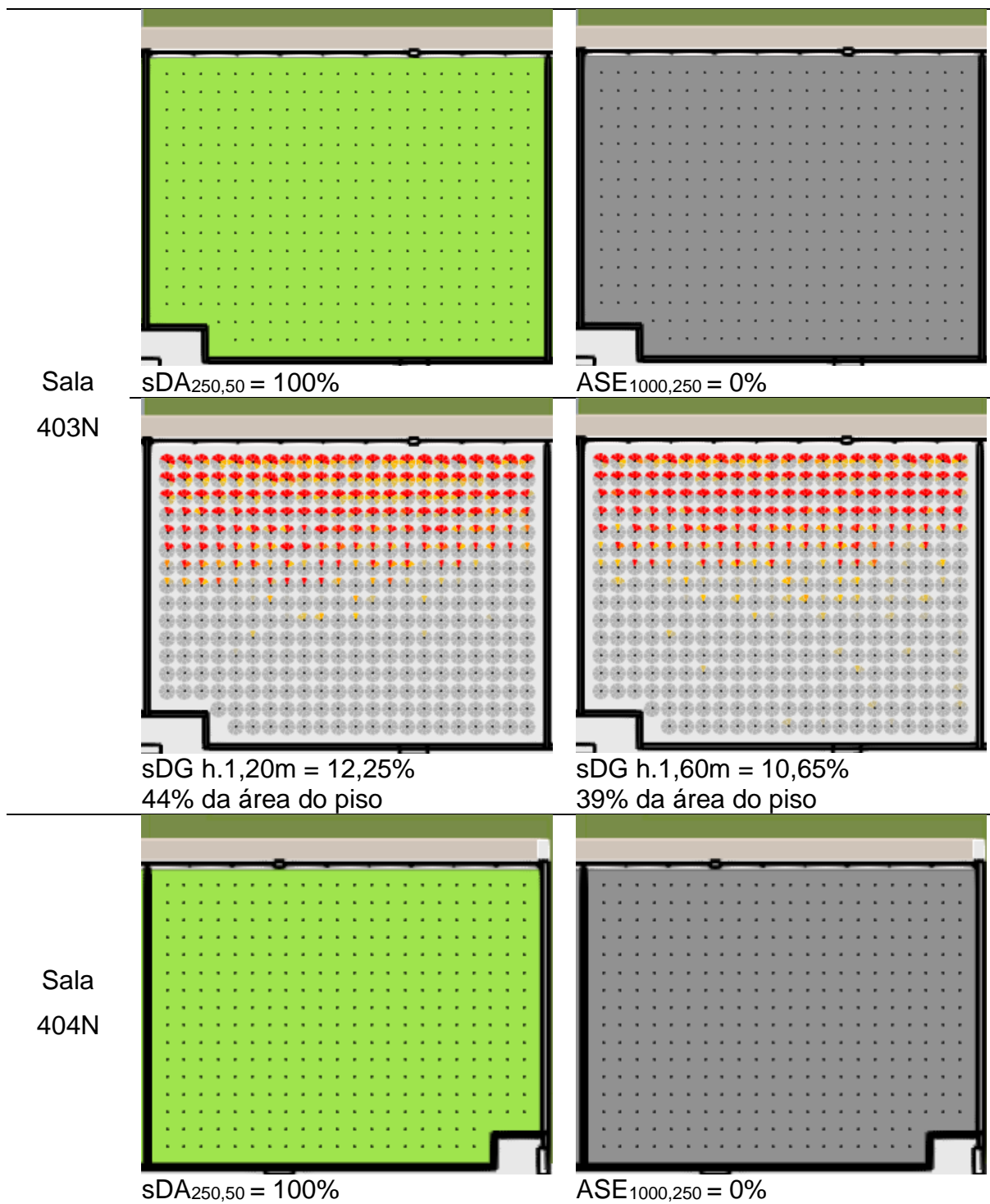
Sala
402N

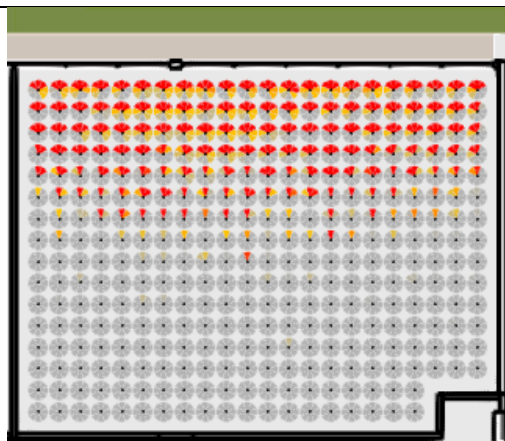


sDG h.1,20m = 11,67%
42% da área do piso

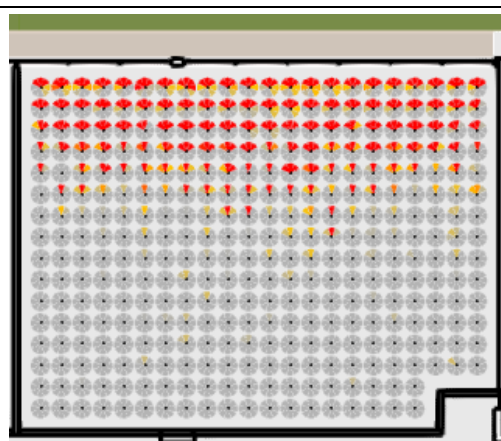


sDG h.1,60m = 10,47%
38% da área do piso

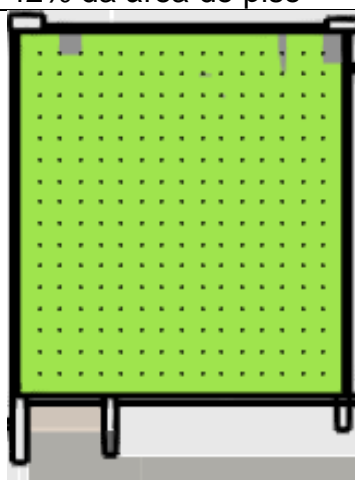




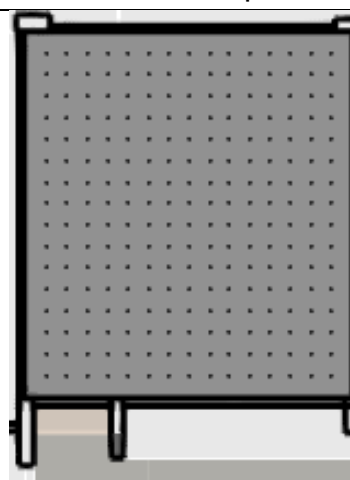
sDG h.1,20m = 11,34%
42% da área do piso



sDG h.1,60m = 9,72%
36% da área do piso

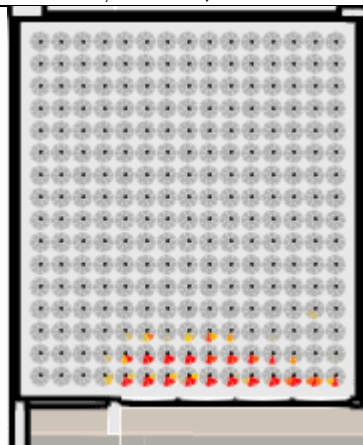


sDA_{250,50} = 96,7%

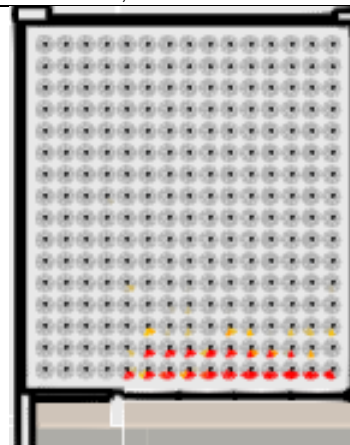


ASE_{1000,250} = 0%

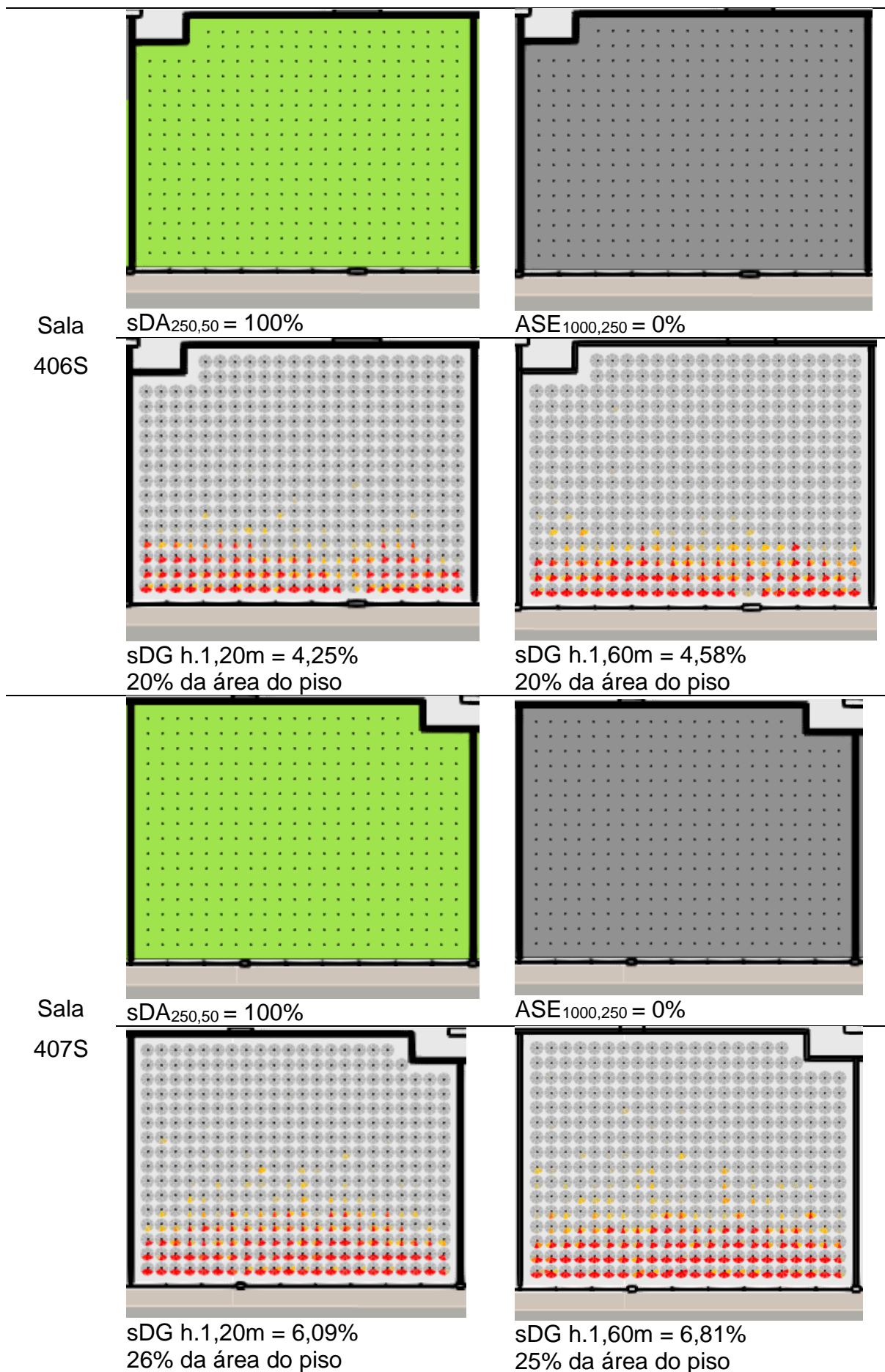
Sala
405S

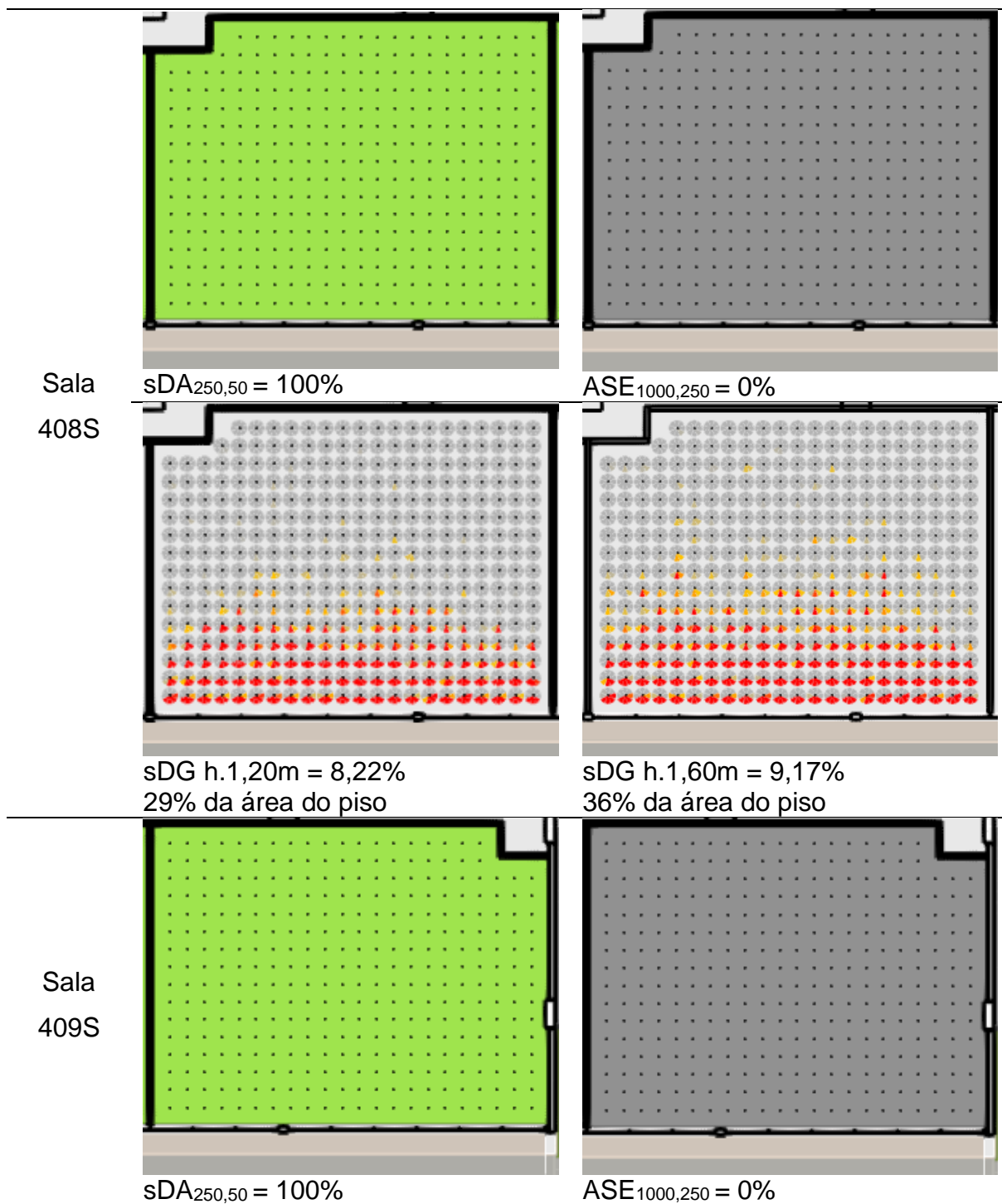


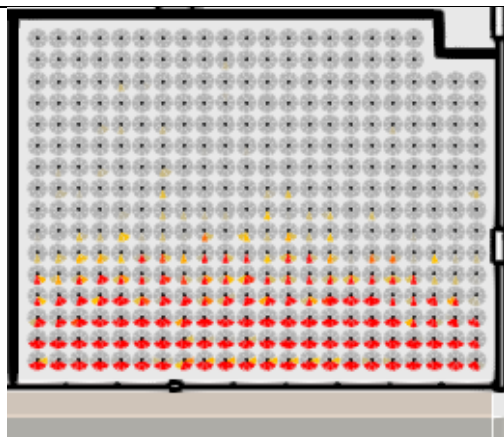
sDG h.1,20m = 1,61%
10% da área do piso



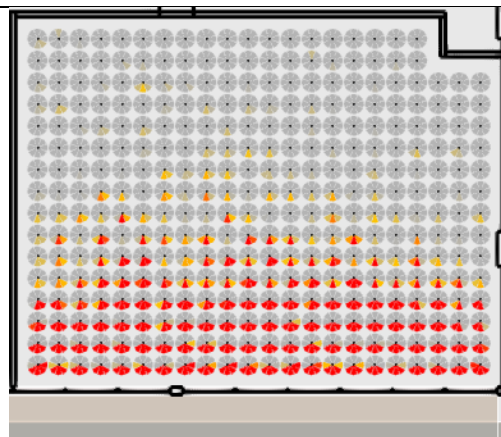
sDG h.1,60m = 2,03%
8% da área do piso





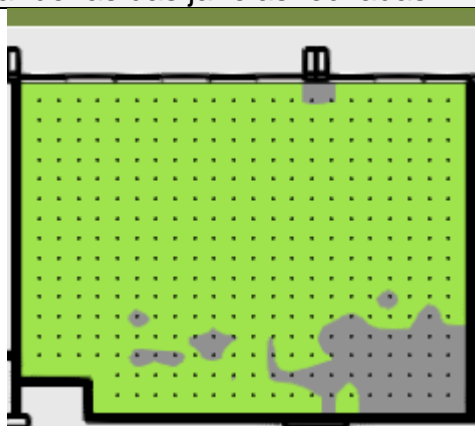


sDG h.1,20m = 8,82%
33% da área do piso

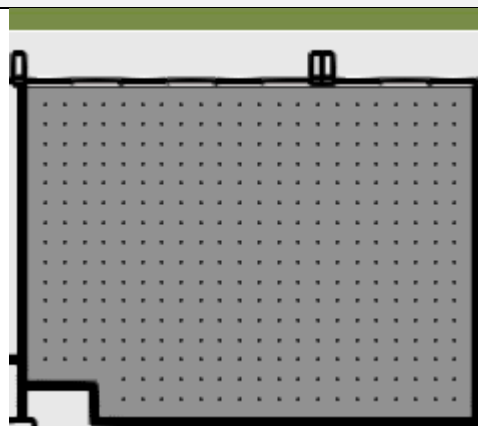


sDG h.1,60m = 10,77%
40% da área do piso

Condição 3: vidro transparente com película, com elementos de proteção solar, folhas e bandeiras das janelas fechadas

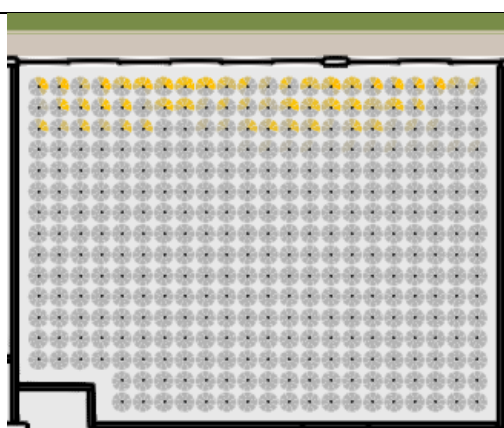


sDA_{250,50} = 86,9%

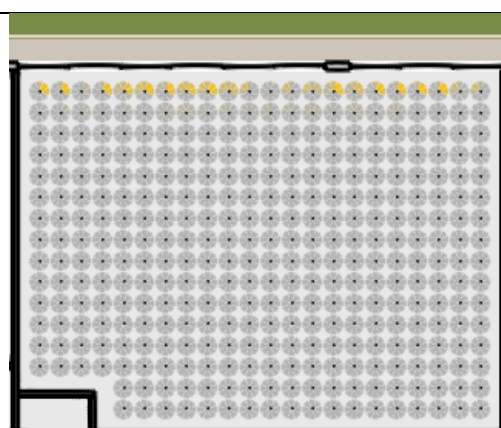


ASE_{1000,250} = 0%

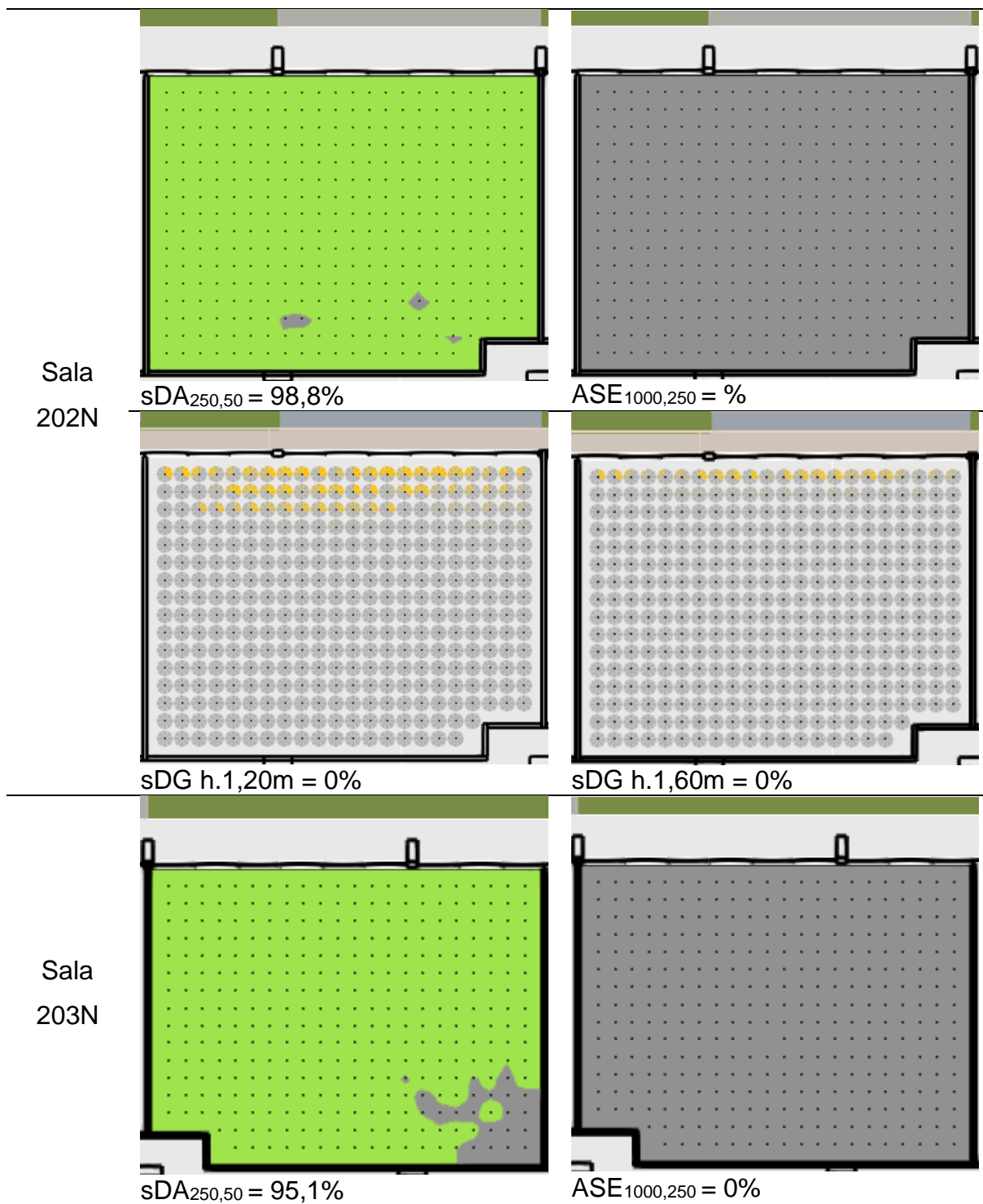
Sala
201N

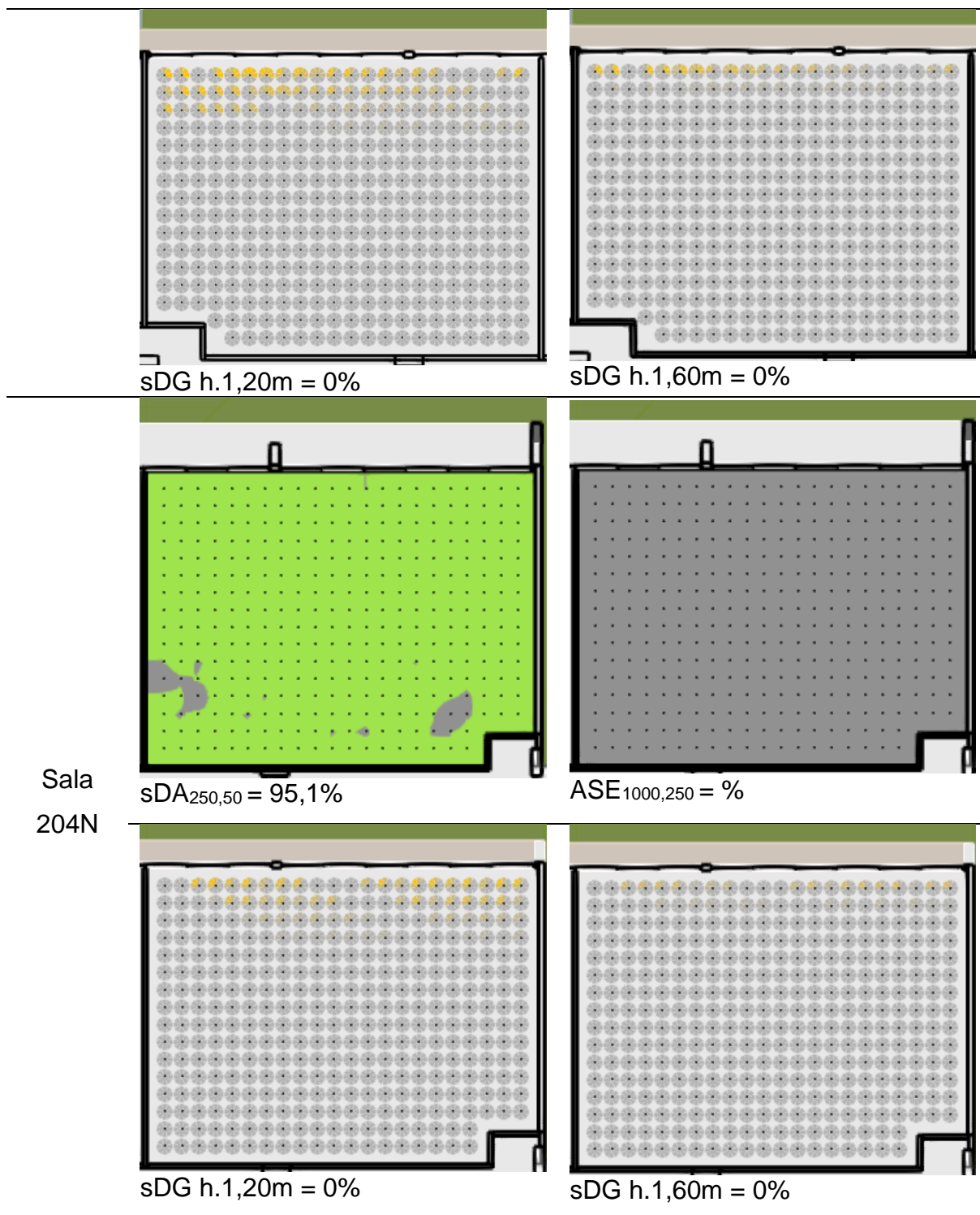


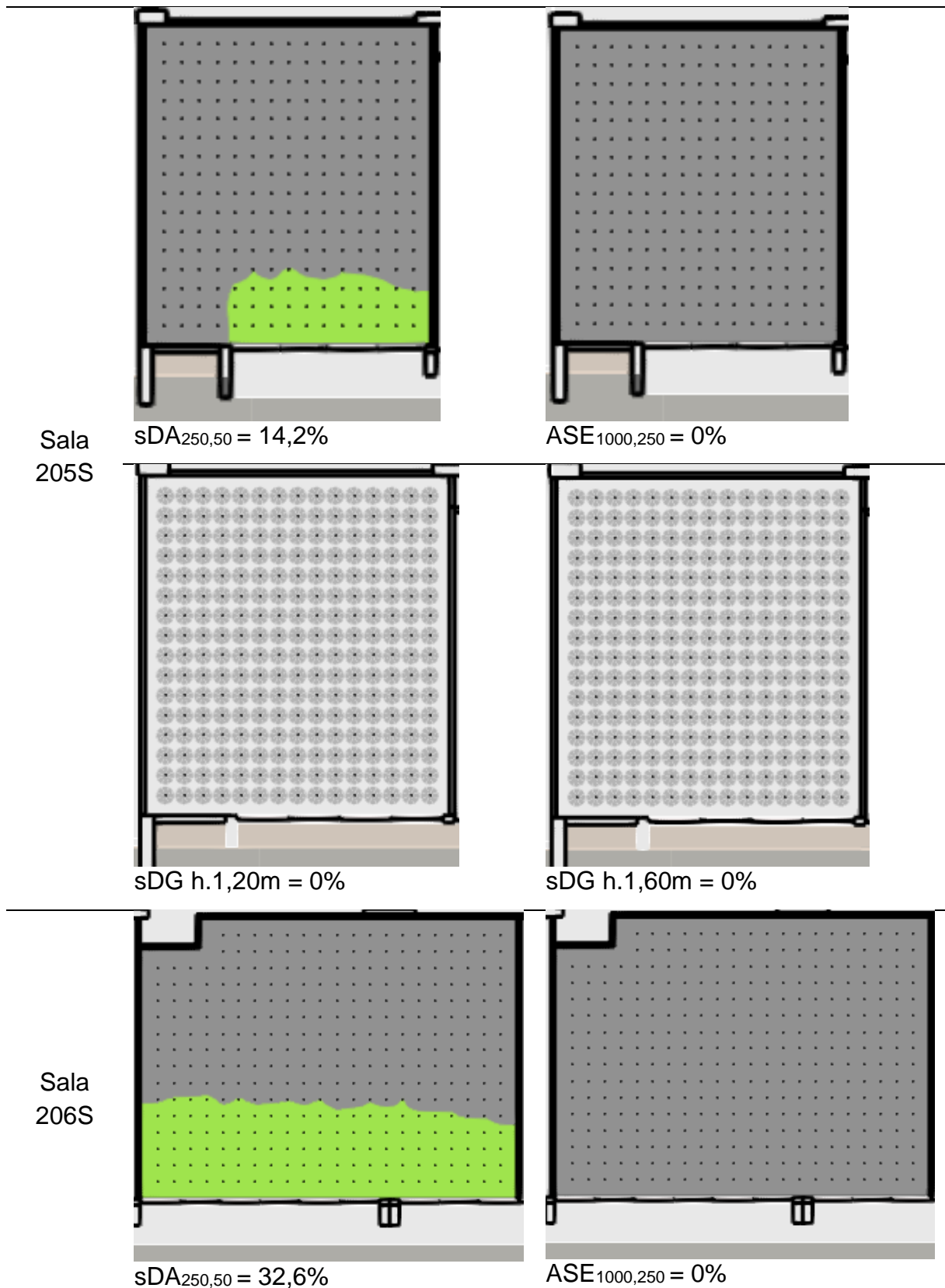
sDG h.1,20m = 0%

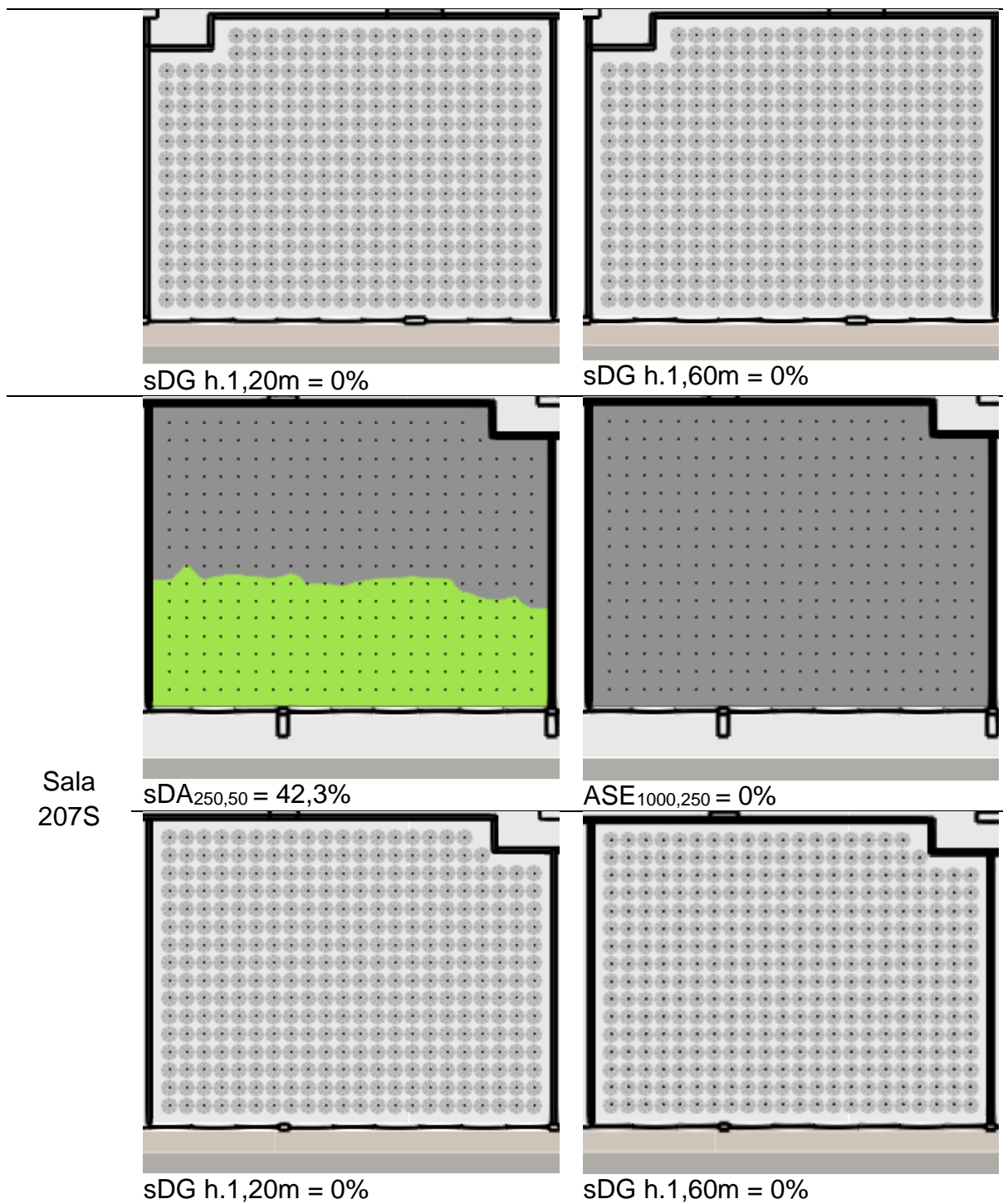


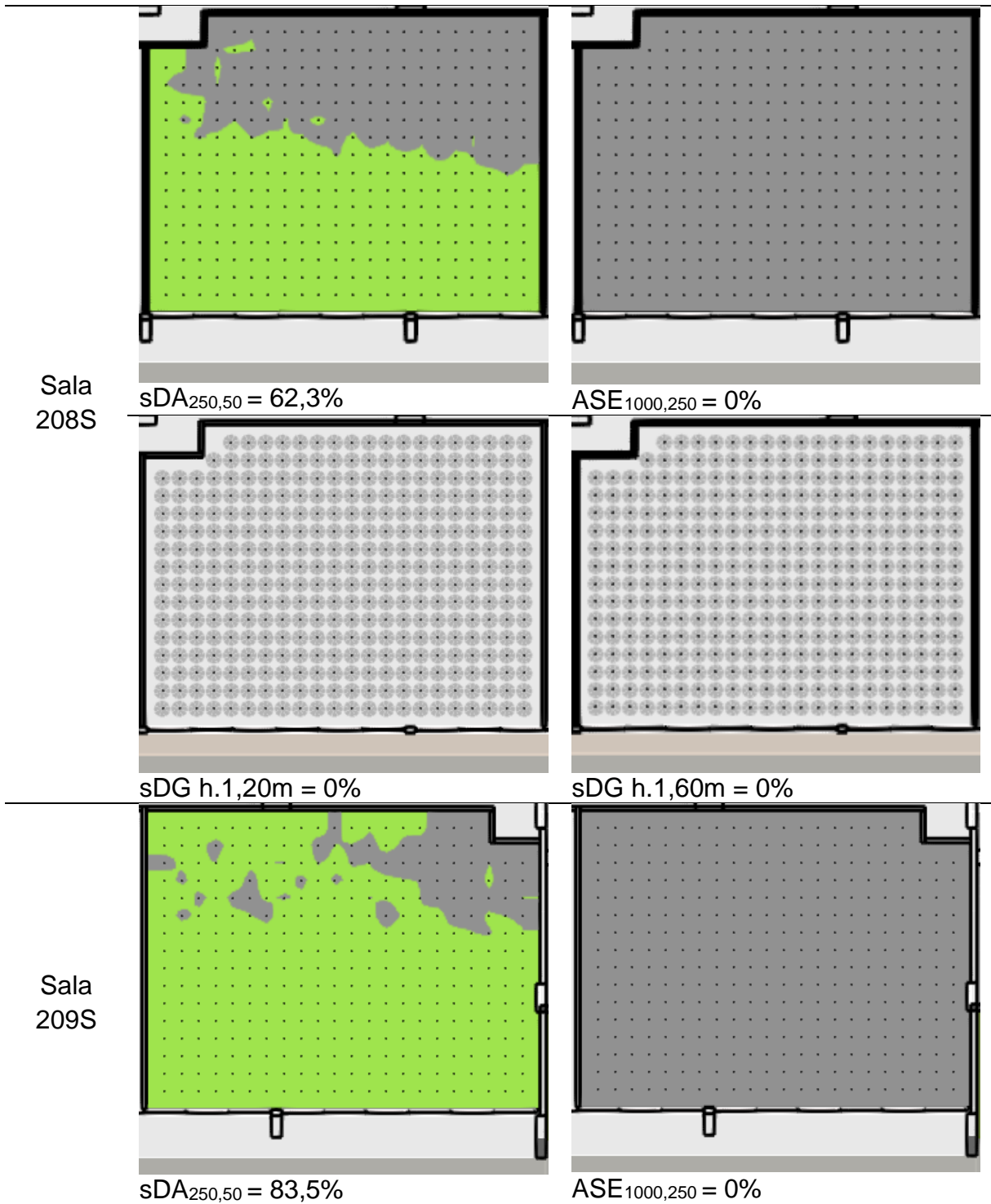
sDG h.1,60m = 0%

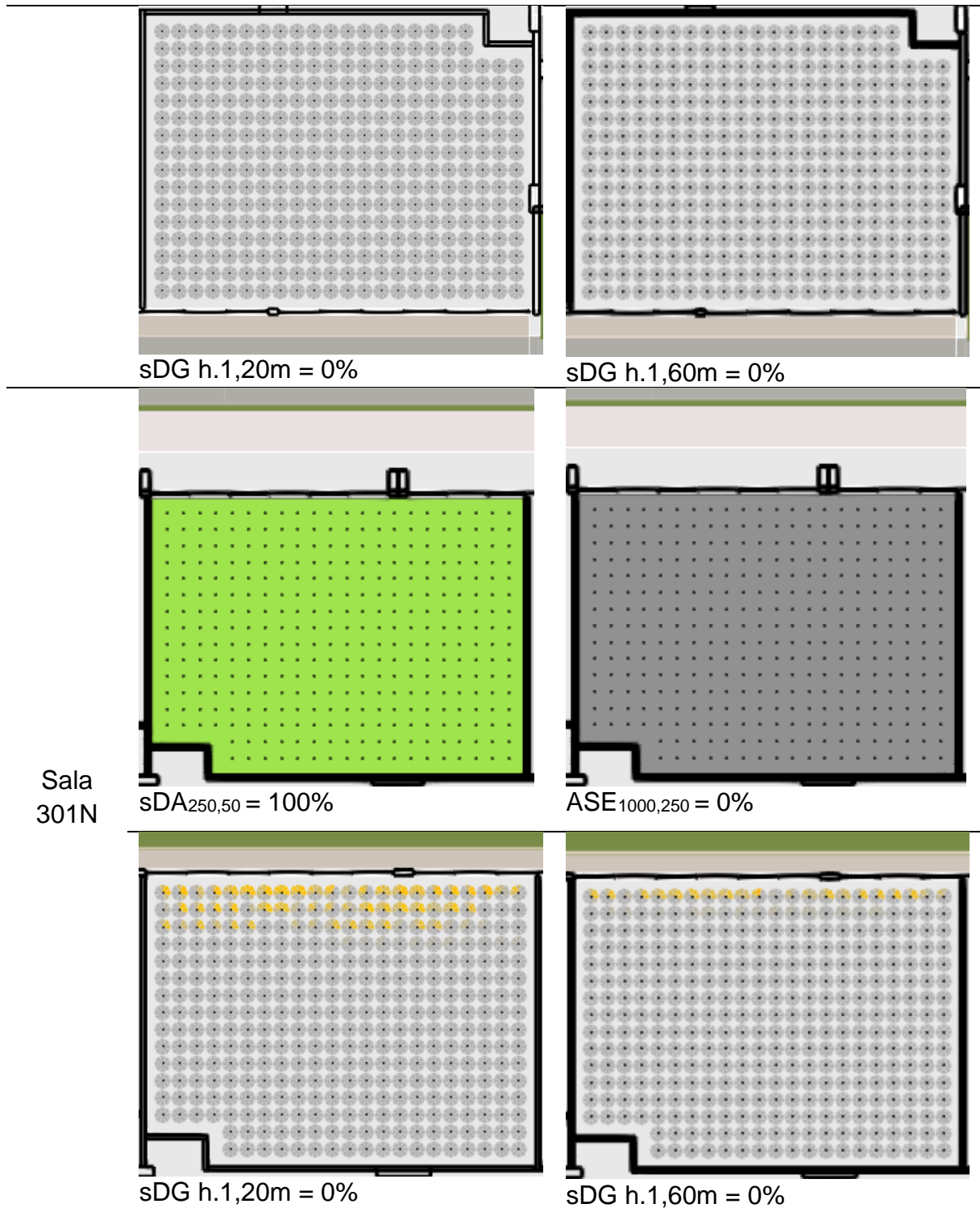


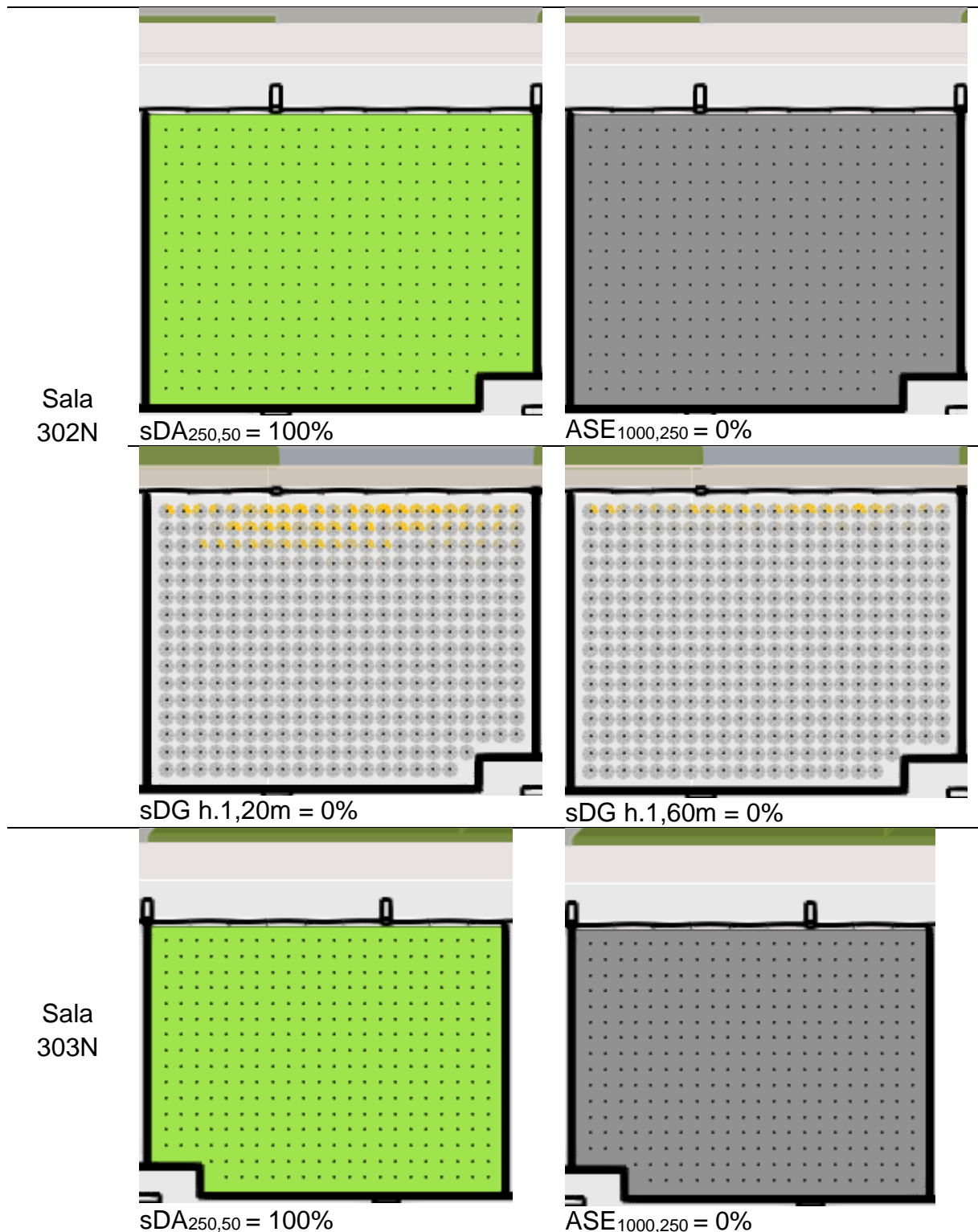


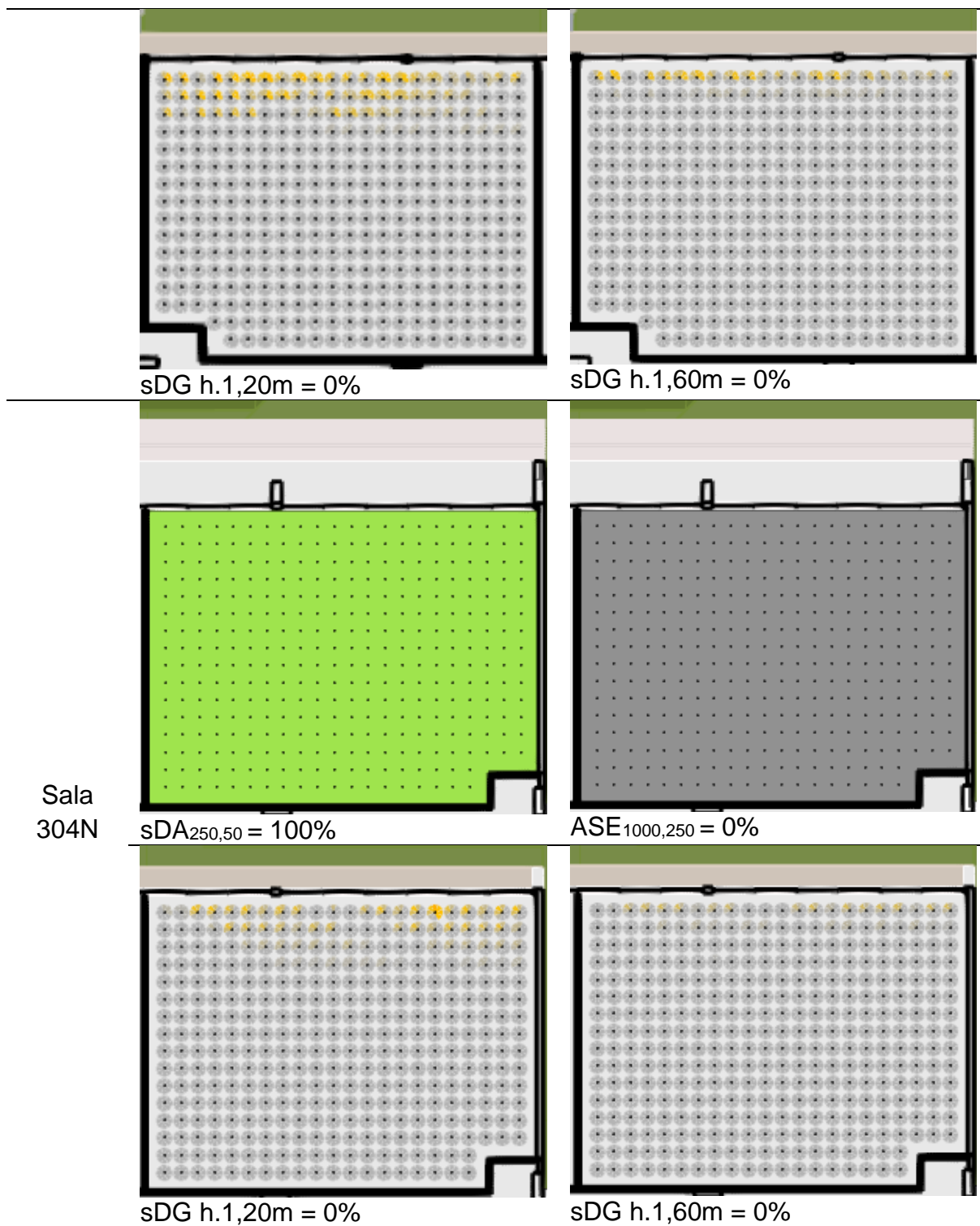


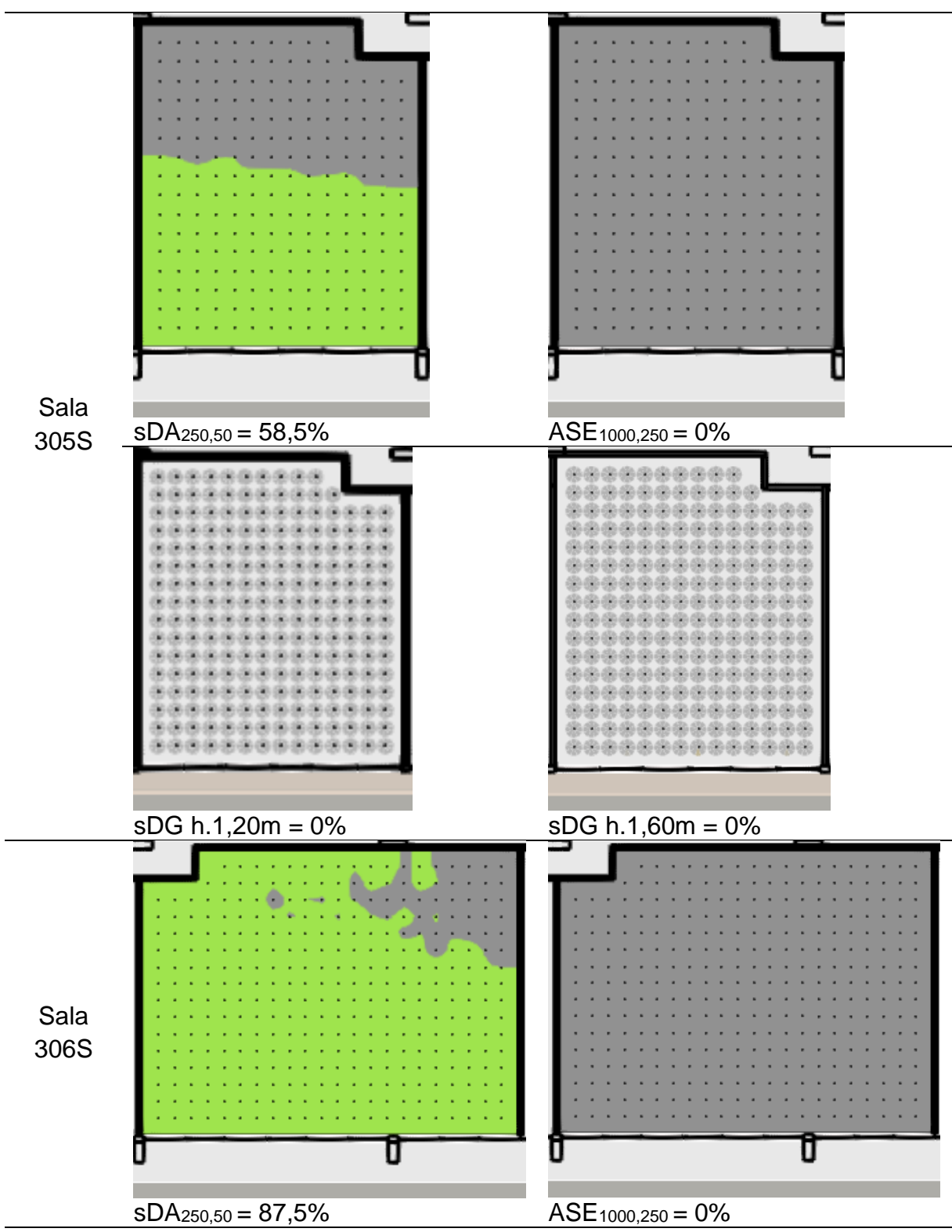


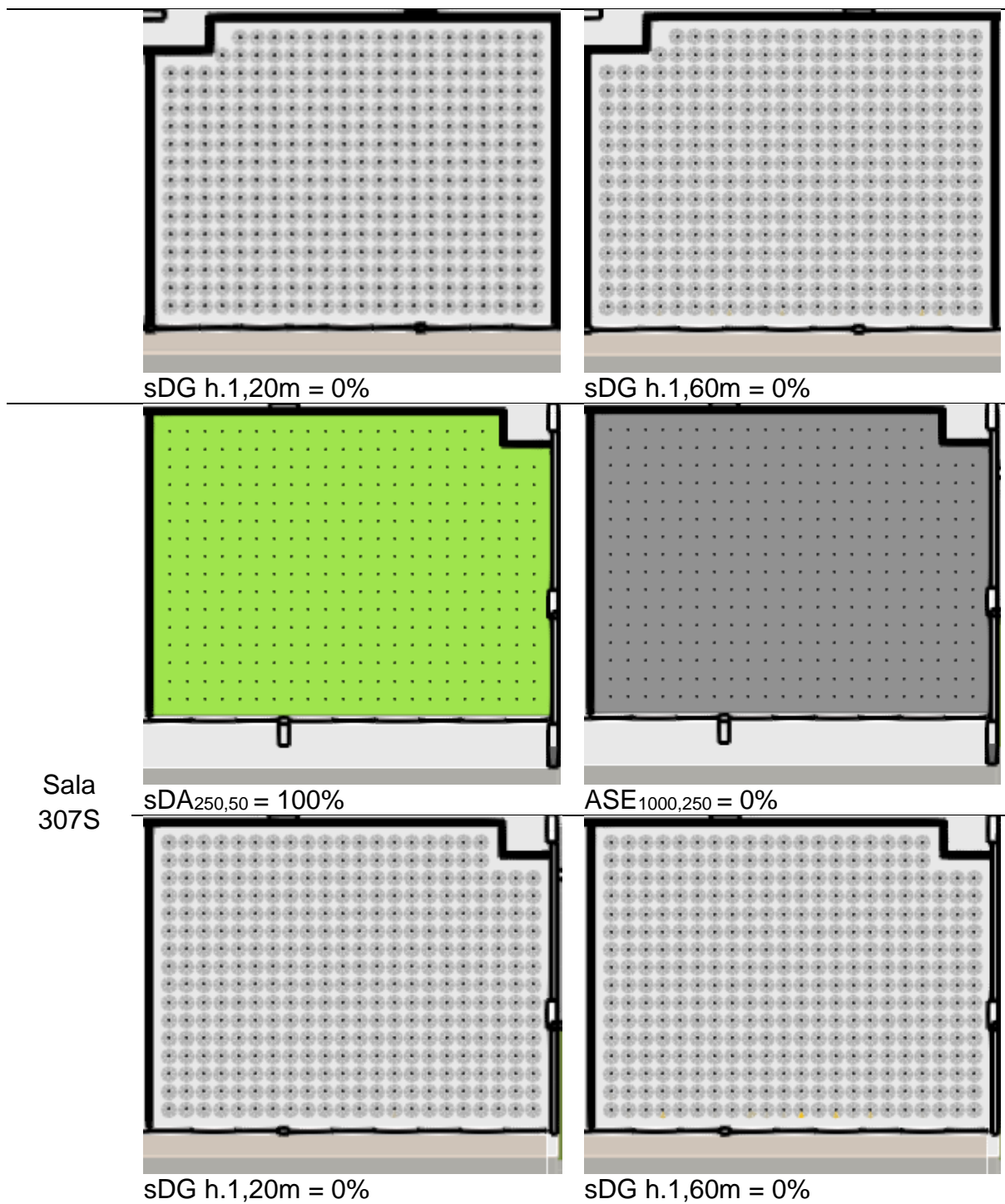


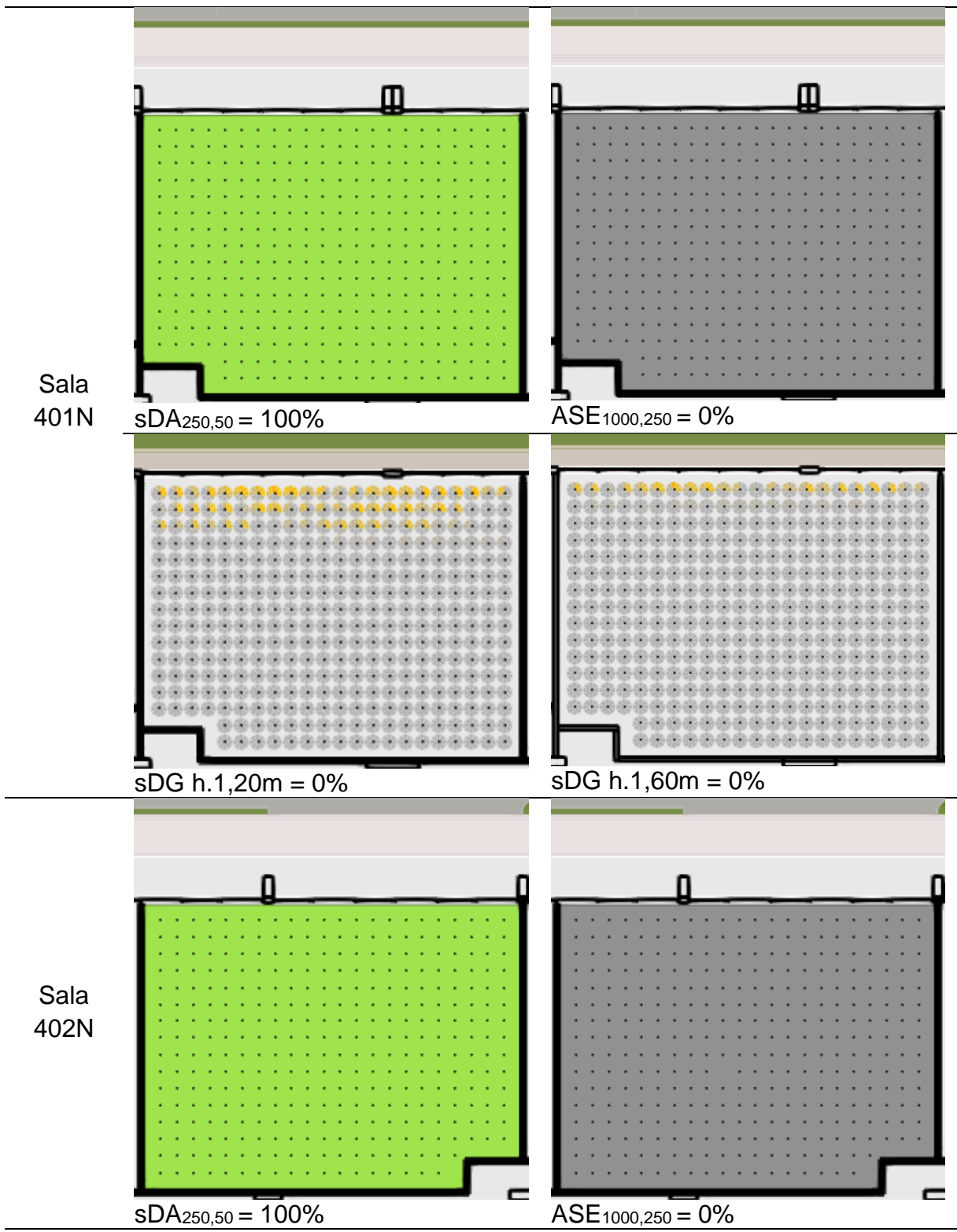


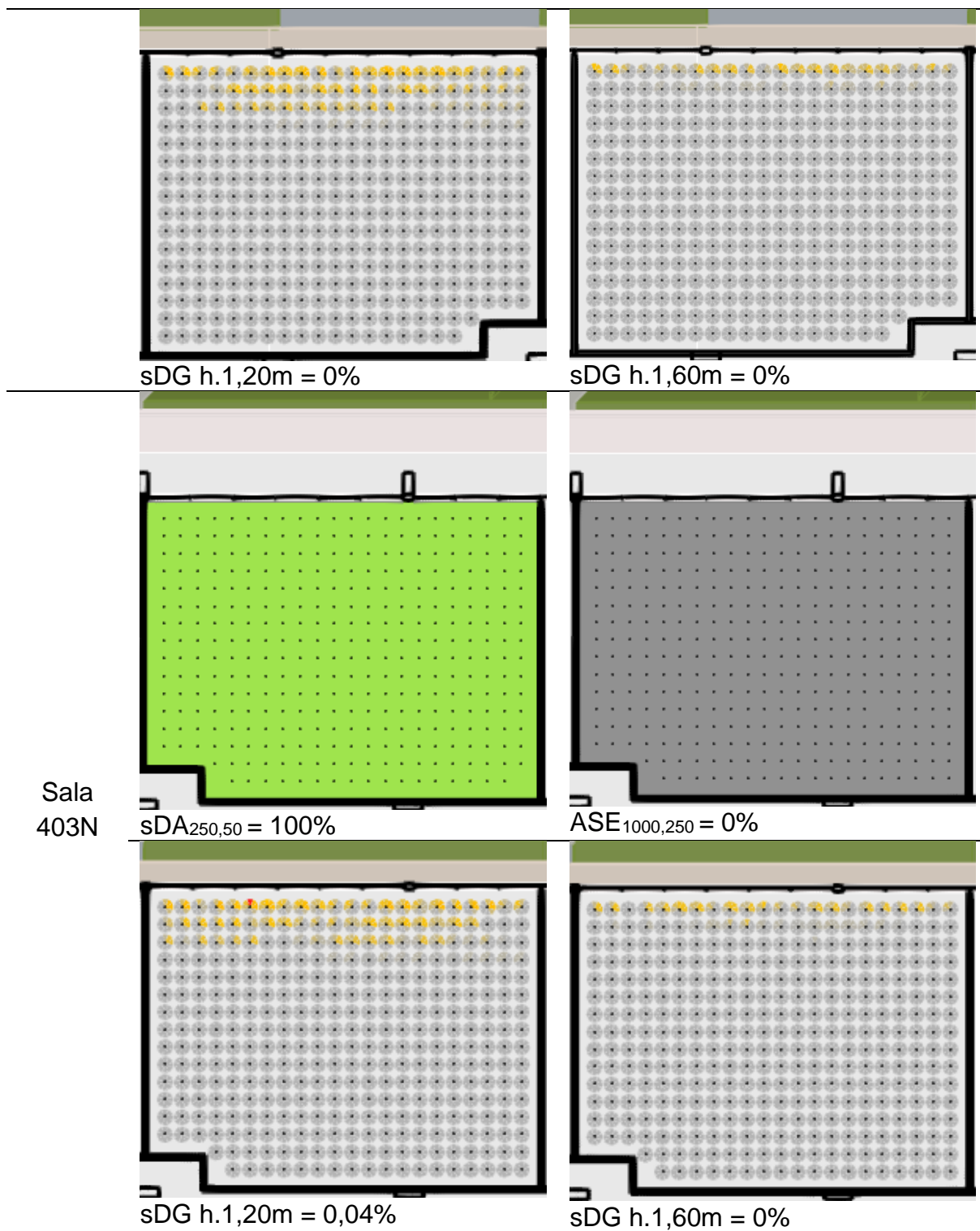


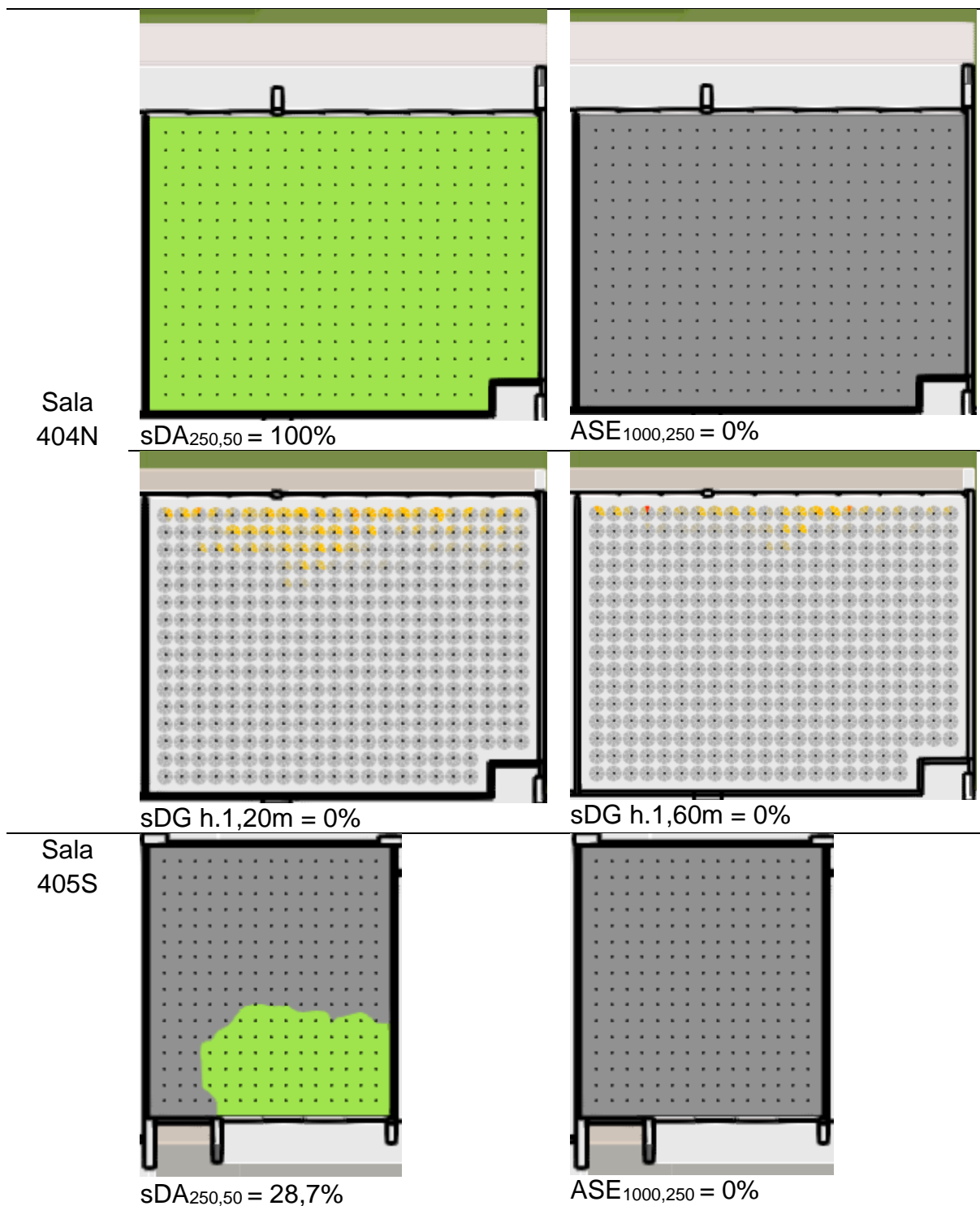


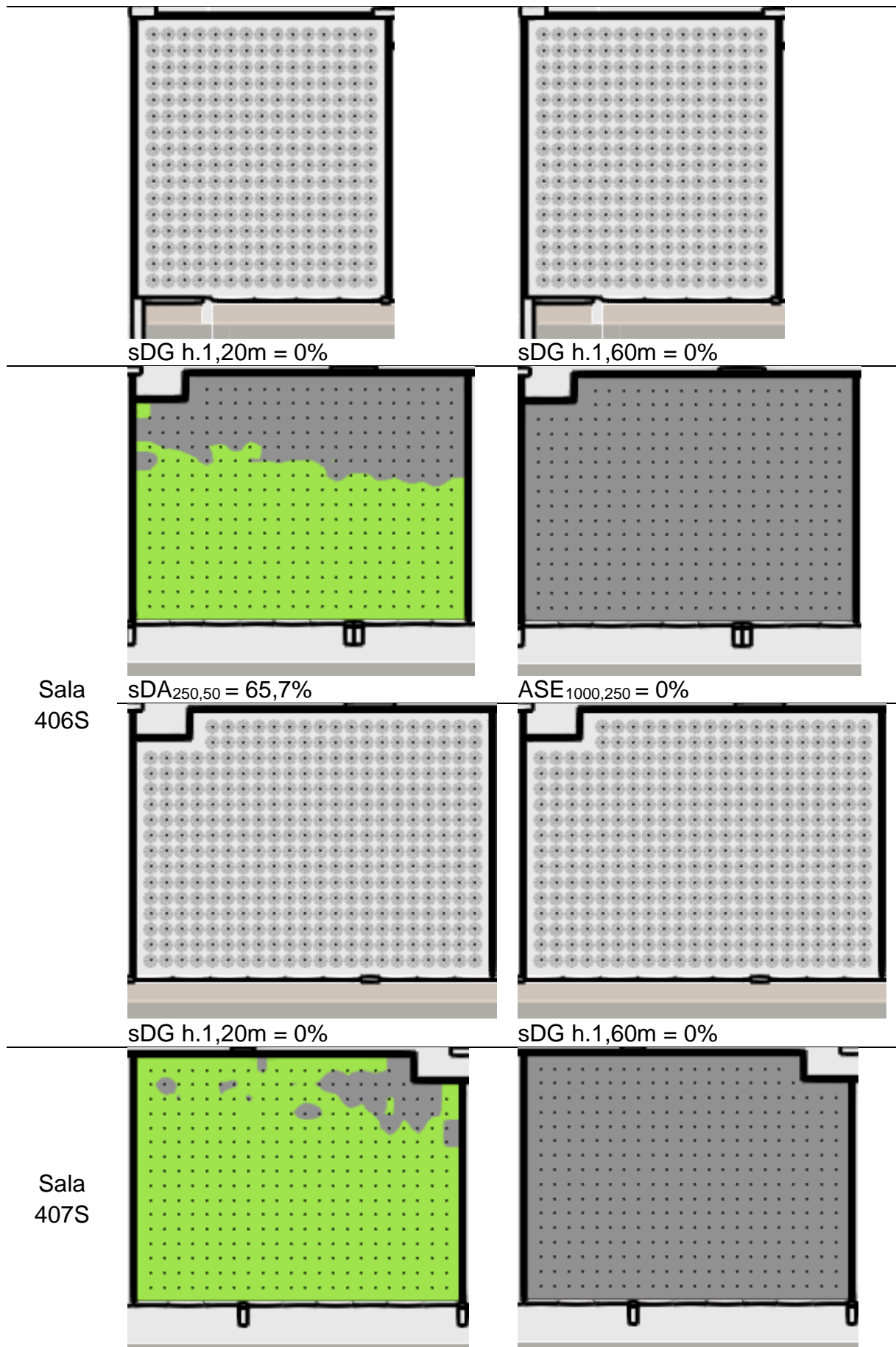




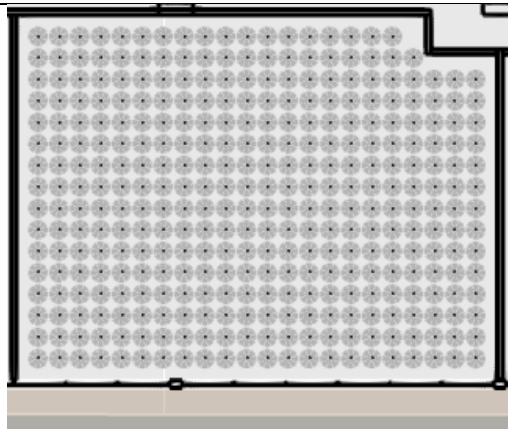




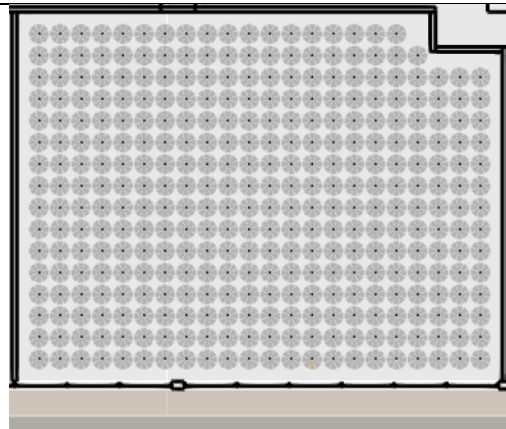




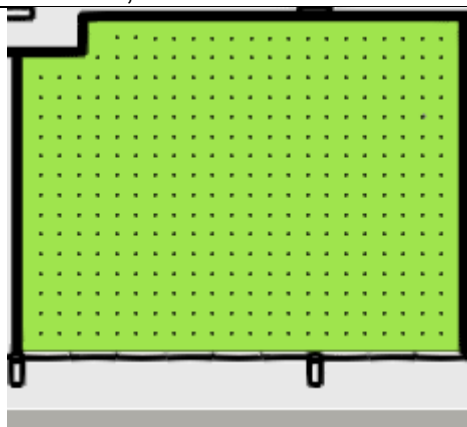
sDA_{250,50} = 91%



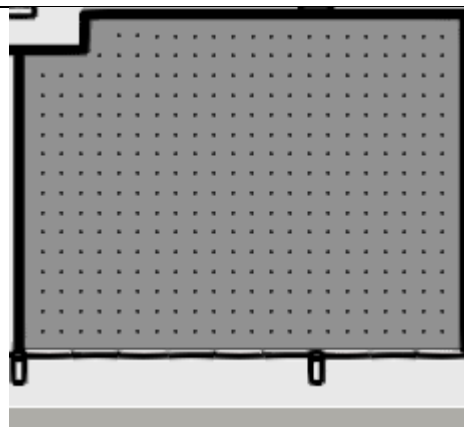
ASE_{1000,250} = 0%



sDG h.1,20m = 0%

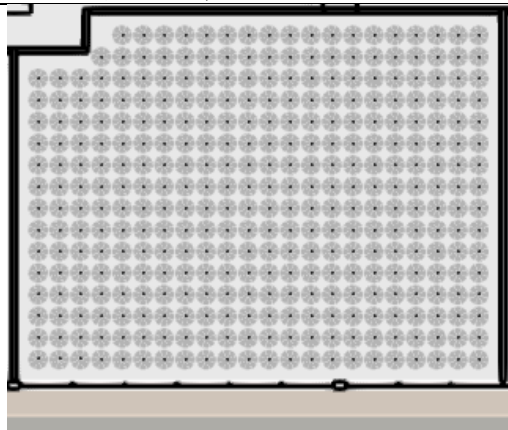


sDG h.1,60m = 0%

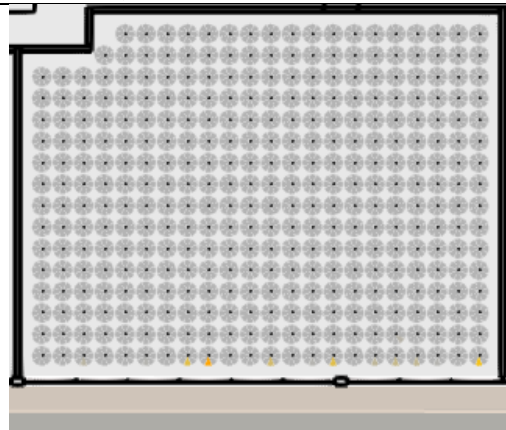


Sala
408S

sDA_{250,50} = 99,7%

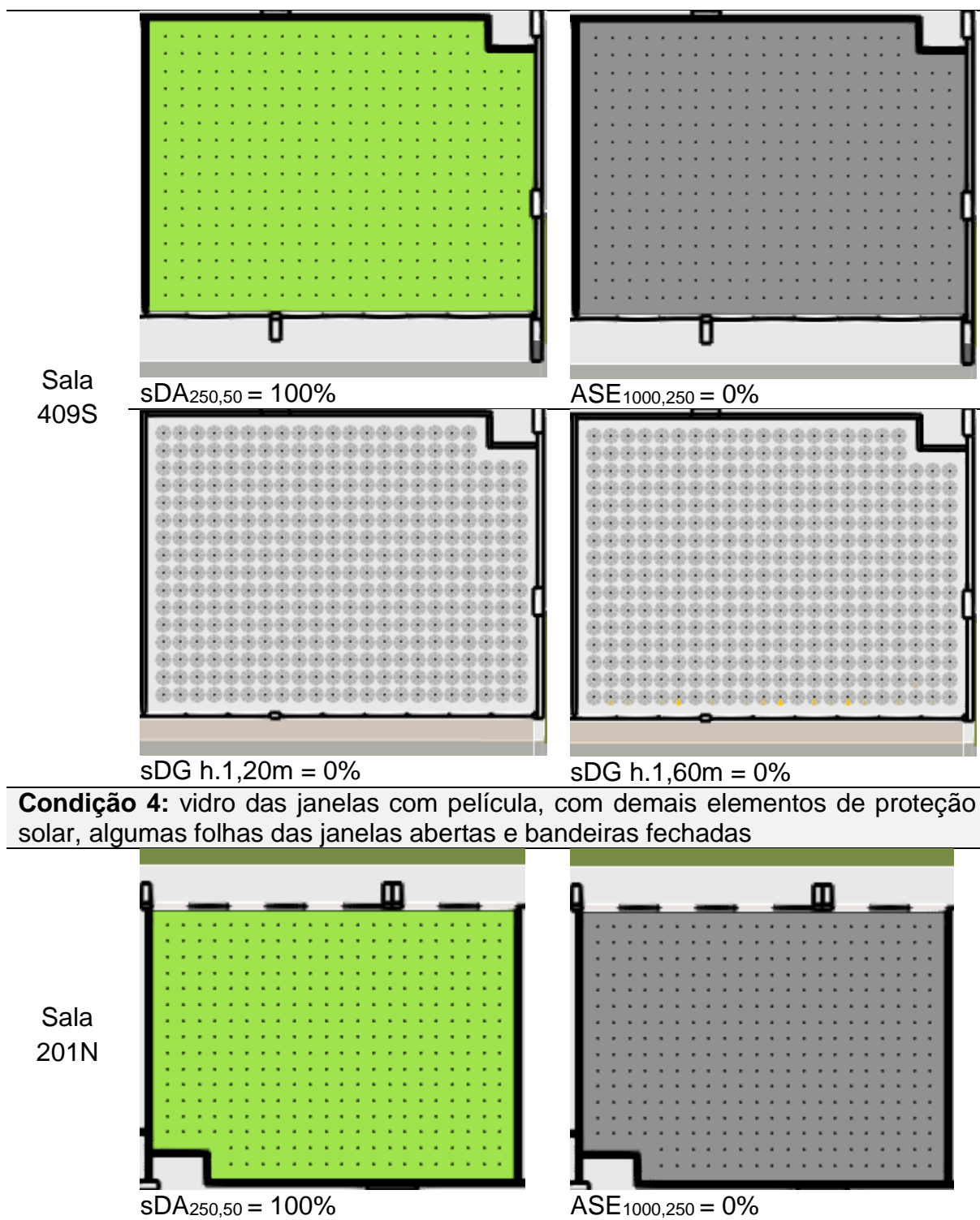


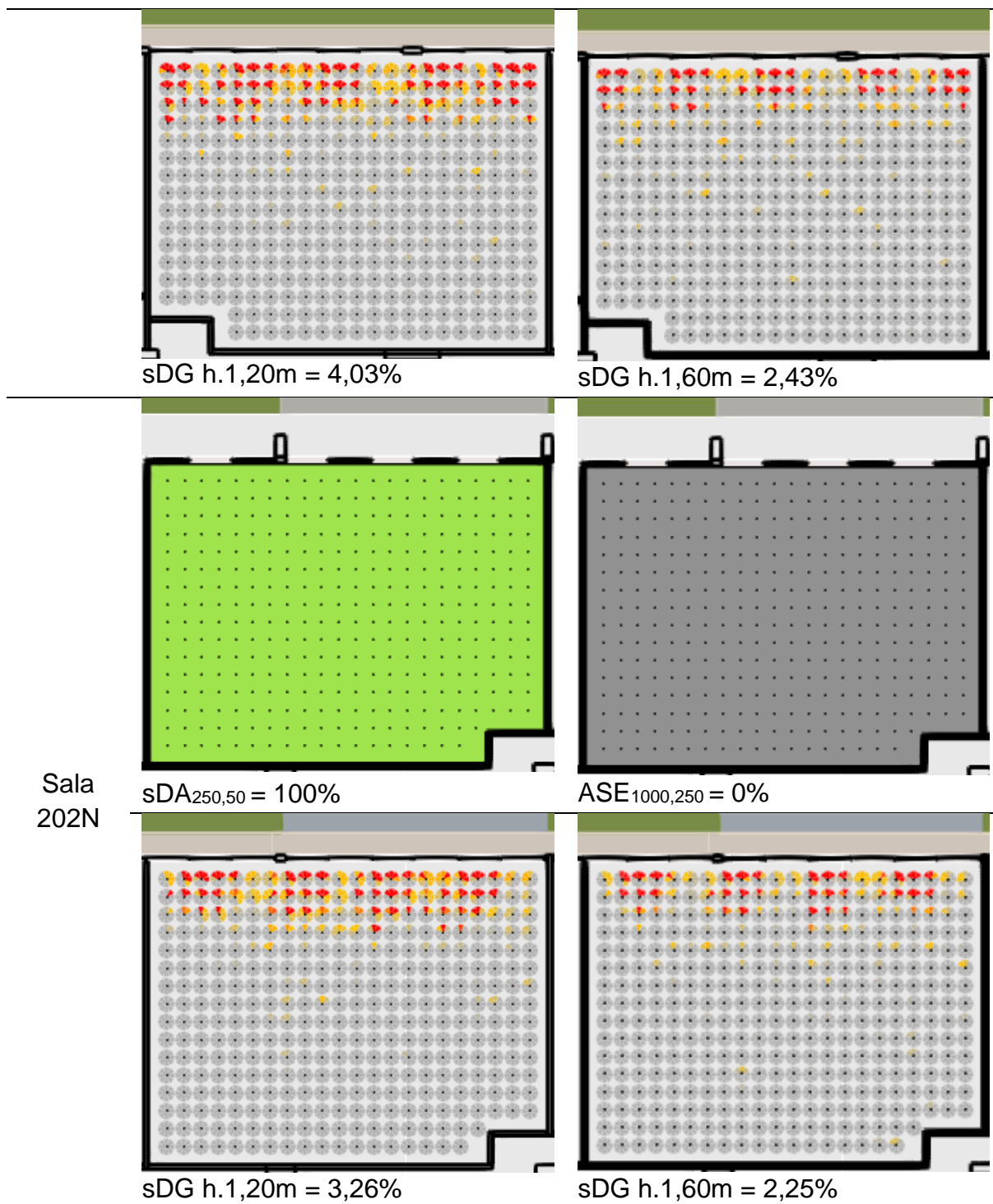
ASE_{1000,250} = 0%

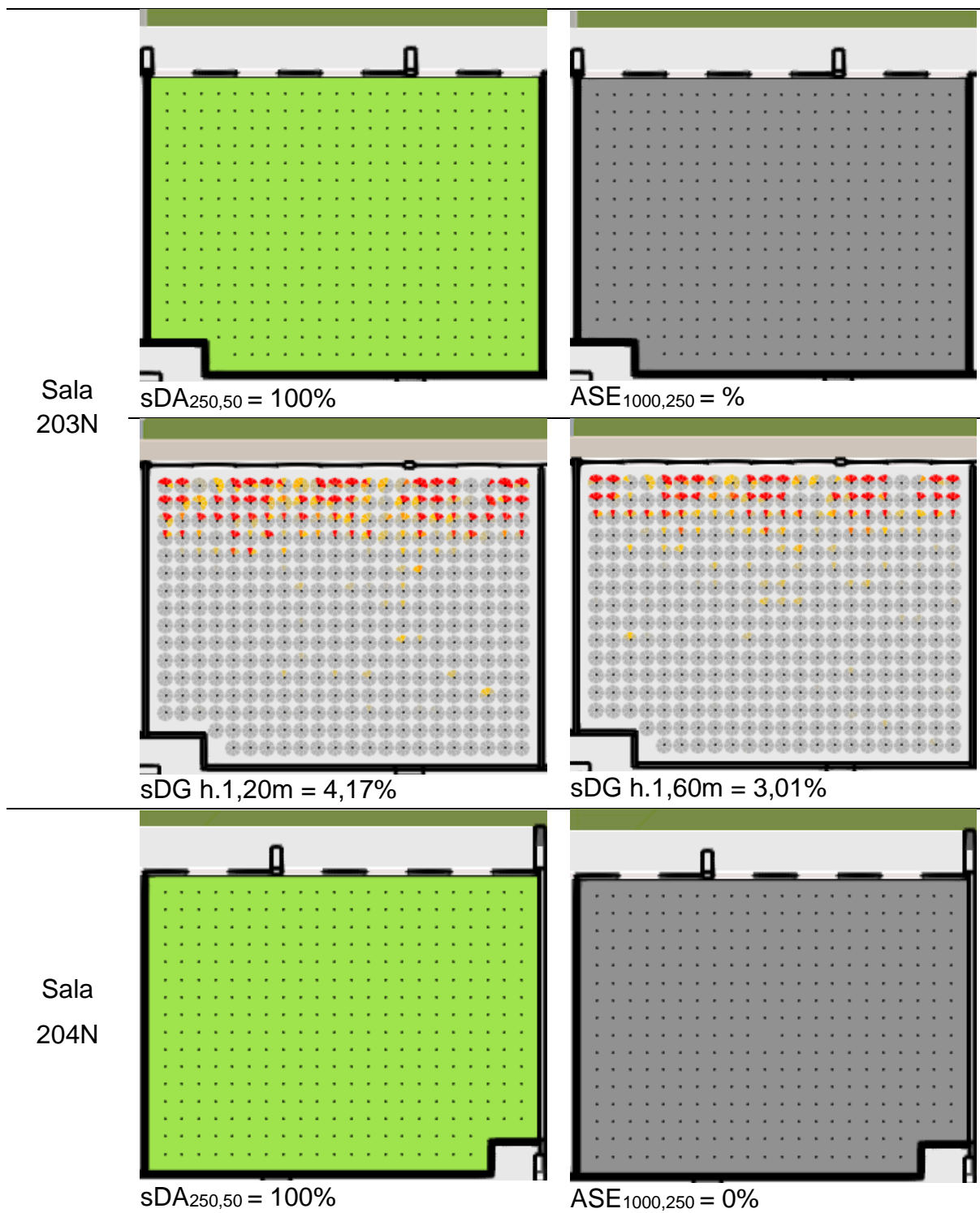


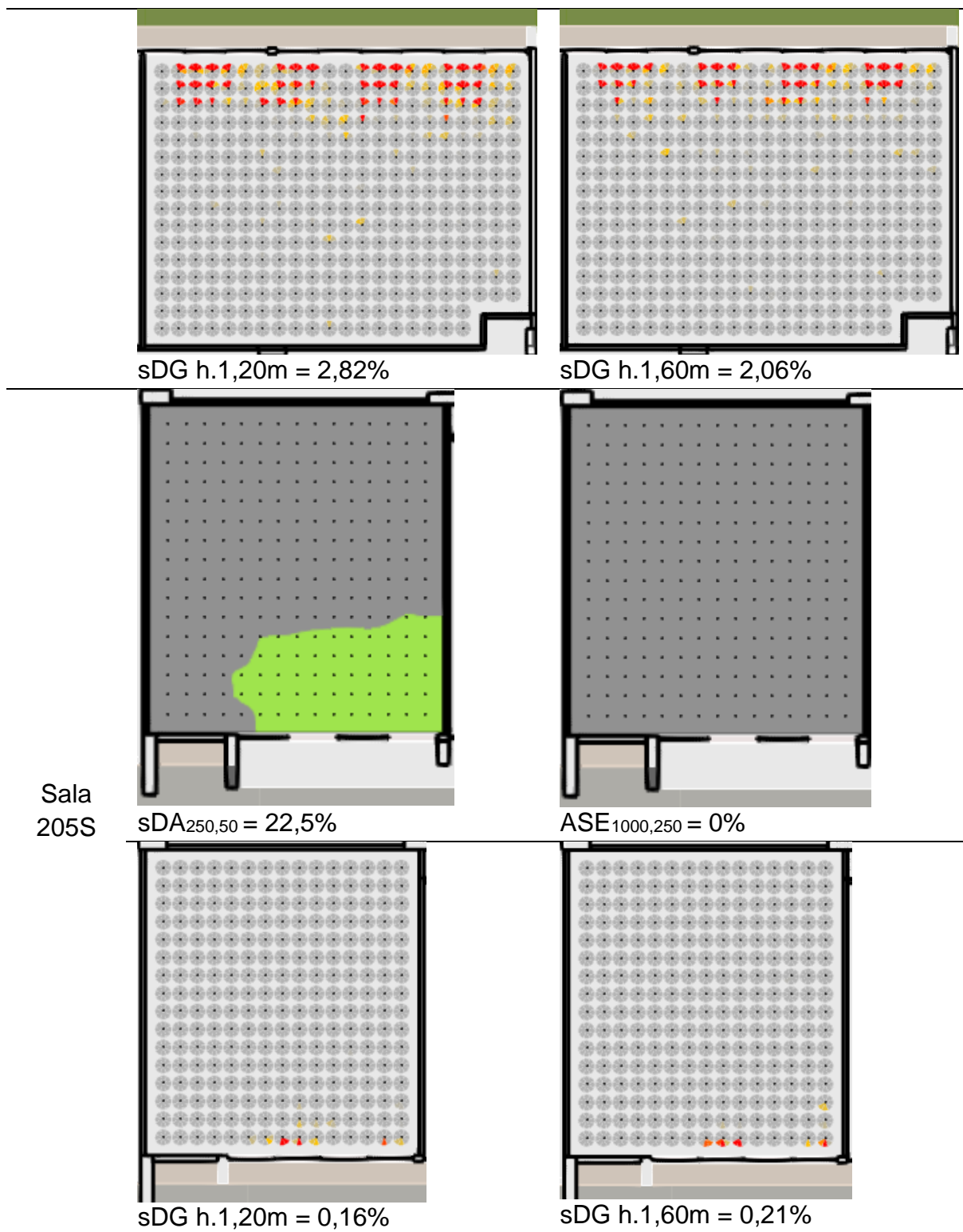
sDG h.1,20m = 0%

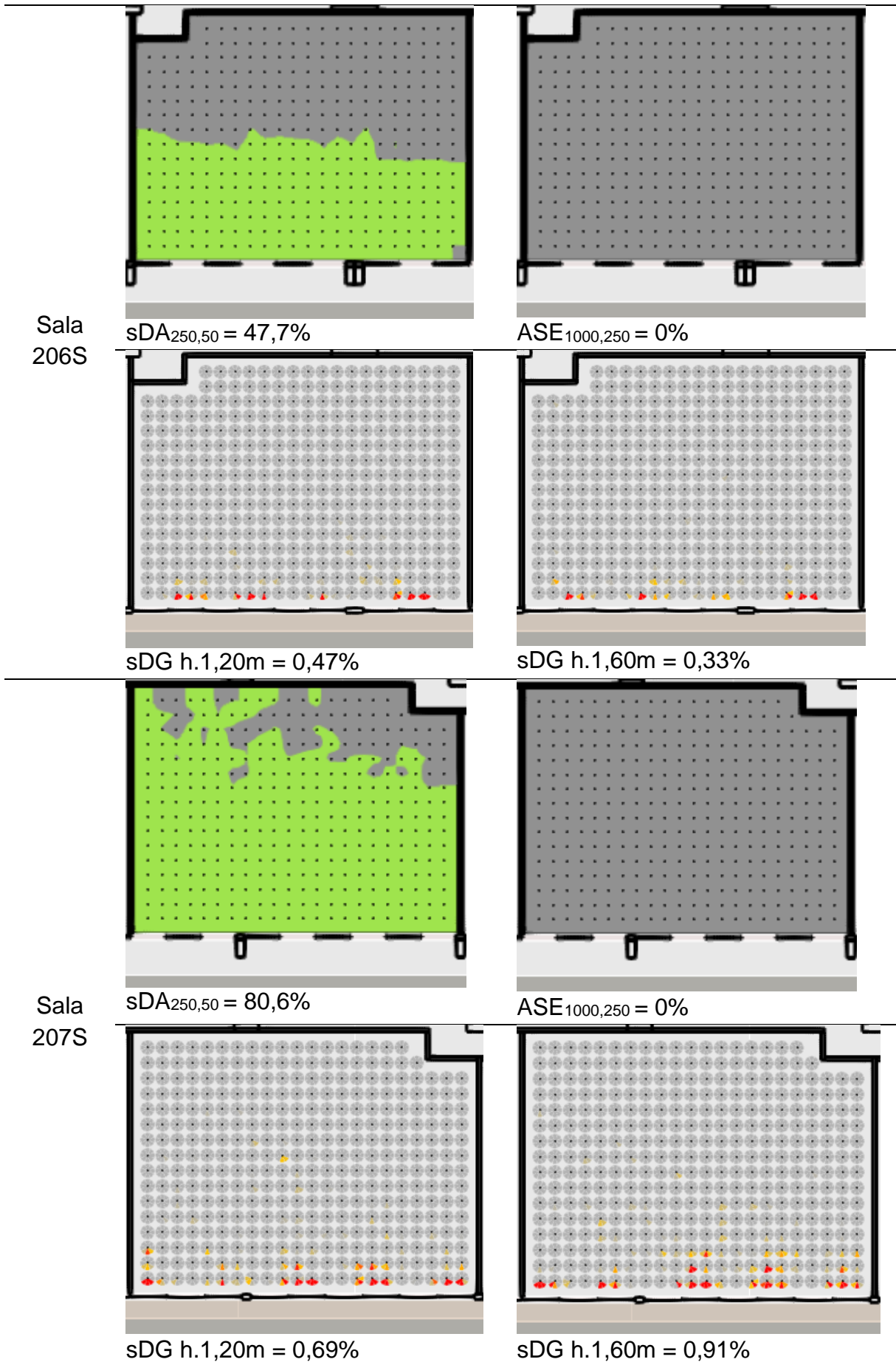
sDG h.1,60m = 0%

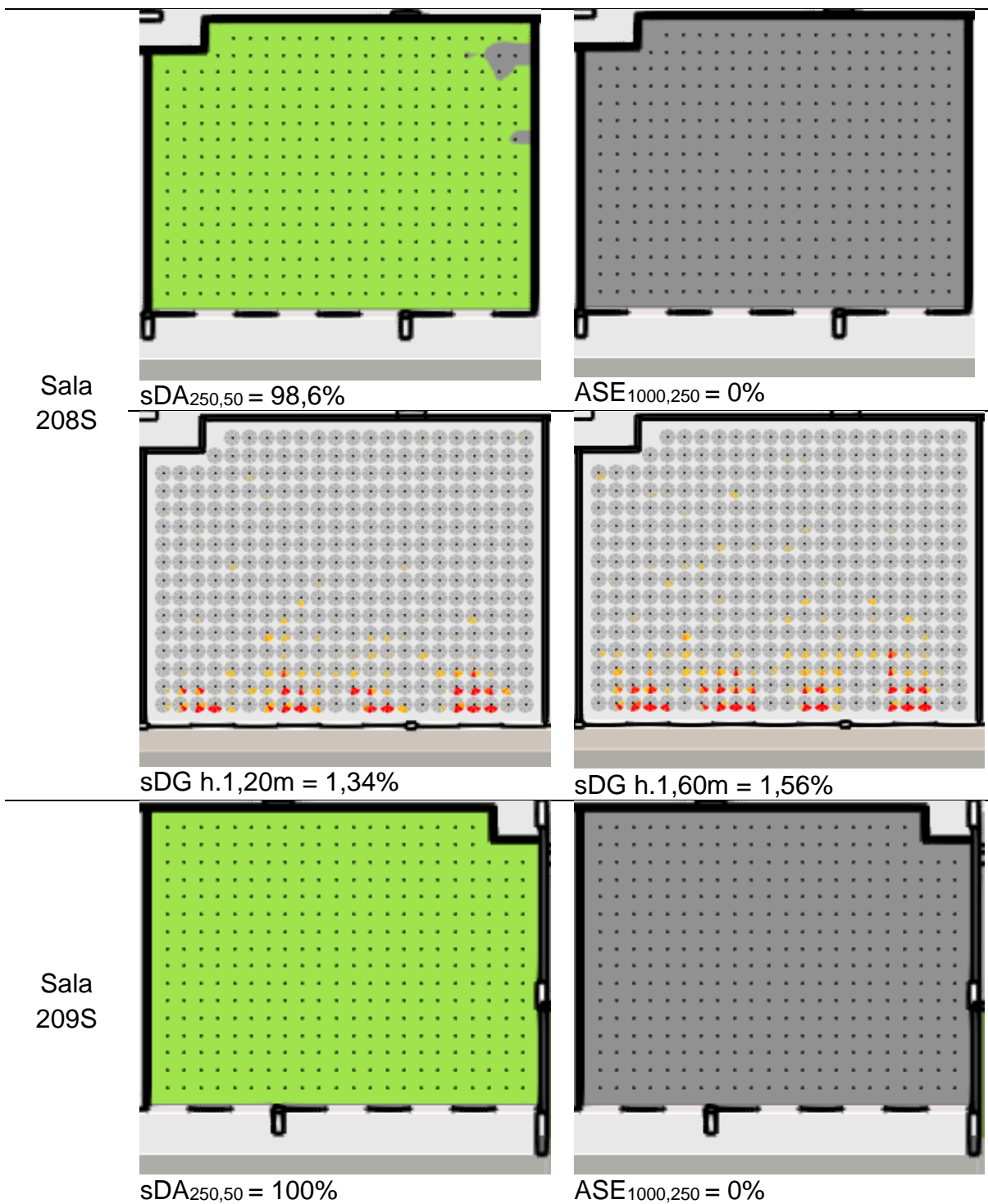


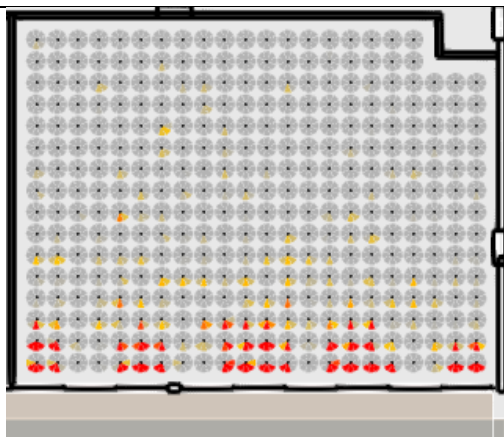




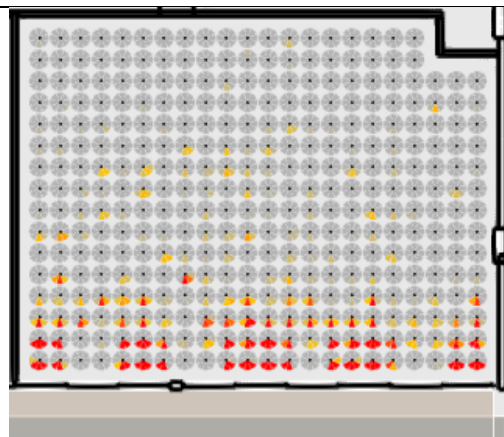




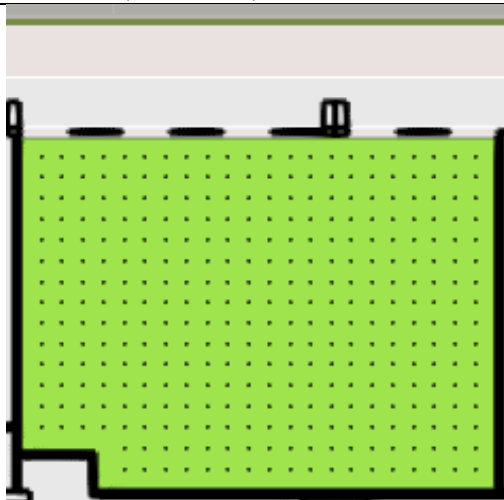




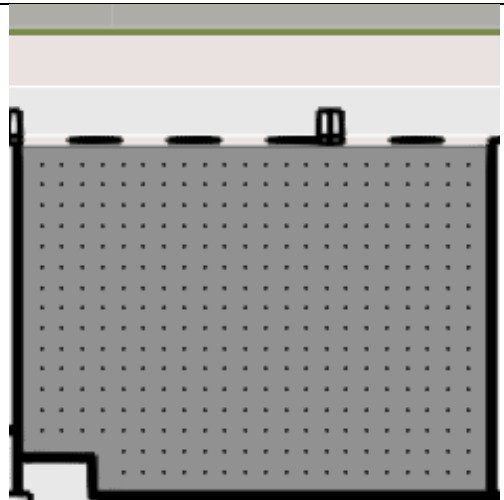
sDG h.1,20m = 2,46%



sDG h.1,60m = 2,78%

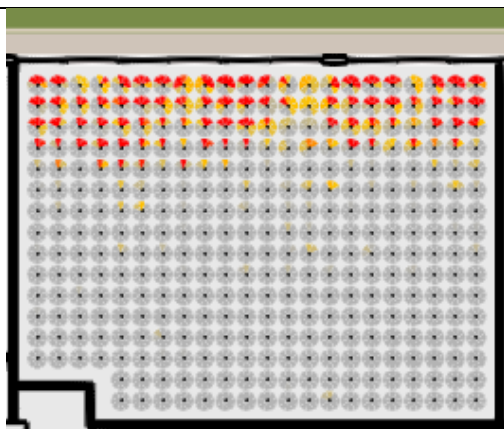


sDA_{250,50} = 100%

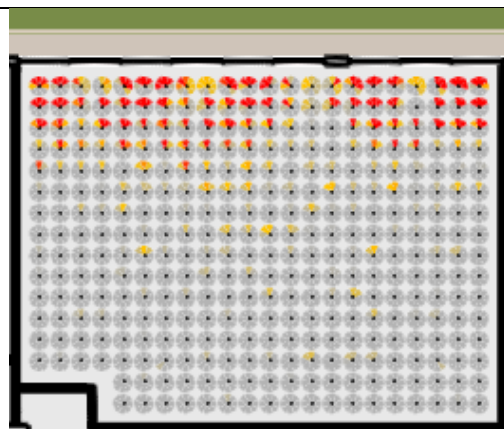


ASE_{1000,250} = 0%

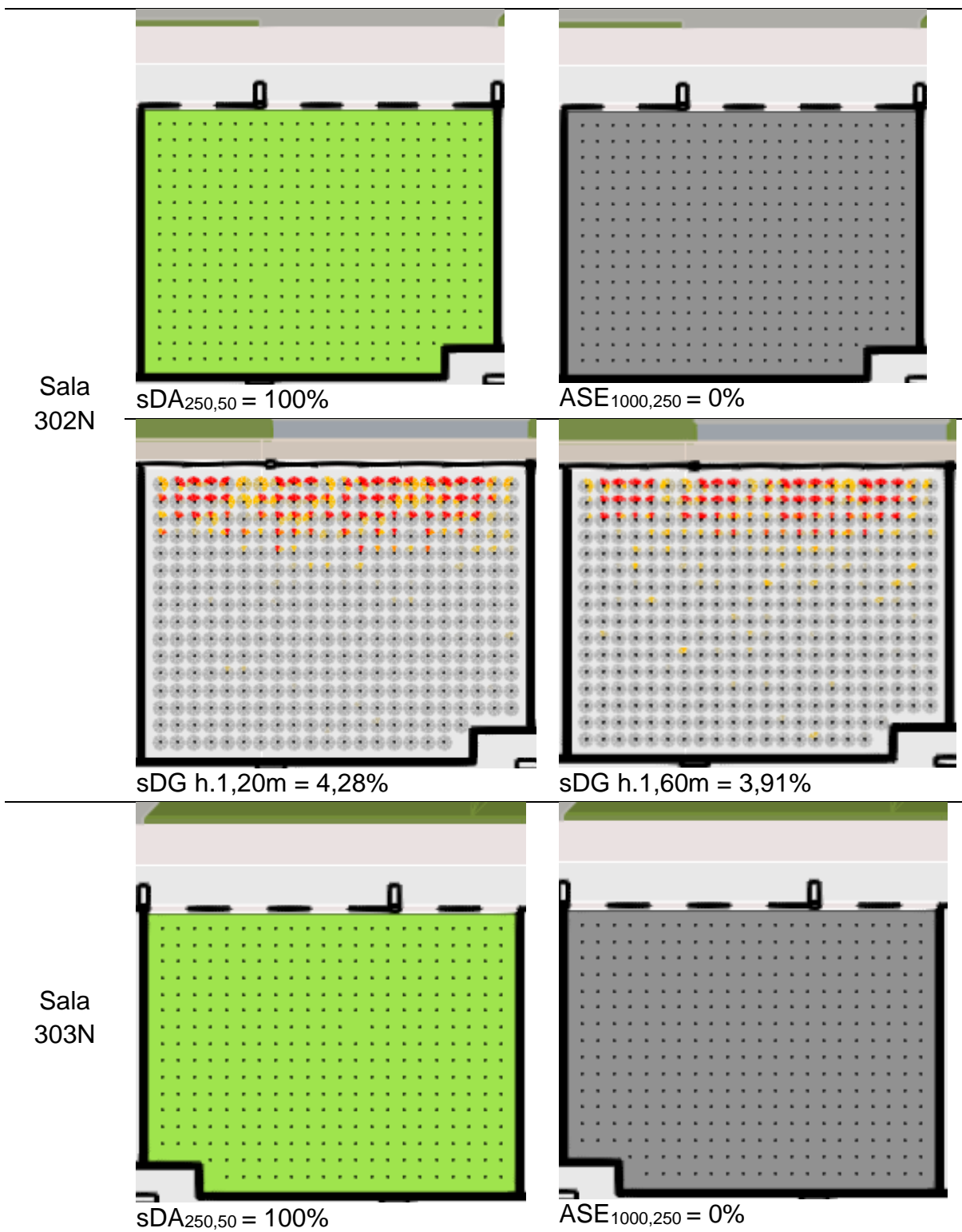
Sala
301N

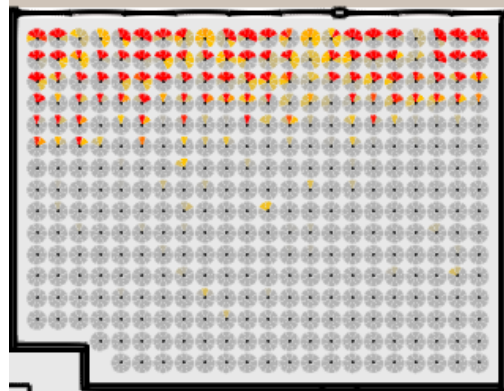


sDG h.1,20m = 5,20%

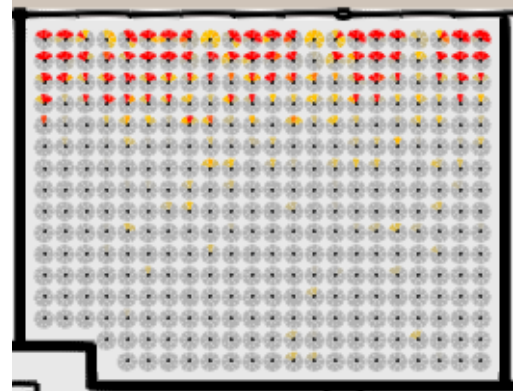


sDG h.1,60m = 4,22%

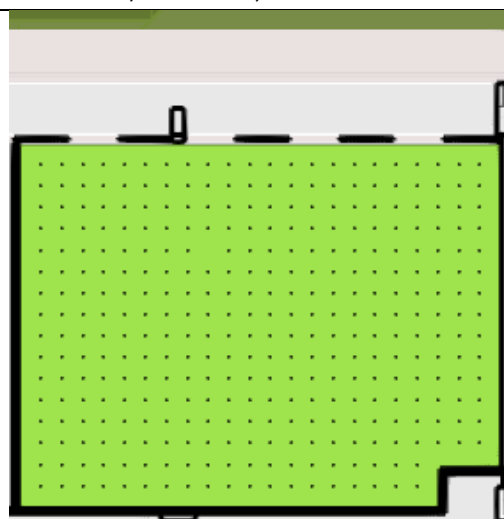




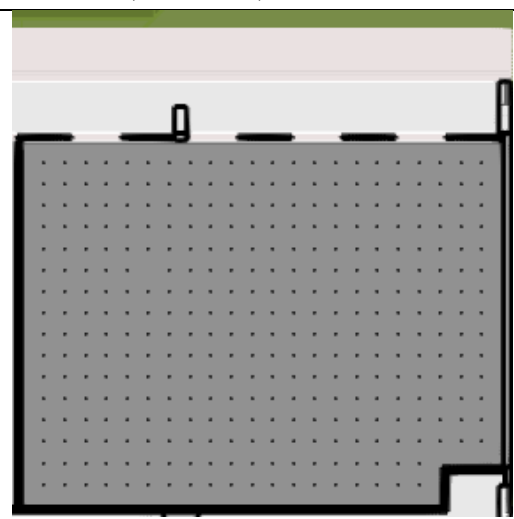
sDG h.1,20m = 5,76%



sDG h.1,60m = 4,86%

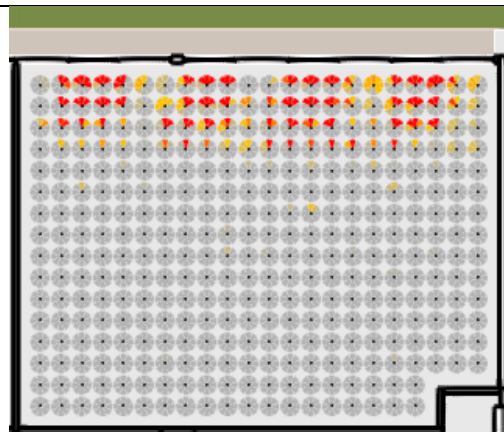


SDA_{250,50} = 100%

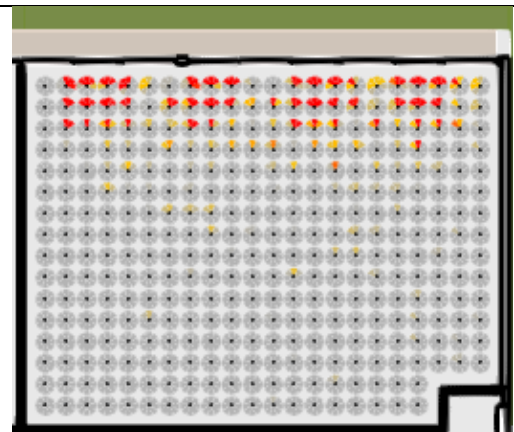


ASE_{1000,250} = 0%

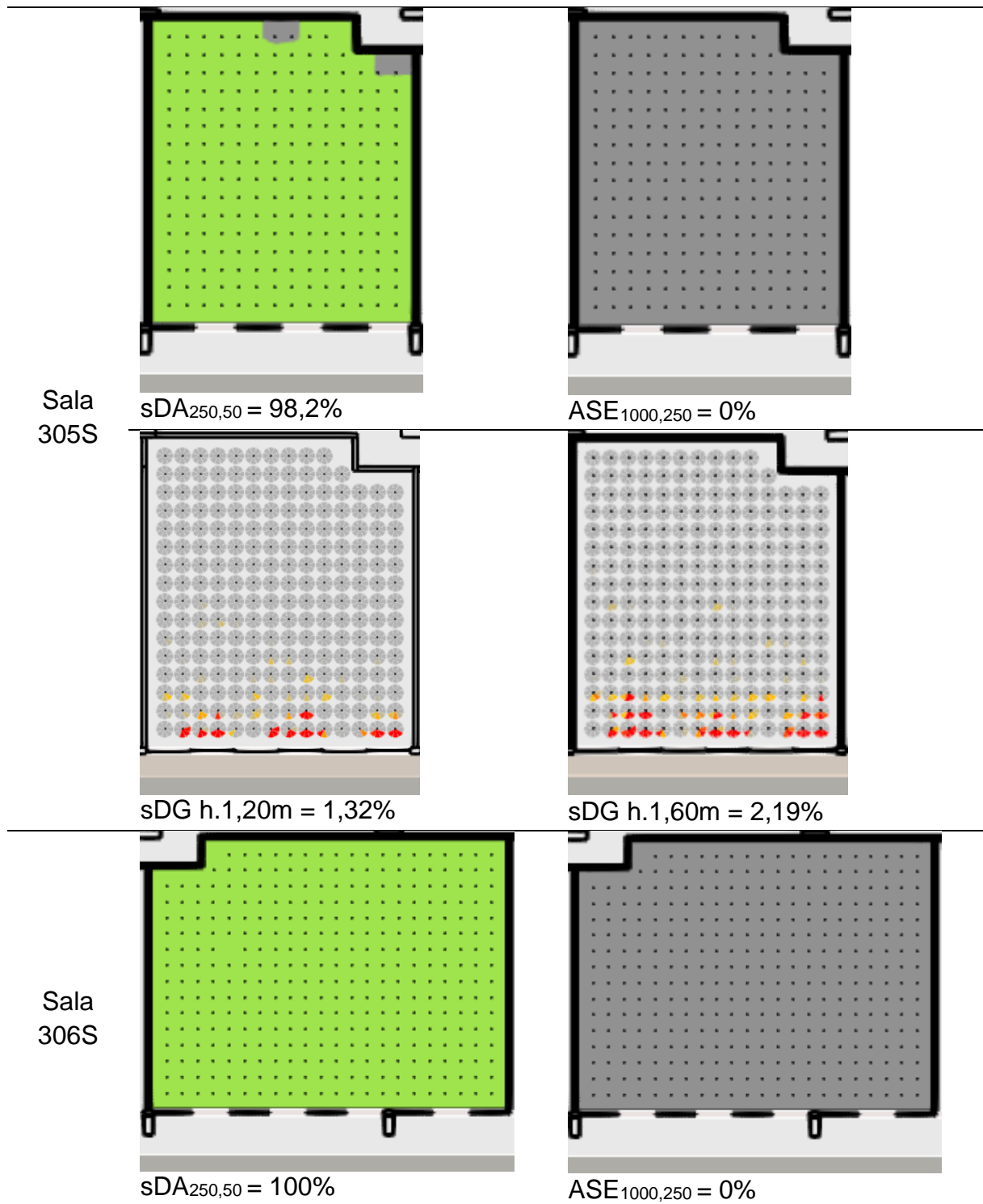
Sala
304N

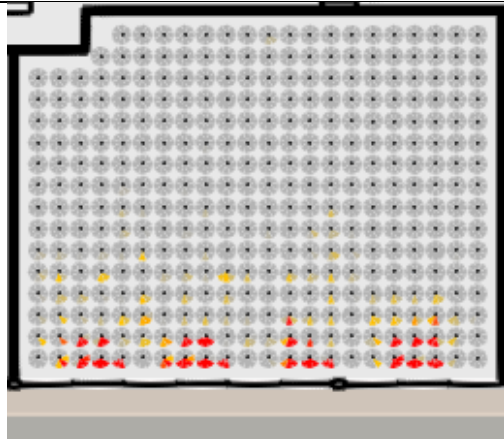


sDG h.1,20m = 3,36%

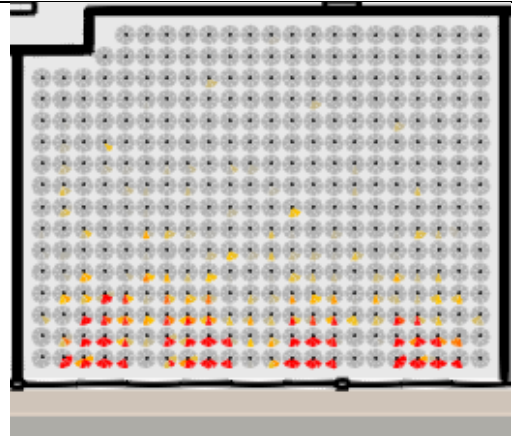


sDG h.1,60m = 3,18%

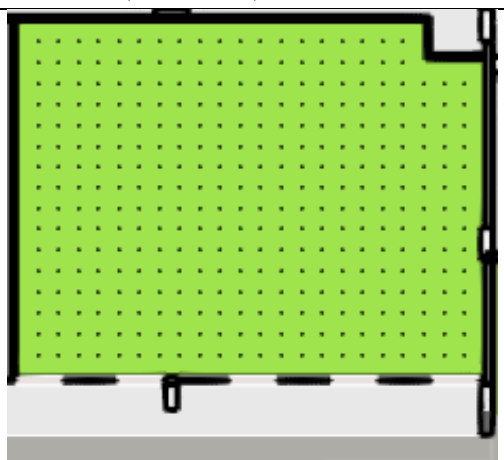




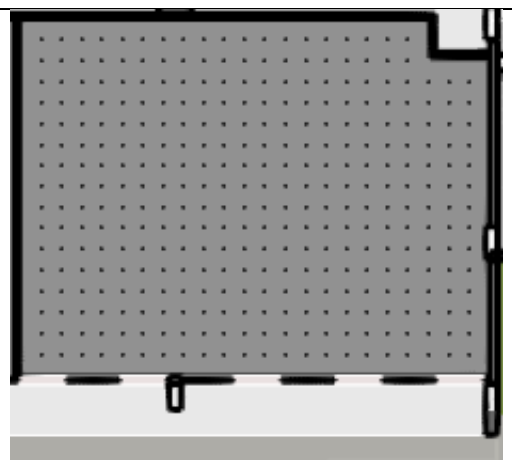
sDG h.1,20m = 1,85%



sDG h.1,60m = 2,72%

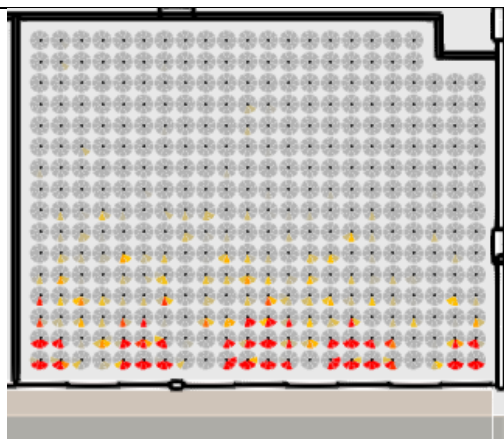


sDA_{250,50} = 100%

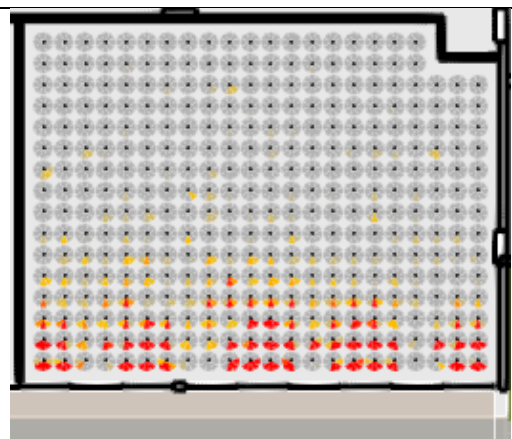


ASE_{1000,250} = 0%

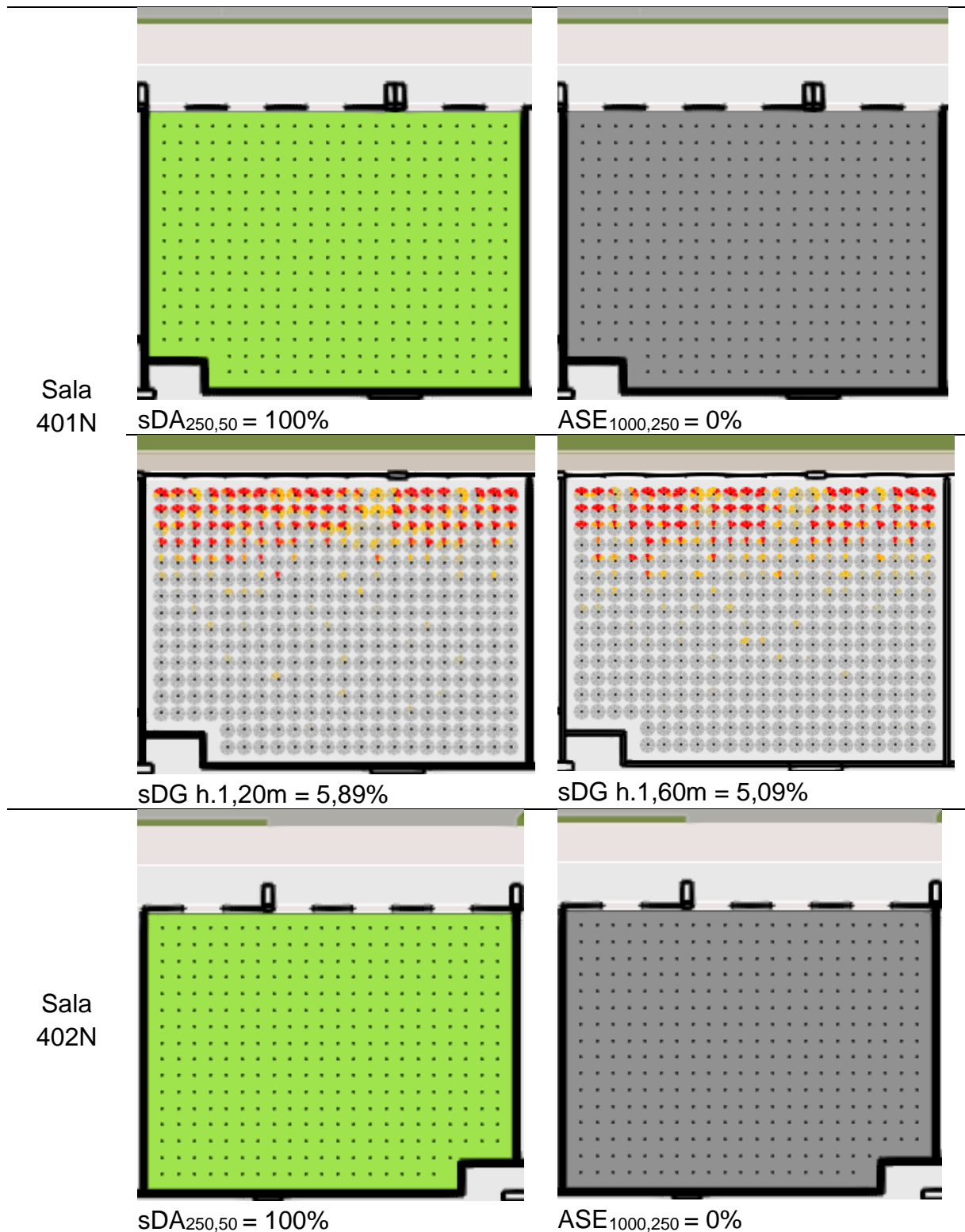
Sala
307S

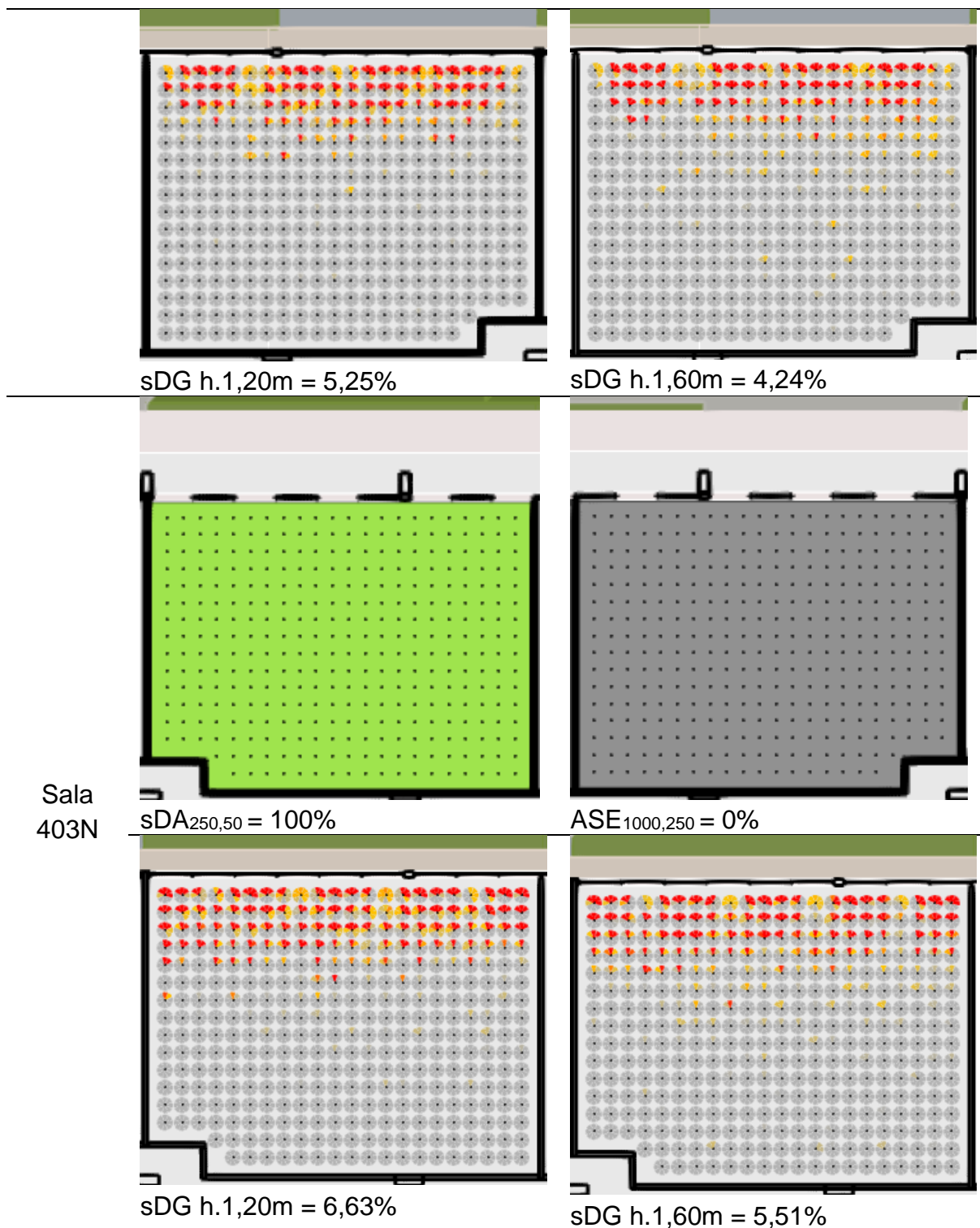


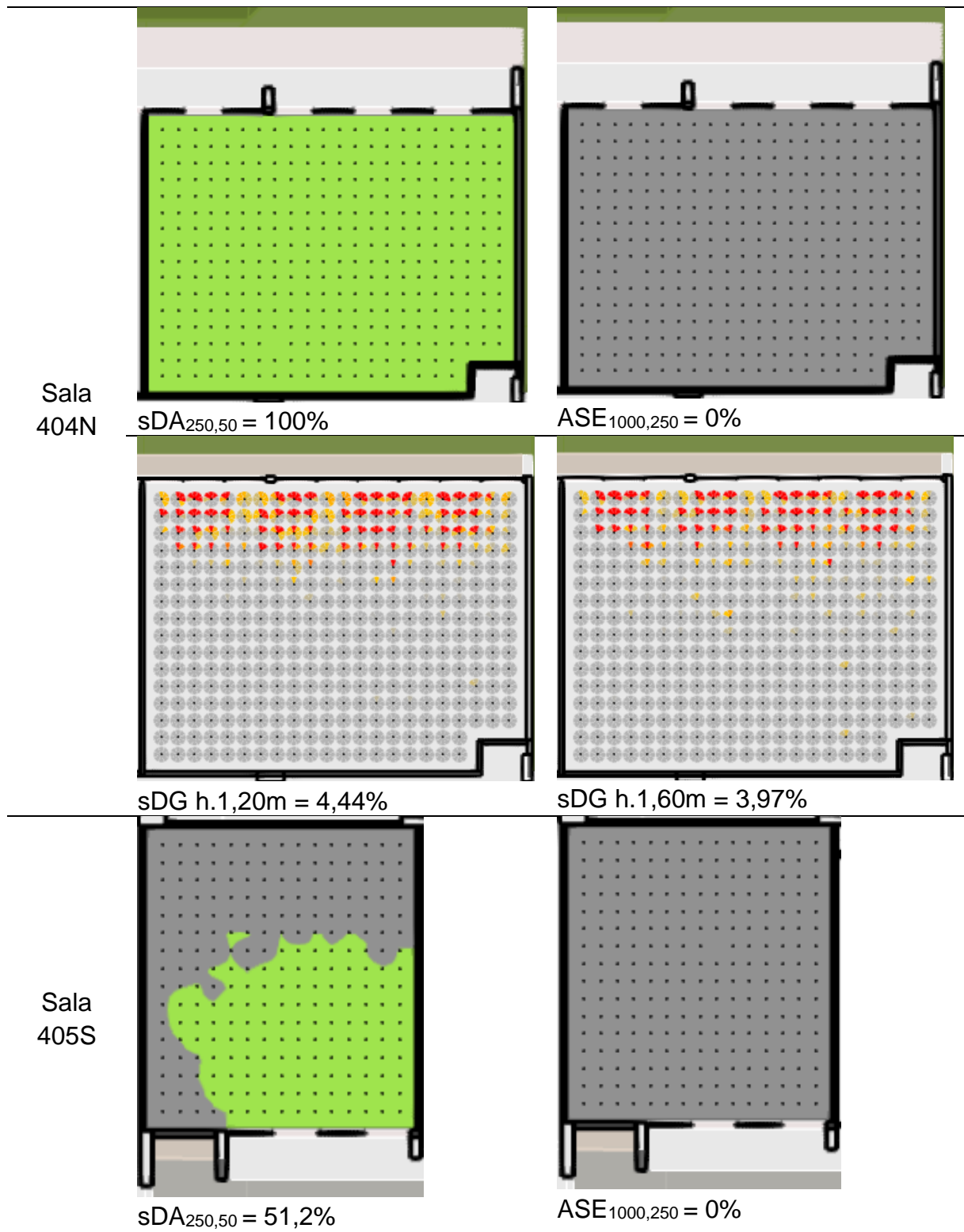
sDG h.1,20m = 2,71%

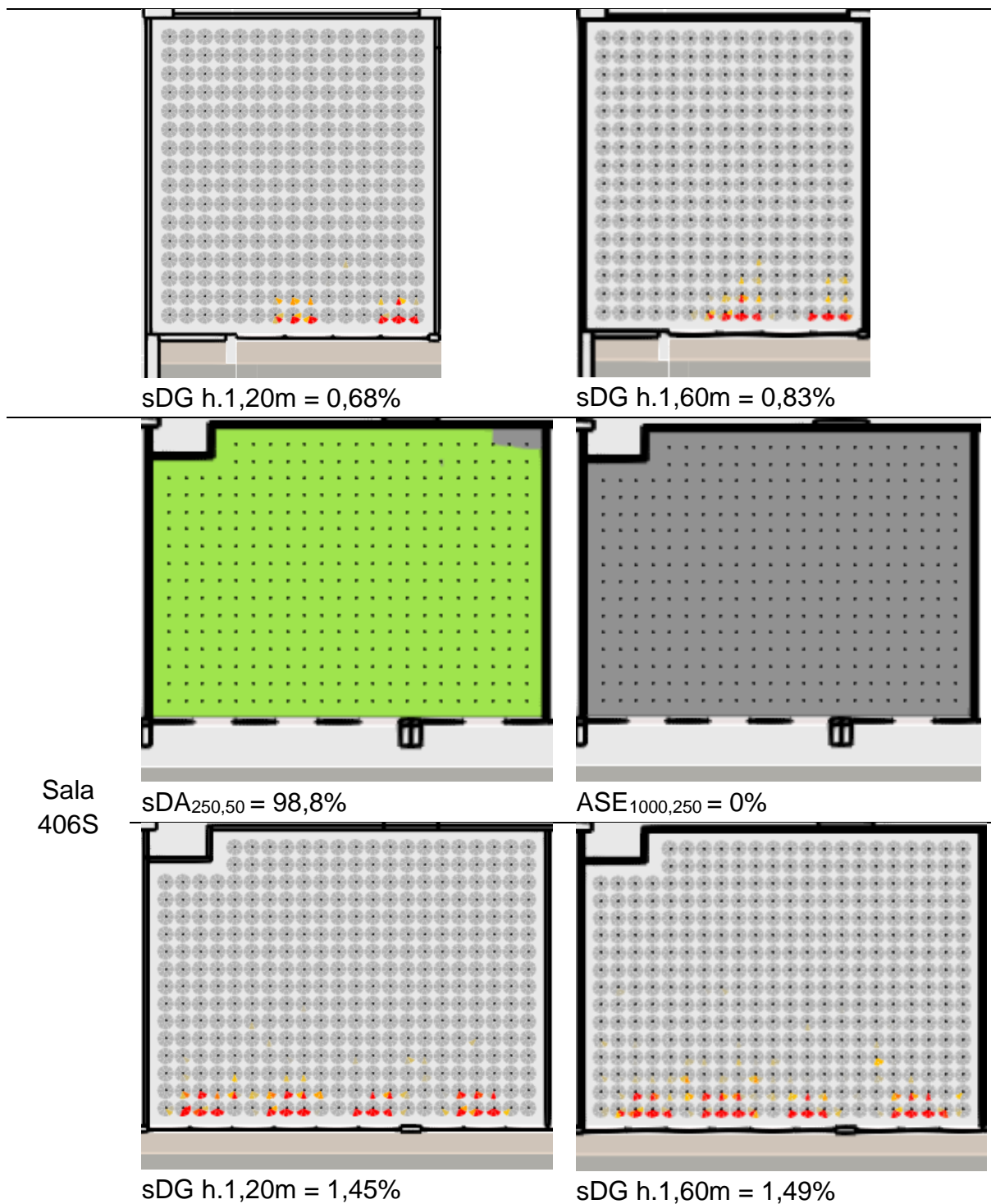


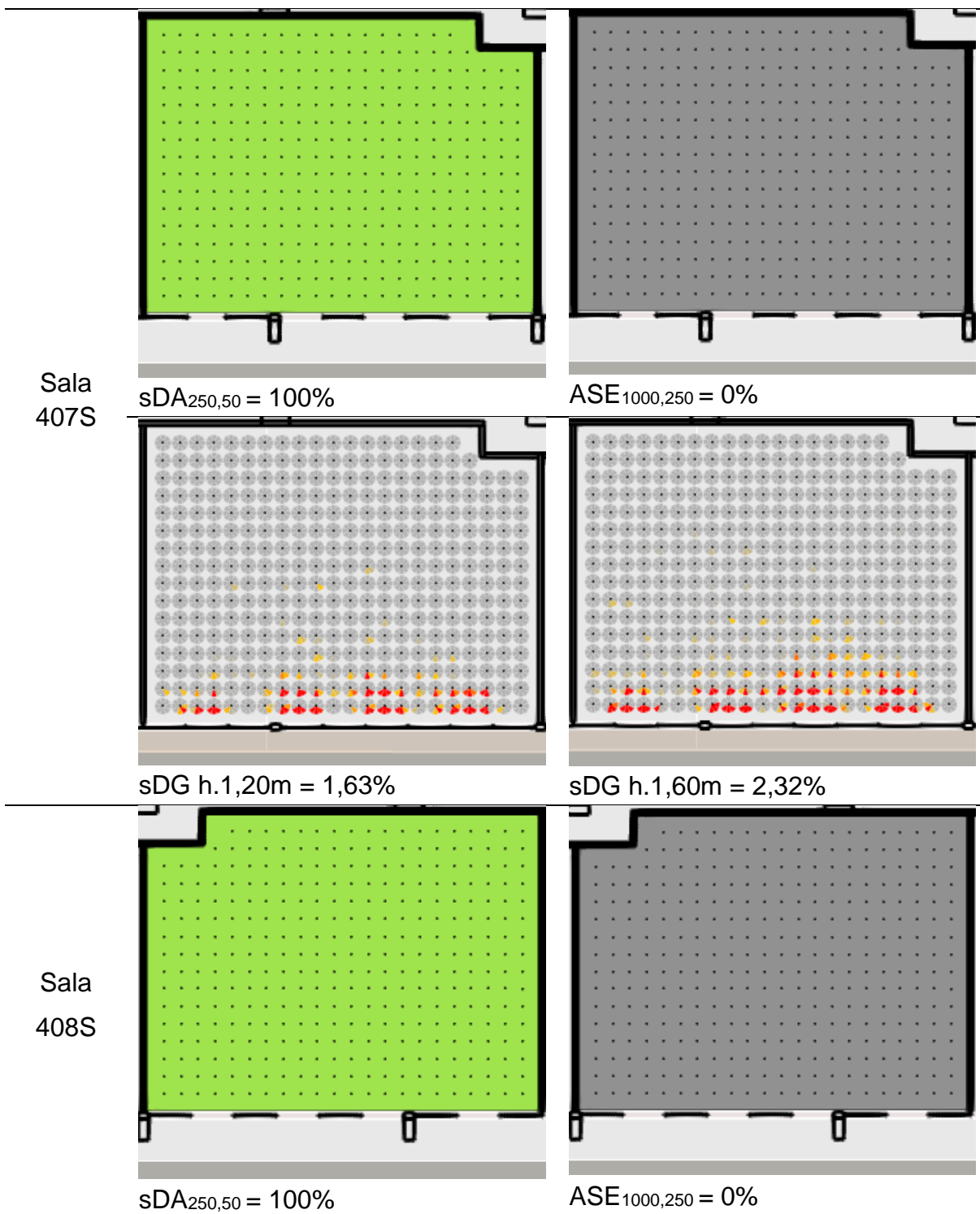
sDG h.1,60m = 3,83%

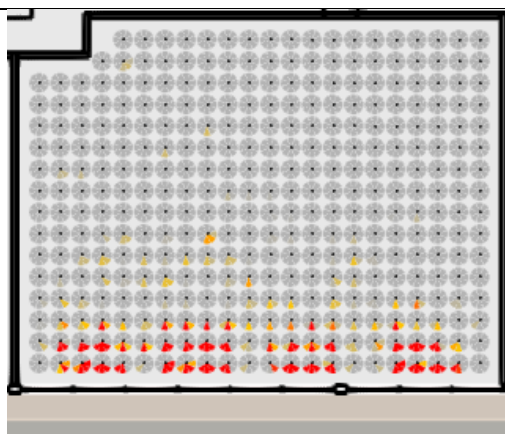




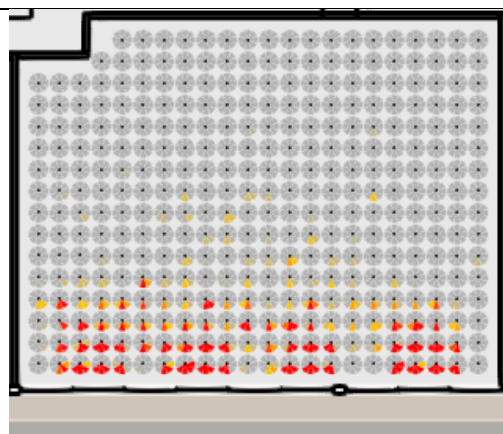




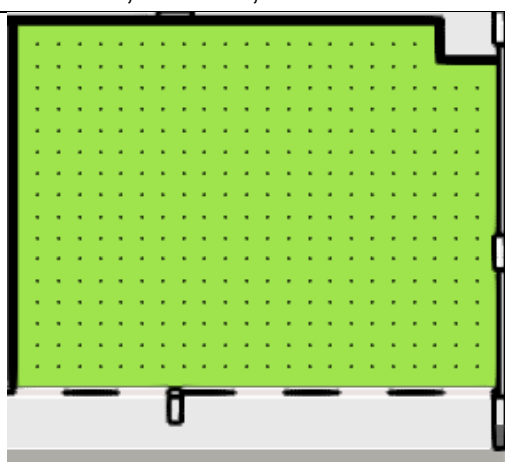




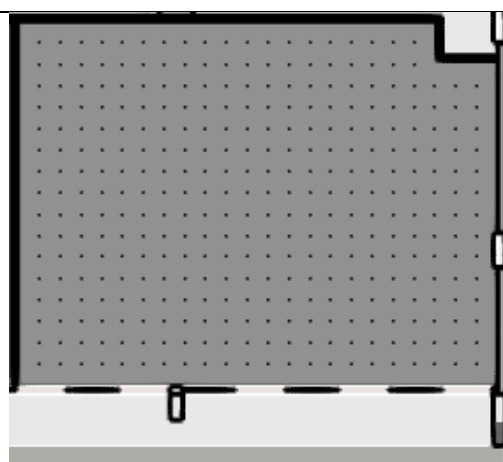
sDG h.1,20m = 2,68%



sDG h.1,60m = 3,33%

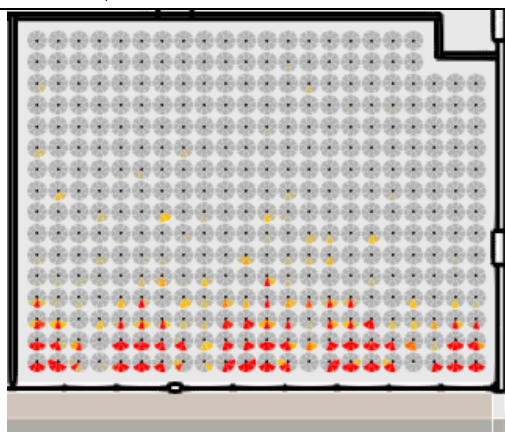


SDA_{250,50} = 100%

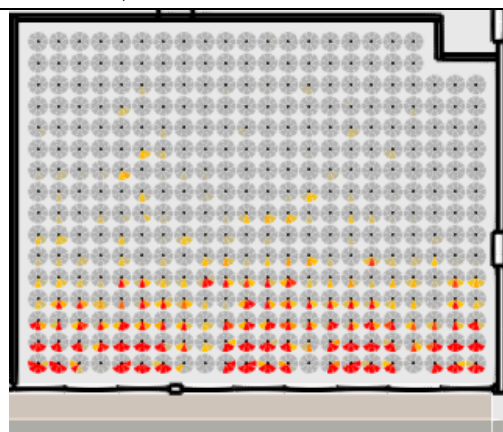


ASE_{1000,250} = 0%

Sala
409S

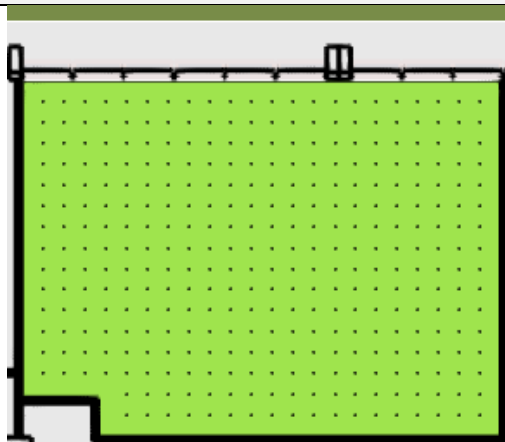


sDG h.1,20m = 3,72%

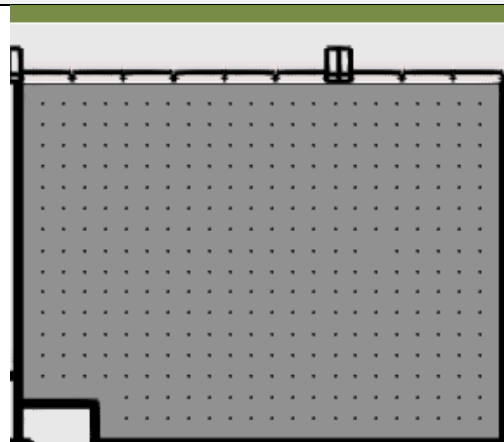


sDG h.1,60m = 4,88%

Condição 5: vidro das janelas com película, com demais elementos de proteção solar, folhas das janelas fechadas e bandeiras abertas

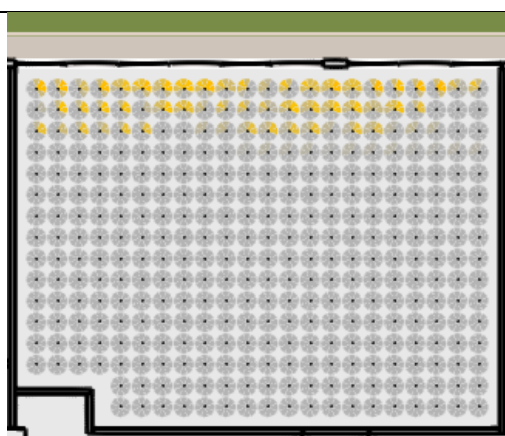


Sala 201N $sDA_{250,50} = 87,21\%$

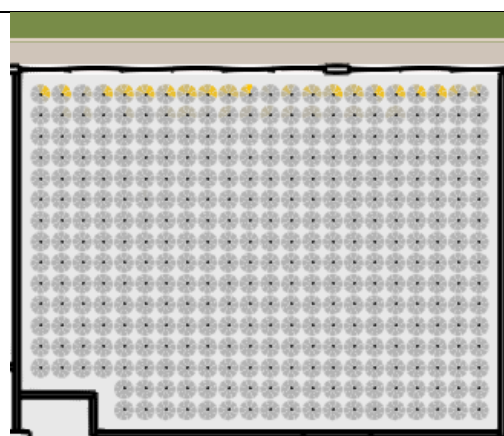


$ASE_{1000,250} = 0\%$

Sala 201N

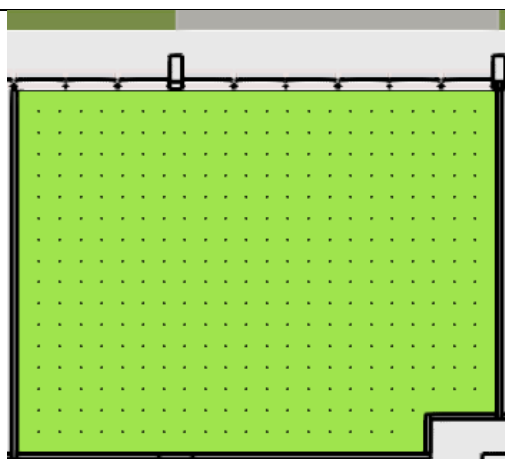


$sDG_{h.1,20m} = 0\%$

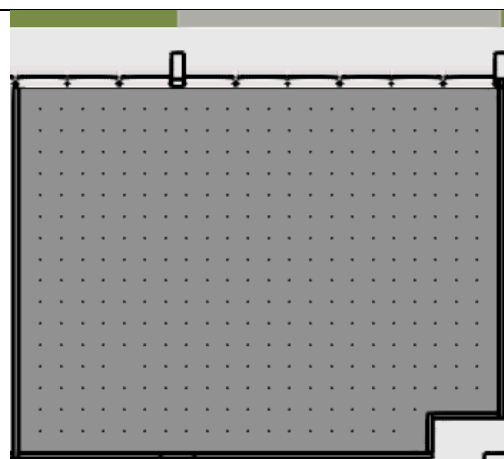


$sDG_{h.1,60m} = 0\%$

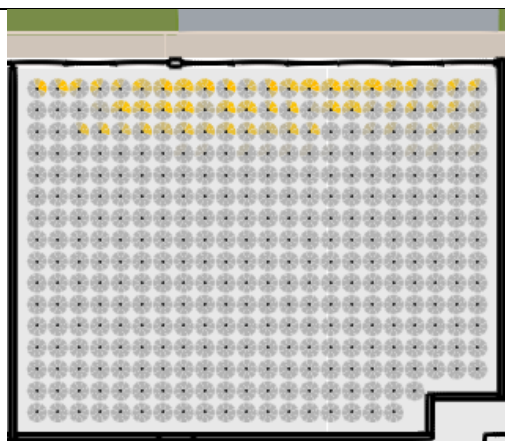
Sala 202N



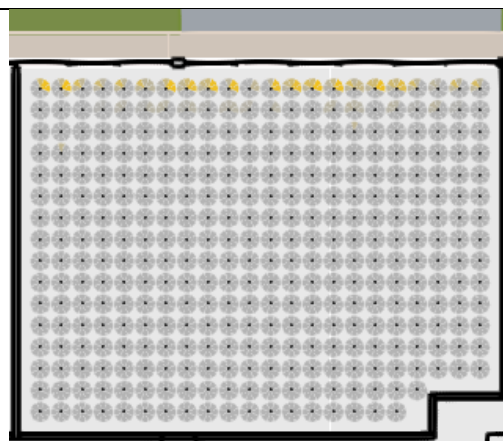
$sDA_{250,50} = 100\%$



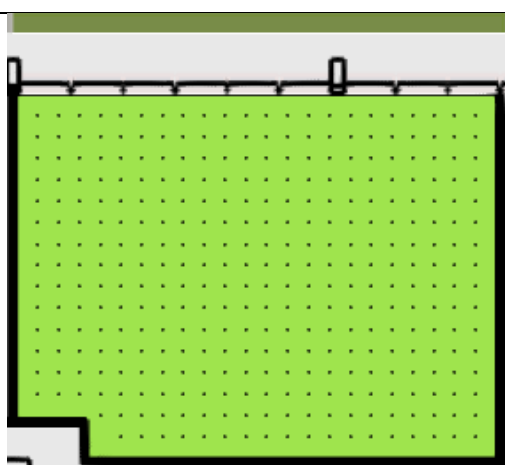
$ASE_{1000,250} = 0\%$



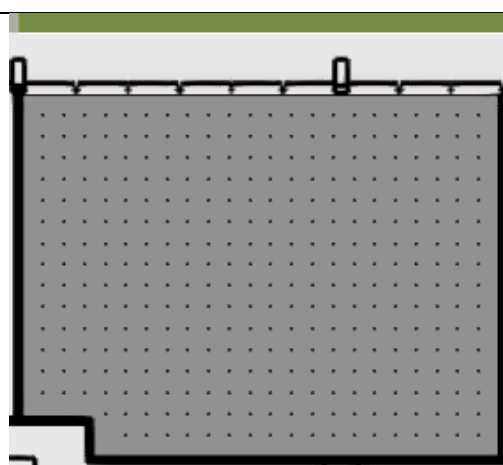
sDG h.1,20m = 0%



sDG h.1,60m = 0%

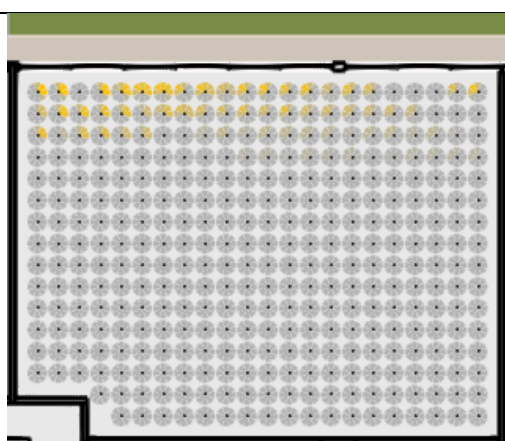


sDA_{250,50} = 100%

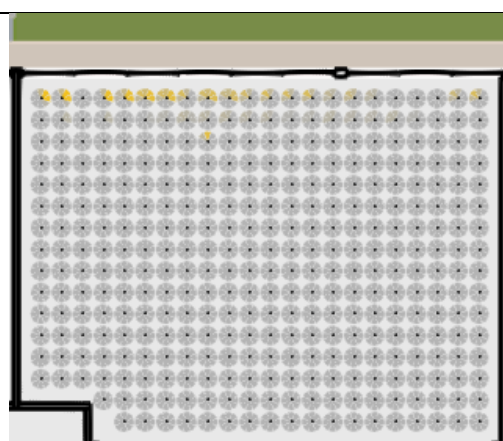


ASE_{1000,250} = 0%

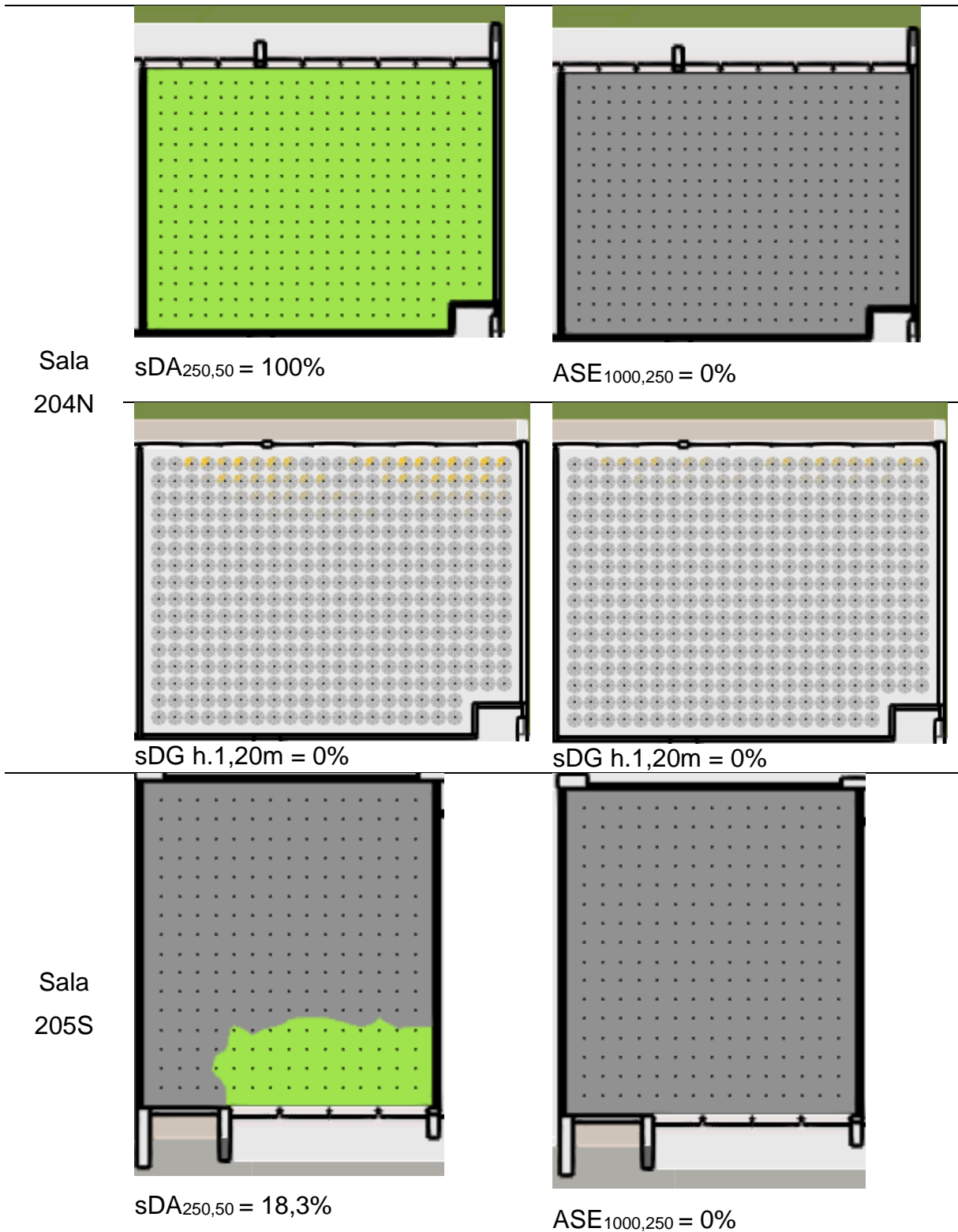
Sala
203N

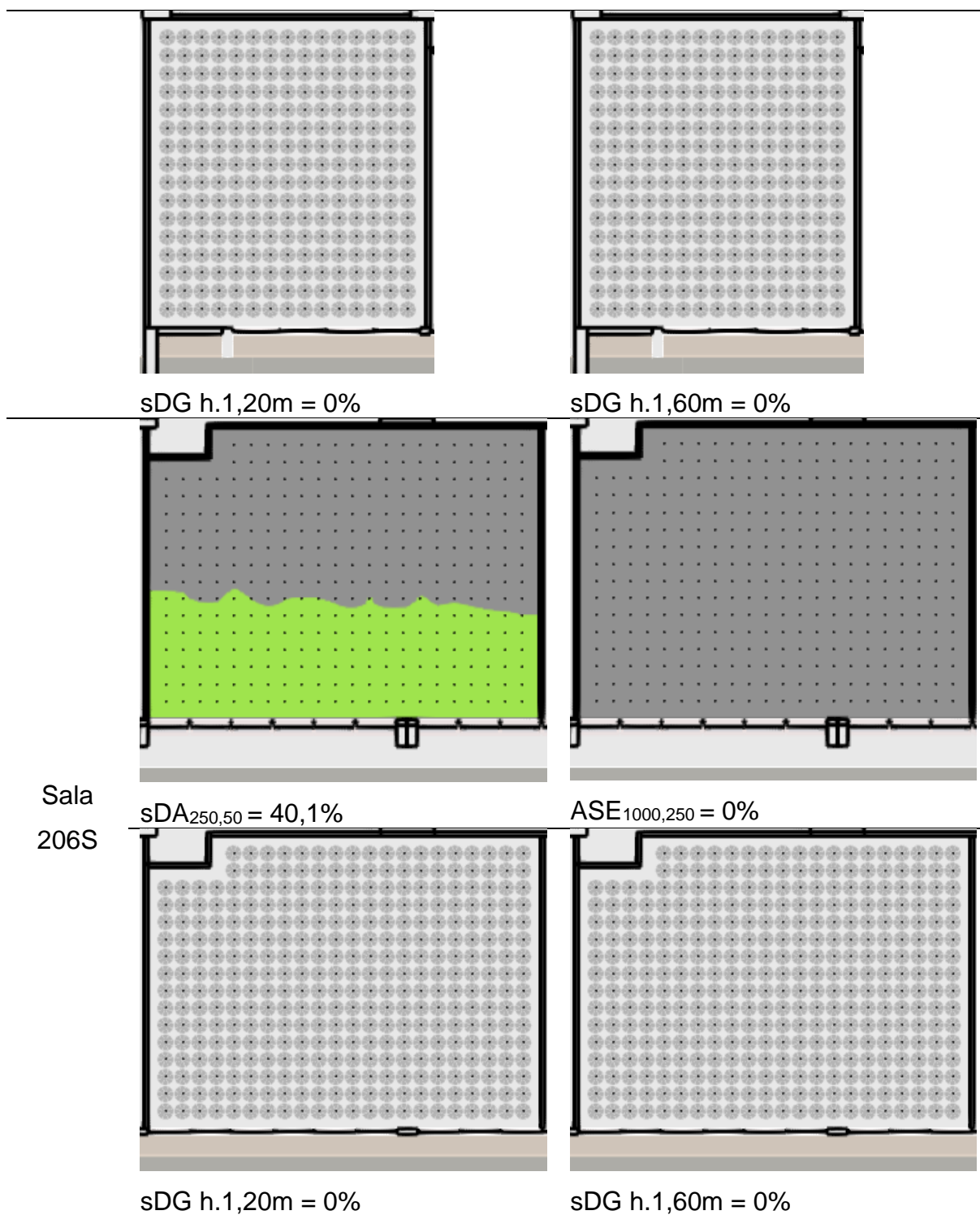


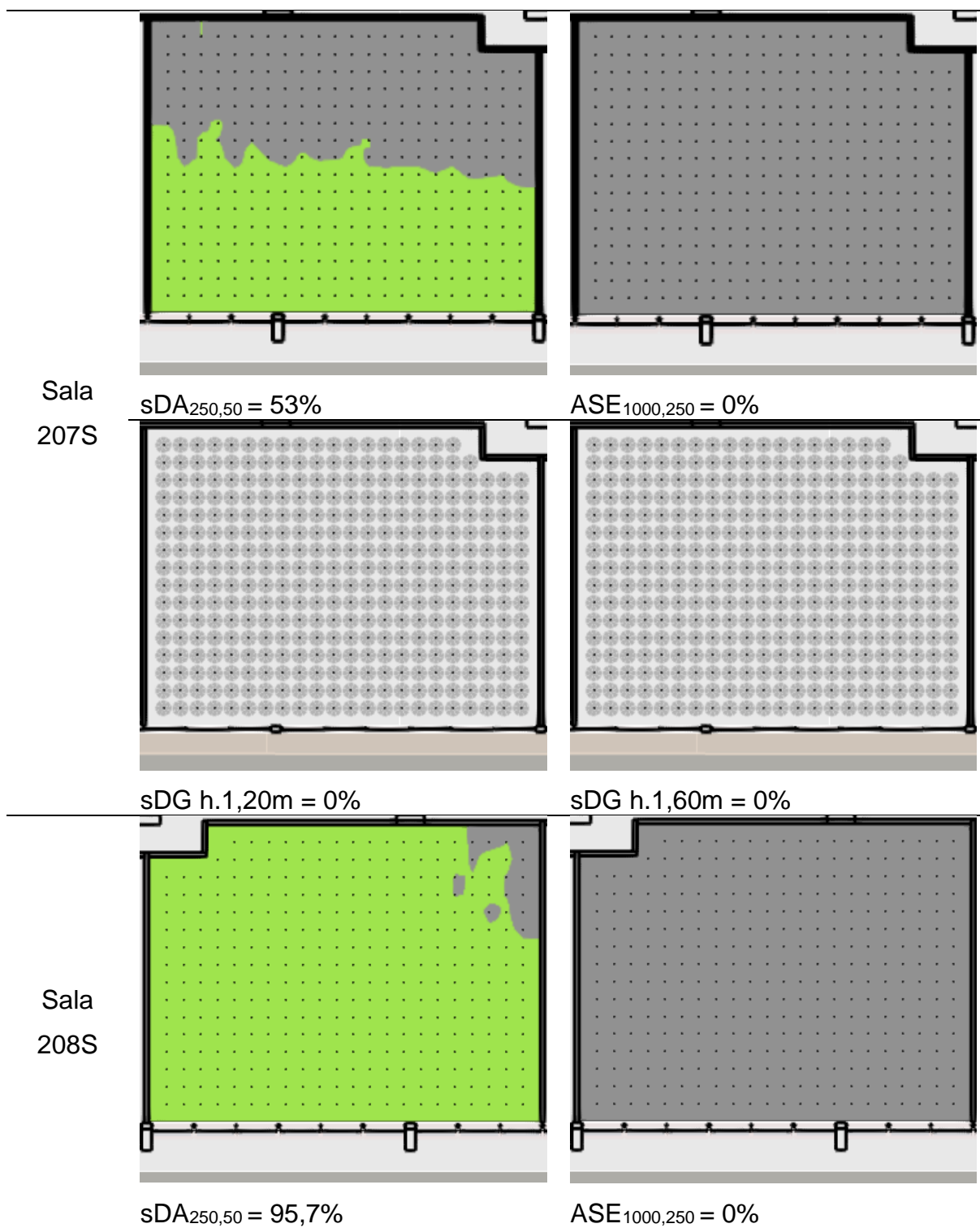
sDG h.1,20m = 0%

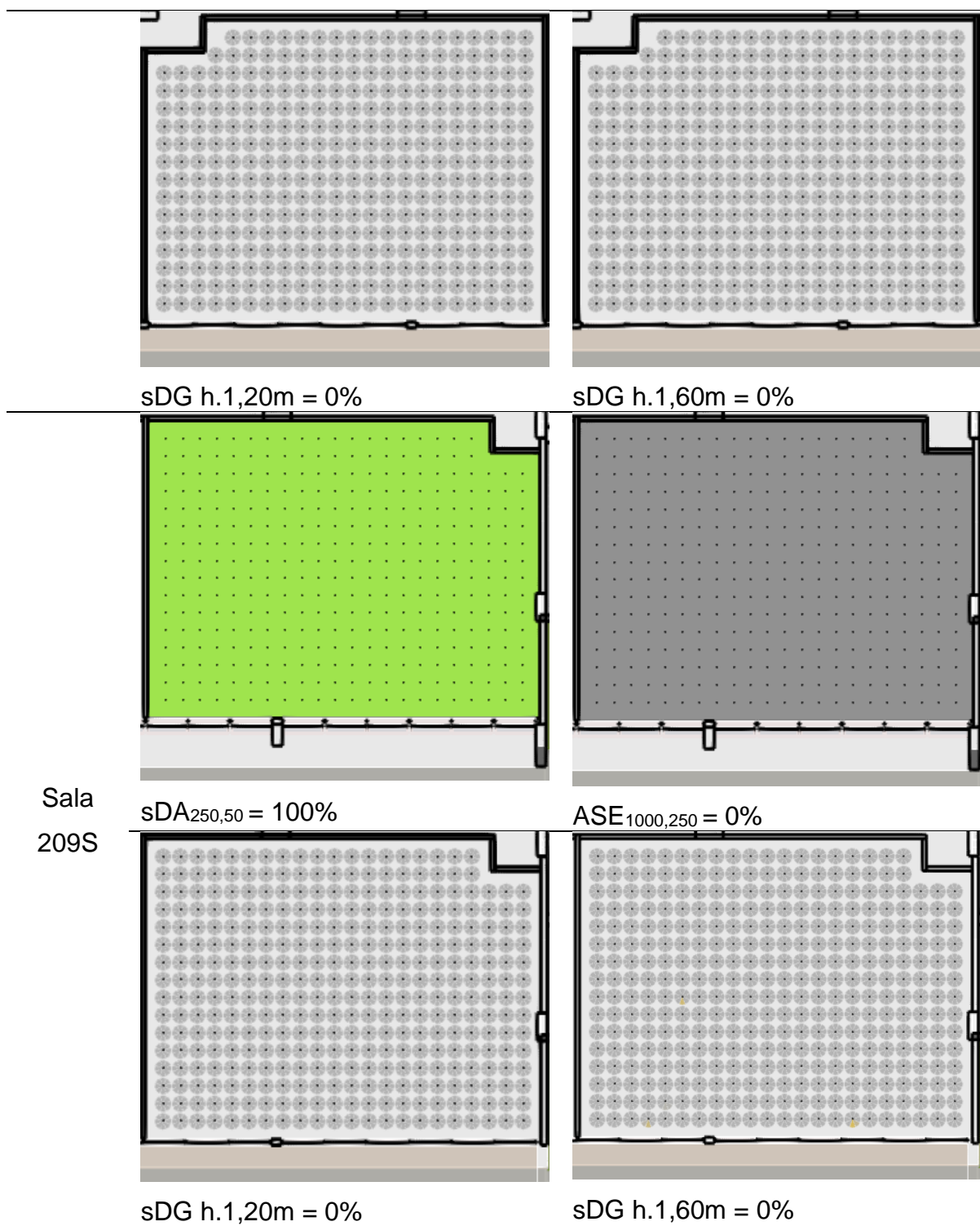


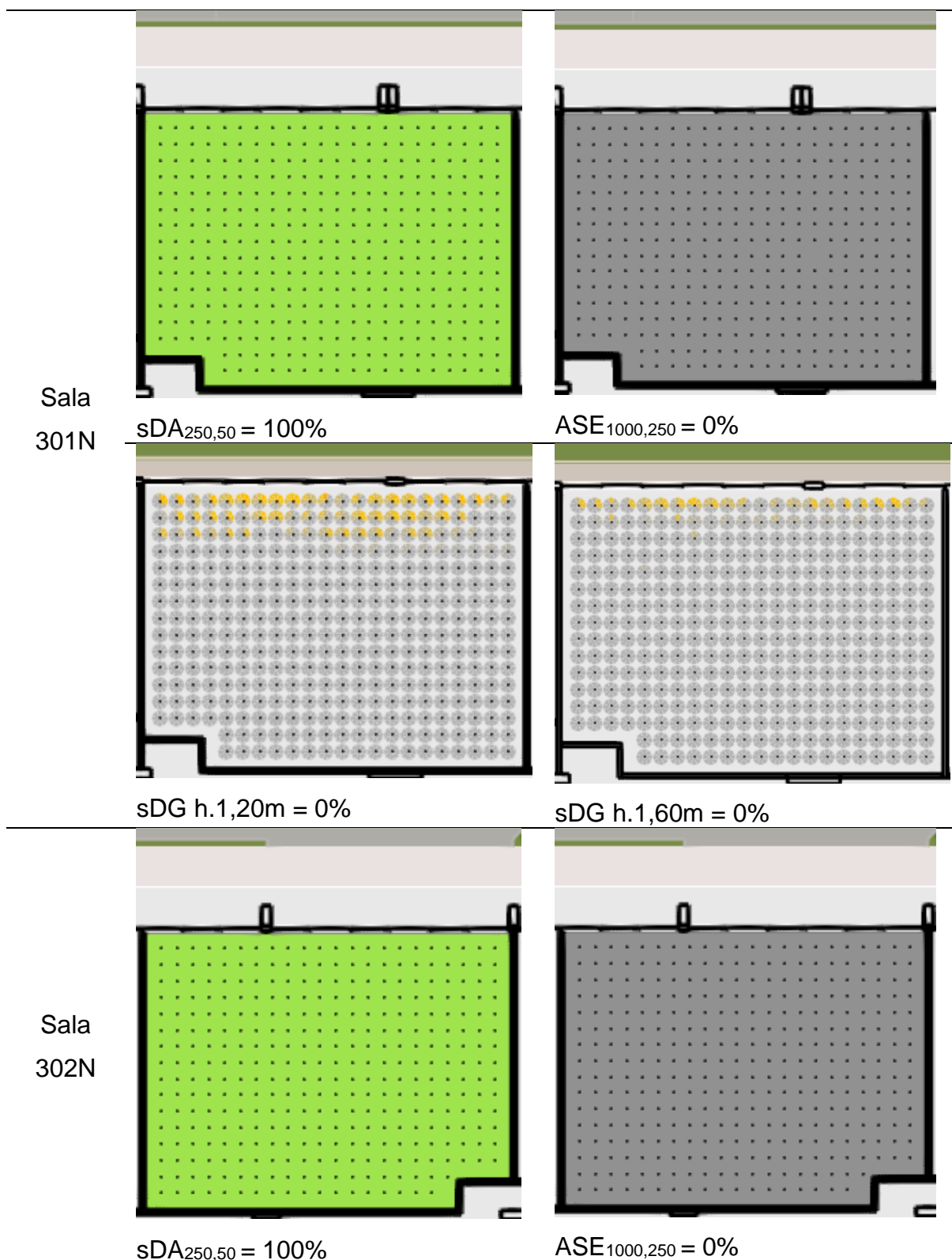
sDG h.1,60m = 0%

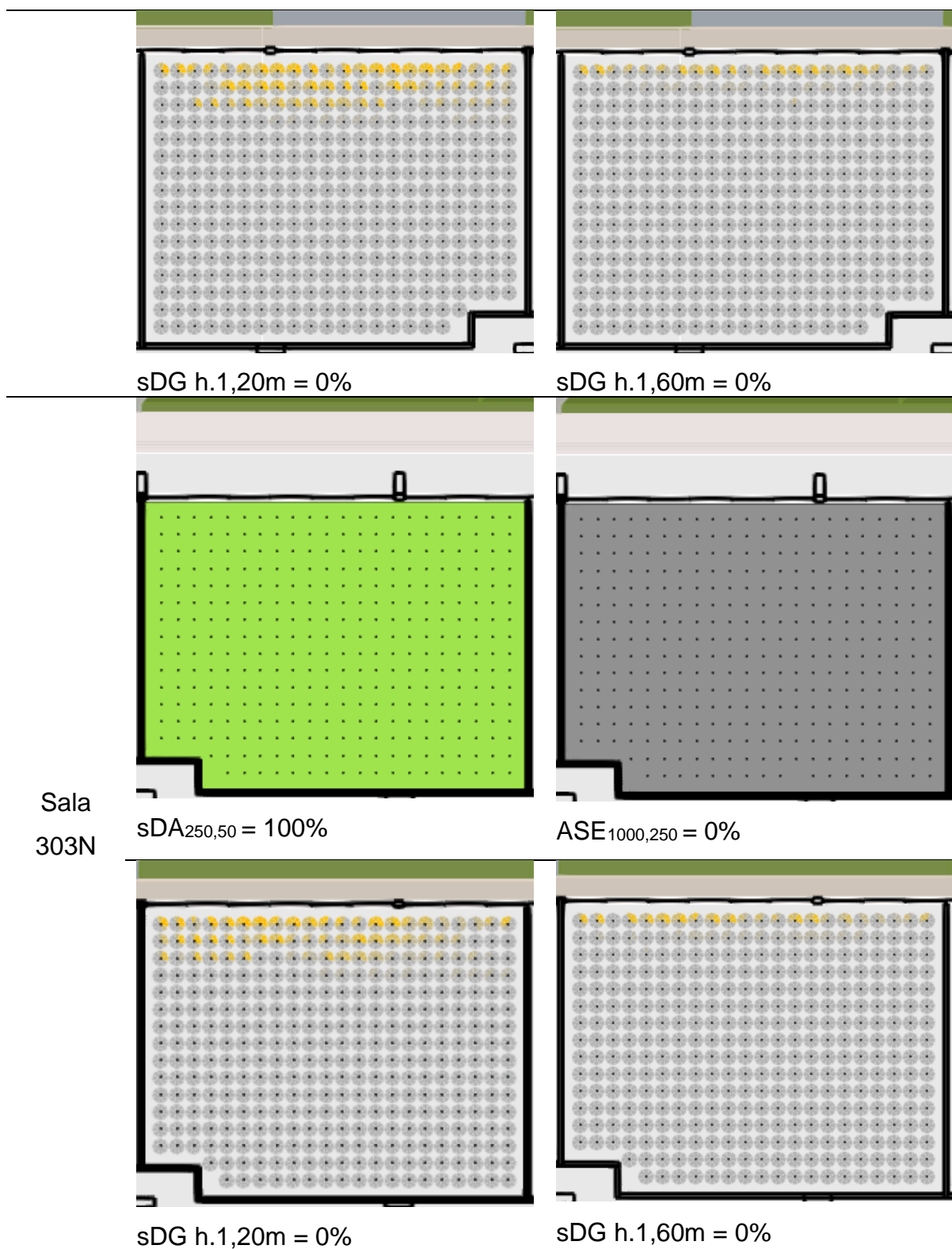


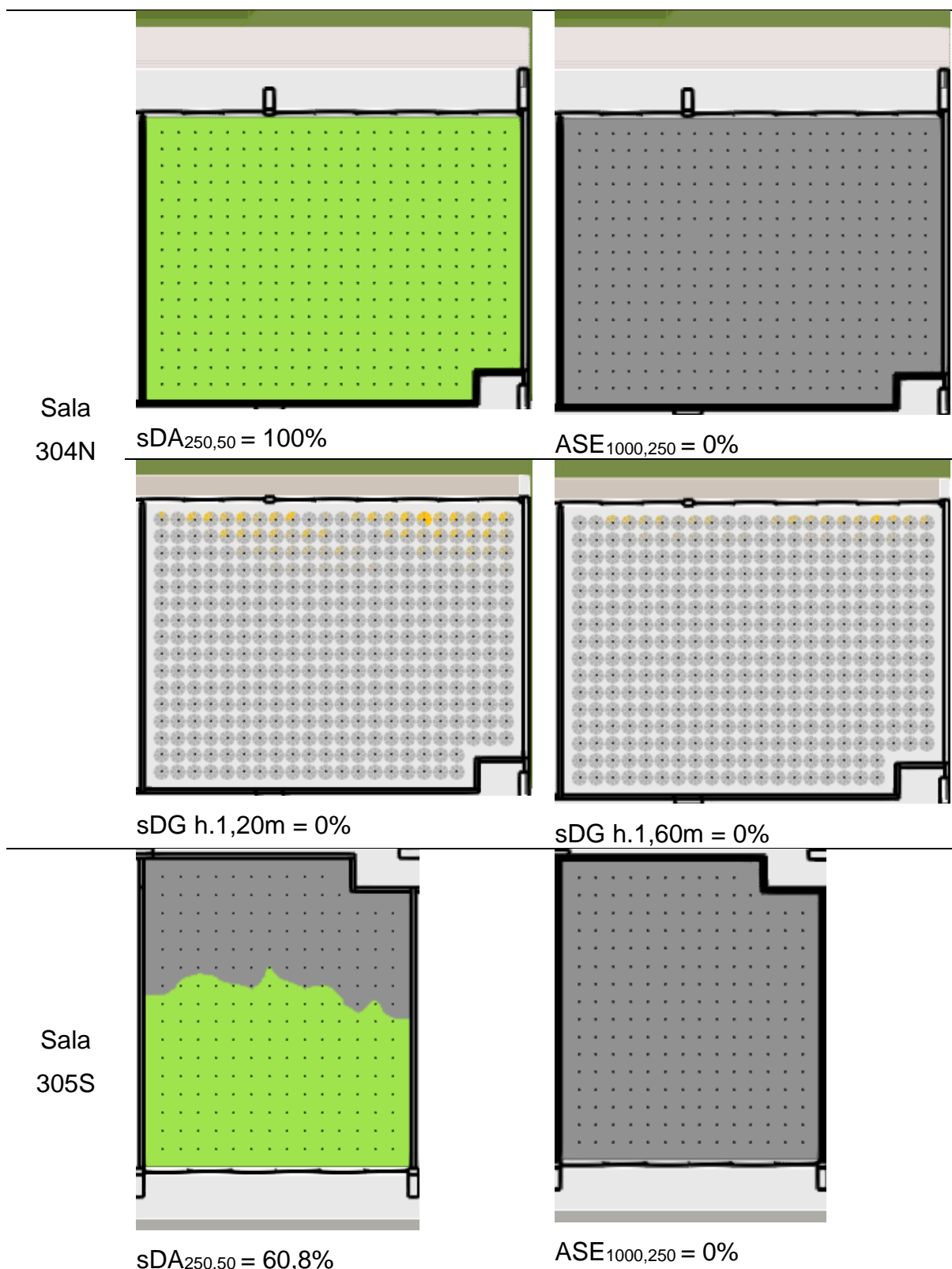


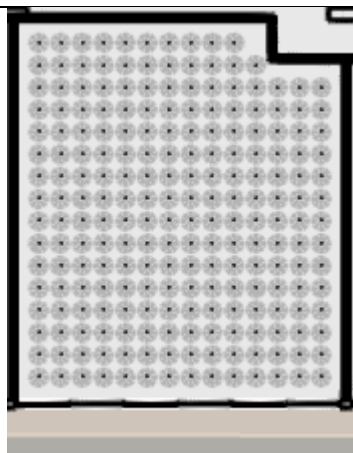




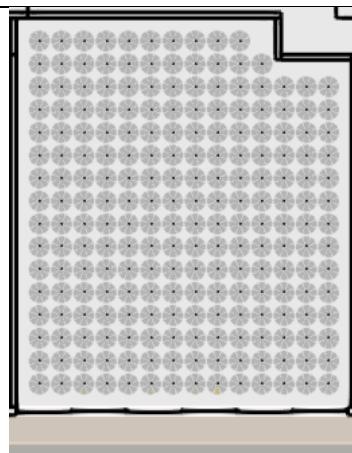




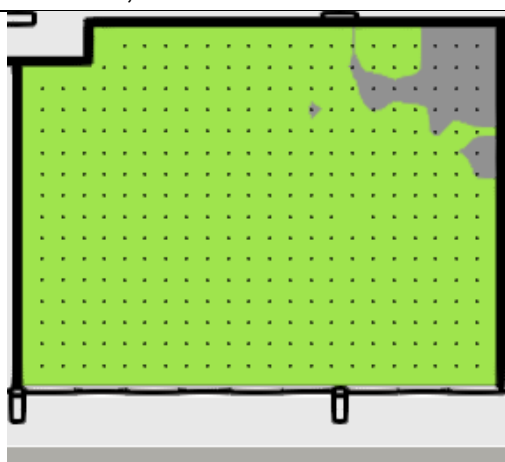




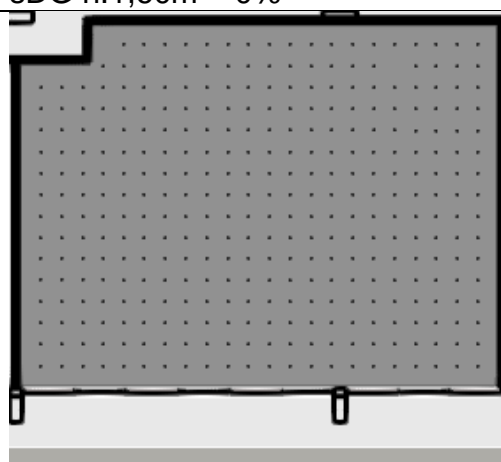
sDG h.1,20m = 0%



sDG h.1,60m = 0%

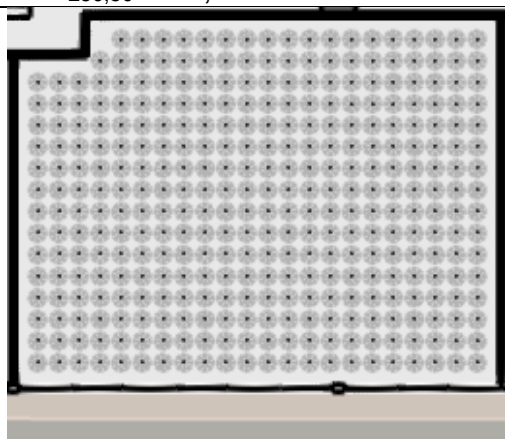


sDA_{250,50} = 93,9%

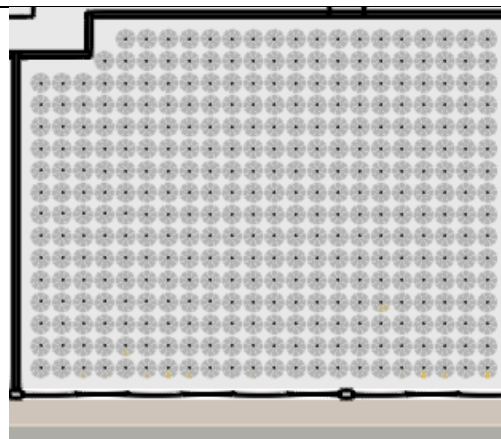


ASE_{1000,250} = 0%

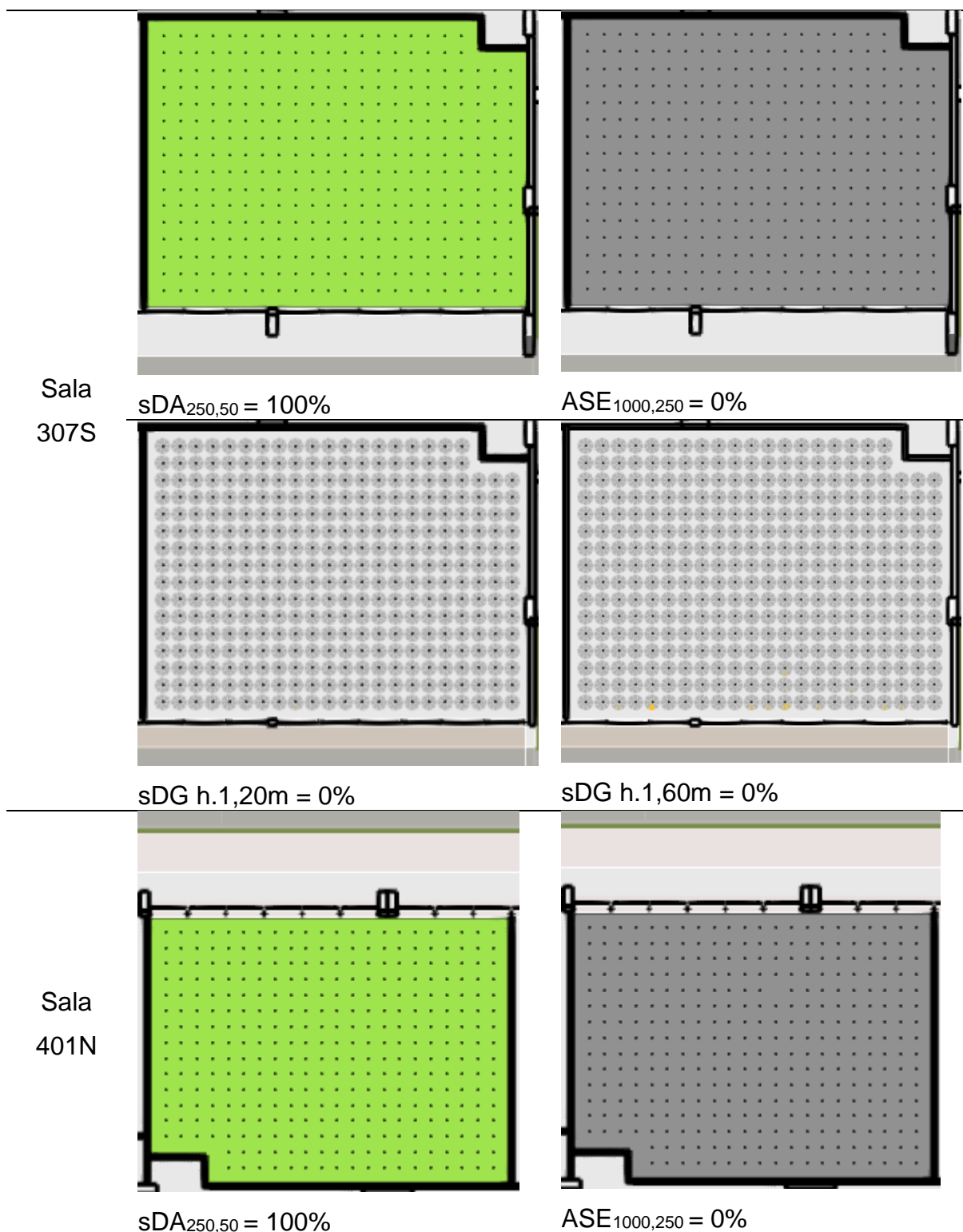
Sala
306S

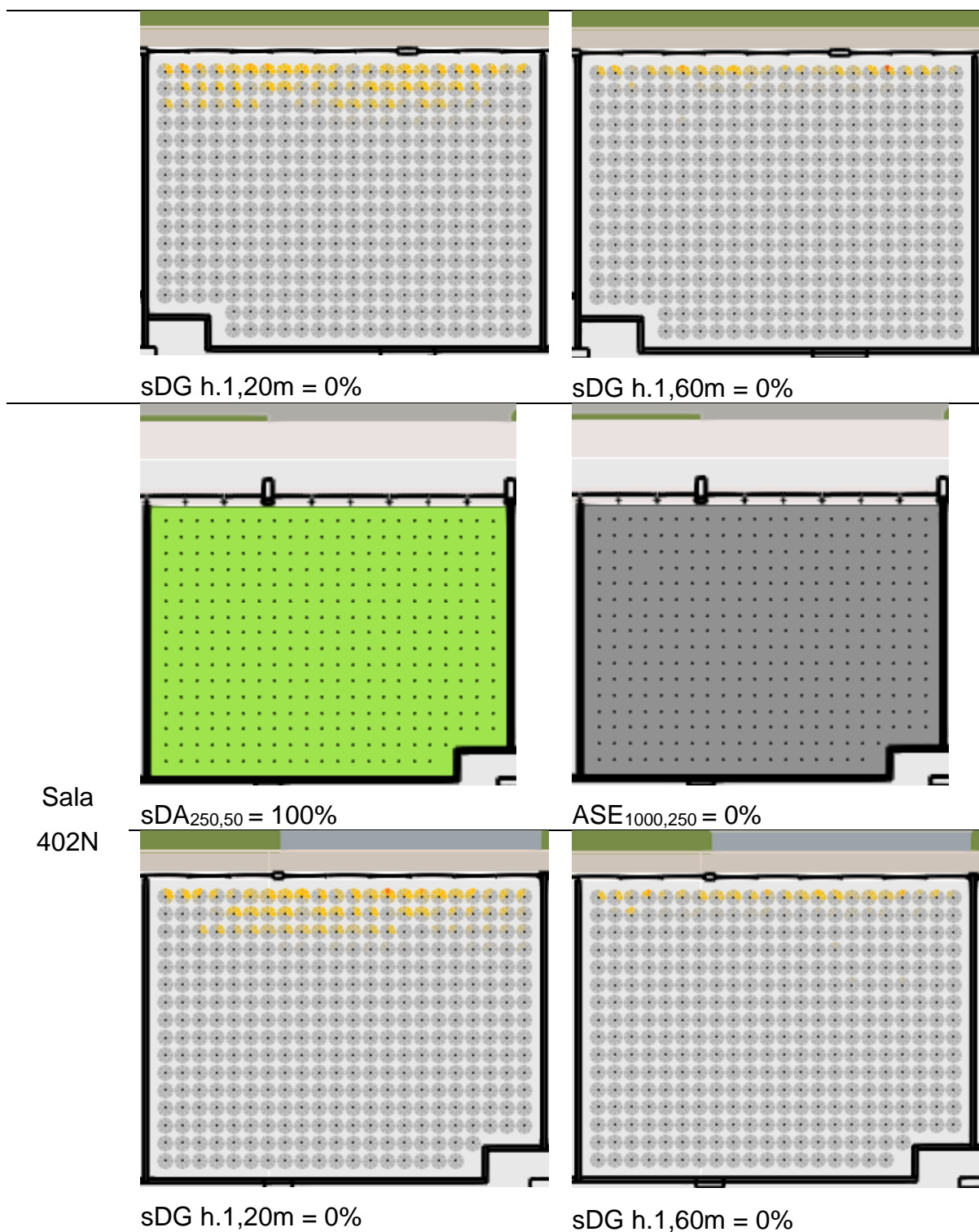


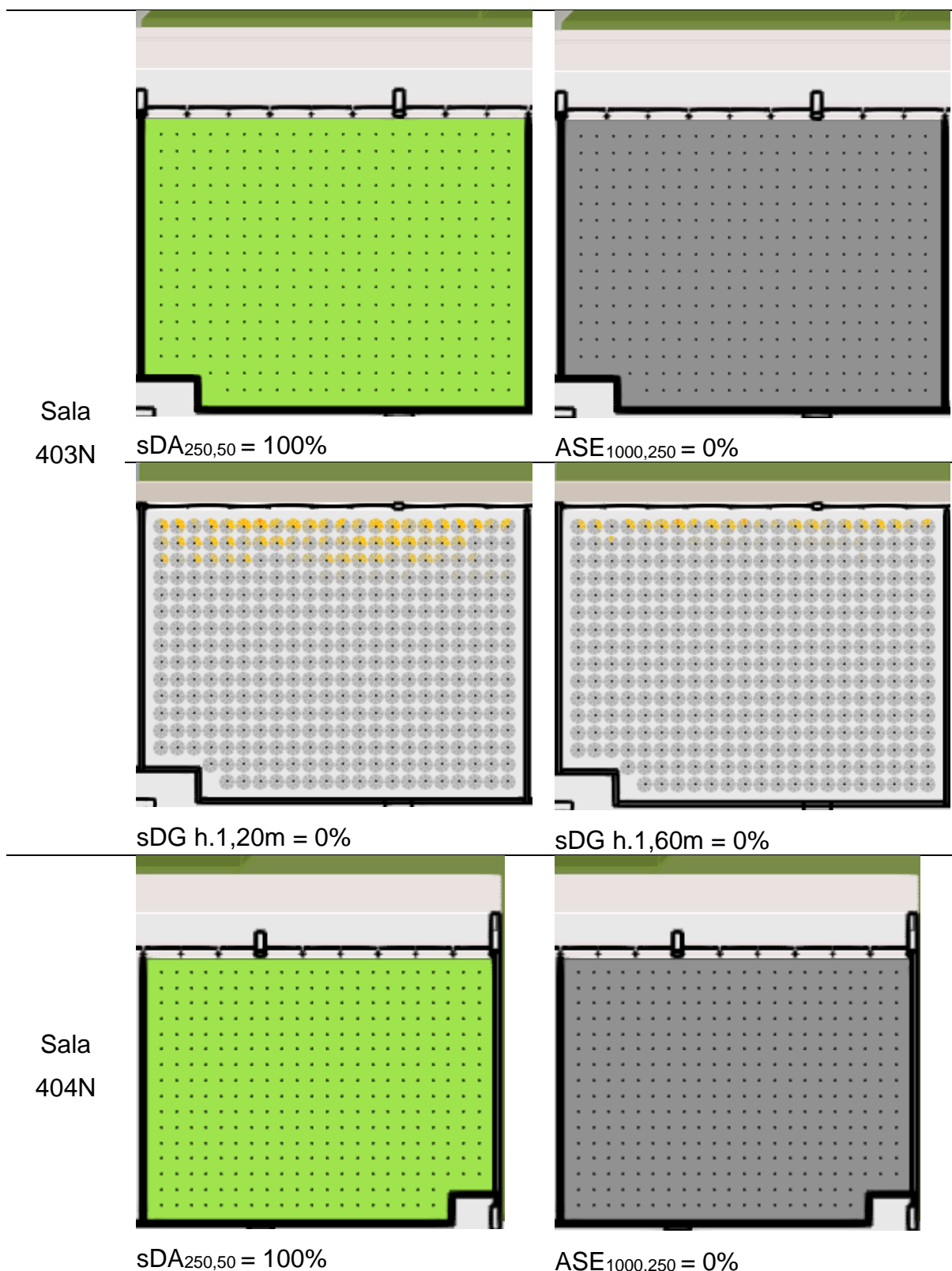
sDG h.1,20m = 0%

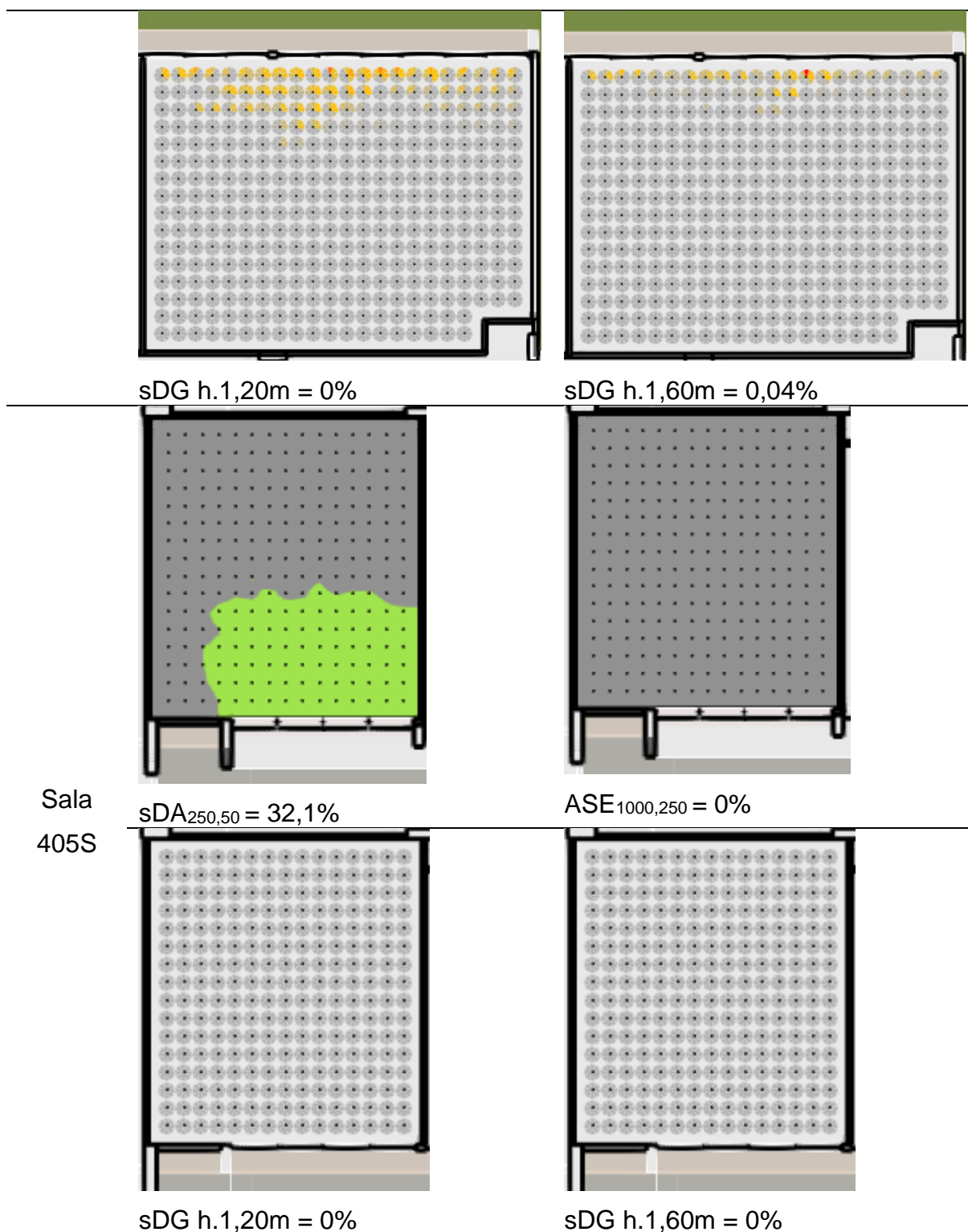


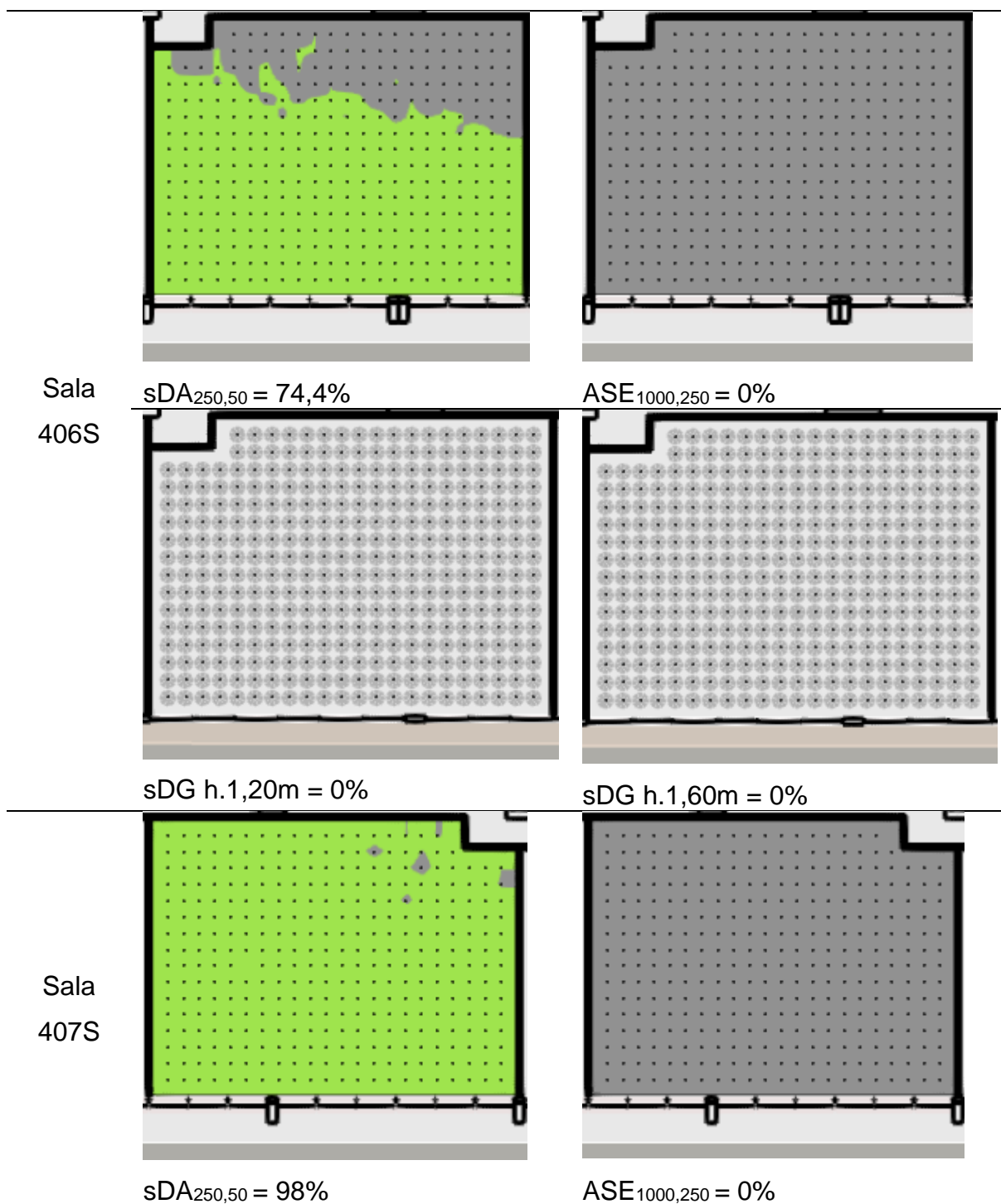
sDG h.1,60m = 0%

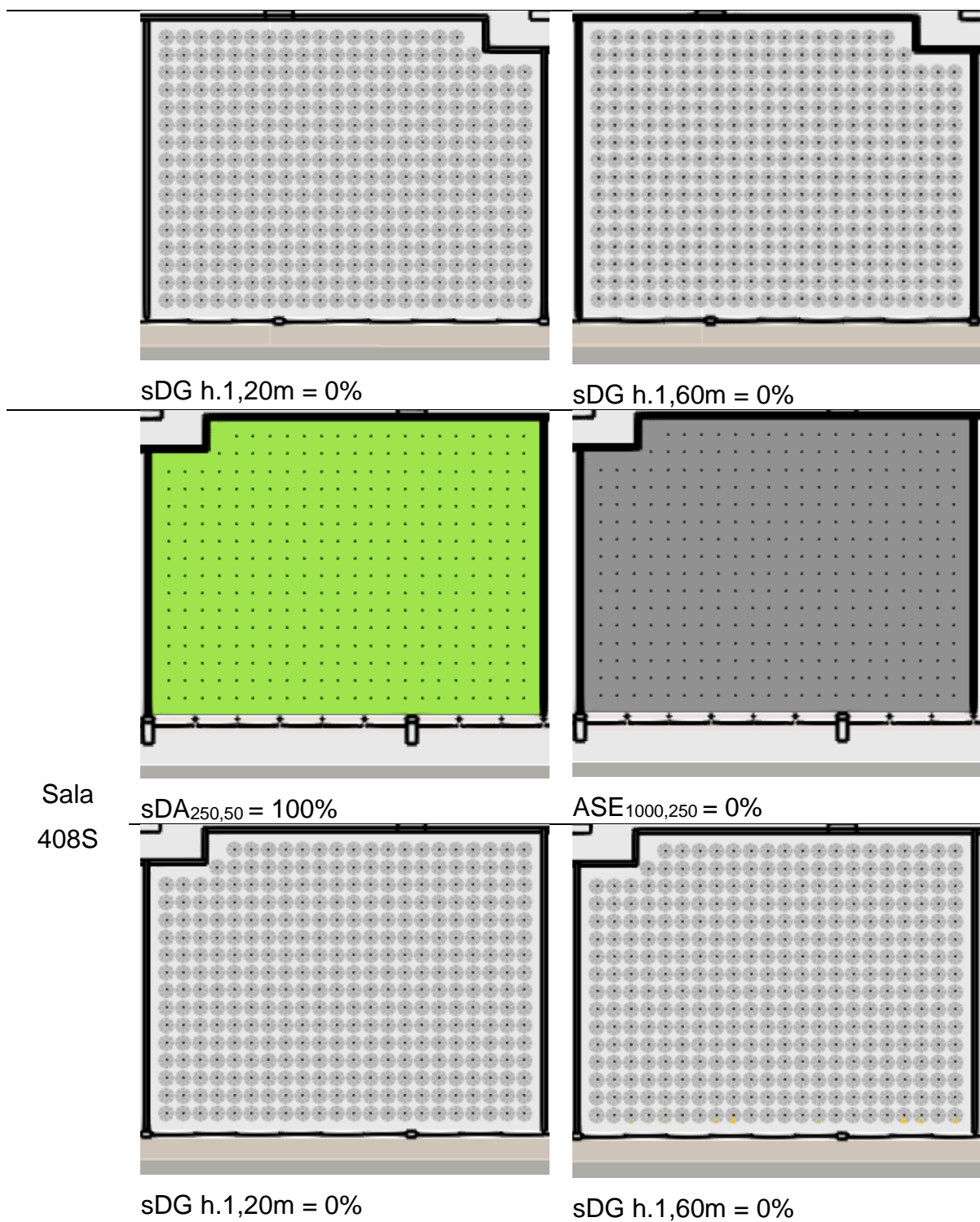


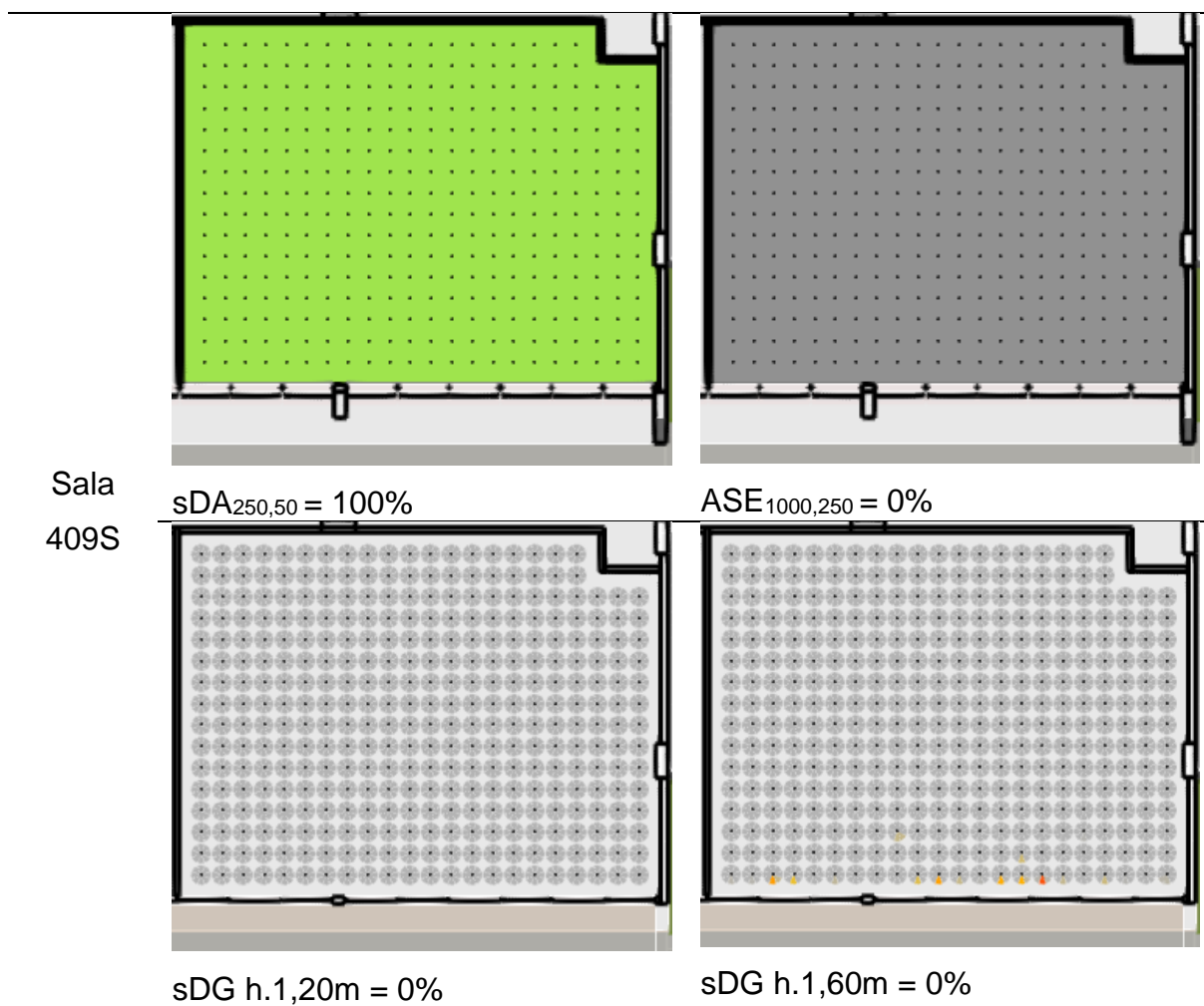












Fonte: Elaborado pela autora (2022).

6.2. APÊNDICE B – Luminâncias verticais no campo de visão do observador com ofuscamento

Tabela 20. Luminâncias verticais no campo visual do observador que experimenta o ofuscamento

VISTA 1

Condição 4 - Sala 409S

09/03 – 10h30

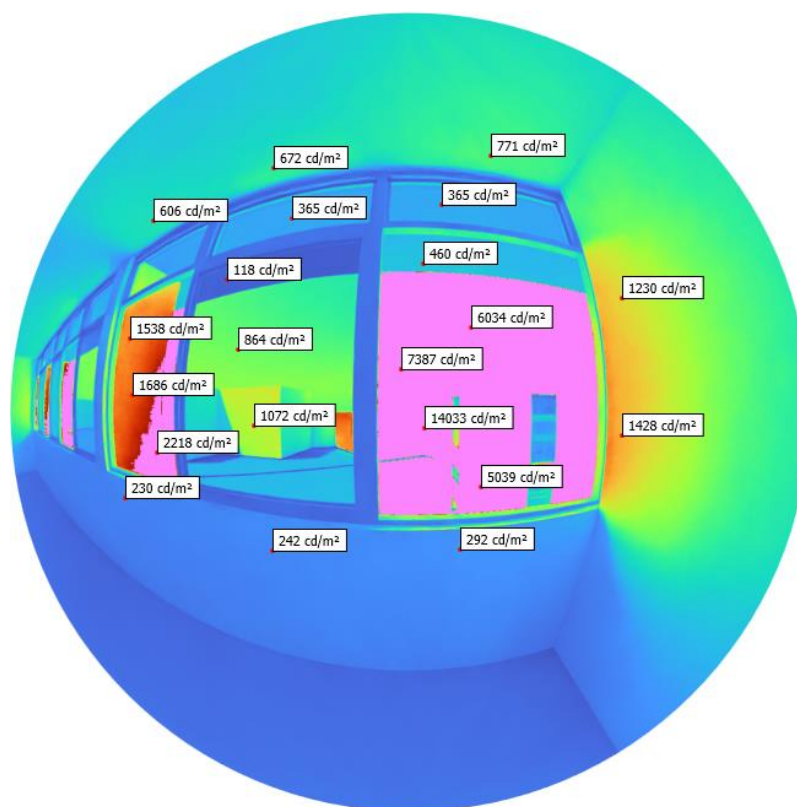
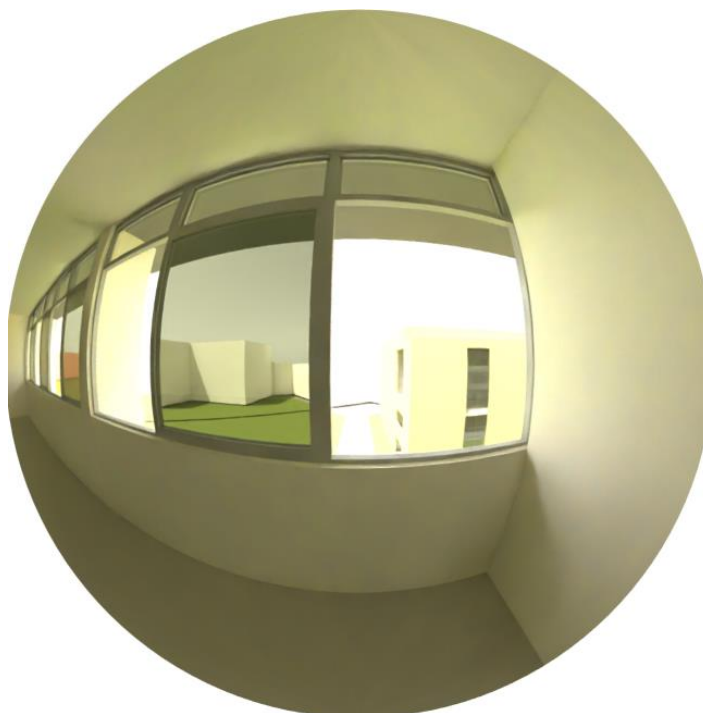
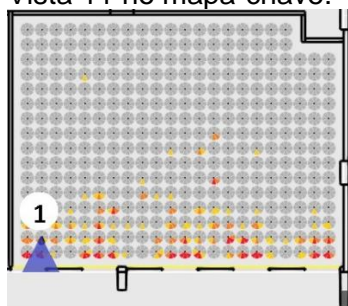
Vista do professor

Ev 4.980 lux

DGP 0,45 – intolerável

$h = 1,60\text{m}$

Vista 11 no mapa-chave:



VISTA 2

Condição 4 - Sala 404N

15/06 – 09h30

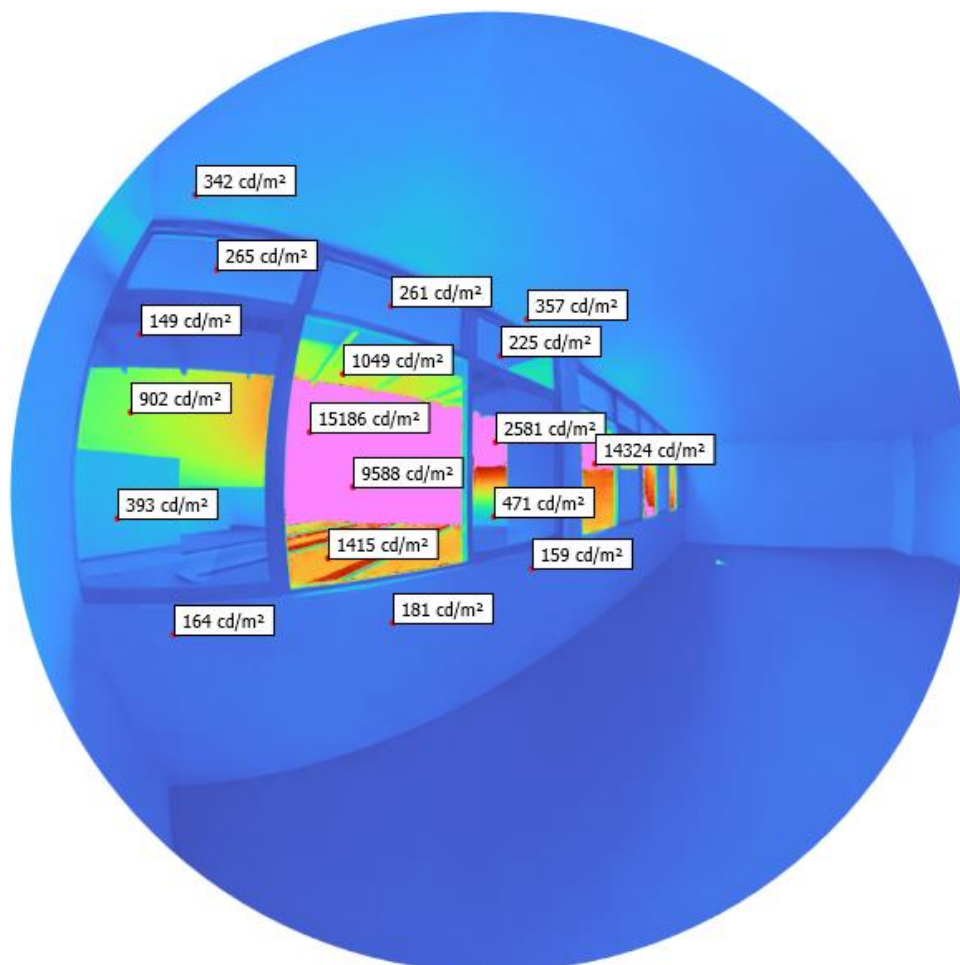
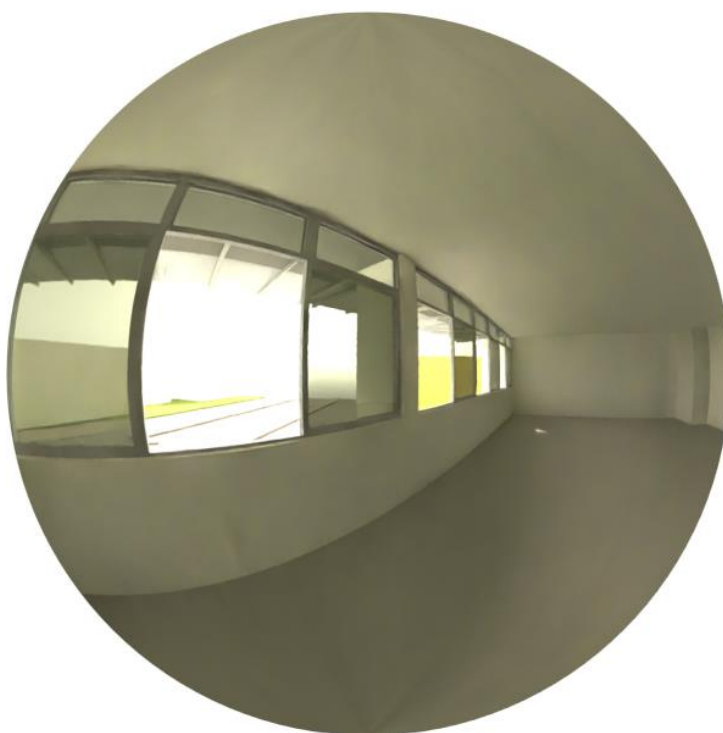
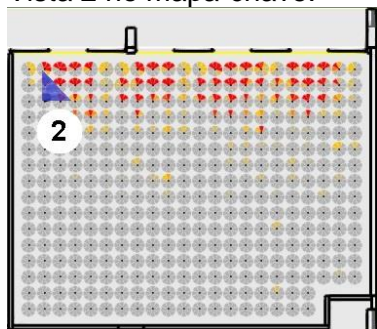
Vista do professor

Ev 4.250 lux

DGP 0,41 – perturbador

h = 1,60m

Vista 2 no mapa-chave:



VISTA 3

Condição 4 – 404N

28/05 – 11h30

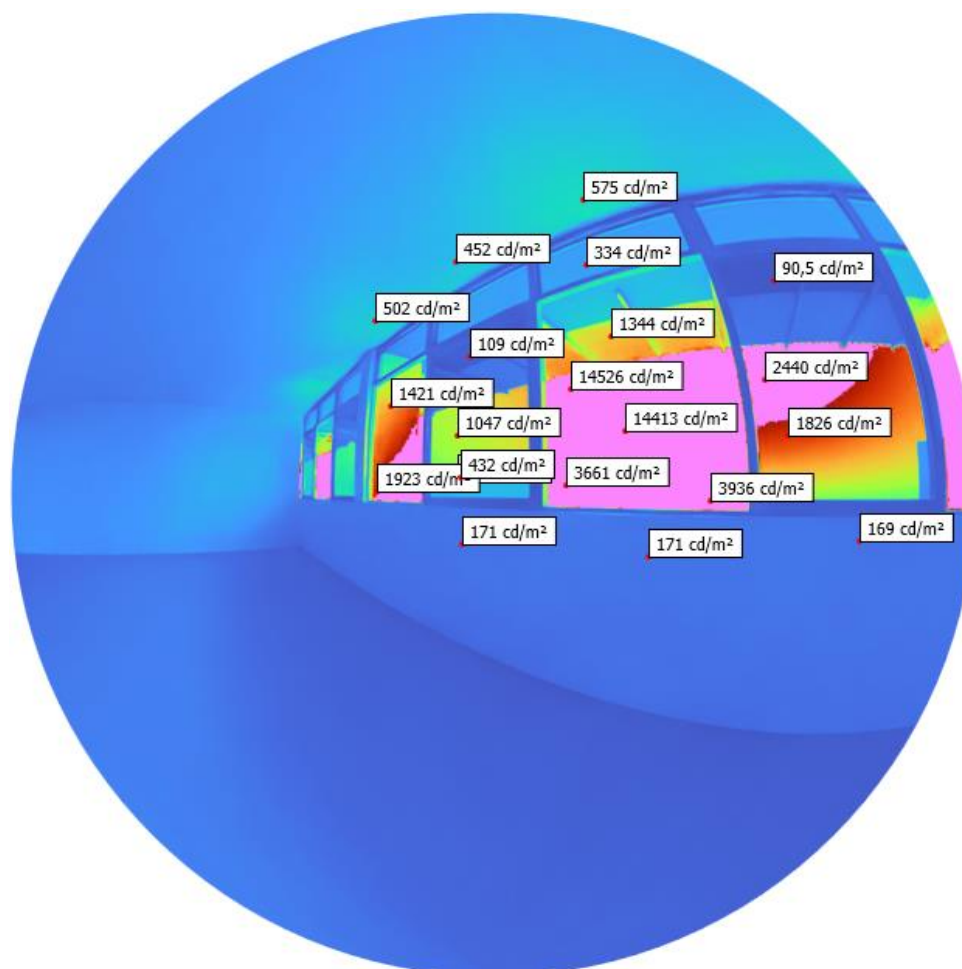
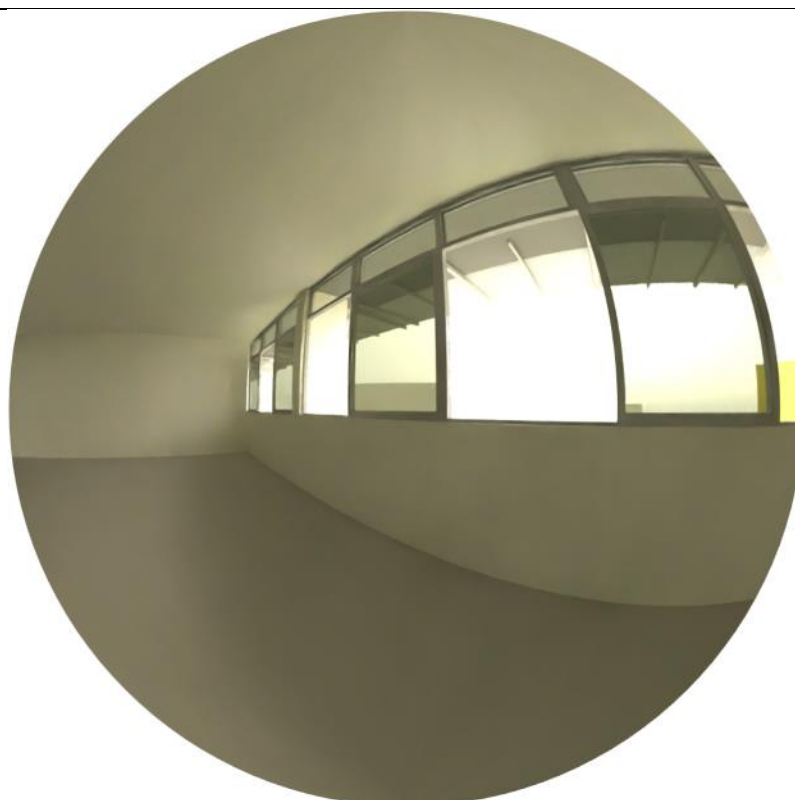
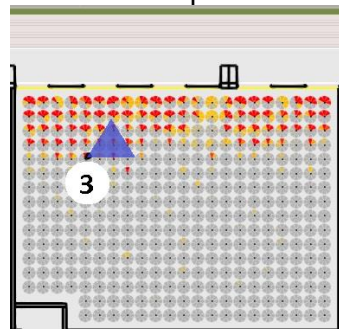
Vista do aluno

 $E_v = 4.173$

DGP = 0,40 – perturbador

 $h = 1,20\text{m}$

Vista 3 no mapa-chave:



VISTA 4

Condição 4 – 409S

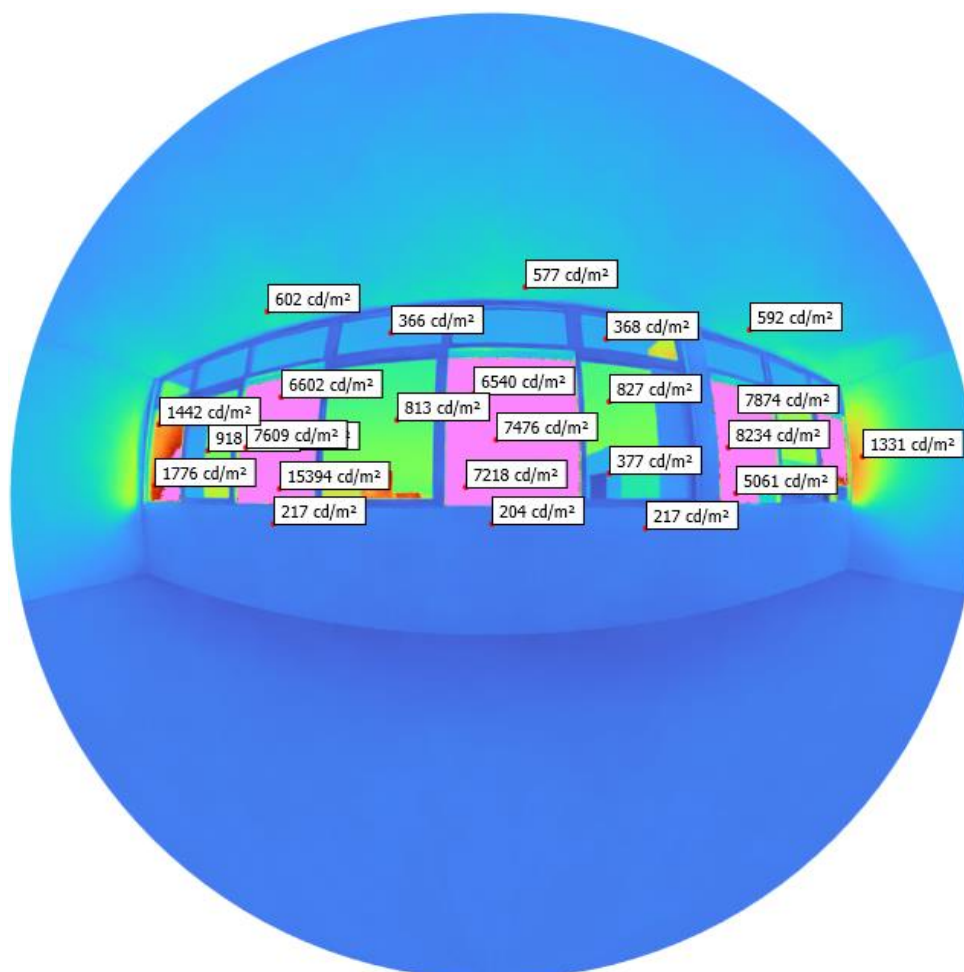
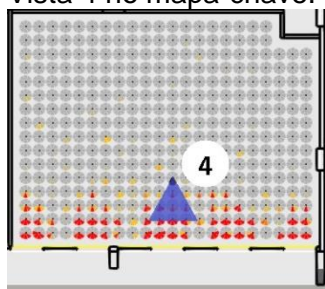
05/03 - 13h30

 $E_v = 5.436$

DGP = 0,48 – intolerável

 $h = 1,20\text{m}$

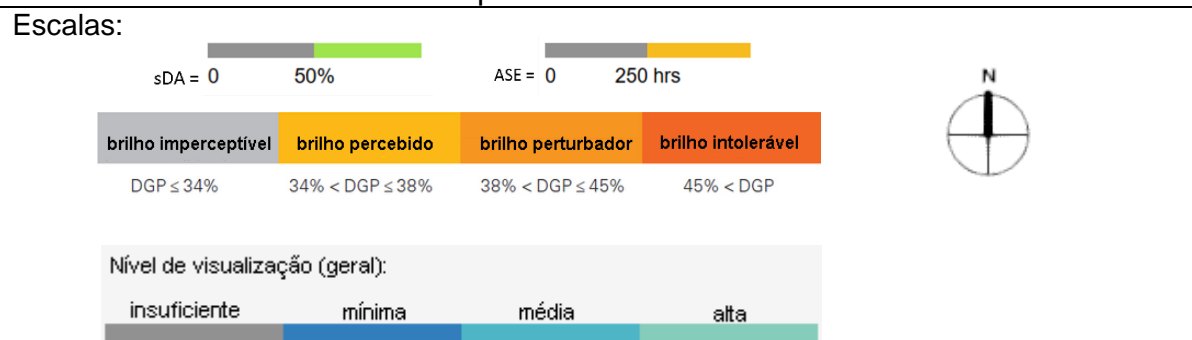
Vista 4 no mapa-chave:



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

6.3. APÊNDICE C – Resultados das simulações com novos dispositivos de controle para a sala 403N

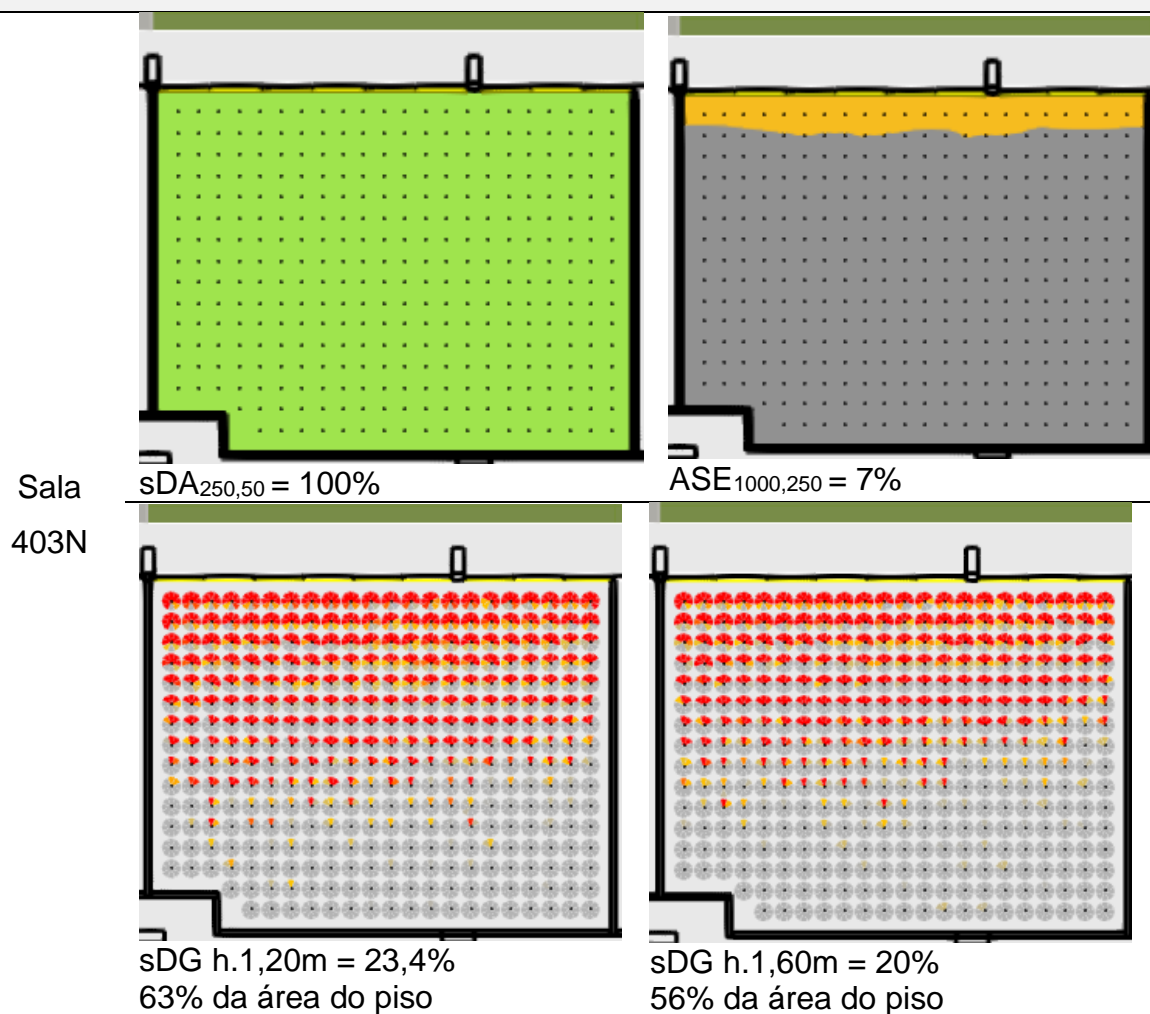
Tabela 21. Resultados gráficos da simulação da luz natural com medidas de dispositivos de controle

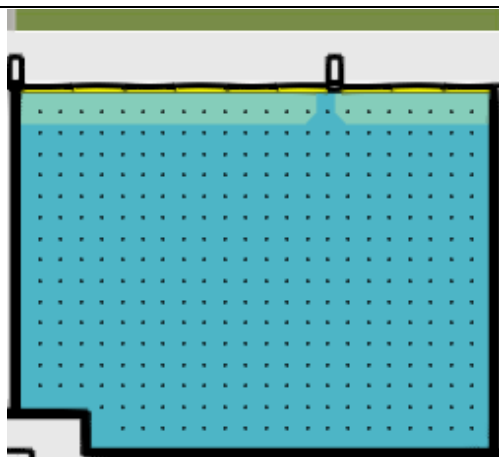


Ambiente

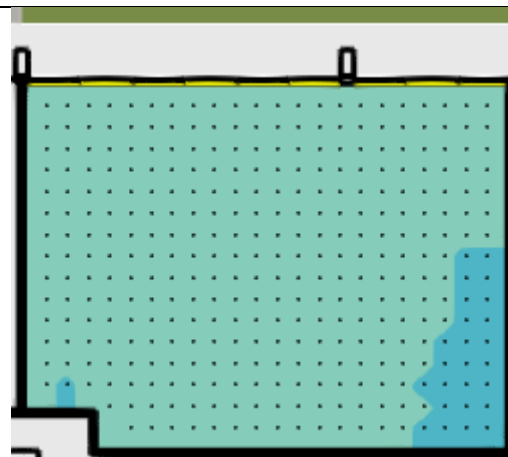
Resultados

Condição 2 – sem brise norte: vidro transparente original, sem *brise* norte e com demais elementos de proteção, com folhas das janelas e bandeiras fechadas



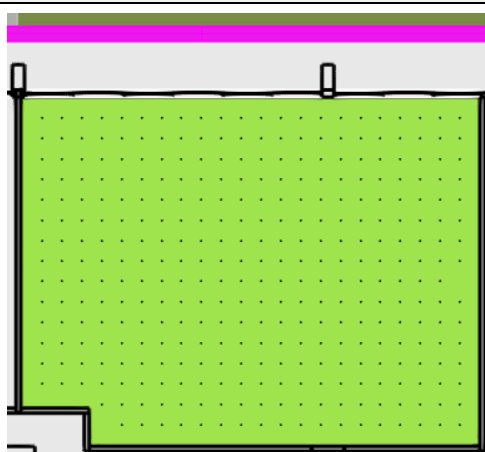


Vista h. 1,20m = 11% máxima;
89% média; 0% mínima; 0%
insuficiente

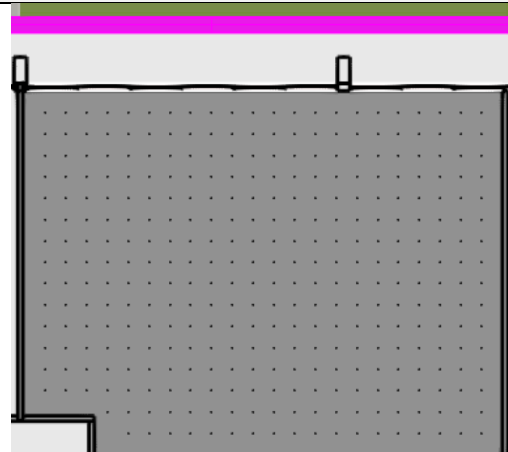


Vista h. 1,60m = 92,5% máxima;
7,5% média; 0% mínima; 0%
insuficiente

Medida 1: Brise horizontal com largura de 35cm, com espaçamento entre aletas de 30cm

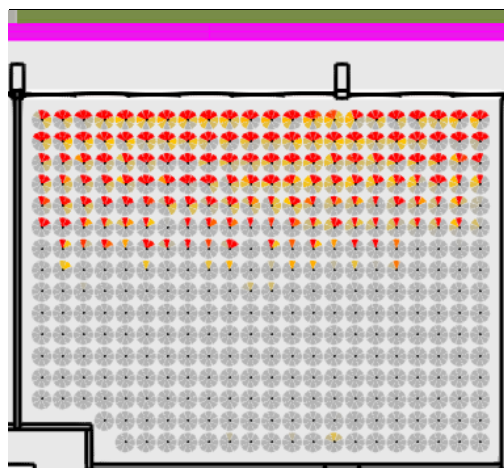


$sDA_{250,50} = 100\%$

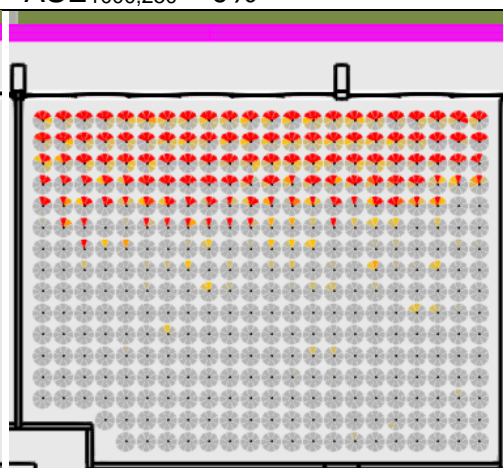


$ASE_{1000,250} = 0\%$

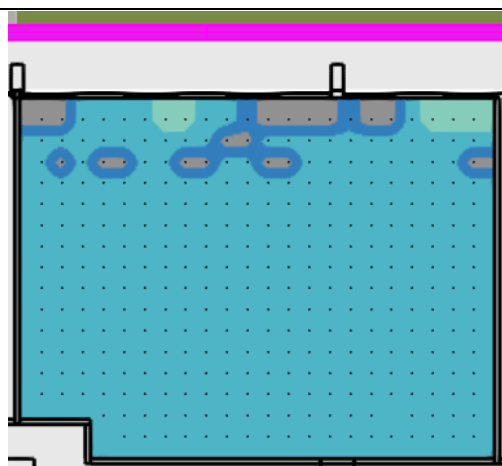
Sala
403N



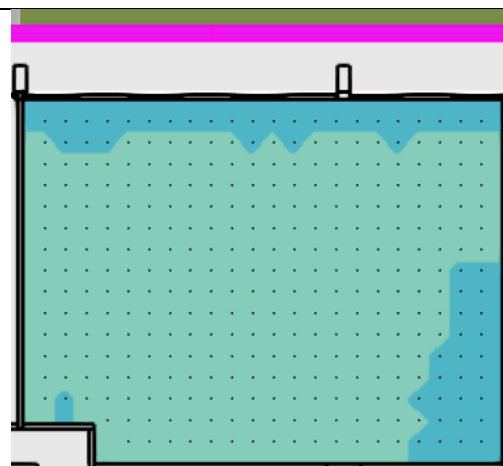
$sDG_{h.1,20m} = 10,3\%$
42% da área do piso



$sDG_{h.1,60m} = 10,1\%$
34% da área do piso

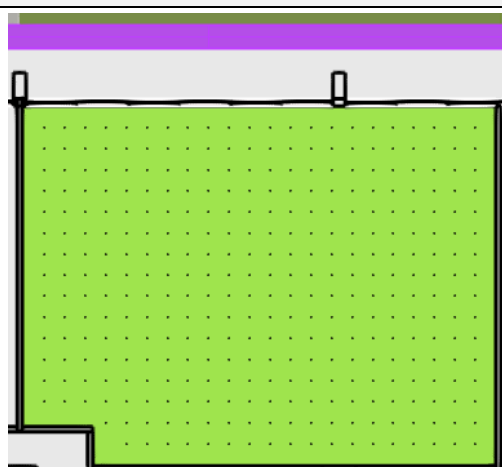


Vista h. 1,20m = 1,4% máxima;
92,8% média; 0,6% mínima;
5,2% insuficiente

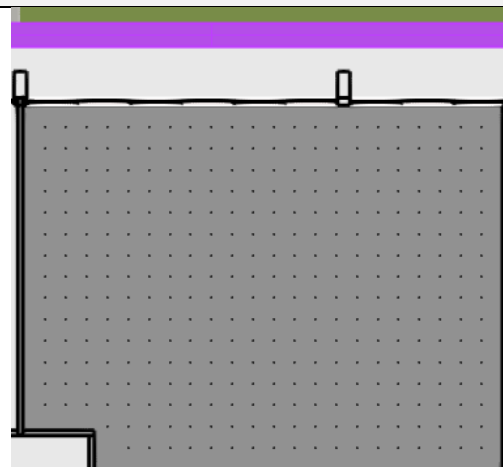


Vista h. 1,60m = 84,3% máxima;
15,7% média; 0% mínima; 0%
insuficiente

Medida 2: Brise horizontal com largura de 55cm, com espaçamento entre aletas de 30cm

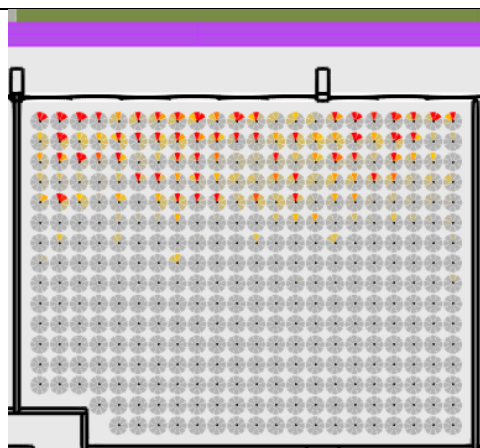


$sDA_{250,50} = 100\%$

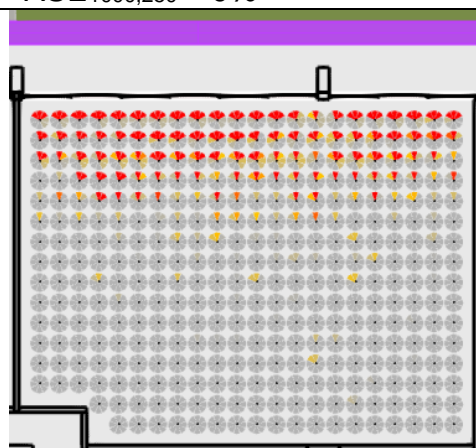


$ASE_{1000,250} = 0\%$

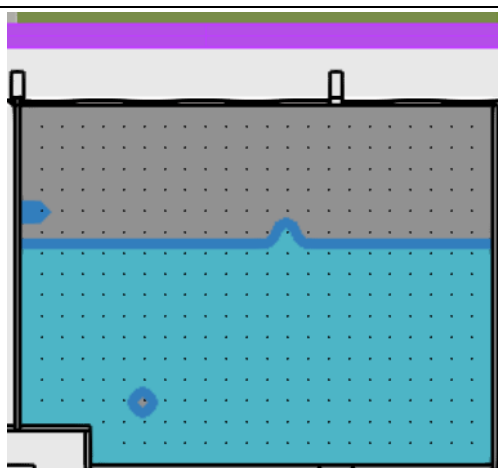
Sala
403N



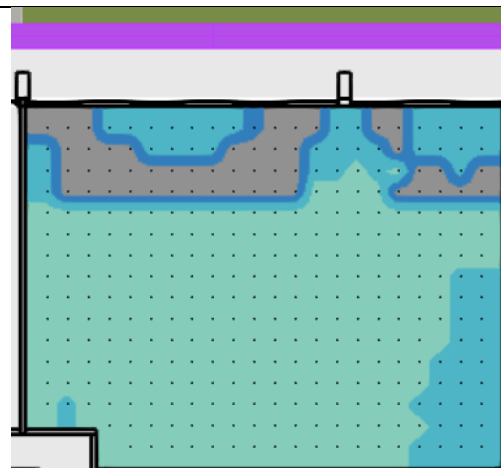
$sDG_{h.1,20m} = 2,1\%$
16% da área do piso



$sDG_{h.1,60m} = 6,2\%$
27% da área do piso

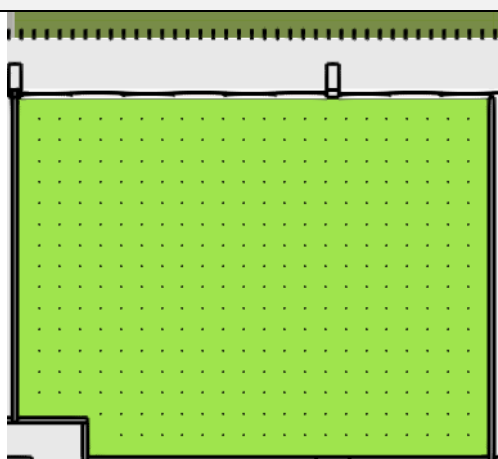


Vista h. 1,20m = 0% máxima;
54,5% média; 0% mínima; 45,5%
insuficiente

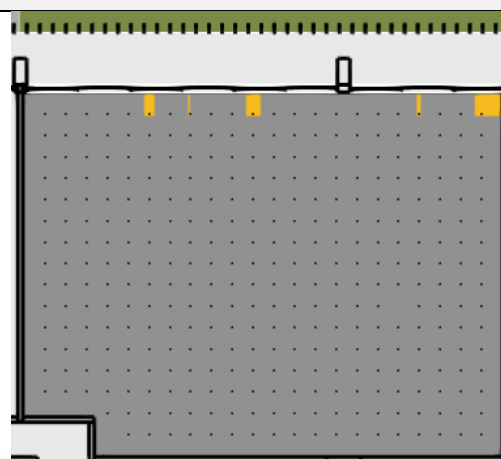


Vista h. 1,20m = 60% máxima;
16,5% média; 0% mínima; 23,5%
insuficiente

Medida 3: Brise vertical com largura de 25cm, com espaçamento entre aletas de 30cm

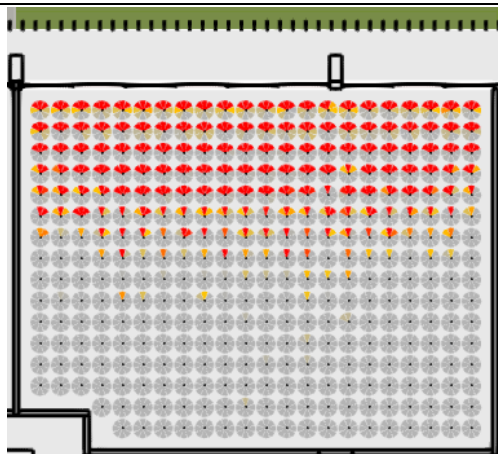


$sDA_{250,50} = 100\%$

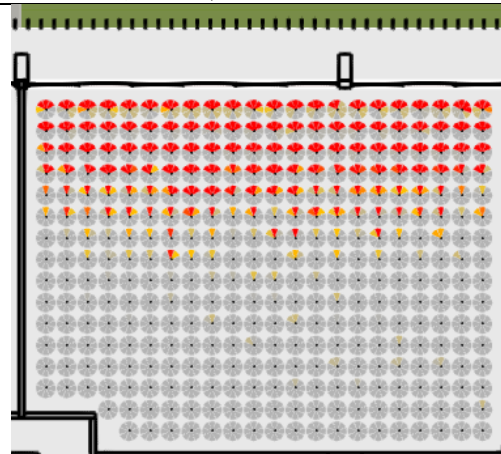


$ASE_{1000,250} = 1,4\%$

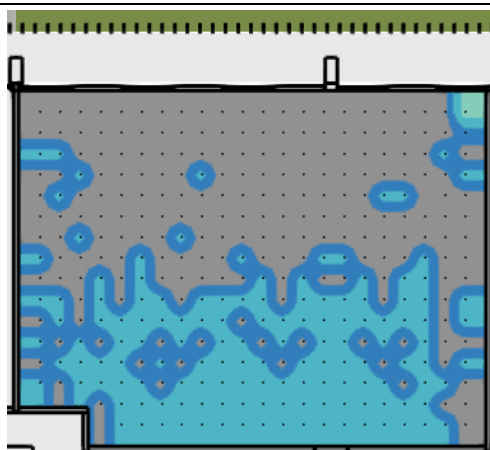
Sala
403N



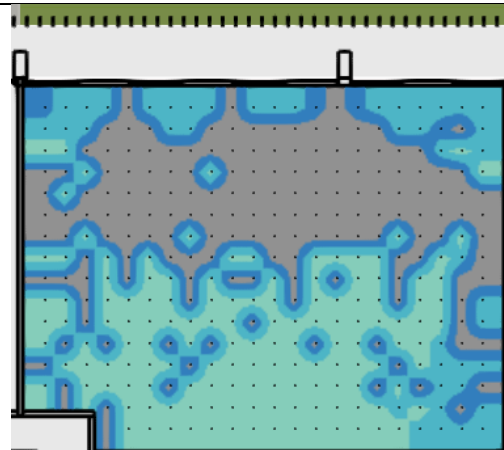
$sDG_{h.1,20m} = 12,5\%$
45% da área do piso



$sDG_{h.1,60m} = 10,3\%$
38% da área do piso

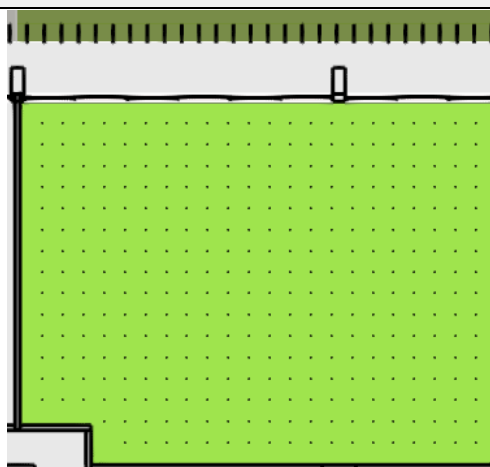


Vista h. 1,20m = 0,3% máxima;
39,7% média; 0,3% mínima;
59,7% insuficiente

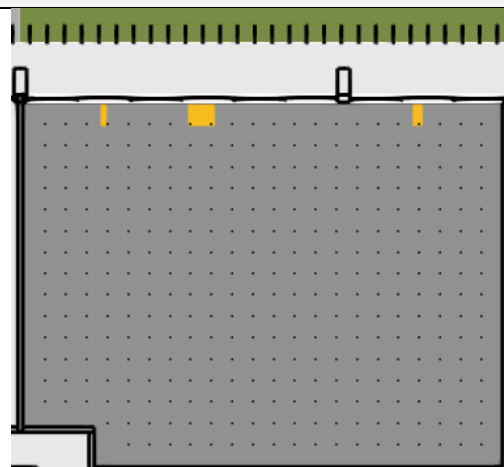


Vista h. 1,60m = 40% máxima;
12,2% média; 1,2% mínima; 46,7%
insuficiente

Medida 4: *Brise* vertical com largura de 45cm, com espaçamento entre aletas de 40cm

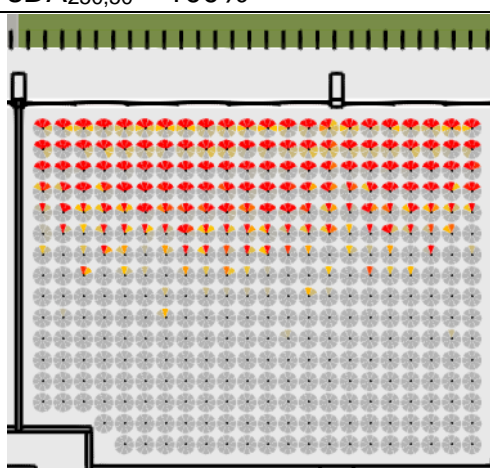


$sDA_{250,50} = 100\%$

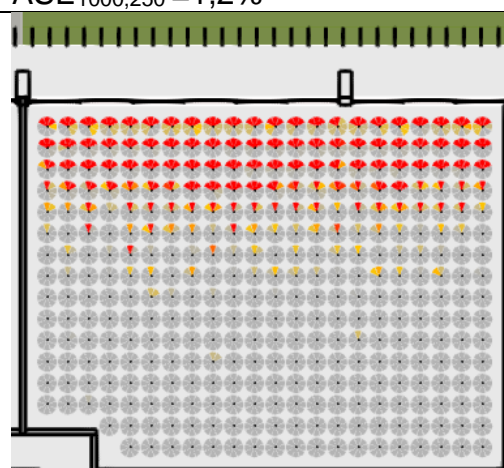


$ASE_{1000,250} = 1,2\%$

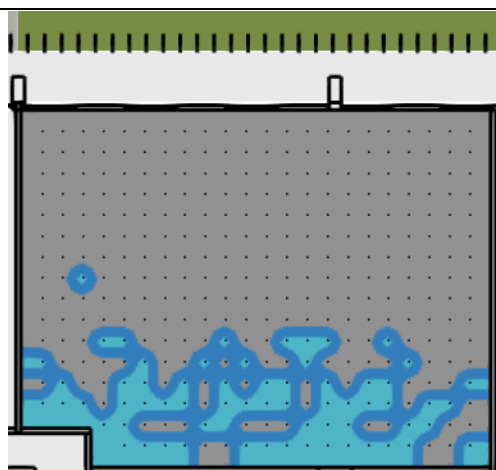
Sala
403N



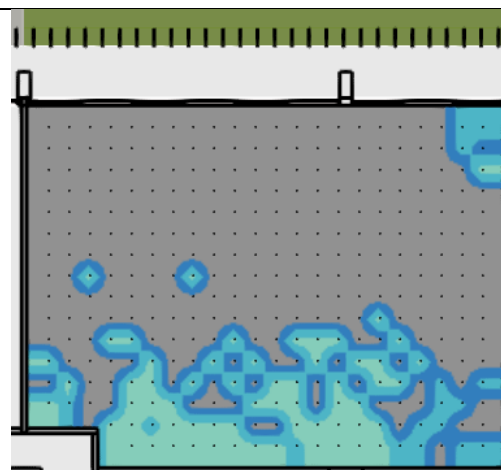
$sDG_{h.1,20m} = 10,9\%$
33% da área do piso



$sDG_{h.1,60m} = 8,9\%$
34% da área do piso



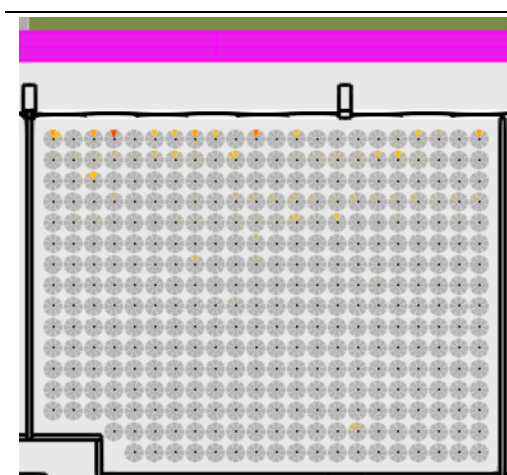
Vista h. 1,20m = 0% máxima;
18,8% média; 0% mínima; 81,2%
insuficiente



Vista h. 1,60m = 17,7% máxima;
4,6% média; 0,3% mínima; 77,4%
insuficiente

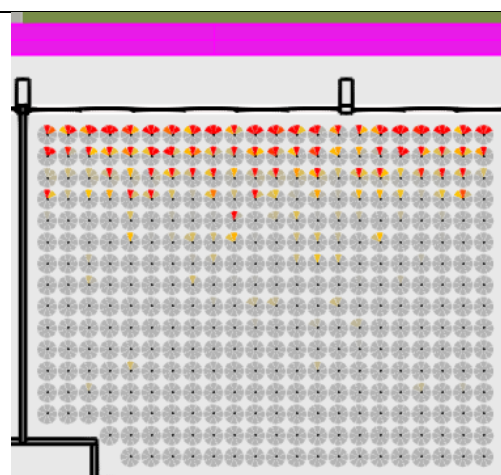
Medida 5: Brise horizontal com largura de 35cm, com espaçamento entre aletas de 25cm

Sala 403N

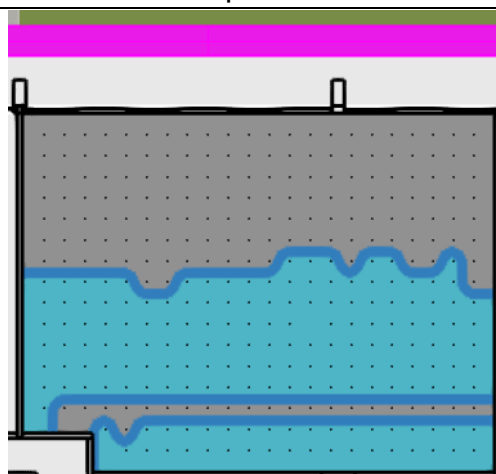


sDG h.1,20m = 0%
1% da área do piso

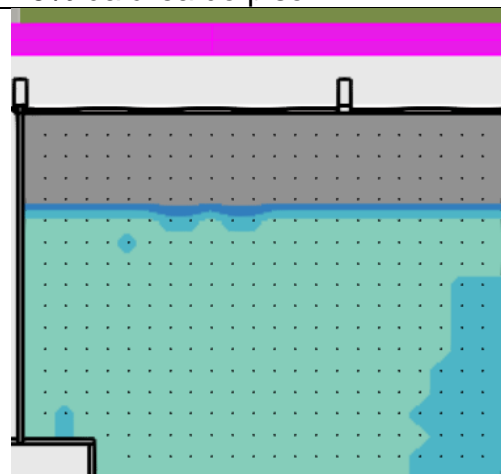
Sala 403N



sDG h.1,60m = 3%
19% da área do piso

Sala
403N

Vista h. 1,20m = 0% máxima;

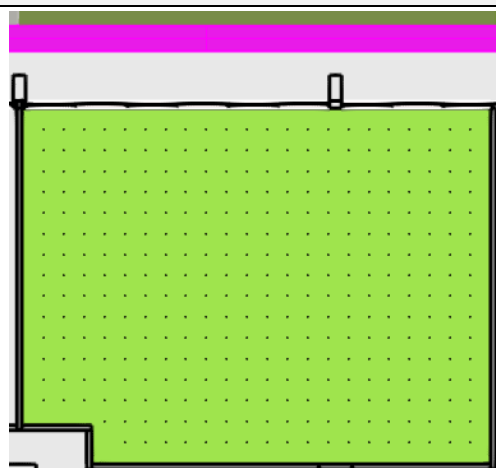


Vista h. 1,60m = 65,5% máxima; 9%

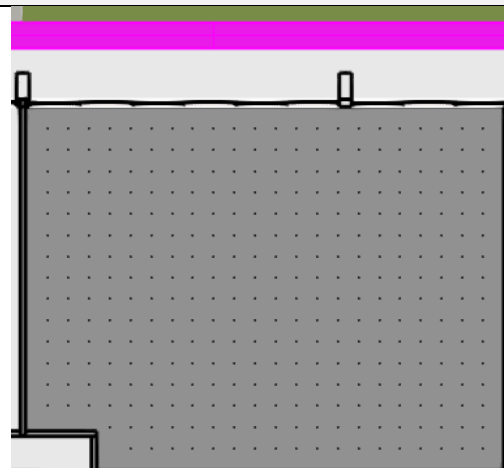
49,9% média; 0% mínima; 50,1%
insuficiente

média; 0 % mínima; 25,5%
insuficiente

Medida 6: Brise horizontal com largura de 60cm, com espaçamento entre aletas de 30cm

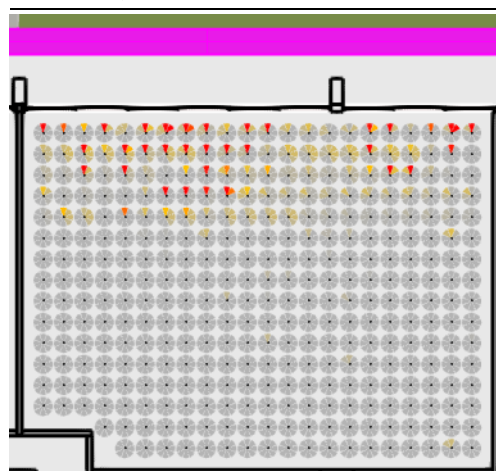


$sDA_{250,50} = 100\%$

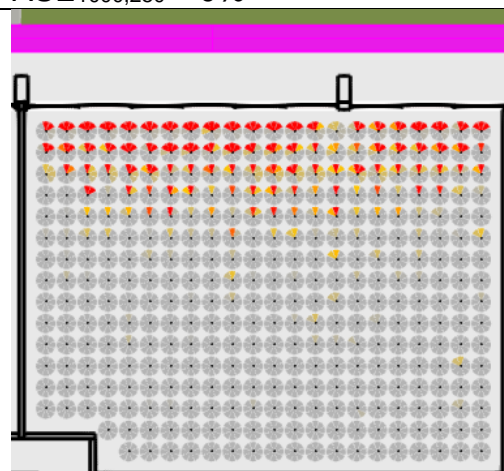


$ASE_{1000,250} = 0\%$

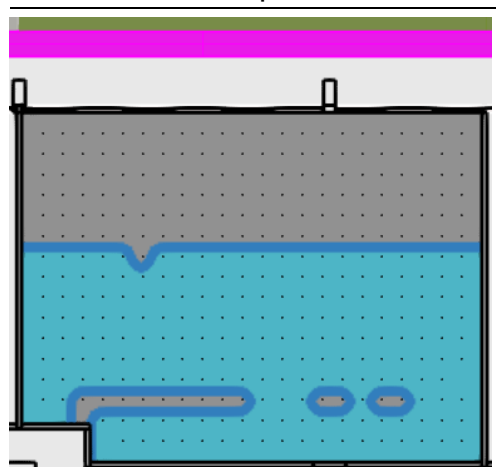
Sala
403N



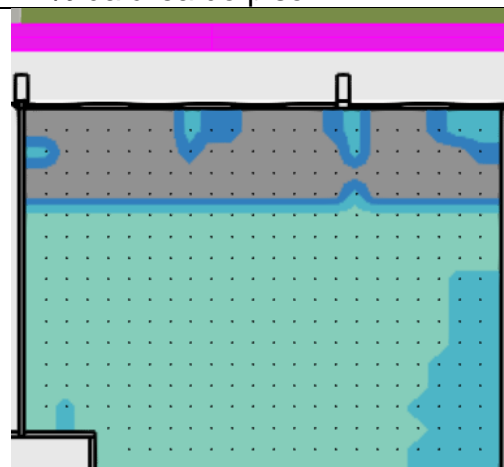
$sDG_{h.1,20m} = 1,1\%$
10% da área do piso



$sDG_{h.1,60m} = 4,8\%$
24% da área do piso

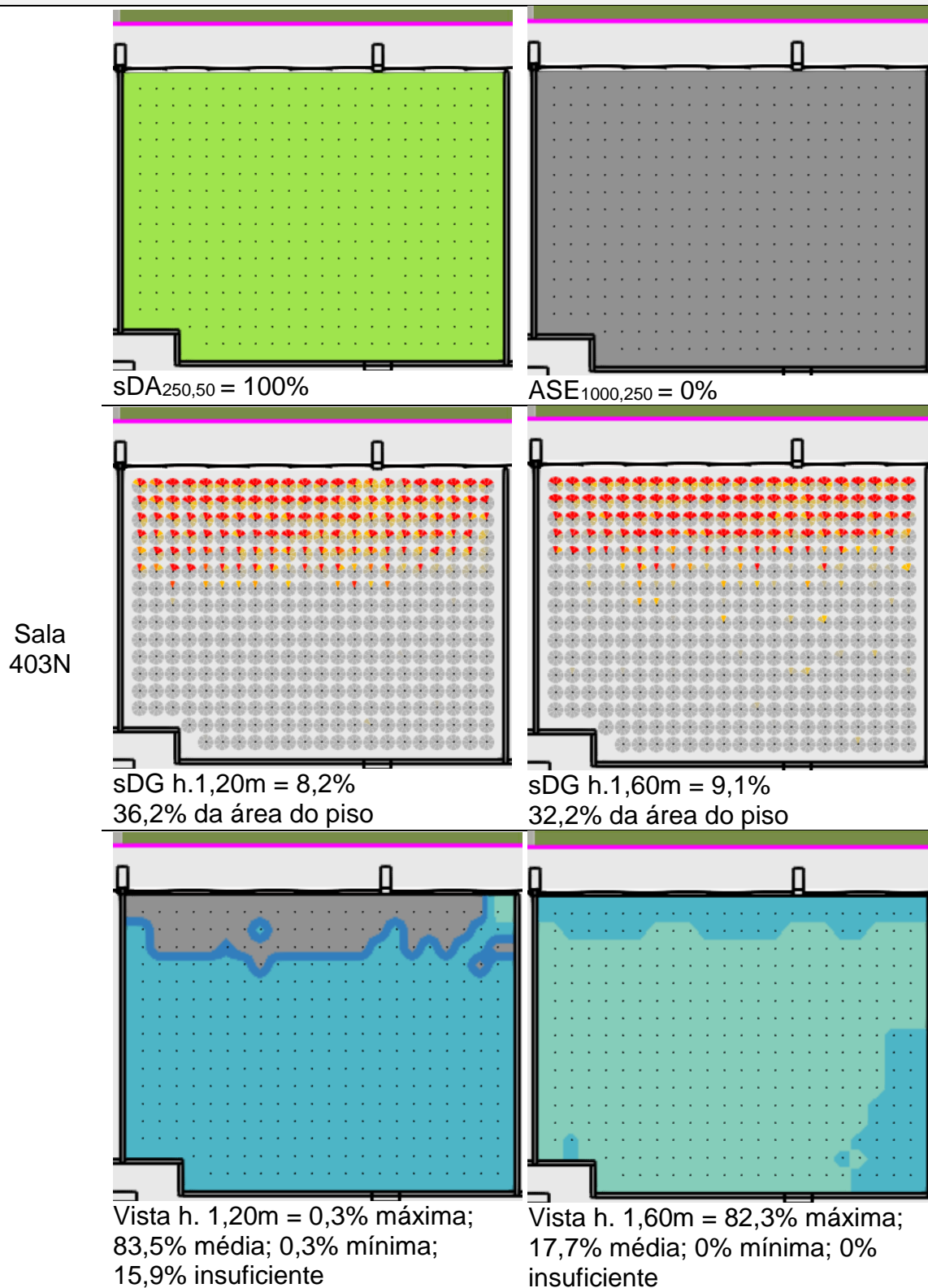


Vista $h.1,20m = 0\%$ máxima,
57,7% média, 0% mínima, 42,3%
insuficiente

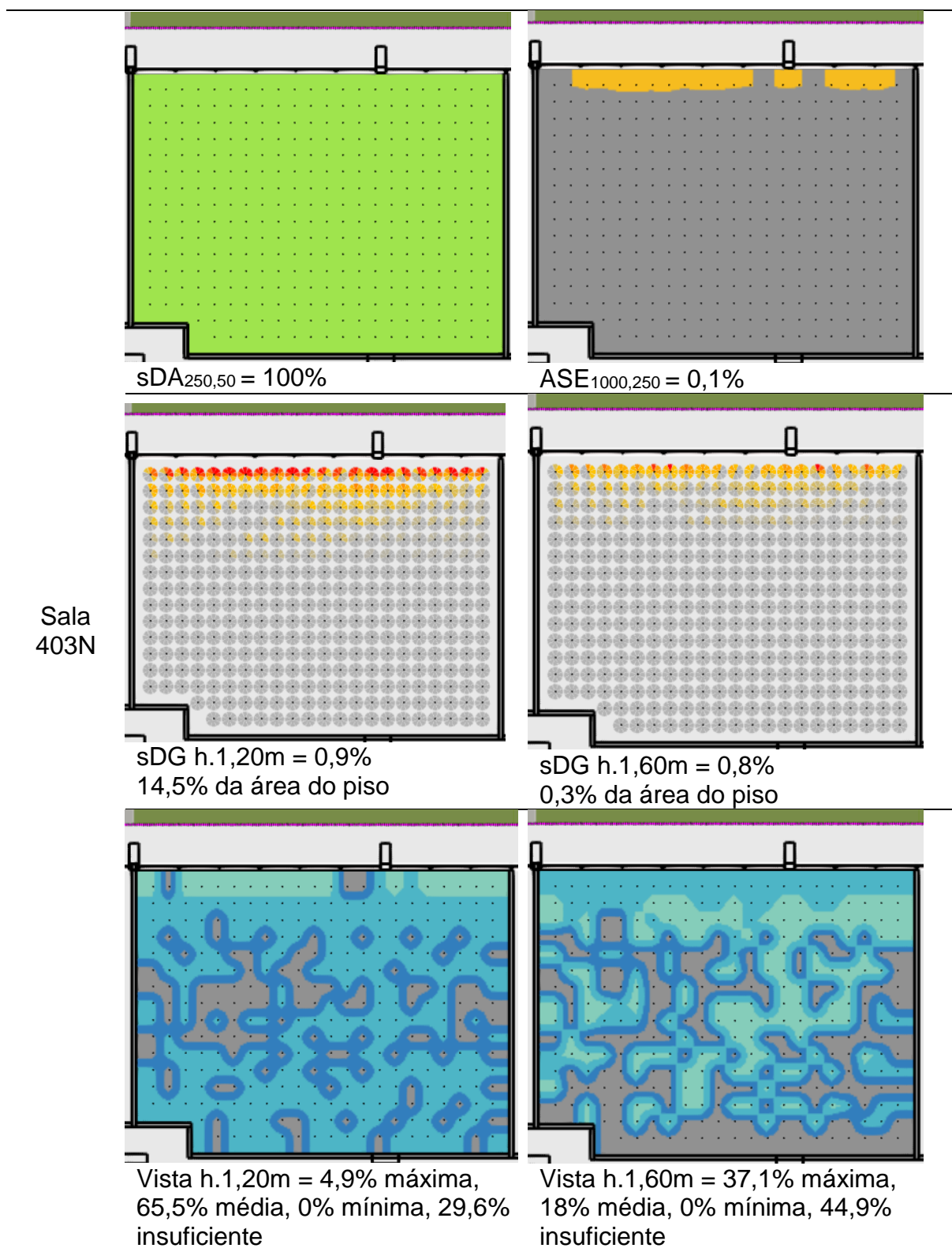


Vista $h.1,60m = 67\%$ máxima, 9,6%
média, 1,7% mínima, 21,7%
insuficiente

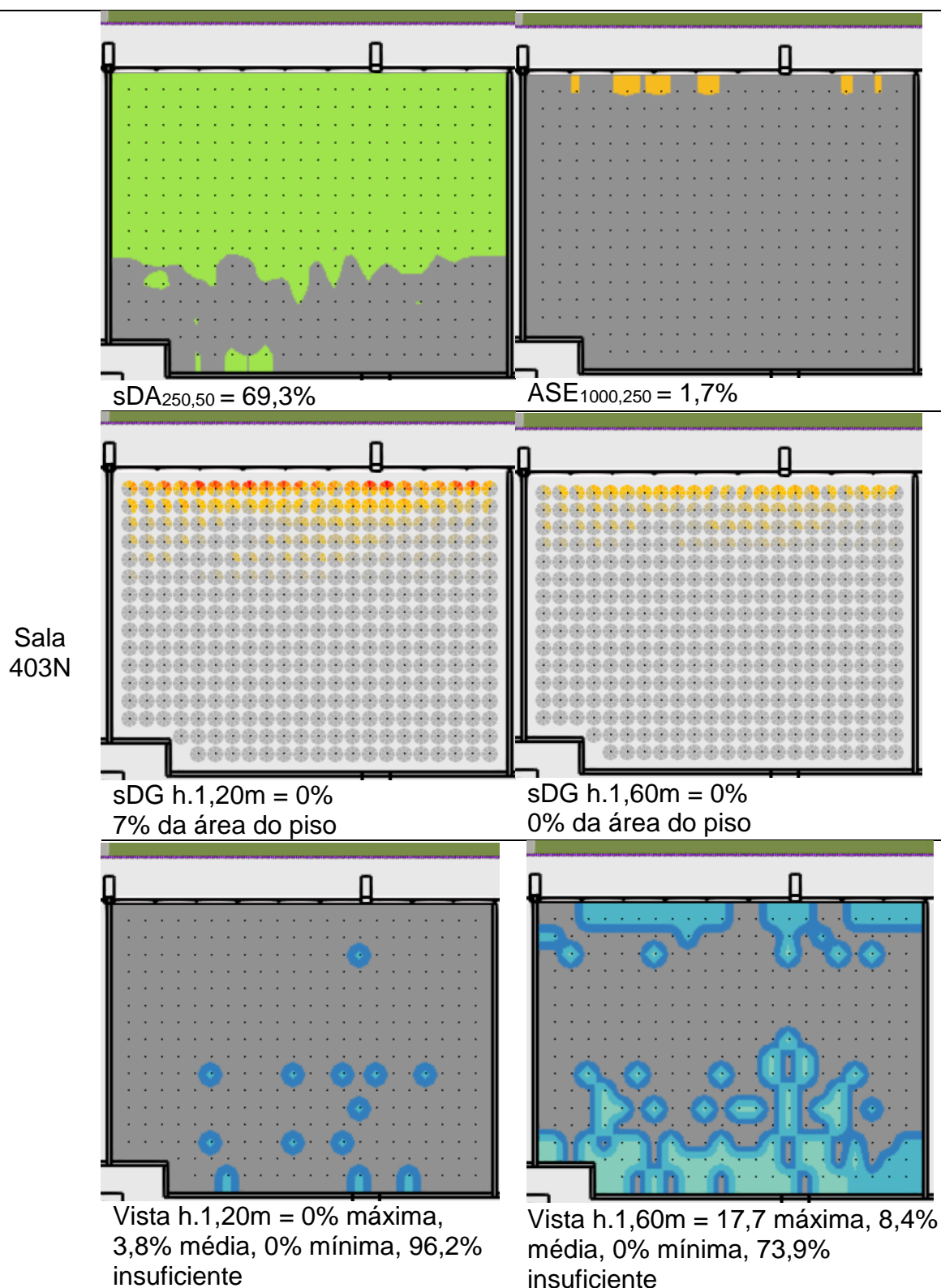
Medida 7: Brise horizontal com largura de 6cm, com espaçamento entre aletas de 5cm



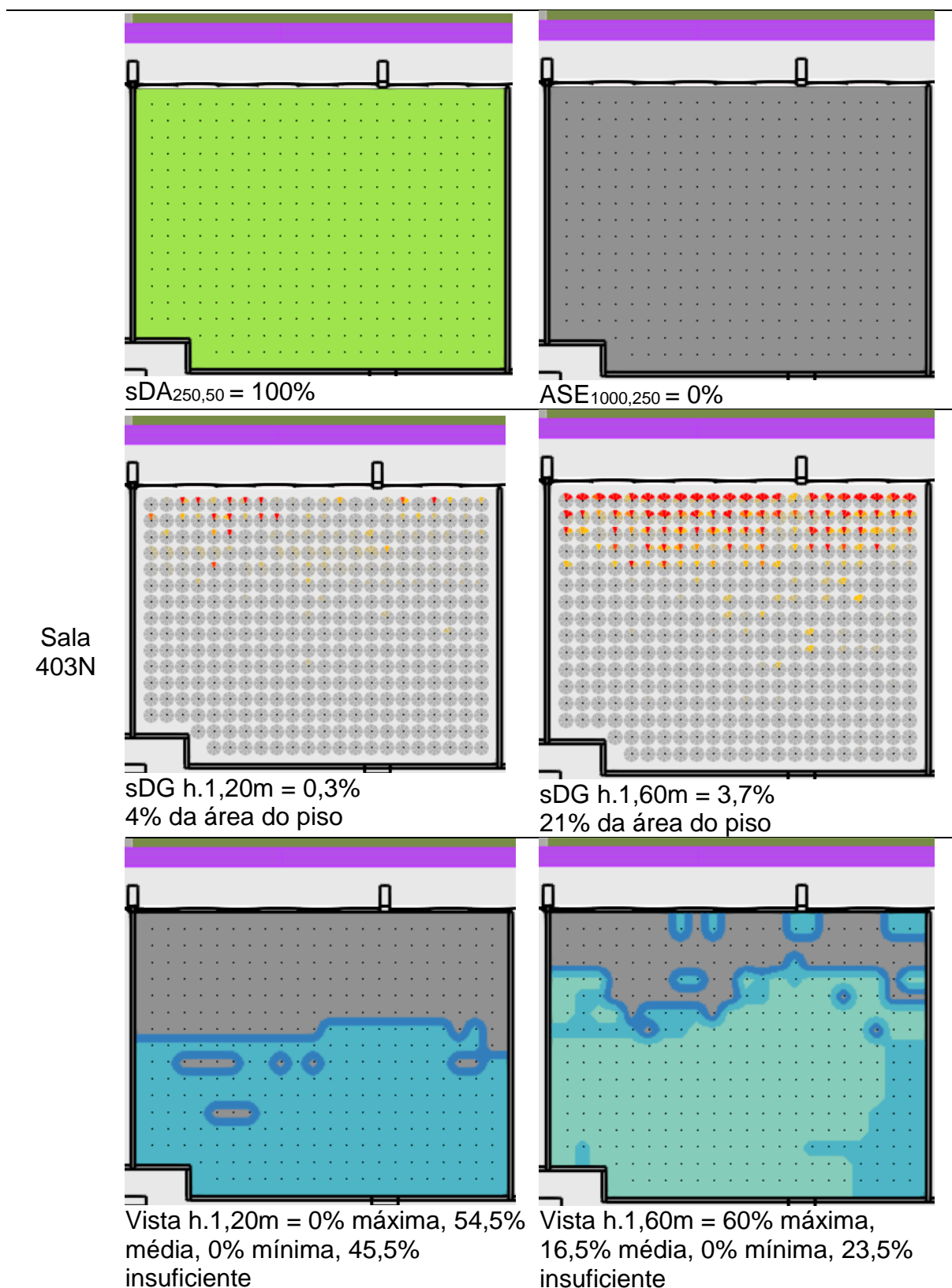
Medida 8: Tela perfurada com transmissividade de 60%



Medida 9: Tela perfurada com transmissividade de 40%

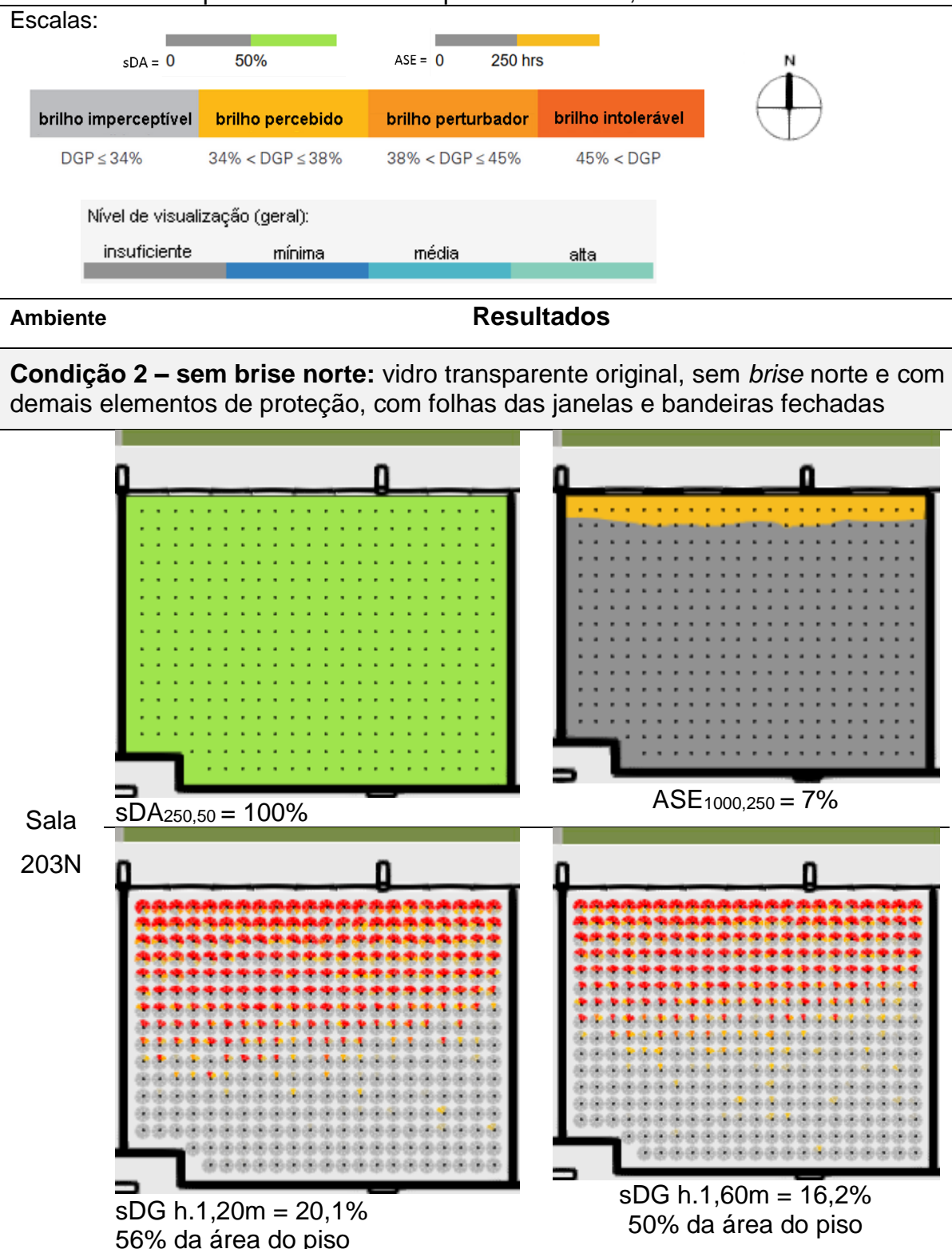


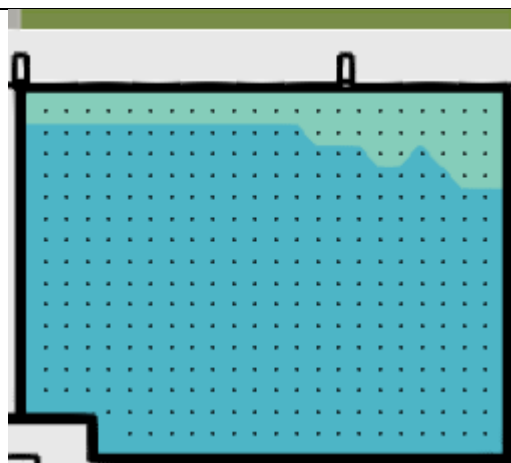
Medida 10: Brise horizontal com largura de 55cm, com espaçamento entre aletas de 25cm



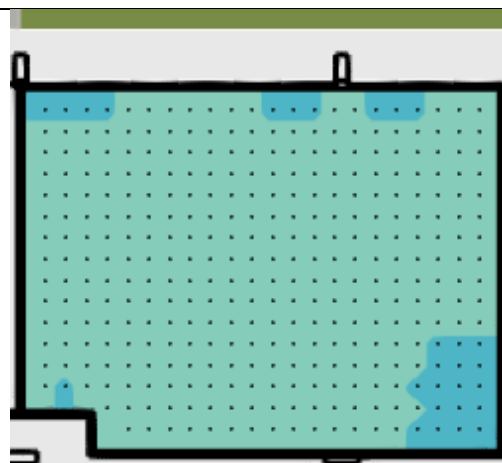
6.4. APÊNDICE D – Resultados simulações com novos dispositivos de controle para salas 203N, 303N e 409S

Tabela 22. Resultados gráficos da simulação da luz natural com medidas de dispositivos de controle para salas 203N, 303N e 409S

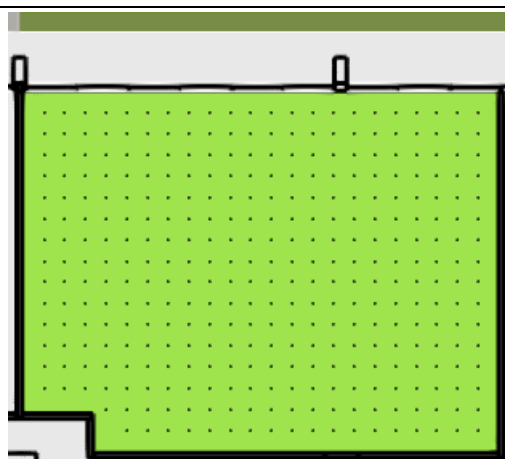




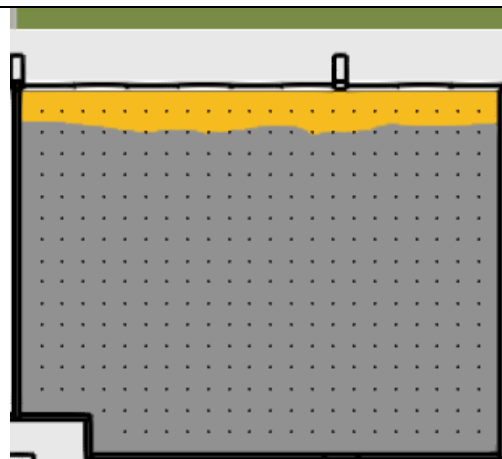
Vista h. 1,20m = 11% máxima; 89%
média; 0% mínima; 0% insuficiente



Vista h. 1,60m = 91,9% máxima;
8,1% média; 0% mínima; 0%
insuficiente

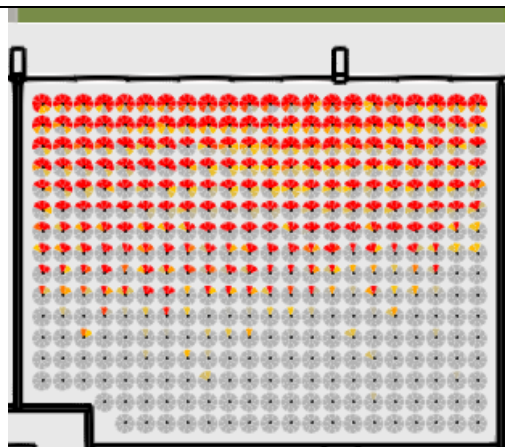


sDA_{250,50} = 100%

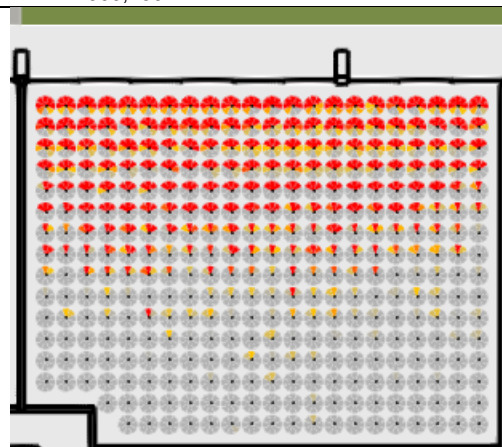


ASE_{1000,250} = 7%

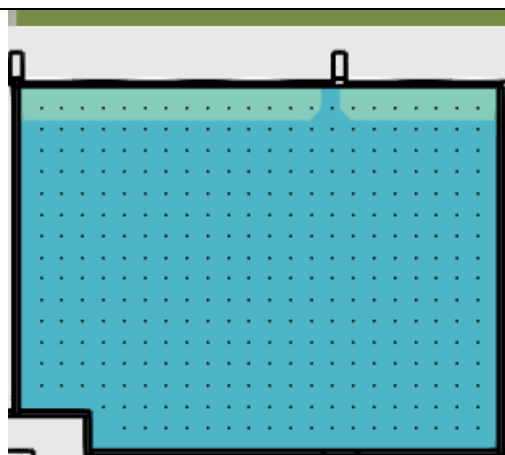
Sala
303N



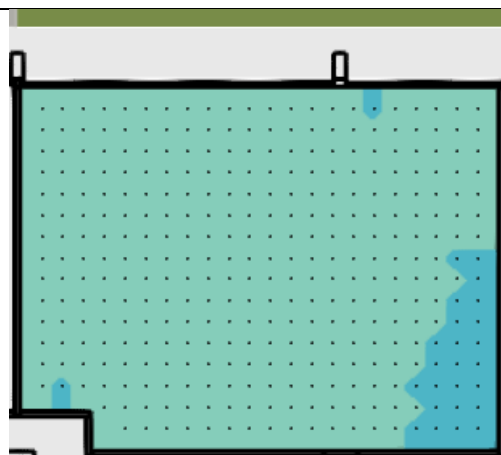
sDG h.1,20m = 21,8%
60% da área do piso



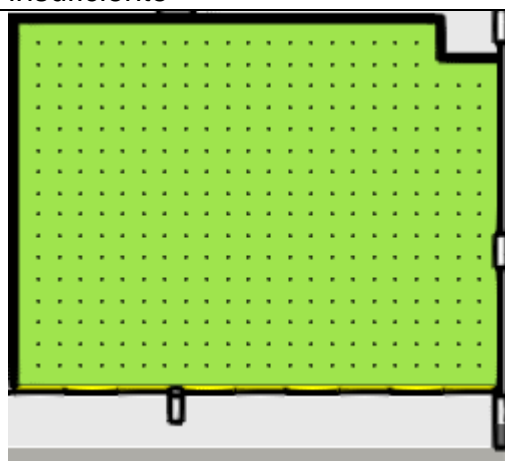
sDG h.1,60m = 17,8%
55% da área do piso



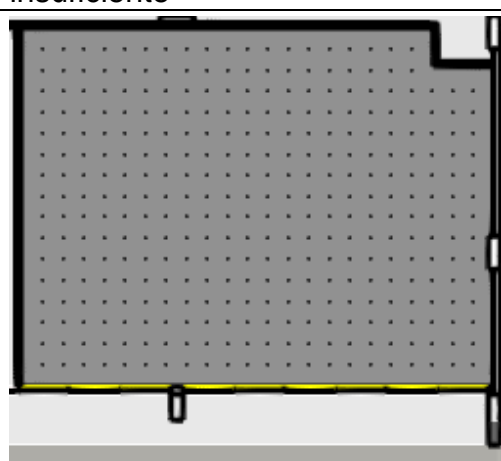
Vista h. 1,20m = 6,1% máxima;
93,9% média; 0% mínima; 0%
insuficiente



Vista h. 1,60m = 92,5% máxima;
7,5% média; 0% mínima; 0%
insuficiente

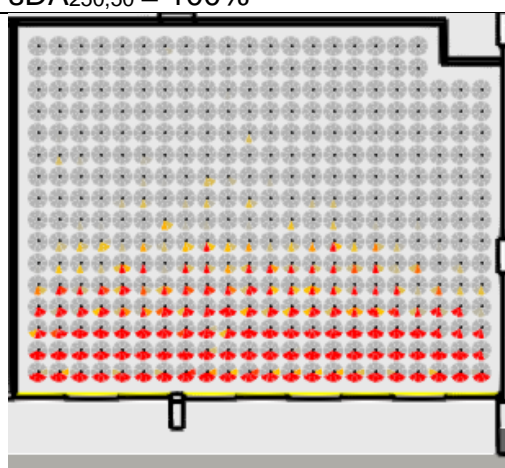


sDA_{250,50} = 100%

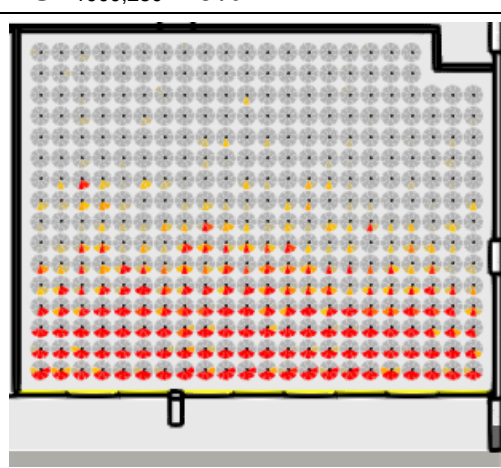


ASE_{1000,250} = 0%

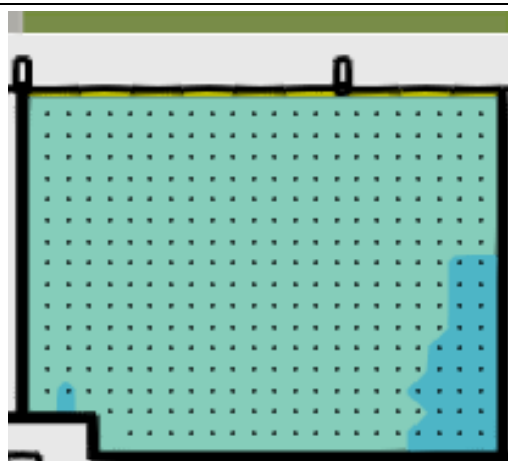
Sala
409S



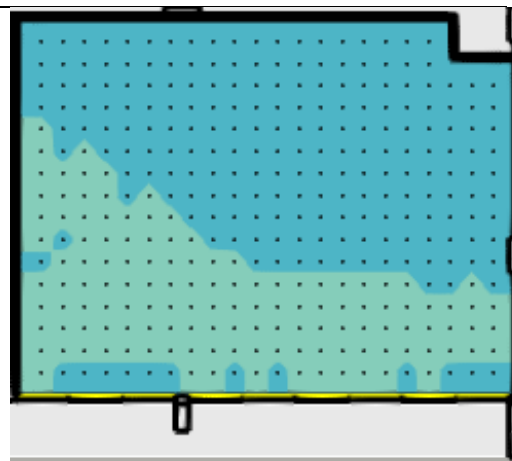
sDG h.1,20m = 9,2%
34% da área do piso



sDG h.1,60m = 10,5%
40% da área do piso

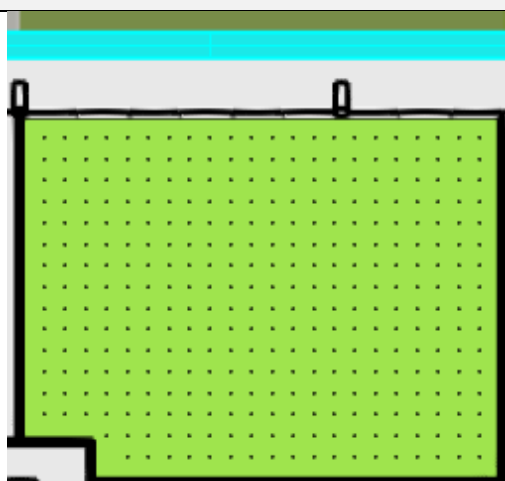


Vista h. 1,20m = 0% máxima; 100%
média; 0% mínima; 0% insuficiente

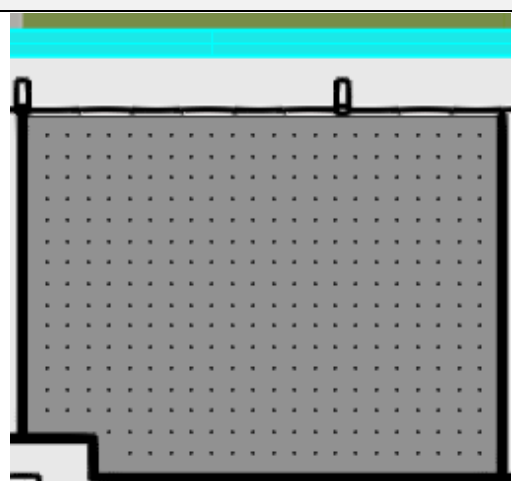


Vista h. 1,60m = 37,6% máxima;
62,4% média; 0% mínima; 0%
insuficiente

Medida 6: Brise horizontal com largura de 60cm, com espaçamento entre aletas de 30cm

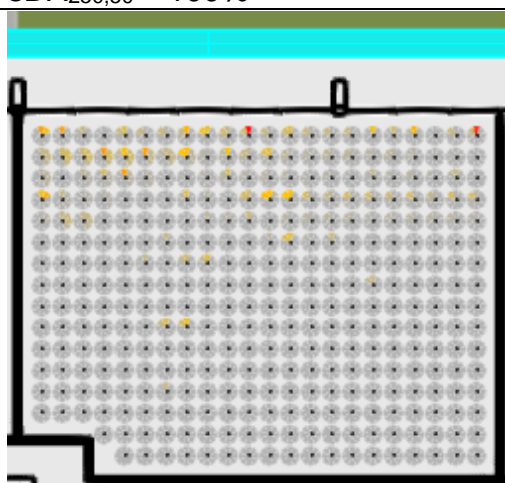


$sDA_{250,50} = 100\%$

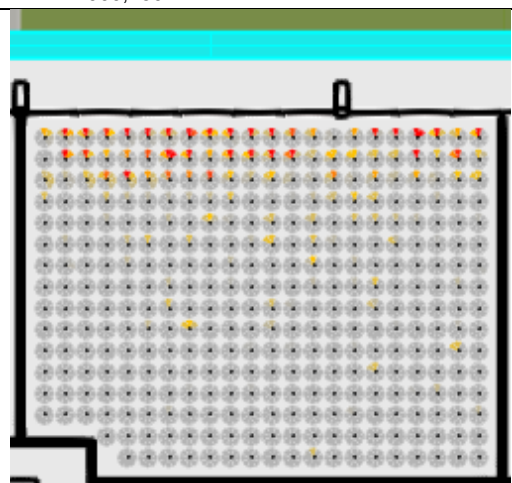


$ASE_{1000,250} = 7\%$

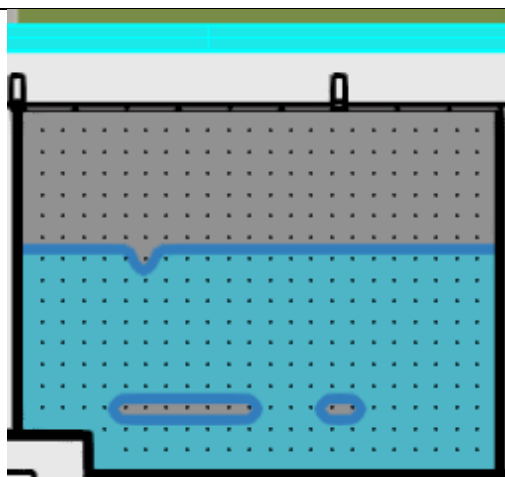
Sala
203N



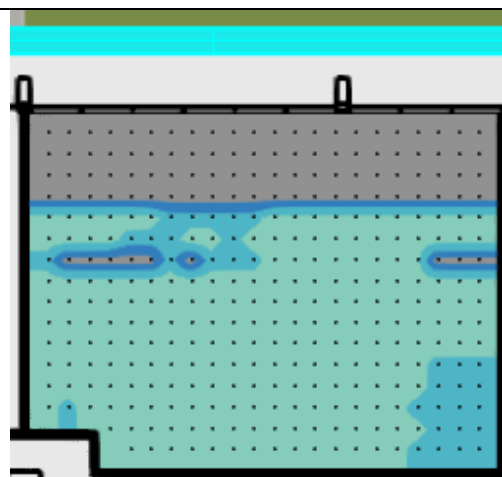
$sDG_{h.1,20m} = 0\%$
2% da área do piso



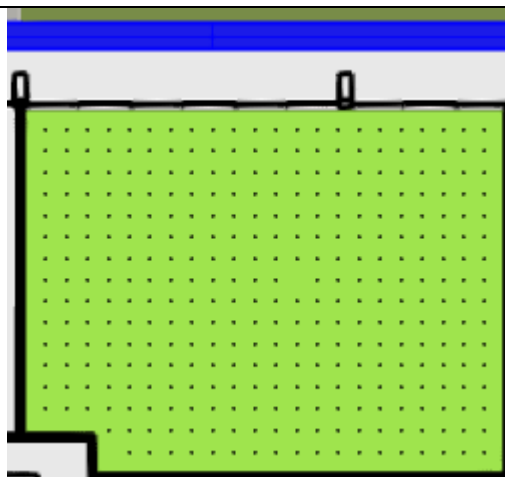
$sDG_{h.1,60m} = 0,83\%$
10% da área do piso



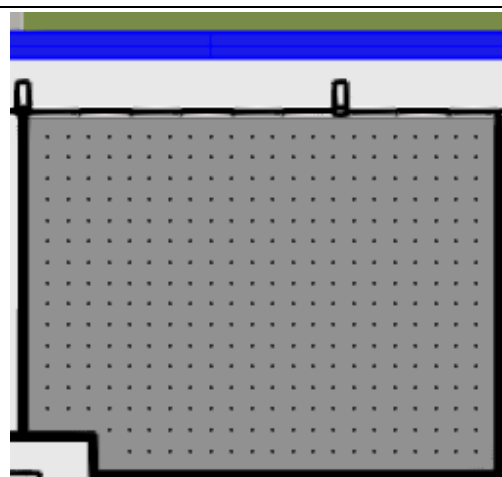
Vista h. 1,20m = 0% máxima;
58,8% média; 0% mínima; 41,2%
insuficiente



Vista h. 1,60m = 44% máxima;
29,8% média; 1,2% mínima; 25%
insuficiente

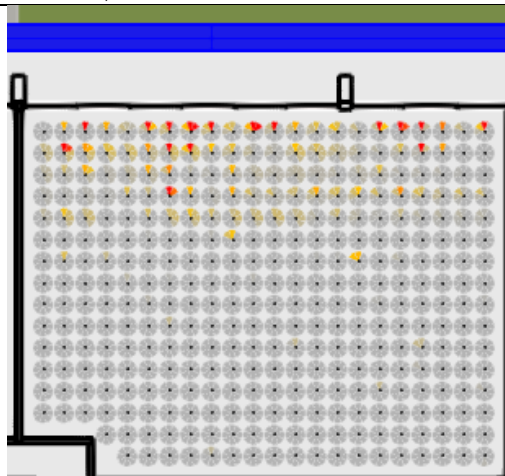


$sDA_{250,50} = 100\%$

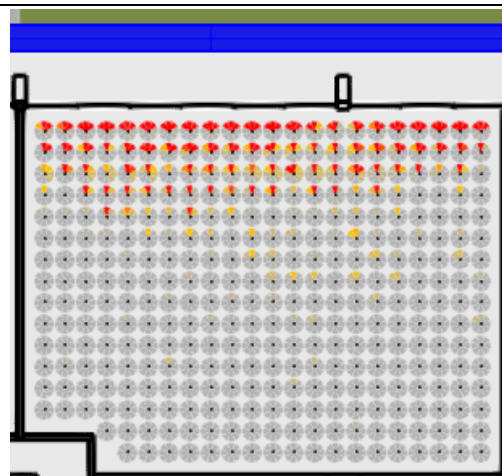


$ASE_{1000,250} = 0\%$

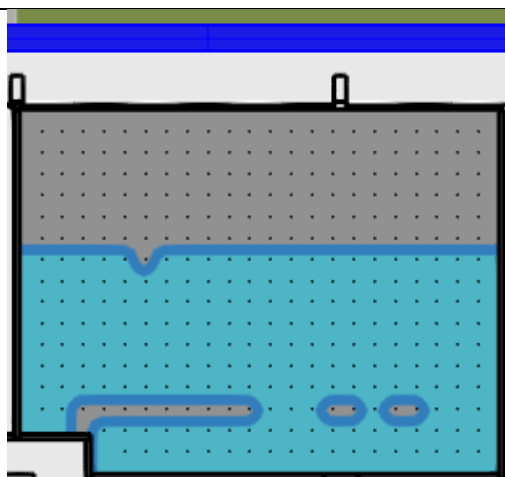
Sala
303N



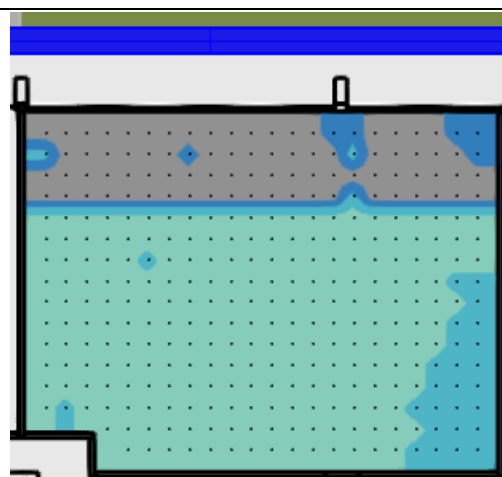
$sDG_{h.1,20m} = 0,65\%$
5% da área do piso



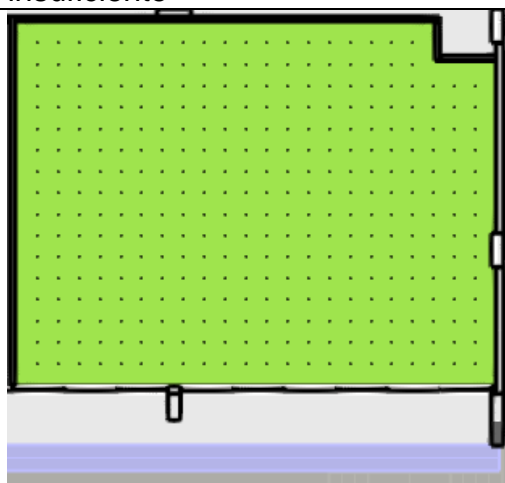
$sDG_{h.1,60m} = 4,42\%$
23% da área do piso



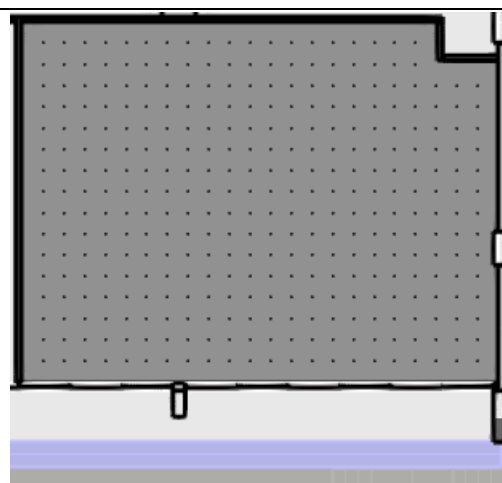
Vista h. 1,20m = 0% máxima;
57,7% média; 0% mínima; 42,3%
insuficiente



Vista h. 1,60m = 67% máxima;
8,4% média; 1,7% mínima; 22,9%
insuficiente

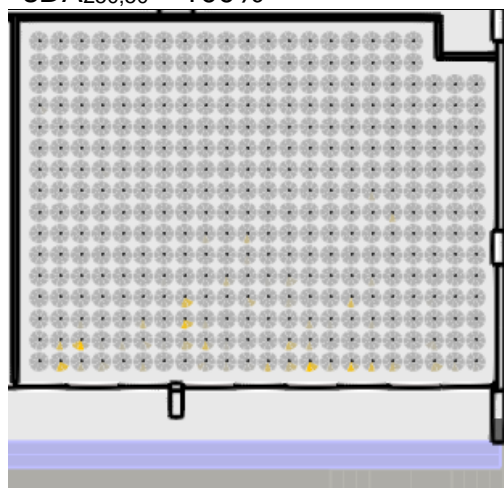


$SDA_{250,50} = 100\%$

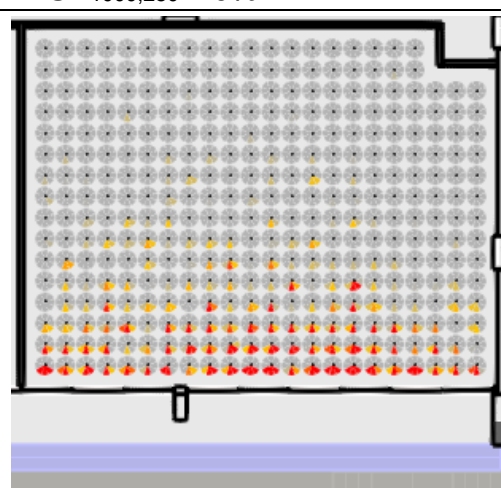


$ASE_{1000,250} = 0\%$

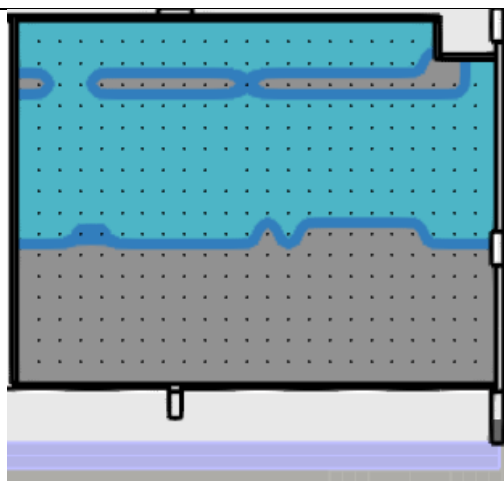
Sala
409S



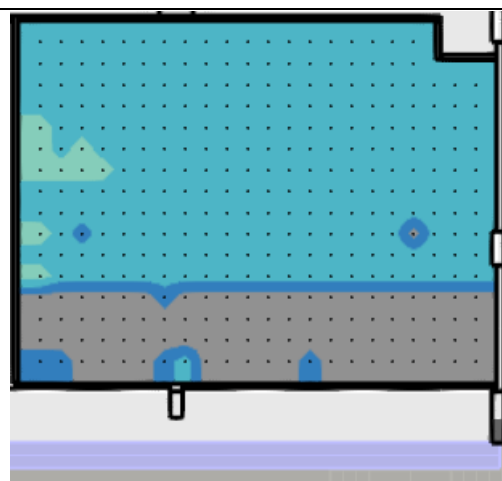
$SDG_{h.1,20m} = 0\%$
área do piso = 0%



$SDG_{h.1,60m} = 2,17\%$
19% da área do piso

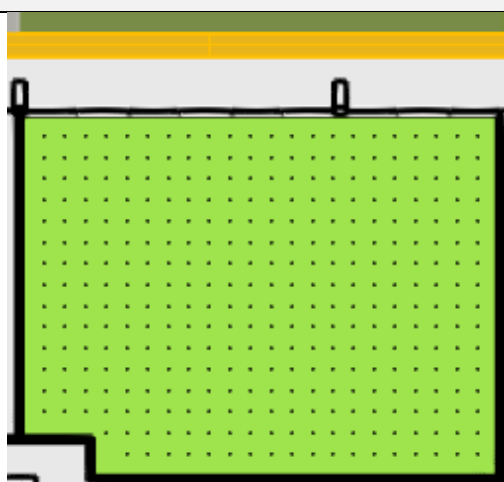


Vista h. 1,20m = 0% máxima;
53,8% média; 0,9% mínima; 45,4%
insuficiente

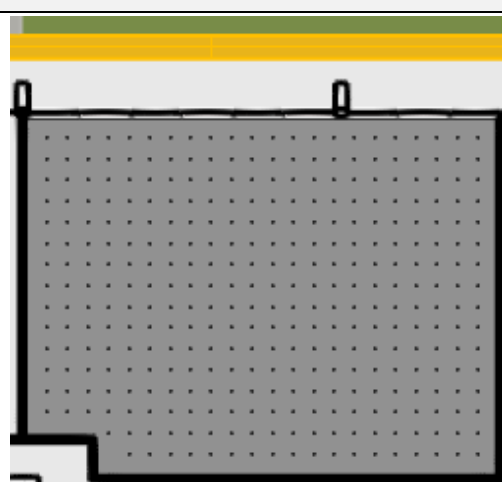


Vista h. 1,60m = 2,6% máxima;
71,7% média; 1,7% mínima; 24%
insuficiente

Medida 10: Brise horizontal com largura de 55cm, com espaçamento entre aletas de 25cm

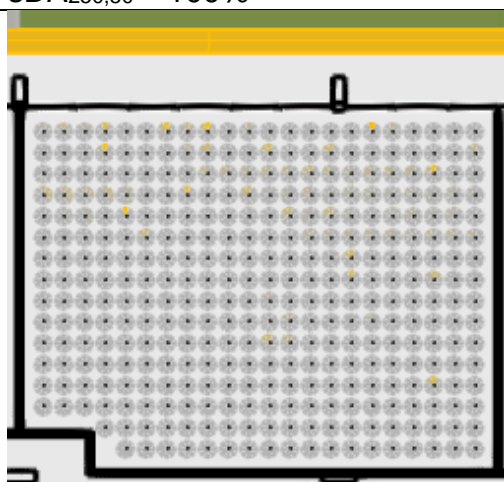


$sDA_{250,50} = 100\%$

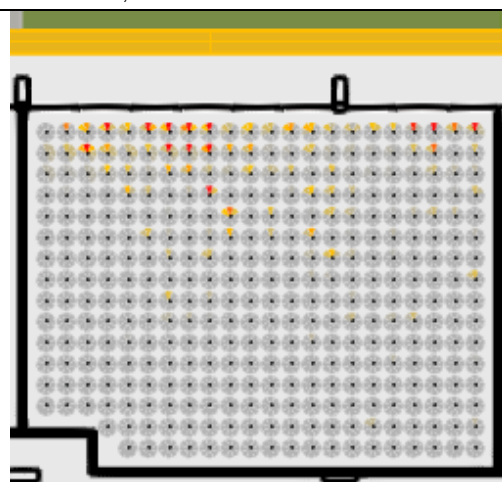


$ASE_{1000,250} = 0\%$

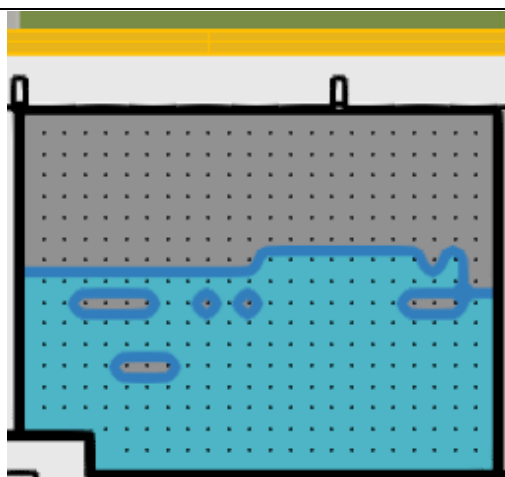
Sala
203N



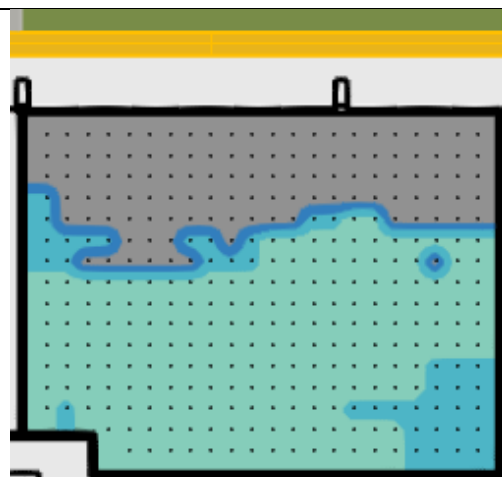
$sDG_{h.1,20m} = 0\%$
0% área do piso



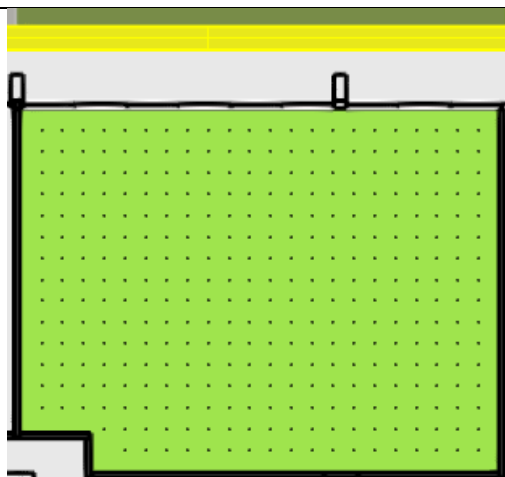
$sDG_{h.1,60m} = 0,43\%$
5% da área do piso



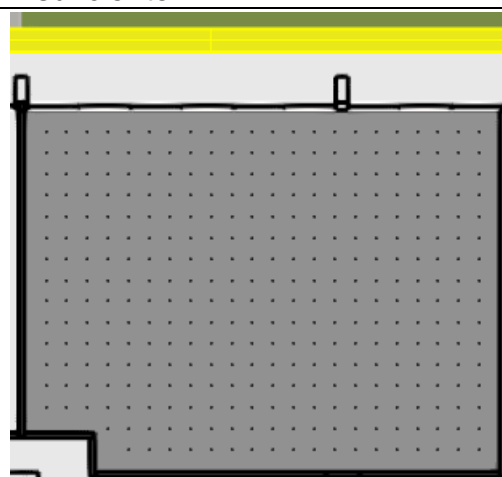
Vista h. 1,20m = 0% máxima;
54,2% média; 0% mínima; 45,8%
insuficiente



Vista h. 1,60m = 55,7% máxima;
11% média; 0% mínima; 33,3%
insuficiente

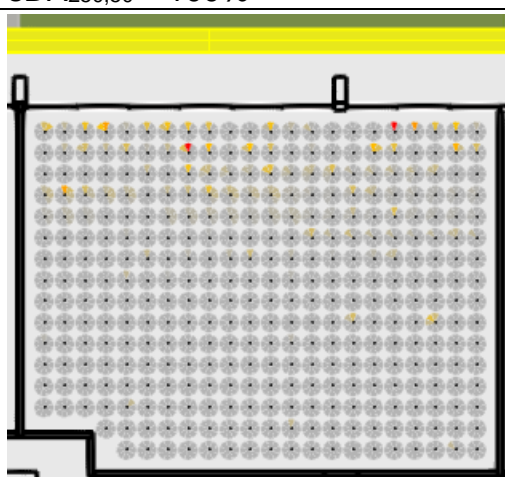


$sDA_{250,50} = 100\%$

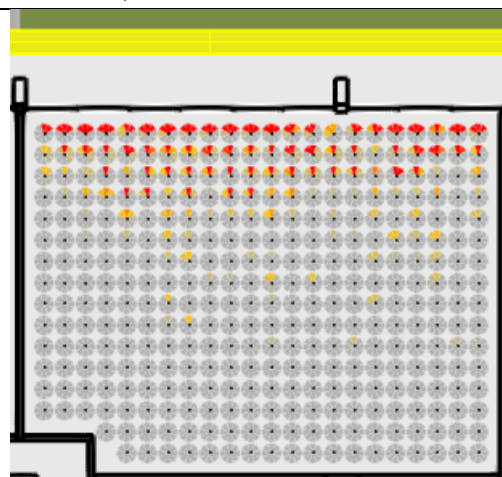


$ASE_{1000,250} = 0\%$

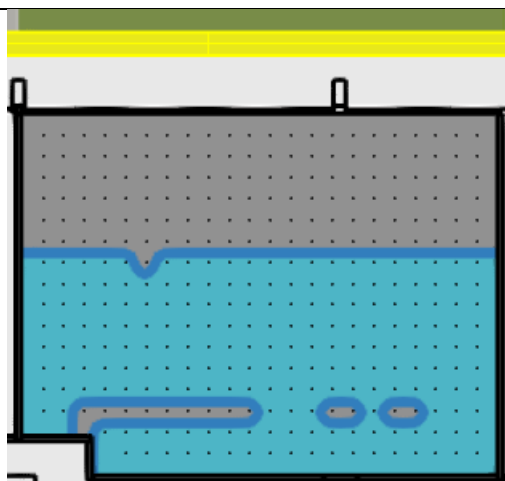
Sala
303N



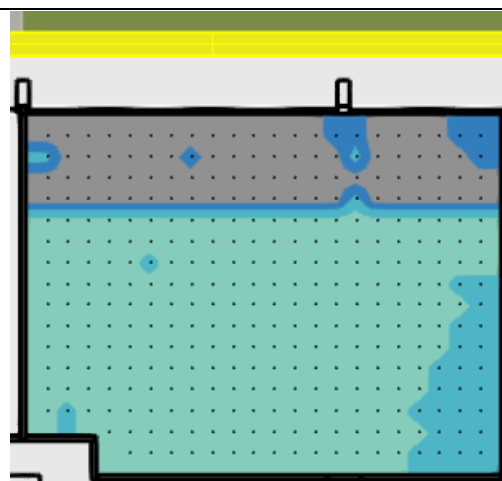
$sDG_{h.1,20m} = 0,07\%$
1% da área do piso



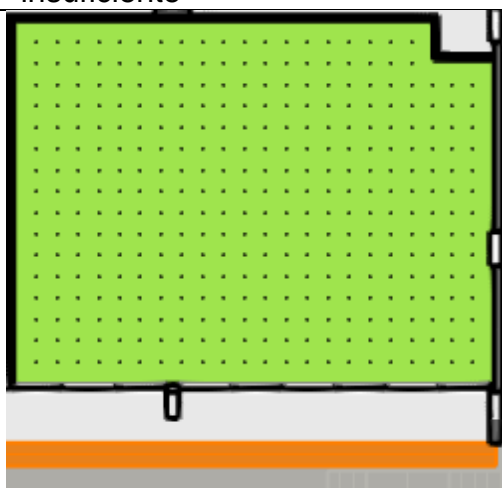
$sDG_{h.1,60m} = 3,41\%$
19% da área do piso



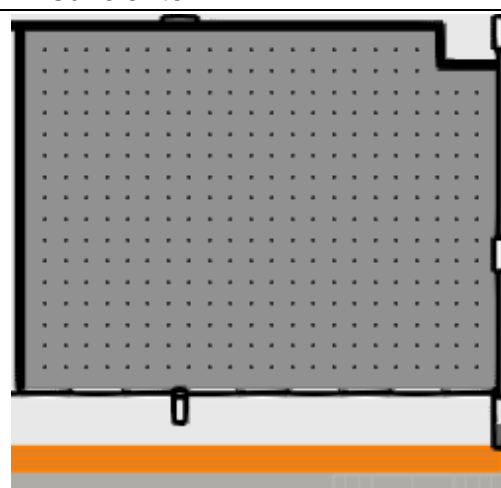
Vista h. 1,20m = 0% máxima;
57,7% média; 0% mínima; 42,3%
insuficiente



Vista h. 1,20m = 67% máxima;
8,4% média; 1,7% mínima; 22,9%
insuficiente

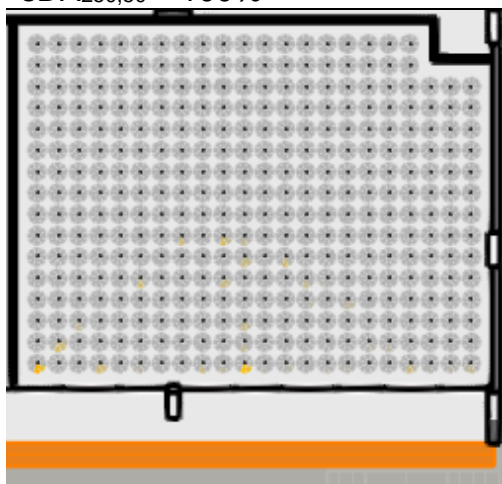


sDA_{250,50} = 100%

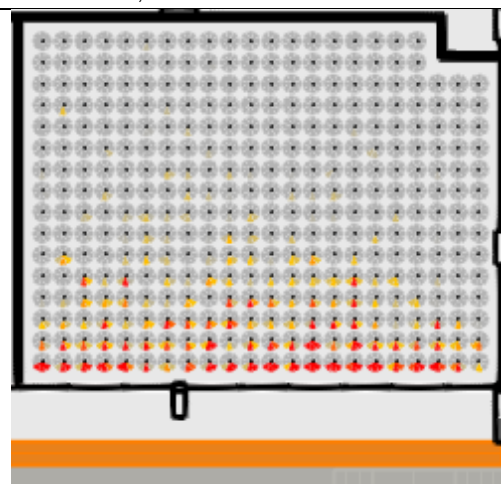


ASE_{1000,250} = 0%

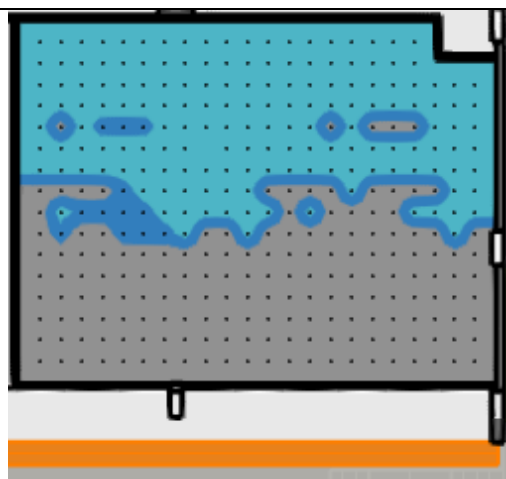
Sala
409S



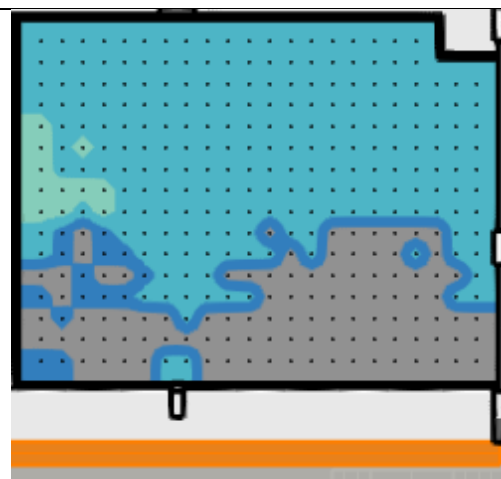
sDG h.1,20m = 1%
0% da área do piso



sDG h.1,60m = 3,76%
17% área do piso



Vista h. 1,20m = 0% máxima;
68,5% média; 1,4% mínima; 30,1%
insuficiente



Vista = 5,5% máxima; 88,4%
média; 0,9% mínima; 5,2%
insuficiente