

ALTERAÇÕES NA DISTRIBUIÇÃO DA LUZ NATURAL
CAUSADOS PELOS AGRUPAMENTOS DE ESTUDANTES
EM SALAS DE AULA

Carolina Bedoya Jaramillo



Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo
Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído

Carolina Bedoya Jaramillo

**ALTERAÇÕES NA DISTRIBUIÇÃO DA LUZ NATURAL
CAUSADOS PELOS AGRUPAMENTOS DE ESTUDANTES
EM SALAS DE AULA**

Dissertação submetida ao Programa
de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo da Universidade Federal
de Santa Catarina para a obtenção
do Título de Mestre em Arquitetura e
Urbanismo.

Orientador: Fernando Oscar Ruttkay
Pereira, PhD.

Bedoya Jaramillo, Carolina

Florianópolis
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bedoya Jaramillo, Carolina
ALTERAÇÕES NA DISTRIBUIÇÃO DA LUZ NATURAL CAUSADOS
PELOS AGRUPAMENTOS DE ALUNOS EM SALAS DE AULA / Carolina
Bedoya Jaramillo ; orientador, Fernando Oscar Ruttkay
Pereira. Florianópolis, SC, 2014.
142 p.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação
em Arquitetura e Urbanismo.

Inclui referências

1. Iluminação natural. 2. Iluminação em Salas de Aula.
3. Agrupamento de estudantes. I. Ruttkay Pereira, Fernando
Oscar . II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.
- III. Título.

Carolina Bedoya Jaramillo

Esta dissertação foi julgada e aprovada perante banca examinadora de trabalho final, outorgando ao aluno o título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído, do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ, da Universidade

Federal de Santa Catarina – UFSC.

Prof. Fernando Barth
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo

Banca Examinadora:

Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.a Dr. Claudia Naves D.
Amorim.
Universidade de Brasília

Prof. Dr. Anderson Claro
Universidade Federal de
Santa Catarina

Prof. Dr. Martín Ordenes Mizgier.
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2014

*...A mis papas,
mis motivadores,
mis fieles compañeros.*

AGRADECIMENTOS

Para todas as pessoas, colegas e familiares que com o seu apoio fizeram possível esta conquista. Cada um, foi importante para que o mestrado fora mais que isso, fora uma experiência de vida. O Brasil é minha segunda casa, e os meus amigos brasileiros, minha segunda família. Para os meus pais e minha irmã, muito obrigada pelo apoio incondicional. A sua, motivação e admiração foi muito importante nesse período fora de casa. Los adoro!

Obrigada Cata, por ser minha companheira, amiga e irmã. Compartilhamos uma experiência única e o teu apoio foi incondicional.

Obrigada Ader, pela força, por me impulsionar e apoiar. Obrigada Jorge por me ensinar sempre.

Obrigada Marguis, pela amizade na distancia e o apoio incondicional. Minha amiga, te quero mucho!

Obrigada Andre, Olavo e Nico, pelo apoio e carinho, vocês serão sempre minha família brasileira.

Agradeço a todo o pessoal do Lab. Vocês foram de grande apoio, foram a família mais próxima, obrigada pelas assessorias e sugestões que contribuíram ao desenvolvimento de um maravilhoso processo.

Obrigada Lê, pela amizade e ser a nossa co-orientadora, principalmente no português. Obrigada Cin, por nos impulsar e abrir as portas da sua casa, nos sentimos em família. Obrigada Lú, pela amizade e o carinho sempre. Obrigada Rapha, por ser o exemplo de trabalho e disciplina. Obrigada Sil, pelo carinho. Obrigada Alexandre, pelas dicas com Diva e as boas energias. Obrigada Marcelo pela admiração e o apoio. Obrigada Carlos, pela amizade e o carinho. Obrigada Naty, Cata e Rupp pelo apoio e compartilhar juntos as alegrias e sofrimentos da Copa. Obrigada Martín, pela boa energia.

Obrigada Feco pela paciência, ajuda e orientação no mestrado. Foi muito importante para mim o seu impulso nesse processo. Eu Admiro muito você!

Obrigada Eduardo, pelo carinho e sorrisos. Foi um grande prazer por ter conhecido. Você é um professor exemplar!. Eu Admiro muito você!

Obrigada Mariany, pela ajuda e a boa disposição sempre!. Obrigada aos membros da banca pelas orientações e ideias!. Obrigada à CAPES e ao programa "Sapiencia" da prefeitura de Medellín pelo apoio financeiro!

Gracias infinitas!!....e nunca esquecer, **somos BRASILÔMBIA!!**

RESUMO

É reconhecido que o aproveitamento da luz natural em escolas é uma das estratégias mais importantes no correto agenciamento dos recursos naturais disponíveis. Por sua vez, a distribuição da luz natural nos espaços internos está sujeita à forma como os usuários ocupam estes espaços. As Normativas locais e internacionais estabelecem iluminâncias médias de 300 lux para salas de aula, mas não especificam se este valor considera a ocupação dos estudantes e como eles interferem na distribuição da iluminação dentro da sala de aula. Não considerar a distribuição luminosa nestes espaços, nos quais os estudantes permanecem a maior parte do tempo, fazem diferentes atividades, que envolvem diferentes agrupamentos, pode gerar avaliações imprecisas. Este estudo tem como objetivo avaliar a influência de diferentes tipos de agrupamentos de estudantes em salas de aula iluminadas naturalmente, e comparar com uma sala de aula vazia. Foram realizadas as simulações computacionais estáticas e dinâmicas de uma sala de aula hipotética para avaliar a distribuição da luz no dia. O Plug-in DIVA do Rhinos foi usado para calcular a irradiação solar no espaço, em dois períodos do ano, durante o horário escolar. O software APOLUX permitiu avaliar a iluminação natural sobre diferentes condições de céu, em diferentes períodos do ano. Este trabalho mostra que, apesar da presença de estudantes nos diferentes tipos de agrupamentos, os níveis da iluminação e irradiação solar no plano de trabalho quando o espaço está ocupado é levemente inferior, quando comparada com a sala vazia. Também evidencia que independente do número de estudantes que se encontram em uma sala de aula, a maior influência está no tipo de agrupamento, postura e posição dos estudantes em relação às fontes de luz – as aberturas. Este estudo pode servir como método de análise para outros espaços que possuam qualidades de permanência significativas e que necessitam atingir exigências luminosas básicas.

Palavras-chave: Iluminação Natural. Iluminação em Salas de Aula. Agrupamento de Estudantes.

ABSTRACT

It is acknowledged that the use of daylight in schools is one of the most important strategies in the correct employment of the available natural resources. Meanwhile, the distribution of natural light in interior spaces is subject to how its users occupy this space. Local and international regulations establish average illuminance of 300 lux for classrooms, but do not specify whether this value considers the occupation of the students and how they interfere with the distribution of the daylight inside the classroom. To not consider the light distribution in these spaces, where students spend most of their time, doing different activities and interacting in different ways of grouping, can lead to imprecise evaluations. This study aims to evaluate the influence of different groups of students in naturally lighted classrooms, and compare their light distribution with the distribution in an empty classroom. Static and Dynamic computer simulations of a hypothetical classroom were performed to evaluate the interior light distribution during the day. Rhino's plug-in, DIVA, was used to calculate the solar incursion in the space, in two periods of the year, during school hours. The software APOLUX evaluated the natural lighting under different sky conditions, in different periods of the year. This paper shows that, despite the presence of students in different types of groupings, lighting levels and solar irradiance on the working plane, when the space is occupied, is slightly compared with an empty classroom. Also shows that regardless of the number of students in the classroom, the greatest influence is the type of grouping, posture and position of students in relation to the light source - the openings. This study can serve as a method of analysis for other spaces that have significant periods of permanence and that need to achieve basic light requirements.

Keywords: Daylighting. Daylighting in Classrooms. Groupings of Students.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Taxa de Escolarização das pessoas de 4 a 24 anos de idade por grupos de idade e situação do domicílio, segundo as Grandes Regiões do Brasil e Grandes Regiões - 1997. (IBGE, 2010).	2
Figura 2. Etapas da Teoria do Desenvolvimento Cognitivo de Piaget. (COOK L.; COOK, 2005, p.10; MEECE; H. DANIELS, 2007)	5
Figura 3. Esquema da problemática do estudo.....	3
Figura 4. Possibilidades de arranjo recomendadas pelo Caderno Técnico N. 4	10
Figura 5. Sala de aula tipo <i>fingers</i>	12
Figura 6. Diagrama esquemático do sistema circadiano (CIE, 2004)	21
Figura 7. A) Esquema de sensibilidade visual escotópica e fotópica. (IESNA, 2000).B) Esquema de adaptação da escuridão.(Versão diagrama John E. Dowling apud ALONSO et al., 2012)	23
Figura 8. Imagem olho de peixe com as luminâncias medidas in loco.	27
Figura 9. Exemplo de um <i>Early Treatment Diabetic Retinopathy Study</i>	30
Figura 10. Estudo de luminâncias com imagens <i>HDR</i> (VAN DEN WYMELENBERG; INANICI; JOHNSON, 2010)	32
Figura 11. Comparação de predição anual DGP para vista fixa e liberdade de $\pm 45^\circ$. (JAKUBIEC; REINHART, 2011a).....	33
Figura 12. Imagens geradas pelo <i>Apolux 3 Beta</i>	35
Figura 13. Intervalos dos níveis de iluminâncias UDI.(NABIL; MARDALJEVIC, 2006)	36
Figura 14. Diferentes vistas do modelo no Rhinoceros (LAGIOS, 2013).....	38
Figura 15. Representação de mapas de Irradiação	38
Figura 16. Dimensões da sala de aula de acordo com a Norma	42
Figura 17. Área de abertura na sala de aula	42
Figura 18. Tipos de Agrupamentos escolhidos nas salas de aula ..	44
Figura 19. Sínteses dos parâmetros	45
Figura 20. Resumo e combinação dos parâmetros de simulação ..	47
Figura 21. Resumo e combinação dos parâmetros de simulação ...	48
Figura 22. Exemplo de Mapa de irradiação e definição das faixas segundo a disponibilidade da irradiação solar nos agrupamentos ..	50
Figura 23. Representação gráfica dos materiais e o seu fracionamento no <i>Módulo Fractal</i>	53
Figura 24. Resumo e combinação dos parâmetros de simulação no <i>Apolux</i>	55

Figura 25. Representação gráfica das iluminâncias no <i>Módulo Foton</i>	57
Figura 26. Iluminâncias arrumadas na planilha do Excel	59
Figura 27. Mapa das iluminâncias e as percentagens em cada faixa	60
Figura 28. Mapas de irradiação ao Norte	63
Figura 29. Mapas de irradiação ao Leste	65
Figura 30. Mapas de irradiação ao Oeste	66
Figura 31. Mapas de Irradiação ao Sul	68
Figura 32. Mapa em faixas do Norte_Agosto 12-16h	70
Figura 33. Mapa em faixas do Leste_Março 8-12h	70
Figura 34. Mapa em faixas do Oeste_Agosto 12-16h	71
Figura 35. Mapa em faixas do Sul_ Março 8-12h	71
Figura 36. Diferença percentual dos agrupamentos com a sala Vazia	72
Figura 37. Esquema para entender a diferença percentual entre os agrupamentos	74
Figura 38. Disponibilidade de irradiação solar por faixas Norte	75
Figura 39. Disponibilidade de irradiação solar por faixas Leste	75
Figura 40. Disponibilidade de irradiação solar por faixas Oeste	76
Figura 41. Disponibilidade de irradiação solar por faixas Sul	76
Figura 42. Médias de valores máximos e intermediários nos meses de Março e Agosto	77
Figura 43. Curva de distribuição das iluminâncias na Sala Vazia Norte	79
Figura 44. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Fileiras Norte	80
Figura 45. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Grupos Norte	81
Figura 46. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Mesa Redonda Norte	82
Figura 47. Curva de distribuição das iluminâncias na Sala Vazia Leste	85
Figura 48. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Fileiras Leste	86
Figura 49. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Grupos Leste	87
Figura 50. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Mesa Redonda Leste	88
Figura 51. Curva de distribuição das iluminâncias na Sala Vazia Oeste	91
Figura 52. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Fileiras Oeste	92

Figura 53. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Grupos Oeste.	93
Figura 54. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Mesa Redonda Oeste.	94
Figura 55. Curva de distribuição das iluminâncias na Sala Vazia Sul.	96
Figura 56. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Fileiras Sul.	97
Figura 57. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Grupos Sul.	98
Figura 58. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Mesa Redonda Sul.	99
Figura 59. Curva de distribuição das iluminâncias para o Norte. ...	101
Figura 60. Curva de distribuição das iluminâncias para o Leste. ...	102
Figura 61. Curva de distribuição das iluminâncias para o Oeste. .	103
Figura 62. Curva de distribuição das iluminâncias para o Sul.	104
Figura 63. Distribuição das iluminâncias por faixas Norte.	106
Figura 64. Distribuição das iluminâncias por faixas Leste.	107
Figura 65. Distribuição das iluminâncias por faixas Oeste.	107
Figura 66. Distribuição das iluminâncias por faixas Sul.	108
Figura 67. Mapas de distribuição das iluminâncias para Norte_Mar 9h.	110
Figura 68. Mapas de distribuição das iluminâncias para Leste_Mar 9h.	111
Figura 69. Área ocupada vr. dispersão dos estudantes.	112
Figura 70. Diferenças de área de ocupação em <i>Fileiras</i> e <i>Mesa R</i>	115
Figura 71. Zoneamento da sala segundo a distribuição das iluminâncias e a ocupação.	118
Figura 72. Esquema explicativo da ocupação em relação à distribuição das iluminâncias.	119
Figura 73. Recomendações de ocupação segundo a distribuição das iluminâncias para Norte e Leste.	121
Figura 74. Recomendações de ocupação segundo a distribuição das iluminâncias para Oeste e Sul.	122
Figura 75. Gráfico resumo das percentagens de alteração dos agrupamentos na distribuição das iluminâncias com relação à sala vazia	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. Lista de condicionantes ambientais para espaços escolares, segundo o Caderno Técnico N. 4 (Ministério de Educação do Brasil, FUNDAESCOLA, 2002).....	8
Tabela 3. Níveis de Iluminação no plano horizontal para salas de aula no contexto internacional	15
Tabela 4. Lista de parâmetros luminosos para espaços escolares, de acordo com o Caderno Técnico N. 4 (Ministério de Educação do Brasil, FUNDAESCOLA, 2002).....	17
Tabela 5. Uniformidade e relação entre iluminâncias das áreas circundantes à área da tarefa (CEN, 2002).....	28
Tabela 6. Proporção recomendada para diferença de Luminâncias. (EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE-GENERAL FOR ENERGY, 1994).....	29
Tabela 7. Métricas dinâmicas complementarias. (CARLI; GIULI, 2009; PEREIRA, F. O. R., 2005)	37
Tabela 8. Parâmetros de simulação adotados no Plug-in DIVA.....	47
Tabela 9. Parâmetros de preparação adotados no <i>Módulo Fractal</i> do Apolux	52
Tabela 10. Parâmetros de simulação adotados no <i>Módulo Foton</i> do Apolux	54
Tabela 11. Somatória das diferenças percentuais absolutas	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Três dimensões
AF	Agrupamento Fileiras
AG	Agrupamento Grupos
Ago	Agosto
AMR	Agrupamento Mesa R
AV	Agrupamento sala Vazia
cd/m²	Candelas por metros quadrado
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
DA	Daylight Autonomy
DGP	Daylight Glare Probability
Em	Iluminância mantida
Etot(lux)	Iluminância total na face virada para fora do plano
EtotN(lux)	Iluminância total virada para dentro do plano
FLD	Fator de Luz Diurna
h	Hora
HDR	High Dynamic Range
HMG	Heschong Mahone Group
IBGE	Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
IES	Illuminating Engineering Society
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America
ISAK	International Society for the advancement of the Kinanthropometry
kWh/m²	Kilowatts hora por metro quadrado
lm/m²	Lumen por metro quadrado
Lx	Lux
Mar	Março
NREL	National Renewable Energy laboratory
OMS	Organização Mundial da Saúde
Op	Opção
R_a	Índice de reprodução de cor
RETILAP	Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público
SWERA	Solar and Wind Energy Resource Assessment
TRY	Test Reference Year
UDI	Useful Daylight Illuminances
UGR_L	Índice Limite de Ofuscamento Unificado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo Geral.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 ESTRUTURA GERAL DO TRABALHO	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 ESPAÇOS ESCOLARES.....	6
2.1.1 Introdução.....	6
2.1.2 Salas de aula	7
2.1.3 Tipos de agrupamentos.....	7
2.1.4 Planejamento de salas de aula, segundo a Normativa brasileira. Caderno Técnico N. 4.....	8
2.2 INFLUÊNCIA DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM ESCOLAS	10
2.2.1 Normativa e requisitos de iluminação natural em salas de aula	14
2.2.2 Parâmetros para iluminar naturalmente as salas de aula...	16
2.3 DESENVOLVIMENTO VISUAL DAS CRIANÇAS	18
2.4 LUZ NATURAL.....	18
2.4.1 Influência da luz natural no SISTEMA CIRCADIANO.....	20
2.4.2 Influência da luz natural no SISTEMA VISUAL.....	21
2.4.3 Influência da luz natural no SISTEMA PERCEPTIVO.....	24
2.5 CONDIÇÕES QUE AFETAM O CONFORTO VISUAL	25
2.5.1 Luminâncias.....	26
2.5.2 Distribuição das Iluminâncias	27
2.5.3 Desempenho da tarefa visual.....	28
<u> </u> <input type="checkbox"/> Acuidade Visual.....	29
<u> </u> <input type="checkbox"/> Ofuscamento.....	30
2.6 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA LUZ NATURAL	33
2.6.1 Medidas dos parâmetros estáticos.....	34
2.6.2 Medidas dos parâmetros dinâmicos.....	35
2.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..	39
3. METODOLOGIA	40
3.1 TIPO DE ESTUDO	40

3.2	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS BASE DAS SALAS DE AULA.....	41
3.2.1	Área sala de aula hipotética.....	41
3.2.2	Área e localização de janela.....	42
3.2.3	Área de verificação e análise.....	43
3.2.4	Tipos de agrupamentos.....	43
3.2.5	Parâmetros antropométricos.....	44
3.2.6	Orientações da sala de aula.....	45
3.3	FERRAMENTAS DE ANÁLISE.....	46
3.3.1	Construção da sala de aula.....	46
3.3.2	Simulação da irradiação solar no interior da sala de aula...	46
3.2.2.1	Processamento dos dados.....	48
3.2.2.2	Geração de mapas de irradiação e criação de faixas sobre a irradiação solar nos agrupamentos.....	49
3.2.2.3	Definição das médias representativas da irradiação solar por agrupamento.....	50
3.2.3	Simulação da Distribuição das Iluminâncias no interior das salas de aula.....	51
3.2.3.1	Preparação do modelo no Módulo Fractal.....	51
3.2.3.2	Simulação do modelo no Módulo Foton.....	53
3.2.3.3	Cálculo de Visibilidade e Radiosidade.....	55
3.2.3.4	Processamento dos dados.....	56
3.2.3.5	Geração de curvas da distribuição das iluminâncias..	58
3.2.4	Geração de mapas das iluminâncias e criação de faixas sobre a distribuição de iluminâncias nos agrupamentos.	59
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	61
4.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR DENTRO DA SALA DE AULA PLUG-IN DIVA	62
4.2.1	Mapas de irradiação solar nos agrupamentos e divisão dos intervalos de disponibilidade de irradiação solar.....	62
4.1.1.2	Divisão dos intervalos de irradiação solar.....	69
4.1.1.3	Diferença percentual dos agrupamentos com a sala vazia	72
4.1.2	Médias representativas da disponibilidade de irradiação solar.....	77
4.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS DE DISTRIBUIÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS DENTRO DA SALA DE AULA APOLUX.....	78

4.2.1	Curvas da distribuição das iluminâncias por agrupamento	78
4.2.2	Curvas da distribuição das iluminâncias por orientação	100
4.2.3	Mapas de distribuição das iluminâncias nos agrupamentos.....	106
4.1	CONSIDERAÇÕES DOS RESULTADOS	113
4.1.1	Considerações dos resultados de irradiação solar na sala de aula.....	113
4.1.2	Considerações dos resultados de distribuição das Iluminâncias na sala de aula.....	115
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
5.1	CONCLUSÕES	125
5.2	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	127
5.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	128
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

Segundo a Lei brasileira n. 9.394 de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional do país, descreve no Título 1, Da Educação que:

“A educação abrange os processos formativos que se desenvolvem na vida familiar, na convivência humana, no trabalho, nas instituições de ensino e pesquisa, nos movimentos sociais e organizações da sociedade civil e nas manifestações culturais (...) esta se desenvolve, predominantemente, por meio do ensino, em instituições próprias (...) e tem como finalidade o pleno desenvolvimento do educando, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho”.(MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO NACIONAL, 1996, p. 7).

Sendo o ambiente escolar uma das principais influências no desempenho acadêmico dos estudantes, é importante conhecer a taxa ou níveis de Escolaridade que determinam as necessidades educativas da sociedade.

A Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, mostra que a média de anos de estudos da população brasileira com mais de 10 anos é de 7,3 anos, tempo insuficiente para se completar o Ensino Fundamental, etapa obrigatória pela legislação, que deve ter uma duração de 9 anos. Entre os anos 2008 e 2009, o Brasil alcançou uma população adolescente (com idades entre 10 e 14 anos) de 17.5 milhões, dos quais 97% frequentavam a escola de Ensino Fundamental. (IBGE, 2010).

Desde 1997, o incremento na taxa de escolaridade, próxima a 92%, confirmou que a população jovem entre 7 e 14 anos de idade era a que mais frequentava a escola, sendo mais marcante este fato na zona Sudeste do Brasil, como se mostra na Figura 1. (IBGE, 2010).

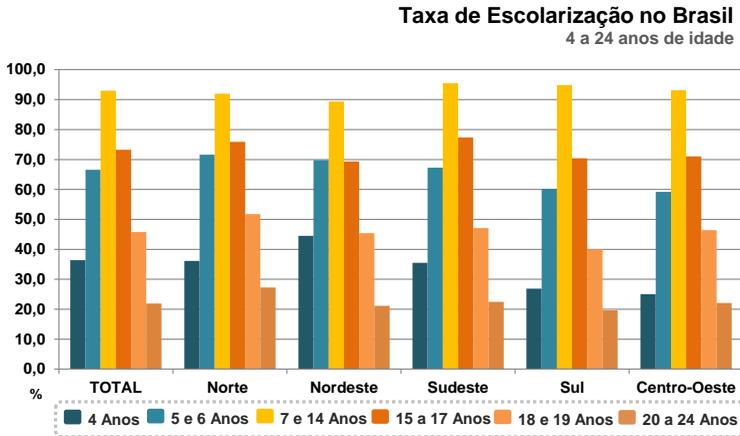


Figura 1. Taxa de Escolarização das pessoas de 4 a 24 anos de idade por grupos de idade e situação do domicílio, segundo as Grandes Regiões do Brasil e Grandes Regiões - 1997. (IBGE, 2010).

No ano 2009, esse percentual foi de 85,2%, e em 2011, caiu para 83,7%. Porém, essa queda não significou que os jovens tivessem se afastado das escolas. De acordo com estatísticas do IBGE, mais jovens nessa faixa etária estão concluindo o Ensino Médio.

O Ministério de Educação Nacional compila em documentos normativos, parâmetros de planejamento, execução e uso de espaços escolares. No Brasil, o Caderno Técnico 4 – Volume 1, de 2002, contém premissas para a elaboração de projetos e adequação de edificações escolares de Ensino Fundamental.

A normativa exige o compromisso profissional para projetar ambientes pedagógicos que integrem diferentes aspectos. No caso brasileiro,

“É atribuição de quem projeta o prédio escolar criar um espaço técnico, funcional e comprometido com a eficácia pedagógica, buscando ajustar o edifício escolar às necessidades educativas de uma dada região e ao espaço no qual se insere.” (MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO DO BRASIL; FUNDAESCOLA, 2002, p. 10.).

As salas de aula devem considerar as características dos usuários para seu dimensionamento, as atividades a serem desenvolvidas bem como o tipo de mobiliário. Estes espaços obedecem à necessidade de conter um número determinado de estudantes para realizar atividades acadêmicas em grupos. As possibilidades arquitetônicas destes espaços devem levar em consideração a capacidade de ocupação, tipos de agrupamentos para diversas atividades e condições ambientais adequadas, visando melhorar o desempenho acadêmico dos estudantes.

Além de considerações técnicas e formais dos ambientes pedagógicos, é importante a consideração do clima, das condicionantes ambientais, das premissas de conforto térmico (insolação e ventilação), visual (iluminação) e acústica (isolamento e nível de ruído externo) e das relações ergonômicas, nas quais é estudado o usuário, suas dimensões antropométricas e a relação com os móveis em diversas situações. O presente trabalho está focado no efeito da ocupação de estudantes na distribuição da *iluminação natural* dentro da sala de aula.

No caso da iluminação natural, as *alterações* da qualidade ambiental, dentro da sala de aula, causadas pelos diferentes tipos de agrupamentos dos estudantes adolescentes (grupo etário escolhido) têm a ver, em princípio, com uma função humana natural: movimentar-se, trasladar o corpo para fazer uma atividade, mudando assim, o espaço.

Roch Meynard (1966) *apud* Melo B.; Alzate S.; Velásquez E., (2007) introduziu o termo *Cineantropometria*, que identifica o homem em função do *movimento*, estudando, principalmente, o amadurecimento do corpo e a faixa de crescimento das pessoas.

Por sua vez, a ISAK¹ (1998) *apud* Melo B.; Alzate S.; Velásquez E., (2007) define a *Cineantropometria* como a união entre anatomia e movimento. Esta relação conduz a que cada pessoa responda ao movimento, segundo suas características anatômicas, definidas pela idade, gênero e a maturidade hormonal.

1 International Society for the advancement of the Kinanthropometry– ISAK.

Esta condição é determinante no processo de desenvolvimento físico dos estudantes, para saber, inclusive, a área de ocupação dentro dos espaços pedagógicos como as salas de aula.

A ação do movimento ocorre a partir do sistema háptico. Segundo Gibson, (1986), o sistema háptico é a percepção do indivíduo do mundo adjacente a seu corpo, a partir do uso de seu próprio corpo, ou seja, dos receptores sensoriais' (ouvidos, olhos...). O autor assegura que existe a percepção do movimento a partir da visão, resposta incitada pela luz:

“Não existem provas que sugerem que um sistema visual pode ter uma boa acuidade para distinguir entre as formas de movimento da luz, sem necessidade de ter alta acuidade para distinguir formas” (...) “mas, estamos preocupados demais com a forma, que nós damos como certo às sutilezas da transformação do campo de visão. Em diversos graus, a visão faz possível a percepção do movimento no meio ambiente” (GIBSON, 1986, p.111.)

Existem diferentes pesquisas que estudam a influência da luz natural no desempenho escolar dos estudantes. Estudos desenvolvidos no Canadá por Hathaway et al., (1992) constatam que a presença da luz natural nas salas de aula garante uma aprendizagem mais rápida, maior desenvolvimento físico; e adequadas condições de conforto visual devido à interação dos alunos com as janelas. Em Califórnia, o Heschong Mahone Group, (1999), demonstram a relação uniforme e estatisticamente positiva entre a presença da luz natural e melhores notas dos estudantes. No caso Europeu, são aprofundados estudos nas salas de aula do futuro por Fotios, Ramasoot, (2009).

Por outra parte, Giraldo; Pereira, (2012) aprofundam sobre as variáveis da arquitetura dentro da sala de aula que influenciam na probabilidade de ocorrência de ofuscamento nas crianças.

Observa-se como os estudos vão encaminhados nas afetações da luz no sistema visual e físico das crianças, mais não consideram a ocupação deles como um fator que altere as condições luminosas da sala de aula.

As alterações na distribuição da iluminação na sala de aula, causadas pela ocupação destas, estão relacionadas com fatores naturais como o crescimento e desenvolvimento do adolescente (“*growth spurt*” na adolescência) e com fatores complementares como os tipos de agrupamentos, posição da janela na sala e as necessidades de iluminação para um ótimo desempenho da tarefa visual.

Ao se falar de estudantes, deve ser reconhecido o processo de crescimento como um fator natural que influencia as nas mudanças físicas no decorrer de um ano letivo. A maior variação das condições antropométricas é derivada do crescimento acelerado ou “*growth spurt*”, que dura aproximadamente 2 anos. Aspectos como a maturidade hormonal e sexual se consideram como indicadores deste processo (OMS, 2003).

No caso das mulheres adolescentes, essa fase acontece entre os 8 anos e meio até os 13 anos; e homens adolescentes, entre os 10 anos e os 16 anos . Antes dos 12 anos de idade, os meninos são mais altos do que as meninas (2% a mais), depois, aos 11 anos de idade, as meninas são mais altas, pesadas e fortes. Logo após, os homens adolescentes aumentam sua altura em 5% a 6% a mais do que as mulheres adolescentes, com um peso final maior em 10%. Os homens crescem, de forma mais, embora levem mais tempo. Nesse período de desenvolvimento físico, os olhos crescem rapidamente e, portanto, o período de concentração em uma atividade aumenta. (OMS, 2003).

De acordo com o desenvolvimento cognitivo, tal como se ilustra na Figura 2, os adolescentes começam com o desenvolvimento das *operações concretas*, onde o pensamento está ligado às respostas dos fenômenos do ambiente e às experiências tangíveis com os objetos do mundo real. Logo depois, com o desenvolvimento das *operações formais*, a partir

do raciocínio hipotético dedutivo, ou seja, enfrentam-se a tomar decisões em escolha da que mais lhes convém. (COOK L.; COOK, 2005; MEECE; H. DANIELS, 2007).

Segundo Piaget (1952), no mesmo documento, as crianças conhecem o mundo mediante representações mentais, que levam a ações físicas, manifestações produzidas a partir do *corpo*. Durante o desenvolvimento das crianças, conforme elas avançam nas etapas, há uma melhoria na capacidade para usar esquemas complexos e abstratos, assim, permitem organizar seu conhecimento, por exemplo, ter a capacidade de manifestar verbal ou fisicamente se eles estão confortáveis ou não com alguma situação. No caso particular, uma manifestação do estudante na qual se evidencie o incômodo ou bem-estar, devido à influência da iluminação natural captada pelos olhos, pode causar um tipo de agrupamento ou forma de ocupação dentro da sala de aula.

Etapas da teoria do Desenvolvimento Cognitivo de Piaget		
Etapas	Idade	Características
Sensorial-Motora <i>A Criança ativa</i> 	< 2 anos	<ul style="list-style-type: none"> * A criança aprende a <i>conduta propositiva</i>, o pensamento orientado e guiado para meios e fins. * Carecem de princípios básicos
Preoperacional <i>A Criança intuitiva</i> 	2 - 7 anos	<ul style="list-style-type: none"> * A criança usa simbologia e palavras para pensar. Solução intuitiva dos problemas, mais o pensamento está limitado pela rigidez, a centralização, o egocentrismo, o animismo. * As representações mentais são expressas na linguagem, a arte e a brincadeira
Operações Concretas <i>A Criança Prática</i> 	7 - 11 anos	<ul style="list-style-type: none"> * A criança aprende as operações lógicas de seriação, de classificação e de conservação. * O pensamento está ligado aos fenômenos e objetos do mundo real. * A lógica se limita ao concreto e experiências tangíveis. * Os esquemas podem ser reversíveis.
Operações Formais <i>A Criança Reflexiva</i> 	> 12 anos	<ul style="list-style-type: none"> * A criança aprende sistemas abstratos do pensamento que lhe permitem fazer uso da lógica proporcional, o raciocínio científico e o raciocínio proporcional. * Aparece Raciocínio hipotético-dedutivo

Figura 2. Etapas da Teoria do Desenvolvimento Cognitivo de Piaget. (COOK L.; COOK, 2005, p.10; MEECE; H. DANIELS, 2007)

Compreendidas as características fisiológicas e cognitivas dos adolescentes, percebe-se a influência no comportamento social, sobretudo na sala de aula, local em que se passa a maior parte do tempo, ao longo do dia. Em ambas as características, o movimento e as possibilidades de agrupamento influenciam na distribuição da iluminação existente. Portanto, garantir níveis de iluminação mínimos, em uma sala de aula, sem considerar a movimentação de seus estudantes, além de não considerar que são usuários em período de crescimento acelerado, induz uma avaliação incompleta da distribuição da iluminação de forma incompleta, já que adiciona uma variável não presente em um espaço vazio.

Os estudos de iluminação natural frequentemente relatam sobre a influência que esta tem nas pessoas (no controle do relógio biológico) e nos espaços (disponibilidade de luz ao interior). Porém, é difícil encontrar estudos que falem como a presença dos usuários dentro dos espaços interfere na distribuição da iluminação natural.

Espaços como as salas de aula, devem considerar, além da presença dos estudantes, a capacidade de ocupação, tipos de agrupamentos para diversas atividades e condições ambientais adequadas visando melhoria do desempenho acadêmico dos estudantes.

Segundo o Caderno Técnico 4, (FUNDAESCOLA, 2002) documento que compila diferentes diretrizes para o acompanhamento de projetos arquitetônicos e construção de escolas de Ensino Fundamental, no volume 1, é recomendada a percentagem de janela, de acordo com a área de piso e a localização de aberturas em relação ao quadro-negro giz (1/5 da área do piso ou mais, aberturas do lado esquerdo).

Além disso, recomenda opções de prática pedagógica, onde existam soluções arquitetônicas que possibilitem diversas formas de arranjo do mobiliário, de modo a permitir organização em pequenos grupos, em círculo, projeções, aulas expositivas e outras mais, com livre movimentação dos alunos.

Em paralelo, as Normas brasileiras definem níveis de iluminâncias médios levando em consideração diferentes parâmetros. A Norma brasileira NBR 5413,(1991) definia fatores

como a idade, velocidade e precisão da atividade e refletância do fundo da tarefa como determinantes para desenvolver adequadamente uma tarefa visual e considerava níveis de iluminâncias nas salas de aula, em faixas a partir de 200 a 500 lux, com um valor médio de 300lux para os planos de trabalho. Contudo, esta norma foi atualizada pela NBR ISO/CIE 8995, (2013) que somente apresenta níveis de iluminância mantida (E_m), os quais correspondem aos valores abaixo do qual não convêm que a iluminância média da superfície especificada seja reduzida.

Para construções educacionais, particularmente nas salas de aula, a NBR ISO/CIE 8995, (2013) estabelece uma iluminância mantida de 300 lux e não discrimina em valores mínimos e máximos, além disso apresenta o limite de ofuscamento unificado (UGR_L) de 19 e um índice de reprodução de cor mínimo (R_a) de 80.

Embora sejam determinadas as diferentes possibilidades de arranjo na sala de aula no Caderno Técnico, estes não são considerados dentro dos requerimentos para iluminar, naturalmente, uma sala de aula na NBR ISO/CIE 8995, (2013).

O projeto de espaços deve ter uma correlação estética e funcional, na qual as necessidades dos usuários prevaleçam sobre a condição estética dos edifícios. *A distribuição luminosa está sujeita à maneira como os usuários ocupam os espaços.* Não incluir sua presença nas avaliações da distribuição luminosa em espaços, como salas de aula, por exemplo, pode gerar avaliações imprecisas.

Como se mostra na Figura 3, a relação comum que se apresenta nos estudos de iluminação, é como ela influencia no espaço e nos usuários. Este trabalho considera, em salas de aula de ensino fundamental, a relação humano-espacial para avaliar a influência que tem a ocupação na distribuição luminosa.

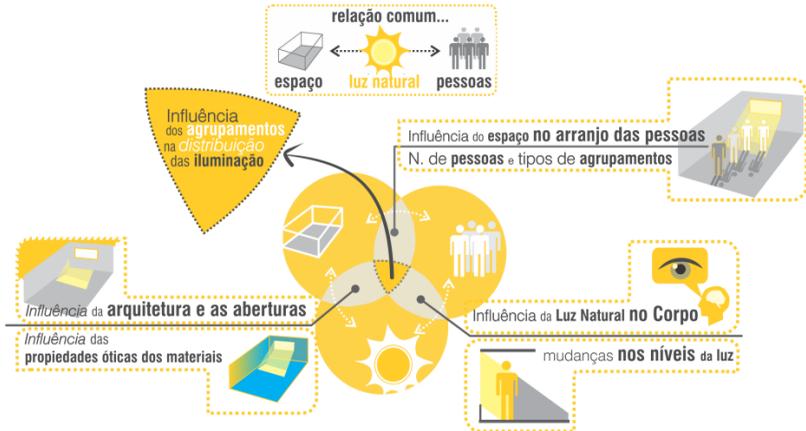


Figura 3. Esquema da problemática do estudo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência de diferentes tipos de agrupamentos de estudantes em salas de aula hipotéticas, sobre as condições da iluminação natural interior.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Analisar a disponibilidade de irradiação solar nos agrupamentos com estudantes, comparada com a disponibilidade na sala vazia, a partir da simulação dinâmica.
2. Analisar a distribuição das iluminâncias nos agrupamentos comparada com a distribuição na sala vazia, a partir da simulação estática.
3. Identificar diferenças entre os agrupamentos, e as alterações na disponibilidade de irradiação solar, principalmente, na distribuição da iluminação.
4. Determinar condições adequadas de ocupação e disposição dos estudantes, de acordo com a distribuição da iluminação.

1.3 ESTRUTURA GERAL DO TRABALHO

- Na **primeira parte** foi apresentada a Introdução, onde foram abordadas a justificativa e problemática do estudo a partir do reconhecimento da taxa de escolaridade do Brasil, destacando a importância da permanência dos estudantes dentro da sala de aula, durante quase a metade do dia. Além disso, foram descritas as características cognitivas nas diferentes etapas das crianças para entender o comportamento físico e social dentro da sala de aula.

Uma vez, reconhecido o contexto da sala como local importante na formação dos estudantes, foi encontrado que a normativa para iluminar não considera a ocupação como um fator determinante na distribuição da luz, portanto se apresentou a relevância do estudo, assim como os objetivos do trabalho.

- Na **segunda parte** foram apresentados a *Revisão Bibliográfica e o Estado da Arte*, encaminhadas em contextualizar, partir da normativa brasileira para planejamento das salas de aula, o conceito de sala de aula e as variáveis que devem se levar em conta na hora de planejar uma sala de aula. Logo, se aprofundou nos estudos de diferentes autores que aprofundam na influência da luz natural nas escolas e no sistema visual das crianças. Também foi feita uma revisão nos conceitos básicos da luz natural a partir da influência do sistema circadiano, visual e perceptivo, para entender o que a abordagem da pesquisa na iluminação natural é direcionada na influência nas pessoas, e não como elas interferem na iluminação natural.

Finalmente, foi realizada uma revisão dos principais métodos de avaliação da luz natural que permitiram aprofundar nos principais programas computacionais usados no presente trabalho.

- Na **terceira parte** foi apresentada a Metodologia, na qual foi desenvolvida a definição dos parâmetros base para a modelagem da sala de aula. O processo metodológico foi baseado na utilização de simulação assistida por computador, na qual foi avaliada a irradiação solar no plano de trabalho da sala (simulação dinâmica) e, os níveis de iluminação natural a partir da distribuição das iluminâncias no plano de trabalho da sala (simulação estática). Em cada uma das ferramentas de análise

foram descritos, passo a passo, os diferentes procedimentos que foram adotados para fazer o número total de simulações.

- **Na quarta parte** foi apresentada a Análise de Resultados, a partir da organização, edição de dados e gráficos produzidos nas simulações de irradiação solar e iluminação natural no plano de trabalho da sala de aula desenvolvidas na metodologia.

Finalmente, foram descritas as considerações finais dos resultados obtidos em cada uma das simulações.

- **Na quinta parte** foi finalizada a pesquisa a partir da identificação das alterações dos agrupamentos de estudantes na distribuição da iluminação natural. Se encontrou que as alterações que maior influenciam na iluminação são: a ocupação dos estudantes e a sua disposição dentro da sala (dispersos ou juntos dentro da sala).

A partir disso, se apresentam as conclusões, a formulação de recomendações, limitações e sugestões para trabalhos futuros.

- **Na sexta parte** foram apresentadas às referências bibliográficas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESPAÇOS ESCOLARES

2.1.1 Introdução

Boa parte de nossa infância e adolescência se dá na escola, quase 50% da nossa vida é desenvolvida dentro das salas de aula. A escola, com função social de democratizar conhecimentos e formar cidadãos conscientes, participativos e atuantes é um direito de todos.

Como direito fundamental, a escola deve considerar espaços escolares adequados para a realização individual e coletiva dos estudantes em todas as suas etapas educativas e de crescimento. Além de levar em conta requisitos construtivos, devem se manter espaços saudáveis que garantam o conforto ambiental dos usuários. (RODINEY, *Brasil Escola* [S.d.]).

Segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM, (1996) *apud* AZEVEDO, 2002, na caracterização e dimensionamento dos ambientes escolares são avaliadas as atividades, as relações entre os usuários, o mobiliário e os equipamentos necessários às diferentes funções do edifício escolar.

“As escolas destinam-se às crianças e adolescentes. Portanto é necessário observar suas características físicas e comportamentais no momento da elaboração dos projetos, tanto na adequação dos espaços, quanto na escolha do mobiliário e equipamentos” (IBAM, 1996, p. 15)

Para o ano de 2002, o Ministério de Educação, em parceria com o Fundo de Fortalecimento da Escola –*FUNDESCOLA*–compilam em um documento, nomeado *Caderno Técnico N. 4*, subsídios técnicos às equipes de profissionais dos órgãos estaduais e municipais envolvidas na elaboração, no acompanhamento de projetos arquitetônicos e na construção de escolas de Ensino Fundamental. O documento divide-se em três partes: a primeira, contém informações para a elaboração,

desenvolvimento ou acompanhamento do projeto de uma escola; a segunda, contém informações, em forma de desenhos, de relações ergonômicas significativas a serem utilizadas pelos projetistas nos espaços educativos e, a terceira, é constituída por um conjunto de fichas dos ambientes mais frequentes na composição do programa arquitetônico de escolas de Ensino Fundamental. (Ministério de Educação do Brasil; FUNDAESCOLA, 2002).

2.1.2 Salas de aula

Segundo AZEVEDO, (2002), tem havido um consenso de que o ambiente da sala de aula pode afetar atitudes e comportamentos, relacionando a qualidade do ambiente construído com a diminuição da interação social, o aumento da agressividade e a redução do grau de concentração, comprometendo, conseqüentemente, a eficácia do método educativo. Contudo, ainda é bastante comum dissociar os aspectos físicos do edifício escolar do processo de aprendizagem, negligenciando assim, os mecanismos perceptivos e cognitivos das crianças. Dentro da sala de aula, Segundo LYNCHS (1995) *apud* AZEVEDO, (2002), as necessidades espaciais das crianças em idade pré-escolar diferem das necessidades dos adolescentes; sua relação com o espaço é fluída e contínua, utilizam menos os recursos verbais e estão abertos aos estímulos visuais e auditivos. No caso dos adolescentes, o IBAM, (1996) afirma que eles “*tendem a associar-se em grupos*” e para isso, necessitam de espaços apropriados onde possam conviver e manifestar-se.

2.1.3 Tipos de agrupamentos

Os tipos de agrupamentos são configurações no tempo e espaço dentro da sala de aula. Dependem de diferentes atividades, do número de estudantes, do tempo que requer uma atividade e das possibilidades arquitetônicas da sala. As possibilidades de ocupação de uma sala de aula, devem contemplar, além do conforto espacial e princípios de *proximidade* nos estudantes, a garantia das condições

ambientais adequadas com pessoas, e sem elas, e em diferentes tipos de agrupamento. Ou seja, uma sala de aula, que é projetada para um número de estudantes, com a possibilidade de diferentes arranjos, de acordo com a atividade escolar e as possíveis mudanças ambientais, sobretudo na iluminação natural, corresponde a uma sala de aula adequada.

2.1.4 Planejamento de salas de aula, segundo a Normativa brasileira. Caderno Técnico N. 4

No contexto brasileiro, a sala de aula é definida como o local principal de desenvolvimento de aulas dos componentes curriculares do Ensino Fundamental, de aulas ou atividades de reforço e recuperação e de aulas de aceleração da aprendizagem. (Ministério de Educação do Brasil; FUNDAESCOLA, 2002). O Caderno Técnico 4, em seu volume 2, lista diferentes condicionantes ambientais que devem se levar em conta na hora de se projetar salas de aula. Os parâmetros são recomendados para escolas novas e escolas existentes. A Tabela 2 mostra as diferentes recomendações para cada item.

Tabela 1. Lista de condicionantes ambientais para espaços escolares, segundo o Caderno Técnico N. 4 (Ministério de Educação do Brasil, FUNDAESCOLA, 2002)

Condicionantes Ambientais	Parâmetros	
	Recomendados - Escolas Novas	Mínimo - Escolas Existentes
Área Útil por aluno	1.32 m² ou mais	1.15 m²
Largura Útil	7.50 m ou mais	5.10 m
Comprimento Útil Máximo	8.10 m	9.50 m
Vão livre portas	1.20 m com Visor	0.90 m com Visor
Pé-direto	3.00 m livre sob Viga	2.60 m livre sob viga
Abertura para Iluminação	1/4 da área do piso ou mais	1/5 da área do piso o mais
Abertura para Ventilação Natural	1/8 da área do piso ou mais	1/10 da área do piso ou mais
Insolação	Evitar insolação direta	Evitar insolação direta
Iluminação Artificial	Fluorescente/Eletrônica	Fluorescente
Nível de Iluminamento	500 lux	300 lux
Tempo para uma troca de Ar	2 Minutos	6 Minutos
Nível Máximo de Ruído Externo	40 dB	45 dB
Laje/Forro	Obrigatória	Obrigatória
Ventilação Cruzada	Obrigatória	Obrigatória
Paredes	Semi-Impermeáveis e Claras	Semi-Impermeáveis e Claras
Piso	Lavável e Antiderrapante	Antiderrapante
Carga Adicional Prevista	500kgf/m ²	300kgf/m ²

Nos primeiros itens, são descritos valores mínimos recomendados para o dimensionamento total da sala de aula, onde é considerada a *área útil por aluno* como primeira condição dentro das premissas enunciadas. O valor para área útil por aluno não especifica se está incluída a área do mobiliário.

No capítulo 4 (Ergonomia nos ambientes simulados) do Volume 2, são descritas as possibilidades que devem ter as salas de aula, onde a disposição do mobiliário e os espaços de circulação definem o dimensionamento do ambiente. Apresenta diferentes simulações de salas de aula, onde são expostos dimensionamentos recomendados que permitam maior flexibilidade do espaço obedecendo-se o critério de visibilidade.

A Norma determina que a sala de aula, além do arranjo tradicional do mobiliário local em que se posicionam os alunos, voltados para o quadro giz ou caneta, recomenda:

(...) para ampliar soluções de prática pedagógica, que se obtenham soluções arquitetônicas que possibilitem outras formas de arranjo do mobiliário. Permitir diferentes arranjos para a sala de aula, como pequenos grupos, em círculo, fileiras, projeções, aulas expositivas e outros mais, com desembaraçada movimentação dos alunos (Ministério de Educação do Brasil, FUNDAESCOLA, 2002, p. 11, Vol. n. 2).

Na Figura 4 são apresentadas, de forma gráfica, as possibilidades de arranjo recomendados. Contudo, a Norma não faz uma descrição detalhada das características grupais e espaciais em cada um dos arranjos.

Arranjos recomendados Caderno Técnico 4

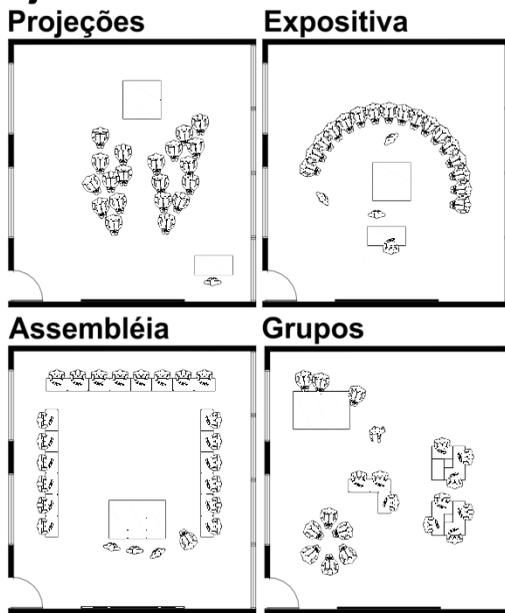


Figura 4. Possibilidades de arranjo recomendadas pelo Caderno Técnico N. 4

2.2 INFLUÊNCIA DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM ESCOLAS

Estudos feitos por Olson; Kellum, (2003) demonstram que boas práticas de projeto escolar, onde são garantidas condições de conforto adequadas, proporcionam ambientes de aprendizagem ótimos, seguros, saudáveis e confortáveis. Caso contrário, a capacidade do estudante pode ser afetada. Os autores asseguram que, possivelmente, as condições que possuem maior influência no desempenho dos estudantes são a iluminação natural e a qualidade do ar interior. Eles aprofundam, nos estudos sobre o efeito da iluminação natural nas escolas, mostrando que os estudantes têm melhor desempenho nas salas de aula com luz natural e indicam os seus benefícios estimulantes.

De acordo com estatísticas norte-americanas, 20% da população dos Estados Unidos, quase 56 milhões de pessoas passam seus dias na Escola Primária, de Ensino Fundamental e Médio (OLSON; KELLUM, 2003). O mesmo acontece no Brasil, com percentagens que ultrapassam os 23,8% da população, ou seja quase 45 milhões das pessoas. Isto indica a necessidade de se ter edifícios escolares saudáveis e sustentáveis. Sendo espaços de maior permanência durante o dia, alguns estudos asseguram que salas de aula com 25 ou 35 estudantes têm maior taxa de ocupação que um edifício típico de escritórios.

As considerações para o projeto de salas de aula diferem umas das outras. As práticas pedagógicas tradicionais exigem a completa atenção dos estudantes na atividade acadêmica, longe de distrações provocadas por condições como o ruído externo. Nos Estados Unidos, muitas salas de aula construídas na década de 1960 tinham pouca luz natural, poucas janelas ou até mesmo nenhuma janela, com a ideia de manter afastadas condições de ruído externo e distrações visuais que impediriam a concentração dos estudantes, além de garantir eficiência no sistema de ar condicionado, custos de manutenção e segurança. (OLSON; KELLUM, 2003).

Anos mais tarde, diferentes pesquisas demonstraram o efeito positivo que tem a luz natural no desempenho escolar dos estudantes. Em 1992, em Alberta, Canadá, o Departamento de Políticas e Planejamento de Educação realizou um estudo sobre os efeitos da luz natural nas crianças da Escola Primária. O estudo foi feito por um período de dois anos e comparou crianças que frequentavam escolas com luz artificial e estudantes que frequentavam as escolas com luz natural. Obteve-se, como resultado, que aqueles estudantes em condições de luz natural conseguem aprender mais rápido, ter melhores notas, crescer mais rápido e ter menos quedas nas aulas. Isto confirma que os sistemas de iluminação natural não são neutros e têm efeitos não visuais nas pessoas expostas a eles durante longos períodos de tempo. (HATHAWAY *et al.*, 1992)

Em 1999, na Califórnia, a mesma pesquisa foi aprofundada por Heschong Mahone Group² que destacaram o rápido avanço que têm os estudantes que frequentam salas de aula com luz natural. Foram estudados 3 Distritos escolares, em 3 Estados e diferentes condições de iluminação natural em mais de 2000 salas de aula com diferentes planos de ensino, edificações e climas. Os resultados demonstraram a relação uniforme e estatisticamente positiva entre a presença da luz natural e melhores notas dos estudantes (HESCHONG MAHONE GROUP, 1999).

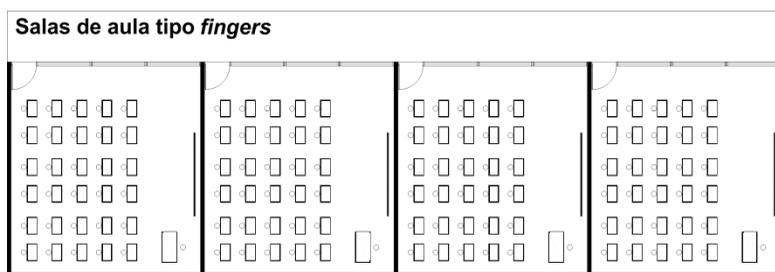


Figura 5. Sala de aula tipo *fingers*

As salas de estudo foram escolhidas, de acordo com as mesmas características arquitetônicas (Ver figura 5 que ilustra a sala tipo *fingers*: fileiras de salas de aula individuais, cada uma com janelas em fachadas opostas) e tamanho de janelas sem considerar sua orientação, a fim de ter uma predição aproximada dos níveis de iluminação e sua distribuição no espaço. Neste estudo não foi considerado, a ocorrência de ofuscamento. Uma vez conhecido o comportamento luminoso das salas, foi criado um guia qualitativo, baseada em 5 itens que classificavam a “oportunidade” da luz natural ao longo do ano escolar. Os itens foram determinados de 0 até 5 da seguinte forma: 5) a sala de aula está iluminada adequadamente, a maior parte do ano escolar e em toda a sala; 4) a sala de aula tem maior componente de luz natural; porém, em ocasiões, pode precisar de luz elétrica; 3) a sala de aula tem níveis aceitáveis de luz diretamente do lado das janelas e se apresenta um alto gradiente

² Heschong Mahone Group, Inc, (HMG) grupo dos Estados Unidos liderado por Lisa Heschong y Douglas Mahone que faz Consultoria e Eficiência Energética de Edificações, design e aplicação de tecnologias.

de luz, algumas das luzes elétricas podem ser apagadas; 2) a sala de aula tem poucos níveis de luz, sem luz elétrica a iluminação é inadequada e os brilhos são um problema possível; 1) a sala de aula conta com níveis mínimos de luz natural, a partir de pequenas janelas ou tem iluminação no teto, e 0) a sala de aula não tem janelas nem aberturas no teto para iluminar, funcionando apenas com luz artificial. (HESCHONG MAHONE GROUP, 1999).

Eles perceberam que os estudantes em salas de aula, com maior número de janelas, conseguiram avançar 20% mais rápido nas provas de matemática e 26% nas provas de leitura em um ano, do que aqueles que frequentavam as salas de aula com menos janelas, ou seja, menos luz natural. Além disso, os estudantes em salas, com janelas maiores, avançaram de 15% a 23% mais rápido em matemática e leitura, do que aqueles estudantes em salas que não tinham janelas. Por sua vez, nas salas de aula onde se podiam abrir as janelas, o avanço foi de 7.8% maior que aqueles em salas de aula com janelas fixas. O grupo confirma que a presença da luz natural é a principal responsável pelos resultados positivos do desempenho escolar dos estudantes acima da observação ao exterior pelas janelas. (HESCHONG MAHONE GROUP, 1999).

Outras pesquisas desenvolvidas por Edwards e Torcellini, (2002)³ mostraram que os estudantes em salas de aula, sem janelas, têm uma tendência a serem hostis, inadaptados, sofrerem de estresse e se mostrarem menos interessados no trabalho da aula. Os autores constatam que estudos na área da saúde demonstram que o estresse tem efeitos em alguns hormônios (Cortisol) do crescimento corporal das crianças, e que as crianças mais jovens, expostas à luz elétrica o dia todo, têm diminuído a capacidade mental e sofrem de fadiga.

Estudos desenvolvidos na Inglaterra avaliaram os reflexos nas telas dos computadores, como fator crítico na iluminação das salas de aula do futuro. Estes estudos demonstraram que as condições para iluminação em tarefas “não auto iluminadas” e “auto iluminadas”, são inversamente proporcionais, ou seja, os

³ Os autores fazem parte do NREL – National Renewable Energy Laboratory

requisitos para iluminar uma área de trabalho, com o papel, permitem maiores níveis de iluminação aceitáveis para o usuário. Já os computadores, além de emitir iluminação própria, admitem menores níveis de iluminação, uma vez que podem causar reflexos incômodos e possível ofuscamento (FOTIOS, P. S., 2003), (FOTIOS, S. A.; RAMASOOT, 2009).

Além de conseguir avanços no desempenho escolar por conta da iluminação natural, existem outras considerações não menos importantes em relação aos componentes arquitetônicos que, em contato com a luz, influenciam no sistema visual. Giraldo; Pereira, (2012) aprofundam no estudo nas janelas como componentes que influenciam na probabilidade de ocorrência de ofuscamento nas crianças. A partir do estudo da linha de visão das crianças, em diferentes alturas, os autores afirmam que aberturas menores localizadas mais altas na parede, garantem menos relações de contraste, condição favorável para o conforto visual das crianças.

O entorno visual e a iluminação interior, afetam a capacidade do estudante para perceber estímulos visuais e sua atitude mental, afetando o desempenho escolar. Levando isto em consideração, é necessária uma revisão das estratégias da iluminação e dos níveis de iluminação requeridos conforme a atividade, para complementar e integrar as propostas de novas dinâmicas nas salas de aula (FOTIOS, P. S., 2003).

2.2.1 Normativa e requisitos de iluminação natural em salas de aula

A influência da luz natural em ambientes escolares está relacionada, não apenas aos efeitos nos sistemas circadianos e perceptivo dos estudantes, mas também à quantidade de iluminação necessária para realizar, com sucesso, uma atividade.

Quando se avalia a iluminação interna dos espaços, deve-se conferir quais os níveis recomendados para a atividade visual que será realizada. Os níveis de iluminação recomendados variam em geral, por tipo de atividade. Segundo Pattini, (2000) as recomendações específicas costumam ser apresentadas a fim de

melhorar a segurança dos trabalhadores na indústria, a aprendizagem nas escolas e a recuperação dos pacientes nos hospitais.

Diferentes grupos e instituições internacionais vêm estudando os níveis de iluminação requeridos para diferentes atividades; estima-se que mais de 250 atividades visuais compõem os documentos normativos.

Tabela 2. Níveis de Iluminação no plano horizontal para salas de aula no contexto internacional

Local	Grupo	Norma	Iluminancia mantida E_m (lx)			outras variáveis	
			Min	Em	Max	UGR_L	R_a
USA	<i>IESNA - Illuminating Engineering Society of North America</i>	IESNA 9th Edition Handbook, (2000)	--	300	--	19	80
Europa	<i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>	INTERNATIONAL STANDARD ISO 8995 CIE S 008/E (2002)	--	300	--	19	80
Austrália	<i>Australian/New Zealand Standard</i>	AS/NZS 1680.2.3:(2008)	--	300	--	--	--
Brasil	ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas	NBR ISO/CIE 8995 (2013)	--	300	--	19	80
Colômbia	<i>ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación</i>	RETILAP- Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (2010)	300	500	750	19	--

A Tabela 3 mostra o marco normativo internacional, no qual são especificados os níveis de iluminação em salas de aula, no plano de trabalho que varia entre 0.75m a 0.80m de acordo com o país. Além disso, são especificadas outras variáveis como o UGR_L (*Índice Limite de Ofuscamento Unificado*), que indica o valor máximo permitido para o ofuscamento e o R_a (*Índice de reprodução de cor*) que indica o valor mínimo de reprodução das cores.

Os países desenvolvidos, incluído o Brasil, apresentam o mesmo valor de iluminância para o plano de trabalho: 300 lux, valor que especifica a iluminância média (E_m); não consideram valores mínimos e máximos. Além disso, mantêm os mesmos valores de Índice Limite de Ofuscamento Unificado em 19 e Índice de reprodução de cor em 80. Na Colômbia, apresentam-

se valores mínimos e máximos nas iluminâncias no plano de trabalho, contudo, a iluminância mantida é diferente comparada com os outros contextos.

2.2.2 Parâmetros para iluminar naturalmente as salas de aula

Além dos níveis de iluminação requeridos, existem outros parâmetros para garantir iluminação natural dentro das salas de aula. Instituições governamentais dos países são as responsáveis por descrever as diferentes considerações que devem ser atendidas no projeto, planejamento e execução dos ambientes escolares.

Os Estados Unidos e a Inglaterra encabeçam os países com maiores especificações técnicas, para construir salas de aula iluminadas naturalmente. As recomendações vão desde a área total da sala, de acordo com o número de estudantes, até o dimensionamento da sala para garantir iluminação natural.

Na Inglaterra, são recomendadas áreas da sala entre 55m² e 62m² para 30 estudantes (DEPARTMENT FOR EDUCATION UK, 2014). Nos Estados Unidos, estima-se que o lado mais curto da sala não deverá ser inferior a dois terços do lado mais comprido, visto que as janelas são para a visão do exterior e iluminação natural da sala. (THE UNIVERSITY OF THE STATE OF NEW YORK, 1998). Além do anterior, o Departamento de Energia dos Estados Unidos destaca que nas salas de aula se deverá evitar a insolação direta, proporcionar uniformidade da luz, evitar a criação de fontes de ofuscamento, projetar o sistema da luz elétrica como complemento da luz natural, permitir controle da luz natural com prateleiras e orientar as janelas no eixo norte-sul. (THE U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2007).

Todas as Normativas para iluminar naturalmente, as salas de aula apontam critérios semelhantes que, em geral, são classificados em:

- *Área de abertura*, em relação à área de piso,
- *Localização de Aberturas*, distribuição nas fachadas,
- Coeficientes de reflexão da luz, relação piso-paredes-teto.

Em algumas Normas, o clima é uma variável importante que determina os princípios mencionados anteriormente, já que a iluminação natural produzida pela ocorrência do céu pode variar. (NTC4595, 2006).

No contexto brasileiro, o Caderno Técnico 4 (FUNDAESCOLA, 2002) lista os parâmetros para iluminar, naturalmente, as salas de aula (Ver Tabela 4).

Os parâmetros são diferenciados para escolas novas e existentes; para escolas novas, a abertura em relação ao piso é de 1/4 e os níveis de iluminação de 500 lux; para escolas existentes, a relação é de 1/5 e os níveis de iluminação são de 300 lux. Em ambos os casos, recomenda-se evitar a insolação direta.

Tabela 3. Lista de parâmetros luminosos para espaços escolares, de acordo com o Caderno Técnico N. 4 (Ministério de Educação do Brasil, FUNDAESCOLA, 2002)

Condicionantes Ambientais	Parâmetros	
	Recomendados - Escolas Novas	Mínimo - Escolas Existentes
Área Útil por aluno	1.32 m ² ou mais	1.15 m ²
Largura Útil	7.50 m ou mais	5.10 m
Comprimento Útil Máximo	8.10 m	9.50 m

Paralelamente, no capítulo 5 (Condicionantes ambientais) do Volume 1 e no capítulo 1 (Ensino e Docência/Sala de aula) do Volume 2, são feitas algumas observações que devem ser levadas em conta na hora de projetar espaços escolares, conforme segue:

- as aberturas devem proporcionar luz natural uniforme sobre o plano de trabalho em todos os pontos do ambiente, sem incidência direta dos raios solares.
- prever uma faixa contínua de janelas, a fim de evitar sombreamentos indesejáveis nas salas de aula e nos demais ambientes pedagógicos.
- na disposição do mobiliário dos ambientes pedagógicos ou daqueles com algumas atividades de escrita e leitura, preferir a luz incidente pela esquerda.

- situar as aberturas para iluminação do lado esquerdo, em relação ao quadro-negro.
 - Evitar reflexos no quadro-negro.
- aberturas de iluminação e ventilação devem ser guarnecidas por persianas, venezianas, treliças e vidros. (Caderno Técnico 4, 2002, p. 11, v. 2).

2.3 DESENVOLVIMENTO VISUAL DAS CRIANÇAS

Segundo Giraldo e Pereira, (2012), as crianças precisam de espaços que permitam diferentes atividades lúdicas; igualmente os adolescentes, que precisam de condições luminosas adequadas para aumentar seu desempenho. Porém, as condições visuais específicas nas crianças ainda são pouco aprofundadas.

A maioria das crianças aceitam as condições de iluminação sem manifestar incômodos pela falta, ou excesso de luz no espaço. Durante a educação infantil (entre os 3 até 6 anos de idade) a visão e as habilidades visuais (movimento coordenado, dirigido e organizado) são completamente desenvolvidas para começar a etapa de leitura e escrita. Aos seis anos de idade, completa-se o desenvolvimento das capacidades visuais e a acuidade visual até o 100%; adquire-se a coordenação motriz entre os dois olhos, a percepção do espaço em três dimensões e a capacidade de enfoque. Neste período, a criança está preparada às exigências escolares que são eminentemente visuais. Desde os seis até os doze anos de idade, ocorre a maturidade do sistema visual, e nesta etapa, deve-se consolidar a visão eficaz vinculada ao bom desempenho acadêmico. (GIMENO, I. SERRAT, M. SOLDEVILLA, 2007).

2.4 LUZ NATURAL

A luz natural é uma das variáveis que mais influenciam na qualidade ambiental dos espaços internos, sendo definida como a porção da irradiação solar que possibilita a visão (BOYCE; HUNTER; HOWLETT, 2003), a qual proporciona uma ótima reprodução das cores, com variações de intensidade e

distribuição de iluminâncias; sua característica principal é o seu dinamismo e variabilidade (PATTINI, 2011).

A luz natural proporciona uma significativa variação temporal e espacial de iluminâncias, garantindo condições de iluminação interior com elevados níveis de iluminâncias e condições visuais dinâmicas, além de apresentar alto potencial de economia de energia (PEREIRA, F. O. *et al.*, 2012). Muitas fontes de luz elétrica foram criadas na tentativa de reproduzir as propriedades espectrais da luz natural, mas nenhuma conseguiu reproduzir a variação que se produz com a luz natural, em diferentes estações do ano, e sobre diferentes condições climáticas (BOYCE; HUNTER; HOWLETT, 2003).

O clima e a qualidade do ar também influenciam na eficiência da luz natural, o que faz com que, em diferentes climas, perceba-se a luz natural, de maneira diferente. Existem alterações importantes na saúde das pessoas causados pela ausência da luz natural, caracterizada como SAD (*Seasonal Affective Disorder*), conhecido como transtorno emocional cíclico que ocorre na estação de Inverno pela insuficiência da luz natural. Este transtorno causa alterações emocionais, devido, principalmente, a variações na produção da melatonina. (EDWARDS; TORCELLINI, 2002).

Segundo Pattini, (2011), a quantidade e disponibilidade da luz natural dependem da trajetória solar, da latitude, da época do ano e da hora do dia, através do qual a quantidade de luz é recebida pela Terra. A iluminação produzida pelo céu depende da distribuição de sua luminância. Ela varia de acordo com uma série de parâmetros meteorológicos, sazonais e geométricos, caracterizando uma complexa especificação, pois muda a partir de pequenas variações de tempo. (PEREIRA; PEREIRA; CLARO, 2008). Amorim, (2002) destaca que a disponibilidade de luz natural nas regiões tropicais é grande, e esta deve ser usada de forma criteriosa. Não se trata de simplesmente abrir janelas ou zenitais, indiscriminadamente, mas sim, equilibrar sabiamente o ingresso de luz difusa, bloqueando o calor gerado pela luz solar direta, que cria problemas de conforto térmico e luminoso (ofuscamento).

De acordo com Majors, (1998), existem algumas vantagens que a luz natural oferece para obter maior qualidade ambiental e eficiência energética em edifícios: a qualidade da iluminação é

melhor, pois favorece a visão humana, e proporciona efeitos estimulantes, a luz natural permite valores mais altos de iluminação, se comparados à luz elétrica; que também dissipa calor internamente. Nos climas quentes, representa um problema a mais. O autor destaca que um bom projeto de iluminação natural pode fornecer a iluminação necessária durante 80 / 90% das horas de luz diária, permitindo economias de energias no uso de luz artificial. Estudos feitos por Leite e Pereira, (2010), demonstram que o aproveitamento da luz natural proporciona uma redução de 20% a 62% no consumo de energia com iluminação artificial.

As vantagens da luz natural são percebidas pelos usuários. Verifica-se que a luz natural é um estimulante efetivo para o sistema visual humano e circadiano (BOYCE; HUNTER; HOWLETT, 2003), portanto, deve-se entender de que forma influencia a luz nestes sistemas, para perceber as manifestações do usuário. As manifestações podem ocorrer a partir do movimento do corpo e alterar as condições do ambiente luminoso do espaço.

2.4.1 Influência da luz natural no SISTEMA CIRCADIANO

O termo “circadiano” vem do latim *circa*, “ao redor”, e *diem* ou *dies*, “dia”, que literalmente significa “ao redor de um dia” (MARDALJEVIC, J.; MARILYNE; NICOLAS, 2011). Segundo Mardaljevic, Marlyne e Nicolas, (2011), o sistema circadiano, ou conjunto de efeitos não visuais, é responsável pelo controle diário dos ritmos, tais como: os períodos de sono e de atividade, a temperatura corporal, a secreção de hormônios e outros parâmetros psicológicos, incluindo a função cognitiva e as respostas imunes. O desempenho das tarefas visuais e o arranjo das pessoas estão determinados por estímulos presentes no sistema visual, à luz detectada pelos olhos, sendo este, o principal estímulo para que isso ocorra.

A luz tem efeitos bioquímicos mensuráveis sobre o corpo humano, em particular, com respeito à manutenção de um sono saudável - ciclo vigília. (MARDALJEVIC, J.; MARILYNE; NICOLAS, 2011). Dentro do sistema circadiano, encontram-se definidos ciclos que descrevem os ritmos biológicos do corpo no

decorrer do dia. Na Figura 6, são apresentados dois ciclos que correspondem a faixas de 24 horas, cada um inverso do outro. Os estudos de Van Bommel e Van Den Beld, (2004) destacam que o *Cortisol* é o hormônio que aumenta o açúcar no sangue para dar energia ao corpo, estimula que ele acorde e comece a atividade física, sendo secretado nas primeiras horas da manhã até acabar na noite; pelo contrário, a *Melatonina* é o hormônio que prepara o corpo para o descanso, estimula que ele repouse após a atividade do dia, e é secretada nas primeiras horas da noite, até acabar na manhã, diminuindo a sonolência.

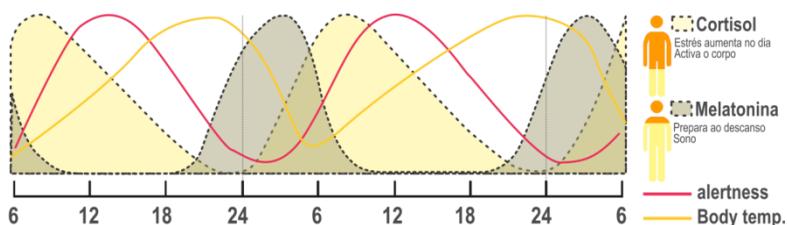


Figura 6. Diagrama esquemático do sistema circadiano (CIE, 2004)

Os Núcleos Supraquiasmáticos (SNC), um grupo de neurônios do hipotálamo, tomam a informação do ciclo luz/obscuridade (oscilador interno) que chega dos olhos, convertendo em sinais elétricos que são transmitidos pelo nervo óptico. A maioria desses sinais acaba no córtex visual do cérebro e produz nosso sentido da visão (EDWARDS; TORCELLINI, 2002). A retina regula a quantidade da luz a partir dos fotorreceptores, os quais permitem a distinção das formas e cores. A informação interpretada pela retina é enviada da epífise à glândula pineal, onde é secretada a Melatonina como resposta ao estímulo. A ação final da Melatonina é a ativação do relógio biológico que permite controlar os períodos de atividade e repouso das pessoas, a temperatura corporal e o começo da puberdade (EDWARDS; TORCELLINI, 2002).

2.4.2 Influência da luz natural no SISTEMA VISUAL

O sistema visual é responsável pela visão; manifesta-se como resposta da interpretação da luz, mediante as das trocas

das mensagens por parte dos fotorreceptores e o cérebro. Segundo o Ministério da Saúde do Brasil:

A visão é a capacidade que o indivíduo tem de perceber o universo que o cerca. Oitenta por cento da relação do ser humano com o mundo se dá por meio do sentido da visão. Para que o sentido da visão seja aproveitado de maneira plena, é fundamental que toda a via sensorial visual esteja perfeita (os dois olhos, os nervos ópticos, as vias ópticas cerebrais e o córtex visual occipital [...]) (Projeto OLHAR BRASIL, MINISTÉRIO DE SAÚDE, 2008, p. 14)

Dentro da retina, existem células fotorreceptoras que interpretam o estímulo de diferentes formas, permitindo a percepção visual, de acordo com os níveis de iluminação presentes no meio. (MARDALJEVIC, J.; MARILYNE; NICOLAS, 2011).

Quando se fala de adaptação do homem, é importante esclarecer que a visual e auditiva acontecem mais rápido que a térmica. A adaptação visual é devido às modificações da sensibilidade dos órgãos receptores do olho para a admissão do estímulo, neste caso, a luz.

Na Figura 7 é ilustrado como os bastonetes, localizados na periferia da retina, são os responsáveis, principalmente, pela *visão escotópica*, (predominância de visibilidade no espectro da luz $>540\text{nm}$) aquela percepção em condições de baixa luminosidade, cuja acuidade visual é baixa e impossibilita a percepção das cores e finos detalhes, mas detectam apenas tons de cinza; funcionam também para a visão periférica. Os Cones, localizados no centro da retina, são os responsáveis, principalmente, pela *visão fotópica*, (predominância de visibilidade no espectro da luz $<540\text{nm}$) aquela percepção em condições de alta luminosidade, onde a acuidade visual é alta, permite a percepção das cores e finos detalhes.

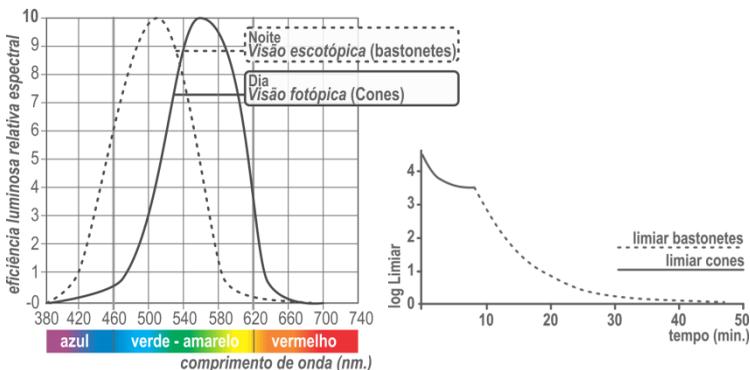


Figura 7. A) Esquema de sensibilidade visual escotópica e fotópica. (IESNA, 2000).B) Esquema de adaptação da escuridão.(Versão diagrama John E. Dowling apud ALONSO et al., 2012)

O efeito da iluminação na visão é a manifestação mais evidente da luz no ser humano, já que permite ver, ou não ver, (BOYCE; HUNTER; HOWLETT, 2003). No estímulo para o sistema visual são considerados diferentes parâmetros conectados para permitir alto nível de desempenho visual.

Além do sistema circadiano, não menos importante está o entendimento do fenômeno luminoso no ambiente construído, onde se deve considerar a quantidade, qualidade, espectro e distribuição da luz. Os períodos de Verão apresentam um bom espectro da luz, já que tem altos níveis de reprodução de cor. Quanto à quantidade e distribuição, relacionadas com a qualidade na iluminação, depende, em grande medida, da forma como ela é fornecida. Garantir uma boa iluminação permite, além de boa quantidade do fluxo, a não percepção de desconforto ou ofuscamento perturbador, isento de sombras e reflexões. Pelo contrário, uma má iluminação, gera, além de má quantidade do fluxo, possível ofuscamento, maior necessidade do uso da luz artificial e, conseqüentemente, maior consumo, menor eficiência do sistema, fadiga visual e finalmente, menor desempenho na tarefa.

O conceito de conforto visual depende das pessoas, na qual uma determinada condição de iluminação pode ser aceitável para uma pessoa, mais para outra não é. As Normas dão

algumas sugestões a fim de criar um ambiente seguro e aceitável, mas não abordam aspetos como, por exemplo, as preferências e o comportamento das pessoas (CARLI; GIULI, 2009), inclusive como elas modificam as condições de iluminação, pelo tipo de atividades que desenvolvem, o tempo de permanência, suas necessidades fisiológicas e motoras.

2.4.3 Influência da luz natural no SISTEMA *PERCEPTIVO*

A percepção humana é o reconhecimento da experiência já vivida, é um conjunto de associações de diferentes eventos com o meio ambiente que faz com que exista a percepção.

O sistema perceptivo reage, uma vez que a imagem da retina foi processada pelo sistema visual. A resposta da interpretação do sistema perceptivo se manifesta na alteração do estado de ânimo e o comportamento das pessoas, especialmente, se o trabalho se prolonga, por meio de uma sensação de desconforto (BOYCE; HUNTER; HOWLETT, 2003). Contudo, estudos feitos por Eklund, Boyce e Simpson, (2000) mostraram que diferentes distribuições de luz elétrica em uma sala, sem janelas, não tivera efeito negativo no desempenho da tarefa visual.

A qualidade da *mensagem* enviada do sistema visual ao perceptivo tem a ver, em grande medida, com as preferências e arranjo do usuário, ultrapassa os possíveis incômodos efetuados pelo fenômeno e sua interação com o entorno. Purcell; Nasar, (1992) *apud* Boyce et al., (2003), sugerem que as alterações do estado de ânimo podem ser explicadas pelas discrepâncias entre as expectativas dos usuários e a realidade. Quando não há discrepâncias, há uma alteração no estado de ânimo. Segundo Kuller (1991) *apud* Boyce et al., 2003, o aspecto descrito anteriormente se soma à magnitude do tempo, condição que, na maioria dos estudos, é avaliada em intervalos curtos - minutos, segundos -, determinados pelo desenvolvimento de um tipo de atividade.

A qualidade da luz deve ser alta para garantir desempenho visual suficiente que permitirá a realização de tarefas. O desempenho visual não depende apenas da qualidade e acuidade visual, mas também das habilidades visuais que o

observador possui, da etapa da vida em que se encontra, relacionada com a *idade*; com ela, além de determinar o grau de maturidade dos órgãos fotorreceptores, as necessidades dos níveis de iluminação aumentam.

Nos estudos realizados por Van Bommel e Van Den Beld (2004) nos Estados Unidos foram comparadas duas condições: a quantidade mínima de luz que se necessitava para a leitura de um livro com o passar da idade. Demonstrou-se que o efeito da idade é alto; até os 10 anos, o nível requerido de luz é menor e constante, depois, o crescimento do nível requerido de luz é maior, progressivo e constante. Isto é causado pelo desgaste da lente interna do olho, que, com o tempo, deteriora a transmissão da imagem, tornando-se de cor amarela. Destaca-se que podem existir perdas de transmissão da imagem de até 20%, causando falta de nitidez e falta na determinação das cores.

2.5 CONDIÇÕES QUE AFETAM O CONFORTO VISUAL

O conforto visual é a principal determinante da necessidade de iluminação em um edifício. Segundo a European Energy Commission, (1994), o conforto visual é a existência de um conjunto de condições, em um determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidentes.

Para manter um processo visual tranquilo, deve-se manter condições como: magnitude adequada e boa distribuição de iluminâncias, ausência de ofuscamento, contrastes adequados (proporção de luminâncias) e bom padrão e direção de sombras. (EUROPEAN ENERGY COMMISSION, 1994).

Avaliar o conforto visual depende do campo visual e do ambiente luminoso do espaço. Para as boas práticas da iluminação, é importante que além da iluminância requerida, sejam satisfeitas necessidades qualitativas e quantitativas. Os requisitos de iluminação são determinados pela satisfação de três necessidades humanas básicas:

- *conforto visual*, onde os trabalhadores têm uma sensação de bem-estar e um elevado nível de produtividade,

- *desempenho visual*, onde os trabalhadores são capazes de realizar tarefas visuais, mesmo em circunstâncias difíceis e por períodos mais longos,

- *segurança*.

Os parâmetros que determinam o ambiente luminoso e o conforto visual são: as luminâncias, a distribuição das iluminâncias, desempenho da tarefa visual, ofuscamento, trajetória da luz e rendimento das cores. (CEN, 2002).

2.5.1 Luminâncias

A luminância é uma medida física de brilho de uma superfície, sendo através dela que os seres humanos enxergam. O brilho é a intensidade luminosa de qualquer superfície em uma determinada direção, por unidade de área projetada na superfície vista dessa direção (IES, 1947).

As propriedades óticas dos materiais são muito importantes, visto que definem a quantidade de luz que é atravessada ou emitida por uma superfície, sendo que esta decai de acordo com o ângulo sólido. A possibilidade de percebermos as superfícies e objetos que estão no nosso campo de visão deve-se à sua luminância, que tem como unidade de medida a *candela por metro quadrado* (cd/m^2), e é registrada *in loco* através do luminômetro.

Uma luminância equilibrada é necessária para aumentar: acuidade visual, sensibilidade ao contraste (discriminação de diferenças de luminância relativamente pequenas), a eficácia das funções oculares (tais como adaptação, contração da pupila e movimentos do olho). A distribuição das luminâncias no campo de visão também afeta o conforto visual, portanto deve-se evitar: luminâncias muito elevadas, que podem conduzir ao ofuscamento, altos contrastes, que podem causar fadiga visual devido à adaptação constante do olho, e luminâncias e contrastes muito baixos, que determinam ambientes de trabalho pouco estimulantes. (CEN, 2002).

Existem diferentes margens úteis de refletância para superfícies interiores conforme a tarefa visual: para o teto, entre 0,6 até 0,9; paredes, 0,3 até 0,8; plano de trabalho, 0,2 até 0,6; e

piso, 0;1 até 0;5. A Figura 8, mostra um exemplo de medição in loco das luminâncias.

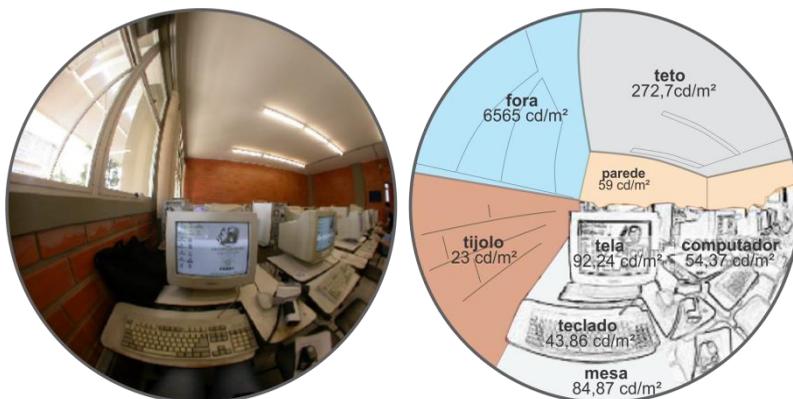


Figura 8. Imagem olho de peixe com as luminâncias medidas in loco.
(PEREIRA, F. O. R. P., 2010)

A NBR ISO/CIE 8995, (2013), estima valores para as refletâncias do fundo da tarefa entre 0,3 até 0,7, conforme a velocidade de precisão na tarefa e a idade.

2.5.2 Distribuição das Iluminâncias

A Iluminância é a densidade do fluxo luminoso incidente em uma superfície. É igual ao cociente do fluxo pela área da superfície quando o fluxo é uniformemente distribuído por toda a área (IES, 1947).

Em condições de iluminação normais, o recomendado é de aproximadamente 20 lux para detectar as características da face humana e é o valor mais baixo na escala de iluminâncias recomendadas (20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 500 – 2000 – 3000 – 5000). Os valores de iluminância podem ser ajustados em, pelo menos, um nível na escala da iluminância, se as condições visuais forem diferentes das assumidas como normais. Convém que a iluminância seja ajustada quando: existem contrastes baixos na tarefa, o trabalho visual é crítico, é da maior importância a exatidão ou alta

produtividade e pela idade (NBR ISO/CIE 8995, 2013). A iluminância tem como unidade de medida os lumens por metro quadrado (lm/m^2) ou lux (lx), e é medida com luxímetro.

Diferentes Normas listam diferentes espaços com níveis de iluminâncias mínimos, médios e máximos, de acordo com a atividade visual desenvolvida, sendo que a recomendação é sempre manter a iluminância média ($E_{\bar{m}}$) em todos os casos. As iluminâncias de áreas circundantes imediatas estarão relacionadas com a iluminância da área da tarefa e deve fornecer uma distribuição das luminâncias, bem equilibrada no campo da visão. Muitas variações das iluminâncias ao redor da área da tarefa, podem produzir desconforto visual, portanto, existem limites das iluminâncias circundantes como se ilustra na Tabela 5. (CEN, 2002).

Tabela 4. Uniformidade e relação entre iluminâncias das áreas circundantes à área da tarefa (CEN, 2002)

Iluminância da tarefa	Iluminância das áreas circundantes
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	$E_{\text{área}}$
Uniformidade $\geq 0,7$	Uniformidade $\geq 0,5$

Normas como a NBR ISO/CIE 8995, (2013), recomendam que a área da tarefa deve ser iluminada o mais uniformemente possível. A uniformidade da iluminância na tarefa não pode ser menor que 0,7 e a uniformidade do entorno imediato não pode ser inferior a 0,5.

2.5.3 Desempenho da tarefa visual

O desempenho da tarefa visual é o conjunto de variáveis que determinam o comportamento da visão em uma condição específica, em que a quantidade, a definição e a velocidade vão ser elementos estimulantes na sensibilidade do olho humano.

- **Contraste**

Diferença entre a luminância (brilho) de um objeto e a luminância do entorno imediato deste objeto. Em pleno dia, podemos perceber diferenças de luminâncias de 1% até 10%, porém em condições de pouca luz, podem não ser percebidas estas diferenças. (EUROPEAN ENERGY COMMISSION, 1994).

Os efeitos do contraste podem ser divididos em duas classes: o contraste entre objetos pequenos e o seu fundo, e o contraste entre grandes superfícies contíguas. O primeiro efeito consiste na variação de contraste com o tamanho; e no segundo, o tamanho não é um fator que influencia nesse efeito.

Com o aumento da diferença no brilho, o objeto será perceptivelmente distinguível do fundo, uma vez conseguido o limite do contraste. A tabela 6 mostra algumas das proporções recomendadas de acordo à relação entre luminâncias.

Tabela 5. Proporção recomendada para diferença de Luminâncias. (EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE-GENERAL FOR ENERGY, 1994)

Relação entre Luminâncias	Proporção recomendada
No campo central	3:1
Entre o campo central e periférico	10:1
Entre fonte de luz e fundo	20:1
Máximo diferença no campo visual	40:1

- **Acuidade Visual**

A IES, (1947) define a acuidade visual como a habilidade para distinguir finos detalhes. Para medir a acuidade visual, é preciso avaliar a relação entre o tamanho do menor objeto visualizado e a distância entre o indivíduo e o objeto, dados que valerão para analisar se a pessoas sofrem de alguma doença visual. (LOTTEN EYES, 1989). Como se mostra na Figura 9, o exemplo de um teste que se faz para identificar a acuidade visual, considerando a distância entre o observador e o tamanho das letras, o teste é conhecido como *Early Treatment Diabetic Retinopathy Study*.

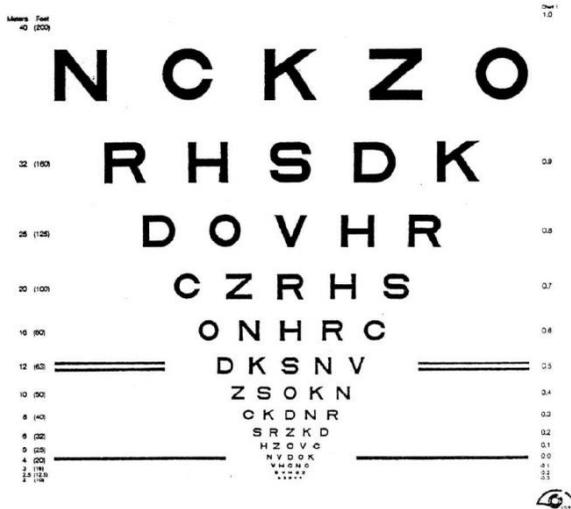


Figura 9. Exemplo de um *Early Treatment Diabetic Retinopathy Study*

- Ofuscamento

O Ofuscamento é uma condição da visão em que existe desconforto ou uma redução na capacidade de olhar detalhes ou objetos, devido a uma distribuição inapropriada na faixa de luminâncias ou altos contrastes, quando o processo de adaptação do olho não transcorre normalmente devido a uma variação muito grande da iluminação (EUROPEAN ENERGY COMMISSION, 1994; MARDALJEVIC et al., 2012).

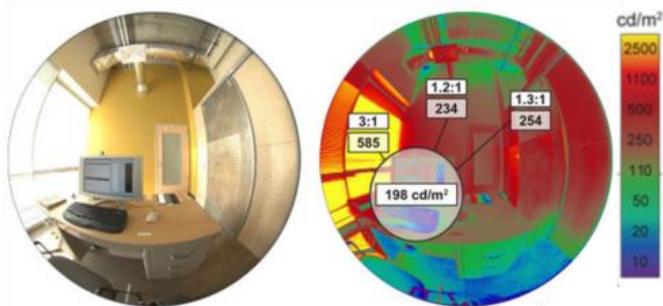
Existem dois tipos de ofuscamento: o ofuscamento *inabilitador*, aquele que impede a visão, devido à luz direta nos olhos, este pode ser por diferença de contraste nas superfícies (maior a 10:1) ou por *saturação*, onde a luz captada pelo olho é excessiva, considerando uma luminância média da cena que excede 25.000 cd/m². O ofuscamento *desconfortável*, aquele que causa desconforto no usuário, já que não impede a visão, mas coloca o usuário em constantes esforços visuais produzindo dores de cabeça e dores relacionados com a postura após o trabalho. (EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE-GENERAL FOR ENERGY, 1994) (MARDALJEVIC et al., 2012).

O ofuscamento pode ser causado pela luz direta do sol, através de uma janela, ou por diferentes luminâncias entre diferentes zonas brilhantes, como: janelas, céu brilhante, áreas de trabalho mais escuras, ou superfícies refletivas, como as telas dos computadores localizadas em sentido oposto à janela.

Os primeiros estudos de ofuscamento foram introduzidos para a iluminação artificial. As fontes de luz artificial utilizavam pequenos ângulos sólidos, a partir do ponto de vista do observador, além de apresentar diferenças nas condições de luminância entre a fonte e as superfícies, em comparação com as fontes de luz natural. Sendo assim, liderado pela CIE (Comitê Internacional de Iluminação), foi aprofundado o tema e concluído que se devia avaliar o ofuscamento em situações de luz natural de forma diferente. (MARDALJEVIC *et al.*, 2012).

Os avanços no estudo para ofuscamento em situações de luz natural começaram com a aparição de imagens de alta definição ou *High Dynamic Range* (HDR). As imagens são registradas a partir de uma lente olho de peixe, o qual captura o campo das luminâncias de um hemisfério, assim cada pixel da imagem é uma medida das luminâncias nesse ponto da cena, como se mostra na Figura 10. As imagens permitem ter comparações entre a resposta subjetiva dos usuários e as medições reais do campo capturado (MARDALJEVIC *et al.*, 2012).

Preferível



Apenas o Brilho Perturbador

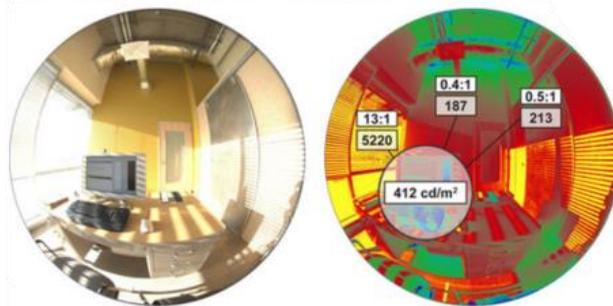


Figura 10. Estudo de luminâncias com imagens *HDR* (VAN DEN WYMELENBERG; INANICI; JOHNSON, 2010)

Estudos recentes, feitos por Jakubiec e Reinhart, (2011), aprofundaram a zona de adaptação visual em espaços com luz natural. Foi demonstrado que, com uma ampliação de $\pm 45^\circ$ do campo visual, a possibilidade de desconforto ou ofuscamento era menor em comparação com campo visual fixo em uma postura só, conseguindo baixar os valores de desconforto de 5% até 24% nas diferentes escalas, como se mostra na Figura 11. Para 1996, Panero e Zelnik, já consideravam esta ampliação como a rotação confortável da cabeça no plano vertical.

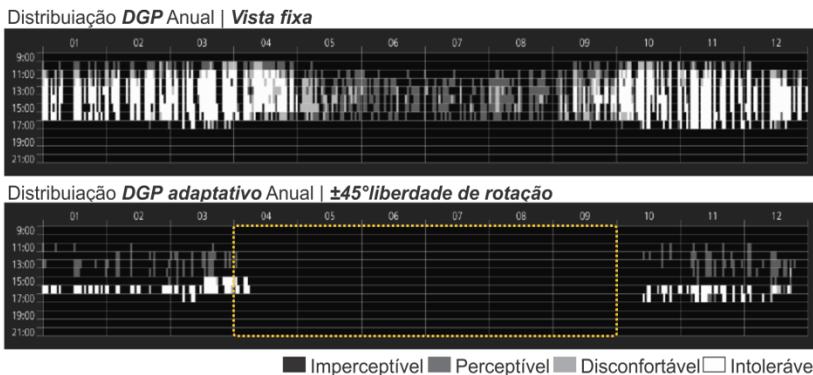


Figura 11. Comparação de predição anual DGP para vista fixa e liberdade de $\pm 45^\circ$. (JAKUBIEC; REINHART, 2011a)

Em 2006, Wienold e Christoffersen desenvolveram o que hoje é conhecido como o DGP (*Daylight Glare Probability*), métrica que demonstra que a iluminação vertical, ao nível do olho, tem uma correlação razoável com a percepção de ofuscamento.

Este método é apresentado e avaliado para situações em que o sol e reflexos especulares não chegam diretamente aos olhos; logo, é uma medida para o ofuscamento causado pela luz do dia, em ele descreve-se o número de pessoas perturbadas em uma situação de luz ao longo do dia (WIENOLD; CHRISTOFFERSEN, 2006). O cálculo de DGP baseia-se na avaliação de uma imagem, que contém a distribuição de luminâncias de um hemisfério, na direção do observador, com o uso de RADIANCE⁴ (WIENOLD, 2007).

2.6 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA LUZ NATURAL

Os métodos de avaliação da luz natural permitem ter uma previsão dos níveis de iluminação natural, possível estimativa de ocorrência de ofuscamento, análise de insolação e sistemas de controle e estimativas da economia em energia elétrica (PEREIRA, F. O. R., 2005).

Existem diferentes métodos de avaliação, que vão desde cálculos geométricos até simulações computacionais (PEREIRA,

⁴ Programa computacional que funciona através de *Ray-trace* e permite a análise e visualização da iluminação no espaço.

F. O. R., 2005). Para o presente estudo, serão aprofundados os modelos matemáticos por computador, pela facilidade de se obter resultados e comparações para diferentes condições.

Os parâmetros para avaliar o comportamento da iluminação natural tem relação com o clima, fator determinante na ocorrência predominante das condições atmosféricas do local, principalmente, aquelas como a nebulosidade e a presença do sol, variáveis que estão em constante mudança no céu.

2.6.1 Medidas dos parâmetros estáticos

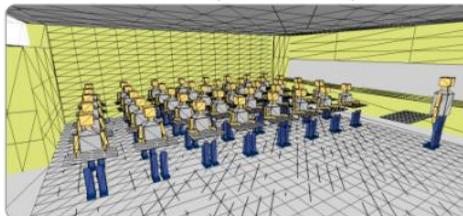
Permitem avaliações do fenômeno da iluminação para um local, data e hora determinada de acordo com o tipo de céu predominante. Os principais parâmetros estáticos de medição são: *Iluminância (lx)*, *luminância (cd/m²)*, e *Fator de Luz Diurna (FLD)*, que consiste na relação de iluminância interna com a iluminância externa produzida por um céu encoberto, sem considerar sol direto ($FLD = E_{int}/E_{ext} \times 100\%$).

Apolux 3 Beta, é um programa para cálculo de iluminação natural em ambientes arquitetônicos e urbanos, que utiliza o método da Radiosidade, processa materiais difusos opacos ou transmissores e especulares transmissores. (CLARO; PEREIRA R., 1998). Segundo Claro; Pereira R., (1998), todos os algoritmos utilizados no programa Apolux foram testados segundo os protocolos da CIE⁵ com alto grau de convergência com os valores de referência dos protocolos. O programa Apolux contempla os 15 modelos de Céu padronizados pela CIE em 2001.

O programa realiza cálculo de iluminação natural e artificial a partir da utilização de dois módulos: Fractal, que prepara um arquivo de desenho no formato *.dxf padronizado, e outro, FOTON, que processa os cálculos propriamente ditos. Na Figura 12, são apresentadas algumas das imagens geradas pelo programa.

⁵ CIE - INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION

Modelo fraccionado (Mod. Fractal)



Cálculo Radiosidade (Mod. Fotón)

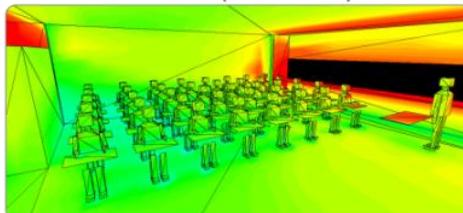


Figura 12. Imagens geradas pelo Apolux 3 Beta

2.6.2 Medidas dos parâmetros dinâmicos

São unidades métricas baseadas no clima, ou seja, indicadores derivados de perfis anuais de iluminância interior em séries por hora ou por minuto, devido à luz do dia que é gerada a partir de um arquivo climático (REINHART, C. F.; WIENOLD, 2010).

Para fazer simulações dinâmicas é necessário definir dois aspectos: 1) época do ano para análise e, 2) a escala de valores para determinar os níveis de iluminação natural que interesse. Para o primeiro aspecto, o estudo de Reinhart, Mardaljevic e Rogers, (2006) recomenda identificar os momentos de maior ocupação das pessoas e exigência visual. Para o segundo aspecto, existem duas unidades métricas que podem ser empregadas:

- *Daylight Autonomy (DA)*, percentual das horas ocupadas por ano, nas quais um nível alvo de iluminância pode ser mantido pela iluminação natural, ou seja, quando um nível de iluminância é atendido de forma autônoma (REINHART, C. F.; WIENOLD, 2010). Embora seja uma unidade métrica adequada para avaliar o fenômeno da iluminação, não se tem nenhuma informação se as iluminâncias vão apresentar outros valores ou intervalos e durante quanto tempo isto ocorre.

- *Useful Daylight Illuminances (UDI)* percentual da ocorrência da iluminância em um determinado intervalo de faixas pré-estabelecidas. A Figura 13, ilustra as faixas dos níveis das iluminâncias de acordo com as expectativas de conforto visual

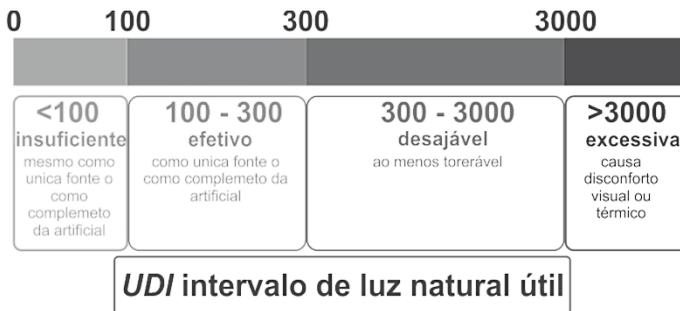


Figura 13. Intervalos dos níveis de iluminâncias UDI.(NABIL; MARDALJEVIC, 2006)

As simulações dinâmicas, além de permitir análises sobre o comportamento da iluminação, permitem avaliar a disponibilidade de irradiação solar captada pelas edificações. A partir de arquivos climáticos, pode-se determinar a quantidade máxima em kWh/m², que pode estar presente em uma fachada ou superfície. Isto permite avaliar o potencial das fachadas para captar irradiação solar dentro de um ambiente.

Existem outras métricas complementares que apoiam as duas apresentadas acima (Ver Tabela 7).

Tabela 6. Métricas dinâmicas complementarias. (CARLI; GIULI, 2009; PEREIRA, F. O. R., 2005)

Métricas dinâmicas complementarias	
Métrica	Observações
SDA <i>Spatial Daylight Autonomy</i>	percentagem do espaço que atende um determinado critério de desempenho na iluminação anual.
DA cont <i>Maximum Daylight Autonomy</i>	métrica recente que considera o fato que muitos ocupantes trabalham abaixo do mínimo dos níveis de iluminância requeridos pela Norma.
DA max <i>Continuous Daylight Autonomy</i>	segue a mesma lógica do DA, mas reporta o percentual de horas no ano em que a iluminância excede um limite superior. Tem sido empregado para verificar a ocorrência de penetração da luz do sol que produz elevadas iluminâncias, acima de 5.000 lx, por exemplo.
ASE <i>Annual Sun Exposure</i>	ainda em desenvolvimento, esta métrica reporta o percentual das horas em que o sol direto pode potencialmente ser admitido. Útil para avaliar o risco de ofuscamento. A existência de luz direta do sol é caracterizada com uma diferença de 1000 lx entre a iluminância horizontal onde o sol incide e a iluminância em uma área adjacente sombreada.
ALE <i>Annual Light Exposure</i>	trata-se de uma métrica cumulativa que reporta a quantidade cumulada de luz incidente em um ponto de interesse, medida em lux-horas/ano. Foi desenvolvida para ambientes com objetos sensíveis à luz, em especial, para determinadas faixas do espectro, tipo UV ou IV.

Existem diversos softwares que permitem este tipo de simulações, todos eles baseados em algoritmos de Radiance e arquivos climáticos: Daysim e DIVA são alguns deles.

DIVA é um plug-in para o programa Rhinoceros⁶ desenvolvido, inicialmente, pela Faculdade de Design da Universidade de Harvard, e agora é distribuído e desenvolvido por Solemma LLC. O plug-in trabalha sobre a interface do Rhinoceros, programa que permite a modelagem em 3 dimensões do objeto de estudo, possibilitando a visualização gráfica e manipulação dos resultados. Permite avaliações de desempenho ambiental, incluindo mapas de irradiação e

⁶ Programa computacional para a modelagem em 3 dimensões, baseado em *NURBS* (*non-uniform rational B-spline*), modelo matemático utilizado na computação gráfica para gerar e representar curvas e superfícies.

iluminação natural, baseado nas métricas climáticas anuais (JAKUBIEC; REINHART, 2011b; LAGIOS, 2013). A Figura 14 mostra algumas das vistas do modelo no Rhinoceros e uma seção do modelo após a simulação de luz natural gerada pelo plug-in DIVA.

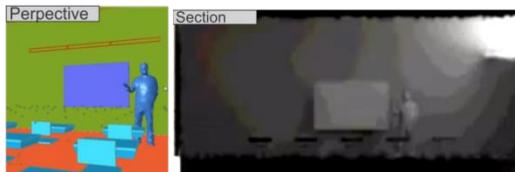


Figura 14. Diferentes vistas do modelo no Rhinoceros (LAGIOS, 2013)

Nas diferentes simulações que o plug-in DIVA permite fazer, sobretudo na simulação da iluminação natural, existe a possibilidade de considerar a presença de persianas que podem afetar a quantidade de luz natural disponível, além de definir o calendário de ocupação, ou seja, programas anuais de ocupação por hora. O DIVA permite fazer simulações dinâmicas da iluminação, permite a escolha de um período de tempo no ano para ser avaliado ou a escolha do ano todo. Uma vez realizadas as simulações, são representados os níveis de iluminação natural por períodos de tempo em arquivos **.txt*, que podem ser visualizados em cores falsas, de acordo com a necessidade da avaliação.

Além de avaliar a disponibilidade de luz natural, o plug-in DIVA permite o cálculo de irradiação solar em kWh/m² expressada em mapas de irradiação solar a partir de cores falsas. A Figura 15, mostra a representação dos mapas gerados.

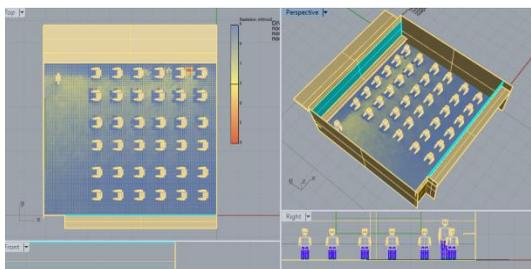


Figura 15. Representação de mapas de Irradiação

2.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Boa parte do crescimento das crianças e dos adolescentes acontece na escola. Quase 50% da vida é desenvolvida dentro da sala de aula, local que sugere condições adequadas de habitabilidade, espaços saudáveis e de livre desenvolvimento da personalidade.

Os estudos de iluminação natural frequentemente relatam sobre a influência que esta tem nas pessoas (no controle do relógio biológico) e nos espaços (disponibilidade de luz ao interior). Porém, é difícil encontrar estudos que falem como a presença dos usuário, dentro dos espaços, interfere na distribuição da iluminação natural. Espaços como as salas de aula, devem considerar, além da presença dos estudantes, a capacidade de ocupação, tipos de agrupamentos para diversas atividades e condições ambientais adequadas visando à melhoria do desempenho acadêmico dos estudantes.

Os espaços vazios apresentam comportamento diferentes em relação aos espaços ocupados. A disponibilidade de luz natural em espaços vazios é maior, e a distribuição da luz se apresenta pelo efeito da reflexão de cada uma das superfícies (teto, piso, paredes). Contudo, o que ocorre com a disponibilidade de luz natural em espaço ocupados é que os usuários convertem-se em variáveis que também interferem na luz, reduzindo a distribuição.

Os parâmetros para iluminar as salas de aula consideram condições arquitetônicas do espaço (área da janela, localização) e propriedades óticas dos materiais. Não se especifica, se dentro dos parâmetros são considerados o número de alunos presentes, seu possível agrupamento e o tempo que utilizam para fazer uma atividade, considerações que também podem afetar a distribuição da iluminação no interior da sala. Portanto, garantir níveis de iluminância mínimos em uma sala de aula, sem considerar a movimentação de seus estudantes, além de não considerar que são usuários em período de crescimento acelerado, remete avaliar a distribuição da iluminação de forma incompleta, já que adiciona uma variável não presente em um espaço vazio.

3. METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO

Propõe-se um estudo dedutivo, de caráter quantitativo e qualitativo, com a finalidade de avaliar, em modelos abstratos, os possíveis efeitos e alterações de diferentes tipos de agrupamentos de estudantes sob as condições de iluminação natural em salas de aula.

O processo metodológico está dividido em quatro etapas. Na primeira etapa, foram definidos os parâmetros para a construção dos modelos, com auxílio do programa AutoCAD. A modelagem foi realizada neste programa para garantir a compatibilidade das superfícies para a importação dos modelos nos programas Rhinoceros 5.0 e Apolux.

A segunda etapa consistiu na obtenção, a partir da simulação dinâmica no Plug-in *DIVA*, dos 64 modelos de sala de aula. Foram obtidos dados de disponibilidade de irradiação solar nos planos de trabalho de cada modelo de sala de aula, nos diferentes tipos de agrupamentos propostos. Foram determinadas faixas da disponibilidade de irradiação solar, por área, no plano de trabalho, nos modelos mais representativos, e assim foram realizadas as diferenças percentuais de cada agrupamento, quando comparados com uma sala vazia. Logo, foram obtidas as médias representativas da irradiação solar presente nos agrupamentos, incluindo uma sala vazia, em diferentes orientações.

A terceira etapa consistiu na obtenção, a partir da simulação estática no programa Apolux, dos 128 modelos propostos. Foram obtidos dados de distribuição das iluminâncias nos planos de trabalho de cada modelo de sala de aula, nos diferentes tipos de agrupamentos. Foram ilustradas as curvas de distribuição das iluminâncias por agrupamento e por orientação, e logo foram determinadas faixas da disponibilidade de iluminâncias, por área, no plano de trabalho, nos modelos mais representativos.

Finalmente, na quarta etapa foi realizada a comparação, em um quadro resumo, do comportamento da iluminação na sala de aula, de acordo com as iluminâncias médias obtidas nas

condições avaliadas, e analisadas a influência dos diferentes tipos de agrupamentos propostos.

3.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS BASE DAS SALAS DE AULA

Neste trabalho foram avaliadas as alterações da distribuição das iluminâncias resultantes de diferentes tipos de agrupamentos em sala de aula. Além disso, foi realizada uma análise sobre a influência que os agrupamentos produziram na disponibilidade de irradiação solar no plano de trabalho da sala. Assim, foram escolhidos os parâmetros que, segundo os requerimentos normativos e a revisão bibliográfica, podem apresentar uma maior influência na iluminação de salas de aula.

Como objeto de estudo foram definidas salas de aula hipotéticas, localizadas em Florianópolis (cidade de referência para as simulações), destinadas ao ensino Fundamental e Médio, ocupadas por estudantes em diferentes tipos de agrupamento. Os tipos de agrupamentos representam algumas das diversas formas típicas de ocupação de estudantes dentro da sala de aula. Os parâmetros que serão descritos a seguir, são referenciados das Normas Técnicas do Ministério da Educação do Brasil, através do Caderno Técnico N. 4, (2002).

A descrição dos parâmetros corresponde aos valores estimados, médios e mais representativos para o contexto de estudo, com a ideia de simplificar as avaliações, simulações e cálculos.

3.2.1 Área sala de aula hipotética

O estudo foi realizado com salas de aula hipotéticas, apresentando características técnicas e arquitetônicas sugeridas pelas Normas.

De acordo com os parâmetros técnicos e arquitetônicos, para o planejamento de salas de aula, os parâmetros comuns constantes nas Normativas são:

1) Área por aluno e 2) N. de alunos por professor, (Ver Figura 16). A sala de aula hipotética foi modelada com 7,5m de comprimento, 8,1m de largura e 3,0m de pé direito, resultando em uma área total de 60,75m². Cabe salientar que a sala cumpre com a área útil por aluno (1,32 m² por aluno) descrita na norma, o que resulta em um total de 36 alunos.



Figura 16. Dimensões da sala de aula de acordo com a Norma

3.2.2 Área e localização de janela.

Embora exista diferença na relação de área da abertura para iluminar entre as escolas existentes e as novas apresentadas pelo Caderno Técnico N. 4, (2002), foi considerada a relação que corresponde a **1/5 da área do piso**. Esta relação corresponde a uma **área total de abertura de 12,15 m²**, como apresentado na Figura 17.

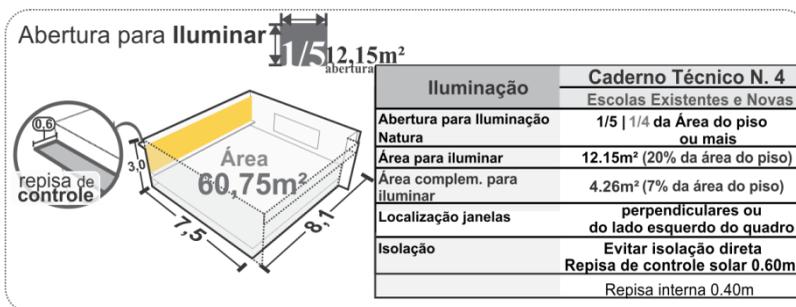


Figura 17. Área de abertura na sala de aula

A configuração da janela foi definida como uma janela contínua no lado da parede com maior dimensão, para aproveitar melhor o ingresso da luz natural. Cabe salientar que a sala cumpre com a área obrigatória para iluminação e apresenta uma

proteção solar horizontal na verga da abertura -com 0,60m de largura- e uma prateleira no interior da sala -com 0,40m de largura- para evitar isolação direta. A localização da abertura segue as recomendações descritas no Caderno Técnico 4.

3.2.3 Área de verificação e análise

É um dos parâmetros que foi mantido constante em todos os modelos das salas de aula, de forma a permitir uma comparação entre os mesmos. Estabeleceu-se o plano de trabalho a 0.60m do piso como área de análise em todas as salas simuladas. O plano corresponde à área de maior atividade dos estudantes na posição “sentado”, durante o horário escolar.

3.2.4 Tipos de agrupamentos

Para encontrar a influência que os alunos podem ter sobre a iluminação natural da sala de aula, são consideradas atividades que, conforme o plano de ensino, podem requerer diferentes tipos de agrupamentos. Cada um deles corresponde às recomendações de arranjo sugeridas pelo Caderno Técnico N. 4, (2002), sendo ajustados para considerar o efeito dos alunos e do mobiliário nas avaliações da distribuição das iluminâncias e também na irradiação solar dentro da sala de aula.

Os tipos de agrupamentos escolhidos consideram: possibilidade de arranjo tradicional (alunos em fileiras olhando para o quadro), conforme os planos de ensino tradicionais, grupos de interação próximos, para atividades de atenção particular e arranjo geral sem escrivaninhas, para atividades de atenção geral.

Foram considerados 4 tipos de agrupamentos: Agrupamento de Sala Vazia (*AVazia*), que corresponde a uma sala de aula sem ocupação de estudantes e mobiliário; Agrupamento Fileiras (*AFileiras*), que corresponde a uma sala de aula ocupada por estudantes junto com a sua escrivaninha, dispostos em fileiras e olhando para o quadro; Agrupamento Grupos (*AGrupos*), que corresponde a uma sala ocupada por diferentes grupos de quatro estudantes com a sua escrivaninha e dispersos pela sala; e Agrupamento Mesa Redonda (*AMesa R*),

que corresponde a uma sala de aula ocupada por estudantes, dispostos em mesa redonda e afastados das suas escrivaninhas. A Figura 18 ilustra os diferentes agrupamentos.



Figura 18. Tipos de Agrupamentos escolhidos nas salas de aula

3.2.5 Parâmetros antropométricos

Para efeitos do presente estudo, foram considerados agrupamentos de alunos de ensino Fundamental e Médio; com idades entre 12 e 14 anos.

A escolha desta faixa etária se deu devido à correspondência à primeira fase da adolescência, onde não existem grandes mudanças fisiológicas no crescimento, além do fato de que existe uma grande demanda da população nesta fase escolar para ser atendida no contexto brasileiro como foi descrito na Introdução.

As medidas antropométricas finais dos alunos correspondem às *medidas médias* no percentil 50, já que se ajusta às médias das dimensões corporais de uma amostra.

Serão avaliados, na postura, principalmente *sentados*, com uniformidade em suas roupas. A postura *de pé* é definida apenas para o professor.

3.2.6 Orientações da sala de aula

A fachada da sala, onde se encontra a janela principal, foi orientada nas 4 orientações principais: Norte, Leste, Sul e Oeste. Cada agrupamento foi avaliado 4 vezes, as quais correspondem às 4 orientações descritas.

A seguir, é apresentada a síntese dos parâmetros base que foram considerados em todas as simulações (Ver Figura 19).

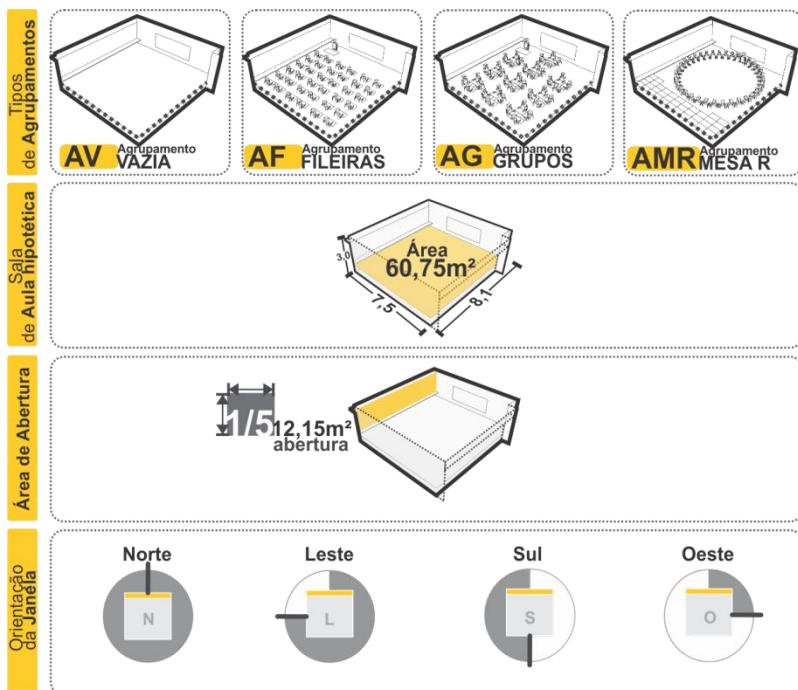


Figura 19. Sínteses dos parâmetros

3.3 FERRAMENTAS DE ANÁLISE

3.3.1 Construção da sala de aula

O modelo da sala de aula hipotética foi confeccionado por meio de superfícies planas (3Dfaces) com auxílio do programa AutoCAD.

Foi indispensável que as superfícies estivessem direcionadas com a face visível para o interior da sala, a fim de garantir o correto desenvolvimento das simulações. Cada superfície modelada, correspondeu a um componente arquitetônico da sala, razão pela qual foram diferenciadas com “layers” diferentes, por nome e cor. A diferenciação por “layers” facilitou a entrada dos parâmetros por material e fracionamento nos programas usados para a simulação.

3.3.2 Simulação da irradiação solar no interior da sala de aula

A simulação da irradiação solar dentro da sala de aula foi realizada mediante a simulação dinâmica, com o plug-in DIVA, a qual faz uso das unidades métricas baseadas no clima, que são derivadas de perfis anuais em intervalos de tempo (hora/minuto). O plug-in DIVA do Rhinoceros é baseado nos algoritmos de *Radiance* e faz uso de arquivos climáticos.

As simulações foram realizadas a partir do arquivo climático Test Reference Year⁷ para a cidade de Florianópolis. O arquivo TRY é uma compilação dos dados climáticos das 8760 horas do ano, onde são eliminados os valores de temperaturas extremas, de forma a obter uma situação de referência média do clima do local. (NBR 15220-3 - ABNT, 2005; RORIZ, 2012).

Para fazer a simulação, é necessário criar uma malha de pontos sobre o plano de análise. A malha de pontos foi disposta, uniformemente, sobre uma superfície, na altura do plano de trabalho (0,60m), com uma separação entre pontos de 0,10 metros, obtendo um total de 6232 pontos.

⁷ Tomado de <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>)

Os parâmetros de simulação no plug-in DIVA são apresentados na Tabela 8.

Tabela 7. Parâmetros de simulação adotados no Plug-in DIVA

Parâmetros no DIVA			
Materials	Tipo de Simulação	Dados de saída	
Paredes, móveis, quadro, alunos	GenericInteriorWall_50	Daylight Grid-Based	Radiation Map
Piso	Floor_Tile		
Porta	Wood		
Teto	GenericCeiling_80		
Vidro	Glazing_SinglePane_88		
		Star time - Datas iniciais (meses/dias)	03 01 / 08 01
		End time - Datas finais (meses/dias)	03 30 / 08 30
		Hour Range - Intervalo de horas	08 12 e 12 16
		Radiance parameters	-ab 2 -ad 1000 -as 20 -ar 300 -aa 0,1
		Hide dynamic shading	Sim
		Geometry density	100

Finalmente, a partir da combinação dos parâmetros apresentados anteriormente, foram determinados 64 modelos para serem simulados. A Figura 20 apresenta, graficamente, as características principais e a codificação dos modelos.

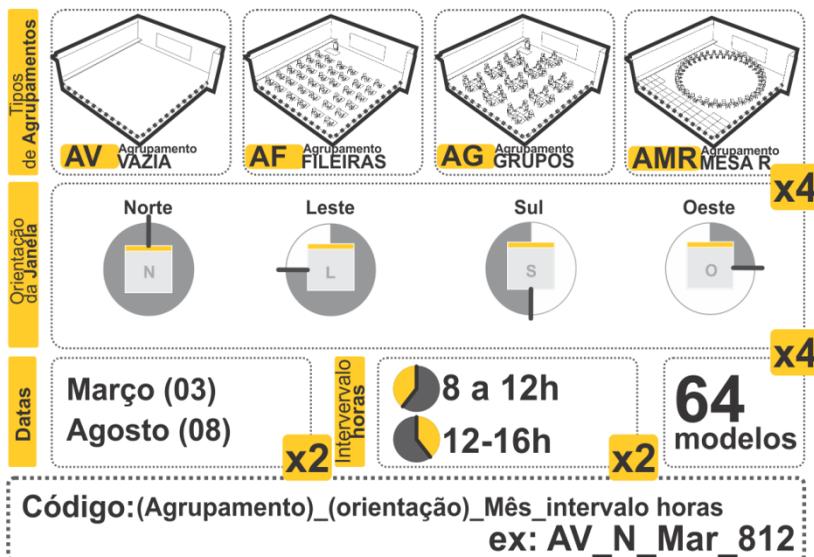


Figura 20. Resumo e combinação dos parâmetros de simulação

3.2.2.1 Processamento dos dados

Uma vez realizada a construção dos 64 modelos de sala de aula e a importação dos mesmos, no programa Rhinoceros, foram feitas as simulações de irradiação solar sobre o plano de trabalho, por meio do Plug-in DIVA. Apesar do número considerável de pontos, modelos e superfícies, o tempo estimado para cada simulação não ultrapassou 5 minutos.

Em cada modelo, foram obtidos 6232 dados de irradiação solar, expressos em kWh/m². Estes dados foram armazenados em tabelas eletrônicas, possibilitando o cálculo da quantidade de irradiação solar, disponível no total de cada modelo. A seguir, são apresentados os arquivos de resultados gerados por uma simulação. A Figura 21 apresenta o resultado gráfico obtido da interface do programa Rhinoceros. Os resultados em numéricos são gerados em um arquivo de dados *.dat, que foram importados para planilhas do Excel, para cada orientação. Em cada folha da planilha do Excel foram armazenados os dados por agrupamento, considerando as datas e intervalos de horas avaliados. No total, foram geradas 4 planilhas do Excel (Norte, Leste, Sul, Oeste).

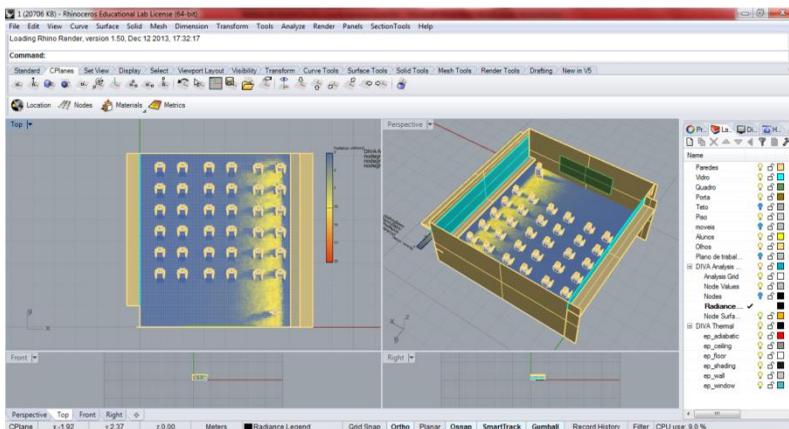


Figura 21. Resumo e combinação dos parâmetros de simulação

O conjunto de dados gerados corresponde às coordenadas de cada ponto em X,Y, Z nas três primeiras colunas; as três colunas seguintes correspondem à orientação de cada ponto nos

eixos X, Y, Z (1, ponto virado do lado positivo do eixo; -1, ponto virado do lado negativo do eixo), as próximas três colunas, com os valores iguais, representam a quantidade disponível de irradiação solar nos pontos, nas condições avaliadas, expressada em kWh/m².

3.2.2.2 Geração de mapas de irradiação e criação de faixas de irradiação solar nos agrupamentos

Com o auxílio das simulações dos 64 modelos, foram gerados os mapas de irradiação no plano de trabalho, representados em cores falsas. Uma vez obtidos os resultados em numéricos de todas as simulações, foi gerada a escala de cores falsas, baseada no valor da quantidade mínima e máxima disponível na sala de aula. A escala foi determinada de 0 kWh/m² (cor azul) até 20 kWh/m² (cor vermelha), como mostra a Figura 21.

A irradiação solar em cada ponto pode variar de acordo com a localização no plano de trabalho, a presença ou não dos estudantes, a orientação da sala de aula e a proteção solar horizontal. Considerando o anterior, as faixas foram estabelecidas baseadas nas quantidades mínimas e máximas de irradiação, após a obtenção dos valores totais dos 64 modelos de simulação. Na literatura, não foi encontrado nenhum valor de referência máximo admissível de irradiação dentro da sala de aula. Porém, é sugerido evitar o ingresso de sol direto. Dessa forma, foi avaliada a irradiação disponível na sala para comprovar o controle da proteção horizontal.

Levando em consideração que os valores máximos obtidos foram de até 19,65 kWh/m² e os valores intermediários obtidos foram entre 2,00 kWh/m² e 10,00 kWh/m², adotaram-se 3 faixas, que classificam os valores obtidos das simulações da seguinte forma: valores inferiores a 2,0kWh/m² (cor amarelada clara), valores entre 2,0kWh/m² e 10,0kWh/m² (cor laranja), e valores que ultrapassam os 10,0kWh/m² (cor laranja escuro).

Em cada faixa foram dispostos os percentuais da área do plano de trabalho que se encontravam nesses valores, para cada tipo de agrupamento, de acordo com as condições avaliadas. As percentagens foram representadas em quadros de cor cinza, que

vão desde o cinza mais escuro (0%) até o cinza mais claro (100%), como mostra a Figura 22..

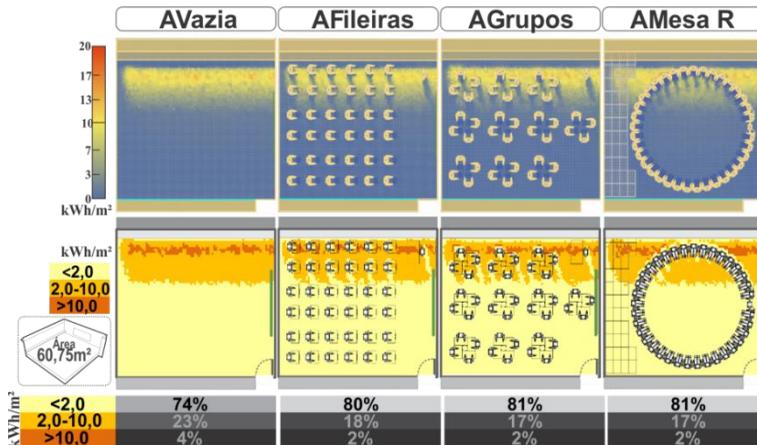


Figura 22. Exemplo de Mapa de irradiação e definição das faixas segundo a disponibilidade da irradiação solar nos agrupamentos

Uma vez encontradas as percentagens em cada faixa, para cada agrupamento, foi determinada a *diferença percentual* dos agrupamentos em relação a uma sala de aula vazia, que corresponde à maior disponibilidade de irradiação solar no interior da sala.

3.2.2.3 Definição das médias representativas da irradiação solar por agrupamento

Foram geradas as médias da irradiação solar dos agrupamentos, em cada uma das orientações e os dois meses avaliados: Março e Agosto. No conjunto de dados, por agrupamento, foram registrados valores de 0 kWh/m² (não presença de irradiação) até 19,65 kWh/m² (maior irradiação), obtendo médias que não consideravam valores maiores e, que possivelmente, apresentavam-se em alguma zona da sala. Com esta consideração, foram geradas as médias da maior irradiação em cada um dos agrupamentos, e assim, encontrar o comportamento da irradiação média e máxima dentro da sala.

3.2.3 Simulação da Distribuição das Iluminâncias no interior das salas de aula

A simulação da distribuição das iluminâncias dentro da sala de aula foi realizada mediante simulação estática, com o programa Apolux permitindo avaliações para um local, data e hora específica, de acordo com o tipo de céu predominante.

Para esta etapa do estudo, não foi utilizada a simulação dinâmica da iluminação, pois esta supõe uma posição fixa dos estudantes ao longo do tempo, descartando a possibilidade de os alunos se movimentarem dentro da sala.

Para a realização das simulações no programa Apolux, é necessário inserir os modelos de simulação nas duas interfaces presentes no programa. Na primeira interface, identificada como o *Módulo Fractal*, os modelos foram preparados com diferentes características, que correspondem à determinação das propriedades dos materiais. Estas características são necessárias para a inserção dos modelos na segunda interface que corresponde ao Módulo Foton, onde são realizadas as simulações de acordo com as condições de estudo.

As simulações foram realizadas para Florianópolis. A latitude, longitude e altitude foram os dados inseridos para referenciar o contexto de estudo. Como o programa Apolux utiliza a simulação estática, os parâmetros de simulação foram inseridos, de acordo com o conjunto combinado de parâmetros (geográficos + temporais + tipos de céu), obtendo o número total de simulações.

3.2.3.1 Preparação do modelo no *Módulo Fractal*

Para fazer a simulação, é necessária a preparação do modelo da sala de aula no *Módulo Fractal*, do programa Apolux. Dentro dele, foram escolhidas as propriedades óticas dos materiais, as quais foram baseadas nos materiais típicos de uma sala de aula.

As propriedades óticas dos materiais foram diferenciadas entre as superfícies *opacas difusoras* - paredes, piso, teto, porta, quadro, móveis e estudantes - e a *transmissora difusa*, que

corresponde ao “vidro”. A propriedade do vidro foi determinada como transmissora difusa, com o objetivo de garantir maior controle da luz exterior, que não consegue ser controlada apenas pela proteção solar.

Além de considerar as propriedades óticas dos materiais, foi determinado o *Fator de Divisão* ou *fracionamento*⁸. Como é apresentado na Tabela 9, foi adotado um valor de fracionamento para cada superfície da sala, com um maior fracionamento no “plano de trabalho” (20), já que a análise da distribuição da iluminação natural foi mais detalhada neste plano. Os valores adotados para o fracionamento das paredes (8), quadro (8) e teto (3) deram-se devido à influência dessas superfícies no cálculo das iluminâncias no plano de trabalho, como pode ser observado graficamente na Figura 23. A área máxima total do fracionamento no modelo foi de 0,50 m².

Tabela 8. Parâmetros de preparação adotados no *Módulo Fractal* do Apolux

Parâmetros no Módulo FRACTAL					
Layers	Fracionamiento Fator de Divisão	Área Máxima Fracionada	Propiedades Óticas	Refletância Média (%)	Transmitância Média (%)
Paredes	8	0,5	Opaco Difuso	88	0
Vidro	1		Transmissor Difuso	0	90
Piso	1		Opaco Difuso	83	0
Móveis	20		Opaco Difuso	77	0
Alunos	1		Opaco Difuso	88	0
Quadro	8		Opaco Difuso	41	0
Teto	3		Opaco Difuso	67	0
Porta	1		Opaco Difuso	40	0

⁸Quanto maior o fracionamento, maior o comportamento luminoso homogêneo nas superfícies.

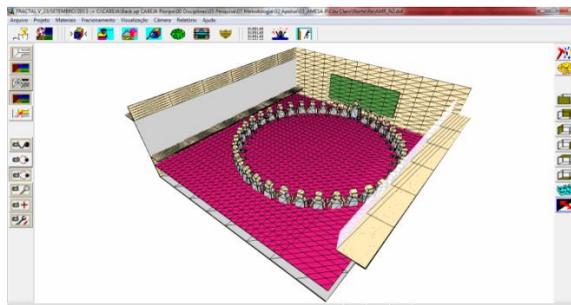


Figura 23. Representação gráfica dos materiais e o seu fracionamento no *Módulo Fractal*

Determinadas as características dos materiais e o seu fracionamento, cada modelo foi salvo como projeto *.PJ3, extensão que permite a leitura do arquivo no *Módulo Foton*.

3.2.3.2 Simulação do modelo no *Módulo Foton*

O *Módulo Foton* é a interface que o programa oferece para realizar o processo de simulação. Em primeiro lugar, foi definido o número de parcelas do Globo que corresponde ao número de ângulos sólidos em que o Globo é dividido. A divisão do Globo varia de 1 até 8; quanto maior é o Globo, maior a resolução dos resultados. Para o presente estudo, foi adotado o GLOBO 8, que corresponde à subdivisão do Globo em 146.198 parcelas (150 faixas), sendo este o maior parcelamento oferecido pelo programa.

Após a definição do Globo, foram definidos os parâmetros da *Abóbada CIE*, que constam na definição dos parâmetros geográficos: dados de latitude, longitude e altitude de Florianópolis; e dos parâmetros temporais: foram considerados dois meses de avaliação, como os representativos das condições de disponibilidade de luz natural: Março, final da estação de Verão; e Agosto, final da estação de Inverno. Foi escolhido o dia 15 como a condição intermediária representativa em cada mês. A escolha das horas foi determinada para avaliar uma hora representativa do horário escolar de manhã (9 horas) e de tarde (15 horas).

Para as simulações, foi considerada a influência do sol e o céu, mantendo-se o valor do turvamento em 2,0 e em 0,25 a razão da iluminância difusa e extraterrestre horizontal, de acordo com a configuração do programa. Foram adotados como tipos de céu predominante no contexto de referência o céu N. 2 do listado do programa, que corresponde ao Céu Encoberto I e o céu N. 12 do listado, que corresponde ao CIE – Padrão Céu Claro I. Na tabela 9 são descritos os parâmetros anteriores (Ver Tabela 10).

Os tipos de céu escolhidos fazem parte da classificação dos céus homogêneos que variam de claro ao turvo, nebuloso e encoberto, apresentando comportamentos atmosféricos razoavelmente semelhante, em todas as direções (VIEIRA; PEREIRA, 2004). Embora a CIE proponha cinco tipos de céus homogêneos, acredita-se que os céus claro e encoberto sejam suficientes para caracterizar as condições de céu da cidade de referência.

Tabela 9. Parâmetros de simulação adotados no *Módulo Foton* do Apolux

Parâmetros no Módulo FOTON										
Plano de Análise		Definição do N. de Parcelas do Globo			Definir Abóbada CIE					
					Parâm.Geográficos			Parâm. Temporais		
Calcular como <i>Plano de Análise</i>	2	GLOBO 8 146.198 Parcelas(150 Faixas)	Florianópolis, SC. Brasil			Mês		Março		
			Latitude	27°34' S	Dia	15		Agosto		
N. de Planos	2		Longitude	48°37' O	Hora	9	Min.	0		
Fator de Divisão	20		Altitude	0	Hora	15	Min.	0		
Tipo de Cálculo	Azimute /Alt. Ang. do Sol		Valores de Referência		Orientação (Norte)			Tipo de Céu		
Sol e Céu	298/72		Turvamento	R. Ilum Difus/Extra. Horiz	Norte	0°	2). Céu Encoberto I			
					Leste	90°				
		2,000	0,25	Sul	180°	12). CIE-Padrão Céu Claro I				
				Oeste	270°					

Considerando a combinação dos parâmetros apresentados anteriormente, foram definidos 128 modelos para serem simulados. A Figura 24 apresenta graficamente as características principais e a codificação dos modelos. Os parâmetros foram escolhidos de acordo com a probabilidade de ocorrência e a disponibilidade de luz natural nos períodos considerados.

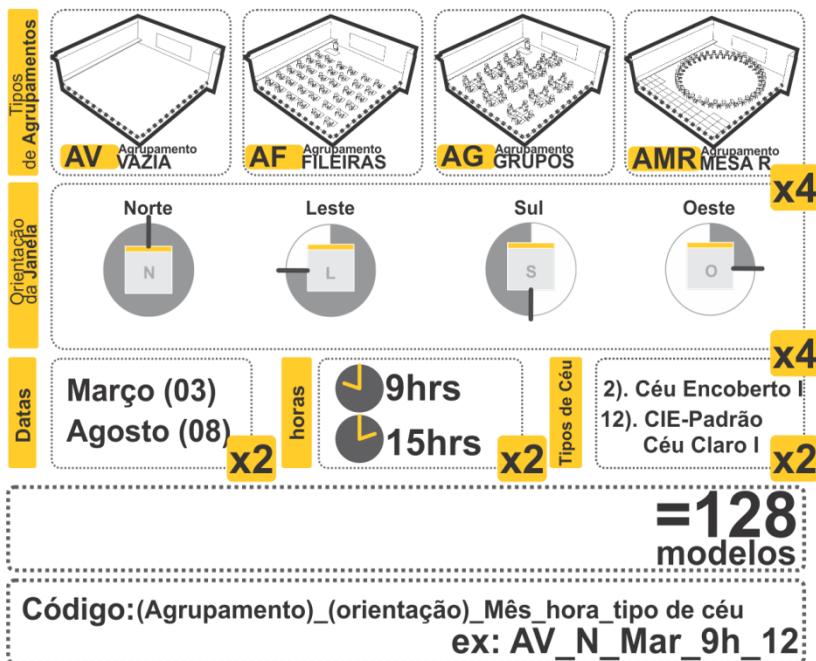


Figura 24. Resumo e combinação dos parâmetros de simulação no Apolux

3.2.3.3 Cálculo de *Visibilidade* e *Radiosidade*

Após a inserção dos parâmetros no Módulo Foton, foi calculada a *Visibilidade*, etapa mais demorada da simulação. A *Visibilidade* corresponde ao cálculo dos fatores de forma, que envolve a definição das relações de visualização entre as diferentes parcelas de superfície do projeto, a qual possibilita o cálculo da *Radiosidade*.

Foram gerados 4 cálculos de *Visibilidade*, correspondentes aos 4 modelos de salas de aula com os agrupamentos, nas 4 orientações principais, nos 2 tipos de céu. Por exemplo, para a sala com agrupamento *Vazia*, orientada para o Norte, no céu N. 2, foi gerado apenas um cálculo de *Visibilidade*, que serve como base para gerar as simulações nas 4 condições temporárias escolhidas (Março 15-9h, Março 15-15h, Agosto 15-9h, Agosto 15-15h).

Foram gerados 128 cálculos de *Radiosidade*, que correspondem a 4 modelos de sala de aula com os agrupamentos, nas 4 orientações principais, nos 2 meses, nas 2 horas escolhidas e nos 2 tipos de céu. Para cada cálculo, foi necessário o carregamento do cálculo de *Visibilidade* obtido nas condições estabelecidas por agrupamento, orientação, mês e hora. Também é necessário configurar o seguinte parâmetro : Abóbada CIE, conforme os parâmetros de simulação escolhidos anteriormente, na tabela 9.

Após todas as configurações, foi realizado o cálculo da equação de *Radiosidade* que corresponde às reflexões de luz emitidas pelas superfícies fraccionadas de acordo com o número de ciclos. O número de ciclos permite que a luz seja redistribuída a quantidade de vezes que seja necessário para se obter uma distribuição mais completa e homogênea do fluxo da luz no interior. Foram determinados 20 ciclos para cada cálculo, com o intuito de garantir uma distribuição da luz mais precisa e quantitativamente correta.

3.2.3.4 Processamento dos dados

Após o cálculo de *Radiosidade*, foram processados os dados de forma gráfica e numérica. Para a obtenção dos resultados gráficos foi necessária a escolha de uma forma de visualização oferecida pelo Módulo Foton, para que fosse possível a geração da imagem contendo os valores das iluminâncias em cores falsas. A vista em planta da sala foi a escolhida (Ver Figura 24). Foi determinada uma escala de cores falsas em função exponencial, de acordo com a disponibilidade das iluminâncias por orientação, considerando para o Norte, uma escala de 0 até 12000 lux; para o Sul, uma escala de 0 até 3000 lux e para o Leste/Oeste uma escala de 0 até 17000 lux.

A gama de cores é determinada, segundo a configuração própria do programa, e define, em azul escuro, o nível mais baixo de iluminâncias, e em vermelho escuro, o nível mais alto. Na Figura 25 são apresentados os resultados gráficos das iluminâncias, obtidas após a simulação no Módulo Foton. Para cada simulação, foi gerada uma imagem em planta das iluminâncias, para um total de 128 imagens, que correspondem ao número total de simulações da sala de aula.

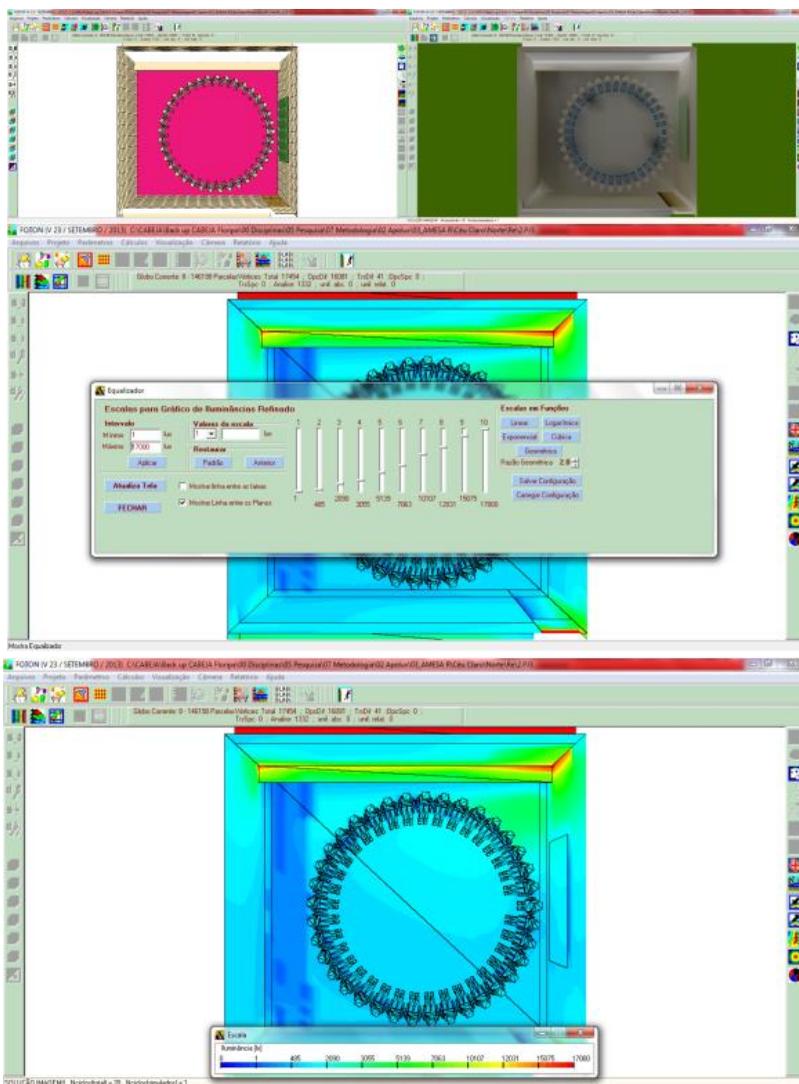


Figura 25. Representação gráfica das iluminâncias no *Módulo Foton*

Após a visualização da distribuição e dos níveis de iluminância em cores falsas, resultantes na sala, são gerados dados em numéricos, a partir do Relatório disponibilizado pelo programa. Neste, é possível configurar níveis e valores que

serão aplicados aos dados obtidos, para serem exportados. Para o caso, o nível escolhido foi o “plano de trabalho”, diferenciado em cor magenta, como mostra a Figura 25. Na seleção de valores, foram mantidas as coordenadas e a área do modelo, e nas iluminâncias foram escolhidos os dados de iluminância total.

Os dados foram importados para planilhas do Excel, por orientação e tipo de céu. Em cada folha da planilha do Excel foram armazenados os dados por agrupamento, considerando as datas e horas avaliadas. No total, foram geradas 8 planilhas do Excel, 2 por orientação (Norte, Leste, Sul, Oeste) diferenciadas pelo tipo de céu, por exemplo: Norte_12, Norte_2.

A primeira coluna corresponde ao vértice no qual se encontra o plano de trabalho. A segunda, terceira e quarta colunas correspondem às coordenadas de cada ponto em X, Y, Z: a coluna seguinte, determina a área em metros quadrados de cada vértice; na coluna seguinte $-E_{tot}(lux)-$, são dispostos os valores correspondentes às iluminâncias totais na face virada para fora do plano; e a última coluna $-E_{totN}(lux)-$, contém os valores das iluminâncias totais na face virada para dentro do plano. Foram adotados os valores apresentados na face virada para fora do plano $-E_{tot}(lux)-$, pois são os dados gerados das reflexões com as superfícies de transmissão e reflexão da luz.

3.2.3.5 Geração de curvas da distribuição das iluminâncias

Para visualizar a influência dos agrupamentos na distribuição da iluminação natural, foi adotada a ilustração do comportamento das iluminâncias na sala, a partir da geração de curvas.

O conjunto de dados de iluminâncias gerados para os dois planos que compõem o plano de análise, foram armazenados e organizados em uma planilha do Excel, conforme as coordenadas em X e Y, como mostra a Figura 26.

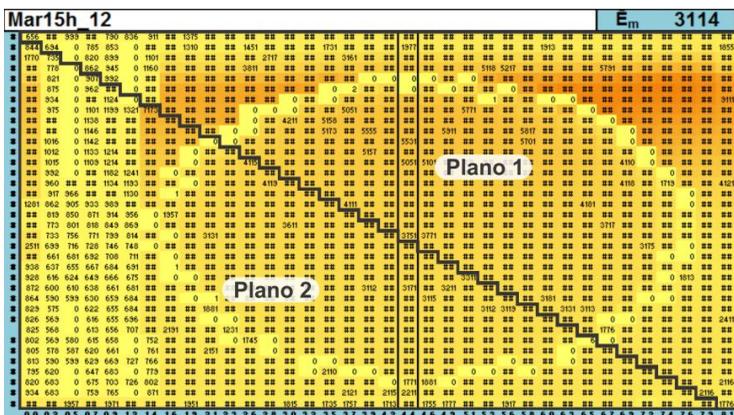


Figura 26. Iluminâncias arrumadas na planilha do Excel

Depois de colocadas na planilha, as iluminâncias foram representadas a partir da seção transversal na metade da sala, perpendicular à janela para todos os agrupamentos.

3.2.4 Geração de mapas das iluminâncias e criação de faixas sobre a distribuição de iluminâncias nos agrupamentos

Utilizando as simulações dos 128 modelos, foram gerados os mapas das iluminâncias representados em mapas 3D no plano de trabalho.

Para a classificação das iluminâncias, foram definidas faixas de valores em relação à área total da sala ($60,75\text{m}^2$). Assim, é possível a identificação da porcentagem de área compreendida em cada intervalo (faixa). Esta classificação foi determinada conforme a quantidade mínima e máxima disponível de iluminâncias na sala de aula.

As faixas não foram determinadas a partir das exigências de conforto visual descritas pelas Normas, por isso não se aprofundou em conceitos de desejabilidade de níveis de iluminação por parte dos usuários no presente estudo. Dessa forma, a classificação das faixas foi estabelecida, adotando como referência as faixas dos níveis de iluminâncias sugeridas no cálculo da medida de avaliação do desempenho dinâmico da iluminação natural, Useful Daylight Illuminances (UDI): valores

inferiores a 100 lux (<100 lux) até valores que ultrapassam 3000lux (>3000 lux) (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

As faixas foram definidas da seguinte maneira: *faixa baixa* (cor vermelha escuro), área onde se encontram os estudantes/móveis, com valores inferiores a 300 lux; *faixa intermediária* (cor vermelha clara), área de trabalho dos estudantes (escrivainhas), com valores entre 300 lux e 500 lux (nível requerido segundo a Norma); *faixa alta* (cor laranja e amarela clara), área de trabalho dos estudantes, com valores entre 500 lux e 1000 lux (nível máximo segundo a Norma), e área da circulação dos estudantes, com valores entre 1000 lux e 3000 lux; *faixa excessiva* (cor amarela clara), área perto da janela ou sem estudantes, com valores superiores a 3000 lux.

Para cada tipo de agrupamento, de acordo com as condições avaliadas, foram calculadas as percentagens de área do plano de trabalho compreendidas em cada faixa. As percentagens foram representadas em quadros de cor cinza, que variam do cinza mais escuro (0%) até o cinza mais claro (100%), como mostra a Figura 27.

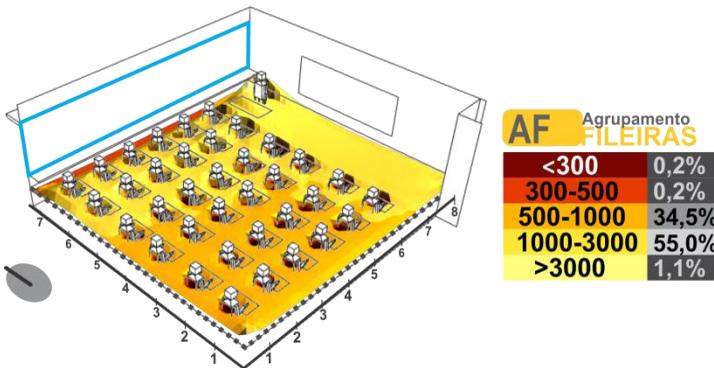


Figura 27. Mapa das iluminâncias e as percentagens em cada faixa

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesse capítulo são descritos os principais resultados encontrados. Inicialmente, são apresentados os resultados encontrados das simulações realizadas sobre a disponibilidade de irradiação solar e a distribuição das iluminâncias no plano de trabalho, para avaliar as condições arquitetônicas da sala e as possíveis alterações dos diferentes tipos de agrupamento. Foram gerados mapas de irradiação solar por agrupamento, em cada orientação. Em seguida, foram definidas as faixas em kWh/m², que classificam a disponibilidade de irradiação solar em cada um dos agrupamentos. Logo, foram geradas as diferenças percentuais dos agrupamentos com estudantes em relação à sala vazia, nas condições mais representativas. Finalmente, foram obtidas as médias representativas da disponibilidade de irradiação solar por orientação, para todos os agrupamentos.

Na segunda parte, são apresentados os resultados encontrados nas simulações realizadas sobre a distribuição das iluminâncias no plano de trabalho, para avaliar o efeito ou alteração que os agrupamentos de estudantes possuem em uma sala, em comparação a uma sala vazia. Inicialmente, foram geradas curvas da distribuição das iluminâncias por agrupamento, nos dois tipos de céu, para avaliar a disponibilidade e o comportamento nos meses e horas escolhidas. Em seguida, foi gerada a curva da distribuição das iluminâncias por orientação, no tipo de céu mais representativo, para avaliar a influência dos agrupamentos. Logo, foram criadas os intervalos em lux, que classificam a disponibilidade de iluminâncias no plano de trabalho, para todos os agrupamentos, nas condições mais representativas. As faixas foram representadas em gráficos 3D e em percentagens.

Finalmente, foram calculadas as iluminâncias médias (\bar{E}_m), por agrupamento com estudantes e sala vazia, nas orientações e condições avaliadas, determinando a percentagem em cada agrupamento sobre a quantidade máxima disponível de iluminâncias, em cada orientação. Dessa forma, foi possível avaliar as alterações dos agrupamentos na distribuição das iluminâncias no plano de trabalho.

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR DENTRO DA SALA DE AULA

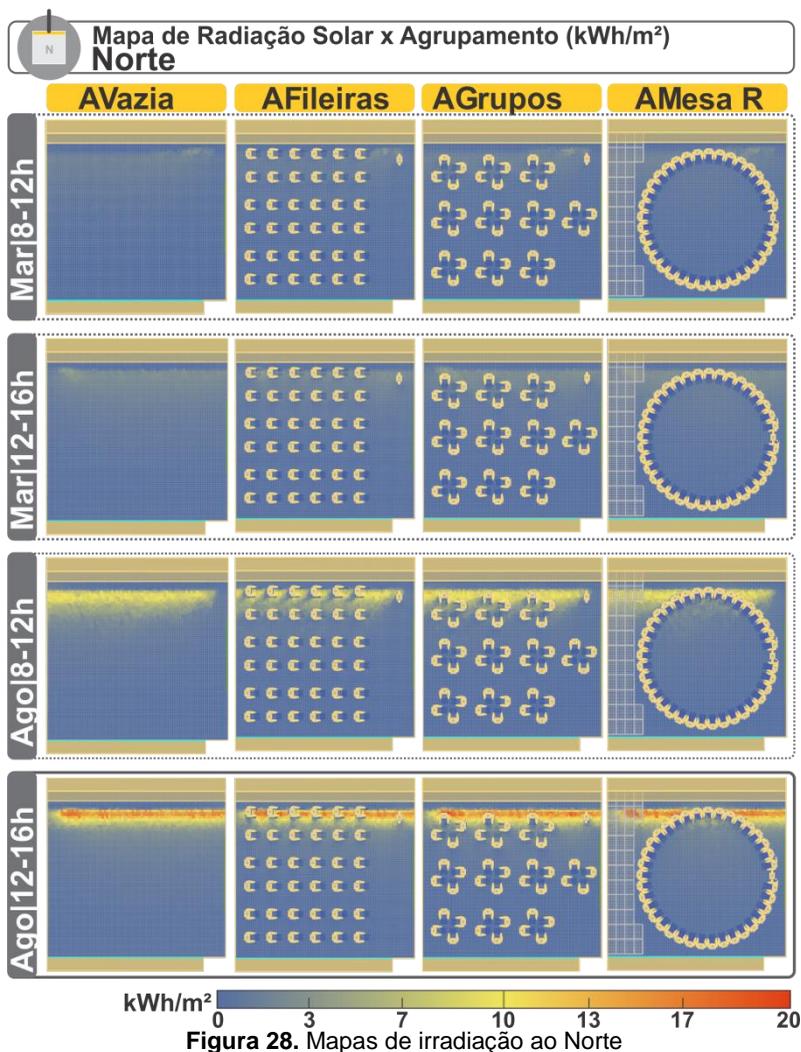
4.2.1 Mapas de irradiação solar nos agrupamentos e divisão dos intervalos de disponibilidade de irradiação solar

Nesta etapa, foram gerados os mapas de irradiação por agrupamento em cada orientação. Cabe salientar que os mapas gerados correspondem à disponibilidade de irradiação solar proveniente da janela. A janela, além de permitir uma transmitância de 88% (transmitância do vidro comum apresentado como base dentro do plug-in DIVA) foi projetada com uma proteção solar horizontal, para mitigar o excesso de sol.

As Figuras 28, 29, 30 e 31 apresentam o comportamento da disponibilidade de irradiação solar, no plano de trabalho, em todos os agrupamentos, diferenciada pelas condições avaliadas em cada orientação. Inicialmente, os mapas correspondem aos resultados diretamente gerados pelo plug-in DIVA.

Como se observa nos mapas de irradiação das salas onde as janelas estão voltadas ao Norte (Ver Figura 28), a maior presença de irradiação solar ocorre no mês de Agosto, ao longo do horário escolar, principalmente no intervalo da tarde, com valores que ultrapassam os 17,70 kWh/m². Contudo, a maior presença de irradiação solar ocorre na zona perto da janela; quanto maior o afastamento em relação à janela, menores são os níveis de irradiação, atingindo valores abaixo de 3,00 kWh/m².

A proteção horizontal e a disposição dos estudantes perto da janela são, provavelmente, os aspectos responsáveis por este efeito.



A maior disponibilidade de irradiação solar se apresenta nas salas onde as janelas estão voltadas ao Leste, principalmente, nas manhãs de Março e Agosto. Embora a quantidade maior seja diferente da irradiação máxima disponível no Norte (Agos_12-16h), alcançando valores até de 14,75 kWh/m²/intervalo horas, a disponibilidade de irradiação solar em ambas as orientações corresponde à quantidade máxima

admitida, em relação a todas as simulações realizadas. A Figura 28 destaca que, em ambas as manhãs, a distribuição da irradiação é afetada pela disposição dos estudantes, inclusive, nas manhãs de Agosto, onde a distribuição da irradiação solar atinge mais da metade do plano de trabalho da sala.

Os estudantes, interferem no ingresso da irradiação solar, já que o sol chega diretamente neles, portanto percebe-se como é nulo o ingresso na área circundante, segundo a direção do sol. A condição de receber sol direto é incomoda, sobretudo se o estudante se encontra realizando tarefas visuais de alta precisão, já que pode provocar ofuscamento inabilitador. No caso da iluminação, quando existem zonas com diferenças de iluminâncias maiores a 0,7 e do entorno imediato menor a 0,5, se considera um espaço contrastado e pouco uniforme.

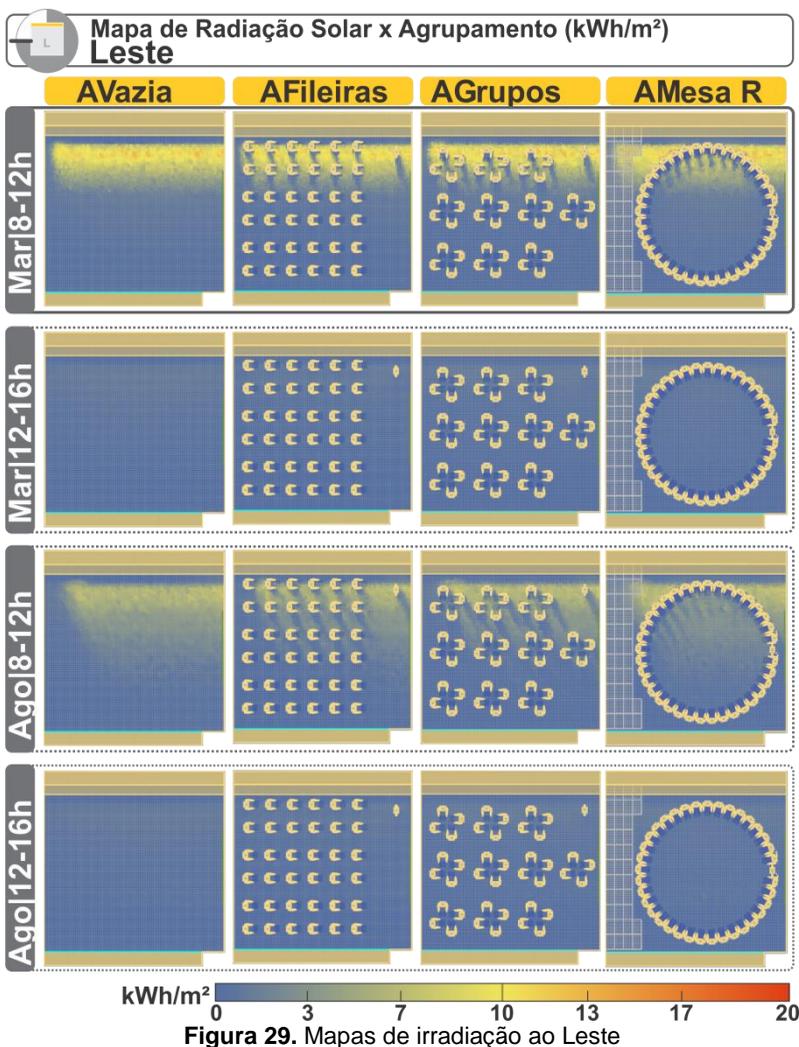
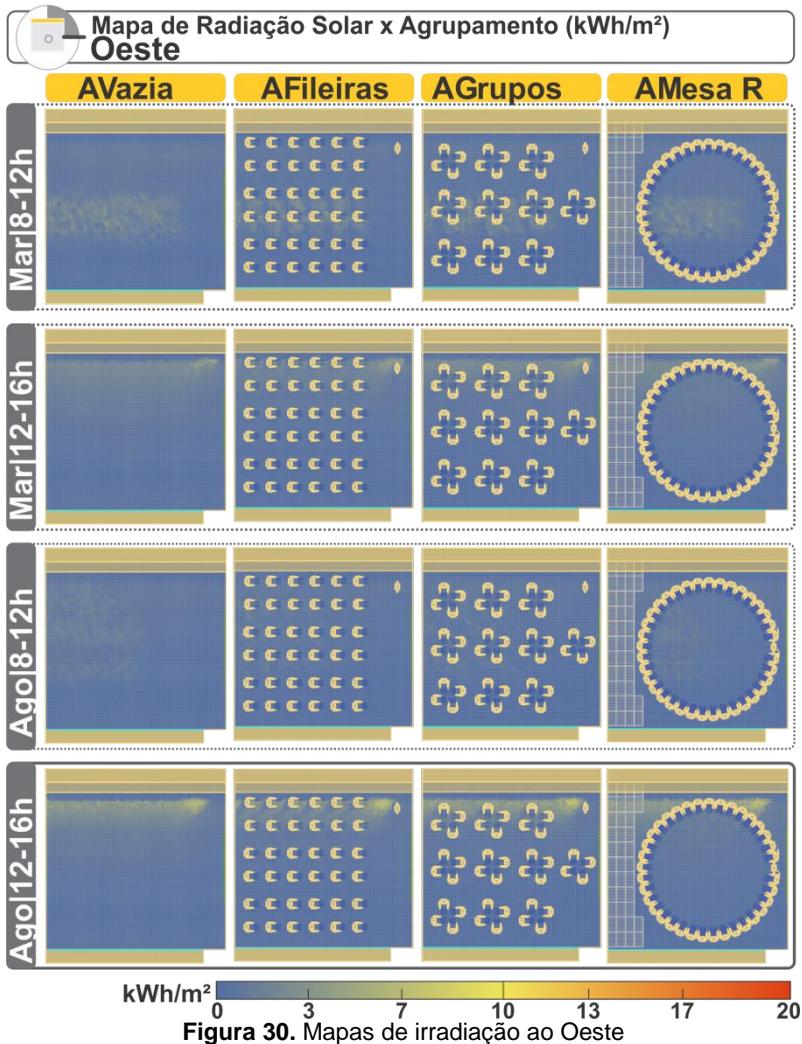


Figura 29. Mapas de irradiação ao Leste

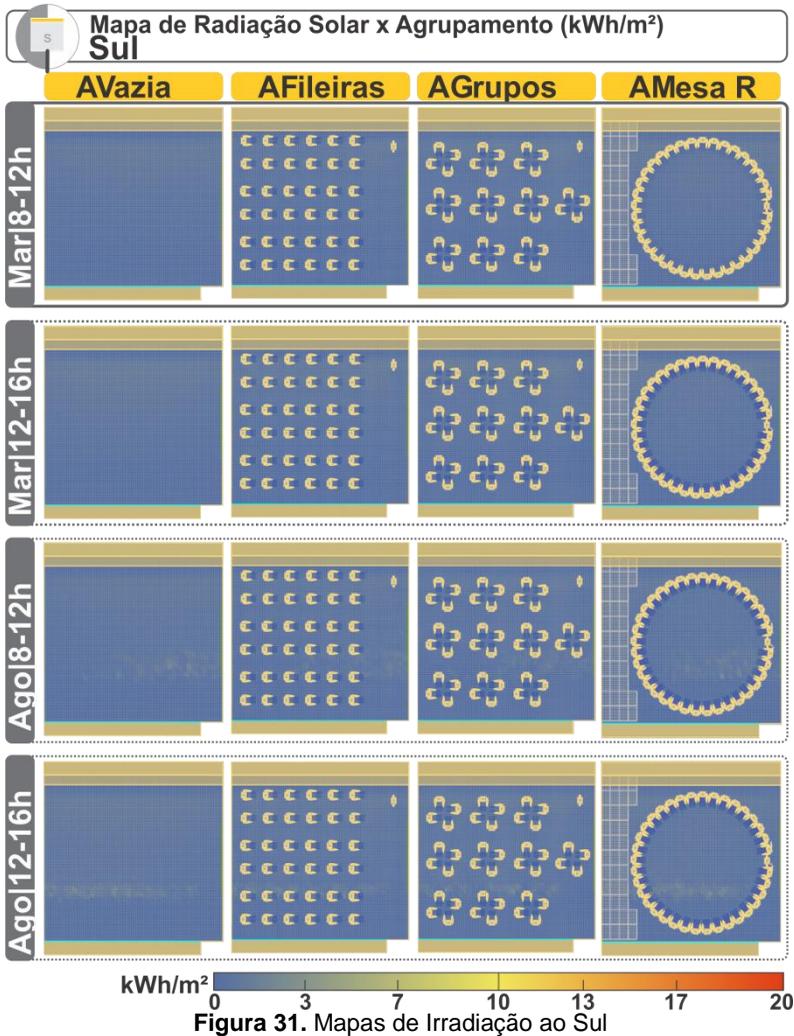
A maior disponibilidade de irradiação solar se apresenta nas salas onde as janelas estão voltadas ao Leste,

A Figura 30 revela que os mapas de irradiação solar da sala, onde as janelas estão voltadas ao Oeste são similares em todos os agrupamentos. No entanto, o maior ingresso de irradiação solar ocorre nas tardes de Agosto, com valores em torno de 7,48 kWh/m²/intervalo horas. Não se destacam

diferenças significativas entre um agrupamento e outro. Na figura 30, percebe-se que nas manhãs, principalmente, de Março, a presença de irradiação no centro da sala, devido à presença de sol nas últimas horas da manhã, próximo ao meio-dia, quando o sol está mais inclinado.



O comportamento da irradiação solar nos mapas das salas, onde as janelas estão voltadas ao Sul, para todos os agrupamentos, é similar: a disponibilidade de irradiação solar está abaixo de 3,00 kWh/m²/intervalo horas, condição que impede a percepção de diferenças significativas entre os agrupamentos. Este comportamento corresponde e confirma a disponibilidade solar do Sul para Florianópolis: a disponibilidade de irradiação é reduzida, uma vez que as janelas orientadas a Sul não recebem sol direto, pelo menos nos dois meses avaliados. Isto reforça o fato que a possível influência dos agrupamentos de estudantes só poderá ser percebida em condições onde exista boa admissão de sol direto pela janela (Ver Figura 31).



Finalmente, é verificado que em todas as simulações, tal como se visualiza em todos os mapas de irradiação, não se apresentam diferenças significativas entre um agrupamento e outro em todas as orientações. Os maiores ingressos, de irradiação solar se apresentam no Norte, perto da janela, e a possível interferência ou alteração por parte dos estudantes é causada pela disposição deles perto da janela. O anterior destaca que a disponibilidade de irradiação solar no interior se

verá reduzida pela proteção solar horizontal, condição favorável para realizar as tarefas no plano de trabalho, porém limita a possibilidade de perceber os possíveis efeitos ou alterações dos estudantes na distribuição da irradiação solar.

4.1.1.2 Divisão dos intervalos de irradiação solar

Como graficamente não se observam diferenças representativas entre um agrupamento e outro, foram criados intervalos em kWh/m², que classificam a disponibilidade de irradiação solar em cada um dos agrupamentos.

Foram mapeadas, de acordo com os intervalos, as condições representativas que correspondiam à *maior irradiação* solar nas 4 orientações: para o Norte, Agosto_12-16h; o Leste, Março_8-12h; o Oeste, Agosto_12-16h e; o Sul, Março_8-12h. No Sul, foi escolhida qualquer condição pois o comportamento é similar nas quatro condições avaliadas. As Figuras 32, 33, 34 e 35 mostram as 4 condições mais representativas descritas acima.

Embora não se percebam diferenças aparentes entre os agrupamentos, nas condições avaliadas, os dados em numéricos informam que o agrupamento Sala Vazia (*AVazia*) apresenta a maior irradiação solar no plano de trabalho. Foram encontrados valores acima de 4% da área da sala, na faixa maior a 10,0 kWh/m² nas condições avaliadas para o Norte e Leste. Isto pode ocorrer devido ao fato de que nas últimas horas da manhã e nas primeiras horas da tarde, existe uma maior disponibilidade solar.

Nas condições avaliadas para o Oeste e Sul, a presença de irradiação solar é reduzida: cerca de 90% da área da sala está abaixo de 2,0 kWh/m² e só no Oeste se apresentam cerca de 10% da área da sala, valores entre 2,0 kWh/m² e 10,0 kWh/m².

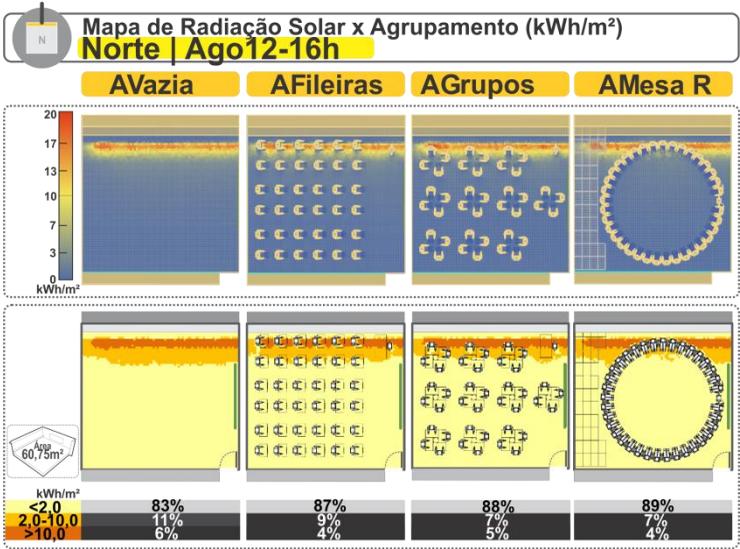


Figura 32. Mapa em faixas do Norte_Agosto 12-16h

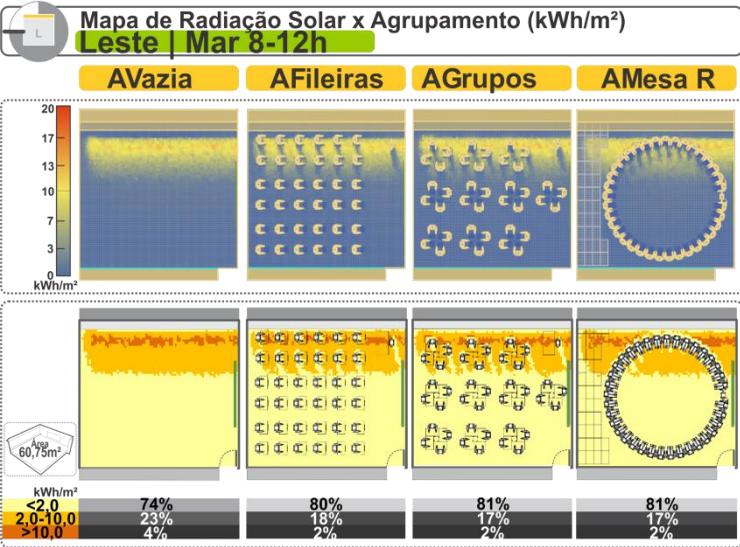


Figura 33. Mapa em faixas do Leste_Março 8-12h

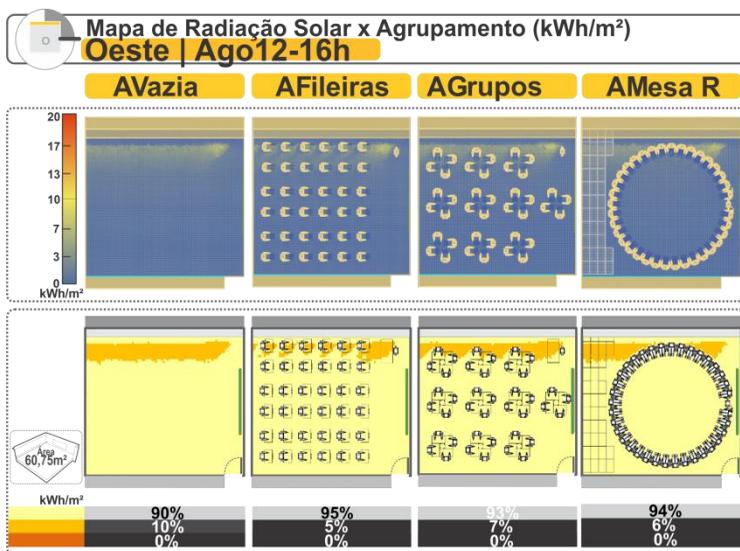


Figura 34. Mapa em faixas do Oeste_Agosto 12-16h

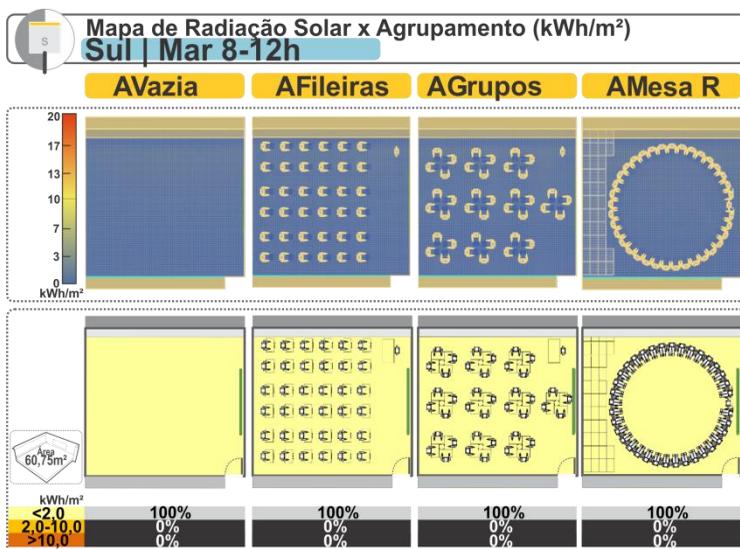


Figura 35. Mapa em faixas do Sul_Março 8-12h

4.1.1.3 Diferença percentual dos agrupamentos com a sala vazia

A diferença percentual corresponde à diferença de irradiação que se apresenta em cada intervalo, por um dos agrupamentos, em relação aos percentagens de irradiação que apresenta a sala vazia. Por exemplo, se o agrupamento *Fileiras* apresenta 80% da área da sala no intervalo abaixo de 2,0 kWh/m², apresenta uma diferença percentual com a sala Vazia de 6%, já que a sala vazia registra 74% nesse mesmo intervalo. Quer dizer que é maior a área no intervalo de 2,0 kWh/m² no agrupamento *Fileiras* que na sala vazia.

A partir dos dados em numéricos das condições representadas no gráfico, foram geradas as diferenças percentuais em cada intervalo, para os agrupamentos com estudantes, comparados com o agrupamento sala vazia, como mostra a Figura 35.

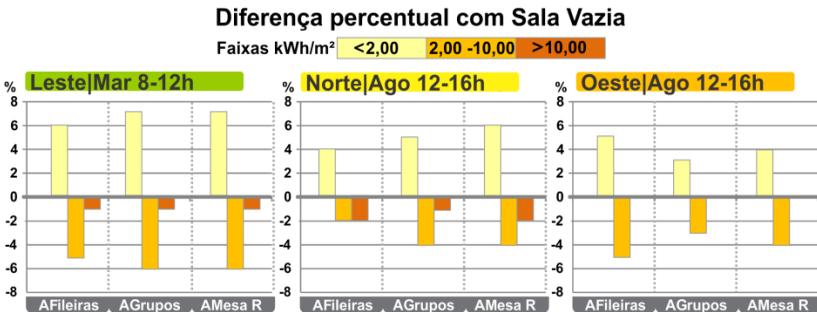


Figura 36. Diferença percentual dos agrupamentos com a sala Vazia

A *diferença percentual* indica que, nos valores inferiores a 2,0 kWh/m², as percentagens dos agrupamentos ultrapassam as percentagens do agrupamento sala vazia, para as três orientações: no Leste, em 6% no agrupamento *Fileiras* e 7% nos agrupamentos *Grupos* e *Mesa R*; no Norte, em 4% no agrupamento *Fileiras*, e em 6% no agrupamento *Mesa R*; e no Oeste, em 4% no agrupamento *Mesa R* e 5% no agrupamento *Fileiras*.

Estas percentagens são reduzidas, principalmente, na faixa dos valores entre 2,0 kWh/m² e 10,0 kWh/m². O anterior demonstra que a presença dos estudantes aumenta a

percentagem da área do plano de trabalho na faixa dos valores inferiores aos 2,0 kWh/m², e também reduz a disponibilidade de irradiação solar no plano de trabalho, quando comparada com a disponibilidade em uma sala vazia.

A diferença percentual nos agrupamentos permite afirmar que quanto menor é a diferença em cada uma das faixas, maior a semelhança com a disponibilidade de irradiação solar da sala vazia. Nas condições avaliadas para o Leste e o Norte, orientações onde existe maior disponibilidade de irradiação solar, a maior diferença percentual com a sala vazia é apresentada pelo agrupamento *Mesa R*, sendo que a menor corresponde ao agrupamento *Fileiras*. O que pode ser explicado pela disposição dos estudantes e das escrivaninhas. No agrupamento *Fileiras*, os estudantes estão dispostos juntamente com sua escrivaninha, enquanto no agrupamento *Mesa R*, os estudantes estão dispostos afastados das escrivaninhas, ou seja, o mobiliário ocupa uma área adicional dos estudantes, o qual, possivelmente, altere a disponibilidade de irradiação solar no interior.

Para a orientação Oeste, o comportamento é mais equilibrado, possivelmente pela pouca disponibilidade de irradiação solar nessa condição. Já, as orientações Leste e Norte, apresentam as maiores diferenças percentuais com a sala vazia, correspondendo ao agrupamento *Fileiras*; as menores diferenças estão entre os agrupamentos *Grupos* e *Mesa R*.

Conforme o anterior, a diferença percentual com a sala vazia é maior conforme aumenta a dispersão dos estudantes, junto com sua escrivaninha. Também é maior conforme aumenta a área ocupada, tanto pelos estudantes quanto pelas escrivaninhas (Ver Figura 37).

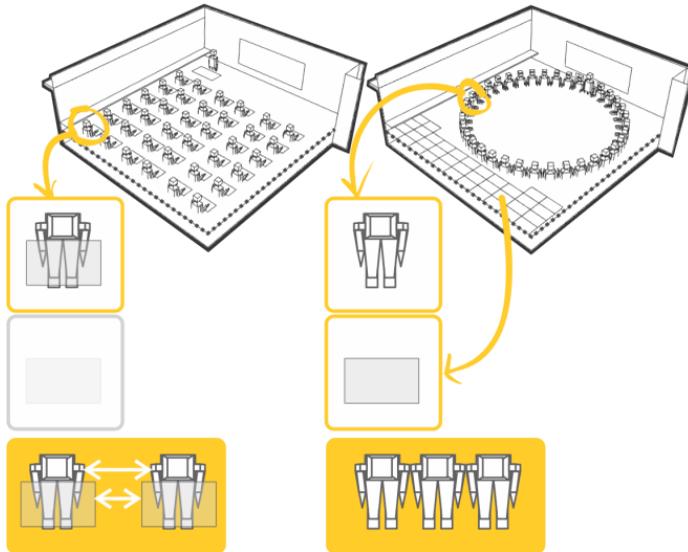


Figura 37. Esquema para entender a diferença percentual entre os agrupamentos

As Figuras 38, 39, 40 e 41, resumem a comparação dos agrupamentos sobre a disponibilidade de irradiação solar, em percentagens, para cada uma das faixas, nas quatro orientações.

Disponibilidade de Radiação Solar | NORTE

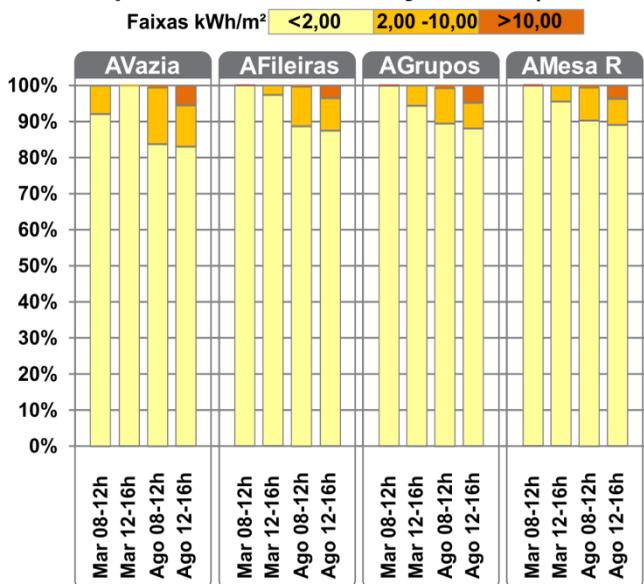


Figura 38. Disponibilidade de irradiação solar por faixas | Norte

Disponibilidade de Radiação Solar | LESTE

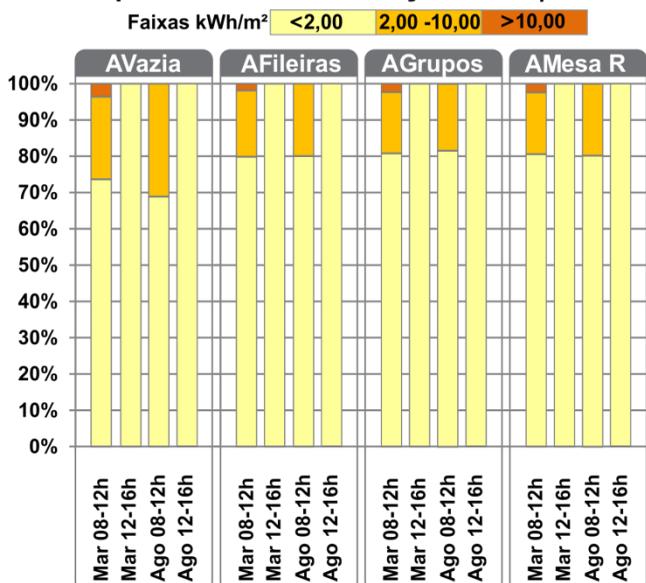


Figura 39. Disponibilidade de irradiação solar por faixas | Leste

Disponibilidade de Radiação Solar | OESTE

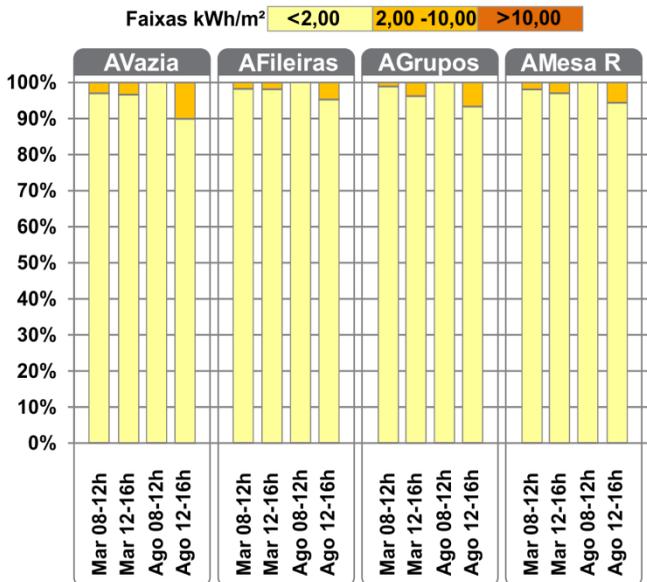


Figura 40. Disponibilidade de irradiação solar por faixas | Oeste

Disponibilidade de Radiação Solar | SUL

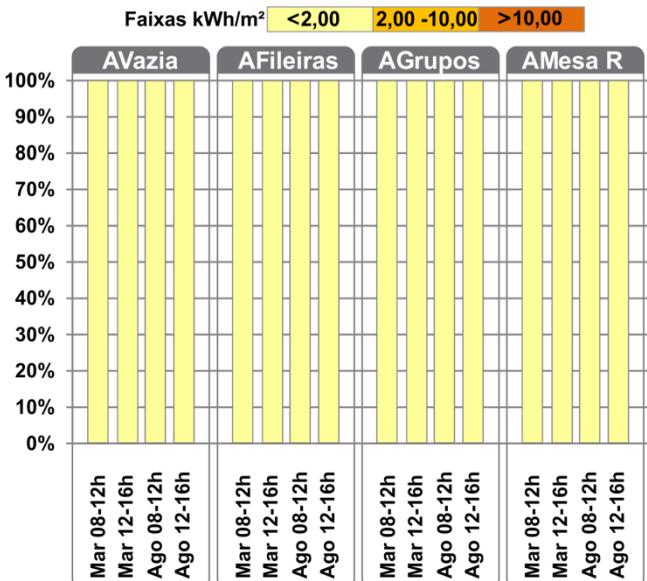


Figura 41. Disponibilidade de irradiação solar por faixas | Sul

4.1.2 Médias representativas da disponibilidade de irradiação solar

De acordo com o conjunto de dados de irradiação solar para cada condição avaliada, foram geradas as médias representativas para os valores dos intervalos *intermediários* e *máximos* da disponibilidade de irradiação solar, para cada orientação, nos meses de Março e Agosto, durante o horário escolar.

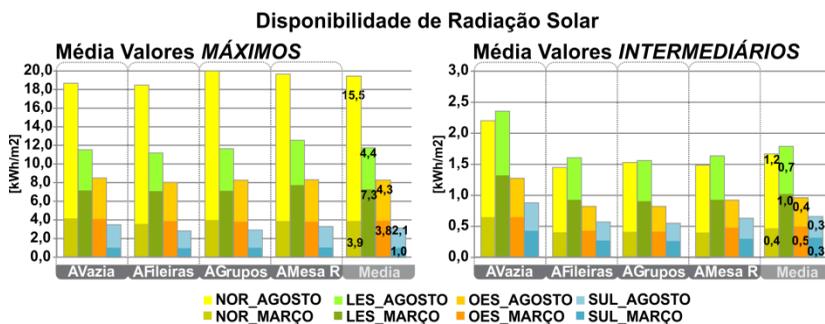


Figura 42. Médias de valores máximos e intermediários nos meses de Março e Agosto

Na Figura 42 da média dos valores *máximos*, os maiores valores de irradiação solar ocorrem na orientação Norte, no mês de Agosto, nos agrupamentos *Mesa R* (16,56 kWh/m²) e *Grupos* (16,01 kWh/m²). No entanto, no gráfico da Média dos valores *Intermediários*, o maior valor de irradiação solar ocorre na mesma orientação e data na *Sala Vazia* (1,55 kWh/m²), com valores superiores aos outros agrupamentos.

Por outro lado, no gráfico da média dos valores *máximos*, os menores valores de irradiação solar foram observados na orientação Sul, no mês de Março, nas salas com os agrupamentos *Mesa R* (1,09 kWh/m²) e *Grupos* (1,108 kWh/m²). Porém, na avaliação da média dos valores *Intermediários*, os menores valores de irradiação solar ocorrem na mesma orientação e data, nos agrupamentos *Grupos* (0,22 kWh/m²) e *Fileiras* (0,29 kWh/m²).

Observa-se que, em relação às diferenças percentuais, apresenta-se um comportamento contraditório no agrupamento

Mesa R. A Média dos valores *Máximos* apresenta a maior (Norte) e a menor (Sul) disponibilidade de irradiação solar, diferindo apenas pela orientação em cada caso. Isto confirma que existem zonas da sala onde é maior a irradiação solar, devido à pouca área ocupada por estudantes; e zonas da sala, onde é menor a irradiação solar, devido à disposição dos estudantes e as escrivaninhas. Portanto, quanto menor a área ocupada pelos estudantes e sua dispersão pela sala, maior a disponibilidade de irradiação solar.

O agrupamento *Mesa R*, parece ser um agrupamento atípico em comparação com os outros. A área que é economizada na disposição dos estudantes, é ocupada pela disposição do mobiliário, comportamento que possivelmente influencia na disponibilidade de irradiação no interior. Nos outros agrupamentos com estudantes, *Fileiras* e *Grupos*, a área ocupada pelos estudantes é compartilhada pela área ocupada pela escrivaninha, e portanto, embora alterem a presença de irradiação solar, a redução não é maior que no agrupamento *Mesa R*.

É normal encontrar que nas médias dos valores *Intermediários*, a sala *Vazia* se destaque na disponibilidade de irradiação solar em todas as orientações.

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE DISTRIBUIÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS DENTRO DA SALA DE AULA APOLUX

4.2.1 Curvas da distribuição das iluminâncias por agrupamento

A seguir, são apresentadas as curvas da distribuição das iluminâncias por agrupamento nas quatro orientações para os dois tipos de céu: Céu Claro (12) e Céu Encoberto (2). As Figuras 43 até 46, mostram as curvas de distribuição das iluminâncias para o Norte.

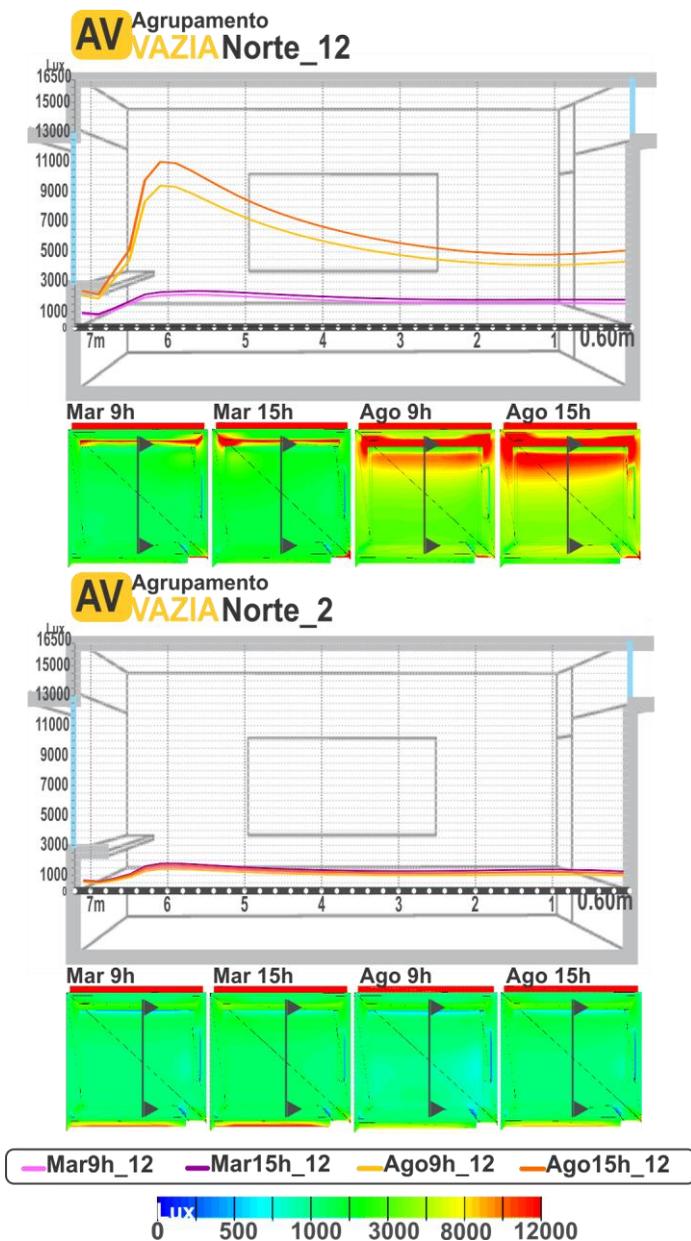


Figura 43. Curva de distribuição das iluminâncias na Sala Vazia | Norte.

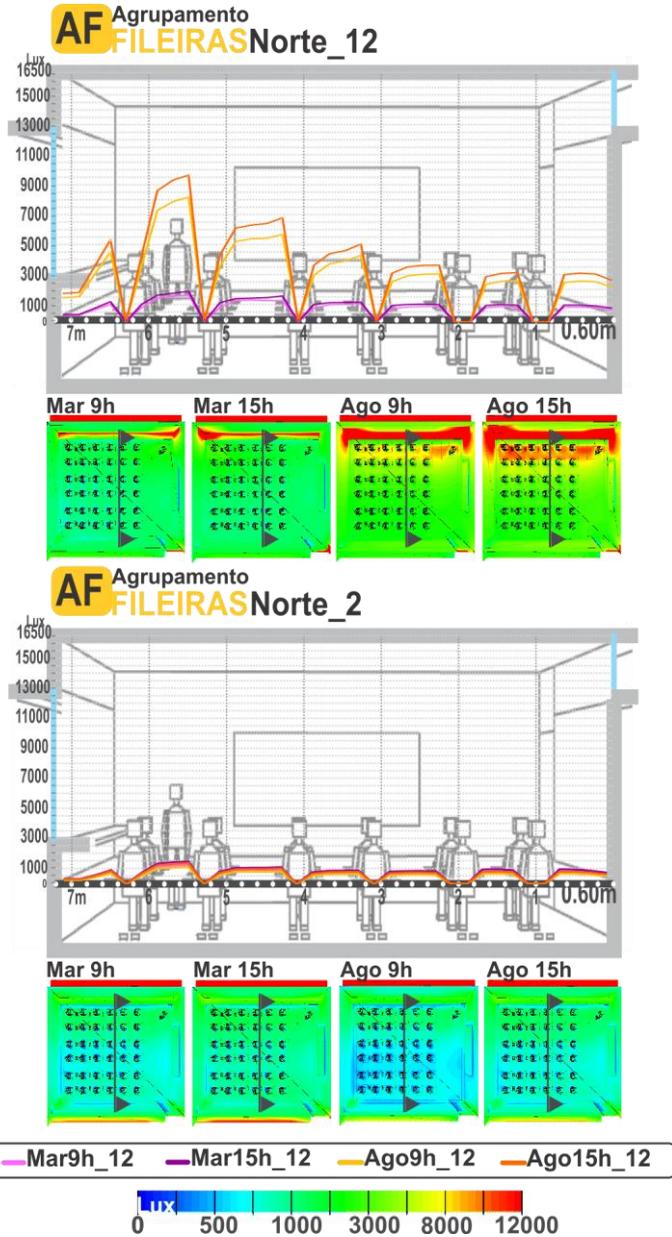


Figura 44. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Fileiras | Norte.

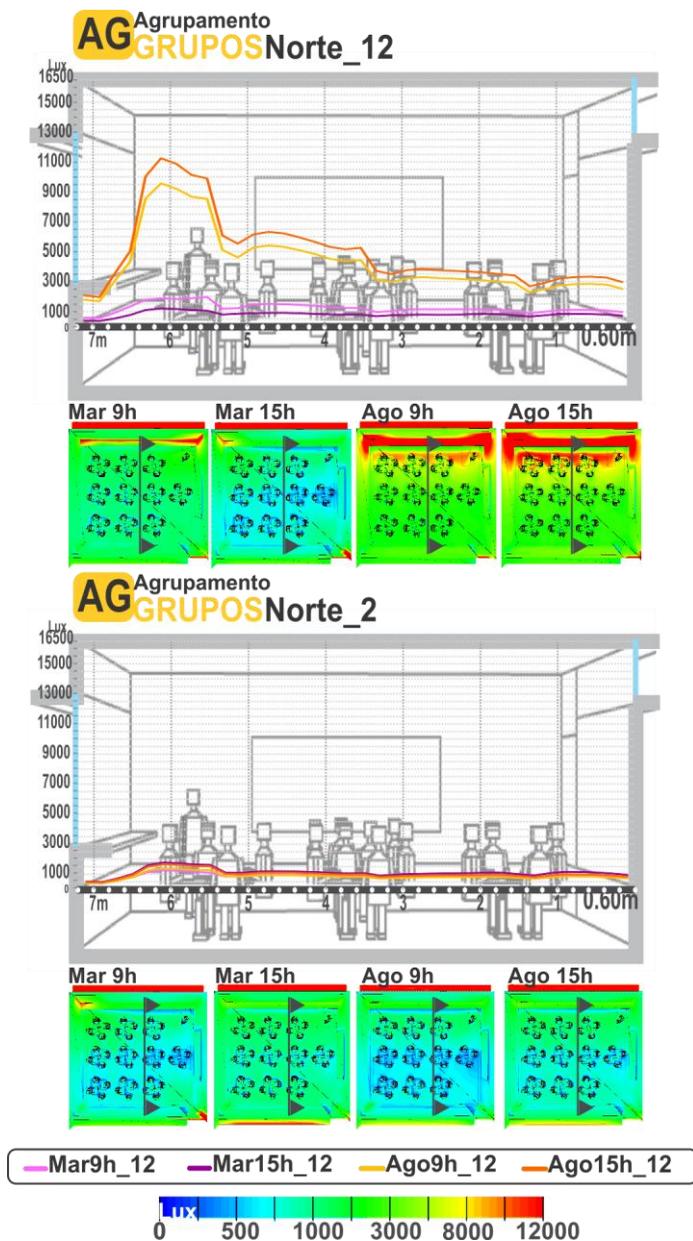


Figura 45. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Grupos | Norte.

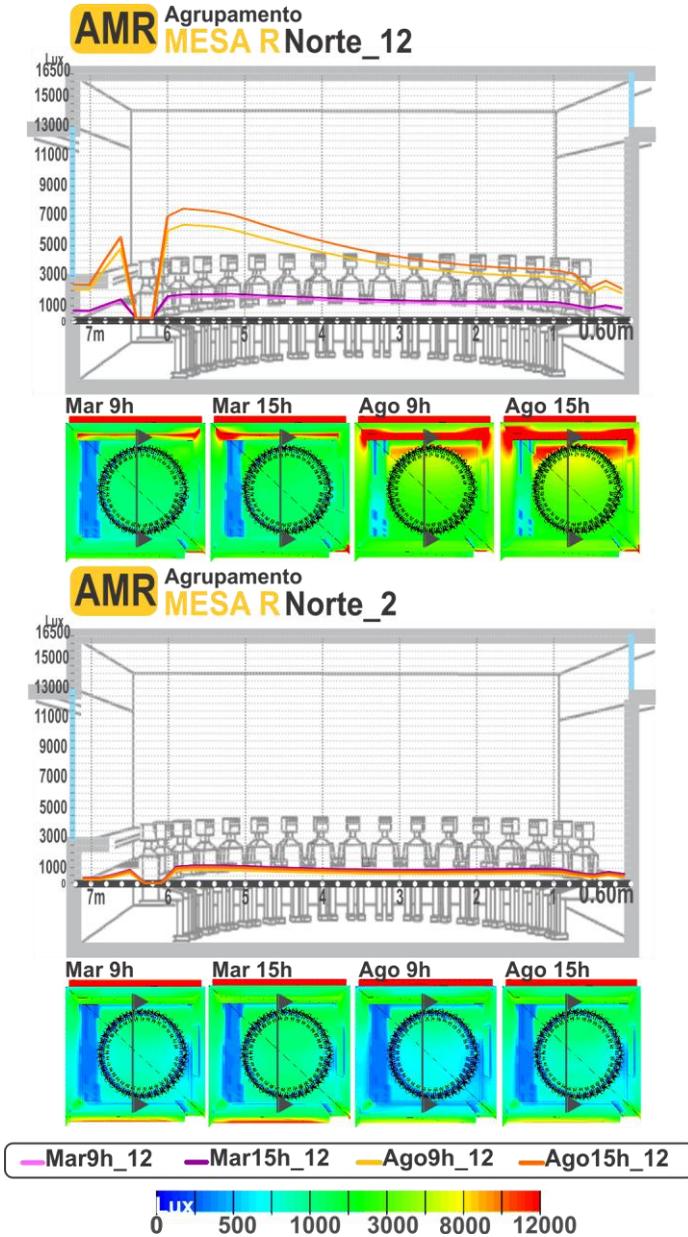


Figura 46. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Mesa Redonda | Norte.

Nas curvas de distribuição das iluminâncias na sala com a janela orientada para o Norte, observam-se diferenças sob a condição de céu claro (12), entre um mês e outro. Os maiores níveis de iluminância ocorrem no mês de Agosto, às 9 horas e às 15 horas, em todos os agrupamentos. Os menores níveis ocorrem no mês de Março. Este fenômeno pode ocorrer, provavelmente, porque a inclinação da trajetória solar é baixa.

Os gráficos de cores falsas, para a condição de céu claro (12), mostram que os níveis de iluminâncias perto da janela ultrapassam 8000 lux, quantidade presente em 1/3 da área total da sala. Nessa mesma ordem, nos 2/3 restantes, a distribuição das iluminâncias é mantida entre 500lux e 3000 lux. Com esta variação nos níveis de iluminância, apresenta-se alto contraste e possível risco de ofuscamento nos estudantes que se encontram dispostos perto da janela.

Contudo, este possível risco de ofuscamento pode ser reduzido pela zona de adaptação estudada pelo Jakubiec e Reinhart, (2011), a qual os estudantes mudam o campo visual (uma ampliação de $\pm 45^\circ$) e fazem uma rotação da cadeira.

Para os gráficos da condição de céu encoberto (2), a maior área do plano de análise se encontra entre 500 lux e 3000 lux, porém, em algumas zonas, observam-se iluminâncias inferiores a 500 lux. Esta redução dos níveis pode ocorrer devido à disposição dos estudantes e das escrivaninhas; em virtude da sombra e obstrução que os estudantes produzem em seu plano de trabalho. Os estudantes e as escrivaninhas agem como obstáculos para a passagem da luz.

Os resultados para a condição de céu encoberto (2) demonstram que a distribuição de iluminâncias é bastante homogênea, o que impede a observação de diferenças significativas entres os meses, durante os períodos e horários analisados.

Evidentemente, destaca-se que, durante as condições avaliadas, os agrupamentos com estudantes alteram a distribuição das iluminâncias, quando comparados com uma sala vazia. A maior evidência disso é que a curva das iluminâncias da sala vazia nunca é inferior a 1500 lux, na maioria das salas. Nos

agrupamentos com estudantes, os valores menores da curva chegam próximos a 0lux (presença de estudante ou mobiliário). Nos locais onde não há a presença dos estudantes, as iluminâncias aumentam, mas não atingem os valores máximos encontrados na sala vazia.

A seguir, são apresentadas nas Figuras 47 até 50, as curvas de distribuição das iluminâncias para o Leste.

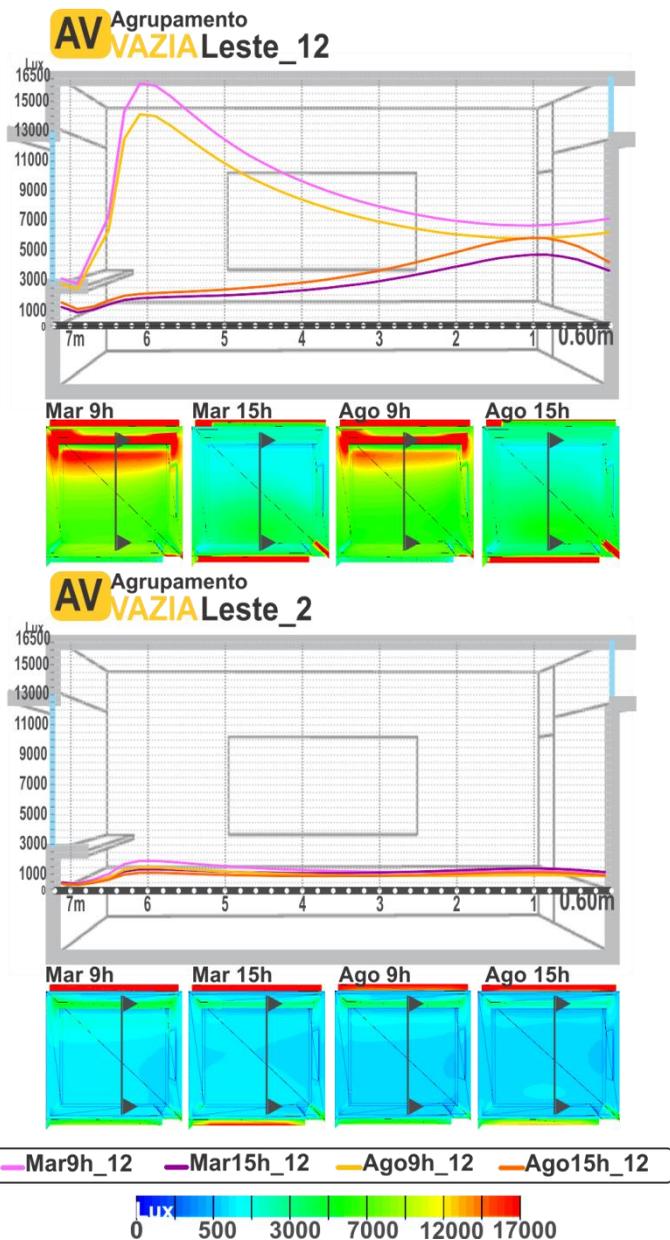


Figura 47. Curva de distribuição das iluminâncias na Sala Vazia | Leste.

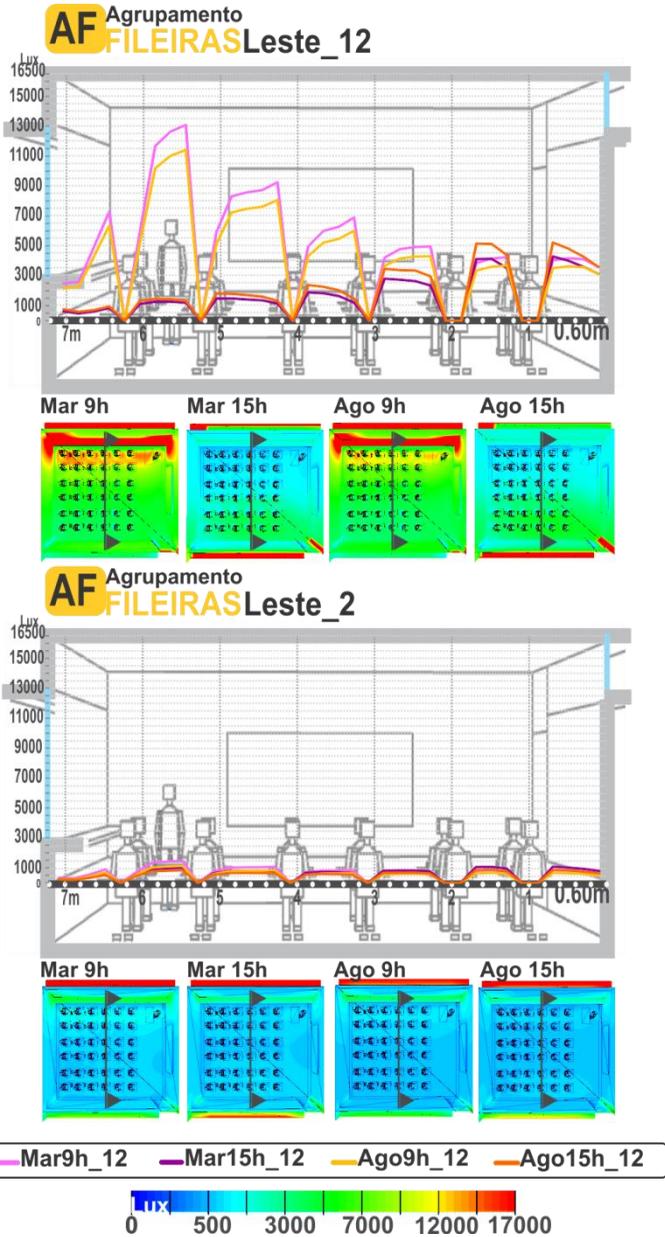


Figura 48. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Fileiras | Leste.

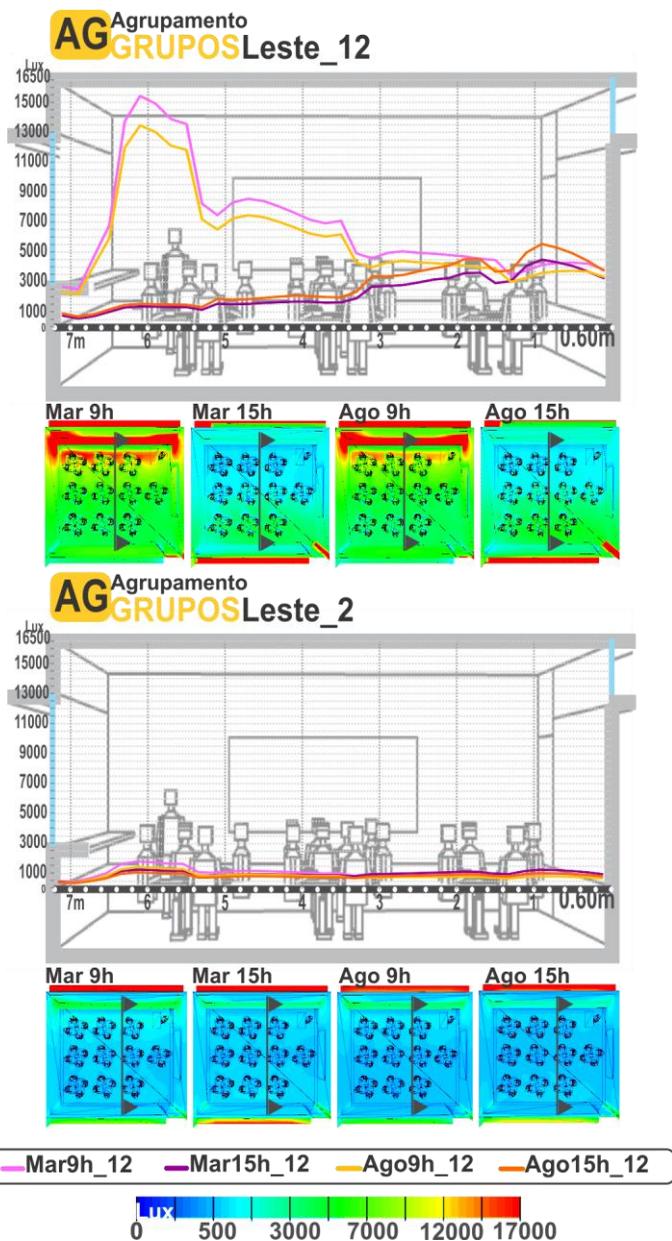


Figura 49. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Grupos | Leste.

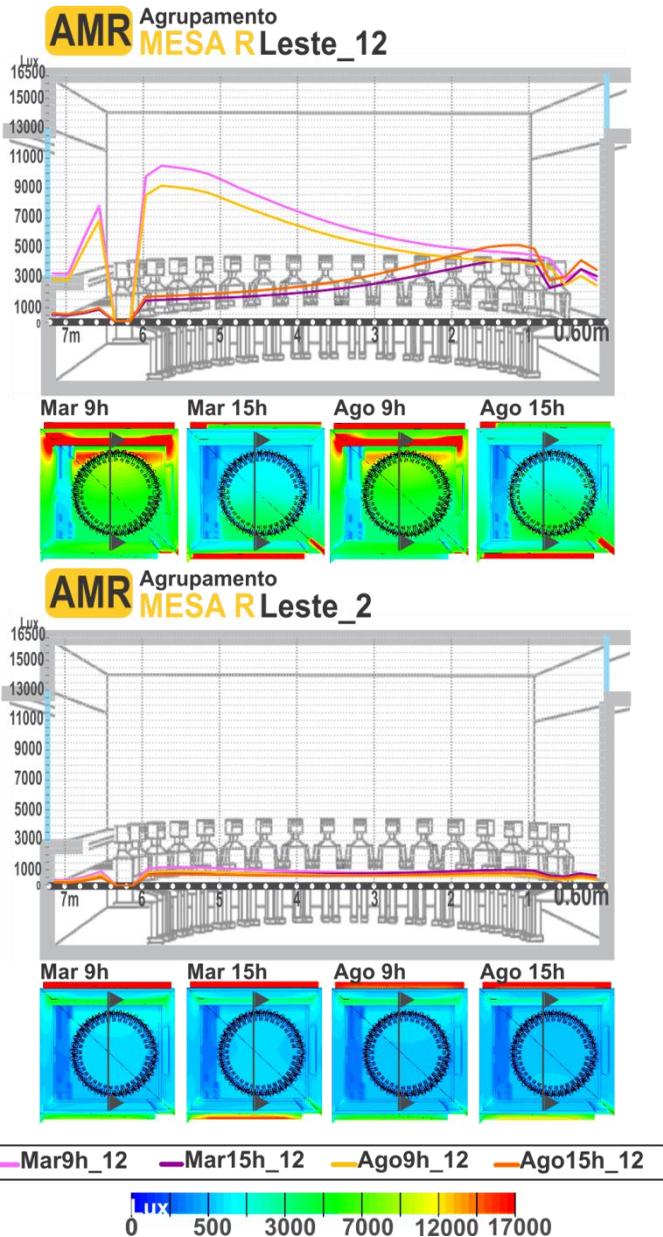


Figura 50. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Mesa Redonda | Leste

Na distribuição das iluminâncias, na sala com a janela orientada para o Leste, observa-se o mesmo comportamento encontrado para a orientação Norte: nas condições de céu claro (12), percebem-se diferenças entre um mês e outro. Os maiores níveis de iluminâncias ocorrem no mês de Março e Agosto, às 9 horas. Os menores níveis ocorrem em ambos os meses, às 15 horas.

Os resultados demonstram que o Leste é a orientação que apresenta maiores níveis de iluminâncias dentro da sala de aula, em relação às outras orientações.

As maiores curvas de distribuição das iluminâncias, na condição de céu claro (12), conservam o mesmo comportamento das maiores curvas na orientação Norte: com o afastamento em relação à janela, observa-se uma redução nos níveis de iluminâncias. Contudo, as curvas com os menores níveis de iluminâncias se comportam de forma contrária às curvas dos menores níveis, nas orientações Norte e Leste. No Leste, os níveis de iluminâncias aumentam, conforme aumenta o afastamento em relação à janela. Isto pode ser explicado porque a inclinação da trajetória solar é maior durante as tardes de ambos os meses, portanto, o lado superior da janela permite que a distribuição das iluminâncias seja mais profunda.

Percebe-se que, na zona mais afastada da janela, as iluminâncias tendem a se estabilizar (as curvas se mostram próximas) demonstrando que nos dois meses, durante as horas avaliadas, as diferenças nas curvas das iluminâncias são poucas e a percepção da luz, por parte dos estudantes, poderá ser semelhante. Este comportamento pode ser atribuído às características da janela e sua importância. No período da tarde, a janela superior permite maior ingresso de luz solar do que a parte inferior, conduzindo a luz até as áreas mais profundas do ambiente.

Observa-se, nos gráficos de cores falsas, da sala vazia, que a distribuição das iluminâncias é direcionada, predominantemente, do lado direito (quadro) para o esquerdo (parede oposta ao quadro). Nos outros agrupamentos, é difícil perceber tal direção, sendo perceptível somente nas manhãs de ambos os meses. Isto destaca que a janela é importante para:

garantir iluminação próxima à janela, iluminação profunda na sala e que sua localização na parede pode ser um fator que também influencia na distribuição das iluminâncias no interior.

Nos gráficos de cores falsas de todos os agrupamentos, observa-se diferenças nos valores de iluminâncias entre as horas das manhãs, em ambos os meses, com valores superiores a 10000lux. Constata-se as mesmas quedas abaixo de 500 lux em relação ao Norte, principalmente, no agrupamento *Mesa R*, inclusive na distribuição das iluminâncias no céu encoberto.

Percebe-se, também, diferenças pouco representativas em relação à distribuição das iluminâncias para o céu encoberto.

A seguir, são apresentadas nas Figuras 51 até 54, as curvas de distribuição das iluminâncias para o Oeste.

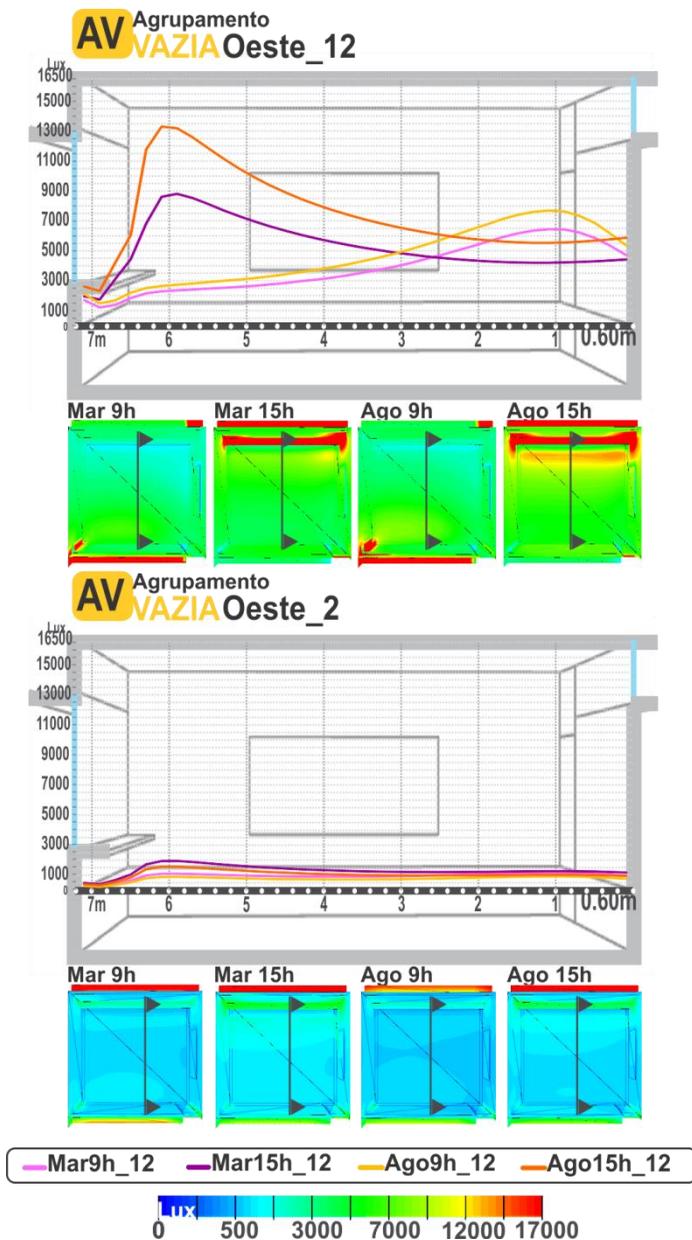


Figura 51. Curva de distribuição das iluminâncias na Sala Vazia | Oeste.

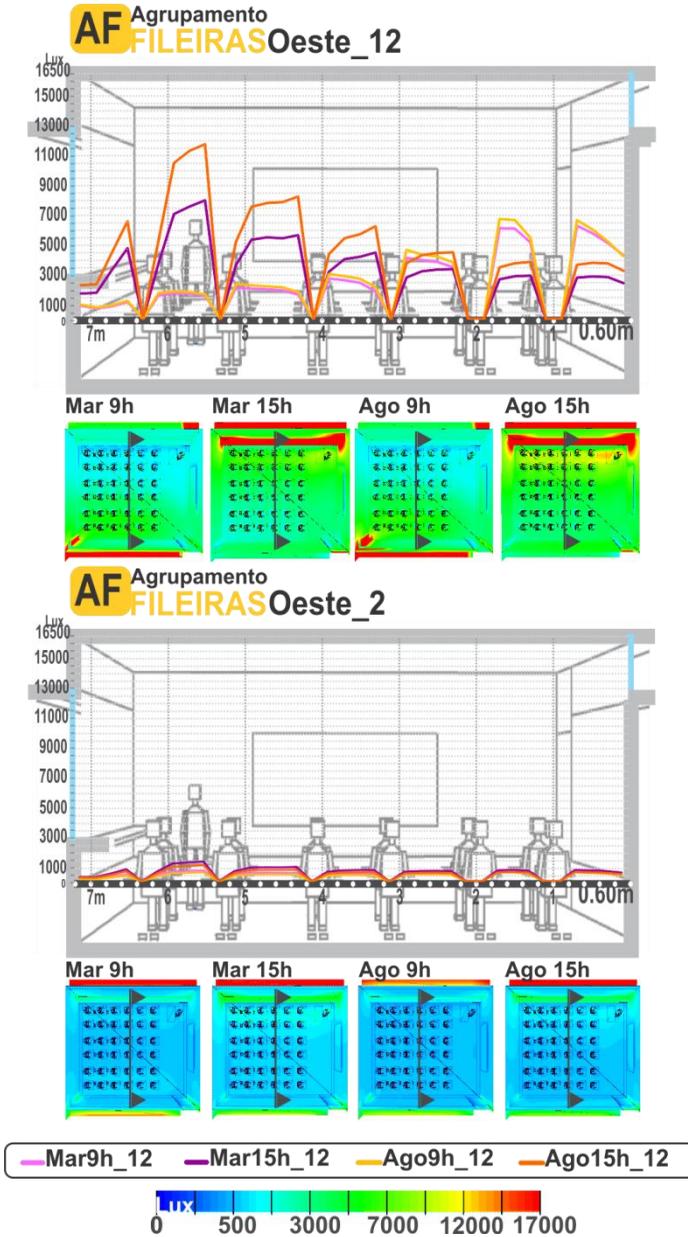


Figura 52. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Fileiras | Oeste.

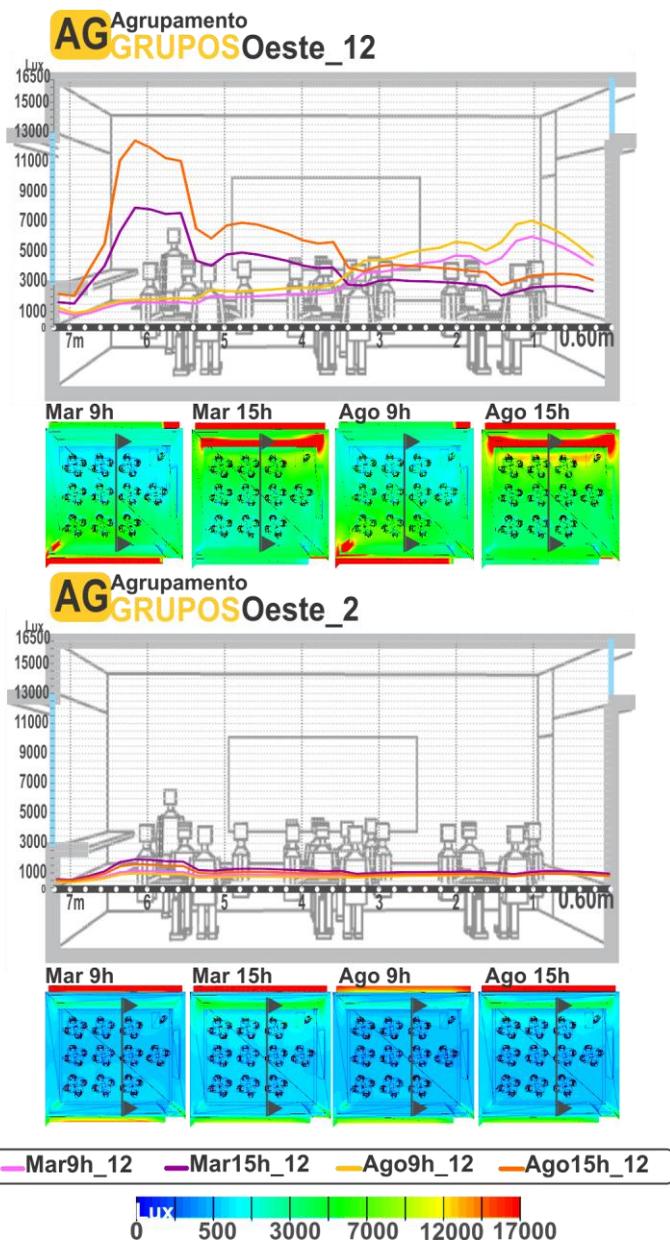


Figura 53. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Grupos | Oeste.

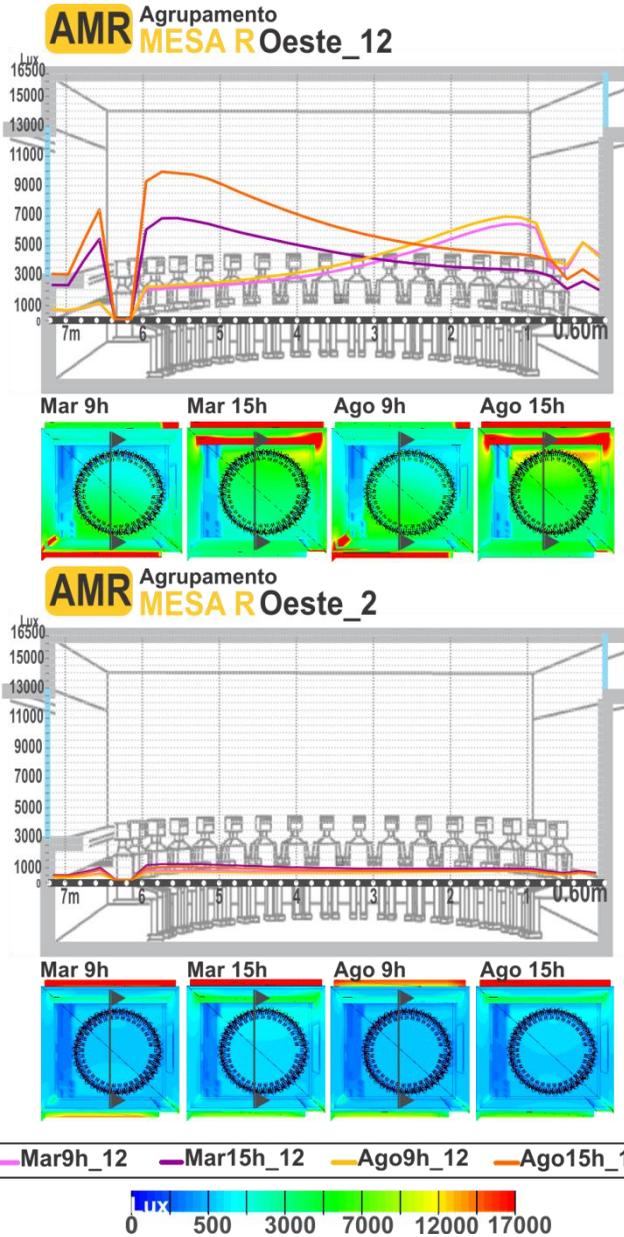


Figura 54. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Mesa Redonda | Oeste.

As distribuições das iluminâncias, na sala com a janela orientada para o Oeste apresentam comportamentos similares ao Leste e o Norte: a condição de céu claro (12) resulta em diferenças entre um mês e outro. Os maiores níveis de iluminâncias ocorrem nos meses de Março e Agosto, às 15 horas. Os menores níveis ocorrem em ambos os meses, às 9 horas.

Percebe-se que os níveis mais altos das iluminâncias presentes nas curvas do céu claro, caem, conforme aumenta o afastamento em relação à janela. Comportamento contrário do que ocorre nas curvas com os menores níveis de iluminâncias, que aumentam, conforme aumenta o afastamento em relação à janela.

Para a sala com a janela orientada ao Leste, destaca-se a relevância da janela, conforme as suas zonas para garantir luz próxima ou profunda no interior da sala: a zona superior da janela, permite iluminação profunda na sala, durante os períodos da tarde; e a zona inferior da janela, permite iluminação próxima à janela, durante os períodos da manhã. Observa-se que a distribuição das iluminâncias é direcionada para o lado oposto da janela e o lado oposto do quadro.

Isto destaca que a janela é importante para: garantir iluminação próxima à janela, iluminação profunda na sala e que sua posição e forma na parede, pode ser um fator que também influencia na distribuição das iluminâncias no interior.

Para todos os agrupamentos, os gráficos de cores falsas não apresentam diferenças representativas de contraste. Em todas as condições avaliadas, inclusive, nas maiores distribuições de iluminâncias presentes nas tardes, os níveis se mantêm entre 1500 lux e 3500 lux. À medida que se afasta da janela, os níveis de iluminâncias caem de forma equilibrada. Observa-se as mesmas quedas, com níveis inferiores a 500 lux, principalmente, no agrupamento *Mesa R* e *Grupos*, inclusive na distribuição das iluminâncias sob a condição de céu encoberto.

A seguir, apresentam-se as Figura 55 até 58 com as curvas de distribuição das iluminâncias para o Sul.

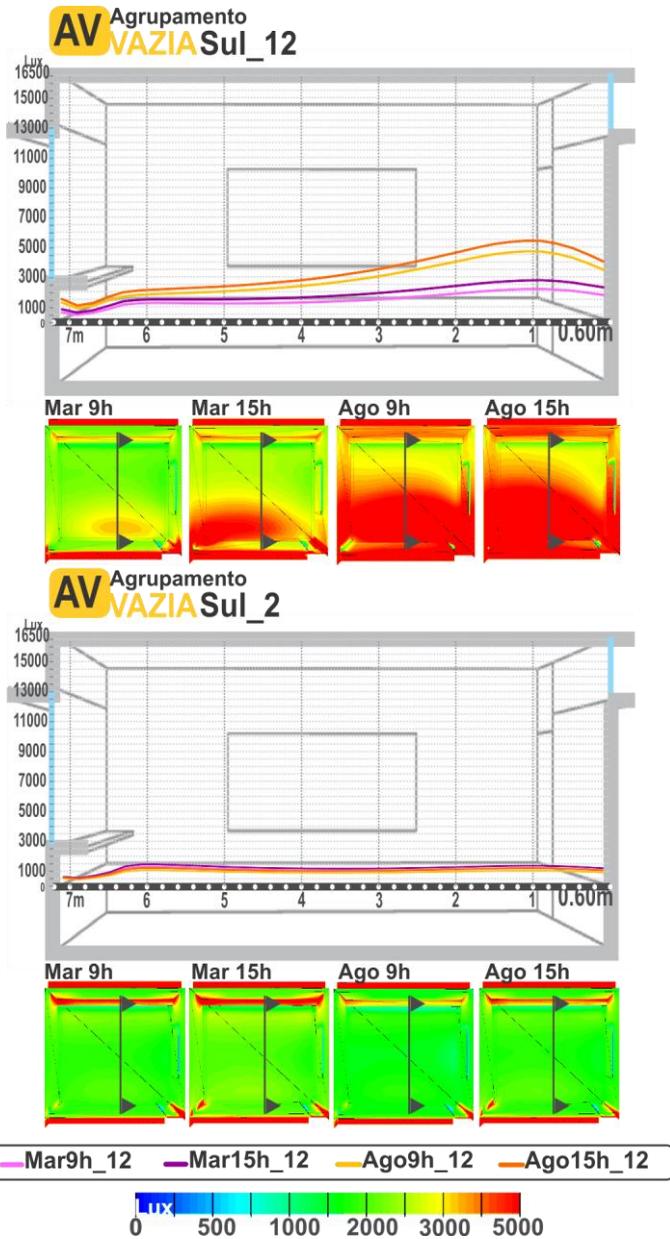


Figura 55. Curva de distribuição das iluminâncias na Sala Vazia | Sul.

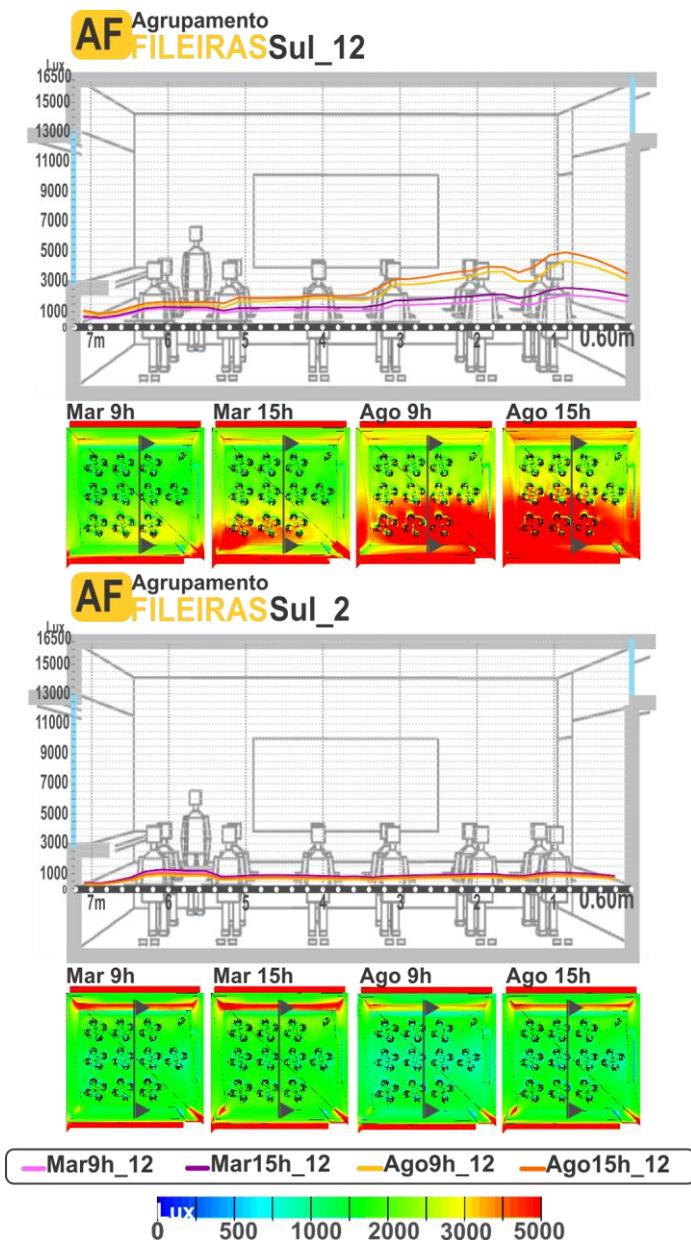


Figura 56. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Fileiras | Sul.

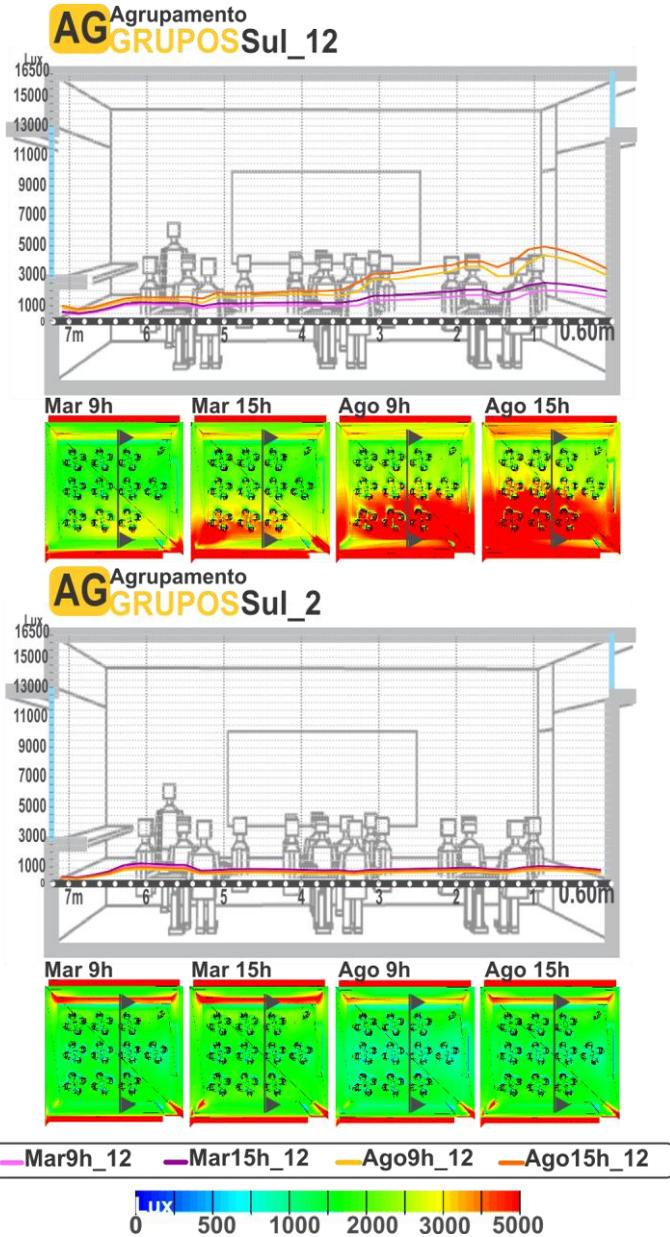


Figura 57. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Grupos | Sul.

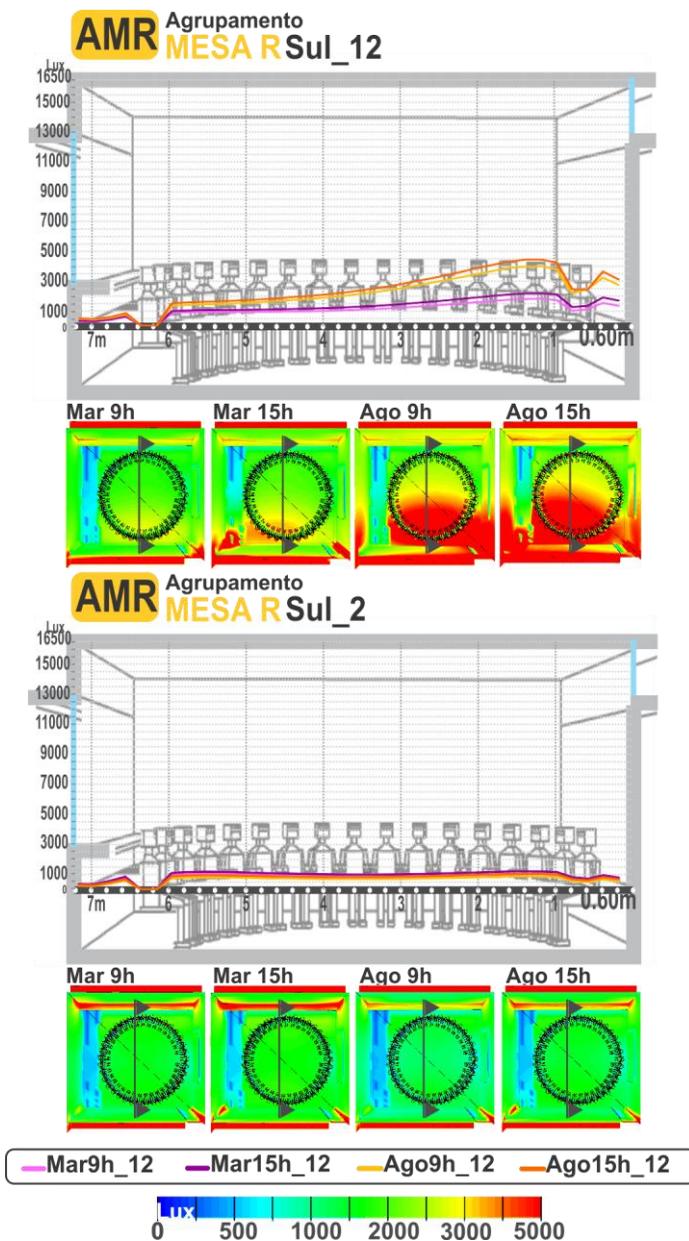


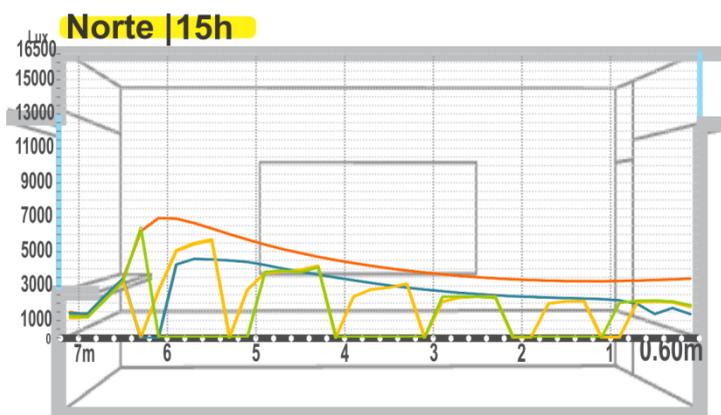
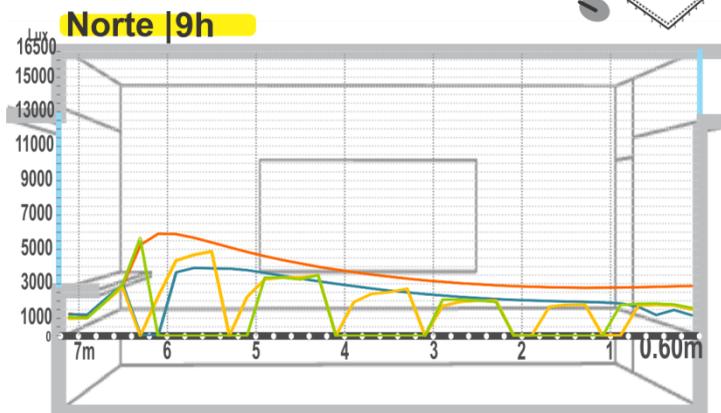
Figura 58. Curva de distribuição das iluminâncias no agrupamento Mesa Redonda | Sul.

O comportamento da distribuição das iluminâncias para o Sul é completamente oposto ao do Norte. Enquanto o Norte apresenta os maiores níveis de iluminâncias; o Sul apresenta os menores, inclusive, quando comparados com as outras orientações. Isto pode ser explicado pela luminosidade dos tipos de céu e a influência do sol direto (janelas orientadas a Sul não recebem sol direto), onde os níveis de iluminâncias, dentro da sala de aula, são mais uniformes e distribuídos.

No entanto, apesar dos baixos níveis de iluminâncias, a diferença da irradiação solar captada pelo Sul é bastante perceptível, com singularidades na distribuição entre uma condição e outra, destacando o mês de Agosto em ambos os períodos e horários, na condição de céu claro (12). Em relação às alterações dos agrupamentos na distribuição das iluminâncias, não se percebem diferenças significativas, inclusive, quando comparadas com a sala vazia. Esta constatação permite afirmar que as análises sobre a alteração na distribuição das iluminâncias deve ser realizada nas condições que resultam em maiores níveis de iluminação, ou em uma distribuição das iluminâncias heterogênea.

4.2.2 Curvas da distribuição das iluminâncias por orientação

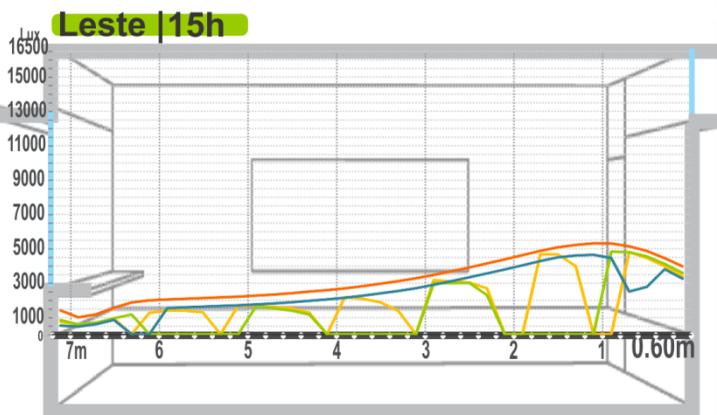
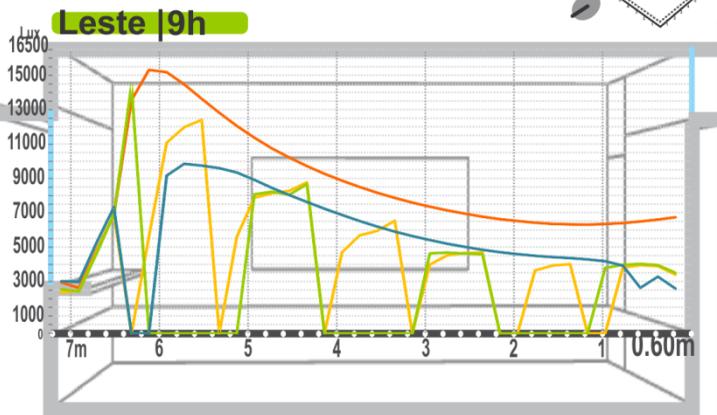
As Figuras 59 e 62 apresentam as curvas da distribuição das iluminâncias por orientação, em cada um dos agrupamentos, para a condição de céu claro (12). As curvas de distribuição das iluminâncias permitiram comparar e avaliar a influência dos agrupamentos, quando comparados com a sala vazia.



— AVAZIA — AFILIRAS — AGRUPOS — AMESA R

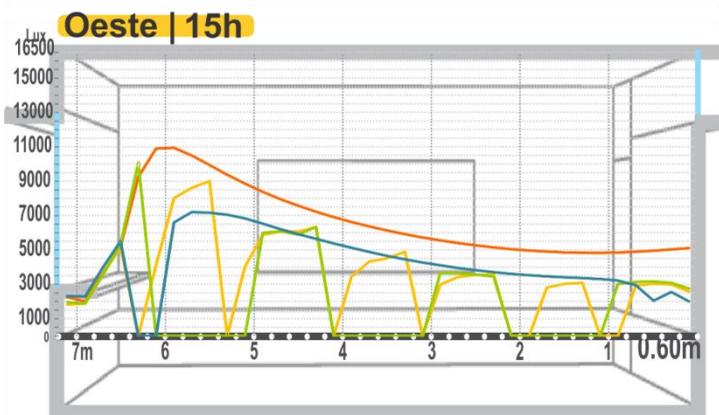
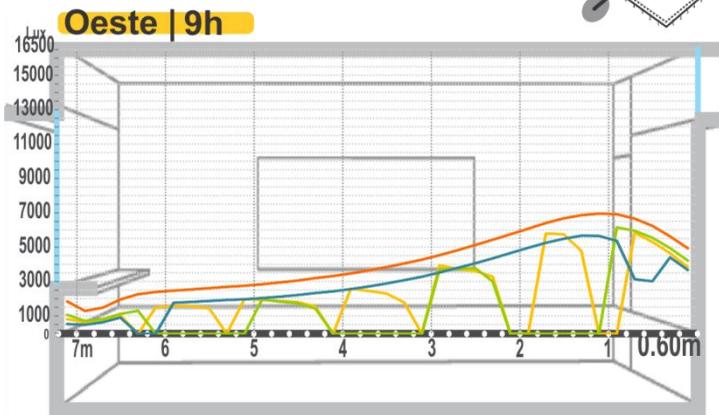
Figura 59. Curva de distribuição das iluminâncias para o Norte.

Curva de Distribuição das Iluminâncias
Janela para iluminar a LESTE



— AVAZIA — AFILÉIRAS — AGRUPOS — AMESA R

Figura 60. Curva de distribuição das iluminâncias para o Leste.



— AVAZIA — AFILIRAS — AGRUPOS — AMESA R

Figura 61. Curva de distribuição das iluminâncias para o Oeste.

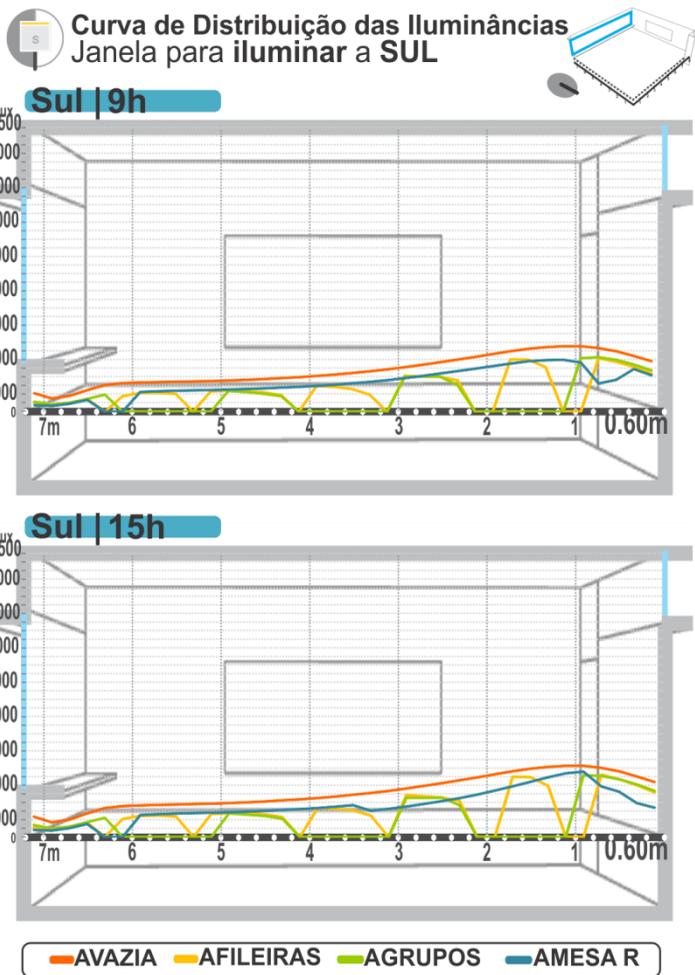


Figura 62. Curva de distribuição das iluminâncias para o Sul.

Como se confirma nos resultados, as curvas com maiores níveis de iluminância, em sua distribuição, ocorrem durante as manhãs, para o Leste, e às tardes, para o Oeste. Também apresentam semelhanças entre a curva de distribuição das iluminâncias na tarde do Leste e na manhã do Oeste.

Estes comportamentos na distribuição podem ser devido à inclinação da trajetória solar, ao longo do dia, nas duas orientações. Nos intervalos horários avaliados (9 horas e 15 horas) destaca-se que a inclinação solar é a mesma, portanto, é normal que no Leste, a sala apresente maiores níveis de iluminância na distribuição nas manhãs; e no Oeste, a sala apresente maiores níveis de iluminância na distribuição nas tardes.

Para todas as orientações, ressalta-se que as curvas com os maiores níveis de iluminância em sua distribuição são na sala vazia, em relação aos outros agrupamentos. No entanto, percebem-se semelhanças entre os agrupamentos *Fileiras* e *Grupos* e entre os agrupamentos *Mesa R* e *Sala Vazia*.

Nos agrupamentos *Fileiras* e *Grupos*, destaca-se que os níveis mínimos correspondem à presença dos estudantes; e os níveis máximos correspondem à maior distribuição das iluminâncias com a sua distribuição influenciada pela ocupação. Observa-se a mesma tendência da curva, onde os níveis da iluminância diminuem, à medida que se afasta da janela. Em relação aos agrupamentos *Mesa R* e *Sala Vazia*, em *Mesa R*, embora a curva de distribuição das iluminâncias seja levemente reduzida em relação à da *Sala Vazia*, a tendência da curva é a mesma, apresentando somente dois picos menores, correspondentes às áreas com presença de estudantes.

Constata-se que a ocupação na sala influencia nos níveis da iluminância apresentadas na curva de distribuição. Nos agrupamentos *Fileiras* e *Grupos*, a ocupação dos estudantes junto com a sua escrivaninha é igual em toda a área da sala, mantendo a mesma proporção de ocupação.

No caso do agrupamento *Mesa R*, a área ocupada pelos estudantes não é a mesma área ocupada pelas escrivaninhas. Dessa forma, metade da sala encontra-se afetada pela distribuição das iluminâncias somente pela presença dos estudantes. Se a curva de distribuição das iluminâncias fosse

gerada do lado onde se encontram as escrivaninhas, é provável que os níveis de iluminâncias cairiam mostrando a curva com uma tendência similar aos agrupamentos *Fileiras* e *Grupos*.

Apesar da comprovação da influência dos agrupamentos na distribuição das iluminâncias, não se observam quedas representativas nos níveis de iluminâncias requeridos. O requerimento da área total de abertura em salas de aula parece ser mais que suficiente, inclusive, mostra que em todas as orientações, os níveis de iluminação que ingressam pela janela, ultrapassam os valores recomendados pelas Normas.

4.2.3 Mapas de distribuição das iluminâncias nos agrupamentos

As Figuras 63 a 66 apresentam a distribuição das iluminâncias, de acordo com a classificação por faixas.

Ressalta-se que as faixas foram classificadas, segundo a quantidade mínima e máxima de iluminação, em todas as condições avaliadas, e baseadas nos intervalos da iluminação natural, propostos por Nabil; Mardaljevic, (2006).

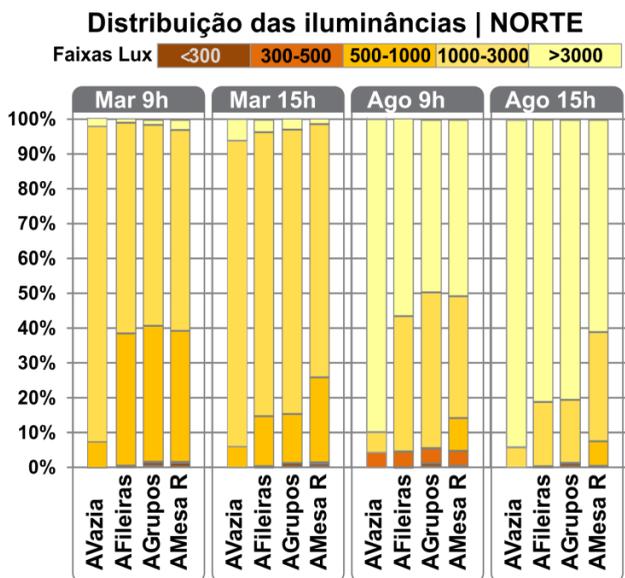


Figura 63. Distribuição das iluminâncias por faixas | Norte.

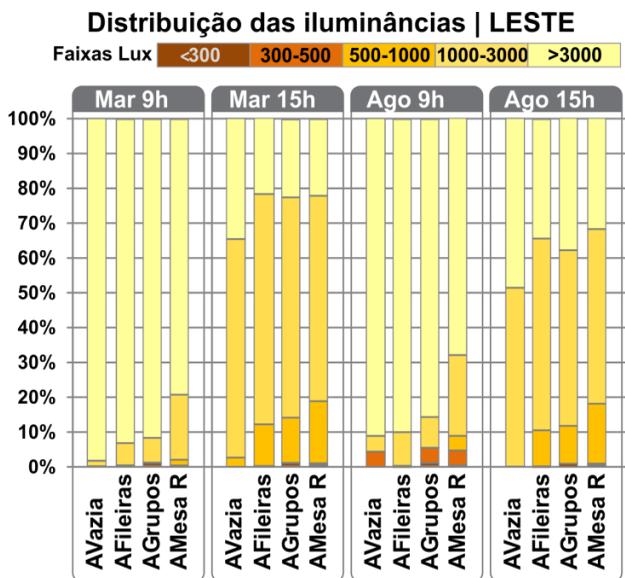


Figura 64. Distribuição das iluminâncias por faixas | Leste.

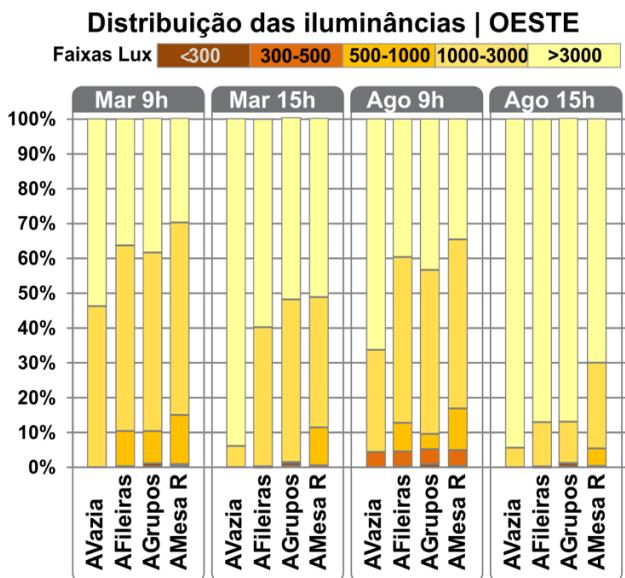


Figura 65. Distribuição das iluminâncias por faixas | Oeste.

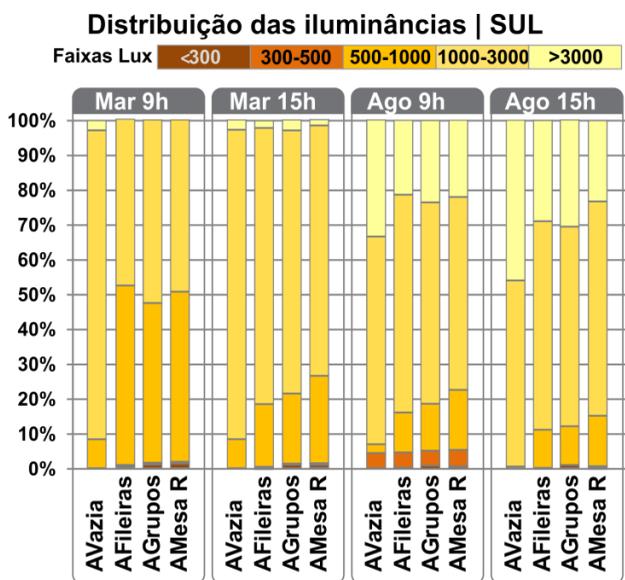


Figura 66. Distribuição das iluminâncias por faixas | Sul.

As distribuições das iluminâncias nas diferentes faixas e em todas as condições avaliadas demonstram que:

Evidencia-se a influência dos agrupamentos com estudantes, quando comparados com a sala vazia. Na sala vazia, observa-se que 100% da área do plano de trabalho encontra-se acima de 1000 lux, correspondente à faixa alta, no mês de Março, durante os dois períodos horários; e no mês de Agosto, durante o período das 15 horas. Para os agrupamentos *Fileiras* e *Grupos*, os comportamentos são bem similares: ambos apresentam as mesmas reduções nas faixas, devido à ocupação dos estudantes.

No entanto, no agrupamento *Mesa R*, na maioria das condições avaliadas (pelos menos em duas das condições por orientação), a área na faixa acima de 3000 lux, apresenta uma redução entre 5% e 20%, quando comparada a mesma área com os agrupamentos *Fileiras* e *Grupos*.

Destaca-se que, em todas as orientações, no mês de Agosto, no período das 9 horas, pelo menos 5% da área da sala

se encontra abaixo de 500 lux. Isto indica que, apesar da disponibilidade de sol nas fachadas, a janela se encontra controlada pela proteção solar horizontal, razão pela qual apresenta uma redução nos níveis de iluminação na sala.

Em todas as orientações, observam-se percentagens das áreas com iluminâncias acima de 3000lux. Assim, as condições de iluminação no interior podem ser excessivas em algumas porções da sala.

Quando os níveis de iluminação são mais baixos e distribuídos, o espaço apresenta-se mais homogêneo e com menos relações de contrastes. Quando os níveis de iluminação são mais altos, o espaço apresenta porções mais iluminadas, e a distribuição homogênea cai, quando há presença de estudantes.

Esta tendência pode ser evidenciada na distribuição dos níveis de iluminância que destacam o comportamento da luz, na zona perto da janela, no meio da sala e do lado oposto da janela.

A seguir, são apresentados os mapas de distribuição das iluminâncias de duas das condições mais representativas, obtidas nas simulações (Ver Figura 67 e 68). Estas foram representadas, para uma melhor visualização das mudanças nas diferentes faixas, devido à influência e alteração dos agrupamentos com estudantes, em relação à sala vazia. Foram estimadas as diferenças percentuais em cada faixa, a partir da comparação com as percentagens obtidas na sala vazia.

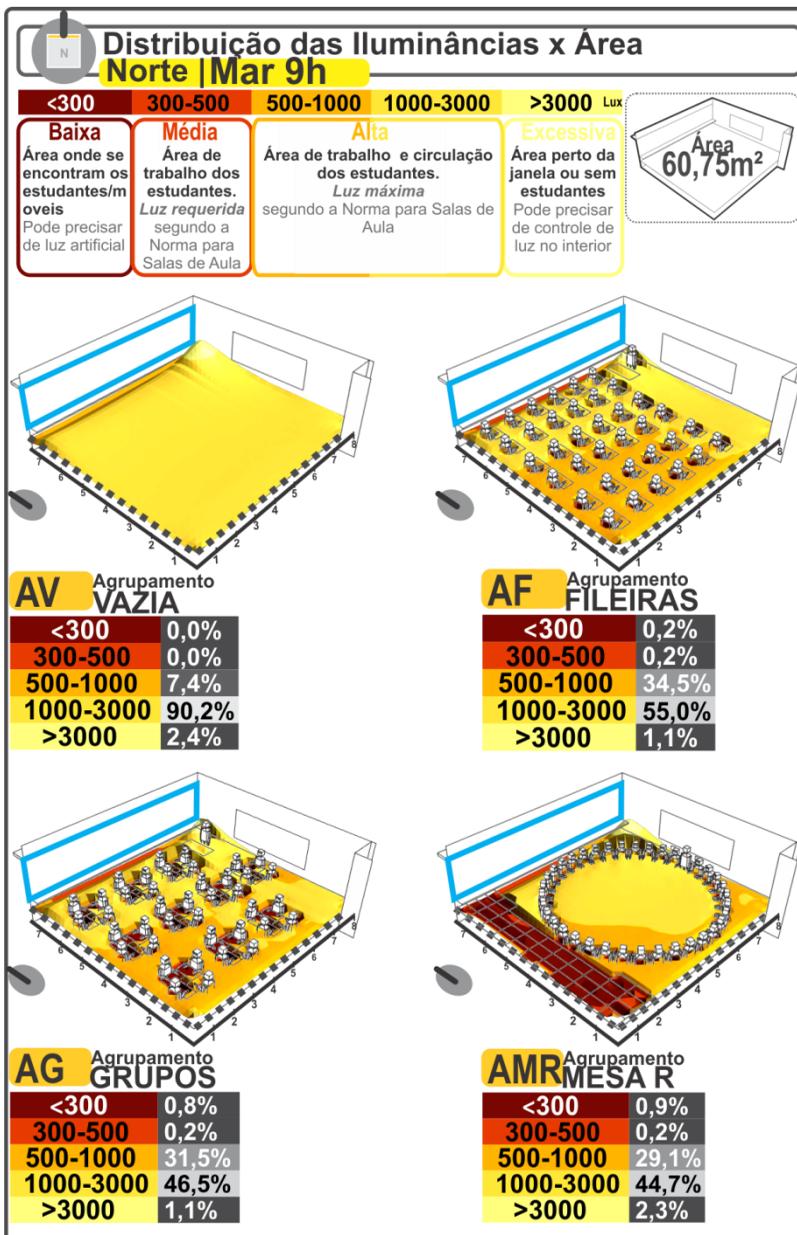


Figura 67. Mapas de distribuição das iluminâncias para Norte_Mar 9h

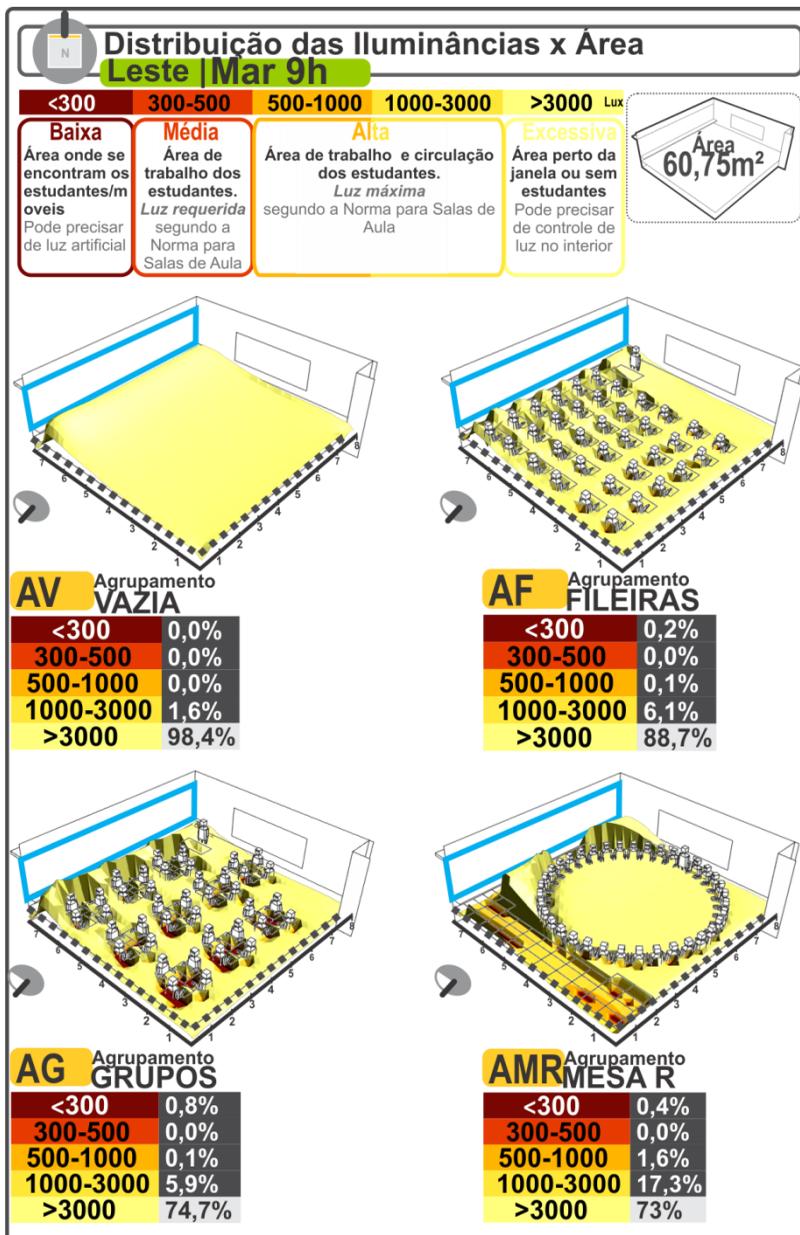


Figura 68. Mapas de distribuição das iluminâncias para Leste_Mar 9h.

Como se observa nos mapas de distribuição da condição Leste, o agrupamento sala vazia apresenta cerca de 90% da área da sala acima de 1000 lux, faixa que caracteriza as elevadas iluminâncias perto da janela e nas áreas sem a presença de estudantes.

As diferenças percentuais nos agrupamentos com estudantes comparados com a sala vazia, apresentam que, os agrupamentos com estudantes, mudam as condições de iluminação em diferentes percentagens. A Tabela 11 mostra as percentagens por agrupamento.

Tabela 10. Somatória das diferenças percentuais absolutas

	AFileiras	AGrupos	AMesa R
Norte_Mar 9h	64%	70%	68%
Leste_Mar 9h	14%	29%	43%

Destaca-se que na faixa maior a 3000 lux, nos agrupamentos *Fileiras* e *Grupos*, se apresentam reduções entre 9% e 23% comparados com a *Sala Vazia*. A dispersão é a ocupação dos estudantes são a principal causa para que isto ocorra: em *Fileiras*, os estudantes estão mais dispersos, e ocupam menos área, e em *Grupos*, os estudantes estão menos dispersos, e ocupam mais área (Ver Figura 69).

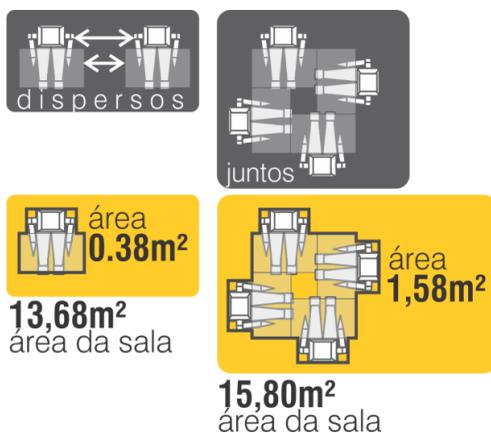


Figura 69. Área ocupada vr. dispersão dos estudantes

As diferenças percentuais absolutas pelos 3 agrupamentos com estudantes, confirma que, quanto maiores os níveis das iluminâncias no plano de trabalho, menor a influência dos estudantes e do mobiliário na distribuição das iluminâncias. Comportamento contrário do que ocorre quando são encontrados baixos níveis das iluminâncias no plano de trabalho, pois se percebe um aumento na influência e alteração dos estudantes e do mobiliário.

Os resultados visualizados nos gráficos de cores falsas, demonstram que a iluminação admitida pela janela tende a se distribuir até o fundo da sala no agrupamento *Mesa R*. Por esta razão, a disposição das escrivaninhas, desse lado, apresenta uma influência maior nas condições de iluminação presentes no plano de trabalho.

4.1 CONSIDERAÇÕES DOS RESULTADOS

4.1.1 Considerações dos resultados de irradiação solar na sala de aula.

Os resultados obtidos na avaliação de irradiação solar no interior da sala constataam que:

- Graficamente, não se observam diferenças representativas nas irradiação solar entre um agrupamento e outro. No entanto, nos valores numéricos que descrevem a disponibilidade de irradiação solar em cada uma das faixas (kWh/m^2), foram encontradas diferenças entre os agrupamentos, em relação ao agrupamento sala vazia, sendo que maior disponibilidade de irradiação solar foi obtida para a sala vazia principalmente, no Norte e no Leste (4% da área da sala, na faixa maior que $10,0 \text{ kWh/m}^2$ nas condições avaliadas).
- Destaca-se o mês de Agosto como a condição temporária que apresenta maior disponibilidade de irradiação solar no interior da sala, na maioria das orientações, pelo fato que se encontra no final do Inverno, e a ocorrência de céu claro é

maior. Embora os resultados apontem que os meses avaliados (Março e Agosto), referenciados como condições finais nas estações de Verão e Inverno, estes meses não apresentam altos valores de irradiação solar, já que cerca de 80% da sala se encontra abaixo de 3,00 kWh/m².

- A maior influência dos estudantes na disponibilidade de irradiação solar, no interior, ocorreu devido à o sol direto que chega nos estudantes, os quais se comportam como superfícies de absorção que impedem o passo do sol ao interior. Contudo, o sol direto pode ocasionar ofuscamento inhabilitador que impede realizar atividade visuais. Isto confirma que mudar de lugar ou fazer uso de elementos de controle de sol, pode ser alternativas para evitar este tipo de desconforto visual.
- Conforme os resultados obtidos na disponibilidade de irradiação solar no interior da sala, confirma-se que a influência dos agrupamentos de estudantes é marcante, em condições onde exista boa captação de sol pela janela. Em salas com a janela orientada para o Sul, as diferenças são menores. Porém, em salas com a janela orientada ao Leste, as diferenças serão melhor percebidas.
- A maior redução da disponibilidade de irradiação solar no plano de trabalho é provocada pelo agrupamento *Mesa R*, sendo que a menor corresponde ao agrupamento *Fileiras*. O que pode ser explicado pela ocupação e disposição no interior da sala: em *Fileiras*, cada estudante está junto de sua escrivaninha; e em *Mesa R*, os estudantes estão afastados das escrivaninhas; contudo, a quantidade de ocupação é a mesma (36 alunos e 36 escrivaninhas), mas a área ocupada pelo mobiliário e os estudantes é diferente: em *Fileiras*, 13,68m², e em *Mesa R*, 18,00m² (Ver Figura 70).

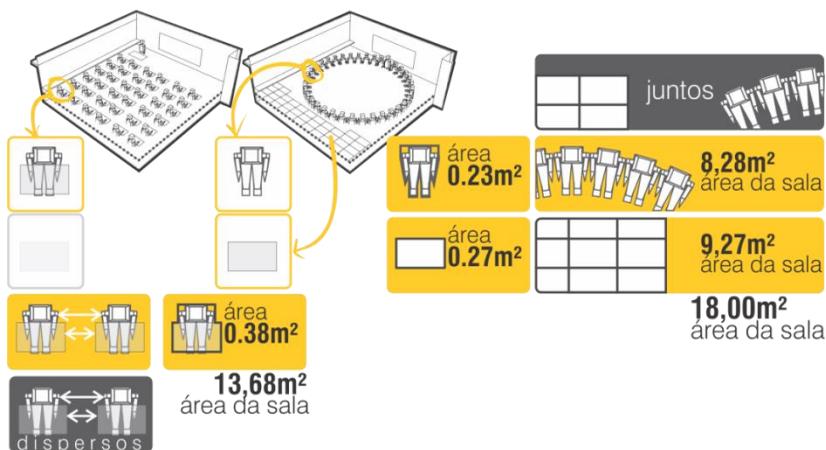


Figura 70. Diferenças de área de ocupação em *Fileiras* e *Mesa R*

- No agrupamento *Mesa R*, o local ocupado pelos estudantes é diferente do local ocupado pelas escritaninhas, assim, eles se encontram muito próximos entre um estudante e outro (por exemplo, os estudantes se sentam muito próximos quando se agrupam em mesa redonda).

O que ocorre com a disposição do agrupamento *Fileiras* é o contrário: a área ocupada pelos estudantes e pelas escritaninhas é praticamente a mesma, sendo que se encontram dispersos pela sala. Esta condição faz com que, quanto maior a área ocupada e maior a dispersão dentro da sala, menor a disponibilidade de irradiação solar e menor a sua percepção nas possíveis alterações dos agrupamentos.

4.1.2 Considerações dos resultados de distribuição das Iluminâncias na sala de aula

- Como ocorre na disponibilidade de irradiação solar, o mês de Agosto apresenta os maiores níveis de iluminâncias, representados, principalmente, na condição de céu claro (12). No Norte, Leste e Oeste o comportamento luminoso se dispõe com maior distribuição próxima à janela, e finalmente,

no Sul, são maiores os níveis das iluminâncias no mês de Agosto, do lado oposto à janela.

- A distribuição das iluminâncias avaliadas com céu encoberto, nos diferentes agrupamentos, é homogênea em todas as orientações, condição que impede identificar diferenças representativas entre uma sala com estudantes, quando comparada com uma sala vazia.
- Verificou-se que durante as condições avaliadas, os agrupamentos com estudantes alteram a distribuição das iluminâncias, quando comparada com uma sala vazia. Observa-se que a curva das iluminâncias da sala vazia nunca é inferior a 1500lux, na maioria das salas. Nos agrupamentos com estudantes, os menores valores da curva atingem 0lux (presença de estudante ou mobiliário). Nos locais onde não há a presença dos estudantes, as iluminâncias aumentam, mas não atingem o valor máximo encontrado na sala vazia.
- Como foi percebido nas análises de irradiação solar, os níveis das iluminâncias vão depender, em primeira medida, do ingresso de luz natural pela janela.

No entanto, quando se avalia a distribuição da iluminação, o tamanho da janela, a localização na fachada e principalmente, a sua orientação, são os parâmetros que possuem maior influência. Quando as janelas são orientadas ao Norte ou Sul, as mudanças nos níveis luminosos se apresentam ao longo do ano, na primeira parte do ano as janelas orientadas ao Norte recebem mais sol e na segunda parte do ano são as janelas orientadas ao Sul que recebem mais sol. No caso das janelas orientadas ao Leste e Oeste, as mudanças na iluminação se apresentam ao longo do dia: nas manhãs, para as janelas ao Leste e nas tardes, para as janelas ao Oeste.

Isto permite considerar que embora é adequado um controle de sol dentro da sala, é importante que as variações da luz sejam no dia para permitir diferentes dinâmicas escolares na sala de aula, ou seja, janelas orientadas ao Leste e Oeste.

- Quanto maiores os níveis das iluminâncias no plano de trabalho, menor a influência dos estudantes e do mobiliário na distribuição das iluminâncias.
- As curvas de distribuição de todos os agrupamentos, por orientação, ressaltam que os níveis de iluminâncias são maiores na sala vazia. Contudo, percebem-se semelhanças entre os agrupamentos *Fileiras* e *Grupos* e entre os agrupamentos *Mesa R* e *Sala Vazia*. Os níveis de iluminância dos agrupamentos *Fileiras* e *Grupos* se reduzem na mesma proporção, quando há presença de estudantes; e aumentam igualmente, devido à influência da ocupação. O agrupamento *Mesa R* apresenta uma curva de distribuição com uma tendência levemente reduzida à curva da sala vazia, devido à ocupação pontual dos estudantes.
- As alterações na distribuição das iluminâncias ocorrem devido à área ocupada pelos estudantes e mobiliário, e a sua disposição dentro da sala de aula. A tendência detectada é que, quanto maior a área ocupada pelos estudantes e/ou mobiliário, e mais dispersos se disponham dentro da sala, maiores são as alterações na distribuição das iluminâncias. Considerar disposições próximas e compartilhar a área entre estudantes e escrivaninha, reduz os possíveis efeitos na distribuição, condição favorável quando os níveis de luz são baixos.
- A determinação das possíveis alterações na distribuição das iluminâncias dependeu, principalmente, de dois parâmetros: a ocupação de estudantes e sua localização dentro da sala de aula.

Com esta consideração, apresenta-se uma sugestão de zoneamento determinado pela distribuição das iluminâncias, a ocupação e disposição de estudantes e mobiliário. O zoneamento dispõe-se da seguinte forma: *Zona 1*, onde os níveis de iluminância são maiores; *Zona 2*, onde os níveis de iluminância tendem a baixar e, finalmente, *Zona 3*, onde os níveis de iluminância se estabilizam.

O zoneamento da distribuição das iluminâncias considera diferentes tipos de ocupação e disposição dos estudantes na sala, para controlar alterações representativas na distribuição das iluminâncias, quando o espaço encontra-se ocupado. Portanto, foi diferenciado em três tipologias, como se ilustra na Figura 71:

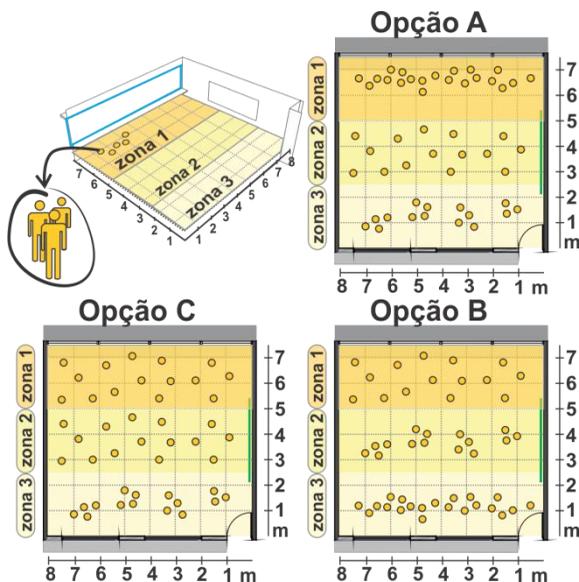


Figura 71. Zoneamento da sala segundo a distribuição das iluminâncias e a ocupação.

- **Opção A:** Corresponde a uma sala com distribuição das iluminâncias decrescente, à medida que se afasta da janela. Recomenda-se para a zona 1, uma maior ocupação e disposição dispersa dos estudantes; para a zona 2, menor ocupação e disposição dispersa do estudantes; e para a zona 3, menor ocupação e disposição próxima e/ou dispersa, de acordo com a atividade.
- **Opção B:** Corresponde a uma sala com distribuição das iluminâncias crescente, à medida que se afasta da janela. Recomenda-se, para a zona 1, maior ocupação e disposição

dispersa dos estudantes; para a zona 2, menor ocupação e disposição próxima e/ou dispersa de acordo com a atividade; e para a zona 3, menor ocupação e disposição dispersa dos estudantes.

- **Opção C:** Corresponde a uma sala com distribuição das iluminâncias, principalmente, homogênea, em toda a sala. Recomenda-se, para a zona 1, menor ocupação e disposição próxima e/ou dispersa de acordo com atividade; para a zona 2, menor ocupação e disposição dispersa dos estudantes; e para a zona 3, menor ocupação e disposição dispersa dos estudantes.

O gráfico das recomendações de ocupação em relação à distribuição da luz apresenta duas informações. A primeira, mostra a tendência dos níveis de iluminância obtidos nas curvas de distribuição que são apresentados em forma de esquema. O esquema está virado verticalmente, já que o eixo "X" representa o piso; e o eixo "Z" representa a parede onde se localiza a janela, assim facilita melhor o entendimento da curva de distribuição das iluminâncias na seção transversal da sala. A segunda, do lado do esquema, apresenta-se a opção de ocupação recomendada conforme a distribuição das iluminâncias. (Ver Figura 72).



Figura 72. Esquema explicativo da ocupação em relação à distribuição das iluminâncias

A Figura 73 e 74, ilustram as recomendações de ocupação, segundo a distribuição das iluminâncias por orientação, durante os períodos horários avaliados.

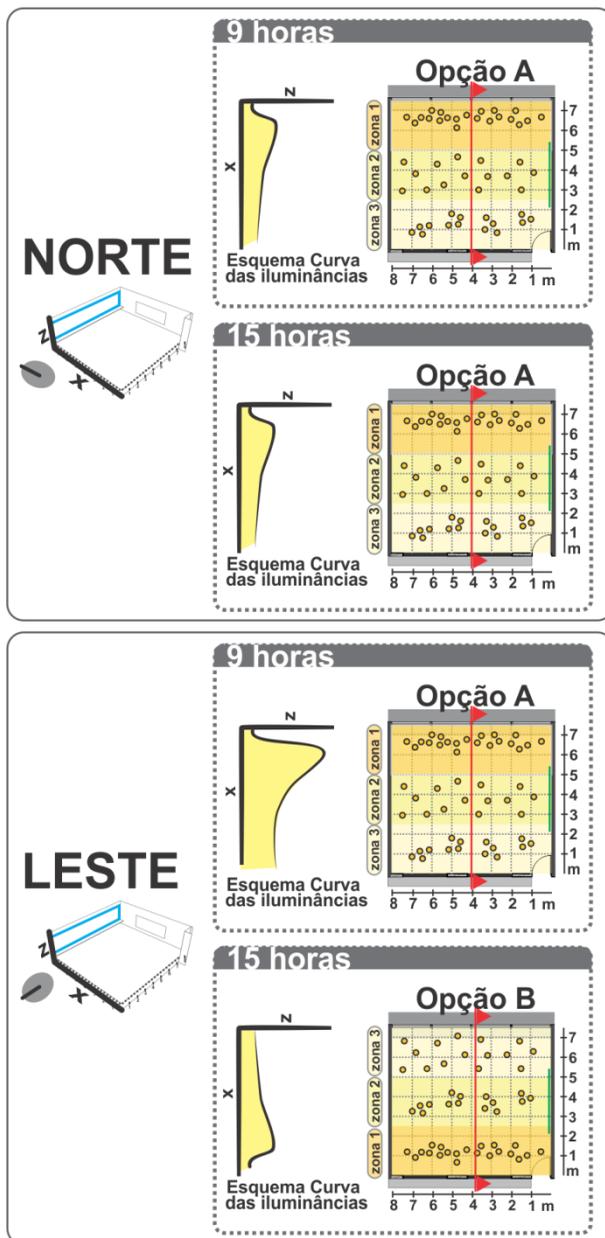


Figura 73. Recomendações de ocupação segundo a distribuição das iluminâncias para Norte e Leste.

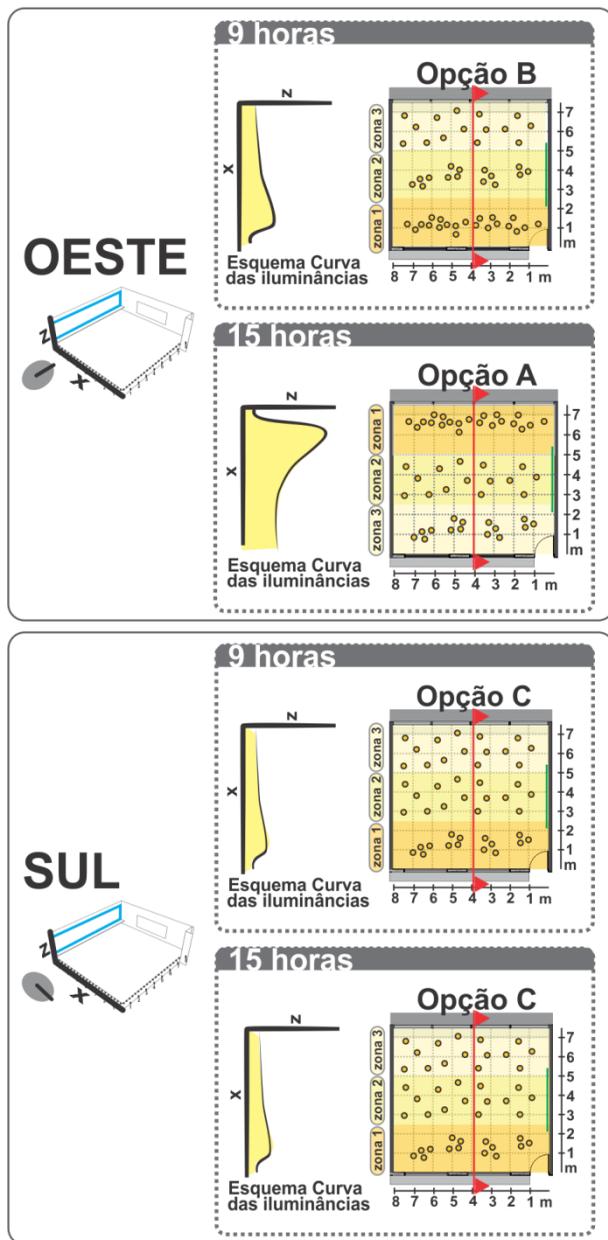


Figura 74. Recomendações de ocupação segundo a distribuição das iluminâncias para Oeste e Sul.

A Figura 75 ilustra, em ordem decrescente, os níveis de iluminâncias médias que se encontram alterados pelos agrupamentos, organizados de forma crescente com relação à alteração dos níveis de iluminância.

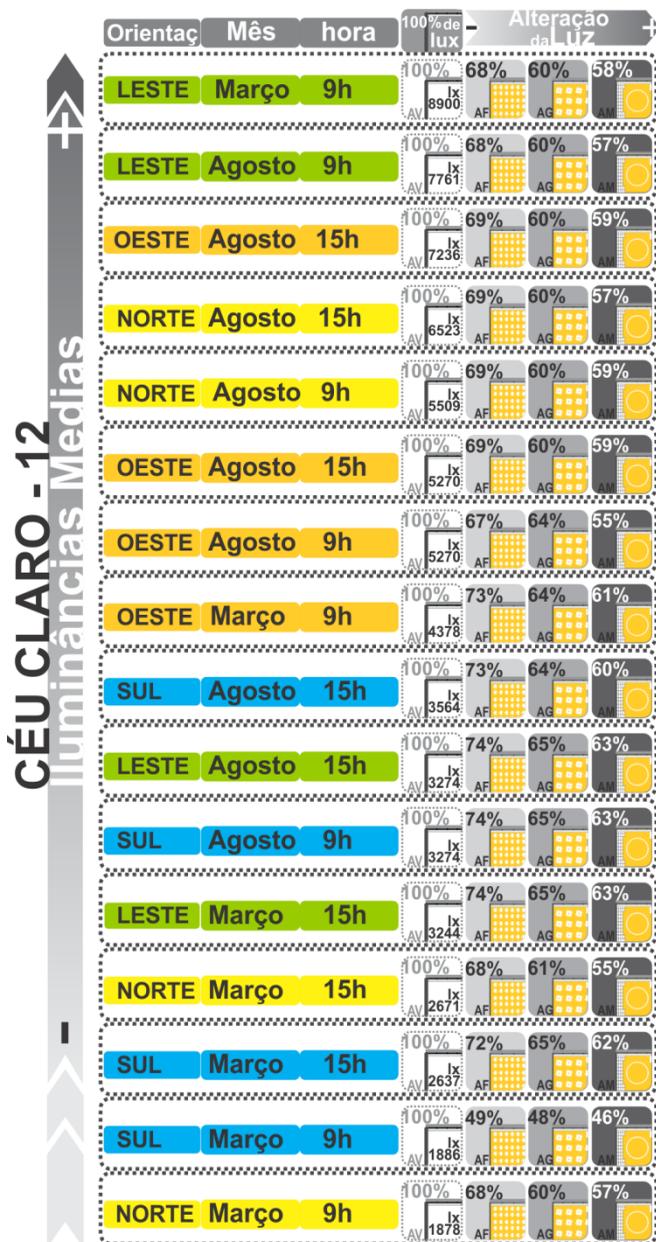


Figura 75. Gráfico resumo das percentagens de alteração dos agrupamentos na distribuição das iluminâncias com relação à sala vazia

Estas recomendações podem servir de apoio ao processo do projeto arquitetônico que busca a construção de salas de aula baseadas em parâmetros estabelecidos, segundo as Normas, e levando em consideração a ocupação. Também, pode servir para considerar mapeamento e dinâmicas de uso da sala de aula, onde se permitam diferentes atividades escolares, sem prejuízo de fatores, como a distribuição das iluminâncias, condição importante no desempenho acadêmico dos estudantes.

Este estudo pode servir como método de análise para outros espaços, com características que possuam qualidades de permanência significativas, e que necessitem atingir exigências luminosas básicas.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, são apresentadas as principais conclusões encontradas na presente pesquisa. Adicionalmente, são descritas algumas considerações finais, como as limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES

Os estudos de iluminação natural, frequentemente, relatam sobre a influência que esta tem nas pessoas (no controle do relógio biológico) e nos espaços (disponibilidade de luz ao interior). Porém, é difícil encontrar estudos que falem como a presença dos usuários, dentro dos espaços, interfere na distribuição da iluminação natural.

Espaços como as salas de aula devem considerar, além da presença dos estudantes, a capacidade de ocupação, tipos de agrupamentos para diversas atividades e condições ambientais adequadas, visando à melhoria do desempenho acadêmico dos estudantes. Existem diferentes pesquisas que estudam a influência da luz natural no desempenho escolar dos estudantes, todas elas, focadas nas influências da luz no sistema visual das crianças. Porém, não é considerada, nos estudos de iluminação em salas de aula, a ocupação de estudantes, como um fator que altere as condições luminosas da sala de aula.

As rotinas humanas predizem uma forma de uso no espaço, e, portanto, sugerem arranjos que as Normativas deveriam considerar, ao estabelecer requisitos sobre níveis de iluminação mínimos para o planejamento de espaços com características particulares. Quando se fala dos níveis necessários para realizar uma tarefa visual, as Normativas locais e internacionais estabelecem iluminâncias médias de 300 lux para salas de aula. Contudo, as Normativas não especificam se este valor considera a ocupação dos estudantes. Portanto, garantir níveis de iluminância mínimos, em uma sala de aula, sem considerar a movimentação e a forma de ocupação das salas por parte de seus estudantes, remete avaliar a distribuição da iluminação, de forma incompleta, já que retira uma variável não presente em um espaço vazio.

Parece que as Normativas atuais não consideram o uso e a apropriação do espaço dentro dos níveis requeridos de iluminação, e que estes resultam em valores padrão, onde são generalizadas as exigências luminosas. Além disso, não são consideradas as faixas etárias dentro dos requerimentos que, possivelmente, influenciam, pela movimentação em maior ou menor quantidade, a distribuição das iluminâncias.

Os parâmetros requeridos para iluminação natural, dentro da sala de aula, recomendados pelo Caderno Técnico N. 4 dizem que: aberturas com área de $1/5$ da área do piso e localização do lado esquerdo do quadro, demonstram ser adequadas para o desempenho visual dos estudantes. Eventualmente, poderia ser menor a relação da área conforme a orientação e o entorno: considerar áreas menores em janelas orientadas para Norte e Leste, pela maior disponibilidade de luz e ingresso de radiação solar; áreas maiores em janelas orientadas para o Sul, pela menor disponibilidade de luz; e áreas maiores ou menores em janelas orientadas para o Oeste, de acordo com a proteção solar. Destaca-se que, além dos parâmetros descritos, condições como a localização da janela na fachada e a altura ou posição da janela também deveriam ser considerados, quando se estuda a distribuição da luz no interior de espaços como as salas de aula.

Finalmente, verifica-se que, encontrar as alterações na distribuição das iluminâncias dentro da sala de aula depende da

combinação de diferentes parâmetros. Os diferentes tipos de agrupamentos, a disposição dos estudantes e o mobiliário, a reflexão das superfícies, a altura do plano de trabalho, as dimensões da sala, o tamanho da abertura, as épocas do ano e os períodos horários, são alguns dos parâmetros que, no presente estudo, foram combinados para a identificação de tais diferenças na distribuição.

5.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Durante o desenvolvimento da pesquisa, foram encontradas algumas limitações referentes aos modelos computacionais, às simulações e à combinação de parâmetros para a determinação das alterações na distribuição das iluminâncias. A seguir são descritas:

- Tempo das simulações: Apesar do estudo não ter envolvido um número de simulações consideravelmente alto, a velocidade na geração dos resultados foi determinante na combinação de outras variáveis. Quando no plug-in DIVA, as simulações demoravam, no máximo, 5 minutos, no Apolux, demoravam até 4 horas.
- Dimensões da sala de aula: Devido à escolha de apenas um tipo de sala, não foi possível analisar a correlação entre os agrupamentos e diferentes dimensões de sala.
- Uso do Vidro difusor: Conforme aos parâmetros descritos no Caderno Técnico 4, foi usado o vidro difusor para o controle de insolação direta dentro da sala de aula. Contudo, impediu
- Escolha de agrupamentos: Os agrupamentos foram escolhidos de acordo com os arranjos propostos pelo Caderno Técnico N. 4, contudo, consideraram só estudantes em posição fixa e “sentados”. Poderia ser estudado outra posição dos estudantes como “de pé”
- Análise no plano de trabalho: Foi analisado somente um plano de trabalho, à altura de 0.60m, pois a condição não permitiu comparar em outros planos, o que ocorre com a

disponibilidade de irradiação solar e a distribuição das iluminâncias, por exemplo, no chão, nas paredes ou o quadro.

- **Datas e horários avaliados:** Foram considerados somente dois meses (finais de estações do Verão e Inverno) do ano e dos horários (9 horas e 15 horas), condição que não permitiu realizar maiores comparações em outras estações intermediárias, como outono e primavera, e em outros horários, como ao meio-dia.
- **Tipos de céu:** Os céus claro e encoberto foram escolhidos como as condições mais representativas e suficientes, segundos estudos feitos por Leite e Pereria, (2010). Contudo, não foi possível comprovar o comportamento da distribuição das iluminâncias em céus parcialmente nublados, onde existem mudanças constantes.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nas limitações apresentadas anteriormente, na obtenção dos diferentes resultados e conclusões encontradas, a seguir são descritas algumas recomendações que permitem orientar trabalhos futuros baseados neste estudo.

- Avaliar diferentes modelos de sala de aula, que considerem diferentes proteções solares e área disponível da janela, cumprindo com os requerimentos da Norma.
- Considerar agrupamentos com grupos etários diferentes, em outras posições (como, por exemplo, “de pé”) que desenvolvam outro tipo de atividades em espaços onde também são importantes os níveis das iluminâncias e sua distribuição no espaço.
- Fazer análise da disponibilidade de irradiação solar e distribuição das iluminâncias em outros planos de trabalho, como o piso, já que, por exemplo, as crianças desenvolvem grande parte de suas atividades nele, sua ocupação é dispersa e as condições da iluminação vão depender das propriedades óticas, principalmente, do piso.

- Fazer avaliações em salas reais, onde as situações de ocupação e atividade escolar se apresentam rotineiramente, e são mais próximas às possíveis alterações na distribuição das iluminâncias.
- Fazer avaliações de iluminação com questionários que permitam uma avaliação da atividade/percepção visual dos estudantes, uma vez que ocupam a sala de aula, quando comparam com uma sala vazia.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, C. N. D. *Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte I. Estratégias de Projeto para uma Arquitetura Sustentável*. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <http://www.unb.br/fau/posgraduação/cadernos_eletronicos/edição2002.htm>, 2002.

ABNT. *ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1:Interior*. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2013.

ABNT. *NBR 15220-3. Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*. São Paulo. Abril: [s.n.], 2005.

AZEVEDO, G. A. N. *Arquitetura Escolar e Educação: Um Modelo Conceitual de abordagem interacionista*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 2002.

BOYCE, P.; HUNTER, C.; HOWLETT, O. *The Benefits of Daylight through Windows Sponsored by : Capturing the Daylight Dividend Program The Benefits of Daylight through Windows*. Troy, New York 12180-3352: [s.n.], 2003.

CARLI, M. DE; GIULI, V. DE. *Optimization of daylight in buildings to save energy and to improve visual comfort: analysis in different latitudes*. Dipartimento di Fisica Tecnica , Università degli Studi di Padova. 2009, [S.l: s.n.], 2009.

CEN, C. E. D. N. *NORMA EUROPEA EN12464-1. Luz y Alumbrado o Iluminación – Alumbrado de los puestos de trabajo-Parte 1: Puestos de trabajo en interiores*. . [S.l: s.n.]. , 2002.

CIE INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. *Ocular Lighting Effects on Human Physiology, Mood and Behaviour. CIE 158:2004*. . [S.l: s.n.]. , 2004.

CLARO, A.; PEREIRA R., F. O. *Apolux 3 Beta*. Florianópolis, SC: Laboratório de Conforto Ambiental -LabCon-. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<http://www.labcon.ufsc.br/foton/>>. , 1998.

COOK L., J.; COOK, G. *Cognitive Development. Piagetian and Sociocultural Views*. In: PEARSON (Org.). *Child Development. Principles and Perspectives*. Boston, MA: [s.n.], 2005. p. 1-37. Disponível em: <www.ablongman.com>.

DEPARTMENT FOR EDUCATION. *Area guidelines for mainstream schools*. Inglaterra: Department for Education, Education Funding Agency. , 2014.

EDWARDS, L.; TORCELLINI, P. *A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants*. NREL- Laboratory National Renewable Energy (NREL/TP-550-30769). Golden, Colorado.: [s.n.], 2002.

EKLUND, N.H., BOYCE, P.R., AND SIMPSON, S. . *Lighting and sustained performance*. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, v. 29, p. 116-130., 2000.

EUROPEAN ENERGY COMMISSION. *Daylighting in buildings..* Dublin, Ireland: Energy Research Group, School of Architecture, University College Dublin Richiew Clonskeagh. , 1994.

FOTIOS, P. S. Lighting for the classroom of the future: acceptability of glare. Disponível em: <<http://www.cibse-sdg.org/research/lighting-for-the-classroom-of-the-future-acceptability-of-glare>>.

FOTIOS, S. A.; RAMASOOT, T. *Lighting for the Classrooms of the Future. Electronic classrooms: a new challenge for school lighting guidance*. *Light & Engineering* 17 (2). School of Architecture, University of Sheffield, UK, p. 62-70, 2009.

FUNDAESCOLA, F. DE F. DA E. M. DE E. *Espaços Educativos Ensino fundamental subsídios para Elaboração de Projetos e*

adequação de edificações escolares. Cadernos Técnicos 4 - Volume 1. Brasília: [s.n.], 2002a.

FUNDAESCOLA, F. DE F. DA E. M. DE E. *Espaços Educativos Ensino Fundamental subsídios para Elaboração de Projetos e adequação de edificações escolares. Cadernos Técnicos 4 - Volume 2.* Brasília: [s.n.], 2002b.

GIBSON, J. J. *The Ecological Approach To Visual Perception.* Hillsdale, New Jersey: Originally published in 1979. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1986. p. 1-355.

GIMENO, I. SERRAT, M. SOLDEVILLA, R. *Visão nas crianças e optometria.* Disponível em: <<http://www.uv.es/~visual/>>.

GIRALDO, N. V.; PEREIRA, F. O. *Influence of the Height of the Line Of Sight in the Evaluation of Glare Sensation in Pre-School Classrooms.* 2012, Lima, Perú 7-9 November 2012: [s.n.], 2012. p. 1-6.

HATHAWAY *et al.* A Study Into the Effects of Light on Children of Elementary School Age – A Case of Daylight Robbery. Alberta, Canadá: Policy and Planning Branch Department, Planning and Information Services Division. , 1992.

HESCHONG MAHONE GROUP. *Daylighting in Schools: An Investigation into the Relationship between Daylighting and Human Performance.* Detailed Report. California: [s.n.], 1999.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA. *Sinopse do Censo Demográfico 2010.* Acessado em: outubro de 2012. 2010.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY. *IES Lighting Handbook. The Standard Lighting Guide.* First Edit ed. New York City, New York: Illuminating Engineering Society, 1947. p. 866.

JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C. *The “ adaptive zone ” – a concept for assessing glare throughout daylight spaces.* 2011a, [S.l.]: Harvard University , Graduate School of Design , Department of Architecture Basis of Discomfort Glare, 2011.

JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C. F. DIVA 2 . 0: *Integrating daylight and thermal simulations using rhinoceros 3d, daysim and energyplus*. Harvard University , Graduate School of Design , Department of Architecture. p. 14-16, 2011b.

LAGIOS, K. *User Guide. DIVA-for-Rhino*. Disponível em: <<http://diva4rhino.com/>>.

LEITE D., E.; PEREIRA, F. O. *Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. Ambiente Construído. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.*, v. 10, n.4, p. 139-154, 2010.

LOTTEN_EYES. *Acuidade Visual*. Disponível em: <<http://www.lotteneyes.com.br>>.

MAJORS, A. *Daylighting*. Lisbon, Portugal: PLEA in Association with Department of Architecture, the University of Queensland., 1998.

MARDALJEVIC, J. *et al. Daylighting Metrics: Is there a relation between Useful Daylight Illuminance and Daylight Glare Probability?*. Loughborough, UK,: Building Simulation and Optimization Conference BSO12, 2012. p. 1-8.

MARDALJEVIC, J., A.; MARILYNE, R.; NICOLAS, C. J. *Daylighting Metrics for Residential Buildings. Proceedings of the 27th Session of the CIE*, p. 18, 2011.

MEECE, J.; H. DANIELS, D. *Cognitive Development: Information Processing and Intelligence Theories*. In: HILL, M. G. E. (Org.). *Child and Adolescent Development for Educators*. Terceira ed. [S.l: s.n.], 2007. p. 1-640.

MELO B., L. G.; ALZATE SALAZAR, D. A.; VELÁSQUEZ E., L. F. *Evaluación antropométrica y motriz condicional de los escolares de 7 a 18 años de edad*. Primeira ed. Manizales, Caldas: Universidade de Caldas, 2007. p. 1-147.

MEN COLOMBIA. *Norma Técnica Colombiana NTC 4595 Ingeniería Civil y Arquitectura. Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares.* . [S.l: s.n.]. Disponível em: <www.mineducacion.gov.co> , 2006.

MINISTERIO DE EDUCAÇÃO NACIONAL. *LEI Nº 9.394 DE 20 DE DEZEMBRO DE 1996.* . [S.l: s.n.]. Disponível em: <www.planalto.gov.br>, 1996.

MINISTÉRIO DE SAÚDE, M. DA E. *Projeto OLHAR BRASIL.* . [S.l: s.n.], 2008.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors. *Energy and Buildings.* 38(7), p. 905–913, 2006.

OLSON, S. L.; KELLUM, S. *The Impact of Sustainable Buildings on Educational Achievements in K-12 Schools.* Madison, Wisconsin: [s.n.], 2003.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Patrones de Crecimiento Infantil.* Ginebra, Suiza: Departamento de Nutrición para la Salud y el Desarrollo. , 2003.

PANERO, J.; ZELNIK, M. *Las Dimensiones Humanas en los Espacio Interiores. Estándares antropométricos.* Séptima ed. Naucalpan, México: G. Gili, S.A. de C.V., Ediciones, 1996. p. 1-315.

PATTINI, A. Entrevista Andrea Pattini. *Envolvente Arquitectónica* No. 2, p. 4, 2011.

PATTINI, A. Recomendaciones de niveles de iluminación en edificios no residenciales. Una comparación internacional. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA).* Vol . 4, No. 1, 05.07-05.13. *Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente* ISSN 0329-5184, p. 6, 2000.

PEREIRA, F. O. *et al.* Iluminação Natural : Comparação entre Percepção Visual e medidas dinâmicas de avaliação. 2012, Juiz de Fora, MG: [s.n.], 2012. p. 1-9.

PEREIRA, F. O. R. *MÉTODOS DE PREVISÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL*. . Florianópolis, SC: Disciplina Conforto Ambiental: Iluminação. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina. , 2005.

PEREIRA, F. O. R. P. *Conforto Ambiental: Iluminação básica*. . Florianópolis, SC: Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. , 2010.

PEREIRA, R. C.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A. Caracterização da contribuição do entorno na avaliação da iluminação natural em edificações. *Ambiente Construído. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.*, v. 87, p. 103-115, 2008.

REINHART, C. F.; WIENOLD, J. The daylighting dashboard - A Simulation-based design analysis for Daylit Spaces. 2010, New York City, New York: [s.n.], 2010. p. 1-9.

REINHART, C.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America.*, p. 1-20, 2006.

RODINEY, M. *A escola como espaço de inclusão no cenário de desigualdades*. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/educacao/a-escola-como-espaco-inclusao-no-cenario-desigualdades.htm>>.

RORIZ, M. *Arquivos climáticos em formato EPW*. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>.

THE U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *National Best Practices Manual For Building High Performance Schools*. . [S.l.]: Office of Energy Efficiency and Renewable Energy U.S. Department of Energy. , 2007.

THE UNIVERSITY OF THE STATE OF NEW YORK. *Manual of planning standards for school buildings*. Albany, New York: The State Education Department Office of Facilities Planning. , 1998.

VAN BOMMEL PROFESSOR, L. W.; VAN DEN BELD, G. Lighting for work: a review of visual and biological effects. 1 dez. 2004, London: The TrotterPatterson memorial lecture presented to the Society of Light and Lighting, London, 17 February 2004, 1 dez. 2004. p. 255-269. Disponível em: <<http://lrt.sagepub.com/cgi/doi/10.1191/1365782804li122oa>>.

VAN DEN WYMELENBERG, K.; INANICI, M.; JOHNSON, P. The effect of luminance distribution patterns on occupant preference in a daylit office environment. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America.*, v. 7(2), p. 103-122, 2010.

VIEIRA, R.; PEREIRA, F. O. Primeira estação de medição de iluminação natural em território brasileiro: análise dos dados dos dois primeiros anos de funcionamento. *Ambiente Construído. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.*, v. 4, n. 3, p. 1-112, 2004.

WIENOLD, J. Dynamic simulation of blind control strategies for visual comfort and energy balance analysis. 2007, [S.l: s.n.], 2007. p. 1-8.

WIENOLD, J.; CHRISTOFFERSEN, J. "Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras,". *Energy & Buildings* 38[7], p. 743-757, 2006.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído, Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Fernándo Oscar Ruttkay Pereira, PhD.

Florianópolis, 2014