

# ARQUITETURA E LUZ NATURAL

**A influência da profundidade de ambientes  
em edificações residenciais**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

AUTORA:

**Milena Sampaio Cintra**

ORIENTADORA:

**Dra. Cláudia Naves David Amorim**

BANCA EXAMINADORA:

**Dr. Evangelos Dimitrios Christakou**

**Dra. Roberta Viera Gonçalves de Souza**

**Eu gosto de sol que o brilho cega  
e magnificamente colore as coisas**

Eu to com falta de sol  
Que me faz querer mar

|Eddie|

## Agradecimentos

---

À minha mãe, que me inspira a acreditar no amor,  
que traz no próprio nome sua marca Teoma oamoR –  
Deusa mãe guiada pelo amor.

Aos meus Hermes, meu pai e meu irmão,  
representação de energia e vitalidade, sempre me  
motivam a caminhar e conquistar novos territórios...  
Milton Hermes e Victor Hermes, deuses mensageiros  
por natureza.

Ao meu amado Tiago, companheiro presente, que  
desembaralha minha escrita e meus pensamentos.  
Minha fonte de aconchego, carinho, apoio, risadas...

À Professora Cláudia Amorim, pelas orientações precisas, pelo carinho e dedicação. Trouxe a  
luz para a minha pesquisa e me envolveu com o tema.

A todos da FAU/UnB, professores, funcionários e alunos, que participaram do processo nestes  
anos de mestrado, que me receberam com portas abertas e fizeram me sentir em casa. Ao  
Júnior e Valmor.

Aos membros da banca, que gentilmente aceitaram participar e contribuir para a avaliação,  
aperfeiçoamento e conclusão desta pesquisa.

Aos meus amigos, companheiros de trabalho, pessoinhas que tornam o meu dia a dia mais  
leve, divertido, compartilhadores de sonhos: Caio, Júlia, Juliana, Renata e Gustavo.

À Mariana, Amanda, Isabel, Juliana, Cynara e Nani, presença diária através das ondas da  
internet, amizade que cruza as fronteiras, tempo e distância.

Ao grupo que iniciou a jornada dessa pesquisa: Larissa, Gabriela, Cainã, Paulo, Viviane e  
Rodrigo.

À minha família, energia positiva que me ajuda abrir os caminhos e me dá coragem de  
enfrentar os monstros. À Tia Nana.

Tamiris, Marcus, Lúcia, Bin, Jorge, Candinha, Sogrinha, Sogrão, Tita, Jô, Yuno, Débora, Laura,  
Renata. A todos que de perto ou de longe, contribuíram para essa pesquisa e torceram por  
mim.

À Maria, que deve estar orgulhosa, mulher guerreira, minha lua.

Aos Deuses.

**A o S o l**

Esta dissertação tem como objetivo investigar a influência de variáveis arquitetônicas no desempenho da iluminação natural, mais especificamente a profundidade dos ambientes e as proteções solares, através de estudos realizados com simulações computacionais dinâmicas, considerando o contexto territorial brasileiro. Assim, este trabalho visa contribuir para as boas práticas na arquitetura, permitindo o desenvolvimento de projetos que garantam um desempenho mínimo da luz natural em edificações residenciais. Os resultados aqui apresentados geraram indicações relativas à bonificação de iluminação natural presentes no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R (BRASIL,2010). Para isso, o método utilizado incluiu 336 simulações com a ferramenta de simulação dinâmica Daysim,desenvolvidas em duas etapas. Na primeira etapa foram feitas 160 simulações, para 11 cidades, nas orientações norte, sul, leste e oeste, foi definido o desempenho mínimo da luz natural em ambientes residenciais e identificada a profundidade limite do ambiente para garantir estas condições de desempenho. Na segunda etapa foram desenvolvidos três modelos com um tipo de proteção solar cada, para verificar a influência das proteções solares na profundidade limite do ambiente. Os resultados encontrados passaram por uma verificação de sua aplicabilidade, onde os valores da profundidade limite foram examinados em 40 ambientes reais de edificações residenciais localizadas em Florianópolis e Brasília. Os resultados apontam que ambientes com área de abertura de 1/6 da área de piso, sem proteção solar e com refletâncias internas no padrão utilizado na arquitetura (teto 84%, paredes 58% e piso 30%), devem ter uma profundidade limite de 2,57 vezes a altura da janela para garantir uma iluminância 60 lux apenas com iluminação natural, em 70% das horas do ano com luz natural, em 70% da área do ambiente. No caso de ambientes com proteção solar, a profundidade limite do ambiente reduz-se em média 17,9%, passando, portanto, para no máximo 2,11 vezes a altura da janela.

Palavras-Chave: Iluminação Natural; Simulação Dinâmica; Daysim; Profundidade limite. RTQ-R.

This dissertation aims to investigate architectural variables that influence on daylight performance, specifically room depth and solar protection, through studies using dynamic computer simulations, considering the Brazilian territorial context. The work aims to contribute to best practices in architecture, allowing the development of projects to ensure a minimum performance of daylight in residential buildings. The results presented here led to the statements concerning the daylight bonus of The Technical Regulation for Energy Efficiency Labelling of Residential Buildings (RTQ-R) (BRAZIL, 2010). The method included 336 computer dynamics simulations with software DaySim that were developed in two stages. In the first stage 196 simulations were made to 11 cities in North, South, East and West orientations, defined minimum daylight performance in residential rooms and identified room depth limit to ensure the conditions for minimum daylight performance. In the second stage three models were developed with different solar protection types, to check the influence of solar protections in the room depth. The applicability of the results have been verified in 40 real room of residential buildings located in Florianópolis and Brasília. The results suggest that rooms with aperture area of 1/6 of the floor area without solar protection and standard internal reflectances used in the architecture (84% ceiling, walls 58%, and floor 30%) should have a depth limit of 2,57 times the height of the window to ensure 60 lux with daylight, in 70% of the year with daylight and 70% of the area's room. For rooms with solar protection the depth limit is reduced on average 17,9%, resulting in a maximum depth limit of 2,11 times the height of the window.

Keywords: Daylighting, Dynamic Simulation; Daysim; Room depth; RTQ-R.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração com comportamento da Luz natural .....	29
Figura 2: Ilustração de um átrio de luz.....	32
Figura 3: Ilustração de uma estufa .....	32
Figura 4: Componentes de passagem - aberturas laterais.....	33
Figura 5: Componente de passagem - abertura zenital .....	33
Figura 6: Proteção solar varanda e volume do edifício.....	33
Figura 7: Proteção solar do tipo beiral.....	33
Figura 8: Proteção solar do tipo brise. ....	33
Figura 9: Esquema da relação entre a altura da janela e a profundidade do ambiente para garantir iluminação adequada no ambiente.....	36
Figura 10: Incidência de luz natural em abertura sem elementos de proteção solar .....	39
Figura 11: Incidência de luz natural em abertura com elementos de proteção solar .....	39
Figura 12: Mapa Metodológico – 1ª Etapa .....	47
Figura 13: Mapa Metodológico – 2ª Etapa .....	48
Figura 14: 3D do modelo base .....	49
Figura 15: Planta baixa do modelo base .....	49
Figura 16: Vista frontal do modelo base .....	49
Figura 17: Corte longitudinal do modelo base.....	49
Figura 18: Malha de pontos de medição dos modelos .....	49
Figura 19: Cidades utilizadas para as simulações.....	51
Figura 20: Edificação residencial com beiral .....	54
Figura 21: Edificação Residencial com beiral .....	54
Figura 22: Edifício com proteção vertical, formada pelo recuo da fachada. ....	55
Figura 23: Edifício com proteção vertical, formada pelo recuo da fachada. ....	55
Figura 24: Edifício com varandas.....	57
Figura 25: Edifício com varandas.....	57
Figura 26 : Gráficos de ISO-DA gerados pelo Winsurf para análise do comportamento da Luz Natural.....	61
Figura 27: Gráficos de ISO-DA gerados pelo Winsurf e inseridos no Autocad para análise do comportamento da Luz Natural em conjunto com o limite do ambiente. ....	61
Figura 28: Exemplo de método gráfico para análise do comportamento da Luz Natural .....	62
Figura 29: Exemplo de método gráfico para análise do comportamento da Luz Natural .....	62
Figura 30: Esquema da condição “a” para verificação da aplicabilidade dos resultados em ambientes reais. ....	63
Figura 31: Esquema da condição “b” para verificação da aplicabilidade dos resultados em ambientes reais. ....	63
Figura 32: Esquema da condição “c” para verificação da aplicabilidade dos resultados em ambientes reais. ....	63

## LISTA DE GRÁFICOS

---

Gráfico 1: Modelo base – Situação 1. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela, por cidade e orientação. ....	65
Gráfico 2: Modelo base – Situação 1. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela em ordem crescente. ....	65
Gráfico 3: Modelo base – Situação 2. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela, por cidade e orientação. ....	66
Gráfico 4: Modelo base – Situação 2. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela em ordem crescente. ....	67
Gráfico 5: Modelo base – Situação 3. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela, por cidade e orientação. ....	68
Gráfico 6: Modelo base – Situação 3. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela em ordem crescente. ....	69
Gráfico 7: Modelo base – Situação 4. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela, por cidade e orientação. ....	70
Gráfico 8: Modelo base – Situação 4. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela em ordem crescente. ....	71
Gráfico 9: Modelo base – Situação 5. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela, por cidade e orientação. ....	72
Gráfico 10: Modelo base – Situação 5. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela em ordem crescente. ....	72
Gráfico 11: Comparação das médias da profundidade por orientação em cada Situação. ....	74
Gráfico 12: Resultados da situação 1. ....	75
Gráfico 13: Resultados da Situação 3. ....	75
Gráfico 14: Resultados da Situação 4. ....	75
Gráfico 15: Resultados da Situação 5. ....	75
Gráfico 16: Comparação da média da profundidade das orientações por latitude - Situações 1, 3, 4 e 5. ....	76
Gráfico 17: Resultados da profundidade em relação à altura janela da Situação 5 (sem proteção) e do Modelo 1a (70cm), 1b (100cm) e 6c (120cm) . ....	79
Gráfico 18: Comparação da profundidade alcançada em relação a altura da janela na Situação 5, com a média do modelo 1. ....	80
Gráfico 19: Comparação da média por orientação entre a Situação 5 com o Modelo 1a, 1b e 1c. ....	80
Gráfico 20: Resultados da profundidade em relação a altura janela da Situação 5 (sem proteção) e do Modelo 2a (50cm), 2b (80cm) e 2c (120cm) . ....	81
Gráfico 21: Comparação da profundidade alcançada em relação a altura da janela na Situação 5, com a média do modelo 2. ....	82
Gráfico 22: Comparação da média por orientação entre a Situação 5 com o Modelo 2a, 2b e 2c. ....	83
Gráfico 23: Resultados da profundidade em relação a altura janela da Situação 5 (sem proteção) e do Modelo 3. ....	84
Gráfico 24: Comparação da média por orientação entre a Situação 5 com o Modelo 3. ....	85
Gráfico 25: Média por orientação da Situação 5 e dos Modelos 1, 2 e 3. ....	86
Gráfico 26: Resultados da Situação 5, para 5 latitudes. ....	86
Gráfico 27: Resultados do Modelo 1. ....	86
Gráfico 28: Resultados do Modelo 2. ....	87
Gráfico 29: Resultados do Modelo 3. ....	87



## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1: Comparação da eficiência luminosa da Luz Natural e Artificial .....	22
Tabela 2: Nível de iluminação Natural para edificações residenciais .....	26
Tabela 3: Tabela resumo das regras internacionais de limite da profundidade do ambiente em relação a altura da janela .....	27
Tabela 4: Valores de refletância solar publicados por diversos autores.....	37
Tabela 5: Refletâncias de superfícies em ambientes de trabalho .....	38
Tabela 6: Programas de simulação computacional de iluminação natural .....	44
Tabela 7: Segundo Horário de Ocupação utilizado nas simulações de luz natural – horário variável .....	52
Tabela 8: Resumo das variáveis analisadas nas simulações com o modelo Base.....	52
Tabela 9: Modelo Base e combinação das variáveis – situação 1, 2, 3, 4 e 5 (1ª Etapa de Simulação).....	53
Tabela 10: Imagem do modelo 1, Corte Longitudinal do Modelo 1a, 1b e 1c, destacando a dimensão dos beirais.....	54
Tabela 11: Esquema do modelo 2, e as planta baixa das variações 2a, 2b e 2c, indicando a dimensão da proteção vertical.....	56
Tabela 12: Esquema 3D e corte do modelo 3 .....	57
Tabela 13: Tabela resumo dos modelos 1, 2 e 3.....	58
Tabela 14: Dados de entrada para modelos com fachadas simples .....	59
Tabela 15: Dados de entrada para modelos com fachadas complexas (uso de brises ou persianas) .....	59
Tabela 16: Tabela de dados de uma simulação no Daysim.....	60
Tabela 17: Exemplo do processo de verificação da aplicabilidade do valor da profundidade limite do ambiente em relação à altura da janela para ambientes sem proteção solar. ....	77
Tabela 18: Tabela resumo da verificação da aplicabilidade dos resultados para ambientes sem proteção solar .....	78
Tabela 19: Redução em porcentagem da profundidade alcançada pelo Modelo 1 (média dos modelos 1a, 1b e 1c) em comparação com a Situação 5 .....	80
Tabela 20: Redução em porcentagem da profundidade alcançada pelo Modelo 2 (média dos modelos 2a, 2b e 2c) em comparação com a Situação 5 .....	83
Tabela 21: Redução em porcentagem da profundidade alcançada pelo Modelo 3 em comparação com a Situação 5 .....	85
Tabela 22: Redução da Profundidade da Luz Natural da Situação 5 para os modelos 1, 2 e 3. .	87
Tabela 23: Exemplo do processo de verificação da aplicabilidade do valor da profundidade limite do ambiente em relação à altura da janela (Apêndice 10).....	88
Tabela 24: resumo da verificação da aplicabilidade dos resultados para ambientes com proteção solar .....	89

## LISTA DE SIGLAS

---

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BEN	Balanço Energético Nacional
CIE	Comissão Internacional de Iluminação
DA	Autonomia de Luz Natural ( <i>Daylight Autonomy</i> )
DA <sub>CON</sub>	Autonomia de Luz Natural Contínua ( <i>Continuous Daylight Autonomy</i> )
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ISODA	Iso <i>Daylight Autonomy</i> (curvas de cores falsas com mesmo DA)
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
Lacam	Laboratório de Controle Ambiental e Eficiência Energética
MME	Ministério de Minas e Energia
PNE	Plano Nacional de Energia
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RTQ-C	Regulamento da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas
RTQ-R	Regulamento da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas
TRY	Test Reference Year
UDI	Iluminância Natural Útil ( <i>Useful Daylight Illuminances</i> )
HO	Horário de Ocupação
IP	Iluminância de Projeto

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1. Objetivos.....</b>	<b>16</b>
1.1.1. <i>Objetivo Geral.....</i>	16
1.1.2. <i>Objetivos Específicos.....</i>	16
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1. O uso da luz natural em edificações .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2. Luz natural para o conforto e saúde .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3. Luz natural e eficiência energética.....</b>	<b>21</b>
2.3.1. <i>Eficiência Energética no Brasil.....</i>	23
2.3.2. <i>Normalizações para promover o uso da luz natural em edificações.....</i>	25
<b>2.4. Variáveis da Iluminação natural .....</b>	<b>28</b>
2.4.1. <i>Variáveis Externas .....</i>	29
2.4.2. <i>Variáveis arquitetônicas em edifícios residenciais .....</i>	31
a) <i>Área de abertura e profundidade dos ambientes.....</i>	34
b) <i>Refletâncias internas .....</i>	36
c) <i>Proteções solares.....</i>	38
<b>2.5. Cálculos de iluminação natural.....</b>	<b>40</b>
2.5.1. <i>Critérios para avaliação da Luz Natural .....</i>	40
2.5.2. <i>Métodos de análise e programas computacionais para avaliação da luz natural</i>	42
2.5.1. <i>Software Daysim.....</i>	44
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1. Desenvolvimento e características do modelo base .....</b>	<b>48</b>
3.1.1. <i>Malha de pontos para medição.....</i>	49
3.1.2. <i>Característica das superfícies .....</i>	50
<b>3.2. Variáveis da Simulação .....</b>	<b>50</b>
a) <i>Iluminância de Projeto (IP). .....</i>	50
b) <i>Autonomia da iluminação natural.....</i>	51
c) <i>Latitude.....</i>	51
d) <i>Horário de ocupação .....</i>	52
<b>3.3. Modelo base e combinação de variáveis (1ª etapa de simulação).....</b>	<b>53</b>
<b>3.4. Desenvolvimento dos Modelos 1, 2 e 3 (2ª etapa de simulação).....</b>	<b>53</b>
3.4.1. <i>Modelos 1 .....</i>	54
3.4.2. <i>Modelo 2.....</i>	55
3.4.3. <i>Modelo 3.....</i>	57
<b>3.5. Simulação no Software Daysim .....</b>	<b>58</b>
3.5.1. <i>Arquivo Climático .....</i>	60
3.5.2. <i>Processamento e análise dos dados .....</i>	60

3.6.	Verificação da aplicabilidade dos Resultados .....	62
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	64
4.1.	Resultados - 1ª Etapa .....	64
4.1.1.	Modelo Base – Situação 1 .....	64
4.1.1.	Modelo Base – Situação 2 .....	66
4.1.2.	Modelo base – Situação 3.....	68
4.1.3.	Modelo base – Situação 4.....	70
4.1.4.	Modelo base – Situação 5.....	72
4.1.5.	Discussão dos resultados (1ª etapa).....	73
4.1.6.	Verificação da aplicabilidade dos resultados (1ª etapa).....	76
4.2.	Resultados – 2ª Etapa .....	78
4.2.1.	Modelo 1.....	78
4.2.2.	Modelo 2.....	81
4.2.3.	Modelo 3.....	84
4.2.4.	Discussão dos resultados (2ª Etapa) .....	85
4.2.5.	Verificação da aplicabilidade dos resultados (2ª Etapa).....	87
5.	CONCLUSÃO.....	90
5.1.	Desempenho mínimo da luz natural para ambientes residenciais .....	90
5.1.1.	Profundidade limite do ambiente.....	92
5.1.1.	Influência de Elementos de Proteção solar na profundidade limite.....	93
5.2.	Programa de simulação dinâmica de iluminação natural – Daysim .....	94
5.3.	Limitações do trabalho .....	94
5.3.1.	Sugestão de trabalhos futuros .....	95
6.	REFERÊNCIAS .....	98
7.	APÊNDICE .....	103

# 1. INTRODUÇÃO

---

Fizemos tanto, nos tornamos em muitos: não podemos mais permitir-nos ignorar as leis que governam o longo período na relação entre nós e o ambiente natural. Tanto mais porque temos os instrumentos para fazê-lo. (BUTERA, 2009)

A arquitetura precisa atender a diversos tipos de exigências, dentre as quais requisitos funcionais, estéticos, ambientais, econômicos, promovendo bem estar ao usuário. A luz natural tem um papel importante dentro de todos esses requisitos, e incorporar a luz natural nos projetos de forma coerente, otimizando seus benefícios e minimizando impactos negativos, torna-se crucial (AMORIM, 2007).

O uso adequado da iluminação natural no ambiente interno promove o conforto psicológico, tornando o ambiente agradável, produtivo, com mais definição das formas e cores. Tal uso nas edificações promove também melhores condições de saúde dos usuários, pois exerce influência importante no ciclo biológico das pessoas (MARTAU, 2009; FIGUEIRÓ, 2010).

A partir do início desse século, quando se intensificam as discussões sobre conservação, racionalização e eficientização do uso da energia elétrica, o uso da luz natural em edificações passou a assumir uma importância cada vez maior. Além de ser um recurso para promover bem estar, qualidade ambiental e auxiliar na saúde dos usuários, o uso da luz natural em edificações tem uma relação importante com o uso de energia.

Desta forma, quando o projeto luminotécnico é desenvolvido integrando a luz natural ao sistema de iluminação artificial permite que parte do sistema artificial seja desligado ou reduzido. Tal integração tem consequência direta na economia de energia. Assim, devido ao desligamento do sistema de iluminação artificial é diminuída a carga de refrigeração do sistema de condicionamento de ar na edificação, gerando uma economia indireta. Além disso, a luz natural possui uma eficiência luminosa (lm/W) maior quando comparada à iluminação artificial (PEREIRA, 1993). Esta característica indica que um projeto que utiliza adequadamente a luz natural, permite um melhor nível de iluminação com menos carga térmica, diminuindo a carga de refrigeração do sistema de condicionamento de ar (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2004).

Destaca-se que o consumo de energia nas edificações vem crescendo, principalmente em edificações residenciais. O crescimento do consumo de energia nesse setor aumentou em 6,5% no biênio de 2008 e 2009, enquanto o setor industrial o consumo elétrico caiu 5,5% no mesmo período (EPE, 2010). O crescimento do consumo no setor residencial ocorreu principalmente devido às políticas de redução de impostos para alguns bens de consumo durante a crise econômica, além do aumento de renda *per capita* no país.

Diante desse contexto, torna-se evidente a necessidade de se investir em eficiência energética do setor residencial e, neste sentido, o uso da iluminação natural em edificações é um ponto crucial. Ademais, o Brasil tem condições de céu em geral favoráveis para o uso da iluminação natural, cujos valores estimados poderiam suprir em grande parte as necessidades de iluminação (PEREIRA, 1993).

No entanto, mesmo com esse potencial, diante da importância da luz natural em edificações para o conforto do usuário e com a necessidade de tornar as edificações mais eficientes, o Brasil ainda está em processo de desenvolvimento de estudos para elaboração de normas, regulamentos e manuais que indiquem efetivamente o que projetistas devem considerar para se beneficiar da luz natural.

Há uma carência de conhecimento em relação às variáveis arquitetônicas que influenciam no desempenho da luz natural no espaço construído deixando perguntas para serem respondidas como: Qual a profundidade máxima do ambiente para que ele seja iluminado adequadamente com luz natural? Quanto as proteções solares impactam na profundidade alcançada pela luz natural? Essas questões, assim como inúmeras outras não são abordadas de maneira satisfatória em normas ou manuais e carecem de valores baseados em estudos que os justifiquem.

No contexto internacional, algumas normas e recomendações relacionam, por exemplo, a altura das aberturas e a profundidade limite de ambientes internos para o aproveitamento da luz natural. Essas normas são amplamente utilizadas por projetistas em geral, apesar de não informarem o que garantem em iluminação natural no ambiente, e de não possuírem justificativas por meio de pesquisas que justifiquem os valores indicados (REINHART, 2005). A ampla utilização destas acontece devido à simplicidade das mesmas (não exigem cálculos) e de sua relevância para o projeto (ligação direta entre as proporções do ambiente e o tamanho da área iluminada naturalmente). Diante disso, verifica-se a importância de estudos que identifiquem regras simples para iluminação natural em edifícios, embasadas em conceitos científicos, adequadas às diversas tipologias e adaptadas aos contextos climáticos.

Para definir normas ou regras de iluminação, devem ser levadas em consideração as características de cada localidade e edificação. O nível de iluminação natural de uma edificação varia em função da condição do céu, da posição do sol, latitude, época do ano, horário, características do entorno, etc. Além disso, o comportamento da luz natural será influenciado pela forma dos ambientes, área e forma das aberturas, refletâncias internas (paredes, teto e piso), uso ou não de proteções solares e elementos de distribuição da luz natural.

Devido à variabilidade da luz natural torna-se difícil estabelecer os critérios para análise do seu comportamento no ambiente. Reinhart, Mardaljevic e Rogers (2006) mencionam que muitas metodologias de avaliação da luz natural, que consideram apenas o Fator de Luz do Dia (FLD) e vista para o exterior, não têm o objetivo de necessariamente promover um bom projeto com integração com a iluminação natural, mas conduzem a uma melhor filosofia para se projetar com a luz natural. No entanto, nessas metodologias, alguns parâmetros

importantes são negligenciados, como a sazonalidade da luz natural. Assim, os autores apontam para uma nova abordagem considerando métricas dinâmicas para o desempenho da iluminação natural, que consideram a especificidade local, interação dinâmica entre o edifício, seus ocupantes e as condições climáticas e do céu ao longo de um ano.

As métricas dinâmicas da iluminação natural baseiam-se em dados de radiação solar anual para um local específico, oriundos de um arquivo climático, e são geradas por meio de simulação computacional. Os resultados são apresentados em uma série de dados de iluminâncias e luminâncias dentro da edificação. A principal vantagem das métricas de desempenho dinâmico de iluminação natural em comparação com as métricas estáticas é que estas consideram a quantidade e a natureza das variações diárias e sazonais da iluminação natural para um determinado edifício, em um determinado sítio, juntamente com eventos meteorológicos irregulares.

Desta forma, o uso de métricas dinâmicas por meio de simulação apresenta-se como um caminho para desenvolver estudos de iluminação natural que objetivam levar em consideração contextos climáticos específicos.

Vários trabalhos comprovam que o aproveitamento da luz natural é capaz de proporcionar significativa economia de energia elétrica em iluminação (GHISI et al, 1997; FERREIRA e SOUZA, 2009). No entanto, pesquisas sobre o comportamento da luz natural nos ambientes internos ocorrem de maneira pontual, sendo avaliado uma variável para apenas uma localidade. Tal abordagem resulta em conclusões pouco aplicáveis a outros contextos climáticos, e não atendem as necessidades da prática projetual de arquitetos e engenheiros.

Por outro lado, em 2010, foi publicado pelo INMETRO o Regulamento da Qualidade do Nível de Eficiência Energética em Edifícios Residenciais - RTQ-R (BRASILd, 2010). Neste regulamento buscou-se qualificar ambientes residenciais quanto à eficiência energética, incluindo, entre outros, parâmetros de análise de iluminação natural, para os quais houve contribuição desta pesquisa. A publicação deste Regulamento mostra-se como um primeiro passo no caminho das pesquisas que devem ser realizadas.

Assim, devido às poucas pesquisas existentes, à complexidade do tema, importância do uso da luz natural na edificação e às necessidades relativas à eficiência energética em edificações, **o presente trabalho pretende contribuir com indicações para o uso de luz natural de maneira racional e eficiente na arquitetura, focando especificamente ambientes residenciais.**

## **1.1. Objetivos**

### *1.1.1. Objetivo Geral*

Verificar por meio do uso da simulação computacional de métricas dinâmicas a influência da profundidade do ambiente e das proteções solares, no comportamento da luz natural em ambientes residenciais, considerando o contexto territorial brasileiro, tendo em vista contribuir para as boas práticas no uso da luz natural.

### *1.1.2. Objetivos Específicos*

- Investigar níveis de desempenho mínimo da luz natural para ambientes residenciais;
- Investigar e utilizar o programa de simulação dinâmica de iluminação natural – Daysim;
- Investigar a influência da profundidade do ambiente na distribuição de luz natural;
- Investigar a influência de proteções solares na distribuição da luz natural no ambiente;
- Identificar o limite da profundidade de ambientes sem proteção solar e com proteção solar em relação à janela para prover um desempenho mínimo da luz natural em edificações residenciais.



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

---

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica dos assuntos relacionados ao tema deste trabalho, abordando aspectos referentes aos benefícios do uso da luz natural nas edificações, legislação e normas pertinentes, variáveis que influenciam na luz natural no espaço construído e como a luz natural é avaliada.

Dessa forma, inicialmente é apresentada a importância do uso da luz natural nas edificações e como este uso pode proporcionar qualidade ambiental, conforto e saúde aos usuários e eficiência energética na edificação, de acordo principalmente com os autores Butera (2009), Figueiró (2010), Martau (2009), Pereira (1993) e Pereira et al (2009).

Em seguida, apresenta-se o histórico sobre a legislação de eficiência energética no Brasil e as normas, regulamentos e recomendações sobre iluminação natural no contexto nacional e internacional. Nesse momento, para a abordagem nacional, foram consultados principalmente normas e regulamentos brasileiros, dados de empresas de energia e o levantamento realizado por Fernandes (2009) e Amorim (2010). No contexto internacional foram consultadas as normas e recomendações sobre iluminação natural elencadas por Reinhart (2005).

Após desta abordagem, são apresentadas as variáveis que influenciam o comportamento da luz natural no interior das edificações. Os principais autores para essa etapa foram Vianna e Gonçalves (2001), Scarazzato (1995), Baker e Steemers (2002) Bogo (2007) e Dornelles (2008).

Por fim, são apresentados os critérios e métodos para avaliação e cálculo da iluminação natural no espaço construído, com detalhamento em simulação computacional e no software de simulação Daysim. Os principais autores consultados foram Reinhart (2005,2010), Reinhart, Mardaljevic e Rogers (2006) Cabús (2005) e Didoné (2009).

### 2.1. O uso da luz natural em edificações

A vida no interior das edificações deu um enorme salto de qualidade com a invenção do vidro nas janelas. Sem ele, a casa teria permanecido uma “toca para refugiar-se, fria e escura – ou clareada de modo artificial” (BUTERA, 2009).

Na idade média o vidro passou ser utilizado nas igrejas, mas só por volta do final do século XIV que a utilização de elementos translúcidos foi de fato implementado em janelas de edificações residenciais. Inicialmente, materiais orgânicos, como linho e pergaminho permitiam a penetração da luz, mas não garantiam a visibilidade e ainda eram frágeis. Janelas com vidros só passaram ser utilizadas em casas burguesas no século XV e depois do século XVI, se difundiram muito rapidamente em diversos países (BUTERA, 2009).

Assim, as janelas envidraçadas permitiram iluminar o ambiente interno, mantendo contato visual com exterior, garantindo proteção às intempéries e aquecimento dos ambientes

através da radiação solar. Ao longo de alguns séculos as janelas e o vidro foram utilizados de maneira eficiente nas edificações. Em clima temperado, as janelas envidraçadas voltadas para a orientação de maior incidência solar permitiam o aquecimento do ambiente, enquanto em climas quente e úmido nas aberturas protegidas por longos beirais não se utilizava vidro, já que a iluminação e ventilação eram garantidas pela ampla abertura. E assim, particularidades da edificação dialogavam com as condições climáticas locais.

No entanto, após a revolução industrial a forma de conceber a arquitetura foi segmentada. As edificações que antes eram pensadas de maneira unitária e integrada passaram a ser pensadas e desenvolvidas de uma forma dissociada. Estava rompida a relação entre os materiais e técnicas e as condicionantes climáticas (VIANNA e GONÇALVES, 2001).

Butera (2009) descreve que com a popularização de máquinas de condicionamento de ar e com a iluminação artificial relativamente eficiente, o conceito da casa como uma máquina de morar desassociou a arquitetura em: edificação e a tecnologia para fazer a edificação funcionar. Assim, as conexões da edificação com o ambiente físico em que estava implantada foram se perdendo.

Nesse sentido, o conforto térmico das edificações passou a ser garantido pelos aparelhos de condicionamento de ar. A iluminação das edificações passou a ser encarada na maioria das vezes como um requisito funcional, sendo utilizada prioritariamente a iluminação artificial, com a justificativa do ponto de vista da produção da atividade. Em outros casos a concepção estética do projeto acabava por utilizar a iluminação artificial de forma irrestrita e excessiva. Assim Vianna e Gonçalves (2007) que “esses edifícios são admirados por sua ‘beleza’, mas encobrem por trás dessa falsa estética uma pseudofuncionalidade”.

Surgiram então, edificações iguais em todo o planeta, incorporando o rol do “Internacional Style” (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2004). Edifícios com fachadas envidraçadas tendo que ser monitorados por equipamentos, tendo em vista sua incompatibilidade com o clima. As fachadas formam o “efeito estufa” no interior, sobrecarregando assim o sistema de ar-condicionado. E o discurso defendido em utilizar grandes panos de vidros para manter ‘conexão com o exterior’ e ‘garantir luz natural’, faz com que os usuários se vejam obrigados a colocar cortinas e mantê-las fechadas durante todo o dia, na tentativa de diminuir a insolação e o ofuscamento. Em consequência, é necessário o acionamento do sistema de iluminação artificial para obtenção de uma iluminação adequada. Assim, o discurso defendido até então, de ‘conexão com o exterior’ e ‘garantia de luz natural’ torna-se inconsistente, e ainda é adicionado o custo com a energia despendida no sistema de iluminação artificial e de condicionamento de ar.

O fato estranho é que se trata do único caso de involução tecnológica de todo milênio passado. Já involução, porque (a edificação) voltou a ter uma única função, a de invólucro, de proteção de chuva, piorando ao mesmo tempo, com a perda de todas as conexões que tinha com o ambiente físico, as outras funções que historicamente tinha conquistado (BUTERA, 2009.p.173).

Atualmente, temos a oportunidade de estudar os princípios da arquitetura integrada com os condicionantes naturais, aproveitando a tecnologia desenvolvida e também analisando as experiências ocorridas na arquitetura nos séculos. Estamos em um período em que preocupações ambientais são prementes no contexto mundial, e é possível aplicar o conhecimento científico para contribuir com a qualidade do espaço construído. Nesse sentido, a iluminação natural nas edificações volta ser um ponto crucial de análise ainda na fase projetual ou de *retrofit* de edificações. Assim, esta pesquisa busca contribuir com os estudos necessários para tornar o conhecimento sobre uso da luz natural mais acessível e aplicável no projeto da edificação.

## 2.2. Luz natural para o conforto e saúde

O conforto visual está definido como a existência de um conjunto de condições, num 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 risco de acidentes (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 1997). Para apresentar um bom nível de luz para cada tarefa é necessário verificar o tipo de atividade que vai ser realizada, por quem (pessoas com qual idade, sexo, raça, relações contextuais com o local), em que local, hora, campo visual, etc.

Assim, determina-se que para garantir o conforto visual de cada tarefa e de acordo com o usuário, é necessário fornecer iluminância suficiente, boa distribuição da iluminância, ausência de ofuscamento, contrastes adequados (proporção de luminâncias) e direção de sombras (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 1997).

Para atender o mínimo das necessidades para o conforto visual, no Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas através da NBR 5413 (ABNT, 1991), fixa as iluminância mínimas a serem fornecidas em função do tipo da tarefa visual. No entanto, sabe-se que se considerar apenas o critério do nível de iluminância não é suficiente para garantir conforto visual, principalmente devido a variabilidade das preferências de cada indivíduo. Nesse sentido, o emprego preferencialmente da luz natural permite um melhor resultado, pois as pessoas têm mais tolerância à variação do nível de iluminação quando usado luz natural do que apenas a artificial.

Além disso, Lam (1986) define que a luz natural na arquitetura se encaixa na tríade de Vitruvius – solidez, encanto e valor comercial. Valor comercial, pois o projeto luminotécnico quando associado ao uso da luz natural pode reduzir a quantidade de energia utilizada, bem como reduzir os gastos de energia nas horas de pico. Solidez, por levar em conta que o uso da luz natural em edifícios não é uma estética passageira seguindo um conceito de moda, mas uma aplicação inteligente do ambiente natural para a realização de necessidades programadas, por isso a luz natural quando utilizada em edifícios possui uma beleza de valor duradouro. E por fim, encanto, pois poucos negariam o que o sol pode fornecer uma iluminação prazerosa. Mais do que isso, a luz natural dá uma orientação reconfortante de

tempo, lugar e clima. E quanto as necessidades psicológicas e fisiológicas, quando utilizada a luz natural produz ambientes confortáveis, encantadores e produtivos.

Para o Thermier Energy Research Group (1994, *apud* LARANJA, GAZZANEO e CABÚS, 2009) a iluminação natural é valorizada pelas pessoas em função de sua variedade, pois ela traz dinâmica ao espaço por ela iluminado, com a variação da luz do dia e das estações do ano, agregando valor ao espaço arquitetônico.

Figueiró (2010) e Martau (2009) ressaltam a importância da luz natural para a saúde dos usuários nas edificações. Segundo Martau (2009) na relação da luz natural e o desempenho humano há três formas principais de análise: através do sistema visual, do perceptivo e do ciclo circadiano. Os dois primeiros fazem referência à iluminação para obter conforto visual e estimular a percepção. O terceiro trata dos estudos sobre as relações entre a iluminação e o ciclo circadiano, também chamado de ritmos biológicos. O ritmo de atividade e repouso, ritmo social, ritmo de temperatura corporal, são exemplos de ritmos biológicos no corpo que podem ser facilmente medidos e que estão associados à iluminação (MARTAU, 2009).

Recentemente (em 2002) foi descoberto mais um fotorreceptor na retina, que não está relacionado com a visão, e sim com o controle da produção da melatonina. Este receptor, dependendo da intensidade luminosa, envia sinais para glândula pineal para a controle e produção de melatonina, neuro-hormônio cuja principal função é regular o sono. Quando há pouca intensidade de luz é liberada mais melatonina provocando o sono. Assim, se a intensidade de luz que atinge a retina for muito baixa durante todo o dia, implicará em uma irregularidade no ciclo da melatonina, liberando-a em horas erradas do dia ocasionando letargia, sonolência e vários outros sintomas causados pela atividade fora de hora dos órgãos que são regulados por ela (MARTAU, 2009).

Esta descoberta revolucionou as pesquisas que exploravam o espectro, a intensidade, a duração e o tipo de luz que influenciam as respostas biológicas. Consequentemente, a atual prática da iluminação e a legislação sobre iluminação artificial, baseadas apenas em atender os requisitos visuais, podem estar totalmente inadequadas para atender os requisitos de estimulação biológica (MARTAU, 2009)

Segundo Martau (2009), devido às modificações dos hábitos humanos de trabalho e de descanso, que levam ao uso prolongado da iluminação artificial, aumentando o período do dia ou a permanência prolongada em espaços com baixos níveis de iluminação, os indivíduos estão sofrendo alterações na sua saúde.

A iluminação inadequada durante o dia é uma das características que gera a Síndrome do Edifício Doente (Sick Building Syndrome – SBS). Esta síndrome faz com que pelo menos 20% dos seus ocupantes fiquem com letargia, dificuldade de concentração, problemas respiratórios, etc, sintomas que comumente desaparecem quando os ocupantes saem do edifício (GARROCHO, 2009). Nesse sentido, Figueiró (2010), alerta sobre a importância da iluminação natural em edificações residenciais, principalmente para promover a saúde das

peessoas que passam mais tempo em casa, como idosos e crianças, que necessitam de mais cuidados quanto aos ciclos biológicos para garantir a saúde.

A qualidade da luz natural é diferente da artificial. A luz natural tem maior espectro de cores que varia conforme as horas do dia, o que permite uma maior definição de cores e formas. Possui também uma maior concentração de luz azul, que produz no organismo, pela pele, elementos que neutralizam substâncias estressoras e equilibram o corpo. A luz artificial não tem características capazes de produzir, através da pele, as substâncias que neutralizem o coquetel de hormônios estressores, que se acumulam e podem causar efeitos nocivos a saúde (MARTAU, 2009).

A luz natural é, portanto, mais vantajosa do que a luz artificial, pois promove o conforto psicológico, torna o ambiente agradável, produtivo, promovendo a saúde dos usuários sob vários aspectos.

É evidente que não se defende apenas o uso da iluminação natural, tendo em vista a necessidade da iluminação artificial no amanhecer, fins de tarde e ainda nos dias muito nebulosos. Mas como alertado por Corbella e Yannas (2009) o projeto de iluminação deve ter como base a complementação e não substituição da iluminação natural pela artificial, correlacionando às necessidades visuais, estéticas, energéticas e também às respostas do corpo e da mente.

### 2.3. Luz natural e eficiência energética

O consumo de energia elétrica no Brasil nas edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas, é bastante significativo. A Eletrobrás/Procel (2011) calcula que quase 50% da energia elétrica produzida no país seja consumida não só na operação e manutenção das edificações, como também nos sistemas artificiais, que proporcionam conforto ambiental para seus usuários, como iluminação, climatização e aquecimento de água.

O potencial de conservação de energia deste setor de edificações é expressivo. A economia pode chegar a 30% para edificações já existentes, se estas passarem por uma intervenção tipo *retrofit* (reforma e/ou atualização). Nas novas edificações, ao se utilizar tecnologias energeticamente eficientes desde a concepção inicial do projeto, a economia pode superar 50% do consumo, comparada com uma edificação concebida sem uso dessas tecnologias. (ELETROBRAS/PROCEL, 2011)

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2008 (BEN, 2008), as edificações residenciais ocupam o segundo lugar no *ranking* de consumo final de energia elétrica, com 22,1% da energia, ficando atrás apenas do uso industrial (46,7%). E os dados atuais (EPE, 2010), mostram que o setor residencial em 2009 foi o que apresentou maior aumento de consumo (de 6,5%) com relação ao ano anterior, devido a ligação de domicílios que não eram atendidos por redes elétricas, do aumento da renda per capita, aumentando o poder de

compra das famílias, e devido às políticas de redução de impostos para alguns bens de consumo durante a crise econômica mundial de 2008. Esses fatos permitiram o acesso da população aos confortos proporcionados pelas novas tecnologias, aumentando o consumo no setor (EPE, 2010).

Diante desse contexto, o setor residencial se apresenta como uma área com forte potencial para promover a conservação de energia, aliada ao conforto ambiental. É necessário, portanto, investir em pesquisas para eficiência do consumo em edificações residenciais.

Companhias de fornecimento de energia no País (CEB, 2010) informam que, de maneira geral, as geladeiras consomem a maior parte da energia nas edificações residenciais (em torno de 30%), seguida por chuveiros elétricos (em torno de 25%) e iluminação (20%). Pode-se dizer, portanto, que duas alternativas para reduzir este consumo seriam: diminuir o uso final de energia com o uso de equipamentos elétricos mais eficientes e o uso da luz natural integrada com o sistema de iluminação artificial.

Garantir iluminação natural no ambiente não resulta diretamente em economia de energia. Para que isso ocorra é necessária a diminuição da carga do sistema de iluminação artificial conseqüente da utilização da luz natural. Essa integração promove também a diminuição da carga de refrigeração do ar, caso possua na edificação, além da economia gerada pelo desligamento das lâmpadas do sistema artificial.

O Brasil tem condições de céu em geral favoráveis para o uso da iluminação natural, cujos valores estimados poderiam suprir em grande parte as necessidades de iluminação. De maneira geral, a luz solar tanto direta quanto a proveniente da abóbada celeste possui uma alta eficiência luminosa, em torno de 90-115 lm/W e 100 a 130 lm/W, respectivamente (PEREIRA, 1993). Enquanto as lâmpadas incandescentes atuais possuem em média uma eficiência luminosa de 8,8 à 17,6 lm/W e as fluorescentes compactas possuem de 50 à 60,8 lm/W (Tabela 1). Isso implica que 1 lumem de luz natural no lugar de 1 lumem de luz elétrica pode potencialmente reduzir a carga de refrigeração e ao mesmo tempo melhorar a qualidade do ambiente luminoso (PEREIRA, 1993).

**Tabela 1:** Comparação da eficiência luminosa da Luz Natural e Artificial

<b>Luz Natural</b>	<b>Eficiência (lm/W)</b>
Sol direto (altitude solar 60°)*	90 – 115
Global com céu claro*	95 – 125
Difusa com céu claro*	100 – 145
Céu encoberto*	100 – 130
<b>Luz Artificial</b>	
Incandescente**	8,8 – 17,6
Fluorescente compacta***	50 – 60,8

Fonte:

\* PEREIRA, 1993.

\*\* OSRAM, Catálogo 2009-2010 (dados de 10 lâmpadas incandescente de bulbo claro de 25W à 100W).

\*\*\* OSRAM, Catálogo 2009-2010 (dados de 13 lâmpadas fluorescentes compacta de 16 W à 21W).

Souza (1995, *apud* FERREIRA e SOUZA, 2009) verificou que o uso da luz natural pode diminuir na ordem de 35% a 70% o consumo energético com a iluminação artificial em um edifício, dependendo de parâmetros como orientação da fachada principal, nível de iluminância, densidade de potência de iluminação, profundidade das salas e se há automação. Segundo Caddet (1995, *apud* GHISI e LAMBERTS, 1997) espaços iluminados adequadamente com luz natural e sistemas de controle da iluminação artificial podem obter economia de energia em iluminação de 30% a 70%, dependendo do uso da edificação e da eficiência do sistema.

Mesmo com disponibilidade de luz natural e potencial de economia com energia, o Brasil ainda está em processo de desenvolvimento de estudos para elaboração de normas e manuais que indiquem efetivamente o que projetistas devem considerar para se beneficiar da luz natural. Além disso, mesmo com as inúmeras vantagens atribuídas ao ambiente iluminado naturalmente, existe dificuldade dos projetistas para a integração da iluminação natural em edificações, tanto em novos projetos quanto na reabilitação de edifícios.

Pereira, Pereira e Claro (2009) justificam que a luz natural é geralmente excluída do ambiente interno devido aos possíveis efeitos adversos do superaquecimento, devido a penetração da luz solar direta; ofuscamento, provocado por grande quantidade de luz, e algumas vezes pela necessidade de integridade física dos materiais.

Autores como Baker (1998), IEA (2000, *apud* AMORIM 2010) evidenciam que a pouca utilização da luz natural na arquitetura contemporânea, e apontam como causa disso a falta de conhecimento das vantagens da luz natural por parte dos projetistas e usuários, a carência de instrumentos apropriados e amigáveis para o cálculo da luz natural, e a falta de conhecimento sobre o desempenho de sistemas avançados para a luz natural e dos sistemas de controle da luz artificial.

### *2.3.1. Eficiência Energética no Brasil*

Em 1985, vinculado à Eletrobrás, foi criado pelo Ministério de Minas e Energia o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL. A atuação inicial do PROCEL caracterizou-se pela divulgação sobre conservação de energia elétrica, por meio da publicação e distribuição de manuais em vários setores sociais (PNEf, 2010). Em 1991, o Procel foi transformado em Programa de Governo, tendo abrangência e responsabilidade ampliadas e com a missão de “promover a eficiência energética, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população e eficiência dos bens e serviços, reduzindo os impactos ambientais” (ELETROBRAS/PROCEL, 2011).

Em parceria com o Inmetro, foi criado em 1998 o Selo PROCEL, com o intuito de indicar aos consumidores os equipamentos e eletrodomésticos com os maiores índices de eficiência energética em cada categoria, estimulando a fabricação e a comercialização de produtos mais eficientes, do ponto de vista energético (BRASIL, 2007).

Em 2001, como consequência da crise de abastecimento energético que o país enfrentou, intensificou-se a preocupação em promover uma demanda satisfatória de energia, juntamente com investimentos em eficiência energética, para reduzir os gastos em energia já previstos. Nesta mesma época aumentou também o interesse da sociedade em questões ambientais. Assim, ainda no período da crise de 2001, foi criada a Lei nº 10.295, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001a). Em seguida, o Decreto nº 4059, de 19 de dezembro de 2001 (BRASIL, 2001b), que regulamentou a Lei estabelecendo “níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas”. Apontou também a necessidade de “indicadores técnicos e regulamentação específica” para níveis de eficiência energética no país (INMETRO, 2009).

Em 2003, foi instituído pela ELETROBRAS/PROCEL o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA que atua de forma conjunta com o Ministério de Minas e Energia, o Ministério das Cidades, as universidades, os centros de pesquisa e entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além do setor da construção civil (ELETROBRAS/PROCEL, 2011).

Com a criação do PROCEL EDIFICA, as ações foram ampliadas e organizadas com o objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente. Em uma de suas vertentes de ação – Subsídios à Regulamentação - são determinados os parâmetros referenciais para verificação do nível de eficiência energética de edificações.

Em 2005 foi criada a Secretaria Técnica de Edificações –ST Edificações - com competência para discutir as questões técnicas envolvendo os indicadores de eficiência energética. A ST Edificações em parceria com o Inmetro desenvolveu e publicou em 2009 o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e seus documentos complementares. E em setembro de 2010 foi publicado o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R) .

O RTQ-R, apresenta os critérios para classificação completa do nível de eficiência energética do edifício residencial através de classificações parciais da envoltória (que inclui a iluminação natural e ventilação natural), e o sistema de aquecimento de água. A classificação é realizada para a Unidade Habitacional (UH), da Edificação Unifamiliar (EU), de Edificações Multifamiliares (EM) e das Áreas comuns de edificações multifamiliares. Para identificar o nível de eficiência das UHs e EUs, uma equação pondera estes sistemas da envoltória e aquecimento de água através de pesos estabelecidos no regulamento e permite somar à pontuação final bonificações que podem ser adquiridas através de uso da iluminação natural, ventilação natural, uso racional da água, uso de equipamento certificados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem, entre outros. O nível de eficiência de Edificações multifamiliares é identificado através da ponderação dos níveis das UHs. Já o nível de eficiência energética das



áreas comuns são identificados separadamente também através de uma equação que pondera através de pesos diversos parâmetros de análises, como existência de equipamentos elétricos na área comum, aquecimento de água, iluminação artificial, entre outros.

Foi publicado em 2011, o Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf 2030, que tem o objetivo de planejar em longo prazo o setor energético do país. O PNEf 2010-2030, na seção referente as edificações, está centrado na redução da energia consumida pelos sistemas destinados a promover aos usuários as “condições de conforto necessárias à habitabilidade”, excluindo (nesta seção) o consumo de energia nas outras etapas do processo construtivo da edificação. E a principal meta estabelecida no plano para as ações de eficiência energética em edificações é a economia de energia na ordem de 2,71 TWh até 2030 (PNEf, 2010).

### *2.3.2. Normalizações para promover o uso da luz natural em edificações*

No contexto brasileiro, existe uma carência de conhecimento em relação às variáveis arquitetônicas que influenciam no desempenho da luz natural no espaço construído. Por exemplo, qual deve ser a área de abertura para a iluminação de ambientes sem que haja um excesso de incidência de carga térmica? Qual deve ser a profundidade máxima dos ambientes para que haja iluminação adequada com luz natural? Qual é influência de proteções solar no alcance da luz natural nos ambientes? São inúmeras lacunas que não são abordadas de maneira satisfatória em normas, manuais ou Códigos de Obras e Edificações.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui atualmente 14 normas que regulamentam a área de aplicação em iluminação. No entanto, muitas delas estão ultrapassadas devido à falta de interesse dos profissionais (arquitetos, engenheiros e outros atuantes da área) em se dedicar ao estudo e criação de normas mais atualizadas. Além disso, a tendência de universalização dos conteúdos das normas está levando os profissionais a trabalhar com as últimas tendências tecnológicas, constantes das chamadas normas internacionais, atualizadas mais amíúde, e que atendem em parte às suas necessidades (CASTELLAN, 2007).

Uma das normas da ABNT mais recentes na área de iluminação, é a NBR 15215 (ABNT, 2005), que foi publicada em março de 2005, e que aborda o uso da luz natural em edificações. Para isso, a 15215 está dividida em 4 partes, Parte 1 – Conceitos básicos e definições; Parte 2 – Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural; Parte 3 – Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos; Parte 4 – Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Esta norma foi um grande passo para o uso da iluminação natural em edificações, no entanto não é de fácil utilização para a prática projetual, e não relaciona diretamente as condições de iluminação natural com as variáveis arquitetônicas.

Em 2008 foi publicada a NBR 15.575 (ABNT,2008) – “Desempenho para Edifício Habitacionais de até 5 Pavimentos”. Nesta norma são abordadas diversas questões sobre o

desempenho de edificações residenciais, com o foco “nas exigências dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto ao seu comportamento em uso e não na prescrição de como os sistemas são construídos” (NBR 15.575, 2008). Desta forma, a NBR avalia questões como durabilidade dos sistemas, a manutenibilidade da edificação e o conforto tátil (conforto térmico, conforto lumínico e conforto acústico) e conforto antropodinâmico dos usuários.

No item de conforto lumínico, a NBR 15.575, define que durante o dia os ambientes de permanência prolongada (salas e dormitórios), cozinhas, área de serviço e banheiros, devem cumprir o nível mínimo de iluminamento de 60 lux, atendido apenas com iluminação natural. A norma indica a obrigatoriedade de atender o nível mínimo, mas recomenda que para promover maior conforto para os usuários deve-se utilizar o nível intermediário ou superior (conforme Tabela 2). No entanto, não é informado em que área do ambiente e em que condições (horário, época do ano, etc.) devem-se comprovar estes níveis.

**Tabela 2:** Nível de iluminamento Natural para edificações residenciais

Ambientes	Nível de iluminamento natural		
	Mínimo	Intermediário	Superior
Sala de Estar	≥ 60 lux	≥ 90 lux	≥ 120 lux
Dormitório			
Copa / Cozinha			
Banheiros			
Área de Serviço			
Corredor ou escada interna à unidade	Não exigido	≥ 30 lux	≥ 45 lux
Corredor de uso comum (prédios)			
Garagens / estacionamentos			

Fonte: ABNT 15575 – 1, 2008. Anexo E3

As normas brasileiras referentes à iluminação natural e artificial, apesar de serem importantes referência para projeto e *retrofit* de edificações e para revisões de códigos e legislações, de maneira geral ainda utilizam dados isolados de iluminância, ou apresentam cálculos para a quantificação da luz no ambiente sem integração com variáveis arquitetônicas. Por exemplo, não há informações de quais características arquitetônicas devem ser atendidas para garantir determinada condição de iluminação.

Fernandes (2009) realizou uma pesquisa acerca dos Códigos de Obras brasileiros e verificou que as exigências para iluminação natural são relativas às áreas de aberturas mínimas em função da área de piso de cada ambiente. No entanto, não há estudos mais aprofundados que justifiquem as áreas adotadas. A autora ainda verificou que o Código de Obras do Distrito Federal exige área de abertura de 1/8 da área de piso para ambientes de permanência prolongada; já nos Modelos de Código de Obras elaborado pelo IBAM/PROCEL<sup>1</sup> (1997), e nos Códigos de Obras das cidades de Salvador, Porto Alegre, Paracatu, Natal, Florianópolis, no

<sup>1</sup> A partir de uma parceria entre o PROCEL e o IBAM (Instituto Brasileiro de Administração Municipal), foi desenvolvido por Sérgio Rodrigues Bahia e equipe técnica, em 1997, um Modelo de Elaboração de Códigos de Obras e Edificações.

Caderno de Encargos do RJ a proporção exigida é de 1/6. Já no Código de Mogi das Cruzes são exigidas aberturas com áreas de 1/5 da área de piso para estes ambientes.

Buson (1998) questiona os valores de área mínima de aberturas para iluminação natural adotados nos códigos, que na maioria das vezes “foram copiados de outros códigos, sem adaptação para a realidade do local”. Vale destacar que os Códigos de Obras são diferentes em cada Estado, com o princípio de que devem refletir as necessidades específicas do clima de cada região, no entanto não é isso que é observado.

Destaca-se também que nas regras presentes nos códigos não há indicação de área máxima envidraçada, podendo levar à interpretação de que quanto mais aberturas e painéis de vidro em um edifício, mais iluminado ou ventilado ele será, podendo induzir a construções com muita carga térmica e excesso de luz, provocando desconforto e maior gasto de energia (FERNANDES, 2009). Além disso, elementos de proteção, como beirais, varandas, brises e cobogós não são devidamente considerados. Dessa forma, limitar as preocupações com a iluminação natural apenas pelo dimensionamento das aberturas é uma simplificação preocupante, presente na maioria dos Códigos de Obras brasileiros.

Já no contexto internacional algumas normas e recomendações relacionam, por exemplo, a altura das aberturas e a profundidade limite de ambientes internos para o aproveitamento da luz natural. Reinhart (2005) cita algumas regras a este respeito como a “Tips for Daylighting”, que indica que deve-se “manter a profundidade dos ambientes entre 1,5 e 2 vezes a altura da verga da janela para garantir níveis adequados de iluminação e boa distribuição da luz” (O’Connor et al. 1997, p. 3-1, *apud* REINHART, 2005); e o Daylighting Guide for Buildings o qual informa que “há uma relação direta entre a altura da verga da janela e a profundidade de penetração da luz natural. Uma iluminação adequada normalmente penetra 1,5 vezes a altura da verga da janela, podendo penetrar em até 2 vezes considerando-se raios solares diretos” (Robertson K. 2005, p.4, *apud* REINHART, 2005). Desta forma, Reinhart (2005) verificou diversas regras que limitam a profundidade do ambiente, e que elas variam de 1,5 vezes a altura da janela a 2,5 vezes, conforme tabela resumo do autor (Tabela 3).

**Tabela 3:** Tabela resumo das regras internacionais de limite da profundidade do ambiente em relação a altura da janela

Diferentes versões de regras gerais para Iluminação Natural	Referência
A luz natural em um edifício apenas será significativa cerca de duas vezes o pé-direito de uma fachada envidraçada.	A Green Vitruvius, p.72 (Cofaigh et al. 1999)
A profundidade máxima da área com iluminação natural corresponde a <b>2,5 vezes</b> a diferença entre o topo da janela e a altura do plano de trabalho.	DIN V 18599 part 4 (DIN V 18599 2005)
Uma janela comum pode gerar iluminação útil a uma profundidade de cerca de <b>1,5 vezes</b> a altura da janela. Com prateleiras de luz ou outros sistemas refletores esta distância pode ser aumentada em duas vezes ou mais.	US DOE – Building Toolbox Design Construct & Renovate Integrated Building Design Passive Solar Design (US-DOE 2005)
Manter a profundidade dos ambientes entre <b>1,5 e 2 vezes</b> a altura do topo da janela para níveis adequados dos níveis de iluminação e boa distribuição da luz.	Tips for <i>Daylighting</i> , p. 3-1 (O’Connor et al. 1997)

Ambientes com profundidade de <b>1,5 vezes</b> a altura do topo da janela permitem que a luz do sol gere níveis adequados de iluminação e boa distribuição da luz.	<i>Daylighting Guide for Canadian Commercial Buildings</i> , p.23 (Enermodal 2002)
Há uma relação direta entre a altura da janela e a profundidade de penetração da luz natural. Uma iluminação adequada normalmente penetra <b>1,5 vezes</b> a altura da janela, podendo penetrar em até <b>2 vezes</b> considerando-se raios solares diretos.	<i>Daylighting Guide for Buildings</i> , p.4 (Robertson K. 2005)
Para evitar grandes variações entre níveis de iluminância (maiores que 25:1), a distância da parede da janela à parede interna deveria ser limitada a 2 vezes a altura da janela com vidros incolores.	IESNA Lighting Handbook 8-24 (IESNA 2000)

Fonte: Tabela adaptada de Reinhart, 2005

Essas regras são amplamente utilizadas por projetistas em geral, apesar de serem vagas e não possuírem justificativas por meio de pesquisas que efetivamente demonstrem o uso dos valores por elas aplicados. Nessas regras não é claro, por exemplo, o que é considerado como nível de iluminância natural mínima, nem para quais regiões climáticas, ou tipo de edifícios e orientações de fachadas em que podem ser aplicadas (REINHART, 2005).

A ampla utilização destas regras acontece devido à simplicidade das mesmas (não há necessidade de cálculos) e de sua relevância para o projeto (ligação direta entre as proporções do ambiente e o tamanho da área iluminada naturalmente).

Para estabelecer normas ou regras de iluminação devem ser levadas em consideração as características de cada localidade e edificação, pois o nível de iluminação natural de uma edificação varia em função da condição do céu, da posição do sol, latitude, época do ano, horário, etc. Além disso, inúmeras variáveis da edificação também influenciarão no comportamento da luz natural, tais como a dimensão e forma dos ambientes (largura, profundidade e altura), área e forma das aberturas, refletâncias internas (paredes, teto e piso), além do uso de proteções solares e elementos de distribuição da luz natural.

No entanto, os valores apresentados na maioria das normas ou códigos não estão alinhados com este contexto, possuindo informações genéricas e às vezes inapropriadas para o uso em determinada localidade. É importante, portanto, estudar regras para a iluminação natural em edifícios, embasadas em conceitos científicos, adequadas às diversas tipologias e adaptadas aos contextos climáticos.

## 2.4. Variáveis da Iluminação natural

A luz natural, proveniente do sol, ao atravessar a atmosfera em parte atravessa em forma de feixes de luz direta (luz direta) e outra parte é difundida pela poeira, vapor de água e outros elementos em suspensão no ar (luz difusa) (VIANNA; GONÇALVES, 2007). Por isso, a disponibilidade de luz em determinado local varia de acordo com a posição solar e às condições de céu (claro, encoberto, poluído, etc). Além disso, o entorno da edificação a qual o ambiente está inserido, provocará mais ou menos reflexões da luz que chegará ao ambiente,

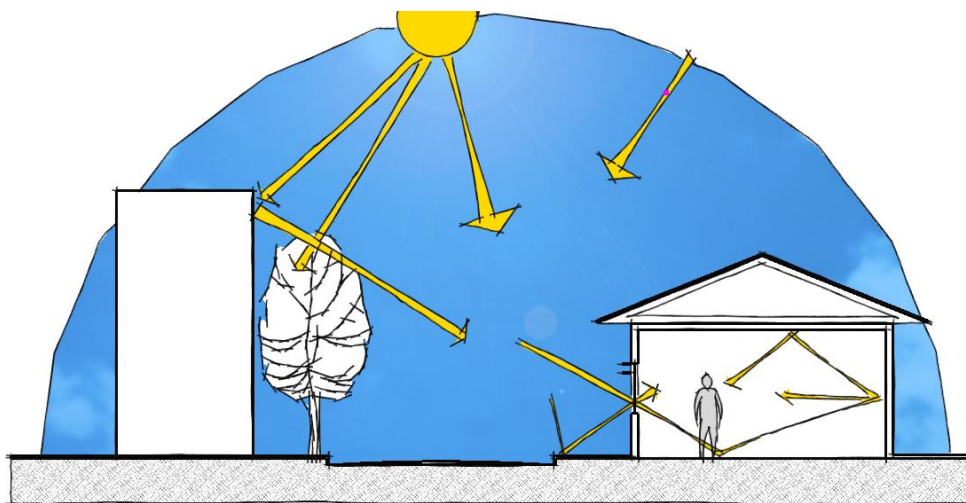
de acordo com o grau de obstrução visual das aberturas (permitindo mais visão de céu ou não), assim como as características das superfícies desse entorno (cor e textura) (VIANNA; GONÇALVES, 2007).

Para chegar ao ambiente interno, a luz ainda sofrerá influência de possíveis proteções solares existentes na edificação, como beirais, brises e outros elementos utilizados para controle solar. De acordo com as características desses elementos, a luz direta pode ser barrada e permitir apenas a entrada da luz difusa com mais ou menos intensidade, conforme for as superfícies dos elementos de proteção.

Por fim, para a luz penetrar no ambiente ela atravessa as aberturas, que podem variar de posição (aberturas laterais ou zenitais), orientação, dimensão, formato e podem permitir a entrada da luz por um vão aberto ou por elementos translúcidos ou transparentes, como vidros. Estes por sua vez, possuem características específicas quanto transmissividade e sofrem efeito do tempo, acumulando sujeira aumentando a opacidade.

Após entrar no ambiente, a luz se distribuirá de acordo com as características deste ambiente, como sua profundidade, largura, cor e textura das superfícies, além dos objetos existentes que também influenciarão na distribuição da iluminação.

A Figura 1 ilustra as principais variáveis que influenciam no comportamento da luz natural para o iluminamento do ambiente interno.



**Figura 1:** Ilustração com comportamento da Luz natural

Apresenta-se a seguir as variáveis externas e variáveis arquitetônicas de forma mais detalhada.

#### *2.4.1. Variáveis Externas*

Como dito anteriormente, a luz que penetra nas aberturas de um edifício, varia de acordo com a quantidade da radiação solar direta, a quantidade de luz proveniente da abóbada

celeste e da quantidade de luz proveniente das reflexões de obstruções externas (entorno edificado, terreno e vegetação).

Assim, a disponibilidade de luz natural é influenciada pelo movimento diário e sazonal do sol na abóbada celeste, que produz um padrão de quantidade e direcionalidade da luz natural. É relativa a uma localidade no globo terrestre e está diretamente influenciada por mudanças de clima, temperatura e poluição do ar (IESNA, 2000, *apud* TOLEDO, 2008).

Pela natureza dinâmica da luz natural e conseqüente variação das condições de iluminação, é necessário ter informações sobre a disponibilidade de luz natural da região para onde se projeta. Scarazzato (1995) salienta que uma das maiores dificuldades no estudo da iluminação natural do ambiente construído diz respeito à falta de informações confiáveis sobre a disponibilidade de luz natural na localidade objeto de estudo, as quais podem ser obtidas apenas de duas maneiras: por meio de medições sistematizadas, o que pressupõe a existência de recursos materiais e humanos, bem como de um período de tempo suficientemente longo para evitar erros decorrentes de atipicidades sazonais ou anuais, e por meio da utilização de algum modelo preditivo suficientemente embasado em conceituações previamente testadas. No Brasil há somente duas estações de medição (em Florianópolis e em Belo Horizonte), o que evidencia a carência de dados sobre a disponibilidade de luz natural no país (TOLEDO, 2008).

Diante da escassez de dados, foi desenvolvido o programa DLN (SCARAZZATO, 1995), que calcula através das equações da IES<sup>2</sup>, para qualquer localidade (latitude e longitude) e data, as iluminâncias médias direta, difusa ou global (direta + difusa) para céu claro, parcialmente nublado e encoberto, sobre planos horizontais ou verticais em diversas orientações. Também pode calcular a luminância em qualquer ponto da abóbada celeste, a partir da altura solar e azimute, para as mesmas condições de céu anteriores (SCARAZZATO, 1995).

Para desenvolver estudos a cerca da iluminação natural é necessário o uso de um banco de dados dos níveis de radiação solar disponível ao longo do ano na localidade estudada. Este tipo de informação também pode ser fornecido sob a forma do arquivo climático, que contém dados meteorológicos, considerados como típicos de dada localidade. Esses arquivos climáticos que podem ser denominados de TRY (Test Reference Year), fornecem dados do perfil anual típico do clima da localidade em dados horários, tais como temperatura, direção e velocidade do vento, tipo do céu, e níveis da irradiação direta e difusa.

Com relação ao entorno da edificação, Moraes e Scarazzato (2003) citam que o adensamento urbano e a verticalização das edificações são questões que dificultam o aproveitamento da iluminação natural no espaço urbano. Para Ünver (2003, *apud* LEDER *et al.* 2008), a obstrução do céu se caracteriza como um dos fatores de maior influência na luz natural presente no ambiente interno. Por isso, diversos autores tentam inserir indicadores de

---

<sup>2</sup> Illuminating Engineering Society of North America (IES, 1984) – equações resultantes de uma ampla investigação sobre inúmeras outras propostas idealizadas por pesquisadores de vários países, abrangendo um intervalo de tempo de cerca de sessenta anos. Do estudo feito, chegou-se à conclusão de que embora os modelos fossem distintos entre si, as curvas médias resultantes eram sempre muito similares, o que permitiu a derivação de algoritmos universalmente aplicáveis (SCARAZZATO, 1995. p. 518).

controle da obstrução do céu em legislações urbanas. O objetivo é o de preservar o acesso à iluminação proveniente da abóbada celeste, a partir pontos da fachada ou do limite do terreno, e são estudados ângulos para os quais a visão de céu deve estar desobstruída, garantindo à edificação condições mínimas de acesso à luz natural.

Esses preceitos já foram desenhados por Vitruvius no séc. XV (2006), o qual recomendava que todos os edifícios tivessem acesso à luz solar e, para isso, indicava a necessidade da visão de céu da janela do edifício.

Considerando essas premissas descritas, Leder *et al* (2008), desenvolveram um parâmetro de controle do direito à luz natural no meio urbano, caracterizado por três aspectos principais: a) a contribuição de luz relativa de diferentes parcelas da abóbada celeste; b) o efeito redutor associado ao cosseno do ângulo de incidência; c) o percentual de visibilidade da abóbada pelo ambiente interno. Essas três variáveis permitiram determinar uma zona angular onde o potencial da iluminação natural nos ambientes internos é máximo, denominada de Janela de Céu Preferível (JCP). Assim, quanto maior a desobstrução da JCP, maior será o aproveitamento desse potencial

Scalco *et al* (2010), desenvolveram uma metodologia para verificar o impacto de novas edificações em vizinhanças urbanas com relação às condições mínimas de insolação e iluminação natural, ressaltando que nem sempre a insolação é requerida em algumas regiões ou épocas do ano.

Por outro lado, Araújo e Cabús (2007) avaliaram a contribuição da luz refletida pelo entorno em cânions urbanos no clima quente úmido e verificaram que quanto maior o ângulo de obstrução vertical da janela, maior é a contribuição da luz refletida para iluminância do ambiente. Em ambientes localizados em cânions de grande altura, as reflexões da radiação solar, devem ser consideradas como principal contribuição para as iluminâncias internas.

Apesar da relevância do entorno como uma variável que influencia a disponibilidade, a intensidade e a distribuição da luz natural no ambiente interno, este é de difícil representação para análise, devido às inúmeras possibilidades de combinações dos elementos que compõem o entorno, como distribuição e altura da massa edificada, cor e textura, e cada combinação pode influenciar diferentemente a luz natural no ambiente interno. Por isso, nessa pesquisa, foi considerado o entorno livre de obstruções, considerando, a disponibilidade da luz natural de cada cidade estudada de acordo com as informações disponíveis em arquivos climáticos sobre a radiação solar durante o ano.

#### *2.4.2. Variáveis arquitetônicas em edifícios residenciais*

Para tirar partido dos benefícios oferecidos pela luz natural no ambiente é necessário compreender as variáveis da arquitetura que influenciam em seu desempenho. Com esse propósito é importante analisar as possibilidades disponíveis na arquitetura. O primeiro passo é compreender o efeito das diversas variáveis arquitetônicas no comportamento da luz natural

e em seguida, verificar as diferentes combinações, juntamente com o desempenho luminoso do ambiente.

Verifica-se que a luz natural penetra efetivamente no ambiente interno do edifício por aberturas laterais e/ou zenitais, poços de luz e podem ter elementos de controles ou não. A partir deste princípio, Baker e Steemers (2002) indicam uma classificação dos principais componentes de projeto para iluminação natural. Segundo os autores, estes podem ser classificados em componentes de condução, componentes de passagem e elementos de proteção e controle, podendo estes serem utilizados isoladamente ou em combinados.

Os Componentes de condução são espaços que antecedem ambientes internos, como átrios, poços de luz, ou dutos de luz e que permitem a luz chegar ao centro do edifício para melhor distribuição pelos ambientes (Figura 2). Podem ser também ambientes envidraçados que antecedem o espaço interno, tais como as estufas (Figura 3), que permitem a passagem da luz, criando um espaço mais aquecido, típicos de climas temperados (BAKER e STEEMERS, 2002).

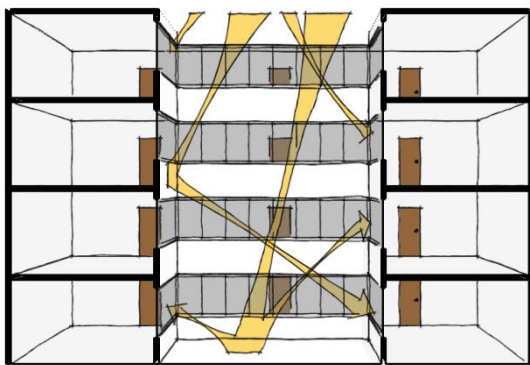


Figura 2: Ilustração de um átrio de luz

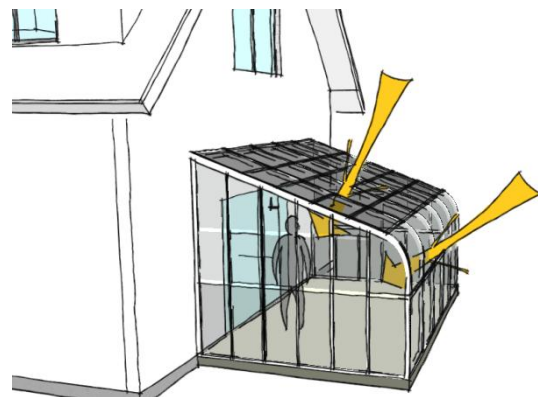


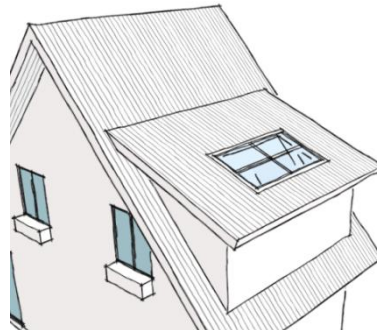
Figura 3: Ilustração de uma estufa

Os componentes de passagem são aberturas que permitem a passagem da luz para o interior do ambiente, sendo subdivididos em: componente de passagem lateral, que são janelas e portas translúcidas (Figura 4), componentes de passagem zenitais, que são aberturas zenitais (figura 5) e componentes de passagem global, que são superfícies de vedação totalmente translúcidas, tanto laterais quanto zenitais, similares a estufas, mas estão contidos diretamente no ambiente. Os componentes de passagem podem ou não ser precedidos por componentes de condução, ou adicionados de elementos de proteção (BAKER e STEEMERS, 2002).



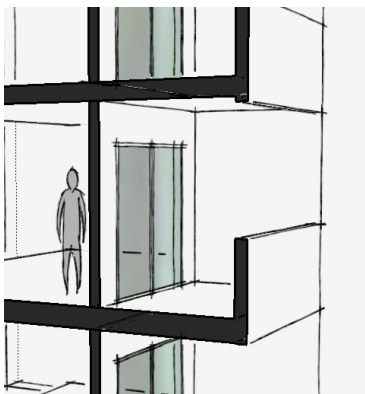


**Figura 4:** Componentes de passagem - aberturas laterais

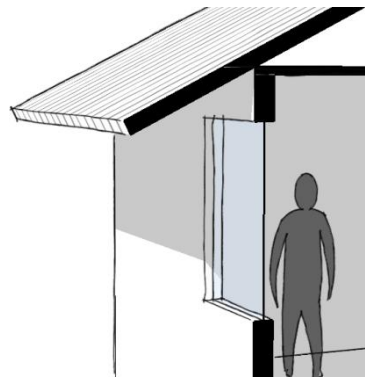


**Figura 5:** Componente de passagem - abertura zenital

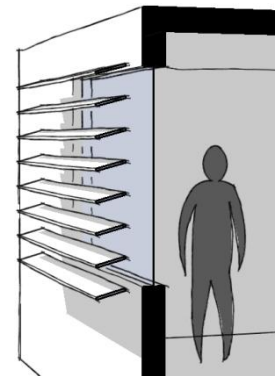
Baker e Steemers, (2002) descrevem que os elementos de proteção e controle servem como filtros e barreiras que protegem os ambientes internos do meio externo. Estes elementos são acrescentados aos componentes de passagem com o intuito de restringir a passagem de luz solar direta e/ou redirecionar a luz que chega ao interior do ambiente. Os autores Rojas, San Juan e Rosenfeld (1999, apud BOGO,2007) apresentam diversos sistemas de controle solar, classificados quanto às variáveis de projeto, como disposição, forma, mobilidade de seus elementos e material construtivo. Os autores apresentam uma classificação sintética dos sistemas de controle solar em dois grupos. O primeiro enquadra os sistemas de controle solar que criam espaços sombreados intermediários entre o ambiente exterior e o interior, como galeria, sacada coberta, telas rígidas, volumes do próprio edifício, elementos naturais (Figura 6). O segundo grupo reúne as proteções solares aderidos diretamente na envoltória do edifício como quebra-sol, beiral, marquise, toldo, teto de sombra (Figuras 7 e 8).



**Figura 6:** Proteção solar varanda e volume do edifício



**Figura 7:** Proteção solar do tipo beiral.



**Figura 8:** Proteção solar do tipo brise.

Após atravessar a abertura/janela a luz natural se distribuirá no ambiente de acordo a área e a posição das aberturas, com a profundidade do ambiente e com a cor e textura das superfícies. Nesse sentido, Hopkinson, Longmore e Petherbridge (1975), descrevem que ao projetar uma janela deve-se levar em consideração a ventilação, a proteção contra as intempéries, o isolamento contra ruídos exteriores e, principalmente, proporcionar vista para o exterior e permitir que a luz penetre no edifício e se distribua de modo que resulte em uma iluminação satisfatória.

A seguir são abordadas mais detalhadamente algumas das variáveis apresentadas, que estão relacionadas com o desenvolvimento deste trabalho.

a) *Área de abertura e profundidade dos ambientes*

O dimensionamento adequado da área de abertura em relação à fachada do edifício e aos ambientes internos é essencial para garantir o conforto dos usuários e a iluminação natural satisfatória. Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1980, *apud* BOGO, 2007, p. 42), evidenciam a necessidade de “controlar cuidadosamente a desejável luz natural no interior dos edifícios, pois, mesmo nos climas temperados, os usuários desejam receber luz solar nos períodos por ela desejados”.

Ao mesmo tempo em que aberturas amplas podem garantir melhores níveis de luz natural e garantir vista para o exterior, há um limite da iluminância que permite o conforto visual. E ainda, janelas muito grandes permitem maiores trocas térmicas com ambiente externo (condução, convecção e radiação), podendo gerar desconforto térmico devido ao aumento da transmissão de carga térmica para o interior, acarretando no maior consumo de energia pelo sistema de condicionamento de ar. Sobre esta questão, Bogo (2007) afirma que:

A luz natural difusa é a mais desejada, com menores possibilidades de ocorrerem problemas de ofuscamento, menor ganho de calor para o ambiente interno, sendo uma luz homogênea, com melhor distribuição do que a luz solar direta inadequada para as atividades de trabalho nos ambientes internos (BOGO, 2007, p. 42).

Assim, a proporção entre área envidraçada e área opaca na fachada e a existência ou não de elementos de proteção solar, deve ser equilibrada de maneira adequada às necessidades de iluminação natural, vista para o exterior e as questões termo-energéticas.

A relação entre a área de janela e a área de fachada do edifício é abordada com diferentes nomenclaturas e é utilizada como um critério de análise do desempenho da luz natural e/ou desempenho térmico do edifício. Tradicionalmente esta relação entre a área de fachada e área de janela é conhecida por WWR (Window Wall Ratio), já no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) é definido como PAF (Percentual de Abertura na Fachada).

Neste Regulamento (RTQ-C), o PAF é a relação entre a área de fachada e área de abertura e é utilizada na equação que define o nível do desempenho energético da edificação (INMETRO, 2010a). Esta relação é importante para quantificar a influência das aberturas no comportamento térmico do edifício que está intimamente ligada à irradiação solar.

Ghisi et al (2005) apontam diversas pesquisas que descrevem a relação da área de abertura e da forma do ambiente e o consumo de energia, mostrando o conflito entre a necessidade de iluminação natural e vista para o exterior, relacionadas às dimensões ideais das aberturas, para promover conforto ambiental dos usuários e baixo gasto energético. Salvador e Mascarenhas (1995, *apud* Ghisi et al, 2005) verificaram que edifícios com área de

janela superior a 40% da área de fachada apresentaram um consumo de energia aproximadamente maior que aqueles com área de janela inferior a 20%. Bodart e de Herde (2002, *apud* Ghisi et al, 2005) com uma pesquisa realizada concluíram que o consumo de energia (por unidade de área de piso) com a iluminação artificial diminui à medida que a largura da salas aumenta. E Gratia e de Herde (2003, *apud* Ghisi et al, 2005) afirmam que o tamanho das janelas, a forma da edificação, a profundidade e a altura das salas podem, conjuntamente dobrar o consumo de energia de uma edificação.

As maiorias das pesquisas científicas citadas indicam a relação entre a área de abertura e a influência térmica do ambiente e/ou sua eficiência energética. No entanto ainda são poucos os estudos que relacionam a área de abertura com as condições de iluminação no ambiente. Os Códigos de Obra do país, como descrito no item 2.3.2 deste trabalho, apesar de relacionarem a área de abertura com a área de piso para promover iluminação natural ou ventilação natural nos ambientes, não indicam quanto de iluminância será promovida com o cumprimento das proporções definidas.

Outra questão é que a iluminação natural por aberturas laterais possui como característica a desuniformidade em termos de distribuição no ambiente, pois o nível de iluminância diminui rapidamente com o aumento da distância da janela. Ou seja, ambientes profundos são prejudicados quanto à iluminação natural, quando possuem aberturas laterais em apenas uma fachada (VIANNA e GONÇALVES, 2001).

Por outro lado, Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005) indicam que ambientes mais profundos, apesar de não serem indicados para uma boa iluminação natural, são mais eficientes energeticamente, quando utilizado sistema artificial de condicionamento de ar e sistema integrado da iluminação artificial com a iluminação natural, indicando uma incompatibilidade dos preceitos para uma boa iluminação natural e eficiência energética total de um edifício. Os autores recomendam que mais pesquisas sejam desenvolvidas para investigar as áreas mínimas recomendadas para garantir vista para o exterior em função não apenas da profundidade dos ambientes, mas também em função da largura do ambiente, da geometria, da orientação e da localização geográfica (principalmente da latitude).

Para determinar a profundidade máxima do ambiente que possui apenas uma abertura lateral é comumente utilizado o valor de 1,5 a 2 vezes a altura da verga da janela, para que seja iluminado com luz natural, como citado por Vianna e Gonçalves (2007):

Normalmente, se considera a profundidade de eficiência da penetração da luz como dependente da relação entre a altura do piso e a parte superior da abertura e igual a aproximadamente 1,5 a 2 vezes esta altura (VIANNA E GONÇALVES, 2007, p. 129).

No entanto, os autores não apresentam maiores explicações sobre o uso desses valores. Da mesma forma, a relação entre a altura da verga da janela com a profundidade limite do ambiente é abordada por diversas regras estrangeiras. Reinhart (2005) lista inúmeras dessas

regras (item 2.3, Tabela 3 - Tabela resumo das regras internacionais de limite da profundidade do ambiente em relação a altura da janela) que indicam uma profundidade limite de 1,5 a 2,5 vezes a altura da janela para promover iluminação adequada. Vianna e Gonçalves (2007) também citam que “se considera a profundidade de eficiência da penetração da luz” a profundidade entre 1,5 a 2 vezes a altura da janela. Reinhart (2005) informa que não há pesquisas que justifiquem o uso desses valores, tampouco o nível de iluminação que essas dimensões garantem (Figura 9).

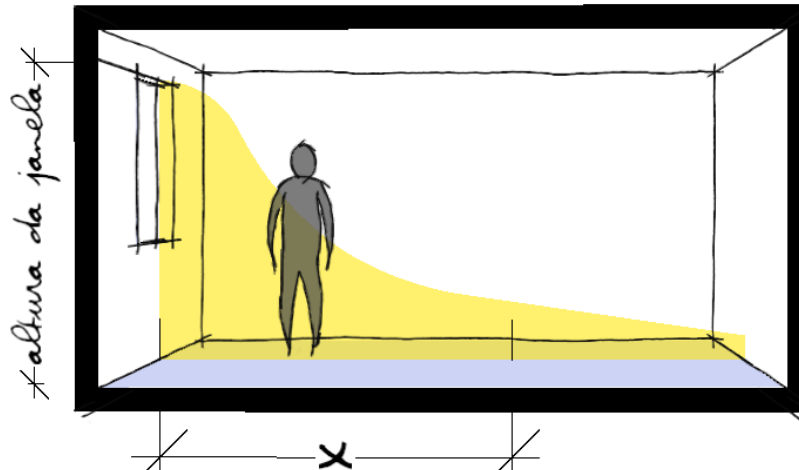


Figura 9: Esquema da relação entre a altura da janela e a profundidade do ambiente para garantir iluminação adequada no ambiente.

Portanto, há o questionamento do que essa profundidade limite representa em termos de iluminação natural do ambiente, ou qual é a profundidade limite do ambiente para garantir condições mínimas (e conhecidas) de iluminação natural?

#### b) Refletâncias internas

Hopkinson, Longmore e Petherbridge (1975), lembram que apesar de a janela permitir a penetração da luz natural no ambiente são as características das superfícies internas que mais influenciarão na distribuição da luz natural ao longo do ambiente, que por reflexões permitirão atingir maior profundidade no espaço e diminuirão os contrastes entre a área iluminada diretamente e a área sombreada. Essas características internas dizem respeito à forma do ambiente, ao tipo e posição dos móveis e ao acabamento das superfícies internas (CARAM, et al, 2001)

Quando a luz incide nas superfícies opacas parte dela é absorvida e parte dela é refletida. Assim a razão entre a luz refletida e a luz incidente na superfície, é a da refletância da superfície, também conhecida como fator de reflexão (ABNT, 1998a). E a relação da luz incidente com a absorvida pela superfície é a da absorvância.

Assim, uma superfície pode absorver ou refletir mais ou menos radiação luminosa, de acordo com sua cor e textura. Uma superfície branca, por exemplo, reflete entre 80% e 98% de luz visível, e a cor preta reflete entre 0% e 4% (OKIMOTO, MARCHI e KRÜGER 2008). No

entanto, esses valores podem variar se a superfície for lisa e polida ou áspera e fosca. Torna-se importante, então, o estudo das refletâncias das cores em diversos tipos de superfícies para que se conheça e se determine o padrão de iluminação dos ambientes (CARAM, et al, 2001).

No Brasil ainda os fabricantes de tintas e outros revestimentos, não fornecem, em geral as informações sobre a refletância ou absorvância dos materiais. Da mesma forma, ainda há poucas pesquisas a respeito do comportamento luminoso dos materiais frente à radiação solar (CASTRO, et al, 2003) e a literatura técnica especializada dispõe de apenas alguns valores médios da refletância da luz, na maioria das vezes bastante genéricos, imprecisos e desatualizados.

Diante da escassez de informações, Dornelles (2008) realizou uma pesquisa na qual verificou a refletância de 78 amostras de cores de tinta utilizadas em superfícies opacas de edificações no Brasil, medidas por meio do espectrofotômetro e propôs 3 métodos para determinação da absorvância solar de superfícies opacas.

A tabela 4 reúne alguns dados de absorvância publicados no Brasil e exterior, compilados e apresentados por Dornelles (2008) e convertidos aqui em Refletância solar (Refletância = 1 - absorvância). Nesta tabela também foram acrescentados os resultados das cores branca, branco gelo e preto identificadas na pesquisa apresentada por Dornelles (2008).

**Tabela 4:** Valores de refletância solar publicados por diversos autores

<b>Autores</b>	Rivero (1986)	Szokolay (1987)	Mascaró (1991) *	Frota e Schiffer (1995) **	Lamberts, Dutra e Pereira (1997)	ASHRAE (2001)	ABNT (2005b)	Dornelles (2008) ***
<b>Cores</b>								
Escuras	0,15-0,02	-	0,30-0,15	-	0,30-0,10	0,35-0,20	-	-
Médias	0,35-0,20	-	0,50-0,30	-	0,50-0,30	-	-	-
Claras	0,75-0,50	-	0,70-0,50	-	0,80-0,50	-	-	-
Preta	-	0,04	0,08-0,04	0,10-0,00	-	0,15-0,02	0,03	0,02-0,03
Vermelha	-	-	0,35-0,10	0,70-0,30	-	0,35-0,20	0,26	-
Amarela	-	-	0,70-0,30	0,70-0,50	-	0,50-0,30	0,70	-
Branca	-	0,70	0,95-0,85	0,80-0,70	-	0,77-0,51	0,80	0,81-0,68
Branco gelo	-	-	-	-	-	-	-	33,3 - 48,9
<b>Tipo de Superfície</b>								
Pinturas betuminosas	0,15-0,02	0,10	-	-	-	-	0,15-0,02	-
Concreto aparente	0,35-0,30	0,45	0,40-0,25	-	-	0,15-0,20	0,35-0,20	-
Tijolo cerâmico vermelho	0,35-0,20	0,46	-	0,35-0,20	-	0,35-0,20	0,35-0,20	-
Telhas de barro vermelho	-	0,35	-	-	-	0,35-0,20	0,25-0,20	-
Chapas de alumínio (novas)	0,60-0,35	-	0,70-0,60	-	-	0,60-0,35	0,95	-
Aço galvanizado (novas)	0,60-0,35	-	-	0,60-0,35	-	0,60-0,35	0,75	-
Pintura com cal	-	-	-	-	-	-	0,88-0,85	-

\*Mascaró (1991) cita Cintra Prado (1961) com dados originalmente em refletância.

\*\*Frota e Schiffer (1995) citam Croiset (1972) para cores de pinturas e Koenigsberger et. (1977) para cores de diferentes superfícies.

\*\*\*Dornelles (2008). Na tabela original não são incluídos os dados medidos pela autora.

**Fonte:** Adaptado de DORNELLES, 2008

Steffy (1990, *apud* SOUZA, 2003) destaca que a escolha das refletâncias das superfícies internas de um ambiente é muito importante em um projeto de iluminação. A utilização de

superfícies com altos índices de reflexão poderá melhorar significativamente o rendimento do sistema de iluminação, aumentando o nível de iluminamento geral do ambiente sem que seja necessário aumentar o fluxo luminoso das fontes de luz. Na tabela 5 apresentam-se valores de refletâncias típicas de ambientes de trabalho que, de acordo com o autor, são baseados em refletâncias reais (Tabela 5).

**Tabela 5:** Refletâncias de superfícies em ambientes de trabalho

Superfície	Refletância	Material
Pisos	10% a 20%	Carpete
		Madeira
		Lajota
Tetos	70% ou mais	Gesso
Paredes	30% a 50%	Tetos pintados com cores claras
		Paredes pintadas com cores médias

Fonte: Adaptado de Steffy, 1990, *apud* SOUZA, 2003,

Vianna e Gonçalves (2007) destacam que apesar do arquiteto não ter controle da variável refletância das superfícies, pois o usuário tem participação decisiva na escolha da cor das superfícies internas do ambiente, é necessário ter uma atenção especial com esta variável quando é necessária certa acuidade visual no ambiente. Assim, os autores recomendam que o teto do ambiente deve ser sempre claro (preferencialmente branco), tendo em vista esta ser a principal superfície de contribuição para a reflexão da luz para o plano de trabalho. Para essas superfícies adota-se um coeficiente de reflexão de aproximadamente 0,7. As paredes também devem ser claras, pois são a segunda superfície importante em termos da componente de reflexão interna. E sob aspecto quantitativo, para cálculos, adota-se uma refletância de 0,5, devido ao fato que normalmente possui móveis, quadros nas paredes e aberturas de vidro, o que diminui o valor médio da refletância. Por fim, para o piso o valor adotado para refletância é de aproximadamente 0,10 ou 0,2, pois esta superfície contribui muito pouco para a quantidade de luz incidente no plano de trabalho, independente da sua cor real.

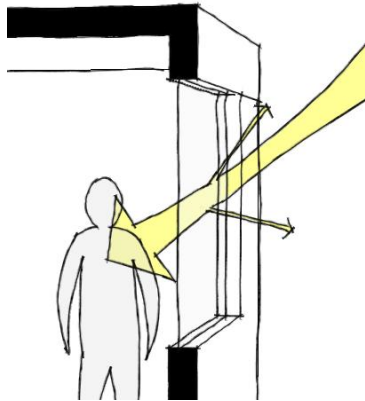
Observa-se que os valores apresentados por Steffy (1990, *apud* SOUZA, 2003) se aproximam dos valores apresentados por Vianna e Gonçalves (2007), e esses valores são coerentes com os dados apresentados na Tabela 4 para materiais similares. Portanto, os valores apresentados por Steffy (2004) se apresentam como um bom indicativo de padrão de uso.

### c) Proteções solares

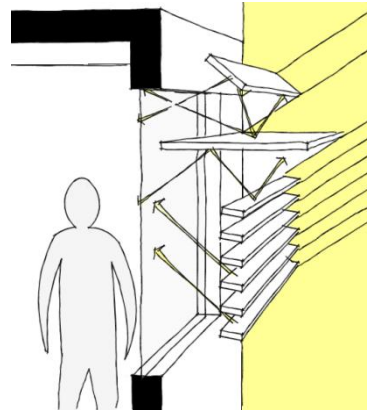
De acordo com Bogo (2007) a estimativa da luz natural transmitida por uma abertura simples sem obstáculos é de fácil previsão, pois depende principalmente da transmitância do vidro e do ângulo de incidência da luz. Entretanto, ao acrescentar obstáculos junto à abertura, como os elementos de proteção solar, a trajetória da luz natural transmitida é modificada, assim como sua quantidade, afetando a iluminação natural no interior das edificações em termos quantitativos e sua distribuição espacial. Esta influência ocorre devido aos múltiplos processos de reflexão entre os elementos de controle solar que bloqueiam/filtram

parcialmente a luz natural incidente na abertura, e modificam direção da luz para o ambiente interno (BOGO, 2007).

Em vista disso, enquanto uma abertura somente com vidro incolor comum, que transmite luz para o ambiente interno em determinada direção, de acordo com a situação de incidência externa (Figura 10), uma abertura com elementos de controle solar (Figura 11), transmite luz em diferentes direções, em função das parcelas transmitidas de forma direta ou por reflexões até o interior dos ambientes (BOGO, PEREIRA e CLARO, 2005).



**Figura 10:** Incidência de luz natural em abertura sem elementos de proteção solar  
Fonte: Adaptado de Bittencourt e Cândido, 2004



**Figura 11:** Incidência de luz natural em abertura com elementos de proteção solar  
Fonte: Adaptado de Bittencourt e Cândido, 2004

Diversos autores realizaram estudos sobre como os elementos de controle solar influenciam a incidência da luz no ambiente interno. No entanto, ainda há poucas informações conclusivas sobre os valores quantitativos e qualitativos do uso de proteções solares. Isto se deve à infinidade de possíveis combinações entre os diversos tipos de elementos de proteção ou controle solar de diversos tipos de abertura, o que torna difícil um estudo conclusivo que aborde essas inúmeras possibilidades de projeto. Assim, o estudo individual para cada projeto se faz necessário devido à necessidade do controle solar nas edificações para garantir conforto luminoso e térmico.

No entanto, Corbella e Castanheira (2001), registram que, no ensino de Arquitetura no Brasil, é generalizada a falta de conhecimento sobre a necessidade de proteção solar, e quando esta é utilizada, na maioria das vezes está equivocada, apesar deste ser um assunto abordado em estudos a bastante tempo, como no caso do Código de Justiniano no século V que legislava sobre o direito ao sol, e também desde o início das pesquisas em arquitetura bioclimática por Olgyay e Olgyay (1957, 1963; apud CORBELA e CASTANHEIRA, 2001).

Diante dessa questão, ressalta-se mais uma vez a importância de realizar estudos acerca da iluminação natural para que seja possível a criação de regras que garantam condições mínimas de luz natural no ambiente, tornando essa prática mais aplicável no cotidiano do projetual de arquitetos e engenheiros

## 2.5. Cálculos de iluminação natural

### 2.5.1. Critérios para avaliação da Luz Natural

A iluminação natural em um ambiente interno deve permitir a realização de atividades, segundo certos padrões de adequação. Assaf e Pereira (2003) e Hopkinson et al (1975), afirmam que as condições de iluminação de um ambiente devem permitir que a tarefa visual seja cumprida com facilidade, além de garantir também um ambiente visual agradável.

Diversas pesquisas têm sido realizadas, em busca de maneiras para melhor compreender a luz natural em ambientes internos e avaliar os níveis de qualidade dessa iluminação. Para Moeck (1998, *apud* LARANJA et al 2009), na edificação, é necessário avaliar iluminação natural no ambiente interno de acordo com diversos critérios, que se dividem em quantitativos e qualitativos.

Os critérios quantitativos dizem respeito principalmente aos níveis de iluminância e luminância. O primeiro indica a quantidade de luz incidente numa superfície por unidade de área ( $lm/m^2$ ), e está relacionado com a fonte luminosa. O segundo, níveis de luminância, indica os níveis da luz refletida pela superfície, que dependerá da iluminância e das características de reflexão da própria superfície (GARROCHO, 2009). Os critérios quantitativos são subdivididos em: a) iluminância horizontal e vertical, b) Fator de Luz do Dia (FLD), c) iluminância média no plano de trabalho, d) relações com o uso da iluminação elétrica, e) proteções quanto à luz solar direta e à radiação solar, f) sistema de transmissão de luz eficiente, g) transmissão da luz em função do ângulo de incidência e do horário, h) limites máximos da quantidade de luz nos planos de trabalho e i) luminância da fonte (MOECK, 1998, *apud* LARANJA et al. 2009).

Os critérios qualitativos estão relacionados principalmente à forma que ocorre a distribuição da luz natural. Se há contrastes (diferença de Iluminância entre um determinado objeto e seu entorno) que geralmente favorecem a visualização de objetos, ou se há ofuscamento, gerado por uma fonte de luz muito intensa dentro de um ambiente com menor iluminância. Os critérios qualitativos podem ser subdivididos em: a) distribuição da luz natural, b) uniformidade, c) ofuscamento, d) proporções das luminâncias, e) direção, direcionalidade e difusão da luz natural, f) sombras, g) reflexos e h) vista para o exterior (MOECK, 1998, *apud* LARANJA et al. 2009).

Segundo Reinhart (2005), diversas regras que limitam a profundidade do ambiente em relação à altura da abertura para garantir iluminação natural (descritas na Tabela 3), utilizam termos para qualificar a área iluminada, como “*Adequada e suficiente; Aceitável, eficaz e útil; e Bem distribuída e equilibrada*”. O autor verificou ainda que, após uma pesquisa com projetistas de iluminação (*lighting-designers*), termos similares foram utilizados para descrever a qualidade da iluminação durante o processo de projeto.

Assim, Reinhart (2005) conceituou que “*adequado e suficiente*” diz respeito a um nível mínimo de iluminação natural dentro do ambiente nas diversas épocas do ano. A “*iluminação aceitável, eficaz e útil*” diz respeito à satisfação do usuário no ambiente interno, devendo para



tanto ocorrer o conforto visual por meio do controle do ofuscamento e do controle da luz natural direta. Para isso, o autor sugere o uso de dispositivos de sombreamento. Como “*iluminação bem distribuída e equilibrada*”, o autor faz referência a níveis uniformes de iluminação natural no ambiente interno.

Atendendo ao critério de “*adequado e suficiente*”, o conceito de Autonomia de Luz Natural (*Daylight Autonomy* – DA) torna-se um indicador ideal para quantificar a porcentagem de tempo que os níveis de iluminância requeridos podem ser mantidos através da luz natural.

Autonomia de Luz Natural (DA): utiliza a iluminação no plano de trabalho como um indicador da existência de luz natural suficiente em um espaço para que um ocupante possa trabalhar apenas com luz natural. Em 2001, Reinhart e Walkenhorst redefiniram autonomia de luz natural em um ponto como o percentual das horas de ocupação ao longo do ano, em que a exigência mínima de iluminação é cumprida apenas por iluminação natural (REINHART, MARDALJEVIC e ROGERS, 2006, p. 10)

Como esse índice não permite a identificação das situações onde os níveis de iluminação são excessivamente elevados, podendo provocar efeitos adversos associados ao conforto visual e na carga térmica, foi proposto por Nabil e Mardaljevic (2005, *apud* REINHART, MARDALJEVIC, ROGERS, 2006), a métrica de Iluminância Natural Útil (UDI). A UDI se baseia no plano de trabalho de iluminâncias e atende ao requisito de verificar a quando a iluminação é “aceitável, eficaz e útil”:

Iluminância Natural Útil (UDI): Como o próprio nome sugere, visa determinar quando os níveis de luz são “úteis” para os ocupantes, ou seja, nem muito escuro (<100 lux), nem muito brilhante (> 2000 lux). O limite superior é utilizado para detectar ocasiões em que um excesso de luz pode levar a desconforto térmico e/ou visual. O intervalo sugerido baseia-se nas preferências relatadas dos ocupantes em escritórios. Com base nos limiares superior e inferior de 2000 lux e 100 lux, os resultados UDI em três métricas, ou seja, as porcentagens do tempo ocupado do ano, quando o UDI foi alcançado (100 – 2000lux), ficou abaixo do estipulado (<100 lux), ou foi ultrapassado (> 2000 lux) (REINHART, MARDALJEVIC, ROGERS, 2006, p. 10).

Ainda foram desenvolvidas outras métricas para auxiliar a avaliação da iluminação no espaço interno. Entre elas, a Autonomia de Luz Natural Contínua (DA<sub>CON</sub>), proposta por Rogers (2006), que é um conjunto de métricas com base nas definições de DA. O DA<sub>CON</sub> avalia quando a iluminação natural fica abaixo do nível da iluminância de projeto. Por exemplo, no caso de serem necessários 500 lux e se são fornecidos 400 lux por um determinado período, têm-se 400lux/500lux, que equivale a um crédito parcial 0,8 (DA<sub>CON</sub> de 0,8). Esta métrica facilita a visualização entre o cumprimento ou não dos níveis de iluminância e reconhece uma contribuição parcial de luz natural (REINHART, MARDALJEVIC e ROGERS, 2006).

Outra métrica relatada juntamente com o DA<sub>CON</sub> é a Autonomia de Luz do Dia Máxima (DA<sub>MAX</sub>) Esta indica a porcentagem de horas no ano onde a luz solar está extremamente

elevada; podendo ocorrer nos ambientes problemas como reflexos indesejáveis . O DAMax é definido a um nível igual a dez vezes maior que a iluminância pré-determinada. Por exemplo, para um laboratório de informática com um projeto de iluminação de 150 lux, DAMax corresponde a 1.500 lux (ROGERS, 2006, *apud* REINHART, MARDALJEVIC, ROGERS, 2006). Esta métrica indica quando as iluminâncias estão demasiadamente elevadas em um espaço, auxiliando a responder ao quesito de quando a iluminação do ambiente está “bem distribuída e equilibrada”.

Vale salientar que as métricas descritas acima surgem como medidas dinâmicas de avaliação da luz natural que são expressas em séries anuais de iluminância e que levam em consideração as características específicas da região na qual o objeto de estudo se encontra.

Destaca-se ainda que as métricas indicam uma maneira para facilitar a avaliação da luz natural no ambiente. O DA , por exemplo, é uma métrica que auxilia a avaliar se a luz natural está “adequada e suficiente” no ambiente, pois esta métrica indica o percentual de ocupação ao longo do ano, quando a exigência mínima de iluminação é cumprida apenas por iluminação natural. No entanto, é o avaliador quem deve julgar a exigência mínima de iluminação, ou seja qual é o nível de iluminância considerado “suficiente”. Dessa forma, para complementar a avaliação do ambiente pode-se fazer uso da NBR 15.575 (2008), que recomenda que ambientes de permanência prolongada, cozinhas, áreas de serviço e banheiros devem ter um mínimo de 60 Lux de iluminação natural como foi descrito no item 2.3.2.

Nesta pesquisa, um dos objetivos apresentados é investigar os níveis de desempenho mínimo da luz natural para ambientes residenciais, e de acordo com o apresentado, a métrica de Autonomia de Luz Natural apresenta-se como um bom um indicador para auxiliar nessa análise. Através desta métrica é possível quantificar em porcentagem de tempo que os níveis de iluminância requeridos podem ser mantidos apenas com a luz natural, sendo possível, portanto verificar se o ambiente atende adequadamente à condição de iluminância mínima estabelecida.

### *2.5.2. Métodos de análise e programas computacionais para avaliação da luz natural*

O presente trabalho pretende verificar a influência de algumas variáveis arquitetônicas no comportamento da luz natural em ambientes residenciais, considerando o território e contexto climático brasileiro. Para tal, serão necessários instrumentos que permitam avaliar o comportamento da luz natural em diversas situações, com variação de elementos arquitetônicos de um edifício modelo.

Avaliar a disponibilidade de luz natural para iluminar ambientes é, ainda hoje, uma tarefa bastante complexa. Diferentemente da luz artificial (estática e praticamente constante), a luz natural é dinâmica. Esta depende do sol, juntamente com o céu, que somados à variabilidade

das estações, da meteorologia, do ar e das características do entorno, a torna única para cada lugar.

Assim, para avaliar a luz natural em um ambiente é necessário contar com as variáveis da localidade em que a edificação se encontra. Para isso é possível realizar estudos por meio de análises de modelos em escala reduzida, sejam em escala reduzida ou dimensões reais, pois se avaliaria a iluminação diante das condições naturais de um determinado local. Para esse procedimento, seria necessária a colocação de uma malha de fotocélulas para medição da iluminância, realizado por um longo período de tempo para uma avaliação precisa. Este processo torna-se, portanto, oneroso e demorado. Da mesma forma, o uso de modelos de escala reduzida como opção de avaliação da iluminação natural, implicaria na construção de tais modelos, o que é uma tarefa também onerosa e demorada, além das mesmas necessidades de medição em um longo período de tempo.

Nas últimas décadas, foram desenvolvidos alguns instrumentos para avaliação de ambientes construídos. Destacam-se aqui os *softwares* de simulação que avaliam o comportamento da luz, que apesar de limitações, permitem aos engenheiros e arquitetos analisar fenômenos complexos. Anos atrás, essas análises eram possíveis apenas por meio de cálculos ou construção de protótipos e medições *in loco*, dificultando a elaboração das pesquisas (AMORIM, 1997).

O uso da simulação computacional permite a avaliação sistemática da luz natural em um projeto. De acordo com Reinhart (2010) para uma análise rigorosa de iluminação natural de um determinado projeto, são necessários três passos: a) estimar a quantidade física de luz disponível no edifício (através de simulações ou métodos de cálculo); b) converter os resultados em medidas de desempenho de luz natural; c) interpretar as medidas de desempenho e tomar uma decisão de projeto

Ainda segundo o autor os passos (a) e (b) podem ser auxiliados pelo uso de um programa de simulação de luz natural. Uma simulação de luz natural visa prever a quantidade de luz natural disponível em determinado ponto de uma edificação, em condições de céu selecionadas (simulação estáticas) ou durante o decorrer de um ano (simulação dinâmica). As simulações de luz natural calculam as quantidades físicas da luz, tais como iluminâncias ou luminâncias, que são apresentados como números, gráficos ou mapeamento de cores falsas.

A simulação computacional torna-se a ferramenta mais viável para as análises que envolvem grande quantidade de variáveis interdependentes. A simulação computacional e a disponibilidade de interfaces aprimoradas permite aos usuários criar modelos tridimensionais de construção, realizar uma simulação e exibir os resultados de forma a entender a tendência do comportamento da luz natural (REINHART, MARDALJEVIC, ROGERS, 2006).

Cabús (2005) afirma que o uso da simulação computacional em pesquisas no ambiente construído, em particular na área de iluminação natural, tem se disseminado rapidamente nas últimas décadas. E justifica que isto ocorreu devido ao avanço na tecnologia dos computadores – cada vez mais rápidos e com recursos de computação gráfica – que tornou possível a

existência de programas baseados em metodologias avançadas. O autor afirma ainda que hoje a “simulação computacional é opção rápida e eficiente para pesquisas em iluminação natural” (CABÚS, 2005. p.240).

As simulações de luz natural podem ser divididas em simulações estáticas e dinâmicas, dependendo se elas consideram um único tipo de céu ou uma série de condições consecutivas de céu. Os resultados de uma simulação estática de luz são geralmente expressos em forma de imagens realistas ou na forma de valores de iluminância em alguns pontos de interesse em um prédio sob um céu de referência. Simulações dinâmicas de luz natural produzem séries anuais de iluminâncias a partir de diversos tipos de céus, que caracterizam as condições reais do clima de uma cidade. Esses perfis de iluminância anual podem ser usados para calcular os indicadores de desempenho de luz natural, também denominado de métricas dinâmicas (Reinhart, 2010).

Atualmente existem diversos programas que simulam a luz natural, na tabela abaixo (Tabela 6) observam-se alguns programas que realizam simulações dinâmica ou estática da luz natural.

**Tabela 6:** Programas de simulação computacional de iluminação natural

Simulação Estática	Simulação Dinâmica
Radiance	Daysim*
Adeline*	Tropolux**
Dialux	Ligtswitch Wizard*
Relux	ESP-r*
Rayfront	LightTool
Ecotect	SPOT 4.0*
Apolux**	

\*Utilizam o algoritmo do Radiance para simulação

\*\* Programas de simulação brasileiros

Fonte: adaptado de REINHART *et al.*, 2006.

Destaca-se que o Apolux e o Tropolux são programas de simulação computacionais brasileiros e validados. No entanto, para esta pesquisa optou-se utilizar o Programa de simulação Daysim, devido à utilização da base metodológica do trabalho desenvolvido por Didoné (2009) que analisou a influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios e utilizou o software Daysim. Outro motivo da utilização do *Software* Daysim se deve a experiência de uso em trabalhos de pesquisa desenvolvidos anteriormente e à disponibilidade de um tutorial completo e atualizado do programa (REINHART, 2010).

### 2.5.1. Software Daysim

O software Daysim é baseado no algoritmo Radiance e vem sendo desenvolvido por Christoph F. Reinhart no Conselho Nacional de Pesquisas do Canadá (*National Research Council Canada -NRCC*) e no Instituto Fraunhofer para Sistemas de Energia Solar (*Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems*), na Alemanha. Como já descrito, o Daysim é um *software* de

simulação dinâmica que calcula os perfis de iluminância e luminância anual e os apresenta em forma de métricas dinâmicas do desempenho da luz natural.

Segundo Reinhart, (2005), na última década, ferramentas de simulação de iluminação natural se tornaram mais sofisticadas e mais fáceis de serem utilizadas. Os softwares de simulação validados, como o Daysim, que utilizam o algoritmo do Radiance baseado no método *backward raytracer* e os Modelos de céu de Perez, combinados através de um coeficiente de aproveitamento aproximado permite prever de maneira confiável a quantidade de luz natural em edifícios com geometrias complexas (REINHART, 2010).

O *Raytracer* trata-se de um método de cálculo para predição da luz natural no ambiente. Este método trata de traçar raios entre as superfícies ao observador, depende, portanto, da geometria da cena e do ponto de vista do observador (CRHISTAKOU, 2004). Esta técnica foi inicialmente “desenvolvida no campo da computação gráfica, pois pode lidar com cenas complexas. Posteriormente ela teve seu uso expandido, sendo o cálculo de iluminação um dos campos onde ela pode ser aplicada de forma adequada” (CABÚS, 2005, p.242).

O método do *raytracer* pode ser classificado com relação à direção do raio traçado, se é “para frente” (*forward*) ou “para trás” (*backward*). Em outras palavras, quando os caminhos da luz são traçadas a partir o olho do espectador (ou no caso do Daysim, a partir dos sensores de luz) para as fontes de luz é dito que o cálculo foi feito “para trás” (*backward*). A principal vantagem do *raytracer* consiste na possibilidade em dar soluções teóricas simples para geometrias complexas (CABÚS, 2005). E utilizar a abordagem *backward* permite diminuir o tempo de cálculo necessário para simulação (REINHART, 2010).

Os modelos de céu de Perez foi desenvolvido por Richard Perez (1993, apud REINHART, 2010) utiliza data, hora, local e valores da radiação direta e difusa para calcular a distribuição luminosa do céu para uma dada condição. Os modelos de céu de Perez são superiores comparado com os modelos CIE, pois o primeiro faz distinção entre o céu nublado e nebuloso brilhante, além de fornecer alguns detalhes na distribuição luminosa do céu. Já o céu nublado do CIE é invariante (REINHART, 2010).

O conceito de coeficientes de luz natural foi originalmente proposto por Tregenza e Waters (1983, apud REINHART, 2010) como um método para calcular os níveis de iluminação no interior de edifícios, sob variadas condições de céu. A idéia é, teoricamente, dividir o hemisfério celeste em “partes de céu”, calculando para cada parte de céu individualmente a contribuição para a iluminação total em um ponto do edifício. A principal vantagem de utilizar esta metodologia é que quando os coeficientes de luz natural foram calculados para um ponto de referência, a iluminância ou luminância neste ponto pode ser calculada em segundos para qualquer condição de céu possível.

O Software Radiance foi desenvolvido para simular luminâncias e iluminâncias sob determinadas condições de céu. O Daysim usa os algoritmos de simulação do Radiance para calcular a distribuição de iluminância em todas as condições de céu que ocorrem em um ano (REINHART, 2010).

Para calcular perfis anual de iluminância, pode-se, em princípio, também usar os programas padrão Radiance, no entanto seriam necessárias milhares de simulações individuais para todas as condições de céu do ano. Esta abordagem não é prática e seria necessário muito tempo para finalizar as simulações. Para manter os tempos de simulação curtos, o Daysim usa o algoritmo Radiance *raytracer* juntamente com uma abordagem de coeficiente de luz.

O Daysim permite também indicar a rotina dos usuários e a interação com os controles manuais da iluminação artificial do edifício através do algoritmo comportamental, denominado Lightswitch (REINHART, 2010). Este algoritmo combina os perfis de iluminância anual e perfis de ocupação com padrões de comportamento que são baseados em estudos de campo nos edifícios em todo o ocidente. Por exemplo, o modelo prevê que os usuários fecharão as cortinas da janela em resposta ao ofuscamento provocado por uma alta luminância, ou quando a iluminação artificial será ligada em consequência da baixa luminosidade.

Para que a simulação possa caracterizar as condições de iluminação de uma determinada localidade, o Software Daysim utiliza os arquivos climáticos do Ano Típico de Referência - TRY (*Typical Reference Year*). Estes arquivos fornecem perfis típicos do clima de dada localidade, através de dados climáticos, normalmente horários, como temperatura, direção e velocidade do vento, precipitação e radiação solar direta e difusa (REINHART, 2010).

Para simulação no Daysim é necessário um modelo que contenha as informações sobre a geometria do edifício e as propriedades ópticas dos materiais. Esse modelo pode ser gerado com uma ferramenta de CAD, pois o Daysim importa modelos 3D do Autocad, Ecotect e Sketchup.

Portanto, o Daysim é uma ferramenta que torna possível avaliar a luz natural por meio de métricas dinâmicas, permitindo entender o comportamento da luz no edifício, considerando seus ocupantes e o clima local, o que promove uma maior aproximação dos resultados das simulações com a realidade.

### 3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, inicialmente a tônica metodológica esteve centrada no estudo do referencial teórico, este apresentou os subsídios para a construção das etapas seguintes apresentadas aqui neste capítulo.

A metodologia aqui apresentada está segmentada em momentos distintos onde inicialmente é tratada a construção do modelo base de estudo e a escolha das variáveis de simulação elencadas com base do estudo do referencial teórico.

A combinação das variáveis de simulação com o modelo base culminaram em 5 Situações de simulação, utilizadas para a 1ª Etapa de Simulação (ver Mapa Metodológico - Figura 12). Esta etapa teve o objetivo de definir o desempenho mínimo de iluminação para ambientes residenciais sem proteção solar e identificar a profundidade limite do ambiente para que atenda esse desempenho mínimo.

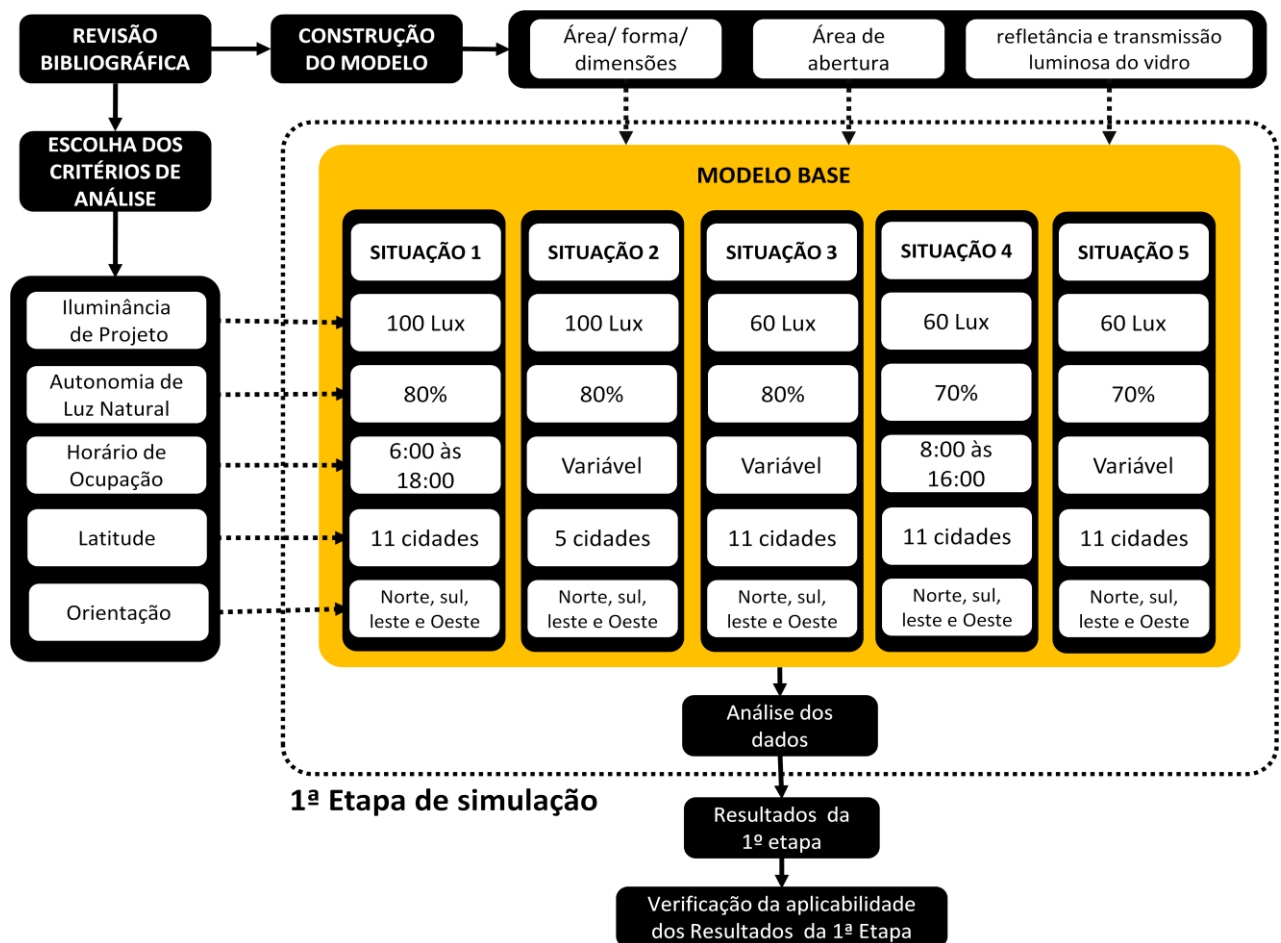


Figura 12: Mapa Metodológico – 1ª Etapa

Em um segundo momento, a partir da Situação que definiu as condições mínimas de iluminação natural no ambiente na 1ª Etapa, foram desenvolvidos três modelos de simulação com um elemento de proteção solar cada. Sendo, portanto desenvolvida a 2ª Etapa de Simulação (ver Mapa Metodológico – Figura 13) que objetivou verificar a influência de três

tipos de elementos de proteção solar na profundidade limite do ambiente identificada na etapa anterior.

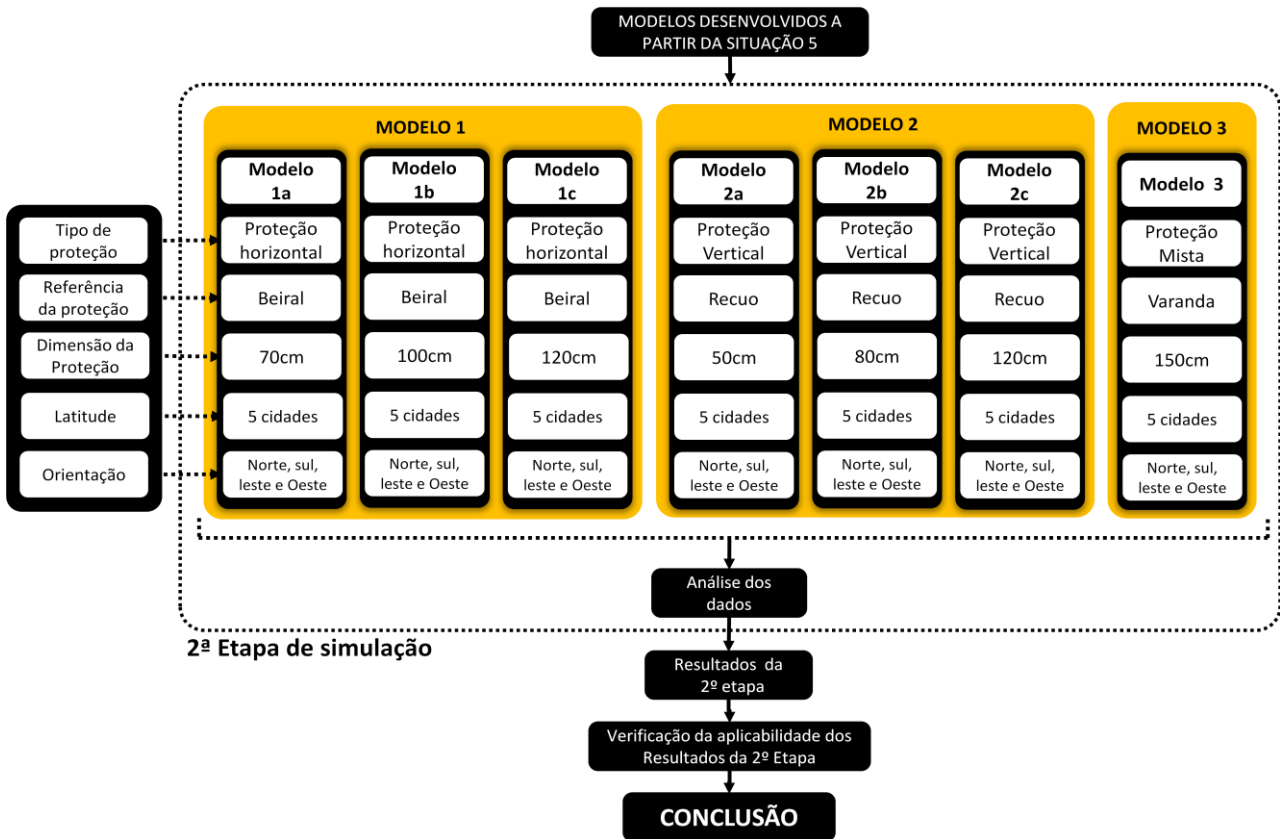


Figura 13: Mapa Metodológico – 2ª Etapa

### 3.1. Desenvolvimento e características do modelo base

Para simulações no *software* Daysim é possível fazer a modelagem 3D do ambiente em qualquer programa CAD, desde que esta seja exportado no formato 3ds. Optou-se em construir os modelos no programa Sketchup-Pro, versão 8.0, pois é um programa de rápido manuseio.

Para este estudo foi definido um modelo base de um ambiente residencial hipotético de 23m<sup>2</sup>. Esta área corresponde à área de um dos modelos utilizados para os testes de desempenho térmico e energético do RTQ-R (VERSAGE, 2010). No entanto, optou-se em alterar a proporção deste ambiente, aumentando seu comprimento (profundidade) para permitir uma melhor análise da profundidade de penetração da luz natural nas diversas situações simuladas. Assim, o ambiente tinha originalmente 3,40m de largura e 6,85 de profundidade, foi modelado com dimensões de 3,00 m de largura x 7,66 m de profundidade, com pé-direito de 2,50m.

A área de abertura foi definida como 1/6 da área de piso, sem esquadria, de acordo com o exigido para ambientes de permanência prolongada em diversos códigos de obras do país (FERNANDES, 2009). Tal referência seguia, ainda, a área de abertura que estava prevista como



exigência no RTQ-R (INMETRO, 2010) para os ambientes de permanência prolongada<sup>3</sup>. Assim, definiram-se as dimensões de 3,00 de largura x 1,27m de altura e peitoril de 1 metro (Figuras , 14, 15, 16 e 17).

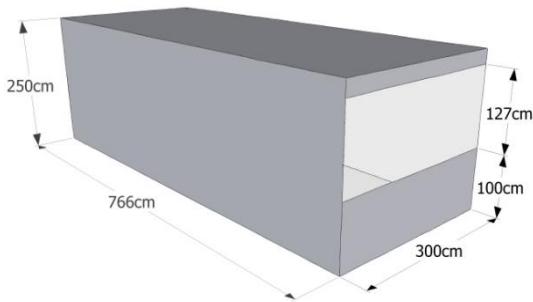
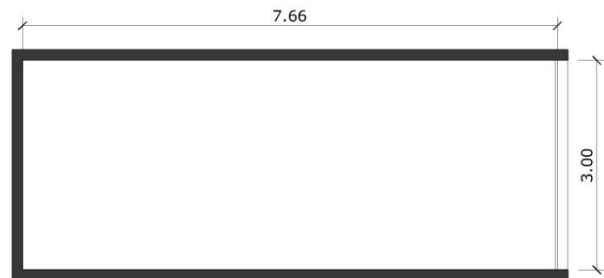


Figura 14: 3D do modelo base



MODELO BASE  
PLANTA BAIXA  
ÁREA DE 23m<sup>2</sup>

Figura 15: Planta baixa do modelo base

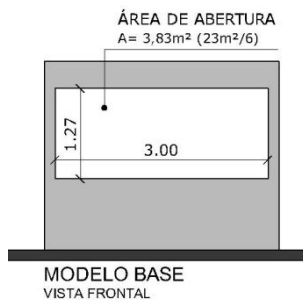


Figura 16: Vista frontal do modelo base

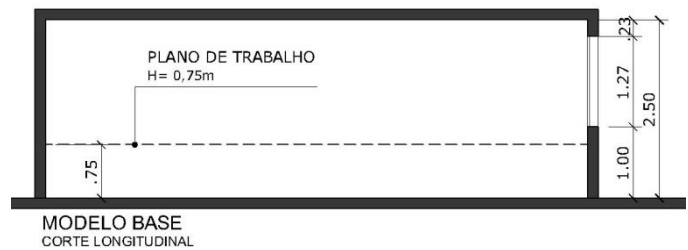


Figura 17: Corte longitudinal do modelo base

### 3.1.1. Malha de pontos para medição

Para verificar o alcance da luz natural em todo ambiente, na altura definida como plano de trabalho (0,75m) foi feita uma malha de pontos de medição de acordo com o indicado pela NBR 15215-4 (2005). O ambiente interno foi, portanto, dividido em partes iguais totalizando 18 pontos de medição, com espaçamento de 1 metro entre si, e afastados 50 cm das paredes e janela (Figura 18).

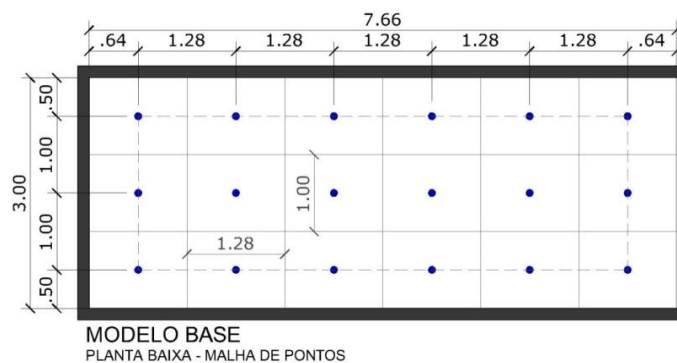


Figura 18: Malha de pontos de medição dos modelos

<sup>3</sup> Os estudos iniciais do RTQ-R, definia que ambientes de permanência prolongada devia possuir abertura com no mínimo 1/6 da área de piso. No entanto, na versão final do regulamento foi definido uma área mínima de abertura de 1/8 da área de piso.

### 3.1.2. Característica das superfícies

O ambiente modelado utilizou os materiais do banco de dados do Daysim, tendo em vista que estavam em consonância com dados reais de refletâncias das superfícies levantados por Steffy (1990, *apud* SOUZA, 2003), de acordo com a Tabela 5, descrita no item 2.4.2. Assim, o modelo base possui o piso com refletância de 30%, as paredes com refletância de 58% e o teto com refletância de 84%. Além disso, também foi utilizado o vidro presente no banco de dados do programa Daysim que possui uma transmissão luminosa de 90%, que corresponde aproximadamente um vidro incolor simples de 6mm<sup>4</sup>.

As modelagens tridimensionais foram feitas com a atenção para que as faces internas e externas dos ambientes estivessem com a configuração de materiais específica do banco de dados do Daysim, para que, em etapa posterior, suas configurações de refletâncias fossem reconhecidas pelo programa de simulação.

## 3.2. Variáveis da Simulação

Para a avaliação do comportamento da luz natural nos modelos criados, além das variáveis relacionadas às características físicas do modelo, foi necessário estabelecer critérios para o que deve ser considerado no desempenho da iluminação natural. Assim, foram definidas outras cinco variáveis que foram analisadas juntamente com o modelo base:

- a) Iluminância de Projeto;
- b) Autonomia da Iluminação Natural (*Daylight Autonomy* - DA);
- c) Latitude;
- d) Horário de ocupação;
- e) Orientação;

Estas variáveis são determinantes para a avaliação do limite da profundidade de penetração da luz natural no ambiente, e estão detalhadas a seguir.

Destaca-se que outra variável também foi analisada: o uso de Proteções Solares nas aberturas. No entanto, esta variável foi verificada na segunda etapa desta pesquisa, e será descrita no item 3.4.

- a) *Iluminância de Projeto (IP)*.

A iluminância de projeto (IP) é a exigência mínima do nível de iluminância fornecida apenas com luz natural (REINHART, MARDALJEVIC E ROGERS, 2006). Para verificar a influência desta variável foram analisados os resultados das simulações com duas condições distintas de Iluminância de Projeto.

---

<sup>4</sup> Valor consultado em Glassecc Viracon: <http://www.glassecc.com.br/pagina/tabeladedesempenho/24>  
acesso em: 25/07/2011

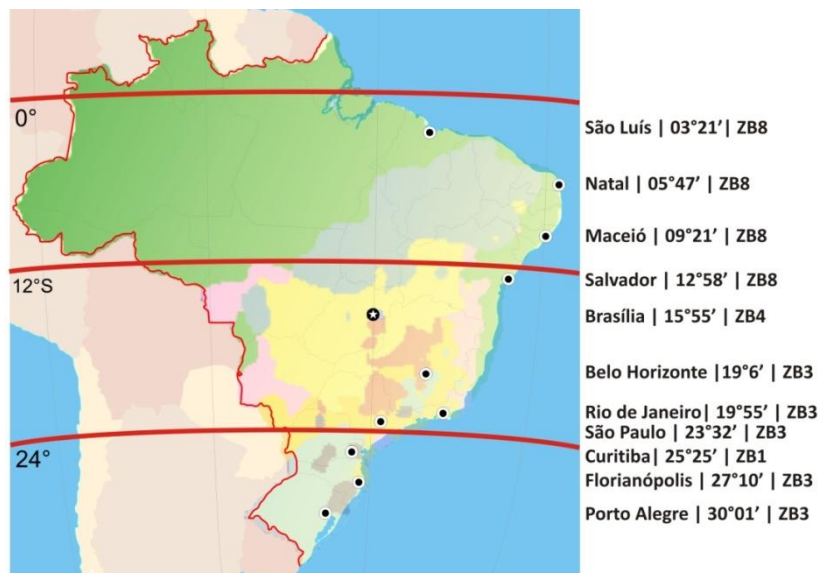
Inicialmente foi determinada a IP de 100 lux, já que se trata, segundo Reinhart (2005), do valor mínimo de iluminância natural útil (Useful Daylight Illuminance – UDI). Em um segundo momento, foi utilizado nas simulações o valor de 60 lux para a IP, que é o nível mínimo de iluminância indicado para ambientes de permanência prolongada, banheiros, cozinhas e área de serviço de edificações residenciais de até cinco pavimentos, segundo a NBR 15.575 (2008).

*b) Autonomia da iluminação natural.*

Autonomia de Luz Natural (Daylight Autonomy – DA): indica a porcentagem de horas em que o nível de iluminância de projeto é atendido durante o período de um ano (REINHART, MARDALJEVIC E ROGERS, 2006). Foram utilizados nas simulações o DA de 80% e 70% combinados com a ocorrência dos níveis de IP de 100lux e 60lux. Estes percentuais foram definidos em função da dificuldade de se obter 100% de autonomia de luz natural no ambiente.

*c) Latitude*

Para analisar comportamento da luz natural diante as diferentes latitudes, foram realizadas simulações em 11 cidades. A escolha destas cidades priorizou as capitais brasileiras de com diferentes latitudes e com diferentes Zonas Bioclimáticas (ZB), tendo em vista que cada ZB pode ser caracterizada com condições diferenciadas de céu. Assim, as cidades selecionadas foram (Figura 19): São Luís (3°21` Sul, ZB 8); Natal (5°47` Sul, ZB 8); Maceió (9°21` Sul, ZB 8); Salvador (12°58` Sul, ZB 8); Brasília (15°55` Sul, ZB 4); Belo Horizonte (19°6` Sul, ZB 3); Rio de Janeiro (19°55` Sul, ZB3); São Paulo (23°32` Sul, ZB3); Curitiba (25°25` Sul, ZB 1); Florianópolis (27°10` Sul, ZB 3); Porto Alegre (30° Sul, ZB 3).



**Figura 19:** Cidades utilizadas para as simulações

d) *Horário de ocupação*

O horário de Ocupação é o horário em que a simulação computará os valores de luz natural. Para definir o padrão de uso dessa variável foram realizadas simulações com três horários de ocupação diferentes.

O primeiro horário simulado foi das 6h às 18h. Este horário foi definido considerando um período aproximado de horas de sol no Brasil. O segundo horário simulado foi uma adequação mais aproximada às horas de sol de cada localidade simulada. Para isso, por meio da análise da carta solar, determinou-se que as horas de sol a serem consideradas para a simulação seriam 1 hora após do nascer do sol até 1 hora antes do pôr do sol, durante o solstício de inverno. Ou seja, foi considerado o período mais curto de sol para cada cidade. Este horário de ocupação foi denominado de “horário variável”, conforme a Tabela 7.

**Tabela 7:** Segundo Horário de Ocupação utilizado nas simulações de luz natural – horário variável

Cidade	Latitude	Solstício inverno		Horário utilizado nas simulações	
		nasce às:	se põe às:	A partir:	Até:
São Luis	03°21'	06:00	18:00	07:00	17:00
Natal	05°47'	06:00	18:00	07:00	17:00
Maceió	09°21'	06:15	17:45	07:15	16:45
Salvador	12°58'	06:15	17:45	07:15	16:45
Brasília	15°55'	06:30	17:30	07:30	16:30
Belo horizonte	19°55'	06:45	17:15	07:45	16:15
Rio de janeiro	22°54'	06:45	17:15	07:45	16:15
São Paulo	23°32'	06:45	17:15	07:45	16:15
Curitiba	25°25'	06:45	17:15	07:45	16:15
Florianópolis	27°10'	07:00	17:00	08:00	16:00
Porto alegre	30°01'	07:00	17:00	08:00	16:00

O terceiro horário de ocupação utilizado foi das 8 às 16h, que corresponde ao menor horário de ocupação utilizado no Horário de Ocupação Variável.

e) *Orientação*

Todas as combinações de variáveis foram simuladas nas orientações Norte, Sul Leste e Oeste, tornando possível a análise da influência da orientação na profundidade limite do ambiente em todos os casos estudados.

Segue abaixo o quadro resumo das variáveis descritas (Tabela 8)

**Tabela 8:** Resumo das variáveis analisadas nas simulações com o modelo Base

a) Iluminância de Projeto	100 lux 60 lux
b) Autonomia da Iluminação Natural	80% 70%
c) Horário de ocupação	8 às 18 hs 8 às 16hs Horário Variável
d) Latitude	11 Latitudes (3°21', 5°47', 9°21',

	12°58', 15°55', 19°6', 19°55', 23°32', 25°25', 27°10', 30°)
e) Orientação	Norte
	Sul
	Leste
	Oeste

### 3.3. Modelo base e combinação de variáveis (1ª etapa de simulação)

Para avaliar o comportamento da luz natural e verificar a profundidade de penetração da luz natural no ambiente interno, foi necessário verificar em diversas combinações as variáveis descritas anteriormente. Portanto, a partir do modelo base, as variáveis iluminância de projeto, autonomia de luz natural e horário de ocupação, foram combinadas em cinco diferentes situações, simuladas para diversas latitudes e nas orientações norte, sul, leste e oeste, resultando na 1ª etapa de simulação, conforme apresentado na Tabela 9.

Destaca-se que se mantiveram fixas as características físicas do modelo base. Ou seja, em todas as situações permaneceu inalterada a forma (dimensões), área de abertura, refletâncias internas e transmissão luminosa do vidro do modelo.

**Tabela 9:** Modelo Base e combinação das variáveis – situação 1, 2, 3, 4 e 5 (1ª Etapa de Simulação)

SITUAÇÃO	SITUAÇÃO 1	SITUAÇÃO 2	SITUAÇÃO 3	SITUAÇÃO 4	SITUAÇÃO 5
<b>VARIÁVEIS</b>					
<i>Iluminância de Projeto</i>	100 lux	100 lux	60 lux	60 lux	60 lux
<i>Autonomia de Luz Natural</i>	80%	80%	80%	70%	70%
<i>Horário de Ocupação</i>	6h às 18 h	Variável	Variável	8h às 16 h	Variável
<i>Cidades simuladas</i>	11 cidades	5 cidades*	11 cidades	11 cidades	11 cidades
<i>Orientação</i>	Norte, Sul, Leste, Oeste	Norte, Sul, Leste, Oeste	Norte, Sul, Leste, Oeste	Norte, Sul, Leste, Oeste	Norte, Sul, Leste, Oeste
<i>Total de simulações</i>	44	20	44	44	44

\* A situação 2 teve como objetivo de verificar o comportamento da luz natural diante da mudança de latitude e orientação, sendo suficiente para análises, a simulação para 5 cidades dentre as 11 cidades descritas. Sendo elas: São Luis (2°58'Sul), Maceió (9°51'Sul), Brasília (15°86'Sul), Curitiba (25°51'Sul) e Porto Alegre (30°).

A combinação dessas variáveis resultou em 196 simulações que objetivaram investigar a profundidade máxima dos ambientes relacionando-a com a altura da janela, para garantir as condições especificadas para cada situação.

### 3.4. Desenvolvimento dos Modelos 1, 2 e 3 (2ª etapa de simulação)

A segunda etapa deste trabalho teve como objetivo principal verificar a influência das proteções solares no alcance de profundidade da luz natural no ambiente interno. Para isso, a partir do modelo base com a combinação de variáveis da Situação 5, foram desenvolvidos três modelos, nos quais foi acrescentado 1 tipo de proteção solar diferente em cada um deles, gerando os modelos 1, 2 e 3, conforme será descrito a seguir.

Esses modelos foram simulados nas orientações norte, sul, leste e oeste, para 5 cidades, dentre as 11 cidades selecionadas, sendo elas: São Luis (2°58`Sul), Maceió (9°51`Sul), Brasília (15°86`Sul), Curitiba (25°51`Sul) e Porto Alegre (30°).

### 3.4.1. Modelos 1

No modelo optou-se por representar edificações que possuem beirais como proteção solar, comuns em edificações residenciais unifamiliares (Figura 20 e 21).



Figura 20: Edificação residencial com beiral



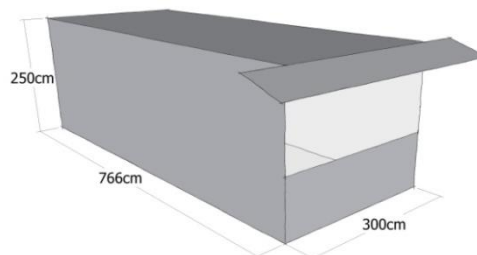
Figura 21: Edificação Residencial com beiral

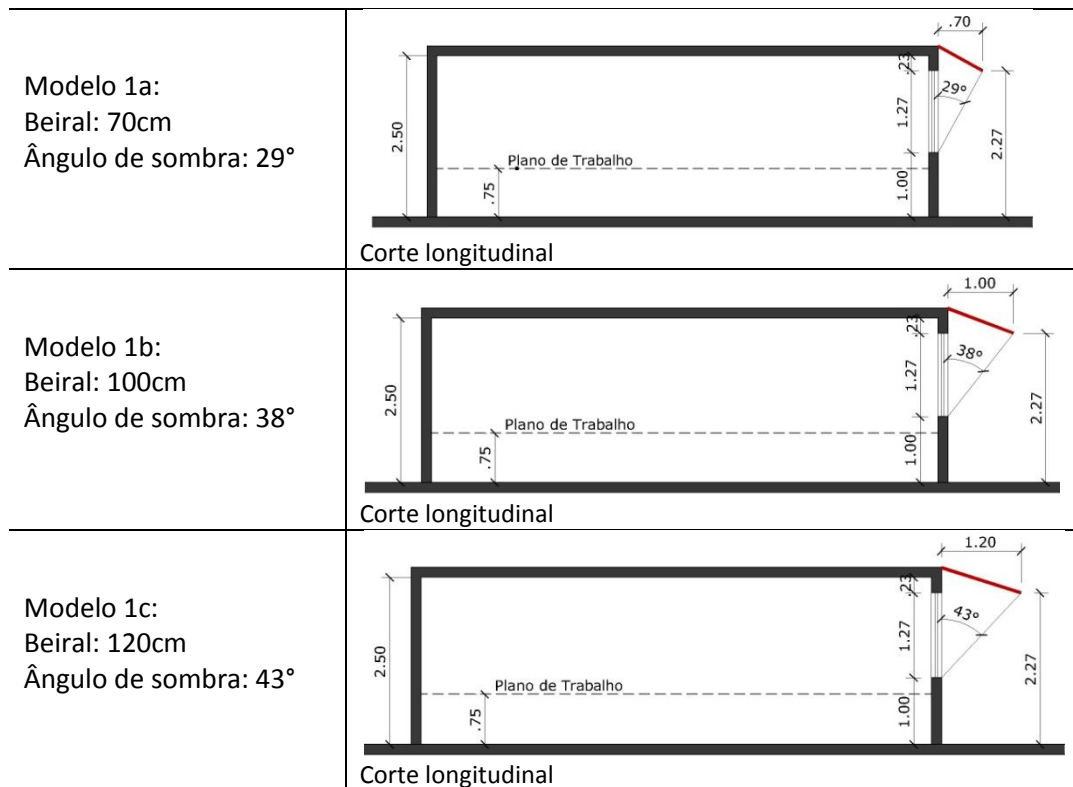
Para verificar a influência desse tipo de proteção no comportamento da luz natural no ambiente interno, o modelo 1 foi construído a partir do modelo base, utilizando as mesmas características de dimensões, formato, abertura, refletâncias e mesmas variáveis de simulação da situação 5. Foi acrescentada apenas a proteção solar na horizontal acima da abertura, com 3 variações de dimensão: modelo 1a, com beiral de 70 centímetros, gerando um ângulo vertical de sombreamento de 29° ; modelo 1b, com beiral de 100 centímetros, com ângulo vertical de sombreamento de 38°; e modelo 1c com o beiral de 120 centímetros, gerando um ângulo vertical de 43° (Tabela 10).

Os beirais das três variações do modelo 1 (modelo 1a, 1b e 1c) foram modelados com superfícies de refletância similares ao utilizado no piso do modelo – 30%. Foi utilizado este dado por está disponível no banco de dados do Software Daysim e está condizente com os valores apresentados pela ASHRAE (2001, apud DORNELLES, 2008) para refletância de telhas de barro – entre 0,35 e 0,20 (apresentado na Tabela 4), material comumente encontrado nesse tipo de proteção solar.

**Tabela 10:** Imagem do modelo 1, Corte Longitudinal do Modelo 1a, 1b e 1c, destacando a dimensão dos beirais.

Esquema 3D do modelo 1





### 3.4.2. Modelo 2

O modelo 2 representa edificações que possuem proteções verticais geradas pelo autosombreamento da fachada. Esse tipo de proteção é comumente encontrado em edificações residenciais multifamiliares, onde as aberturas se localizam em recuos da fachada, que promovem sombreamento nas aberturas, como pode ser observado nas Figuras 22 e 23.



**Figura 22:** Edifício com proteção vertical, formada pelo recuo da fachada.



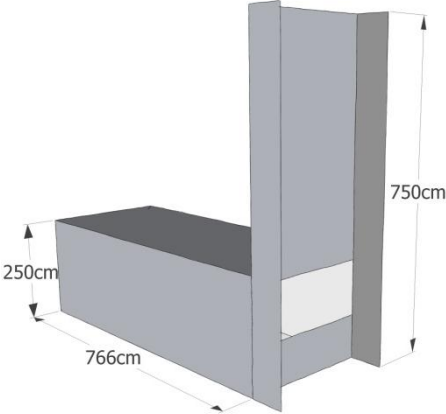
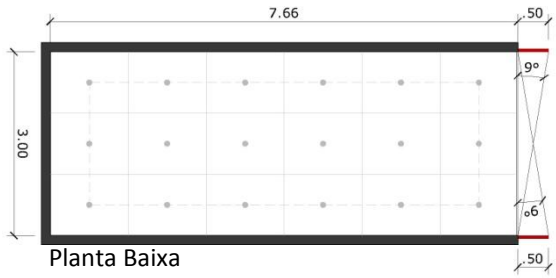
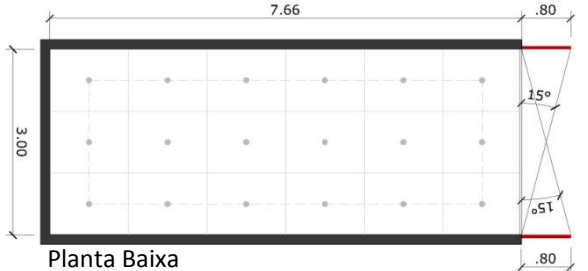
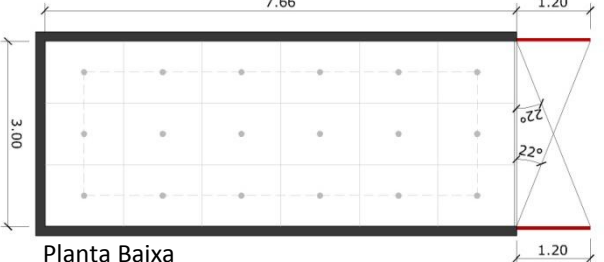
**Figura 23:** Edifício com proteção vertical, formada pelo recuo da fachada.

Para verificar a influência desse tipo de proteção no comportamento da luz natural no ambiente interno, o modelo 2 foi construído a partir do modelo base, utilizando as mesmas características (dimensões, formato, abertura, refletâncias) e mesmas variáveis de simulação da situação 5. Assim, a partir destes, o modelo 2 foi acrescido de proteção solar vertical nas duas laterais da abertura, com 3 variações dimensão: modelo 2a, modelo 2b e modelo 2c.

Modelo 2a possui duas proteções verticais de 50 centímetros, gerando dois ângulos horizontais de sombreamento de 9 graus em cada lado da abertura. Modelo 2b possui

proteção vertical de 80 centímetros, que gera dois ângulos horizontais de sombreamento de 15 graus em cada lado da abertura. E o modelo 2c com proteção solar de 1,2 metros, gerando dois ângulos horizontais de sombreamento de 22 graus em cada lado da abertura (Tabela 11). A refletância dessas proteções, nas três variações do modelo 2, foi de 58%, similar a refletância das paredes internas.

**Tabela 11:** Esquema do modelo 2, e as planta baixa das variações 2a, 2b e 2c, indicando a dimensão da proteção vertical

<p>Esquema 3D do modelo 2</p>	
<p>Modelo 2a: Proteção Vert.: 50cm Ângulo de sombra: 9°</p>	 <p>Planta Baixa</p>
<p>Modelo 2b: Proteção Vert.: 80cm Ângulo de sombra: 15°</p>	 <p>Planta Baixa</p>
<p>Modelo 2c: Proteção Vert.: 120cm Ângulo de sombra: 22°</p>	 <p>Planta Baixa</p>



### 3.4.3. Modelo 3

O modelo 3 representa as proteções horizontais geradas por varandas, elementos tipicamente utilizados em edificações residenciais multifamiliares (Figuras 24 e 25). As varandas promovem o sombreamento vertical das aberturas, assim como o sombreamento gerado pelo peitoril. O comportamento da luz natural nos ambientes que possuem este tipo de proteção é influenciado tanto pelos elementos que barram a luz direta, quanto pela refletância das superfícies que os compõem.



Figura 24: Edifício com varandas

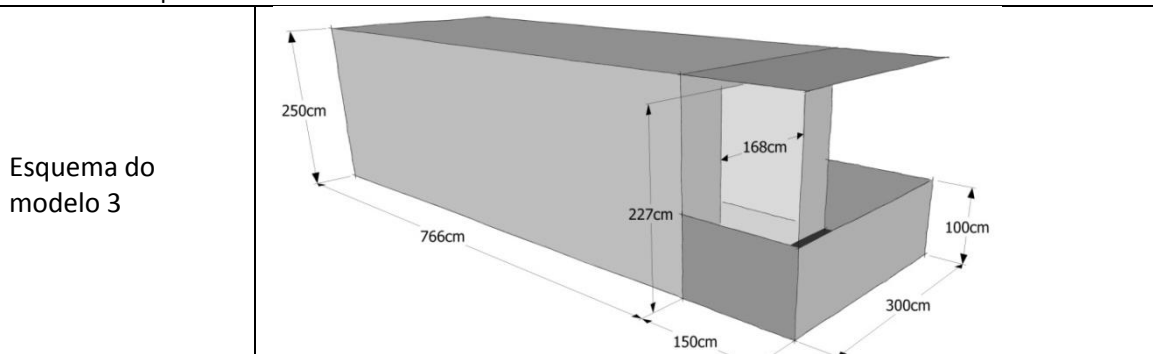


Figura 25: Edifício com varandas

Assim, o modelo 3, foi construído a partir do modelo base, permanecendo as características de dimensão, formato, refletância, além das mesmas variáveis de simulação da situação 5. No entanto, as dimensões da abertura foram modificadas para se configurar uma porta, tendo em vista o uso da varanda. Assim, para garantir a mesma área de abertura do modelo base, de  $3,83\text{m}^2$ , as dimensões da abertura do modelo 3 são: 2,27m de altura (permaneceu a altura da janela) e 1,68m de largura. A varanda inserida foi de 1,50 metros de profundidade, gerando um ângulo vertical de sombreamento de  $31^\circ$  (tabela 12).

As refletâncias das superfícies da varanda são similares às do ambiente interno: piso com refletância de 30%; as paredes (peitoril) refletância de 58%; e teto com refletância, 84%.

Tabela 12: Esquema 3D e corte do modelo 3





Para esta segunda etapa, que objetivou analisar a influência de elementos de proteção solar no limite da profundidade do ambiente, foram desenvolvidos 3 modelos com 3 tipos de proteção e com variações de dimensão destas, assim resultou em 140 simulações. Segue abaixo a Tabela 13 com o resumo dos modelos apresentados na segunda etapa.

**Tabela 13:** Tabela resumo dos modelos 1, 2 e 3.

		MODELO 1			MODELO 2			MODELO 3
Tipo de proteção		Horizontal – tipo beiral			Vertical – tipo recuo			Mista - tipo varanda
Variações do Modelo		1a	1b	1c	1a	1b	1c	-
Dimensão da proteção		70 cm	100 cm	120 cm	50 cm	80 cm	120 cm	150 cm
Situação 5	Iluminância de Projeto	60 lux						
	Autonomia de Luz Natural	70%						
	Horário de Ocupação	Variável						
	Cidades simuladas	5 cidades						
	Orientação	Norte, Sul, Leste, Oeste						
Total de simulações		20	20	20	20	20	20	20

No total, considerando todos os modelos das duas etapas de simulação foram realizadas 336 simulações.

### 3.5. Simulação no *Software Daysim*

Para iniciar as simulações foi necessário importar para o *Software Daysim* em formato 3ds, os modelos tridimensionais já construídos e caracterizados no programa Sketchup.

Depois de carregado o arquivo 3ds do modelo, é carregada também a malha de pontos de medição do ambiente e configurados os parâmetros da simulação.

O Daysim simula a iluminação através do Radiance, e possui parâmetros de simulação que podem ser definidos individualmente para cada simulação e que guiam o programa como realizar esta simulação (REINHART 2010). No tutorial do Daysim (op. citi) são sugeridos alguns dados de entrada que devem ser inseridos de acordo com as características da complexidade da fachada do modelo: modelos com fachadas simples (Tabela 14) e modelos com fachadas complexas, com o uso de brises ou persianas (Tabela 15).

**Tabela 14:** Dados de entrada para modelos com fachadas simples

Ambient bounces	Ambiente division	Ambient sampling	Ambient accuracy	Ambient resolution	Direct threshold	Direct sampling
<b>5</b>	<b>1000</b>	<b>20</b>	0.1	300	0	0

Fonte: REINHART, 2010

**Tabela 15:** Dados de entrada para modelos com fachadas complexas (uso de brises ou persianas)

Ambient bounces	Ambiente division	Ambient sampling	Ambient accuracy	Ambient resolution	Direct threshold	Direct sampling
<b>7</b>	<b>1500</b>	<b>100</b>	0.1	300	0	0

Fonte: REINHART, 2010

O Radiance calcula os caminhos da luz traçados a partir o olho do espectador (ou dos sensores) para as fontes de luz, e os parâmetros indicam o número de raios de luz que devem ser considerados (REINHART, 2010). Como podem ser observados nas tabelas 14 e 15 os parâmetros que modificam para fachadas simples ou complexas são Ambient bounces, Ambiente division, Ambient sampling.

O parâmetro *Ambient bounces* (ab), descreve o número de reflexões internas que serão calculadas antes de um raio ser descartado nos cálculos. De acordo com Reinhart (2010), o valor ab de 5 é suficiente para uma sala padrão, sem elementos de fachada complicados. Este valor deve que ser maior se houver venezianas ou brises na fachada, sendo sugerido pelo autor o ab de 7 nessas situações.

O parâmetro *Ambient division* (ad) determina o número de raios que são enviados a partir de um ponto da superfície durante a simulação. Este parâmetro deve ter um valor mais alto se a distribuição da luminância tenha uma alta variação (com alto gradiente).

O *Ambient sampling*, está relacionado com o com o ad, e indica quantos raios extras serão enviados para as áreas com grande variação de luminância (REINHART, 2010).

Quanto maiores os valores desses parâmetros, mais precisos serão os resultados da simulação, e conseqüentemente maior será o tempo gasto para realizá-las. Neste trabalho, como os modelos não possuem fachadas com elementos complexos para cálculos da luz natural, como brises ou persianas, por isso foram utilizados os dados sugeridos no tutorial para fachadas simples.

Após cada simulação o Daysim produz um relatório com valores em métricas de análise da luz natural para cada ponto da malha, identificados por coordenadas (x, y e z). As métricas fornecidas são as seguintes: Fator de Luz Diurna (FLD), Autonomia de Luz Natural (DA), Autonomia de Luz Natural Contínua ( $DA_{con}$ ), Autonomia de Luz Natural Máxima ( $DA_{max}$ ), Iluminância Natural Útil (UDI) , já apresentadas no item 2.5.1. Há também a informação sobre a Exposição anual de luz (annual light exposure) que é o montante de luz incidente visível acumulado em um ponto ao longo de um ano, que é expressa em lux horas por ano (Tabela 16)

**Tabela 16:** Tabela de dados de uma simulação no Daysim.

x	y	z	DF [%]	DA [%]	DA <sub>con</sub> [%]	DA <sub>max</sub> [%]	UDI <sub>&lt;100</sub> [%]	UDI <sub>100-2000</sub> [%]	UDI <sub>&gt;2000</sub> [%]	annual light exposure [luxh]
0.500	7.022	0.750	0.1	0	33	0	100	0	0	75252
0.500	5.745	0.750	0.1	0	40	0	100	0	0	92492
0.500	4.468	0.750	0.1	13	72	0	100	0	0	168230
0.500	3.192	0.750	0.3	84	94	0	67	33	0	327062
0.500	1.915	0.750	0.6	96	99	0	11	89	0	693077
0.500	0.638	0.750	1.8	99	100	25	2	98	0	1675894
1.500	7.022	0.750	0.1	0	35	0	100	0	0	80856
1.500	5.745	0.750	0.1	0	44	0	100	0	0	101215
1.500	4.468	0.750	0.1	21	76	0	100	0	0	178927
1.500	3.192	0.750	0.3	82	94	0	68	32	0	323510
1.500	1.915	0.750	0.7	96	99	0	10	90	0	734652
1.500	0.638	0.750	2.0	99	100	30	2	98	0	1807326
2.500	7.022	0.750	0.1	0	33	0	100	0	0	77243
2.500	5.745	0.750	0.1	0	44	0	100	0	0	101278
2.500	4.468	0.750	0.1	12	72	0	100	0	0	167637
2.500	3.192	0.750	0.3	81	94	0	71	29	0	318628
2.500	1.915	0.750	0.6	96	98	0	12	88	0	669058
2.500	0.638	0.750	1.9	99	100	24	3	97	0	1706606

Fonte: Relatório de simulação do Daysim.

### 3.5.1. Arquivo Climático

Para descrever os valores anuais de luz natural disponível no interior de um edifício, é necessário saber os valores de radiação solar e números de horas de sol ao longo do ano na localidade estudada. Este tipo de informação é fornecida em arquivos climáticos que contêm dados meteorológicos considerados típicos de dada localidade, considerado, portanto, o ano de referência, o TRY (Test Reference Year). Nestes arquivos são fornecidos o perfil anual típico do clima da localidade em dados horários, tais como temperatura, direção e velocidade do vento, tipo do céu, radiação direta e difusa (REINHART, 2010).

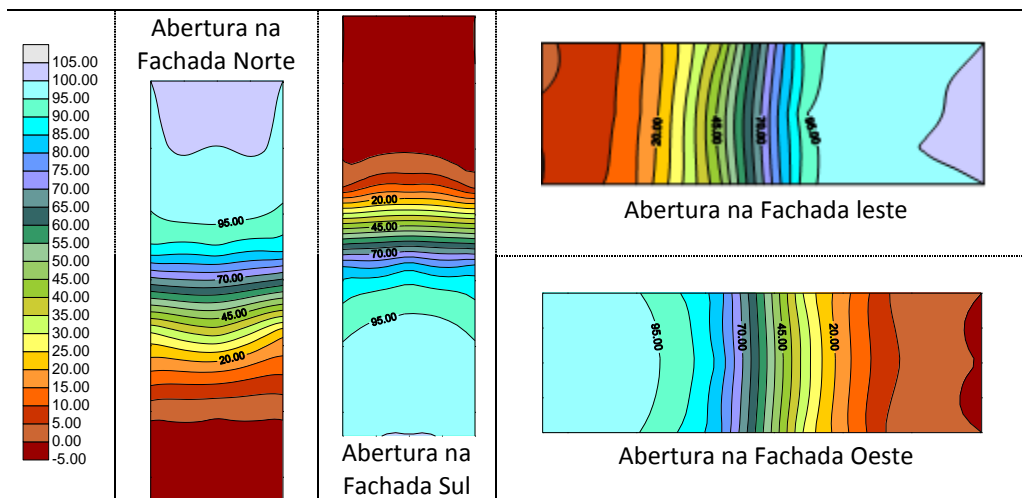
O Daysim importa dois tipos de formato de arquivos climáticos que contém o TRY, os arquivos em formatos .epw e .wea, e extrai as informações necessárias para a simulação (REINHART, 2010). Neste trabalho, foram utilizados os arquivos climáticos de cidades brasileiras disponibilizados no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (<http://www.labeee.ufsc.br>), o qual fornece gratuitamente dados climáticos de diversas localidades brasileiras em formato .epw.

Para a análise da profundidade alcançada pela luz natural no ambiente foi utilizada parte da metodologia desenvolvida por Didoné (2009), que utilizou diferentes métodos gráficos integrados para análise dos dados resultantes das simulações. Os métodos integrados permitem uma avaliação visual do comportamento da luz natural e numérica de acordo com os dados obtidos.

### 3.5.2. Processamento e análise dos dados

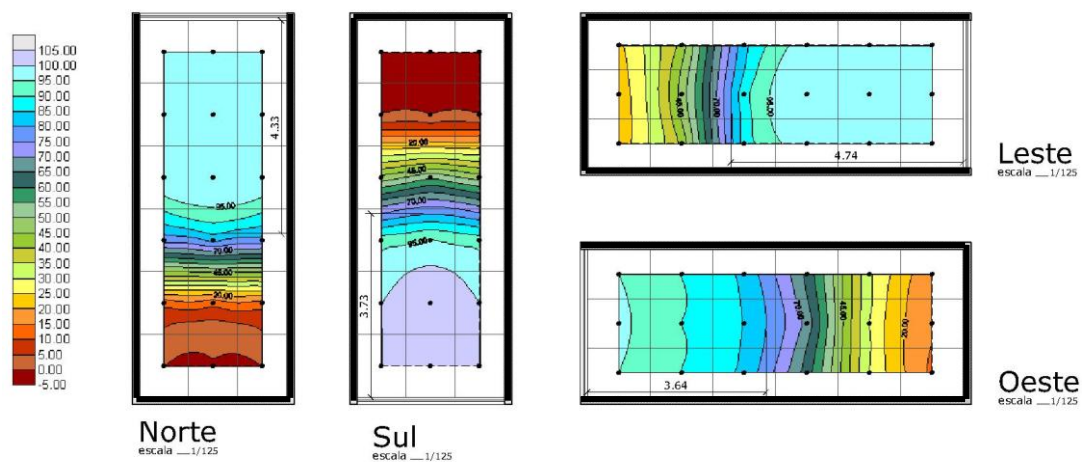
Após as simulações o relatório gerado pelo Daysim fornece os valores de Autonomia de Luz Natural (DA) em cada ponto da malha de medição. Esses dados foram inseridos no programa WinSurf, que converte tabela de dados em curvas de cores falsas com mesmo DA

(ISO-DA) (Figura 26). Com o gráfico gerado é possível analisar o comportamento da luz natural, visualizando as diferentes faixas de valores de DA distribuídos pelo plano de trabalho.



**Figura 26** : Gráficos de ISO-DA gerados pelo Winsurf para análise do comportamento da Luz Natural<sup>5</sup>.

Em seguida, os gráficos gerados no Winsurf são exportados na extensão .jpg e inseridos no AutoCAD 2009, sobrepostos à planta baixa do ambiente, com sua respectiva malha de pontos (Figura 27). Dessa forma é possível analisar o comportamento da luz natural em conjunto com os limites do ambiente e a medição da profundidade atingida por cada curva de ISO-DA.



**Figura 27**: Gráficos de ISO-DA gerados pelo Winsurf e inseridos no Autocad para análise do comportamento da Luz Natural em conjunto com o limite do ambiente.

No estudo aqui apresentado, a profundidade em metros alcançada pela luz natural foi relacionada com a altura da janela. Assim, as medições da profundidade foram feitas na planta do arquivo CAD divididas por 2,27m (altura da verga da janela dos modelos). Ou seja, a profundidade descrita nesse trabalho é igual a profundidade atingida pela luz natural, dividida pela a altura da janela, conforme a equação abaixo:

<sup>5</sup> Na legenda gerada pelo Winsurf verificam-se os valores de -5 e 105. Esses valores são criados automaticamente pelo programa, mas não entram nos resultados.

$$P = P_{LN} / H$$

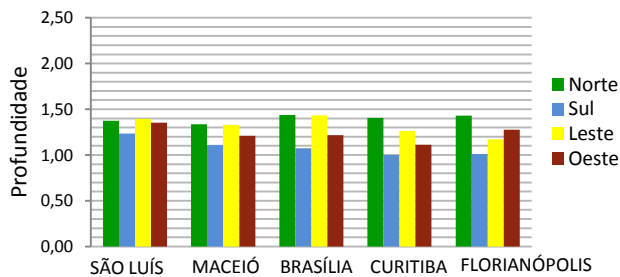
Onde,

P= Profundidade (adimensional)

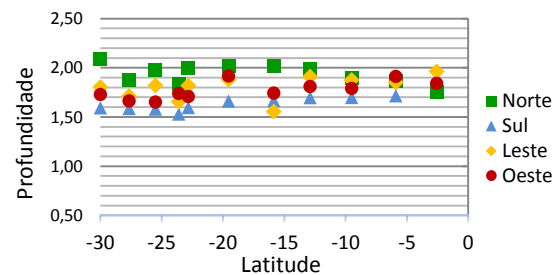
P = Profundidade alcançada no ambiente pela Luz Natural com a iluminância de projeto e Autonomia de Luz Natural (DA) definidos (em metros)

H = Altura da verga da janela, que em todos os modelos foi de 2,27m

A partir dos gráficos de ISO-DA, é medida a profundidade alcançada pela luz com características previamente definidas pelo modelo. Os valores medidos em cada simulação são sintetizados no formato de gráficos, gerados pelo programa Microsoft Excel (Figuras 28 e 29). A partir desses gráficos é possível a comparação dos resultados entre as várias simulações, por latitude e orientação.



**Figura 28:** Exemplo de método gráfico para análise do comportamento da Luz Natural



**Figura 29:** Exemplo de método gráfico para análise do comportamento da Luz Natural

Ao observar os gráficos e comparar os resultados é possível identificar valores que representam, de maneira geral, o limite da profundidade do ambiente em relação a altura da janela que garante condições de iluminação natural conhecidas (definidas pelo modelos). Assim, foram identificados valores do limite da profundidade em relação a altura da janela, para ambientes sem proteção solar, e para ambientes com proteção solar.

### 3.6. Verificação da aplicabilidade dos Resultados

Depois de identificados os valores do limite da profundidade do ambiente em relação à altura da janela para ambientes com e sem proteção solar, verificou-se a aplicabilidade (desses valores) em ambientes de edificações residenciais reais localizadas nas cidades de Florianópolis e Brasília.

Para verificar a aplicabilidade do valor da profundidade limite de ambientes sem proteção solar, foi averiguada a relação da profundidade com a altura da janela em 20 ambientes de edificações residenciais. Tais ambientes não possuem nenhum tipo de proteção solar e 8 deles são de edificações localizadas em Florianópolis e 12 na cidade de Brasília.

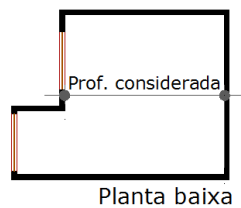
Para testar a aplicabilidade do valor limite da profundidade de ambientes com proteção solar, foi verificada a relação da profundidade do ambiente com a altura da abertura em 20 ambientes de edificações residenciais. Os ambientes possuem proteção solar nas aberturas do tipo horizontal (beiral), vertical (recuos e brises), ou proteção mista (varanda). Dos ambientes

selecionados, três deles são de edificações localizadas em Florianópolis e 17 de edificações localizadas em Brasília.

Os ambientes das edificações localizadas em Florianópolis foram selecionados pela equipe do Laboratório de Eficiência Energética de Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (LABEEE), com o objetivo de testar alguns parâmetros do RTQ-R. Portanto, também foram utilizados para verificação da aplicabilidade dos resultados identificados no estudo aqui apresentado. Os ambientes das edificações localizadas em Brasília foram selecionados pela autora de maneira aleatória, possibilitando a verificar aplicabilidade dos valores identificados para profundidade limite em um maior número de ambientes.

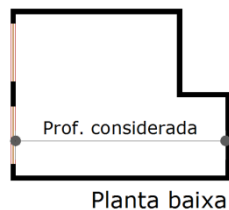
Para verificar a relação da profundidade com a altura da janela nos ambientes selecionados e assim verificar a aplicabilidade dos valores limites identificados nesse estudo, foram definidas as seguintes condições:

- a) Ambientes com mais de uma abertura em paredes diferentes, mas com uma superfície única de profundidade, foi considerada a menor profundidade (Figura 30)



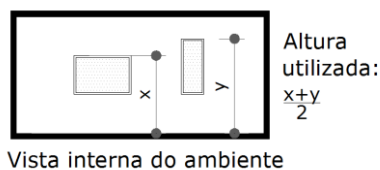
**Figura 30:** Esquema da condição “a” para verificação da aplicabilidade dos resultados em ambientes reais.

- b) Ambiente com aberturas em uma fachada e o limite oposto (profundidade) com superfícies de distâncias diferentes (diferentes profundidades) foi considerado a maior distância (a maior profundidade) (Figura 31);



**Figura 31:** Esquema da condição “b” para verificação da aplicabilidade dos resultados em ambientes reais.

- c) Ambientes com aberturas de alturas diferentes, na mesma fachada, foi utilizada a média das alturas (Figura 32).



**Figura 32:** Esquema da condição “c” para verificação da aplicabilidade dos resultados em ambientes reais.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

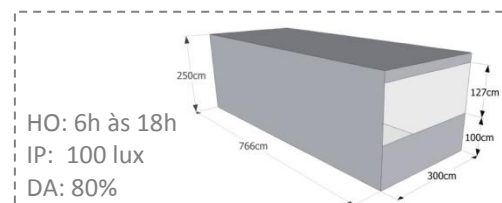
Este Capítulo apresenta os resultados obtidos durante a pesquisa a partir da aplicação da metodologia utilizada. As análises do comportamento da luz natural foram realizadas através do uso da medida dinâmica Daylight Autonomy (DA), que indica a porcentagem de horas em que o nível de iluminância de projeto é mantido no ambiente. Assim, os resultados obtidos tratam da profundidade alcançada pela luz natural com determinada porcentagem de DA dividida pela altura da janela dos modelos (2,27m).

Inicialmente apresentam-se os resultados da primeira etapa, onde foi simulado o modelo base nas situações de 1 a 5, analisando portanto, o comportamento da luz natural em um mesmo modelo, alterando as variáveis de Iluminância de Projeto, Porcentagem de DA, Horário de ocupação, Latitude e orientação. Em seguida há uma discussão preliminar desses resultados, onde é apresentado o valor limite para profundidade em relação à altura da janela para ambientes sem proteção solar. Ao fim desta etapa apresenta-se a verificação da aplicabilidade do valor identificado para profundidade limite do ambiente sem proteção solar.

Posteriormente, apresentam-se os resultados da segunda etapa, através dos resultados dos modelos 1, 2 e 3, que foram utilizados para analisar o comportamento da luz natural em ambientes com proteção solar. Os resultados das simulações desses modelos são comparados com os resultados do modelo base, na situação 5 (sem proteção), a fim de verificar o impacto na profundidade alcançada pela luz natural no ambiente com proteção solar. Da mesma forma da primeira etapa, apresenta-se uma discussão sobre esses resultados, que identifica o valor limite para profundidade em relação à altura da janela para ambientes com proteção solar. Por fim, apresenta-se a verificação da aplicabilidade do valor identificado para profundidade limite do ambiente com proteção solar, conforme apresentado na metodologia.

### 4.1. Resultados - 1ª Etapa

#### 4.1.1. Modelo Base – Situação 1

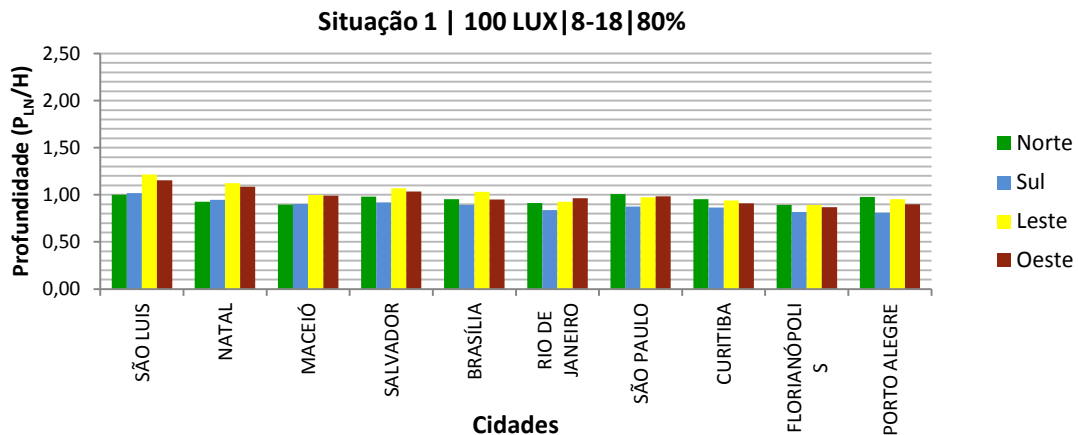


Na primeira situação simulada utilizou-se o horário de ocupação das 6h às 18h, com a iluminância de projeto de 100 lux e com o percentual de autonomia de luz natural (DA) de 80% das horas do ano (dentro do horário de ocupação estipulado). Esta situação foi simulada em dez cidades – São Luis, Natal, Maceió, Salvador, Brasília, Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba, Florianópolis, e Porto Alegre – nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste, em cada uma das cidades, resultando em 40 simulações (Apêndice 1).

O gráfico 1 resume estes resultados, apresentando a profundidade alcançada pela luz natural nas condições descritas, com relação a altura da janela.

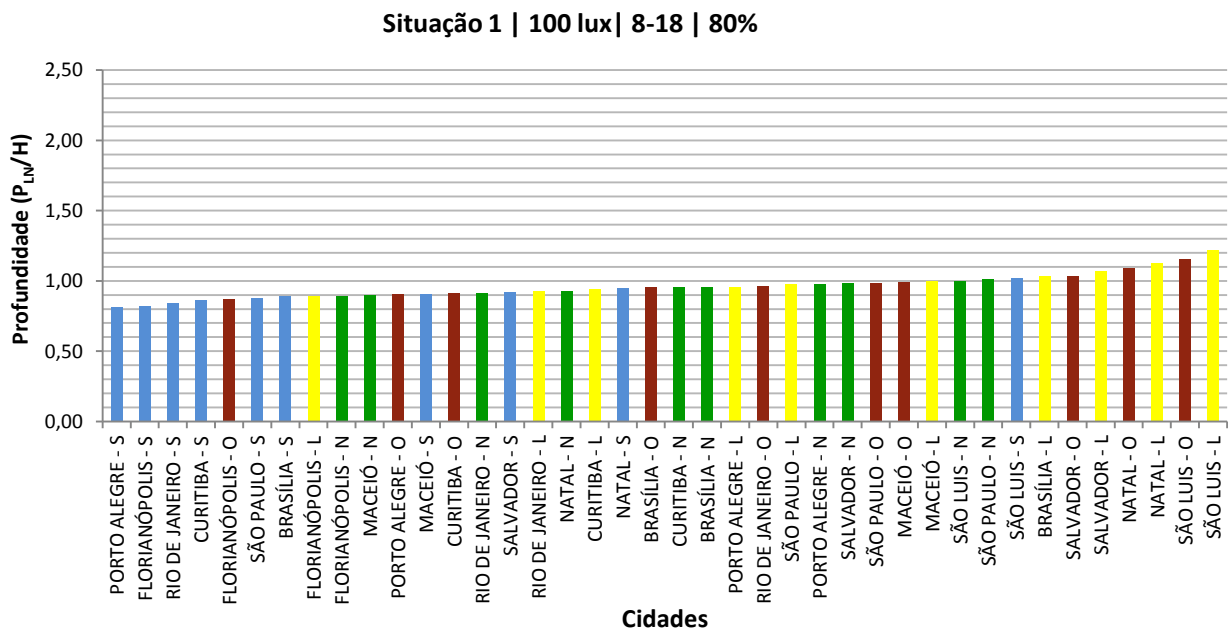


**Gráfico 1:** Modelo base – Situação 1. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela, por cidade e orientação.



O gráfico 2 apresenta a comparação dos valores da profundidade alcançada pela luz natural com relação à altura da janela em ordem crescente, sendo possível analisar a tendência dos resultados por latitude e orientação.

**Gráfico 2:** Modelo base – Situação 1. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela em ordem crescente.

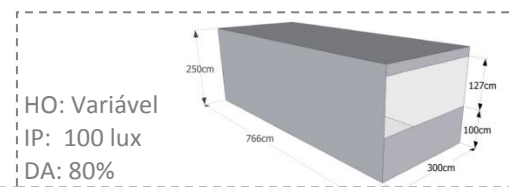


Através dos gráficos 1 e 2 apresentados, pode-se analisar o comportamento da luz natural decorrente da influência das variáveis definidas para esse modelo e situação. Observa-se que a profundidade alcançada pela luz natural em todas as cidades e orientações foi entre 0,8 a 1,2 vezes a altura da janela para as condições pretendidas (100 lux, em 80% das horas, com o horário de ocupação de 8:00 às 18:00). A média da profundidade atingida foi de 0,96 vezes a altura da janela, e por orientação foi: Norte, 0,95; Sul, 0,89; Leste, 1,01 e Oeste, 0,98 vezes a altura da janela. Este resultado está bem abaixo dos valores descritos na literatura, em torno de 1,5 e 2,5 (REINHART, 2005).

Observa-se também que houve pouca diferença nos valores em relação às diferentes latitudes e orientação. Houve uma pequena tendência dos menores valores de profundidade para a orientação Sul nas cidades com maior latitude (Porto Alegre, Florianópolis, Rio de Janeiro e Curitiba). Já os resultados de maior profundidade alcançada pela luz natural tiveram como tendência as orientações Leste e Oeste para as cidades com menor latitude (São Luis e Natal). A orientação Norte obteve valores intermediários.

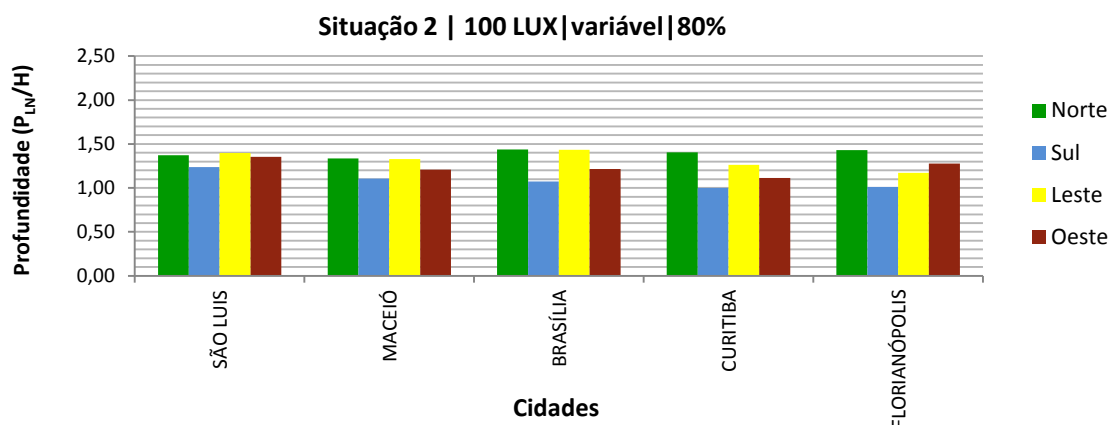
O comportamento apresentado nos resultados dessa situação, com os maiores valores na orientação Leste e Oeste para as cidades de menor latitude, ocorreu devido ao horário de sol nessas cidades. As cidades de menor latitude possuem um horário de sol quase constante ao longo do ano (mesmas horas de nascer e por do sol), com o nascer próximo das 6h e com o pôr-do-sol próximo das 18h, coincidente com o horário de ocupação definido para a simulação. Já as cidades com maior latitude, no período de inverno (julho, agosto), as horas de sol são reduzidas com relação ao horário de ocupação definido, sendo computados nos resultados horas em que ainda não há luz natural. E no verão, quando o período de sol é maior, as horas “a mais” de luz natural não são computadas tendo em vista a ocupação ter sido delimitada até às 18h.

#### 4.1.1. Modelo Base – Situação 2



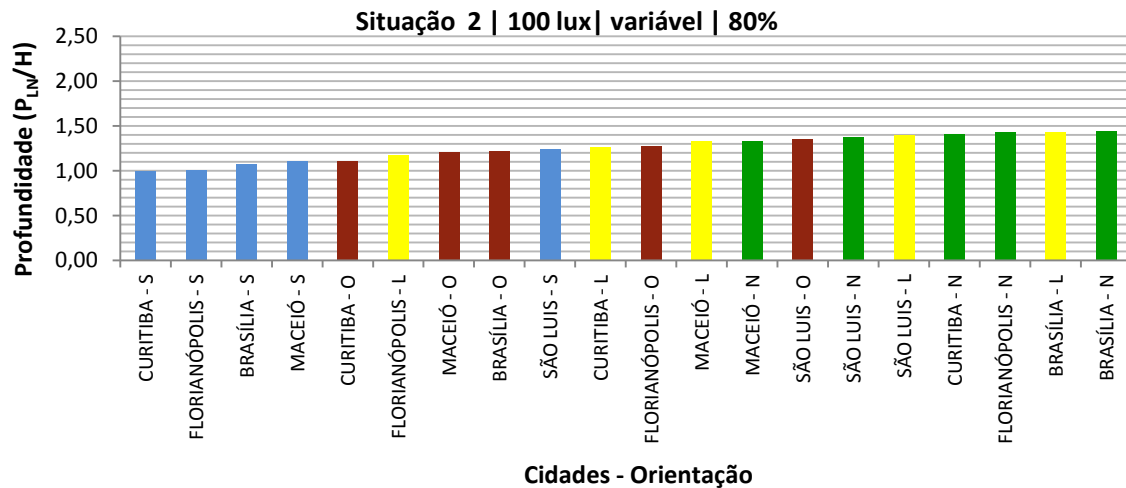
A Situação 2 foi simulada com o horário de ocupação variável (Tabela 7, item 3.3), com o nível de iluminância de projeto de 100 lux, e DA de 80%. Esta situação foi simulada para cinco cidades: São Luis, Brasília, Maceió, Florianópolis e Curitiba nas quatro orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste), resultando em 20 simulações (Apêndice 2), que permitiram observar de maneira geral o comportamento da luz natural diante das mudanças das variáveis da situação 2. O gráfico 3 resume estes resultados, apresentando a profundidade alcançada pela luz natural com relação a altura da janela, nas condições descritas na situação.

**Gráfico 3:** Modelo base – Situação 2. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela, por cidade e orientação.



O gráfico 4 apresenta a comparação dos valores da profundidade alcançada pela luz natural com relação a altura da janela em ordem crescente, sendo possível analisar a tendência dos resultados por latitude e orientação.

**Gráfico 4:** Modelo base – Situação 2. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela em ordem crescente.

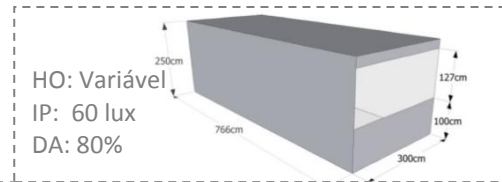


Através dos gráficos 3 e 4 apresentados, pode-se analisar o comportamento da luz natural decorrente da influência das variáveis definidas para a situação 2. Observa-se que a profundidade alcançada pela luz natural nesta situação foi diferente em relação à Situação 1. O padrão dos maiores valores de profundidade passou a ser a orientação Norte para as cidades de maiores latitudes. As orientações Leste e Oeste passaram a apresentar os valores intermediários. A orientação Sul obteve os menores valores para as cidades de maior latitude.

Esse comportamento da luz natural responde à maior incidência de luz solar na fachada Norte durante o dia, tendo em vista que na fachada norte, a luz solar direta é constante tanto no período da manhã quanto à tarde, principalmente nas maiores latitudes, enquanto as orientações Leste e Oeste recebem luz direta apenas em um período do dia (pela manhã ou à tarde). A fachada com orientação Sul é a que recebe menos luz direta, principalmente nas maiores latitudes, por isso os menores valores de profundidade.

Observa-se também que, para garantir 100 lux durante 80% das horas, apesar de considerar o horário de ocupação variável para cada cidade, os valores para profundidade ficaram entre 1 e 1,44 vezes a altura da janela. A média da profundidade atingida foi de 1,26 vezes a altura da janela, e por orientação foi: Norte, 1,40 ; Sul, 1,09 ; Leste, 1,32 e Oeste, 1,23 vezes a altura da janela. Este resultado apresenta-se abaixo do valor apresentado na literatura que é de 1,5 a 2,5 vezes a altura da janela (REINHART, 2005; VIANNA e GONÇALVES, 2007).

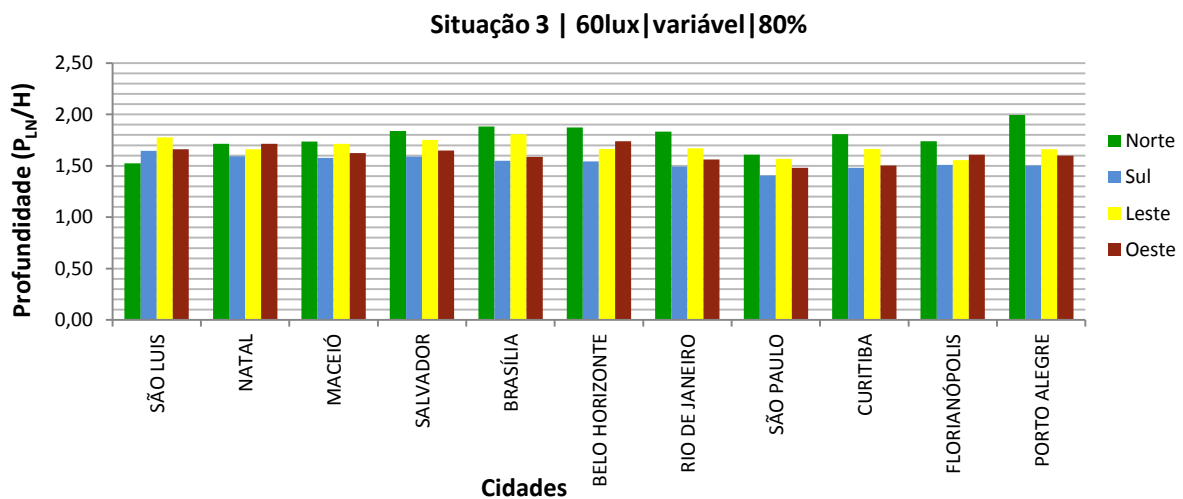
#### 4.1.2. Modelo base – Situação 3



A Situação 3 foi simulada com o horário de ocupação variável de acordo com o horário de sol de cada cidade (Tabela 7, item 3.3) como na situação 2. Contudo, a iluminância de projeto foi diminuída para 60 lux, conforme a NBR 15.575, que recomenda esse valor para o nível de iluminância de luz natural para ambientes residenciais (salas, quartos, cozinhas e banheiros). Nessa situação, a autonomia de luz natural exigida com a iluminância de projeto foi de 80% (DA de 80%). Esta Situação foi simulada nas 11 cidades estudadas – São Luis, Natal, Maceió, Salvador, Brasília, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba, Florianópolis, e Porto Alegre –, nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste, resultando em 44 simulações (Apêndice 3)

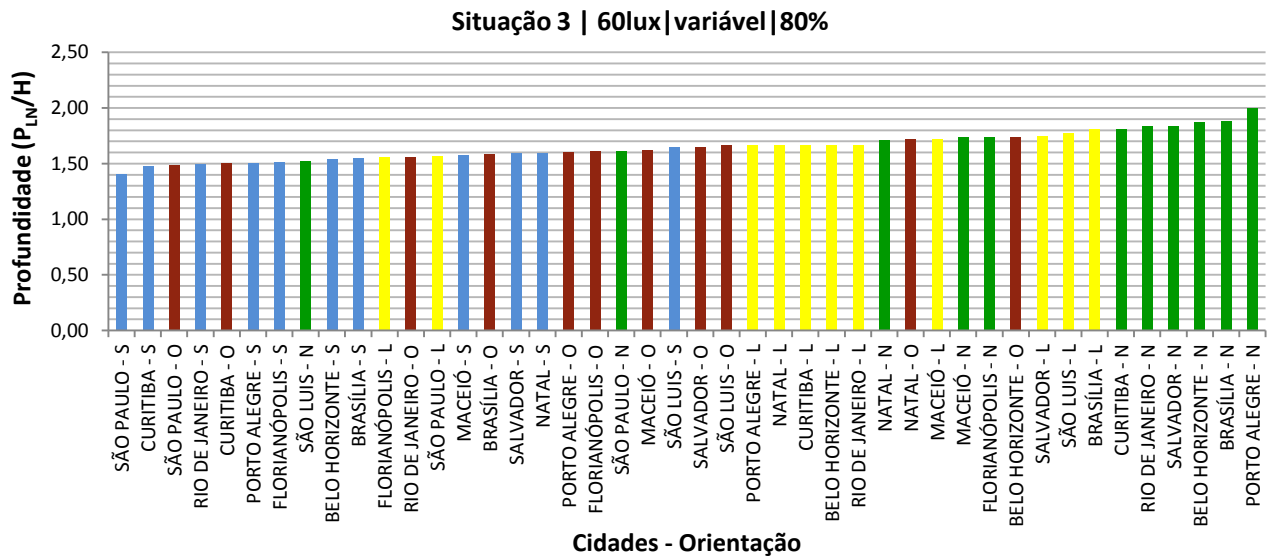
O gráfico 5 resume estes resultados, apresentando a profundidade alcançada pela luz natural com relação a altura da janela, nas condições descritas na situação.

**Gráfico 5:** Modelo base – Situação 3. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela, por cidade e orientação.



O gráfico 6 apresenta a comparação dos valores da profundidade alcançada pela luz natural com relação a altura da janela em ordem crescente, sendo possível analisar a tendência dos resultados por latitude e orientação.

**Gráfico 6:** Modelo base – Situação 3. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela em ordem crescente.

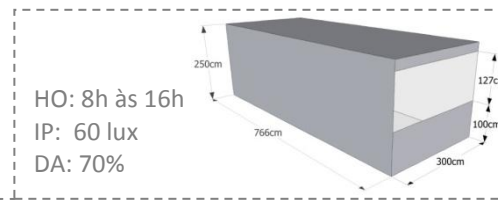


Através dos gráficos 5 e 6 apresentados, pode-se analisar o comportamento da luz natural decorrente da influência das variáveis definidas para a situação 3. Observa-se que a profundidade alcançada pela luz natural nesta situação obteve o mesmo valor com relação à situação anterior – os maiores valores de profundidade foram obtidos para a orientação Norte nas cidades de maior latitude. As orientações Leste e Oeste mantiveram a tendência dos valores intermediários e para a orientação Sul obteve-se os menores valores, principalmente nas menores latitudes.

A menor profundidade alcançada pela luz natural foi para a orientação Sul na cidade de São Paulo, com o valor de 1,41 vezes a altura da janela, e o maior valor foi para a orientação Norte em Porto Alegre, com 2 vezes a altura da janela. A média da profundidade atingida foi de 1,65 vezes a altura da janela, e por orientação foi: Norte, 1,77 ; Leste, 1,68 ; Oeste, 1,61; e Sul, 1,53 vezes a altura da janela. Estes valores se aproximam dos valores para profundidade limite apresentada na literatura que é de 1,5 a 2,5 vezes a altura da janela (REINHART, 2005; VIANNA e GONÇALVES, 2007).

Este resultado mostra que, se ao aplicar a média da profundidade alcançada pela luz natural encontrada (1,65 vezes a altura da janela), em ambiente similar ao utilizado no modelo (sem proteção solar, área de abertura com 1/6 da área de piso, altura da janela de 2,27m e com refletâncias similares), pode-se obter 60 lux de luz natural, em 80% das horas, considerando o horário de ocupação variável, em um ano, em até 3,75 metros de profundidade a partir da abertura.

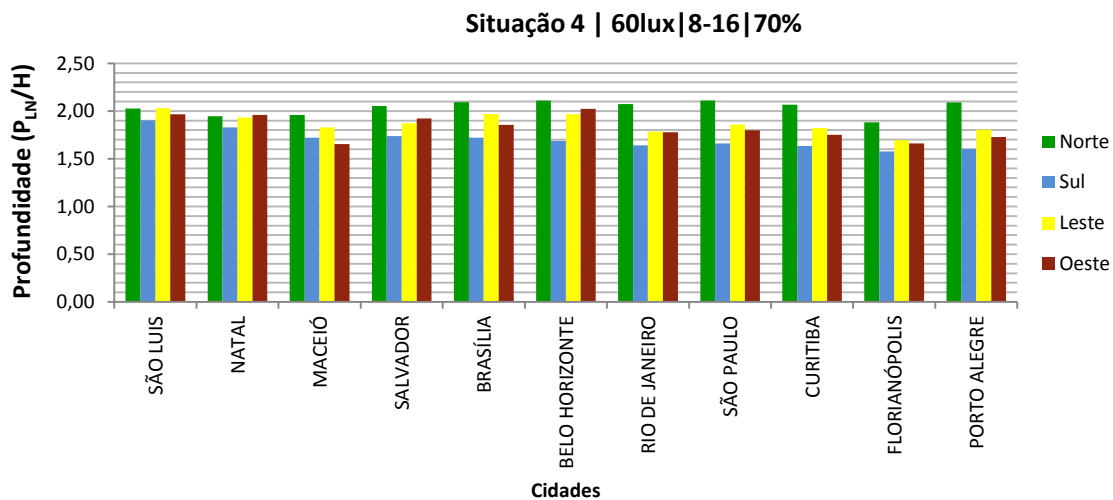
#### 4.1.3. Modelo base – Situação 4



A Situação 4 foi simulada com o horário de ocupação variável de acordo com o horário de sol de cada cidade (Tabela 7, item 3.3) e com a iluminância de projeto de 60 lux, como na situação anterior. Contudo, foi utilizado o DA de 70%, a fim de permitir uma maior profundidade de penetração da luz natural no ambiente. Nesse modelo optou-se também por verificar o comportamento da luz no horário das 8h às 16h para todas as cidades, pois trata-se do menor horário utilizado no horário variado (ver tabela 7). Assim, a Situação 4 verificou a Iluminância de Projeto de 60 lux em 70% das horas (DA 70%) no horário de ocupação das 8h às 16h para as 11 cidades estudadas – São Luis, Natal, Maceió, Salvador, Brasília, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba, Florianópolis, e Porto Alegre, nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste, resultando em 44 simulações (Apêndice 4).

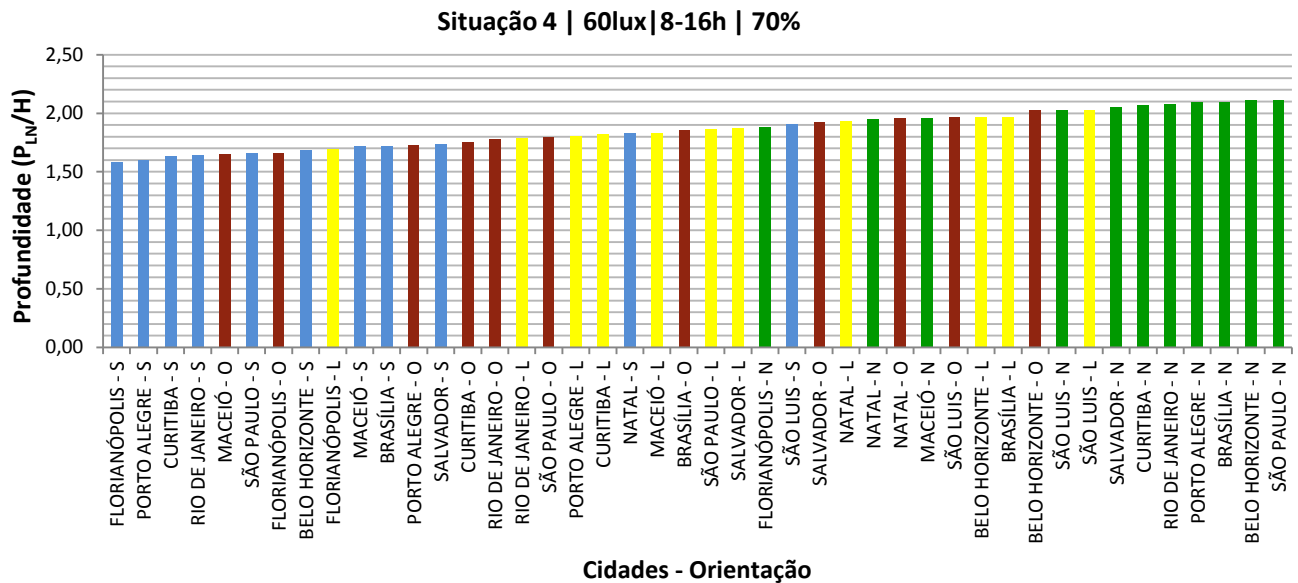
O gráfico 7 resume estes resultados, apresentando a profundidade alcançada pela luz natural com relação a altura da janela, nas condições descritas na situação.

**Gráfico 7:** Modelo base – Situação 4. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela, por cidade e orientação.



O gráfico 8 apresenta a comparação dos valores da profundidade alcançada pela luz natural com relação a altura da janela em ordem crescente, sendo possível analisar a tendência dos resultados por latitude e orientação.

**Gráfico 8:** Modelo base – Situação 4. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela em ordem crescente.

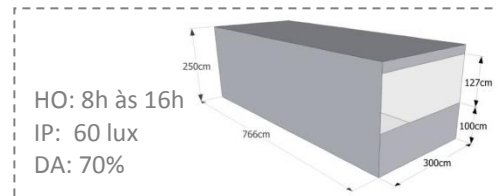


Através dos gráficos 7 e 8 pode-se analisar o comportamento da luz natural decorrente da influência das variáveis definidas para a situação 4. Verifica-se que a profundidade alcançada pela luz natural nesta situação obteve um comportamento similar em relação à situação anterior, que utilizou o horário de ocupação variável. O padrão da maior profundidade de penetração da luz natural nos ambientes permaneceu para a orientação Norte, principalmente nas cidades de maior latitude; as orientações Leste e Oeste permaneceram com a tendência de valores de profundidade intermediários; e a orientação Sul obteve os menores valores, principalmente para as cidades de menor latitude.

A principal diferença entre os resultados das Situações 3 e 4 foi o aumento da profundidade alcançada pela luz natural com relação à altura da janela, tendo em vista a menor exigência do DA e menor horário de ocupação ou seja, computando os resultados quando há disponibilidade de luz natural. A menor profundidade alcançada foi na orientação Sul na cidade de Florianópolis, com o valor de 1,58 vezes a altura da janela, e o maior valor foi para a orientação Norte em São Paulo, com 2,11 vezes a altura da janela. A média da profundidade atingida pela luz natural foi de 1,85 vezes a altura da janela. E por orientação as médias foram: Norte, 2,03 ; Leste, 1,87 ; Oeste, 1,82; e Sul, 1,70. Estes valores se aproximam dos valores para profundidade limite apresentados na literatura, de 1,5 a 2,5 vezes a altura da janela (REINHART, 2005; VIANNA e GONÇALVES, 2007).

Este resultado indica que ao aplicar a média da profundidade alcançada pela luz natural, 1,85 vezes a altura da janela, em ambientes similares ao utilizado no modelo (sem proteção solar, a área de abertura com 1/6 da área de piso, altura da janela de 2,27 e com refletâncias similares) resulta que até 4,19 metros de profundidade a partir da abertura, pode-se obter 60 lux de luz natural, em 70% das horas, considerando o horário de ocupação de 8h às 16h em um ano.

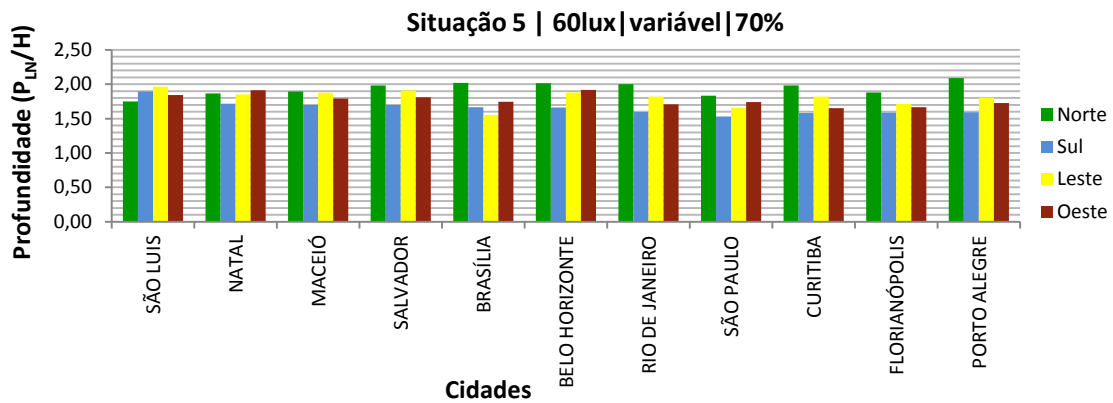
4.1.4. Modelo base – Situação 5



A Situação 5 foi simulada verificando a iluminância de projeto de 60 lux em uma autonomia de 70% das horas do ano (DA 70%) com o horário de ocupação variável, conforme a Tabela 7 (no item 3.3). Esta situação foi simulada em 11 cidades – São Luis, Natal, Maceió, Salvador, Brasília, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba, Florianópolis, e Porto Alegre, nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste, resultando em 44 simulações (Apêndice 5).

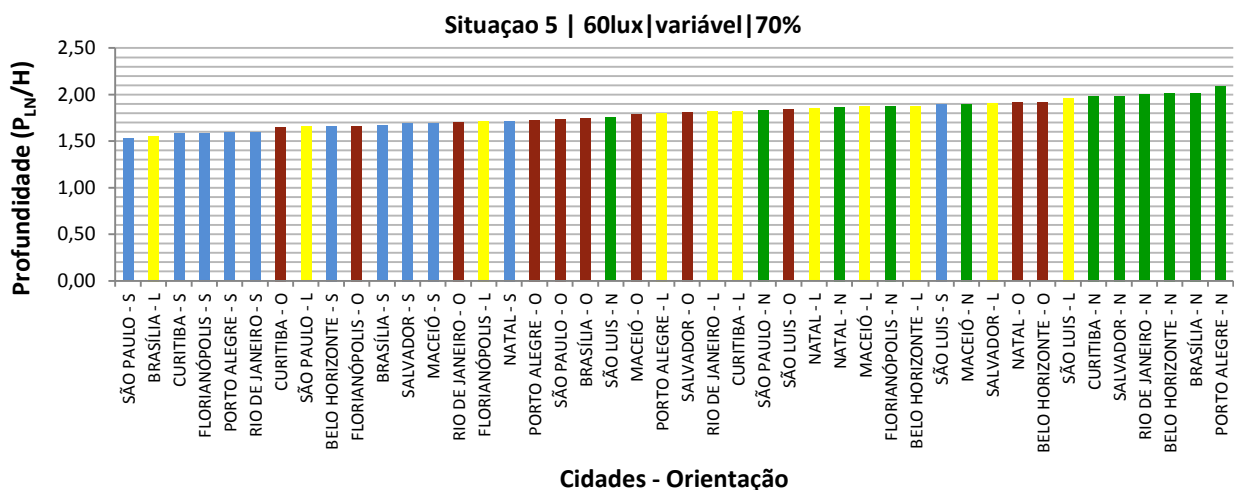
O gráfico 9 resume estes resultados, apresentando a profundidade alcançada pela luz natural com relação à altura da janela, nas condições descritas na situação.

Gráfico 9: Modelo base – Situação 5. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela, por cidade e orientação.



O gráfico 10 apresenta a comparação dos valores da profundidade alcançada pela luz natural com relação a altura da janela em ordem crescente, sendo possível analisar a tendência dos resultados por latitude e orientação.

Gráfico 10: Modelo base – Situação 5. Profundidade da luz natural em relação à altura da janela em ordem crescente.





Através dos gráficos 9 e 10 apresentados, pode-se analisar o comportamento da luz natural decorrente da influência das variáveis definidas para a situação 5. Observa-se que nesta situação o comportamento da luz natural obedeceu ao padrão das Situações 3 e 4, nos quais os maiores valores de profundidade são da orientação Norte, principalmente para as cidades de maior latitude, as orientações Leste e Oeste continuaram com a tendência de valores intermediários e a orientação Sul obteve os menores valores, principalmente para as cidades de menor latitude.

Verifica-se que a menor profundidade alcançada pela luz natural foi na orientação Sul na cidade de São Paulo, com o valor de 1,53 vezes a altura da janela, e o maior valor foi para a orientação Norte em Porto Alegre, com 2,09 vezes a altura da janela. A profundidade média alcançada na Situação 5 diminuiu em relação ao modelo anterior, passou para **1,80 vezes a altura da janela**. E as médias por orientação foram: Norte, 1,93; Leste, 1,80; Oeste, 1,77; e Sul, 1,65 vezes a altura da janela. Mesmo com a diminuição da profundidade os valores apresentados se aproximam dos valores para profundidade limite apresentados na literatura que é de 1,5 a 2,5 vezes a altura da janela (REINHART, 2005; VIANNA e GONÇALVES, 2007).

Este resultado mostra que ao aplicar a média da profundidade alcançada pela luz natural, 1,80 vezes a altura da janela, em ambientes similares ao utilizado no modelo (sem proteção solar, a área de abertura com 1/6 da área de piso, altura da janela de 2,27 e com refletâncias similares) indica que até 4,08 metros de profundidade a partir da abertura pode-se obter 60 lux de luz natural, em 70% das horas, considerando o horário de ocupação variável, em um ano.

#### 4.1.5. *Discussão dos resultados (1ª etapa)*

Através dos resultados apresentados individualmente do Modelo Base nas Situações 1 a 5, apresenta-se aqui uma análise geral e comparativa entre os resultados, para assim ser possível analisar o comportamento da luz natural decorrente da influência das diferentes variáveis.

**Horário de ocupação** é uma variável que influencia muito os resultados obtidos. Observa-se que apenas na Situação 1, que utilizou o horário de 6h as 18h, houve um comportamento diferente da luz natural em relação às demais situações. Neste caso as orientações Leste e Oeste obtiveram os maiores resultados ao invés da orientação Norte. Este resultado é justificado pela utilização de longo período para o horário de ocupação, o qual computa nos resultados horas em que não há luz natural em certas localidades e exclui dos resultados horas que ainda há luz natural, prejudicando assim os resultados, principalmente para as cidades de maior latitude.

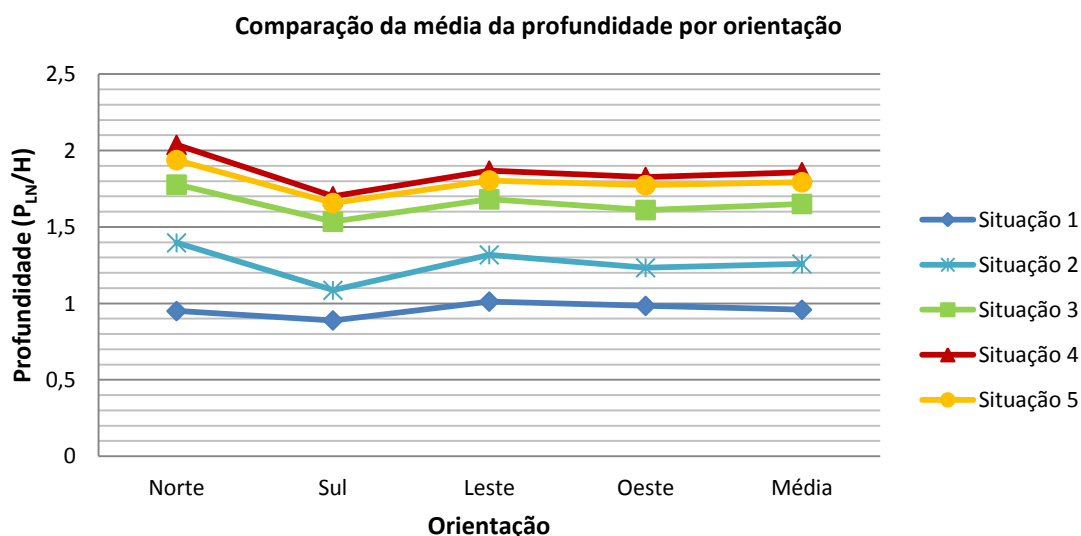
Observa-se que a utilização do menor horário de ocupação, na Situação 4, influenciou na obtenção dos maiores resultados de profundidade, por ser um horário “pequeno” de ocupação, o qual garante que seja computado nos resultados apenas as horas em que há luz natural ainda intensa. No entanto, o horário variável para cada latitude pareceu ser o mais

coerente, tendo em vista que resultados refletem as características de horas de sol de cada cidade, sem prejudicar ou beneficiar os resultados para cidades de latitudes diferentes.

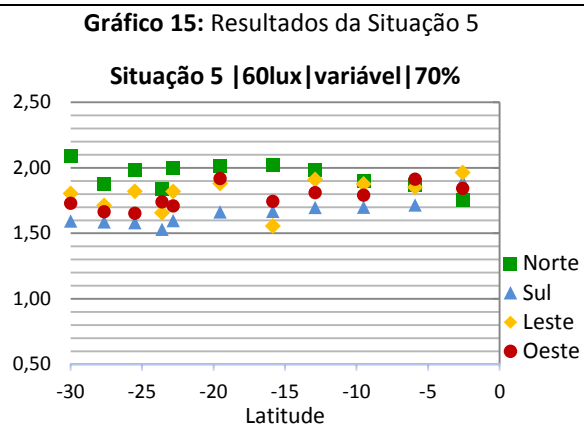
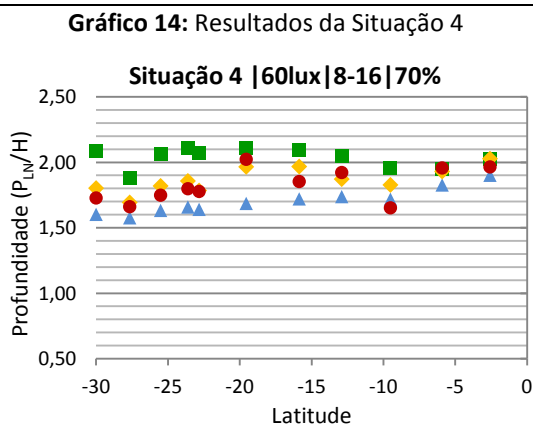
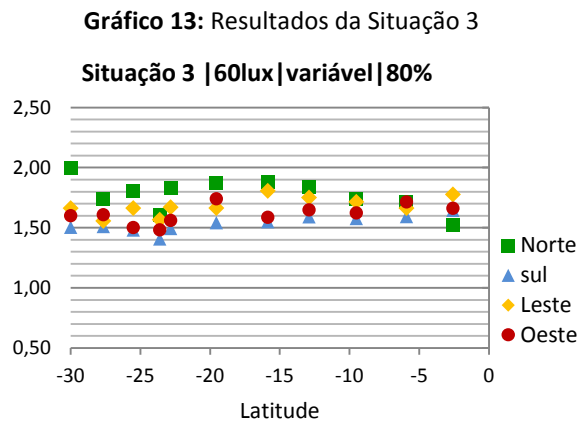
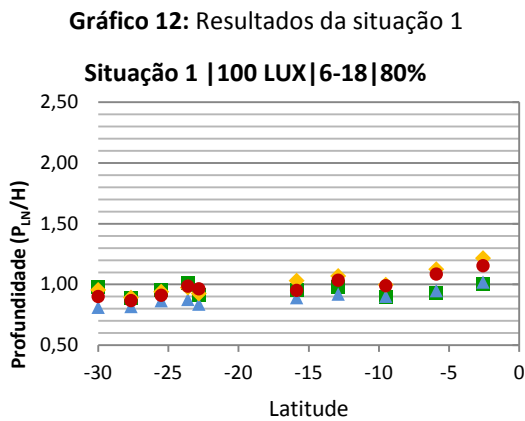
A **orientação** também interferiu significativamente nos resultados alcançados, principalmente nas cidades de maior latitude. Apesar de haver diferença na profundidade alcançada pela luz natural para cada orientação em todas as cidades simuladas, nas cidades com menor latitude a diferença de uma orientação para outra é pequena quando comparado, com as cidades de maior latitude.

A orientação Norte obteve os maiores resultados na profundidade, exceto na Situação 1. Este comportamento ocorreu, pois fachadas voltadas para a orientação norte são as que recebem a maior incidência solar no contexto brasileiro, principalmente nas maiores latitudes. No entanto, na Situação 1 os maiores valores foram na orientação Leste para as cidades de menor latitude, enquanto a orientação norte obteve os valores intermediários. Isto ocorreu em consequência ao horário de ocupação utilizado nesta Situação de 6h as 18h, que coincide com o horário de sol de cidades de menor latitude (onde o nascer do sol é próximo das 6h e o pôr-do-sol próximo das 18h). Nessa mesma Situação, as cidades de maiores latitudes no período do verão não tiveram computadas as horas “a mais” de luz natural, tendo em vista a ocupação ter sido delimitada até às 18h. E no inverno as horas em que há luz natural são reduzidas com relação ao horário de ocupação definido, sendo computados nas simulações horas em que não há luz natural. Por isso os resultados favoreceram as cidades de menor latitude. Já a orientação Sul obteve os menores valores em todas as situações (Gráfico 11). As orientações Leste e Oeste obtiveram, na maioria dos casos, valores intermediários, sendo que em todos os modelos a média da orientação Leste foi um pouco maior em relação à orientação Oeste. O gráfico 11 apresenta a comparação da média da profundidade alcançada pela luz natural com relação à altura da verga da janela por orientação, em todas as Situações simuladas.

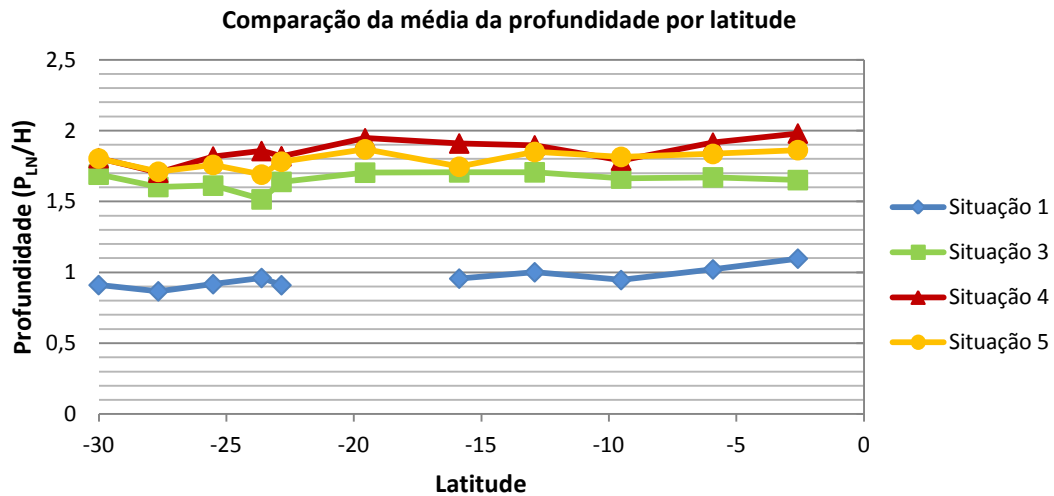
**Gráfico 11:** Comparação das médias da profundidade por orientação em cada Situação



A **Latitude** também influenciou nos resultados obtidos, pois quanto maior a latitude, maior é a incidência solar na fachada norte e menor é a incidência solar na fachada sul. Em consequência disso, identificou-se nos resultados que quanto maior a latitude, maiores os valores da profundidade alcançada pela luz natural na orientação Norte e menores os valores para orientação Sul. Essa característica de resultados é verificada nas Situações 3, 4 e 5 (Gráficos 13, 14 e 15), os quais indicam que aproximadamente a partir da latitude  $-10^{\circ}$ , a diferença da profundidade alcançada pela luz natural entre as orientações é mais significativa.



Como os maiores resultados foram da orientação Norte nas cidades de maior latitude e os menores resultados foram na orientação Sul para as mesmas cidades, ao verificar a média dos resultados de todas as orientações por latitude (Gráfico 16), observa-se que os resultados de cada latitude de uma mesma Situação ficam próximos. Na situação 5, por exemplo, os valores da profundidade das médias das orientações ficam entre 1,8 e 1,86 vezes a altura da janela.

**Gráfico 16:** Comparação da média da profundidade das orientações por latitude - Situações 1, 3, 4 e 5.

Quanto às análises da autonomia de luz natural (DA), observou-se que a exigência da iluminância de projeto de 100 lux em 80% das horas é muito alta, tendo em vista que a profundidade alcançada foi na faixa de 1 vez a altura da janela, como o indicado nos resultados da Situação 1. Este resultado fica longe do indicado pela literatura – que é entre 1,5 e 2,5 vezes a altura da janela (REINHART, 2005), e mostra-se pouco aplicável na realidade das edificações brasileiras, tendo em vista que, nesse caso, a profundidade limite do ambiente, respeitando as características estabelecidas no modelo, seria de 2,27 m (que é a altura da janela)

A Situação 5 utilizou a Iluminância recomendada na NBR 15.575 de 60lux para Iluminância de Projeto, com uma autonomia de Luz natural de 70% das horas, e o horário de ocupação de acordo com o horário de sol de cada cidade. Esta situação apresentou a combinação de variáveis com os valores mais adequados com relação às condições brasileiras e obteve o resultado da relação entre a profundidade limite do ambiente e a altura da janela, de 1,80 vezes a altura da janela, aproximou-se aos valores apresentados na literatura, que são entre 1,50 e 2,0 vezes a altura da janela (REINHART, 2005; VIANNA E GOÇAVES, 2007).

O valor encontrado na Situação 5, indica, de maneira geral, que ambientes de edificações localizadas no Brasil, nas orientações Norte, Sul, Leste ou Oeste, com área de abertura em torno de 1/6 da área de piso, sem proteção solar e com refletâncias internas no padrão utilizado na arquitetura (tetos com alta refletância, paredes com média e piso com baixa refletância), devem ter uma profundidade limite de **1,8 vezes** a altura da janela para obter 60 Lux em todo o ambiente, em 70% das horas do ano, de acordo com o horário de sol de cada localidade.

Portanto, a situação 5 aparece com os resultados mais coerentes para definir o limite da profundidade de ambientes sem proteção solar, em 1,8 vezes a altura da janela, para as cidade brasileiras.

#### 4.1.6. Verificação da aplicabilidade dos resultados (1ª etapa)

O valor encontrado define que o ambiente deve ter a profundidade máxima de 1,80 vezes a altura da janela para garantir 60 lux em todo o ambiente, em 70% das horas do ano com luz do dia nas cidades brasileiras. Para verificar a aplicabilidade do valor limite da profundidade de 1,80 vezes a altura da janela, este foi testado em uma amostra de 20 ambientes reais. Desses ambientes 9 são de edificações localizadas em Florianópolis e 11 em Brasília.

Destaca-se que para o processo de verificação da aplicabilidade do valor limite da profundidade do ambiente em relação à altura da janela, os ambientes selecionados não possuem nenhum tipo de proteção solar nas aberturas e não é conhecida a refletância das paredes. Para este processo, o valor da profundidade limite do ambiente em relação à altura da janela foi verificado conforme o exemplo da Tabela que consta no Apêndice 6.

**Tabela 17:** Exemplo do processo de verificação da aplicabilidade do valor da profundidade limite do ambiente em relação à altura da janela para ambientes sem proteção solar.

18		<p>Localização: Brasília                  Profundidade: 4,37 m                  Dimensões da abertura: 1,2m x 1,2 m                  Peitoril: 1,06m   Altura da abertura: 2,26m                  Aplicação do valor de 1,8:  <math>P \leq 1,80 \times H \text{ janela}</math>  <math>4,37\text{m} \geq 4,07 \text{ m} \rightarrow</math> <b>Não atendeu</b>                  Aplicação do valor de 2,57:  <math>P \leq 2,57 \times H \text{ janela}</math>  <math>4,37 \text{ m} \leq 5,80 \text{ m} \rightarrow</math> <b>Atendeu</b></p>
----	--	---

Ao verificar a relação da profundidade dos 20 ambientes selecionados com a altura de sua respectiva janela, verificou-se que apenas 55% deles atenderam o limite da profundidade de 1,8 vezes a altura da janela. Essa porcentagem foi considerada pequena para o total da amostra, sendo, portanto pouco aplicável à realidade das edificações residenciais.

Assim, optou-se reduzir a área do ambiente na qual se deve atender às condições de iluminação natural para 70%. Ou seja, o ambiente deve garantir **60lux em 70% do ambiente durante 70% das horas do ano** em que possui luz natural (horário variável). Com essa correção, o valor limite da profundidade do ambiente passou para **2,57 vezes a altura da janela**.

Da mesma forma, verificou-se nos 20 ambientes selecionados a aplicabilidade do valor da profundidade limite de 2,57 vezes a altura da janela. O resultado foi que 100% dos ambientes avaliados atenderam este limite da profundidade, o que foi considerado satisfatório para permitir a aplicação em casos reais.

Segue abaixo a tabela resumo (Tabela 18) dos resultados dos ambientes utilizados para verificação da aplicabilidade dos resultados em ambientes reais, contendo informações sobre a localização, profundidade do ambiente, dimensão das janelas, altura do peitoril e a conferência do atendimento dos valores limites da profundidade de 1,8 vezes a altura da janela e de 2,57 vezes a altura da janela, conforme os dados contidos no Apêndice 6.

**Tabela 18:** Tabela resumo da verificação da aplicabilidade dos resultados para ambientes sem proteção solar

Nº	Cidade	Ambiente	Profundidade do ambiente	Altura da janela	$P \leq 1,80 \times H$ janela	$P \leq 2,34 \times H$ janela
1	Florianópolis	Sala	5,15	2,0	Não atendeu	Atendeu
2	Florianópolis	Quarto	3,00	2,20	Atendeu	Atendeu
3	Florianópolis	Quarto	4,40	2,20	Não Atendeu	Atendeu
4	Florianópolis	Quarto	5,00	2,30	Não Atendeu	Atendeu
5	Florianópolis	Cozinha	4,45	2,20	Não Atendeu	Atendeu
6	Florianópolis	Cozinha	6,00	2,50	Não Atendeu	Atendeu
7	Florianópolis	A. de serviço	2,80	2,20	Atendeu	Atendeu
8	Florianópolis	Lavanderia	4,00	2,50	Atendeu	Atendeu
9	Brasília	Quarto	3,19	2,10	Atendeu	Atendeu
10	Brasília	Quarto	3,00	3,50	Atendeu	Atendeu
11	Brasília	Sala	2,88	2,30	Atendeu	Atendeu
12	Brasília	Sala	6,27	2,50	Não Atendeu	Atendeu
13	Brasília	Quarto	3,07	2,50	Atendeu	Atendeu
14	Brasília	Quarto	3,95	2,50	Atendeu	Atendeu
15	Brasília	Cozinha	4,73	2,10	Não Atendeu	Atendeu
16	Brasília	Quarto	5,56	2,26	Atendeu	Atendeu
17	Brasília	Sala	5,28	2,26	Não Atendeu	Atendeu
18	Brasília	Cozinha	4,37	2,26	Não Atendeu	Atendeu
19	Brasília	Sala	3,98	2,90	Atendeu	Atendeu
20	Brasília	Quarto	4,55	2,90	Atendeu	Atendeu

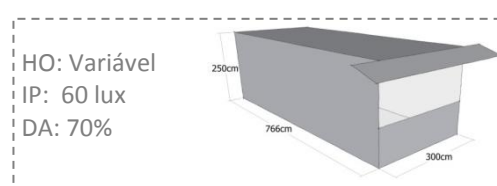
## 4.2. Resultados – 2ª Etapa

As simulações realizadas na primeira etapa tiveram o objetivo de definir a profundidade limite do ambiente para que este atendesse condições conhecidas de iluminação natural, sendo necessário, portanto, definir a iluminância de projeto, a autonomia de luz natural (DA), e o horário de ocupação. Assim, o Modelo Base na Situação 5 apresentou-se como a melhor opção na definição dessas variáveis, sendo esta situação o ponto de partida para a 2ª etapa.

O objetivo da 2ª etapa foi verificar a influência de elementos de proteção solar das aberturas no comportamento da iluminação natural do ambiente interno, definindo assim o valor da profundidade limite do ambiente em relação à altura da janela, para que sejam garantidos as mesmas condições de iluminação indicadas na Situação 5.

Este item apresenta os resultados obtidos e a análise do comportamento da luz natural dos modelos 1, 2 e 3 comparados com a situação sem proteção solar – Situação 5.

### 4.2.1. Modelo 1

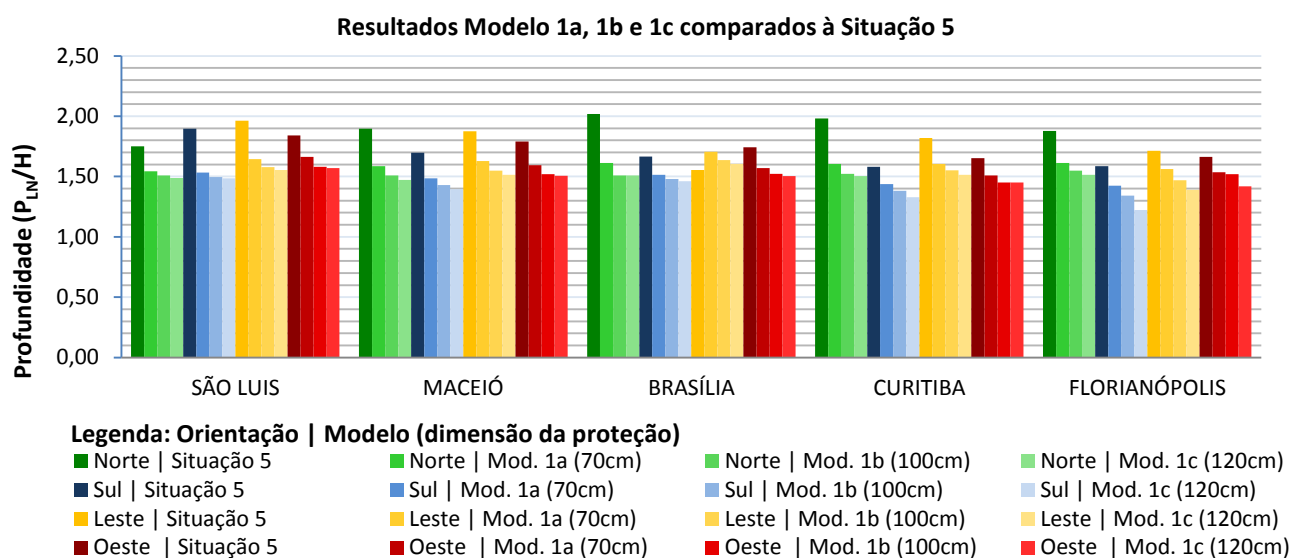


Para verificar a influência da proteção horizontal tipo beiral, no comportamento da luz natural no ambiente interno, o Modelo 1 foi representado com três variações de dimensões,

como o apresentado na metodologia (item 3.5): modelo “1a” utilizou beiral de 70 cm; modelo “1b” utilizou beiral de 100 cm; e modelo “1c” utilizou o beiral de 120 cm. Essas três variações do modelo 1 foram simuladas para cinco cidades - São Luis, Maceió, Brasília, Curitiba e Florianópolis, nas quatro orientações, resultando em 60 simulações (APÊNDICE 7).

No Gráfico 17, são apresentados os resultados da profundidade alcançada pela luz natural em relação à altura da janela dos modelos 1a, 1b, 1c e do modelo base na Situação 5. Dessa forma, os resultados do modelo 1 são analisados comparativamente com a situação sem proteção solar (Situação 5).

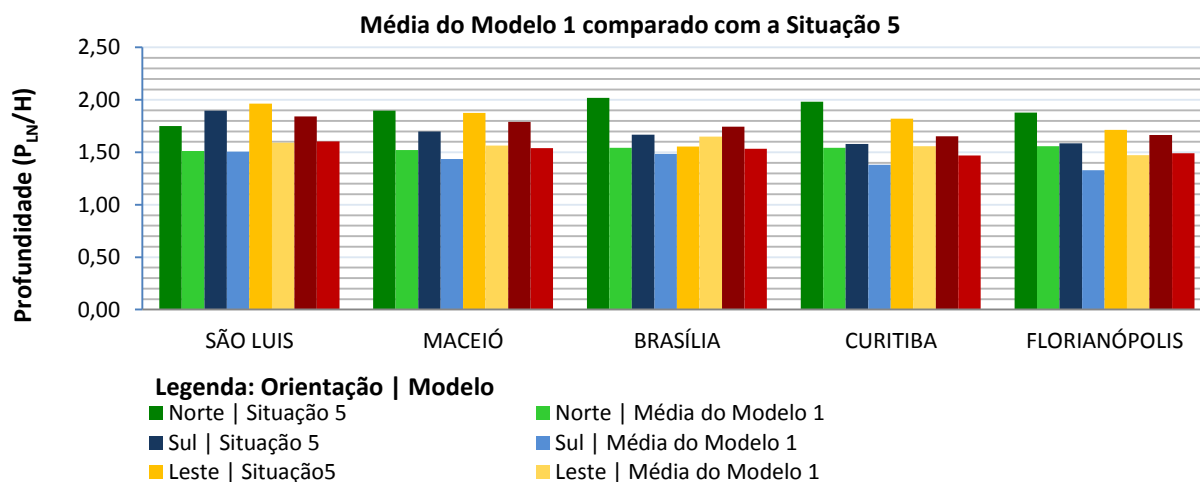
**Gráfico 17:** Resultados da profundidade em relação à altura janela da Situação 5 (sem proteção) e do Modelo 1a (70cm), 1b (100cm) e 1c (120cm) .



Observa-se no Gráfico 17 que os resultados foram similares em todas as situações, apresentando um grande decaimento na profundidade alcançada pela luz natural com inserção do beiral de 70cm (modelo 1a), e na sequência decaimentos de menor amplitude com o progressivo aumento do beiral (modelos 1b e 1c). A única exceção desse comportamento foi na orientação leste na cidade de Brasília, o qual a Situação 5 (sem beiral) possui uma menor profundidade do que o modelo com beiral. Como este resultado foi destoante, ele foi desconsiderado nas análises.

O Gráfico 18 apresenta a comparação da Situação 5 com a média do modelo 1a, 1b e 1c. Nota-se que a utilização de beirais, em 4 das cidades analisadas, influencia mais na profundidade alcançada pela luz natural na orientação Norte do que nas demais orientações. Ao inserir os beirais nessa orientação há um maior decaimento da profundidade em relação à Situação 5 – sem proteção solar, em todas as cidades simuladas.

**Gráfico 18:** Comparação da profundidade alcançada em relação a altura da janela na Situação 5, com a média do modelo 1.



A Tabela 19 apresenta em porcentagem a redução da profundidade alcançada pela luz natural do modelo 1 (média do 1a, 1b e 1c) em relação à situação 5, para as orientações norte, sul, leste e oeste nas cinco cidades analisadas.

**Tabela 19:** Redução em porcentagem da profundidade alcançada pelo Modelo 1 (média dos modelos 1a, 1b e 1c) em comparação com a Situação 5

	Redução da Situação 5 para a média do Modelo 1 (1a, 1b e 1c) (em %)			
	Norte	Sul	Leste	Oeste
São Luis	13,6	20,6	18,9	12,9
Maceió	19,7	15,4	16,6	14,0
Brasília	23,5	10,9	Desconsiderado	12,1
Curitiba	22,1	12,6	14,5	11,0
Florianópolis	17,0	16,1	14,0	10,4
Média	19,2	15,1	15,99	12,1

Nota1: Cor escura para os menores valores, cor clara para os maiores valores

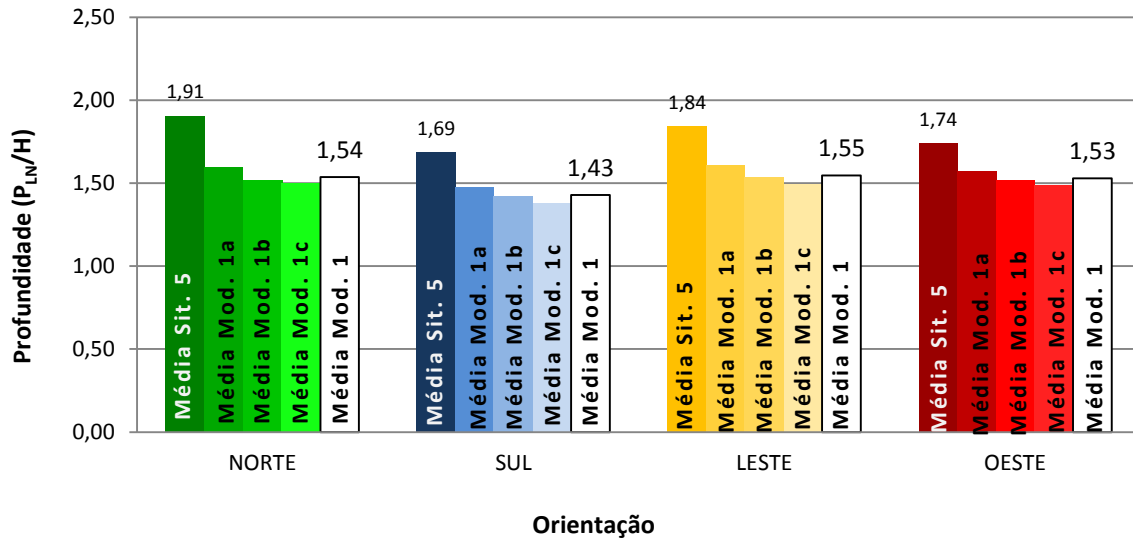
Nota 2: O resultado de Brasília na orientação leste foi desconsiderado para a média.

Ao analisar a Tabela 18, verifica-se que ao inserir proteção solar do tipo beiral na orientação Norte, a profundidade alcançada pela luz natural em relação à altura da janela decaiu em média 19,2%. A orientação Leste é em média a segunda orientação que recebe maior influência da inserção do beiral, pois ao inserir esse tipo de proteção o decaimento da profundidade alcançada pela luz natural em relação à altura da janela foi em média 16%, muito próxima da média da orientação Sul, que obteve um decaimento da profundidade em média de 15,1% em relação a Situação 5. Já a orientação Oeste é a que recebe menor influência desse tipo de proteção solar, tendo em vista que o decaimento foi de 12,1% em média.

O Gráfico 19 apresenta os valores da média da profundidade alcançada pela luz natural nos ambientes das cidades analisadas, na Situação 5, Modelos 1a, 1b, e 1c as para as orientações norte sul leste e oeste.

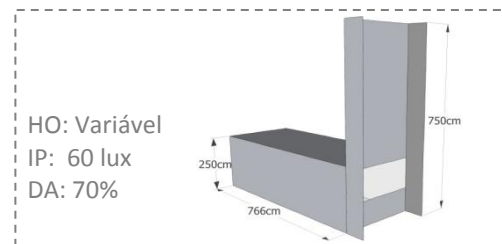
**Gráfico 19:** Comparação da média por orientação entre a Situação 5 com o Modelo 1a, 1b e 1c.





Por fim, nota-se que com o uso de proteção horizontal do tipo beiral, com dimensões entre 70cm e 120cm, a profundidade alcançada pela luz natural em relação a altura da janela é em média 1,54, quando esta é voltada para a orientação Norte; 1,43 quando é na orientação Sul; 1,57 na orientação Leste e 1,53 vezes a altura da janela quando voltada para a orientação Oeste.

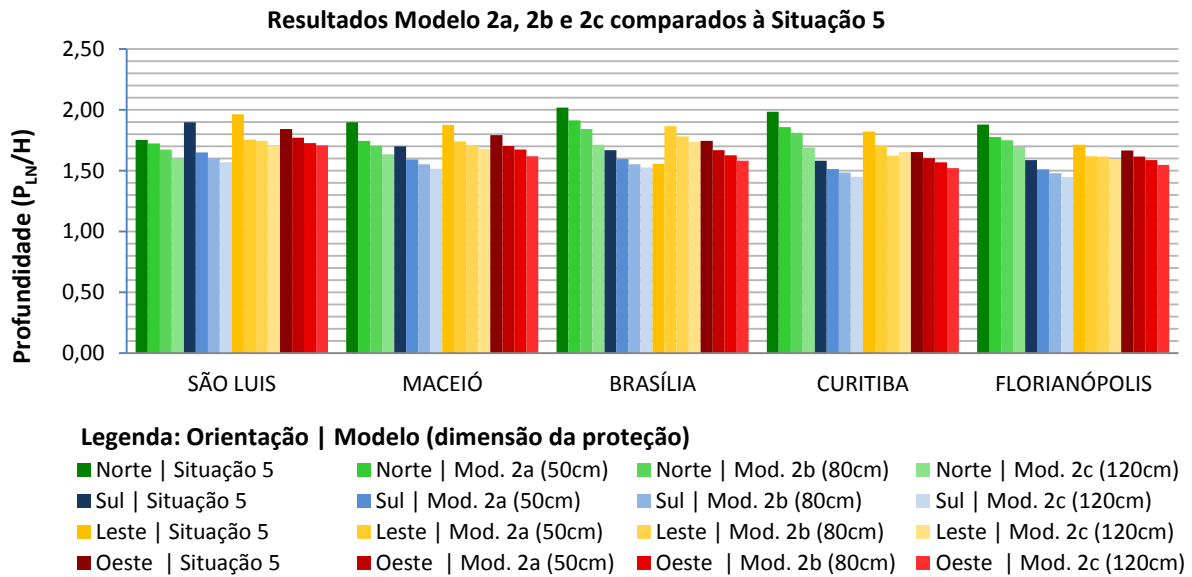
#### 4.2.2. Modelo 2



Para verificar a influência de proteções verticais, semelhantes a recuos em fachada, no comportamento da luz natural no ambiente interno, o Modelo 2 foi representado com três variações de dimensões, como já apresentado na metodologia, no item 3.5: modelo “2a” que utilizou duas proteções verticais de 50 cm em cada lateral da janela, o modelo “2b” com proteções verticais de 80 cm, e modelo “2c” que proteções verticais de 120 cm em cada lateral da janela. Essas três variações foram simuladas para cinco cidades - São Luis (-2,58), Maceió, Brasília, Curitiba e Florianópolis, nas quatro orientações, resultando assim em 60 simulações (Apêndice 8).

Os resultados da profundidade alcançada pela luz natural em relação à altura da janela, pode ser verificado através do Gráfico 20, que apresenta os resultados das variações desse modelo e da Situação 5, que não possui proteção solar.

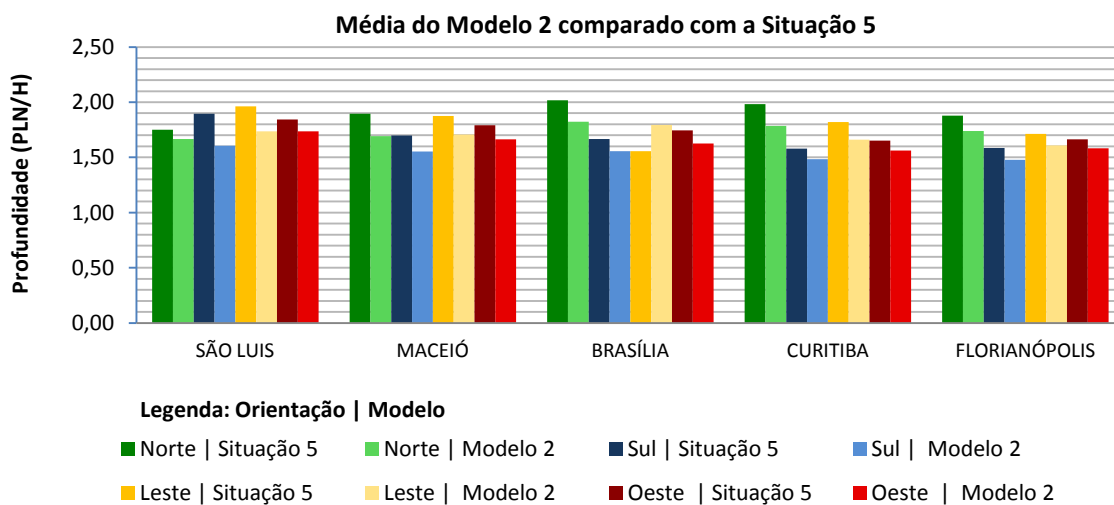
**Gráfico 20:** Resultados da profundidade em relação a altura janela da Situação 5 (sem proteção) e do Modelo 2a (50cm), 2b (80cm) e 2c (120cm) .



Observa-se no Gráfico 20 que os resultados alcançaram um comportamento similar em todas as situações, apresentando um decaimento na profundidade alcançada pela luz natural com inserção da proteção vertical de 50cm (modelo 2a) e na sequência decaimentos de menor amplitude com progressivo aumento da proteção. A única exceção desse comportamento foi na orientação Leste na cidade de Brasília, na qual a Situação 5 (sem proteção) possui uma menor profundidade do que os modelos com proteção vertical. Como este resultado foge do padrão, ele foi desconsiderado nas análises.

Abaixo, o Gráfico 21, apresenta a comparação da Situação 5 com a média do modelo 2a, 2b e 2c. A utilização de proteções verticais, em comparação com o modelo sem proteção, não segue uma tendência clara quanto a influência da orientação.

**Gráfico 21:** Comparação da profundidade alcançada em relação a altura da janela na Situação 5, com a média do modelo 2.



Para melhor analisar o comportamento da luz natural, a Tabela 20 apresenta em porcentagem a redução da profundidade alcançada pela luz natural do modelo 2 (média do 2a, 2b e 2c) em relação a Situação 5, para as orientações norte, sul, leste e oeste nas cinco cidades analisadas, e as médias dos resultados.

**Tabela 20:** Redução em porcentagem da profundidade alcançada pelo Modelo 2 (média dos modelos 2a, 2b e 2c) em comparação com a Situação 5

Redução da Situação 5 para a média do Modelo 2 (2a, 2b e 2c) (%)					
	Norte	Sul	Leste	Oeste	Média
São Luis	4,89	15,35	11,64	5,84	9,43
Maceió	10,70	8,54	8,93	7,10	8,82
Brasília	9,70	6,58	Desconsiderado	6,74	7,67
Curitiba	9,97	6,21	8,76	5,41	7,59
Florianópolis	7,40	6,85	6,09	4,93	6,32
Média	8,54	8,70	8,85	6,00	

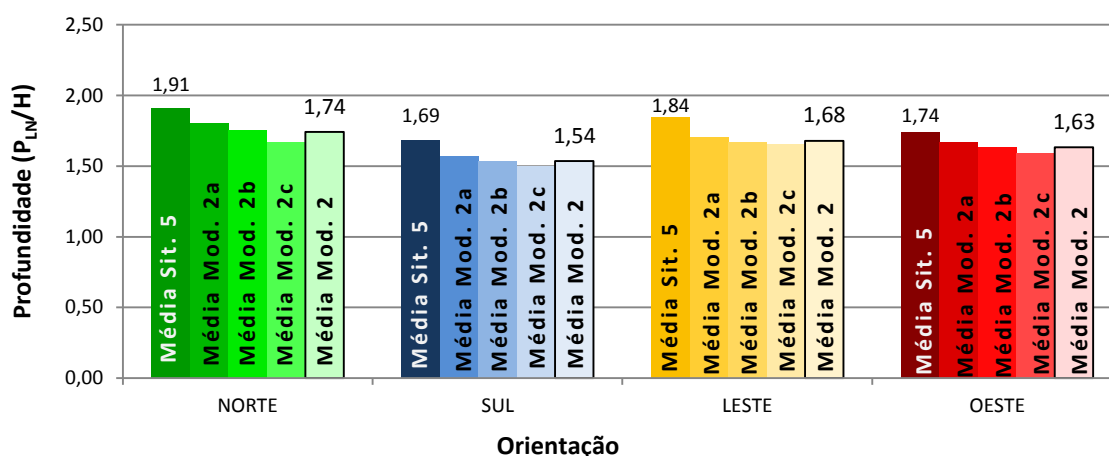
Nota1: Cor escura para os menores valores, cor clara para os maiores valores

Nota 2: O resultado de Brasília na orientação leste foi desconsiderado para a média.

Ao analisar a Tabela 19, nota-se que ao inserir proteção solar vertical do tipo recuo na fachada, a maior redução na profundidade alcançada pela luz natural em relação à altura da janela foi na cidade de São Luis na orientação sul, seguida pela orientação leste da mesma cidade. Ao comparar as médias por orientação, constata-se que os resultados ficaram com valores muito próximos, não sendo possível verificar uma tendência clara no comportamento por essa variável. Por outro lado, ao comparar as médias da redução da profundidade por cidades, verifica-se uma tendência mais clara. Cidades de menor latitude apresentaram uma maior redução da profundidade alcançada pela luz natural em relação a altura da janela, tendo São Luis com o maior valor na redução, de 9,43%

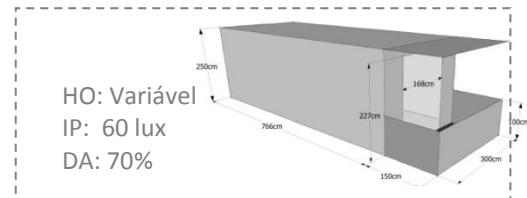
O Gráfico 22 apresenta os valores da média por orientação da profundidade alcançada pela luz natural nas cidades analisadas, para a Situação 5 e nos Modelos 2a, 2b, e 2c.

**Gráfico 22:** Comparação da média por orientação entre a Situação 5 com o Modelo 2a, 2b e 2c.



Por fim, nota-se que com o uso de proteção vertical, do tipo recuo na fachada, com dimensões entre 50cm e 120cm, a profundidade alcançada pela luz natural em relação a altura da janela é em média 1,74, quando esta é voltada para a orientação Norte; 1,53 quando é na orientação Sul; 1,68 na orientação Leste e 1,63 vezes a altura da janela quando voltada para a orientação Oeste.

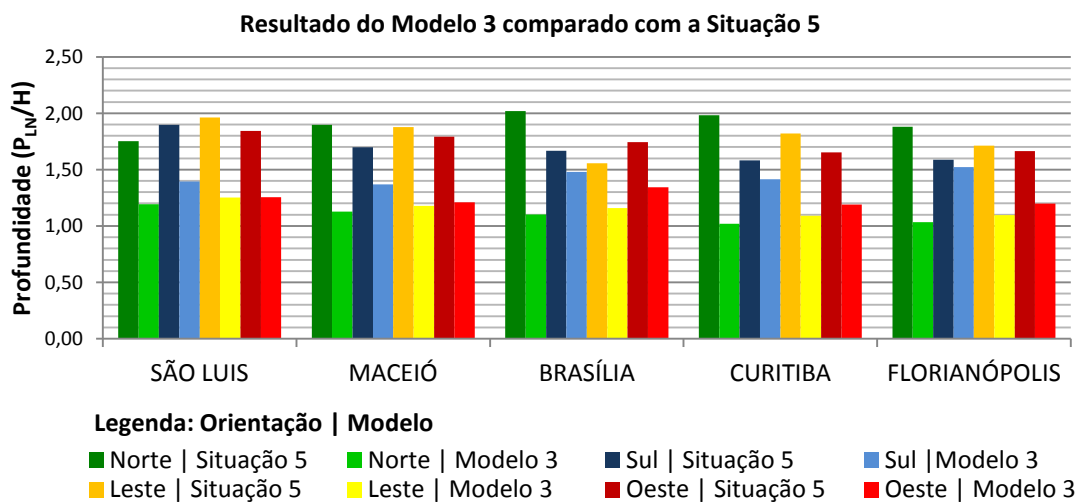
#### 4.2.3. Modelo 3



Para verificar a influência da proteção mista, tipo varanda, no comportamento da luz natural no ambiente interno, o Modelo 3 foi representado com uma varanda de 1,50 metros, conforme apresentado na metodologia. Esse modelo foi simulado para cinco cidades, São Luis, Maceió, Brasília, Curitiba e Florianópolis, nas quatro orientações, resultando em 20 simulações (Apêndice 9).

O Gráfico 23 apresenta os resultados da profundidade alcançada pela luz natural em relação à altura da janela do Modelo 3 em comparação com a Situação 5, que não possui proteção solar.

**Gráfico 23:** Resultados da profundidade em relação a altura janela da Situação 5 (sem proteção) e do Modelo 3.



Observa-se no Gráfico 23 que os resultados obtiveram o comportamento esperado em todas as simulações, apresentando um decaimento na profundidade alcançada pela luz natural com inserção da varanda. Em comparação com os Modelos 1 e 2, o Modelo 3 apresentou maior impacto na profundidade em relação a Situação 5, tendo em vista o decaimento acentuado da profundidade alcançada pela luz natural em relação a altura da janela, nas cidades simuladas.

Ao analisar a Tabela 21 abaixo, nota-se que ao inserir proteção solar mista, do tipo varanda, na orientação Norte, a profundidade alcançada pela luz natural em relação a altura

da janela decaiu em média 42%. A orientação Leste é em média a segunda orientação que recebe maior influência da inserção do beiral, pois ao inserir esse tipo de proteção o decaimento da profundidade alcançada pela luz natural em relação a altura da janela foi em média 34%, seguida da orientação oeste que decaiu em 28,67% a profundidade alcançada pela luz natural em relação a Situação 5. A orientação Sul foi a que recebeu menor influência desse tipo de proteção solar, tendo em vista que o decaimento foi de 14,35% em média.

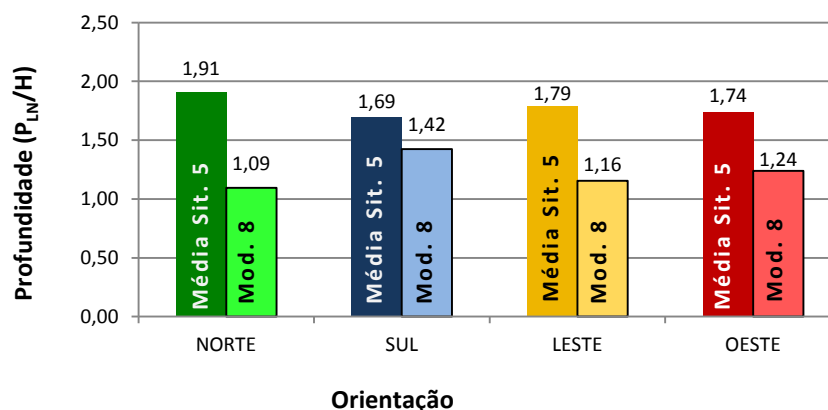
**Tabela 21:** Redução em porcentagem da profundidade alcançada pelo Modelo 3 em comparação com a Situação 5

	Redução da Situação 5 para o Modelo 3 (%)			
	Norte	Sul	Leste	Oeste
São Luis	31,83	26,44	36,19	31,91
Maceió	40,49	19,44	37,22	32,40
Brasília	45,39	11,33	25,43	23,02
Curitiba	48,64	10,44	40,10	28,01
Florianópolis	45,04	4,14	36,00	28,02
Média	42,27	14,35	34,98	28,67

Nota1: Cor escura para os menores valores, cor clara para os maiores valores

O Gráfico 24 apresenta os valores da média por orientação da profundidade alcançada pela luz natural das cidades analisadas, na Situação 5 e no Modelo 3.

**Gráfico 24:** Comparação da média por orientação entre a Situação 5 com o Modelo 3.



Nota-se que com o uso de proteção mista, do tipo varanda, com dimensões de 150 cm, a profundidade alcançada pela luz natural em relação à altura da janela é em torno de 1,09, quando esta é voltada para a orientação Norte; 1,42 quando é na orientação Sul; 1,16 na orientação Leste e 1,24 vezes a altura da janela quando voltada para a orientação Oeste.

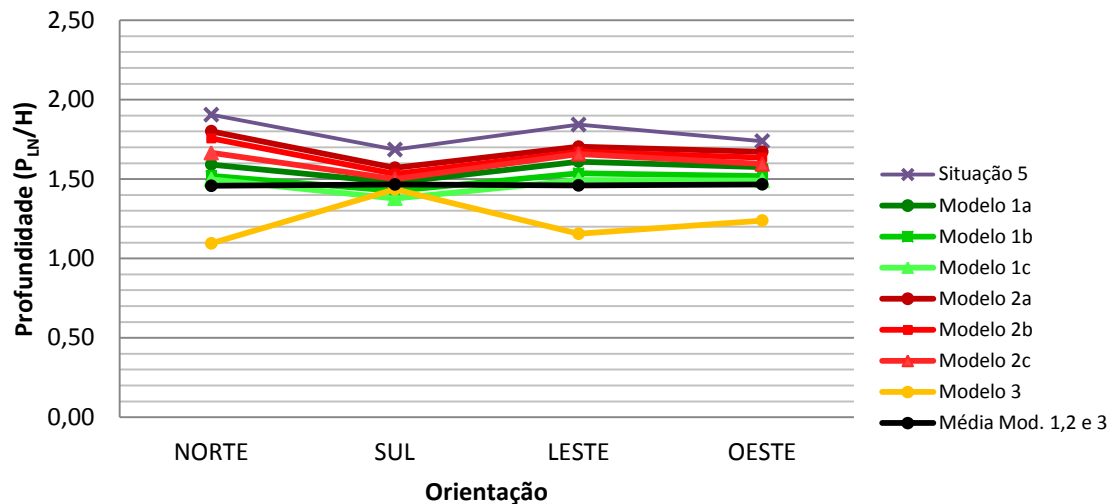
#### 4.2.4. Discussão dos resultados (2ª Etapa)

Através dos resultados apresentados individualmente dos Modelos 1, 2 e 3, apresenta-se aqui uma análise geral e comparativa entre esses resultados, para a verificação do comportamento da luz natural decorrente da influência das variáveis de proteção solar.

O comportamento da profundidade alcançada pela luz natural nos modelos 1 e 2 foi similar ao Situação 5, na qual os maiores valores de profundidade alcançada foram na

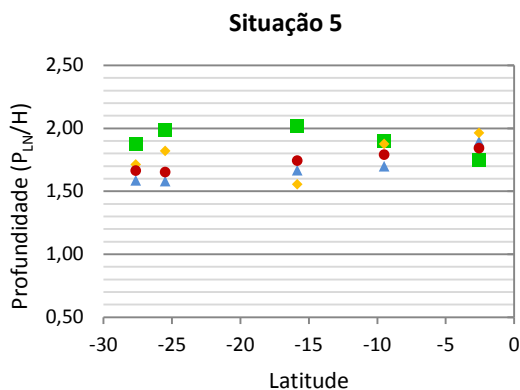
orientação Norte, os menores na orientação Sul e as orientações Leste e Oeste obtiveram os valores intermediários. O modelo 3, com proteção mista, foi o que provocou maior redução da profundidade de penetração da luz no ambiente, e foi o único modelo com proteção solar que apresentou um comportamento diferente dos demais, pois a orientação Sul obteve o maior valor de profundidade e a Norte o menor. Esse comportamento pode ser observado no Gráfico 25, que apresenta a média dos resultados por orientação dos Modelos 1, 2, 3 e Situação 5.

**Gráfico 25:** Média por orientação da Situação 5 e dos Modelos 1, 2 e 3.

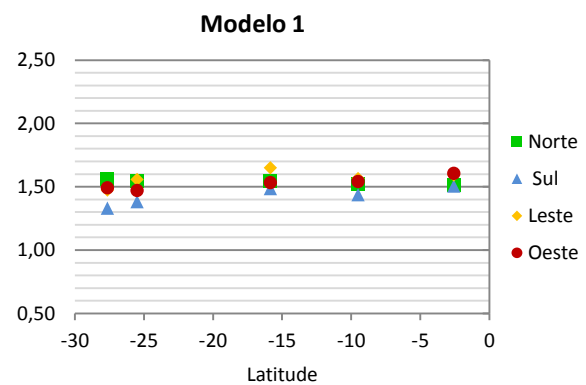


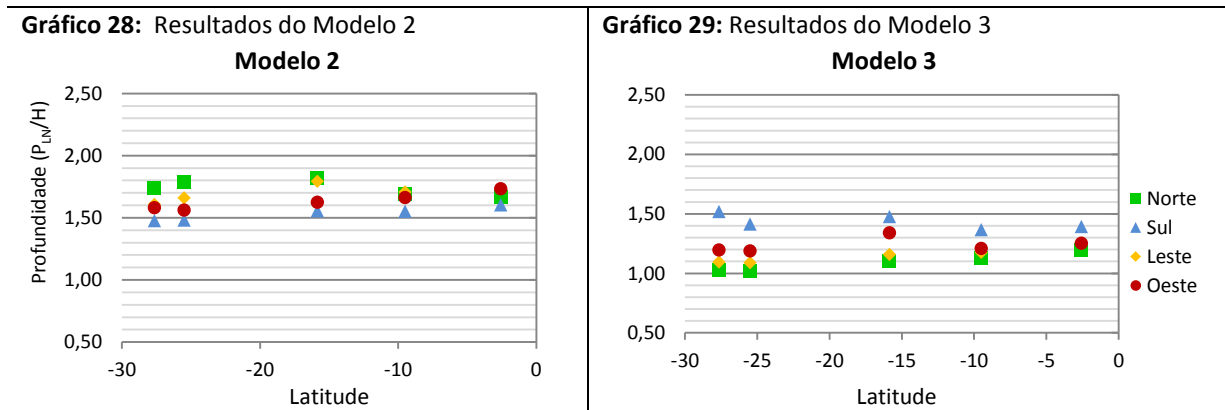
Da mesma forma dos resultados dos modelos sem proteção solar, nos modelos 1, 2 e 3, a orientação influencia mais nos resultados para as cidades de maior latitude. Como pode ser observado nos Gráficos 26, 27, 28 e 29, todos os modelos na Latitude 3°21' (São Luís) os resultados de cada orientação ficam bastante próximos entre si, enquanto nas maiores latitudes aumenta a diferença entre as orientações dos valores obtidos da profundidade.

**Gráfico 26:** Resultados da Situação 5, para 5 latitudes



**Gráfico 27:** Resultados do Modelo 1





A Tabela 22 apresenta em porcentagem a redução da profundidade dos modelos 1, 2 e 3 em relação ao Modelo Base na Situação 5. Nesta tabela observa-se que de maneira geral, as proteções do tipo beirais e varandas são as que mais influenciam nos resultados de iluminação natural no ambiente interno, tendo em vista que os modelos 1 e 3 foram os que apresentaram a maior redução da profundidade da luz natural no ambiente em comparação com situação 5 (Tabela 22). Verifica-se ainda que em média, a redução da profundidade da luz natural no ambiente, provocado pela inserção de proteções solar foi de 17,90%. Sendo a orientação Norte a que apresentou maior redução (23,33%), principalmente ao utilizar proteções como varandas. A orientação Leste e Oeste apresentaram, em média, a segunda e terceira maior redução da profundidade alcançada pela luz ao se inserir proteções solares, 19,94% e 15,58%, respectivamente. E a orientação Sul foi a que apresentou menor redução da profundidade dos modelos com proteção solar, apenas 12,73%.

**Tabela 22:** Redução da Profundidade da Luz Natural da Situação 5 para os modelos 1, 2 e 3.

Redução da Profundidade da Luz Natural em comparação com a Situação 5					
	Norte	Sul	Leste	Oeste	Média
Média do Modelo 1	19,19%	15,14 %	15,99 %	12,07 %	15,60 %
Média do Modelo 2	8,53 %	8,71 %	8,85 %	6,00 %	8,02 %
Modelo 3	42,28 %	14,36 %	34,99 %	28,67 %	30,07 %
Média da Redução (%)	23,33 %	12,73 %	19,94 %	15,58 %	<b>17,90 %</b>

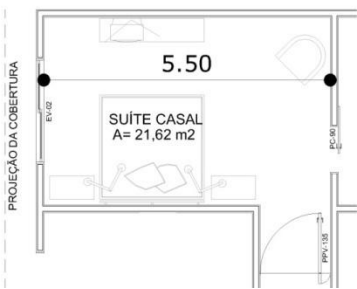
Como na primeira etapa desta pesquisa foi verificado que a profundidade limite do ambiente sem proteção solar é de 2,57 vezes a altura da janela (para garantir 60 lux, em 70% do espaço do ambiente, em 70% das horas), em ambientes com proteção solar a profundidade alcançada pela luz natural para atender aproximadamente as mesmas condições reduz 17,90%. Assim a profundidade limite de ambientes com proteção solar é de aproximadamente **2,11 vezes a altura da janela para se obter 60 lux, em 70% do espaço do ambiente, em 70% das horas.**

#### 4.2.5. Verificação da aplicabilidade dos resultados (2ª Etapa)

O valor encontrado define que ambientes com proteção solar (tipo beiral ou marquises, proteções verticais, ou varandas com até 1,50 m) devem ter a profundidade máxima de **2,11 vezes** a altura da janela para garantir 60 lux em 70% do ambiente, em 70% das horas do ano que possui luz do dia. Para verificar a aplicabilidade desse valor em casos reais, o valor limite da profundidade de 2,11 vezes a altura da janela foi testado em uma amostra de 20 ambientes reais. Desses ambientes 3 são de edificações localizadas em Florianópolis e 17 em Brasília, como descrito na metodologia.

Destaca-se que para o processo de verificação da aplicabilidade do valor do limite da profundidade do ambiente em relação à altura da janela, os ambientes selecionados possuem proteção solar nas aberturas de diferentes padrão (horizontal, vertical e mista) e dimensão, e não é conhecida a refletância das paredes e das proteções. Para este processo, o valor da profundidade limite do ambiente em relação à altura da janela foi identificado conforme o exemplo da Tabela 23 que consta no Apêndice 10.

**Tabela 23:** Exemplo do processo de verificação da aplicabilidade do valor da profundidade limite do ambiente em relação à altura da janela (Apêndice 10)

	<p>Localização: Brasília Profundidade: 5,50m Dimensões da abertura: 2,00x2,60m Altura da porta: 2,60m <b>Aplicação do valor de 2,11:</b> <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela 5,5 m <math>\leq</math> 5,48 m -&gt; <b>Não Atendeu</b> <b>Aplicação do valor de 2,95:</b> <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela 5,5 m <math>\leq</math> 7,67 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>
--	---

Ao verificar a relação da profundidade dos 20 ambientes selecionados com a altura de sua respectiva janela, verificou-se que apenas 45% deles atenderam o limite da profundidade. Essa porcentagem foi considerada pequena para o total da amostra, sendo, portanto pouco aplicável a realidade das edificações residenciais.

Optou-se, portanto, reduzir a área do ambiente a qual se deve atender às condições de iluminação estabelecidas para 50%. Ou seja, o ambiente deve garantir 60lux em 50% do ambiente durante 70% das horas do ano em que possui luz natural (horário variado de acordo com a latitude). Com essa correção, o valor do limite da profundidade do ambiente passou para **2,95 vezes a altura da janela**.

Assim, verificou-se a aplicabilidade do valor de 2,95 vezes a altura da janela, nos 20 ambientes selecionados. O resultado indicou que 80% dos ambientes atenderam o limite da profundidade de 2,95 vezes a altura da janela, porcentagem considerada satisfatória, permitindo a aplicação em casos reais.

A Tabela 22 apresenta os resultados dos ambientes utilizados para a verificação da aplicabilidade dos resultados em ambientes reais, com informações sobre a localização,



profundidade do ambiente, dimensão das janelas, altura do peitoril e a conferência do atendimento dos valores limites da profundidade de 2,11 vezes a altura da janela e de 2,95 vezes a altura da janela, conforme dados do Apêndice 10.

**Tabela 24:** resumo da verificação da aplicabilidade dos resultados para ambientes com proteção solar

Nº	Cidade	Ambiente	Profundidade ambiente	Altura janela	$P \leq 2,11 \times H$ janela	$P \leq 2,95 \times H$ janela
1	Florianópolis	Sala	7,35	2,10	Não Atendeu	Não Atendeu
2	Florianópolis	Sala	5,00	2,70	Atendeu	Atendeu
3	Brasília	Cozinha	10,48	2,30	Não Atendeu	Não Atendeu
4	Brasília	Quarto	4,47	2,30	Não Atendeu	Atendeu
5	Brasília	Quarto	4,00	2,46	Atendeu	Atendeu
6	Brasília	Quarto	3,54	2,46	Atendeu	Atendeu
7	Brasília	Quarto	4,56	2,46	Atendeu	Atendeu
8	Brasília	Sala	8,90	2,30	Atendeu	Atendeu
9	Brasília	Quarto	5,75	2,60	Não Atendeu	Atendeu
10	Brasília	Sala	6,50	2,60	Não Atendeu	Não Atendeu
11	Brasília	Cozinha	5,57	2,60	Não Atendeu	Não Atendeu
12	Brasília	Quarto	4,00	2,60	Atendeu	Atendeu
13	Brasília	Quarto	5,50	2,60	Não Atendeu	Atendeu
14	Brasília	Escritório	3,55	2,60	Atendeu	Atendeu
15	Brasília	Quarto	3,24	2,20	Atendeu	Atendeu
16	Brasília	Quarto	4,23	2,20	Atendeu	Atendeu
17	Brasília	Sala	4,46	2,20	Não Atendeu	Atendeu
18	Brasília	Sala	9,58	2,20	Não Atendeu	Não Atendeu
19	Brasília	Sala	6,08	2,20	Não Atendeu	Não Atendeu
20	Brasília	Quarto	4,50	2,30	Não Atendeu	Atendeu

## 5. CONCLUSÃO

---

Considerando as questões ambientais, hoje prementes no contexto mundial, a Arquitetura precisa ponderar questões sociais, econômicas, ambientais, estéticas, pensando também na satisfação dos usuários.

Desenvolver estudos a cerca da edificação residencial se justifica sob diversos aspectos. A habitação é local de refúgio e de desenvolvimento de diversas atividades e por isso ela deve estar adequada para atender às mais variadas necessidades. Por isso, projetar edificações residenciais de forma a garantir condições de conforto por meio de estratégias passivas é um desafio desde os tempos primórdios ao qual, atualmente agregou-se também o objetivo de promover a eficiência energética.

Diversas qualidades são atribuídas ao uso da luz natural em edificações residenciais entre elas: qualidade ambiental; saúde dos usuários; e eficiência energética. Desta forma, com os estudos apresentados nesse trabalho espera-se contribuir com os aspectos positivos atribuídos ao uso da luz natural em ambientes residenciais, incentivando boas práticas nesse quesito. Para isso é fundamental o desenvolvimento de instrumentos que orientem e facilitem o processo de projeto, como o desenvolvimento manuais, normas e regras.

Este trabalho também procurou atender mais especificamente a demanda do Regulamento Técnico da Qualidade no Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R, para o desenvolvimento do item sobre iluminação Natural, sendo esta a principal motivação para o desenvolvimento desse estudo.

Para tanto, foram desenvolvidos 4 modelos e 336 simulações, que permitiram realizar diversas análises. Desta forma, atende-se ao objetivo proposto de verificar por meio do uso da simulação computacional de métricas dinâmicas a influência de algumas variáveis arquitetônicas, especificamente a profundidade do ambiente e a presença de proteções solares, no comportamento da luz natural em ambientes residenciais, considerando o contexto climático brasileiro.

### 5.1. Desempenho mínimo da luz natural para ambientes residenciais

Atender ao objetivo de investigar o desempenho mínimo da luz para ambientes residenciais foi uma tarefa complexa, tendo em vista que tal investigação não contempla somente a definição da *intensidade* que a iluminação deve haver no ambiente, é necessário definir também em que intervalo de *tempo* e em que *espaço* determinada intensidade de luz será exigida. Para definir a intensidade da luz no ambiente foi utilizada a variável Iluminância de Projeto. Já as variáveis Autonomia de Luz Natural e Horário de Ocupação auxiliaram definir em que intervalo de tempo seria exigido a Iluminância de Projeto. Por fim, foi considerada a área do ambiente para determinar o espaço que as condições de iluminação seriam exigidas.

Foram simuladas 5 situações com diferentes combinações para os valores das variáveis para 11 latitudes, nas orientações norte, sul, leste e oeste, resultando em 196 simulações. Dentre as situação simuladas, a Situação 5 foi a que apresentou os valores considerados mais adequados para as variáveis – Iluminância de Projeto, Horário de Ocupação e Autonomia de Luz Natural – gerando resultados coerentes para contexto climático brasileiro.

Para a variável de Iluminância de Projeto, que auxiliou na definição da intensidade da luz natural que o ambiente deve atender, utilizou-se o dado recomendado pela norma de Desempenho para Edifício Habitacionais de até 5 pavimentos, a NBR 1575 (2008), a qual define o nível mínimo de iluminância de 60 lux que devem ser atendidos apenas com iluminação natural em salas, dormitórios, cozinhas, área de serviço e banheiros.

Destaca-se que NBR 15575 é voltada para edifícios residenciais de até 5 pavimentos, pois possui quesitos sobre estruturas e segurança. No entanto, como o segmento de edificações residenciais é muito amplo, que se estende desde a casa popular ao edifício em altura, o estudo aqui apresentado pode ser utilizado para um ambiente que defina-se como residencial.

O Horário de Ocupação define o período do dia em que as condições de iluminação serão consideradas nas simulações. Na Situação 5 foi definido um horário que levou em consideração as horas de sol de cada latitude, sendo computados nas simulações os valores de iluminância de 1 hora após o sol nascer até 1 hora antes do pôr do sol, no período do solstício de inverno. Dessa forma, cada cidade simulada utilizou um horário de ocupação específico, respeitando as condições de iluminação natural impostas pela latitude. Este horário foi chamado aqui neste trabalho de *horário variável*. Como os resultados apresentados em cada simulação são dados por meio de porcentagem em relação ao horário de ocupação, a utilização do *horário variável* tornou possível obtenção de valores coerentes com as condições de horas de sol de cada localidade.

A variável de Autonomia de Luz Natural (Daylight Autonomy-DA) é um indicador que quantifica em que porcentagem de tempo os níveis da Iluminância de Projeto podem ser mantidos apenas com luz natural. Os resultados mais adequados para esta variável, apresentados na Situação 5, se deram com a utilização da autonomia de luz natural de 70%, para uma luminância de Projeto de 60lux. Este valor indica que o desempenho mínimo da luz natural em ambientes residenciais deve possibilitar uma iluminação de 60 lux atendidos apenas com luz natural, em 70% das horas em um ano, dentro do horário de ocupação definido (horário variável). O valor de 70% apresenta-se mais adequado para o DA, pois acima dessa porcentagem implicaria numa profundidade limite do ambiente bastante pequena para garantir a condição de iluminação determinada pela iluminância de projeto o que se torna inviável para a construção civil.

Portanto, com a combinação das variáveis apresentadas foi possível definir o desempenho mínimo da luz natural em ambientes residenciais no contexto climático brasileiro: o ambiente deve garantir 60 lux de luz natural, em 70% das horas do ano, considerando de sol de cada cidade (horário de ocupação variável).

### 5.1.1. Profundidade limite do ambiente

Ao definir o desempenho mínimo da iluminação natural nos ambientes residenciais, foi identificada a profundidade limite do ambiente em relação a altura da janela para que se atenda as condições estabelecidas (60 lux, em 70% das horas do ano, considerando o horário de ocupação variável).

Para isso, foi verificada a profundidade do ambiente em relação à altura da janela (2,27m) em todas as cidades simuladas e nas quatro orientações da Situação 5, a qual considerou-se que representa as condições do desempenho mínimo da iluminação natural. Observou-se que em média a profundidade do ambiente que atende o desempenho mínimo de luz natural é de 1,8 vezes a altura da janela. Este valor ficou próximo dos valores identificados na literatura para profundidade limite do ambiente para atender condições “adequadas de iluminação”, que são entre 1,5 e 2,5 vezes a altura da janela (REINHART, 2005; VIANNA e GONÇALVES, 2007).

No entanto, no processo de verificação da aplicabilidade dos resultados conferiu-se que o valor da profundidade de 1,8 vezes a altura da janela foi atendido em apenas 55% dos ambientes analisados de edificações reais localizadas em cidades brasileiras. . Essa porcentagem foi considerada pequena para o total da amostra, sendo, portanto, pouco aplicável à realidade das edificações residenciais. Visto que na primeira versão do RTQ-R, o objetivo era garantir sua aplicabilidade em número razoável de edificações, decidiu-se reduzir área do ambiente que deve atender ao desempenho mínimo de iluminação, de 100% para 70%.

Desta forma, verificou-se que ambientes sem proteção solar devem ter uma profundidade limite de 2,57 vezes a altura da janela, a fim de garantir 60 lux, em 70% das horas, em 70% do espaço, considerando o horário de sol de cada cidade. Estas condições também foram submetidas ao processo de verificação da aplicabilidade dos resultados em ambientes reais, e foi apurado um atendimento de 100% dos ambientes reais selecionados, sendo considerada uma aplicabilidade satisfatória.

A profundidade limite identificada de 2,57 vezes a altura da janela indica, por exemplo, que ambientes residenciais sem elementos de proteção solar nas aberturas e com características consideradas padrão – abertura em torno de 1/6 da área de piso, alta refletância do teto (80%), paredes com refletância média (60%) e piso de baixa refletância (30%), caso possuam aberturas com altura da verga de 2,20 metros, devem ter uma profundidade limite de 5,65m para poder obter em pelo menos 70% da área, 60 lux de luz natural em 70% das horas, considerando o horário de ocupação variável em um ano.

Destaca-se que o valor da profundidade limite em relação a altura da janela para ambientes sem proteção solar desenvolvidos por este estudo foi inserido no RTQ-R no item de Bonificações em iluminação natural (BRASIL, 2010, 3.3.2, p. 105). No entanto, tendo em vista

uma maior facilidade para aplicar o valor foi utilizado no Regulamento o valor de 2,5 vezes a altura da janela, ao invés de 2,57, o que significa que é possível obter a iluminância de 60 lux em aproximadamente 72% do ambiente, em 70% das horas, considerando o horário de ocupação que há luz natural disponível, de acordo com o contexto territorial brasileiro. Assim, de acordo com o Regulamento, ambientes que possuem uma profundidade dentro do limite do especificado (menor que 2,5 vezes a altura da janela), adquire pontos extras (bonificações) que serão computados no cálculo final para a identificação do nível de eficiência energética da unidade habitacional.

#### *5.1.1. Influência de Elementos de Proteção solar na profundidade limite*

Para investigar a influência de proteções solares na distribuição da luz natural no ambiente e identificar o limite da profundidade de ambientes com proteção solar, para que estes atendam a um desempenho mínimo da luz natural, foram desenvolvidos três modelos de simulação. Estes modelos foram elaborados a partir do modelo base, utilizando a combinação de variáveis da Situação 5, e foi inserido 1 tipo de proteção solar diferente em cada um deles, gerando os modelos 1, 2 e 3.

O modelo 1 foi desenvolvido com proteção solar horizontal do tipo beiral; o modelo 2 utilizou proteções solares verticais, representando recuos na fachada que provocam o auto-sombreamento nas aberturas; e o modelo 3 utilizou proteção solar mista do tipo varanda. Esses modelos foram simulados de forma a atender o desempenho mínimo de luz natural determinado na etapa anterior. Cada modelo foi simulado para 5 latitudes e para as orientações norte, sul, leste e oeste, resultando em 140 simulações.

Ao comparar os resultados da profundidade limite do ambiente sem proteção solar para atender o desempenho mínimo de luz natural, com a média dos resultados dos modelos com proteção solar para atender as mesmas condições, verificou-se que a profundidade limite desta última situação reduziu em média 17,90%. Ou seja, se a profundidade limite do ambiente era de 2,57 vezes a altura da janela para garantir 60 lux, em 70% da área do ambiente, em 70% das horas, em ambientes que possuem proteção solar, a profundidade limite para garantir as mesmas condições é reduzida para 2,11 vezes a altura da janela.

Da mesma forma do realizado na primeira etapa, o valor da profundidade limite de 2,11 vezes a altura da janela passou pelo processo de verificação da aplicabilidade em casos reais, onde foi aplicado em 20 ambientes reais que possuem proteção solar. Nesse processo verificou-se que apenas 45% dos ambientes com proteção solar atendiam a profundidade limite de 2,11 vezes a altura da janela. Essa porcentagem de atendimento foi considerada baixa para se tornar aplicável à projetos reais. Visto que é intenção criar valores aplicáveis à prática projetual e que é positivo o incentivo do uso de elementos de proteção solar nas fachadas, sugere-se reduzir a exigência da Autonomia Espacial da Luz Natural, de 70% da área do ambiente para 50%, possibilitando o aumento da profundidade limite do ambientes com proteção solar.

Assim, a profundidade limite de ambientes com proteção solar passou para 2,95 vezes a altura da janela. Ao verificar a aplicabilidade deste valor em ambientes reais obteve-se 80% de atendimento da profundidade limite nos ambientes selecionados, sendo essa porcentagem considerada aceitável para se tornar aplicável em casos reais. Assim, a profundidade limite de ambientes com proteção solar deve ser 2,95 vezes a altura da janela, para poder obter 60 lux, em 50% do espaço, em 70% das horas, considerando o horário variável.

Destaca-se que este trabalho objetivou trazer um indicativo de profundidade para garantir um desempenho mínimo de iluminação natural em ambientes sem e com proteção solar. Contudo, torna-se indispensável o estudo pelo projetista da melhor proteção solar para a edificação, de acordo com a localidade e orientação da edificação.

## **5.2. Programa de simulação dinâmica de iluminação natural – Daysim**

A utilização do software Daysim, principal ferramenta utilizada nesta pesquisa, permitiu a avaliação de variáveis arquitetônicas juntamente com as variáveis climáticas de diversas regiões, sendo esta característica fundamental para permitir estudos na área de iluminação natural para o contexto climático brasileiro.

Além disso, o programa Daysim mostrou-se adequado para a simulação de iluminação natural dinâmica, permitindo verificar o comportamento da luz natural ao longo de um ano, com resultados apresentados em métricas dinâmicas, como o Daylight Autonomy, que permitiu verificar em porcentagem de horas o atendimento da Iluminância de Projeto desejada no ambiente, auxiliando na identificação no nível de desempenho mínimo da luz natural do ambiente.

O programa também permitiu a realização de inúmeras simulações em período curto de tempo, dando resultados consideravelmente confiáveis de iluminância, apresentando-se adequado para o desenvolvimento de estudos para avaliação de diversas variáveis da iluminação natural. Acrescenta-se que, o fato do programa possuir um tutorial completo e atualizado (REINHART, 2010), que possibilitou a resolução de diversas dúvidas o que facilitou o processo de simulação.

Os software de apoio WinSurf mostra-se como ferramenta eficiente na geração de mapas de representação dos resultados simulados, uma vez que utiliza paleta de cores RGB, as quais que são facilmente identificáveis.

## **5.3. Limitações do trabalho**

Ao desenvolver esta pesquisa se deparou com algumas limitações, a maioria delas estão relacionadas com a impossibilidade da avaliação de um maior número de modelos, o que tornaria possível a avaliação do comportamento da luz natural mais completa. Para tanto,

seria necessário realizar análises considerando outras variáveis da geometria do ambiente (largura e pé direito), forma das aberturas (dimensão e posição), característica dos vidros das aberturas, refletâncias das superfícies, outras tipologias de proteção solar, entre outros.

Destaca-se que os valores da profundidade limite do ambiente, foram identificados nessa pesquisa de maneira abrangente, a fim de torná-los facilmente aplicáveis no processo projetual. No entanto, a partir dos resultados encontrados, é notável a influência das orientações e das latitudes nos valores da profundidade limite do ambiente para atender o desempenho mínimo da luz natural. Por esta razão, seria possível desenvolver valores limites para profundidade dos ambientes de acordo com a orientação das aberturas e com a latitude do local, no entanto como dito anteriormente seria necessário um maior número de modelos estudados.

Da mesma forma, observou-se que cada proteção solar influencia de maneira diferenciada na profundidade alcançada pela luz natural no ambiente. Portanto, é em boa medida e aconselhável, identificar o valor da profundidade limite do ambiente para atender o desempenho mínimo da luz natural de acordo com diversos tipos de proteção.

Outro aspecto que precisa ser contemplado em pesquisas posteriores diz respeito a métrica dinâmica utilizada para avaliação da luz natural, o Daylight Autonomy, uma vez que a mesma não permite a identificação das situações onde os níveis de iluminação são excessivamente elevados, podendo provocar efeitos adversos associados ao conforto visual e na carga térmica.

Os resultados apresentados indicam quando o ambiente atende as condições para o desempenho mínimo definido, mas não indica quando o nível de iluminância ultrapassa do considerado útil - acima de 2.000 lux (REINHART, MARDALJEVIC, ROGERS, 2006). Seria necessário, portanto, cruzar as informações das métricas Daylight Autonomy (DA) com a métrica de Iluminância de Luz Natural Útil (UDI), para obter informações mais satisfatórias quanto a qualidade da luz no ambiente.

É necessário, portanto, aprofundar as pesquisas no sentido de preencher a carência de conhecimento em relação à influência da arquitetura no desempenho da luz natural, possibilitando obter valores para uma maior gama de especificidade arquitetônica e climática. Será possível, desta maneira, a criação de regras aplicáveis ao projeto que garantam condições conhecidas de iluminação natural, podendo ser mais bem implementadas em regulamentos, normas, códigos de obras, contribuindo para a melhor qualidade dos projetos e possivelmente maior eficiência energética e sustentabilidade das edificações. Diante disso, as lacunas encontradas emergem como contribuições em forma de sugestões para trabalhos futuros a seguir pontuadas.

### *5.3.1. Sugestão de trabalhos futuros*

- a) Identificar a profundidade limite do ambiente sem proteção solar para atender o desempenho mínimo de luz natural para cada orientação das aberturas e de acordo com cada latitude;
- b) Identificar a profundidade limite do ambiente para cada tipo de proteção solar para atender o desempenho mínimo de luz natural de acordo com cada orientação das aberturas e latitude;
- c) Verificar a profundidade limite do ambiente de acordo com a geometria do ambiente e das aberturas, da influência do entorno, das refletâncias da superfície, característica dos vidros das aberturas, e outras tipologias de proteção solar.
- d) Realizar estudos que identifiquem a relação da Autonomia de Luz Natural e Iluminância Natural Útil, para ambientes sem proteção solar e com proteção solar, verificando a qualidade do espaço iluminado.

Aquilo que podemos construir em alternativa à catástrofe, não é então um mundo triste e escuro; pelo contrário, é um mundo mais cômodo, mais bonito, (...), sobretudo um mundo que podemos deixar com orgulho a quem nos seguirá.



E é um mundo absolutamente possível, não uma vã utopia.  
As tecnologias para começar já existem e outras já estão no  
horizonte, melhores, mais eficientes e mais baratas.

Se as coisas estão assim, por que a construção da  
sustentabilidade energética tem tanta dificuldade para  
decolar?

(BUTERA, 2009)

## 6. REFERÊNCIAS

---

AMORIM, C. N. D. **Desempenho Térmico de Edificações e Simulação Computacional no Contexto da Arquitetura Bioclimática: Estudo de Caso na Região de Brasília**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília, 1997.

\_\_\_\_\_. (2007a). Diagrama Morfológico Parte I – Instrumento de análise de projeto ambiental com uso de luz natural. Paranoá Cadernos de Arquitetura e Urbanismo. Número 3. ISSN 1677-7395. Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília: 2007.

\_\_\_\_\_. (2007b). Diagrama Morfológico Parte I – Instrumento de análise de projeto ambiental com uso de luz natural. Paranoá Cadernos de Arquitetura e Urbanismo. Número 3. ISSN 1677-7395. Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília: 2007.

\_\_\_\_\_. **Estruturação e desenvolvimento de pesquisas da área de Luz Natural para colaboração com a Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações**. Proposta para Convênio Eletrobrás desenvolvimento de pesquisa. Brasília: UnB 2010

ARAÚJO, Iuri Ávila L.; CABÚS, Ricardo C.. **Influência da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios em câions urbanos no trópico úmido**. In: IX Encontro Nacional de V Latino Americano do Conforto no Ambiente Construído, 2007, Curitiba. Anais. ANTAC: CD-ROM 1990-2009.

ASSAF, L.; PEREIRA, F.O.R. **Perspectivas de La eficiência energética em La iluminación: Desafios para el desarrollo**. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2003, Curitiba. Anais. ANTAC: CD-ROM 1990-2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5461**: Iluminação. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-2**: Iluminação natural - Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005 a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-3**: Iluminação natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005 b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-4**: Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Rio de Janeiro, 2005 c.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais até 5 pavimentos – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2008.

BAKER *et al.* **Daylighting in Architecture**. A European Reference Book. Bruxelas: James & James Editors, 1998.

BAKER, Nick, STEEMERS, Koen. **Daylight Design of Buildings**. London: James & James Editors, 2002.

BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO, Christina. **Introdução à ventilação natural**. Editora UFAL: Maceió/AL, 2008

BOGO, Amílcar José; PEREIRA, Fernando O. R.; CLARO, Anderson. **Controle solar e admissão de luz natural em aberturas com proteção solar**. In: X Encontro Nacional e VII Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Anais. Natal: 2009. CD-ROM 1990-2009.

BOGO, Almicar José. **Método para avaliação da admissão de luz natural através de aberturas com**

**elementos de controle solar.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil – PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BRASIL (2001a). Lei 10.295, de 17.out.01 – “Lei de Eficiência Energética”. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 18/out/2001

\_\_\_\_\_. (2001b). Decreto 4.059 de 19.dez.01. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 20/ Dez/ 2001.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030** / Ministério de Minas e Energia ; colaboração Empresa de Pesquisa Energética . Brasília : MME : EPE, 2007.

\_\_\_\_\_. **Balanco Energético Nacional – BEN. 2008:** Ano base 2007 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2008.

\_\_\_\_\_(2010c). Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº395, de 11 de outubro de 2010.** Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C). Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001609.pdf> >. Acesso em: mar/2011

BUTERA, F. M. **Da caverna à casa ecológica.** História do conforto e da energia. Tradução de Elza Bassetto. São Paulo: Nova Técnica, 2009.

BUSON, M.A. **Porque minha janela tem 1m<sup>2</sup>?** Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

CABÚS, Ricardo. **Troplux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações.** Encontro Nacional do Conforto no Ambiente Construído, Anais. Maceió: 2005. CD-ROM 1990-2009.

CARAM, Rosana M.; *et al.* **Estudo da refletância de diferentes cores de tinta considerando seus efeitos para iluminação natural.** In: VI Encontro Nacional e III Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, **Anais.** São Paulo: 2001. CD-ROM 1990-2009.

CASTELLAN, Marina. Revista LUME, 2007, Ed 26. Acessado em 9 de julho de 2011: [http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed26/ed\\_26\\_Aula\\_Rapida.pdf](http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed26/ed_26_Aula_Rapida.pdf)

CASTRO, A. P. A. S. *et al.* **Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral.** Ambiente Construído. v. 3, n. 2.p.69-76, Porto Alegre, abr/jun., 2003.

CORBELLA, O. D.; CASTANHEIRA, R. G. **Sobre a necessidade de proteção da radiação solar incidente nas fachadas Sul, para edifícios situados entre as latitudes 10° e 35°.** In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano Sobre Conforto no Ambiente Construído. Anais. São Pedro, SP. CD-ROM 1990-2009.

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

DIDONÉ, Evelise L.; PEREIRA, Fernando O. R. **Introdução à simulação integrada com os programas Daysim e EnergyPlus.** Laboratório de Conforto Ambiental – LabCon. Departamento de Arquitetura e Urbanismo – CTC/ARQ/UFSC. Florianópolis, 2009.

DIDONÉ, Evelise L. **A influência da Luz Natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis.** Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: Métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA.** 2008. 160 f. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2008.

Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Plano Decenal de Energia – PDE 2019.** (Informe à Imprensa). Rio de Janeiro: EPE, 2010. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20100504\\_2.pdf](http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20100504_2.pdf) . Acesso em 10 de julho de 2010.

Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Resultados do BEN 2010.** (Informe à Imprensa). Rio de Janeiro: EPE, 2010. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20100429\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20100429_1.pdf) . Acesso em 10 de julho de 2010.

**ELETOBRAS/PROCEL, 2011.** Acessado em 01/04/2011:

<http://www.eletobras.gov.br/elb/procel/main.asp?TeamID={A8468F2A-5813-4D4B-953A-1F2A5DAC9B55}>

FERNANDES, Júlia T. **Código de obras e edificações do DF: inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética.** Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

FERREIRA, Camila C.; SOUZA, Roberta V. G. **Investigação sobre o potencial de economia de energia da iluminação natural.** In: X Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009. Anais. ANTAC. CD-ROM 1990-2009.

FIGUEIRÓ, Mariana. **A Luz e a sua relação com a saúde.** LUME, São Paulo, Ano VIII, nº 44, junho de 2010.

GARROCHO, J. S. **Luz Natural e Luz Artificial na reabilitação do ambiente.** In: ROMERO, M. A.B. (org.), Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística. Brasília:FAU/UnB, 2009

GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Avaliação das Condições de Iluminação Natural nas Salas de Aula da Universidade Federal de Santa Catarina.** In.: I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Canela, 1997. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/publicacoes/artigos.php> . Acesso em 22 de setembro de 2010.

GHISI, Eneidir; TINKER, John A.; IBRAHIM, Siti H. **Área de janela e dimensões para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional.** In.: Ambiente Construído. V.5, n.4, p. 81-93. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. INSS: 1415-8876. Porto Alegre: 2005

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação Natural.** Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 1975. Tradução do original inglês intitulado: *Daylighting*. London 1966.

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº372, de 17 de setembro de 2010. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>>. Acesso em: mar/ 2011.

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº449, de 25 de novembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade - RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001627.pdf>>. Acesso em: mar /2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo: PW, 1997.

LARANJA, Andréa C.; GAZZANEO, Luis M. C.; CABÚS, Ricardo C. **Malha Urbana, Fachada e Ambiente Interno: Influências na Iluminação Natural.** In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído,

Natal, 2009. Anais. ANTAC. CD-ROM 1990-2009.

LEDER, Solange M.; PEREIRA Fernando O. R.; CLARO, Anderson. **Janela de céu preferível: proposição de um parâmetro para controle da disponibilidade de luz natural no meio urbano.** In.: Ambiente Construído. V.8, n.1, p. 89-104. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. INSS: 1415-8876. Porto Alegre: 2008

MARTAU, Betina T. **A luz além da visão.** Lume, Ano VII, nº 38. São Paulo: junho de 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2009: ano base 2008.** Brasília: MME, 2009.

MORAES, O.; SCARAZZATO, P. S. Iluminação natural no meio urbano: estudo de caso com o método dos indicadores de altura admissíveis aplicado a Campinas, SP. Anais. ENCAC – COTEDI 2003. Curitiba 2003.

OKIMOTO, Maria L.L.R.; MARCHI, Sandra R. **Influência da cor das paredes e do layout das aberturas no aproveitamento da luz natural do ambiente.** Revista Estudo em Design, V. 16.1. PUC Rio de Janeiro, 2008.

PEREIRA, Fernando O. R. **Luz solar direta: tecnologia para melhoria do ambiente lumínico e economia de energia na edificação.** In: 2º Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, ANAIS. Florianópolis: ANTAC, ABERGO, SOBRAC, 1993. CD-ROM 1990-2009.

PEREIRA, Roberto C.; PEREIRA, Fernando O.; CLARO, Anderson. **A contribuição do entorno na avaliação da iluminação natural.** In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009. Anais. ANTAC. CD-ROM 1990-2009.

**Plano Nacional de Eficiência Energética 2010-2030/PNEf.** Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento: Brasília, 2010. Acesso

RAMOS, Greici; GHISI, EneDir. **Avaliação do cálculo da iluminação natural realizada pelo programa Energyplus.** In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Natal 2009. Anais CD-ROM. ANTAC

REINHART, C. F. **A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylit zone depth rule-of-thumb.** In: Internacional Building Simulations Conference 9., Montreal, Canada, 2005. Proceedings...Montreal: IBPSA.

REINHART, C. F. **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design.** Harvard University Graduate School of Design, Cambridge, USA. 2010

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. **Dynamic Daylight performance metrics for sustainable building design.** NRCC-48669. 2006

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

SCARAZZATO, Paulo Sergio. **Dia Luminoso Típico: conceituação e aplicação.** In: III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Gramado, 1995. Anais. ANTAC. CD-ROM 1990-2009.

SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina: 2003.

TOLEDO, B. G. **Integração de iluminação natural e artificial: métodos e guia prático para projeto luminotécnico.** Dissertação de Mestrado para FAU/UnB, Brasília, 2008.

VERSAGE, Rogério. Modelo para o residencial. versage@labeee.ufsc.br. Acesso em 30 de março de 2010.

VIANNA, Nelson S., GONÇALVES, Joana C. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: d Geros Ltda, 2007.

VITRUVIO. **Tratado de Arquitetura**. São Paulo: Editora Martins Fontes 2007. Tradução do Latim M. Justino Maciel.

**Companhia Energética de Brasília - CEB**. Acessado em 20/09/10:  
[http://www.ceb.com.br/Ceb/Ceb/visualizar\\_texto.cfm?idtxt=75](http://www.ceb.com.br/Ceb/Ceb/visualizar_texto.cfm?idtxt=75)

**LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**. Acessado em ou out./2010:  
[WWW.labeee.ufsc.br](http://WWW.labeee.ufsc.br).

## 7. APÊNDICE

---

O apêndice contém os resultados de todas as simulações desenvolvidas para esta pesquisa, sendo no total de 336 simulações apresentadas em gráficos de cores falsas de ISO-DA, inseridos nas plantas baixas dos modelos simulados.

Contêm também a verificação da aplicabilidade dos valores do limite da profundidade de ambientes sem e com proteção solar. Esta verificação descreve os dados básicos dos ambientes selecionados, e possui uma planta baixa esquemática.

### Conteúdo:

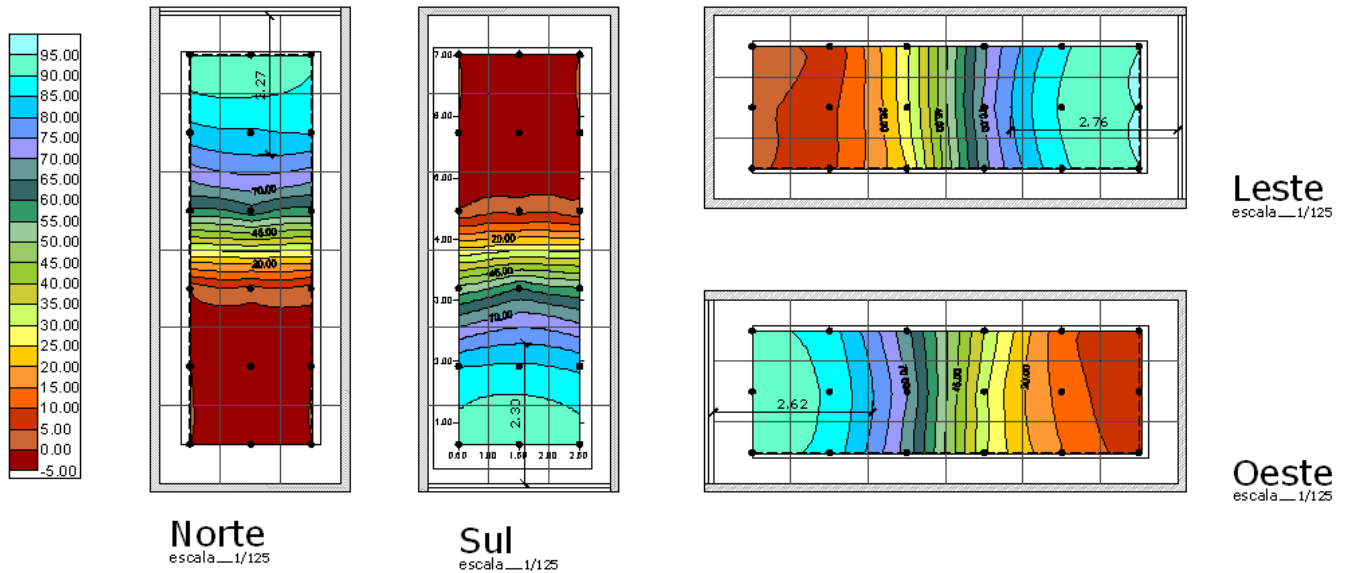
7.1.	Apêndice 1: Resultados da Situação 1 .....	104
7.2.	Apêndice 2: Resultados da Situação 2 .....	109
7.3.	Apêndice 3: Resultados da Situação 3 .....	112
7.4.	Apêndice 4: Resultados da Situação 4 .....	118
7.5.	Apêndice 5: Resultados da Situação 5 .....	124
7.6.	Apêndice 6: Validação dos resultados para ambientes sem proteção solar .....	130
7.7.	Apêndice 7: Resultados do Modelo 1 .....	135
7.8.	Apêndice 8: Resultados do Modelo 2 .....	143
7.9.	Apêndice 9: Resultados do Modelo 3 .....	151
7.10.	Apêndice 10: Validação dos resultados para ambientes com proteção solar .....	154

## 7.1. Apêndice 1: Resultados da Situação 1

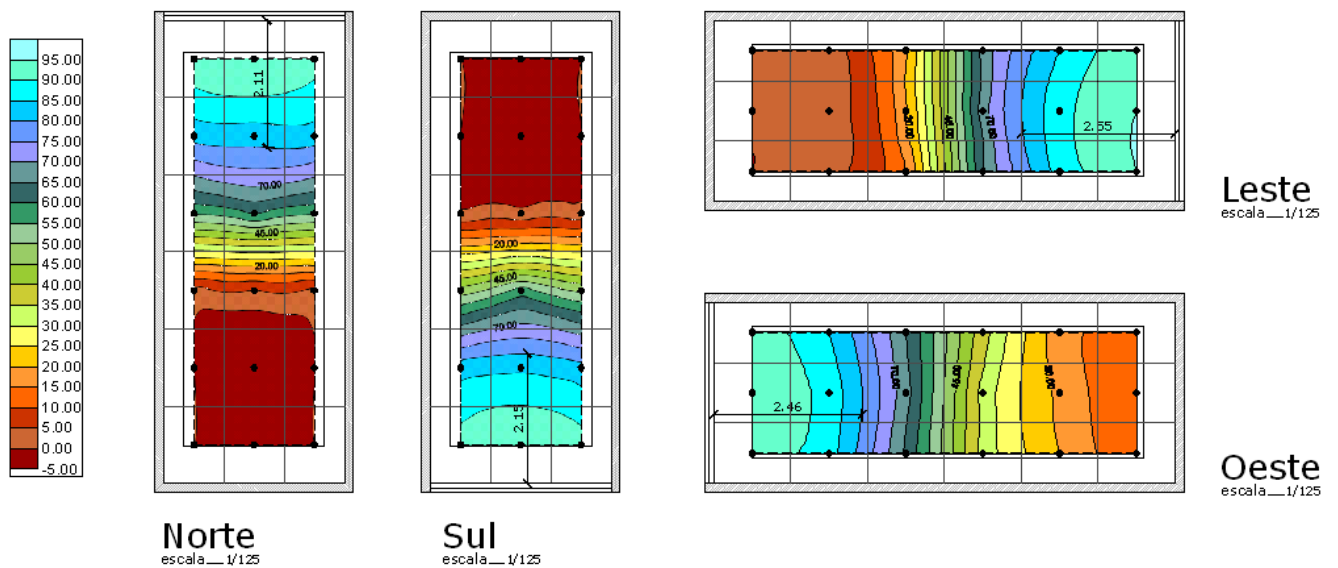
### Resultado das Simulações da Situação 1

Horário de Ocupação 6 às 18h | Iluminância de Projeto 100 lux | DA 80%

| **São Luís** | Latitude 2'60"



| **Natal** | Latitude 5'91"

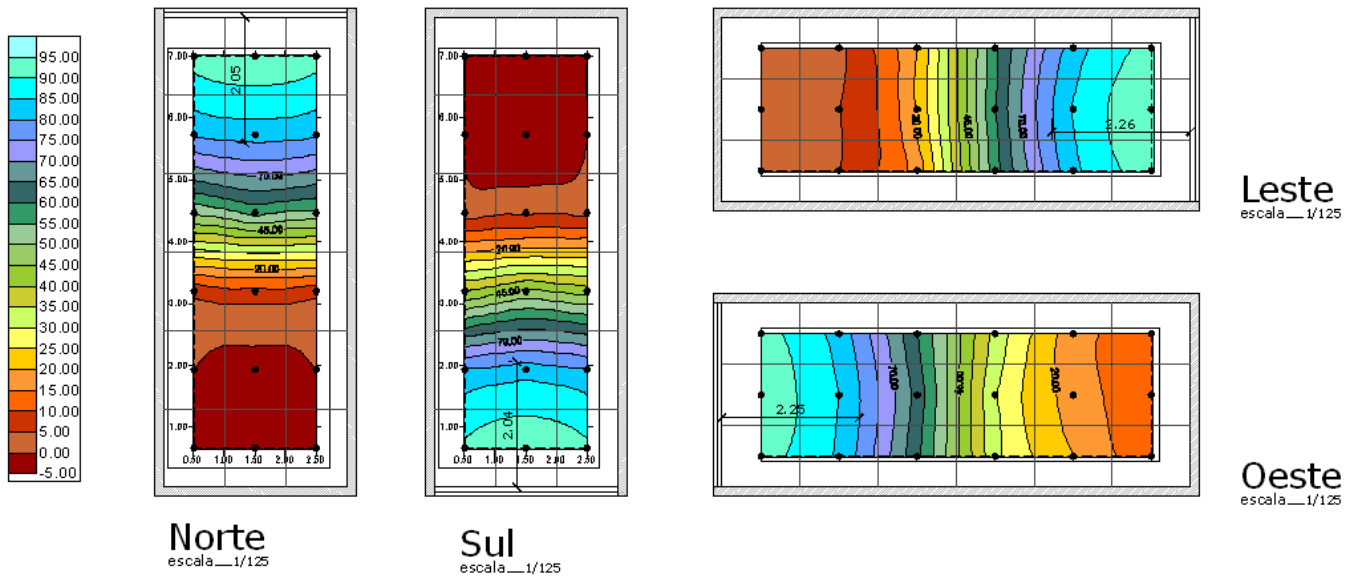




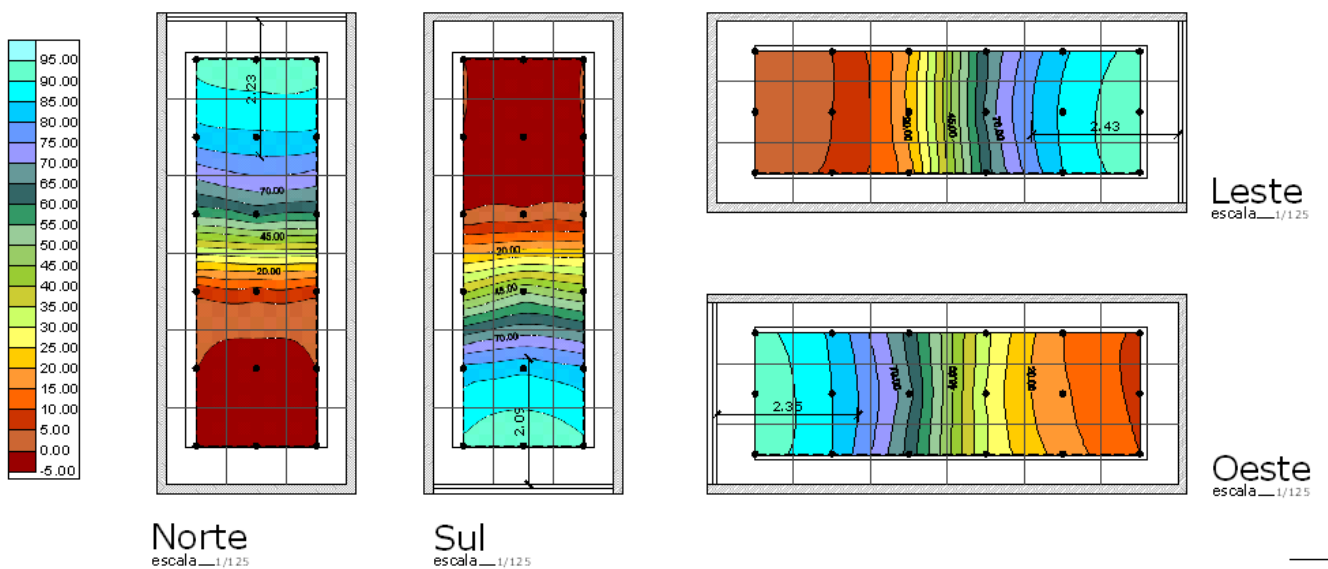
## Resultado das Simulações da Situação 1

Horário de Ocupação 6 às 18h | Iluminância de Projeto 100 lux | DA 80%

### | Maceió | Latitude 9'50"



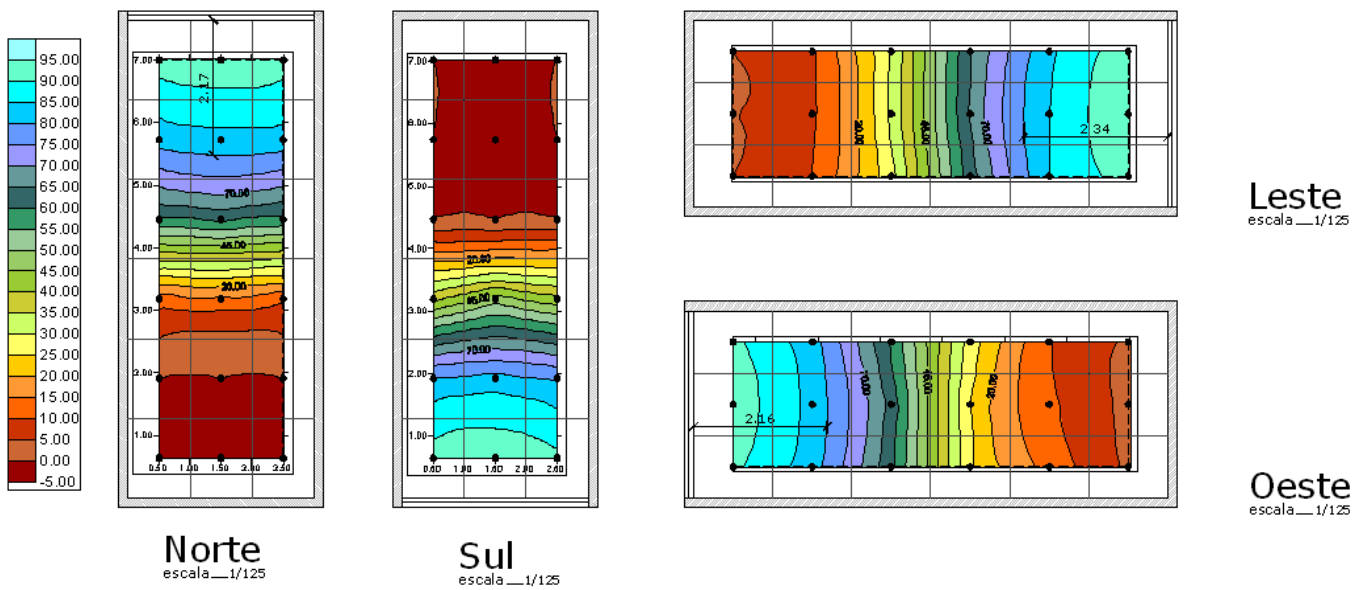
### | Salvador | Latitude 12'90"



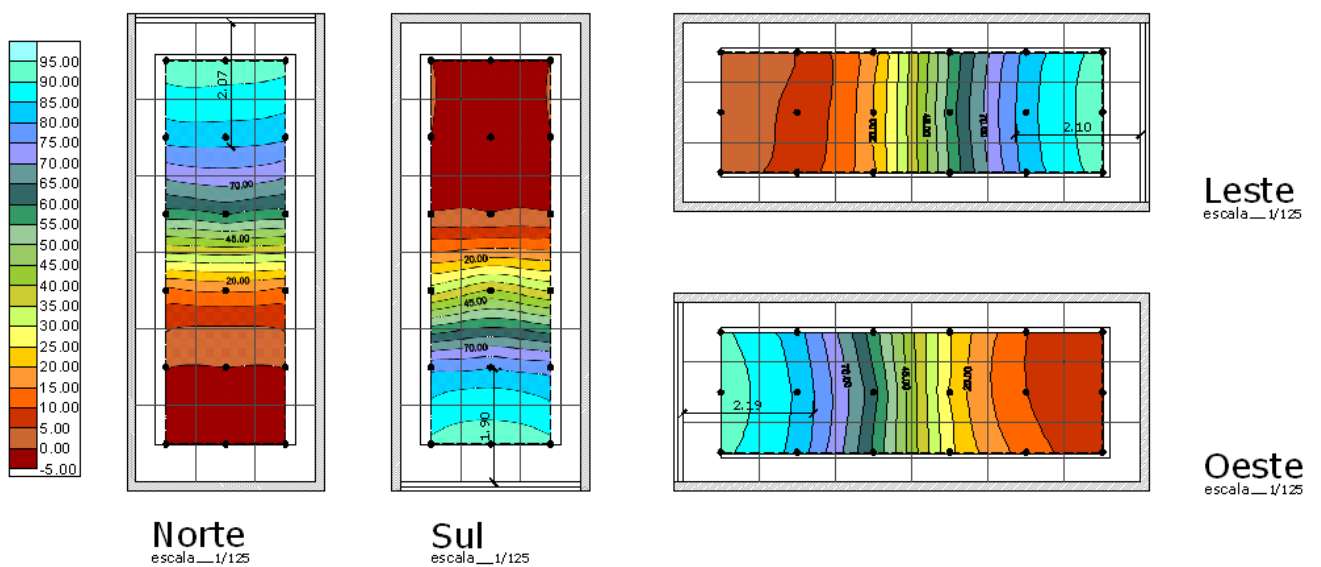
## Resultado das Simulações da Situação 1

Horário de Ocupação 6 às 18h | Iluminância de Projeto 100 lux | DA 80%

### | Brasília | Latitude 15'9"



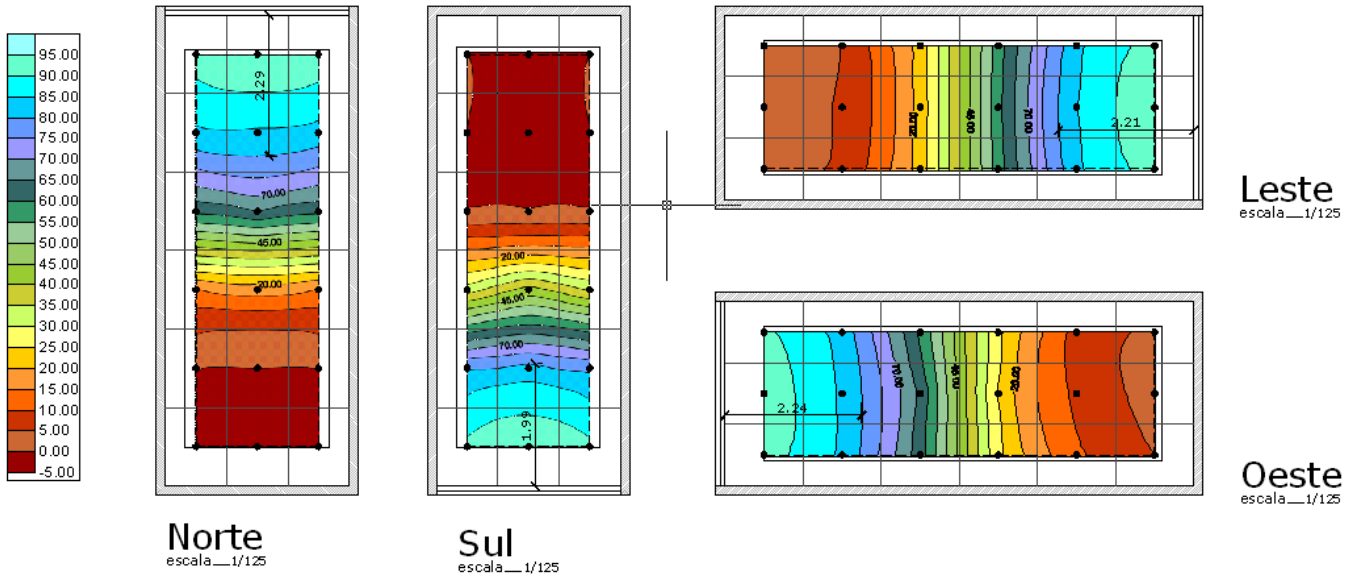
### | Rio de Janeiro | Latitude 22'83"



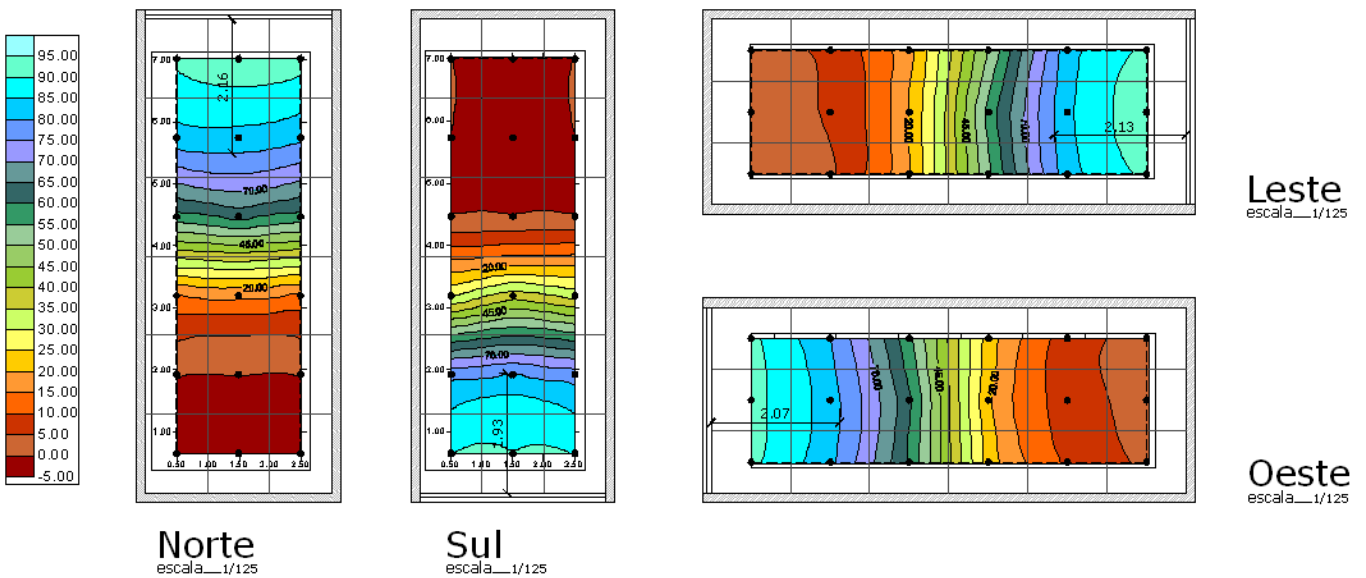
## Resultado das Simulações da Situação 1

Horário de Ocupação 6 às 18h | Iluminância de Projeto 100 lux | DA 80%

### | São Paulo | Latitude 23'61"



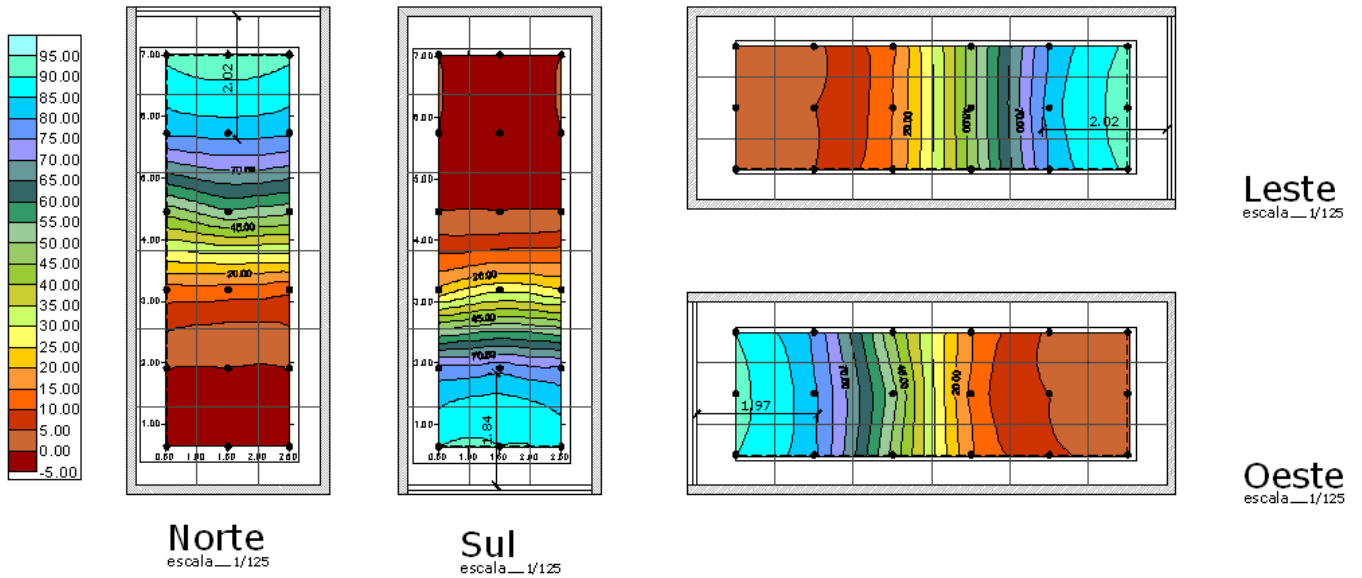
### | Curitiba | Latitude 25'51"



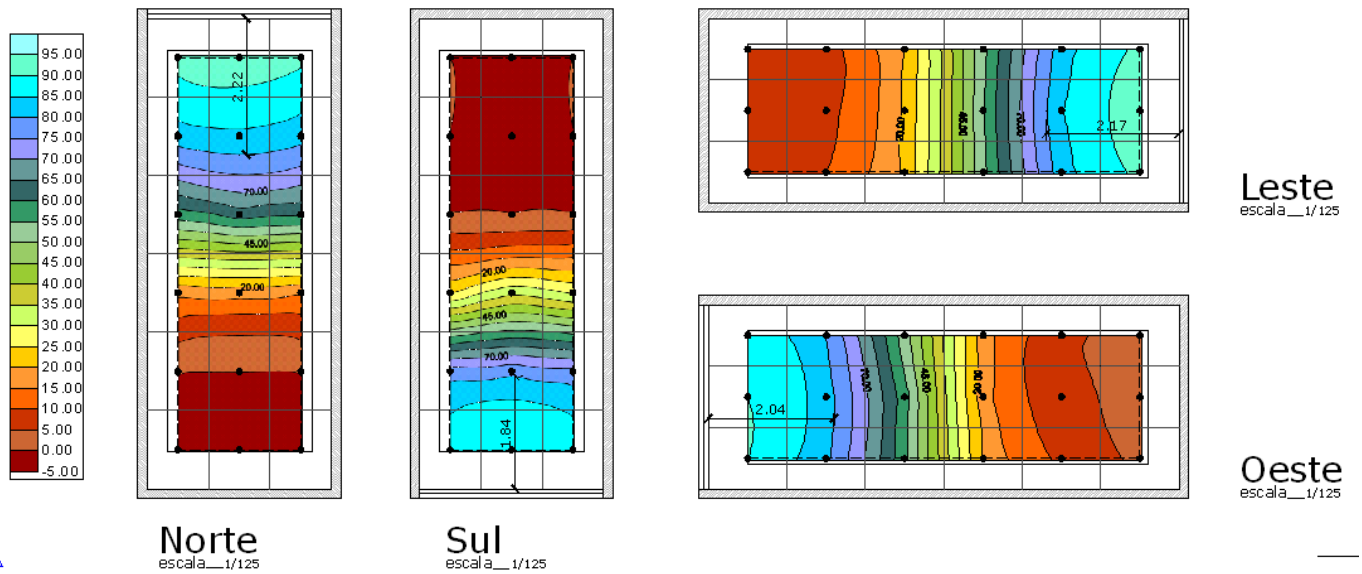
## Resultado das Simulações da Situação 1

Horário de Ocupação 6 às 18h | Iluminância de Projeto 100 lux | DA 80%

### | Florianópolis | Latitude 27'66"



### | Porto Alegre | Latitude 30'51"

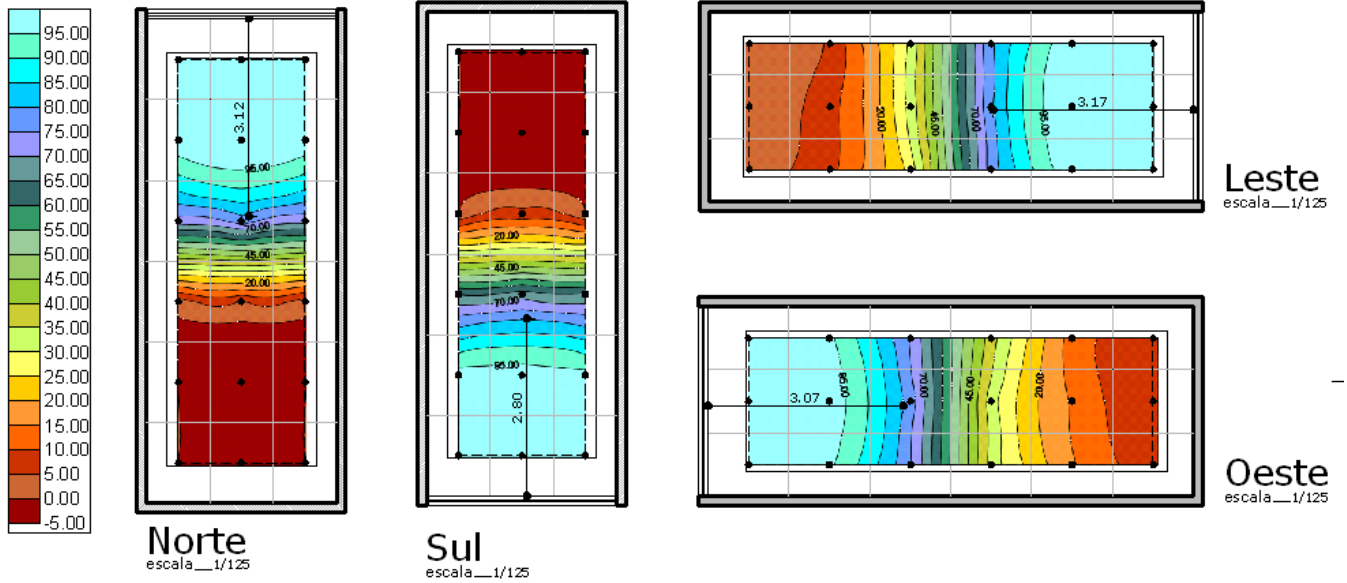


## 7.2. Apêndice 2: Resultados da Situação 2

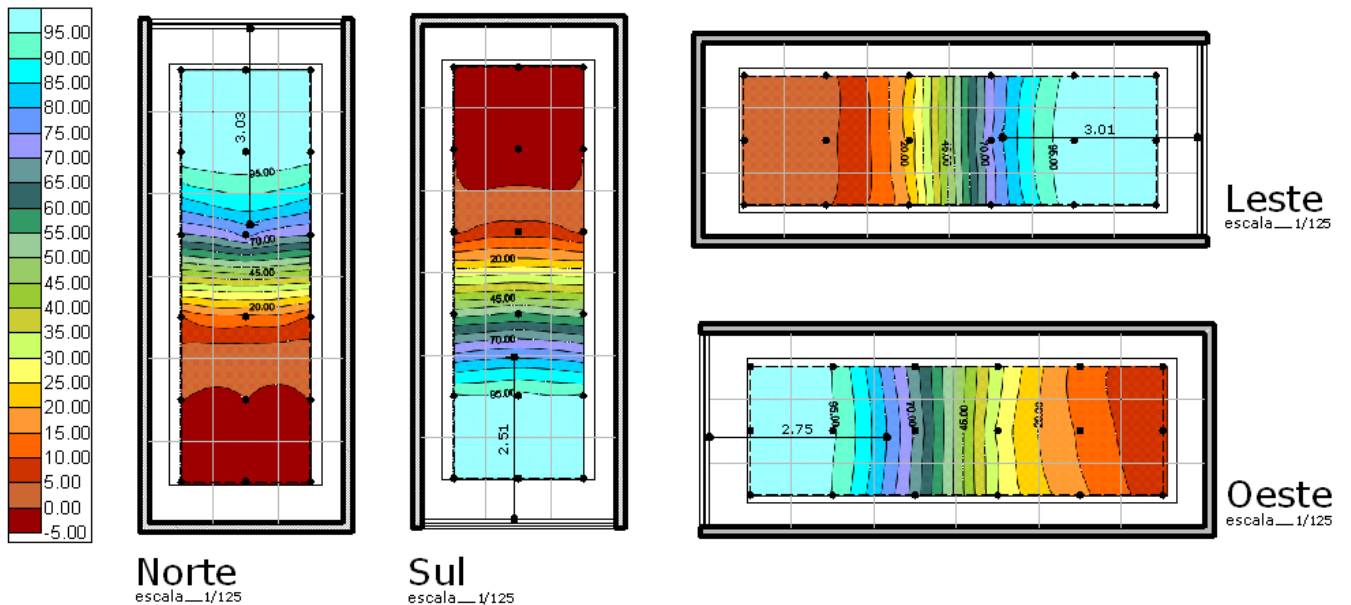
### Resultado das Simulações da Situação 2

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 100 lux | DA 80%

| **São Luís** | Latitude 2'60" | Horário de Ocupação: 7 às 17h |



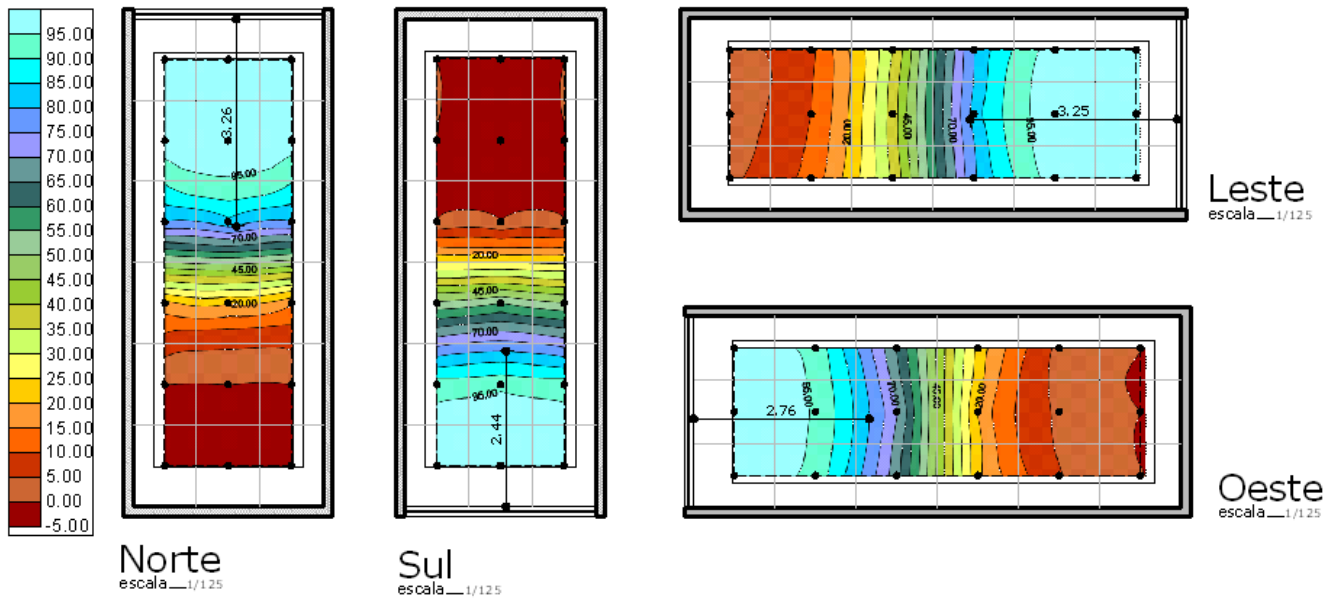
| **Maceió** | Latitude 9'50" | Horário de Ocupação: 7 às 16:30 |



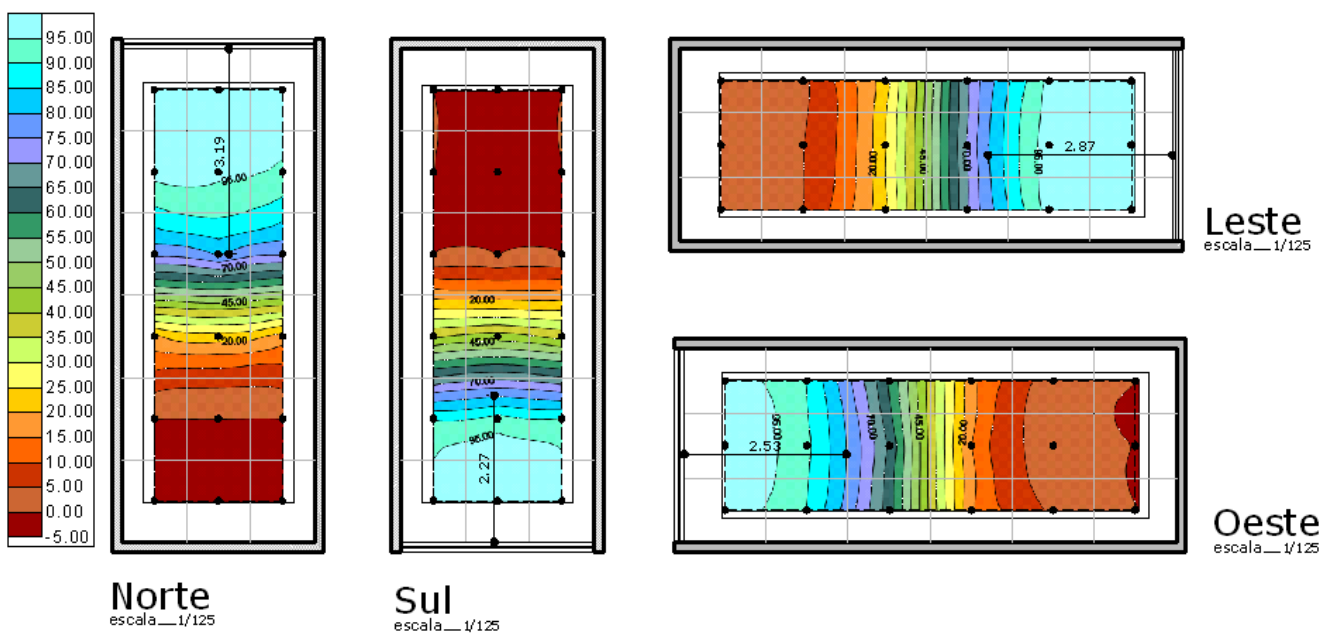
## Resultado das Simulações da Situação 2

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 100 lux | DA 80%

| **Brasília** | Latitude 15'9" | Horário de Ocupação: 7:30 às 16:30 |



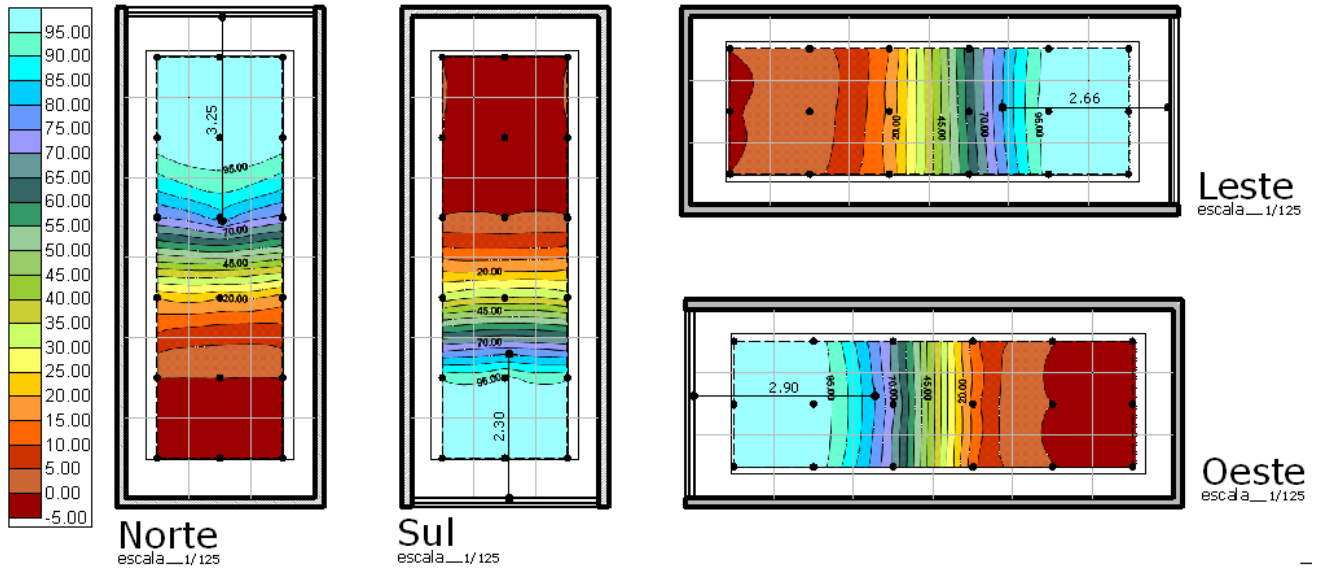
| **Curitiba** | Latitude 25'25" | Horário de Ocupação: 7:45 às 16:15 |



## Resultado das Simulações da Situação 2

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 100 lux | DA 80%

| **Florianópolis** | Latitude 27'70" | Horário de Ocupação: 8 às 16:00 |



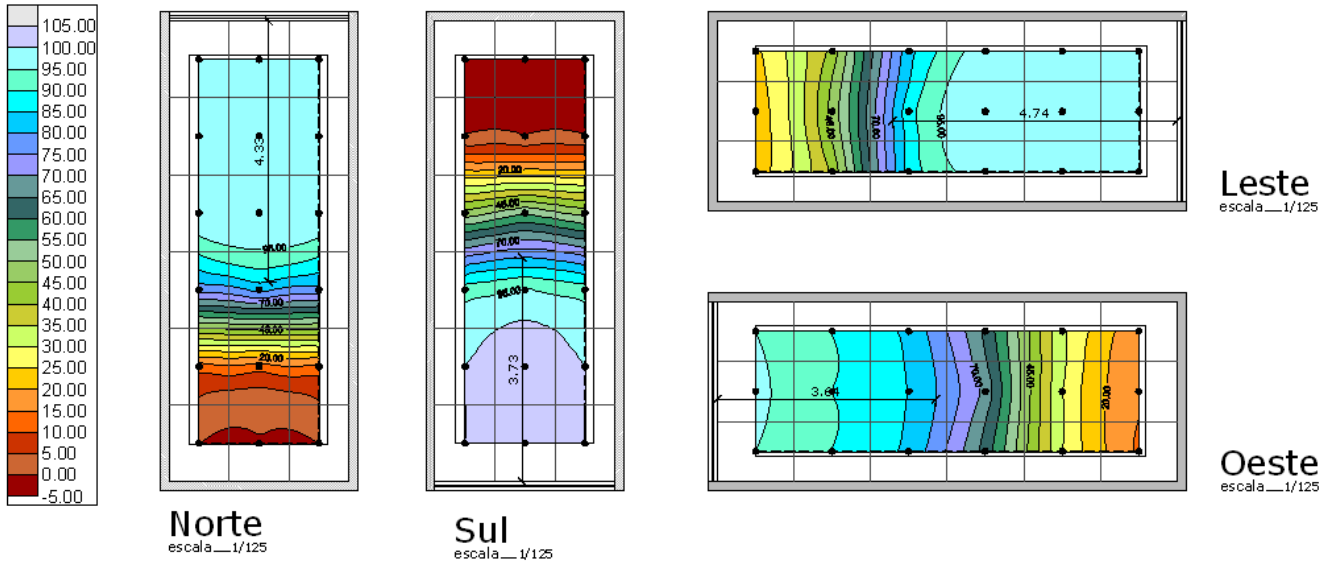


## 7.3. Apêndice 3: Resultados da Situação 3

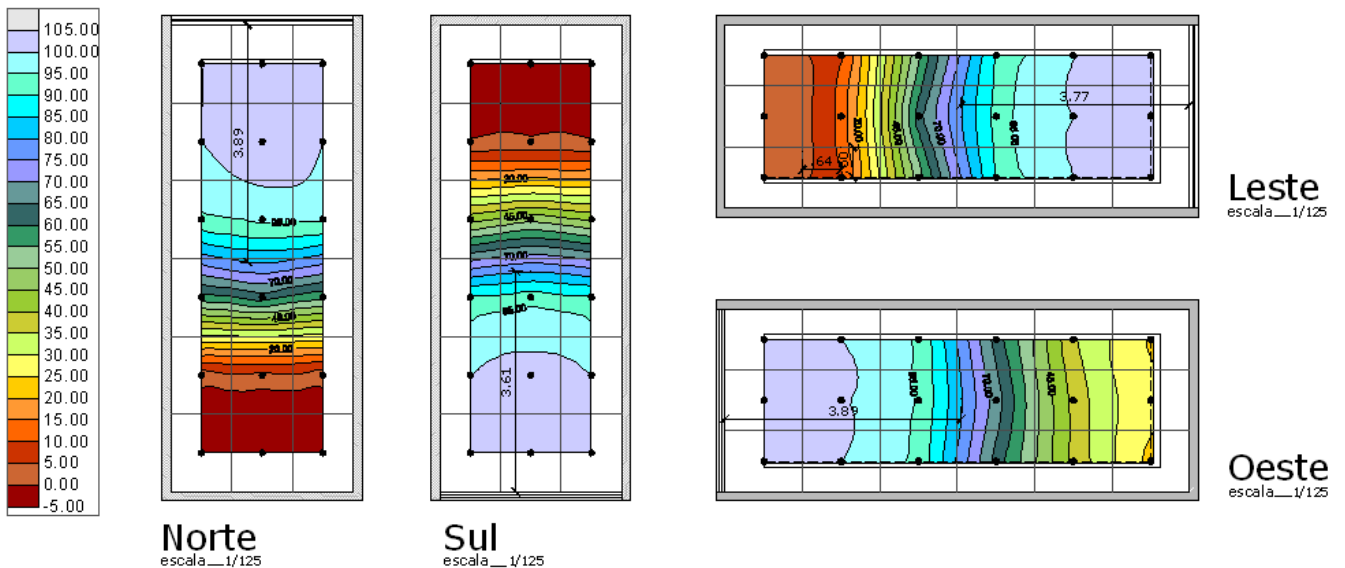
### Resultado das Simulações da Situação 3

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 80%

| **São Luís** | Latitude 2'60" | Horário de Ocupação: 7 às 17h |



| **Natal** | Latitude 5'91" | Horário de Ocupação: 7 às 17:00 |

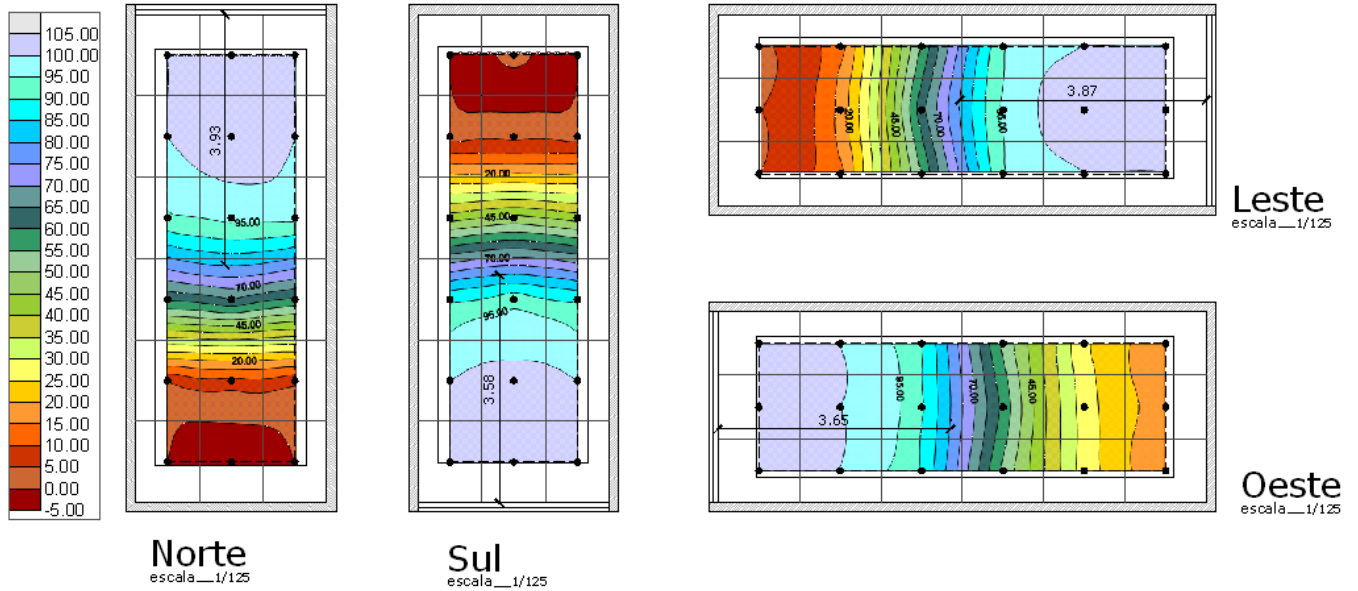




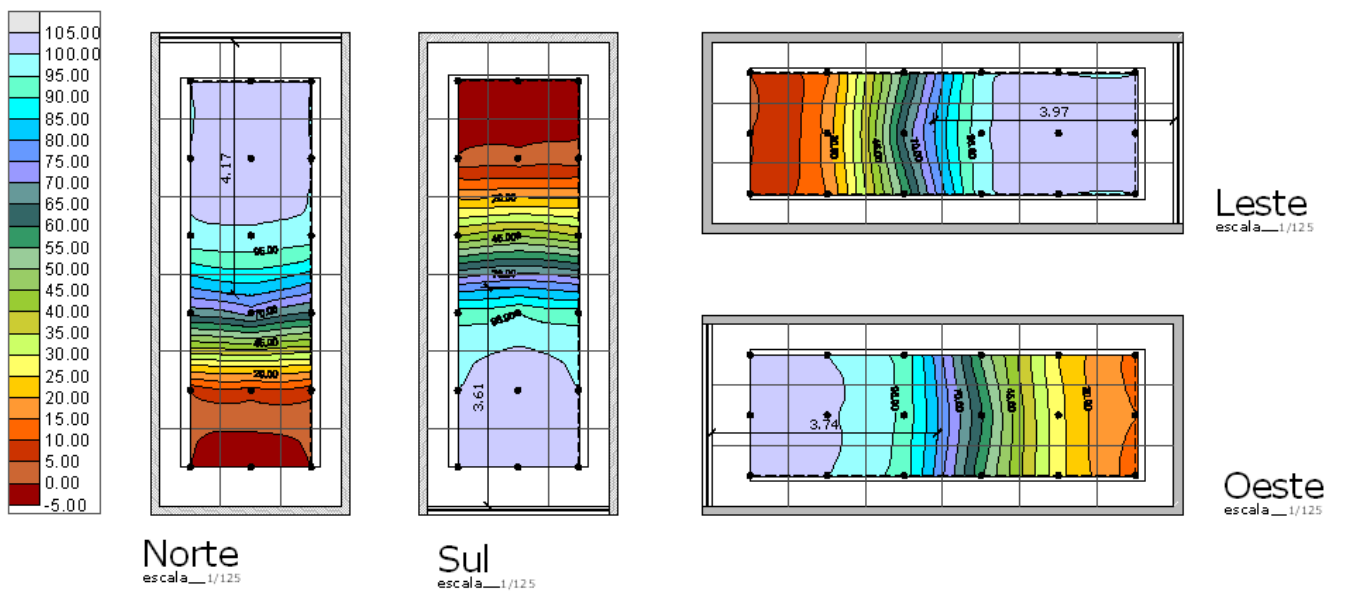
### Resultado das Simulações da Situação 3

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 80%

| **Maceió** | Latitude 9'50" | Horário de Ocupação: 7 às 16:30 |



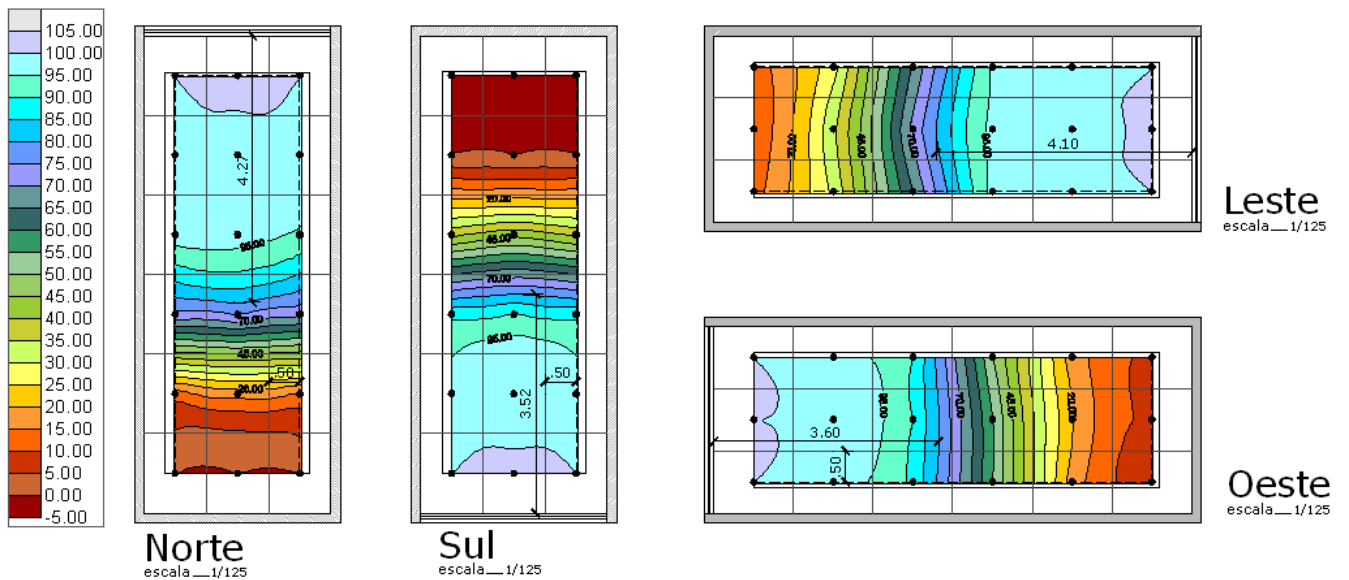
| **Salvador** | Latitude 12'90" | Horário de Ocupação: 7:15 às 16:45 |



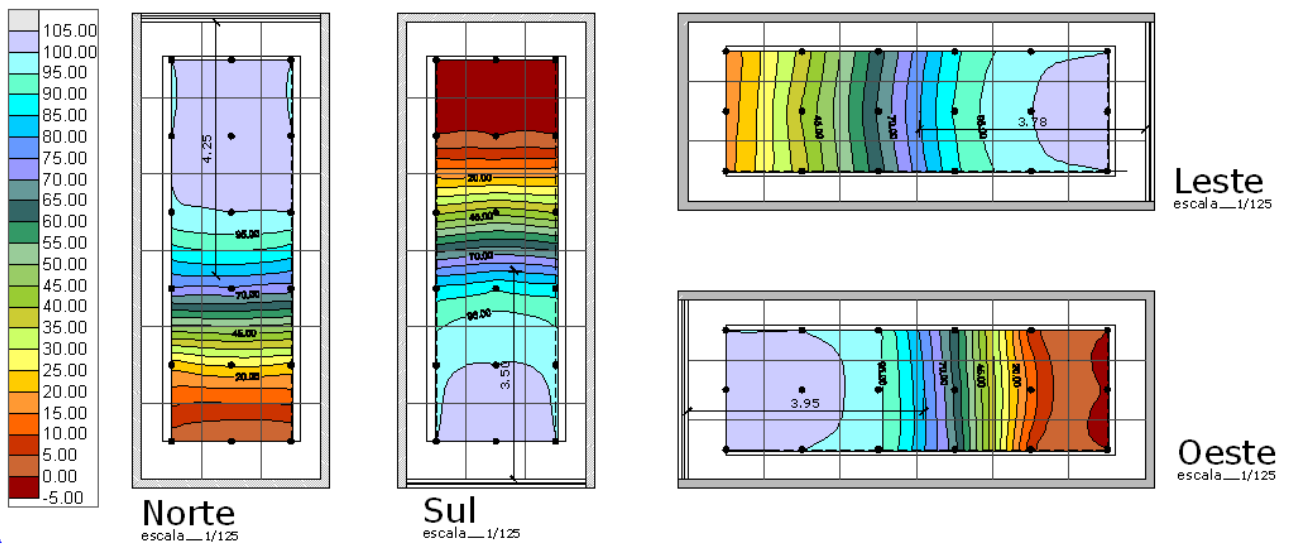
### Resultado das Simulações da Situação 3

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 80%

| **Brasília** | Latitude 15'9" | Horário de Ocupação: 7:30 às 16:30 |



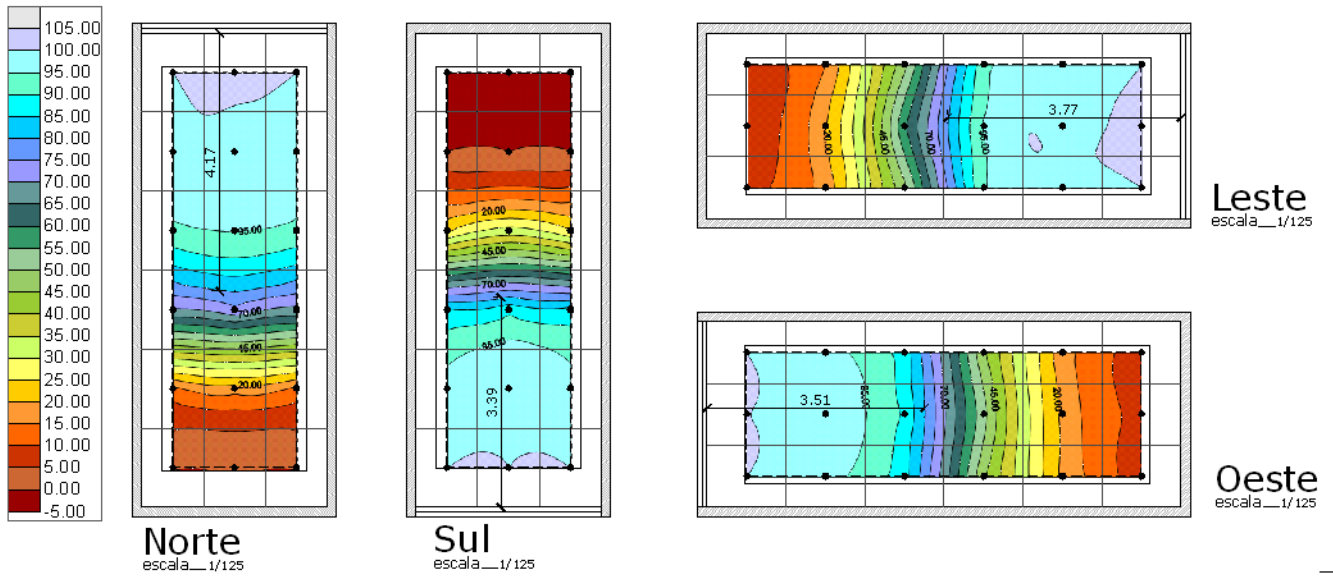
| **Belo Horizonte** | Latitude 19'55" | Horário de Ocup.: 07:45 às 16:15 |



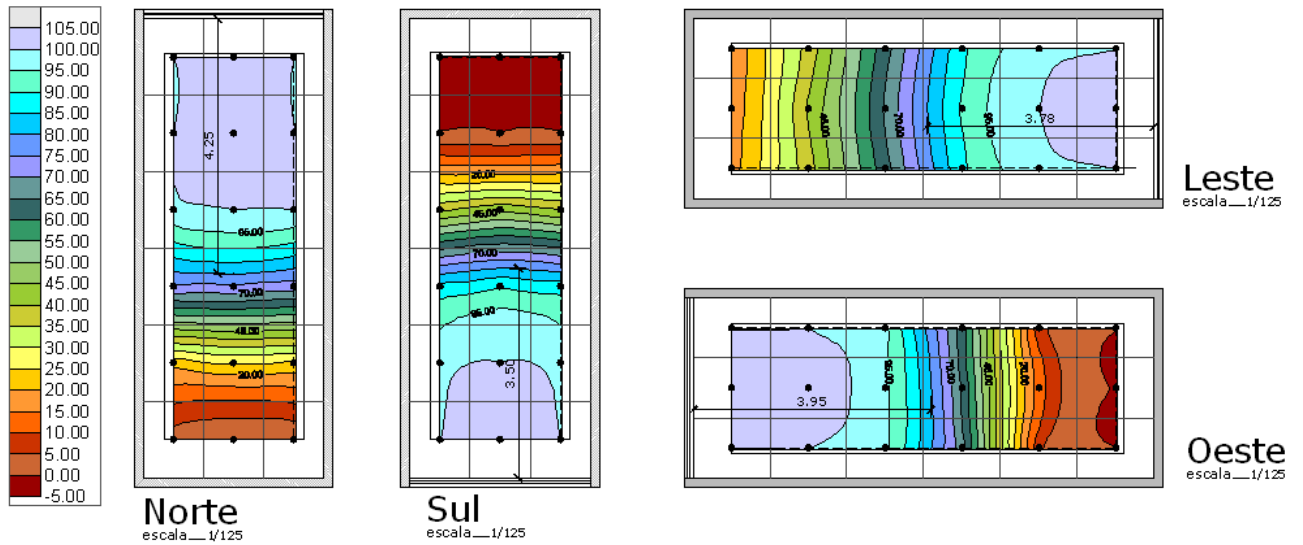
### Resultado das Simulações da Situação 3

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 80%

| **Rio de Janeiro** | Latitude 22'83" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |



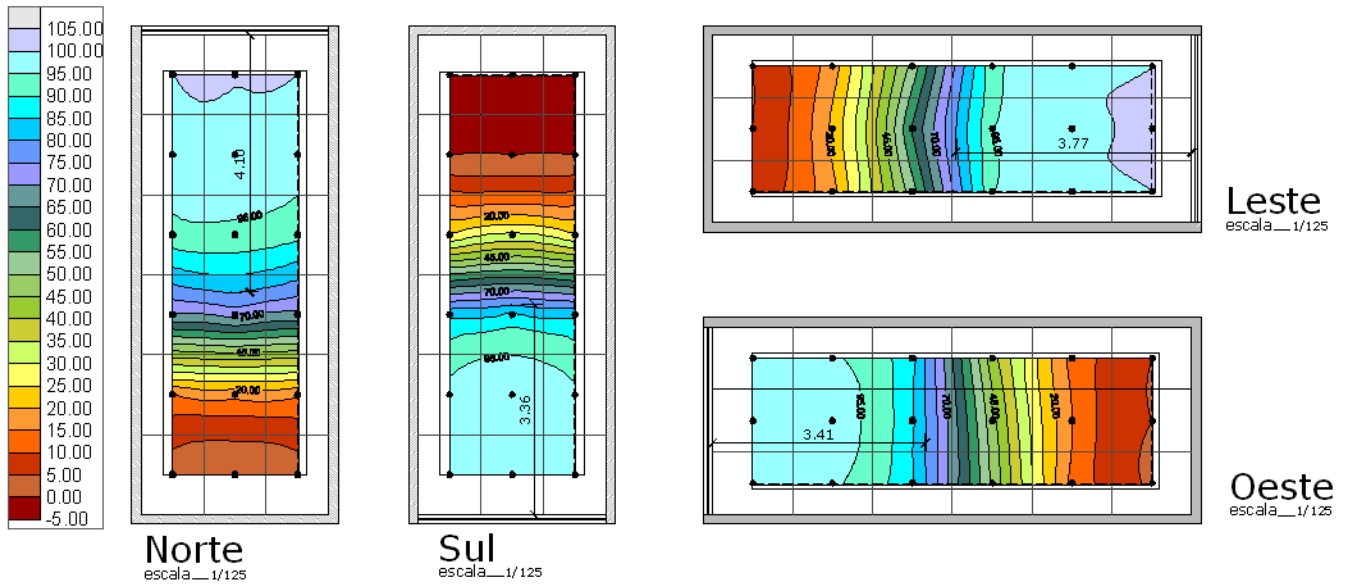
| **São Paulo** | Latitude 23'61" | Horário de Ocup.: 07:45 às 16:15 |



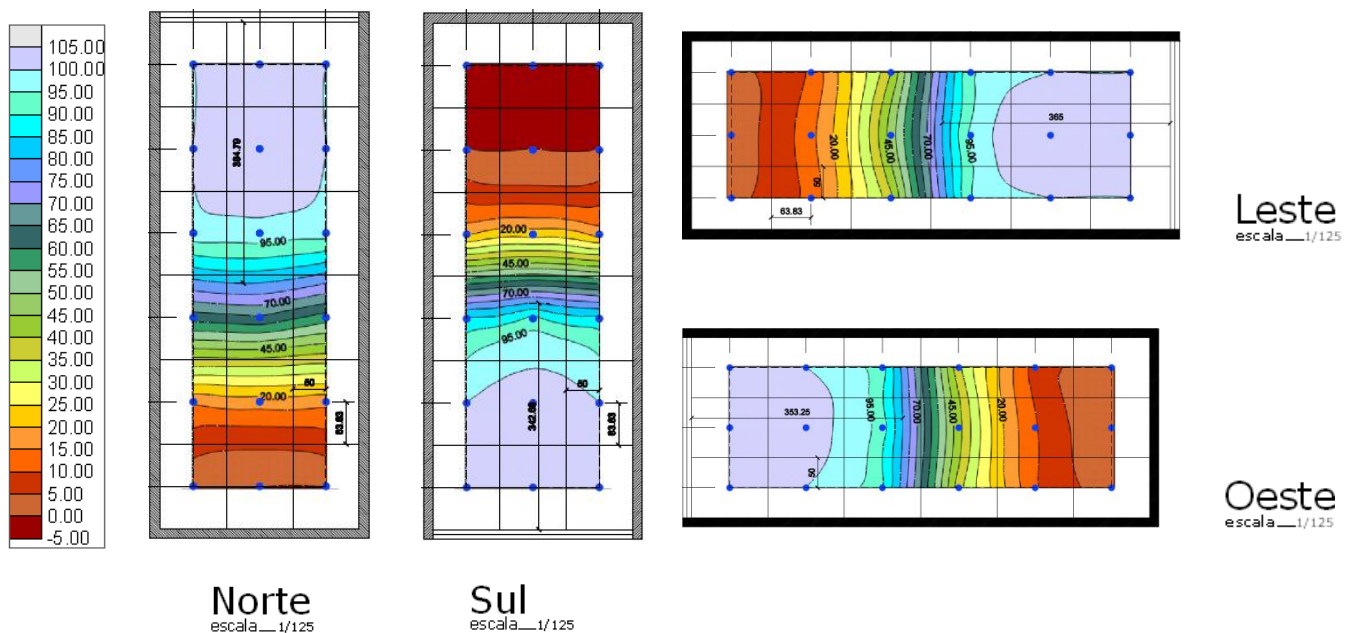
### Resultado das Simulações da Situação 3

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 80%

| Curitiba | Latitude 25'51" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |



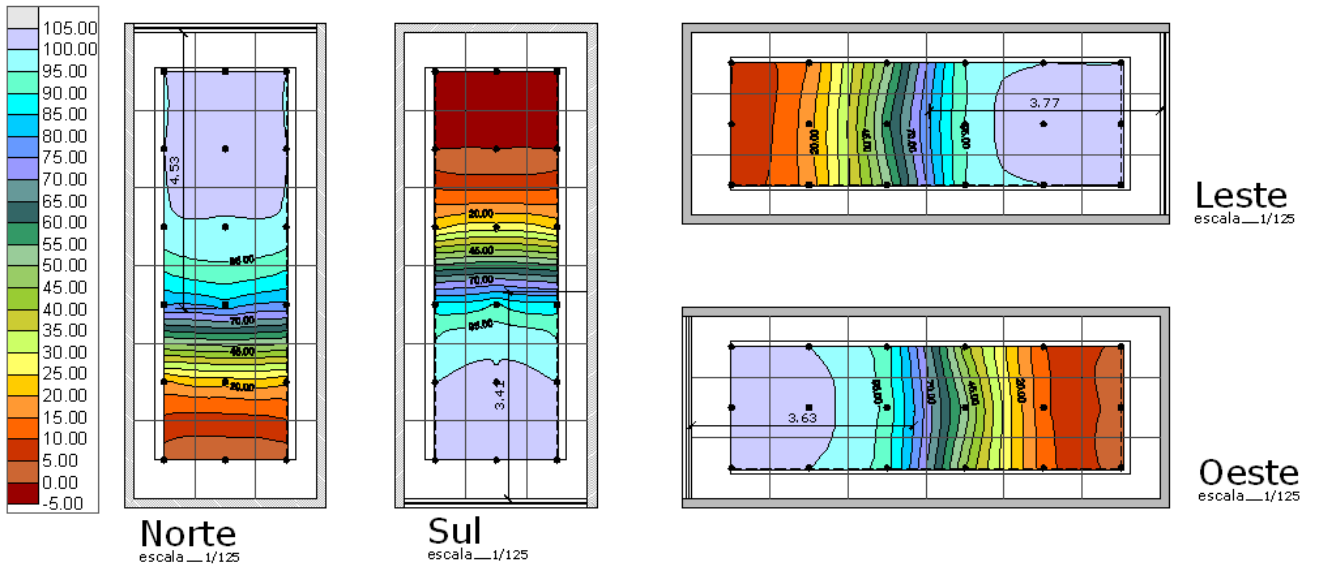
| Florianópolis | Latitude 27'66" | Horário de Ocup.: 8:00 às 16:00 |



### Resultado das Simulações da Situação 3

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 80%

| **Porto Alegre** | Latitude 30'51" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |

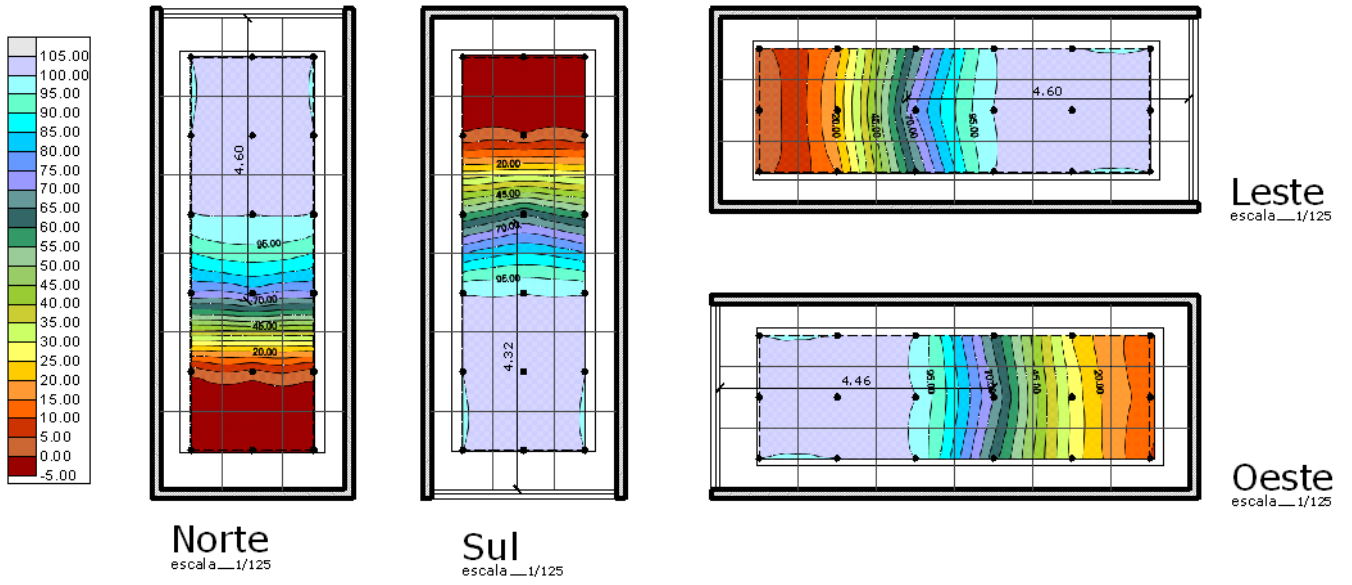


## 7.4. Apêndice 4: Resultados da Situação 4

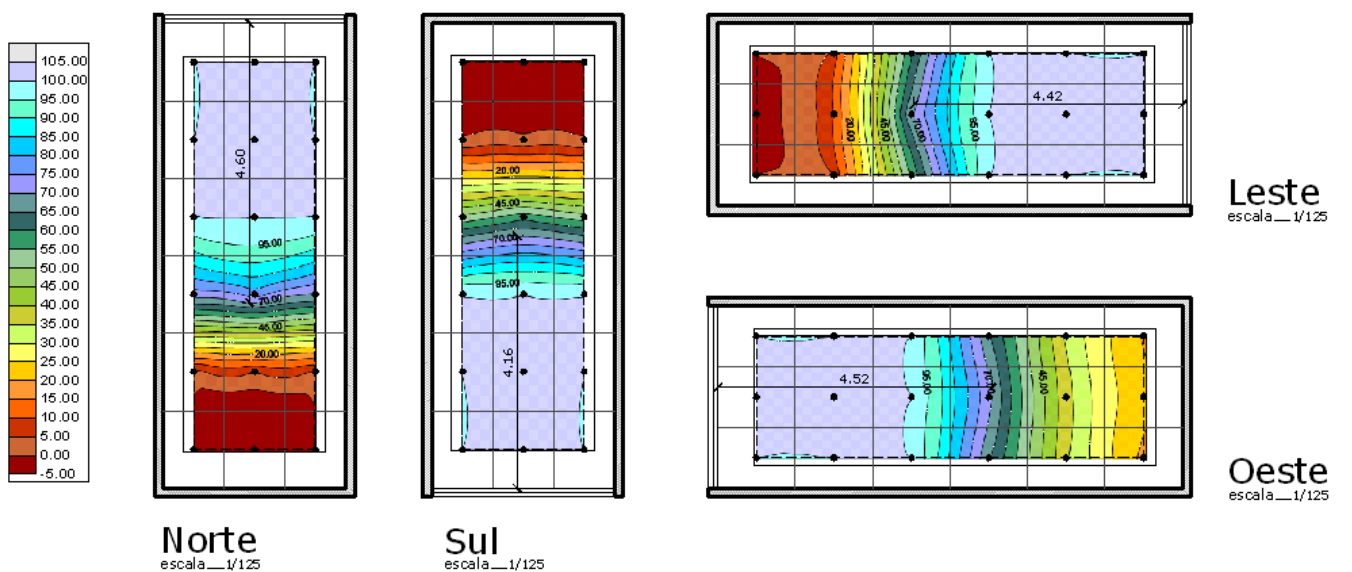
### Resultado das Simulações da Situação 4

Horário de Ocupação: 8:00 às 16:00 | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **São Luís** | Latitude 2'60" |



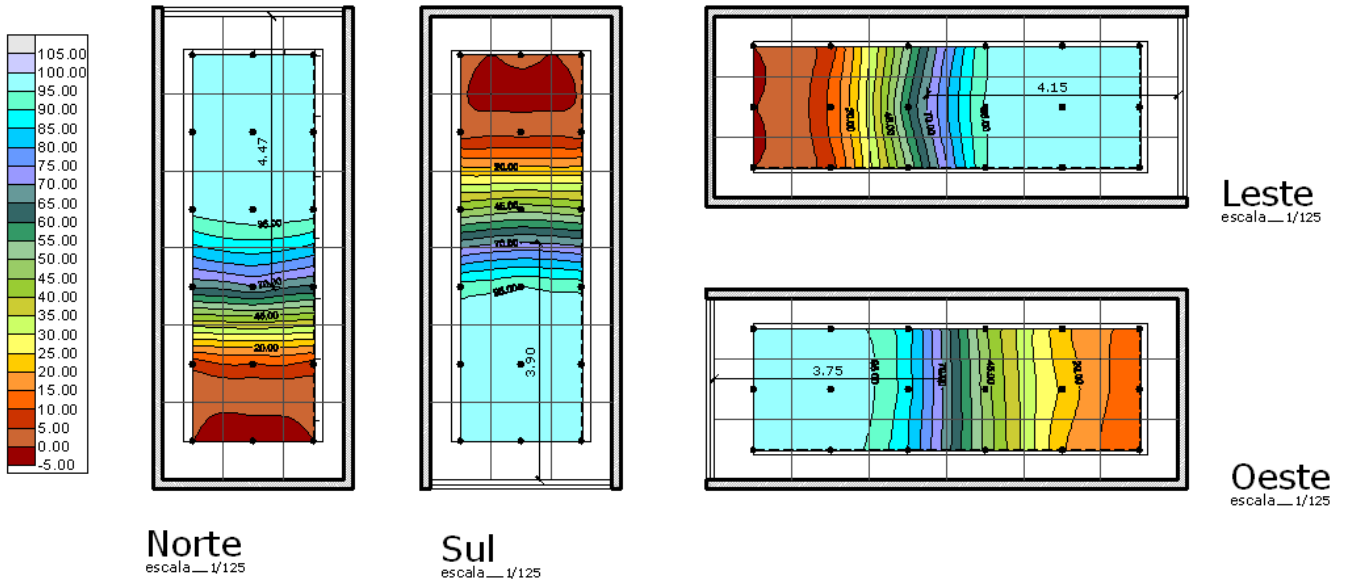
| **Natal** | Latitude 5'91" |



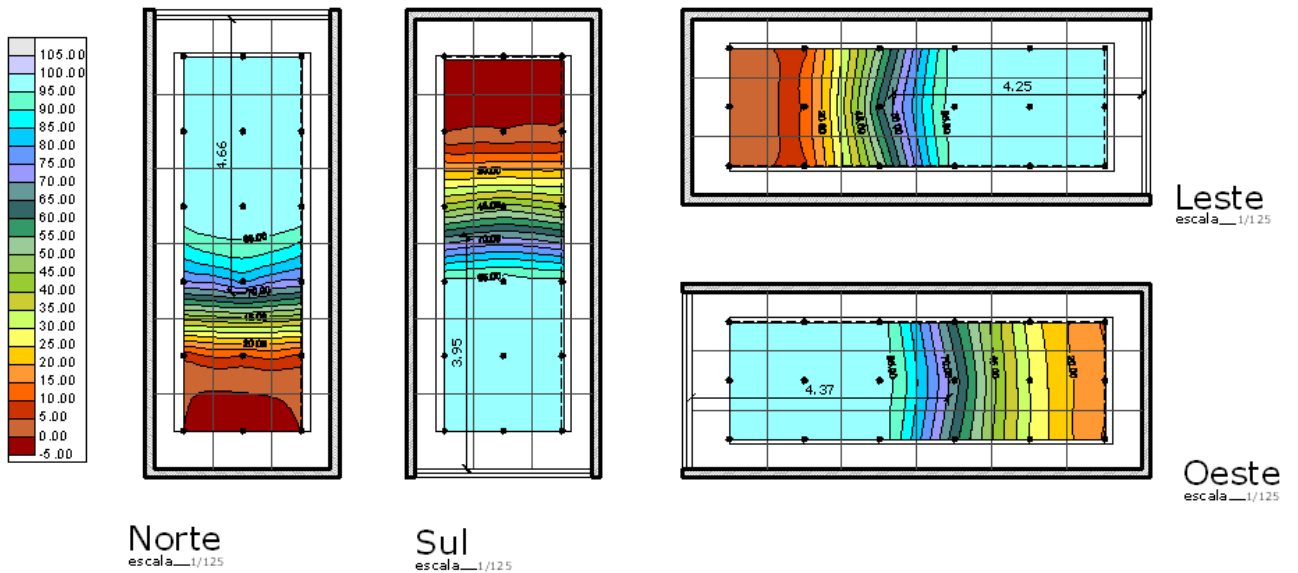
## Resultado das Simulações da Situação 4

Horário de Ocupação: 8:00 às 16:00 | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

### | Maceió | Latitude 9'50" |



### | Salvador | Latitude 12'90" |

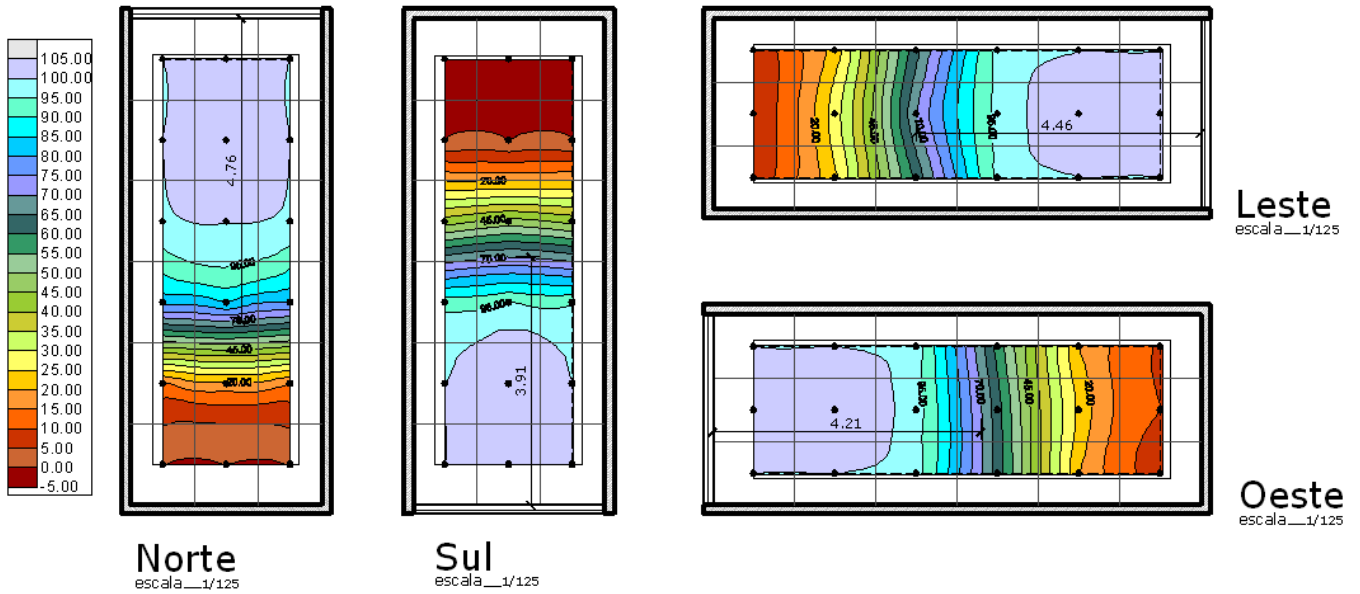




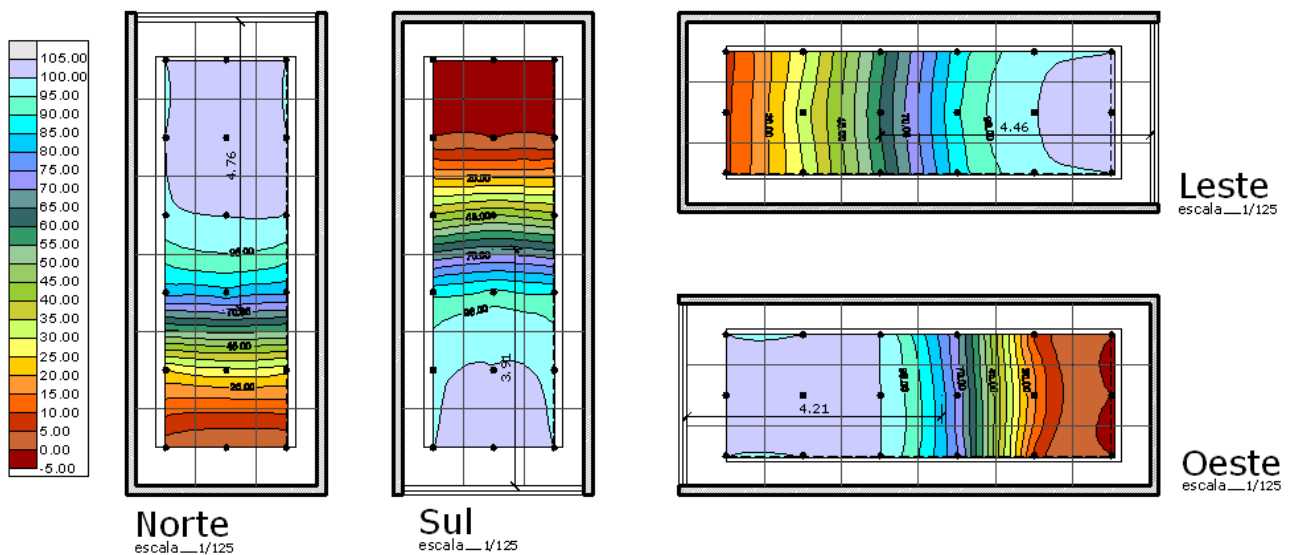
## Resultado das Simulações da Situação 4

Horário de Ocupação: 8:00 às 16:00 | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Brasília** | Latitude 15'9" |



| **Belo Horizonte** | Latitude 19'55" |

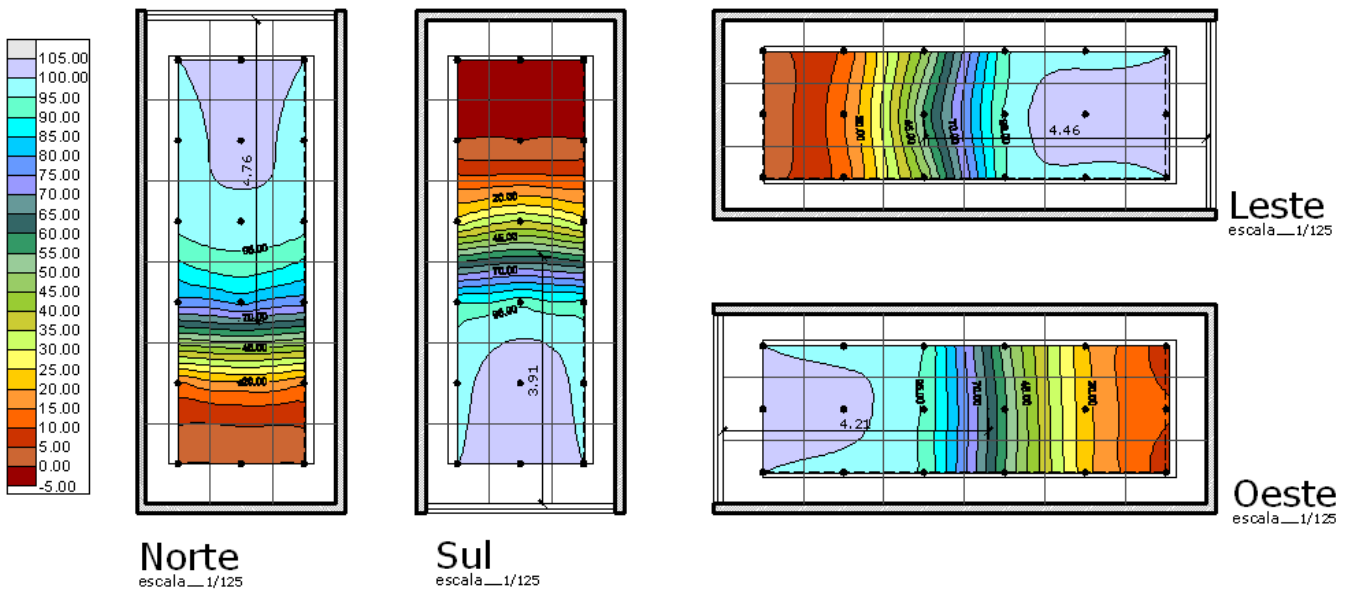




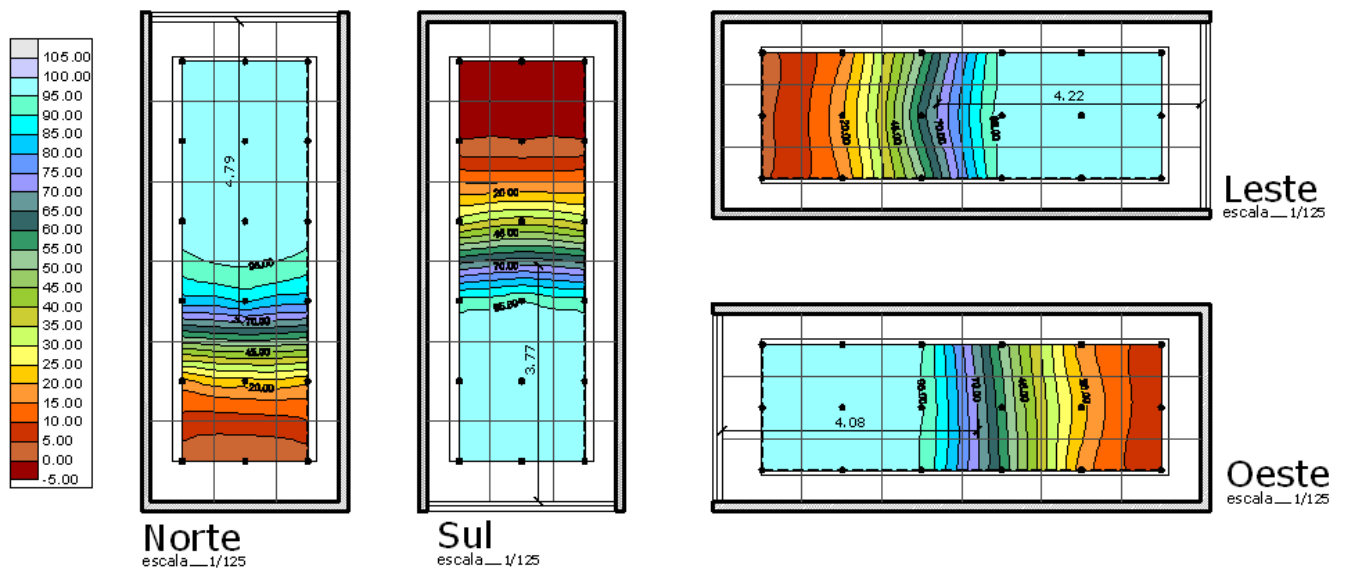
## Resultado das Simulações da Situação 4

Horário de Ocupação: 8:00 às 16:00 | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

### | Rio de Janeiro | Latitude 22'83" |



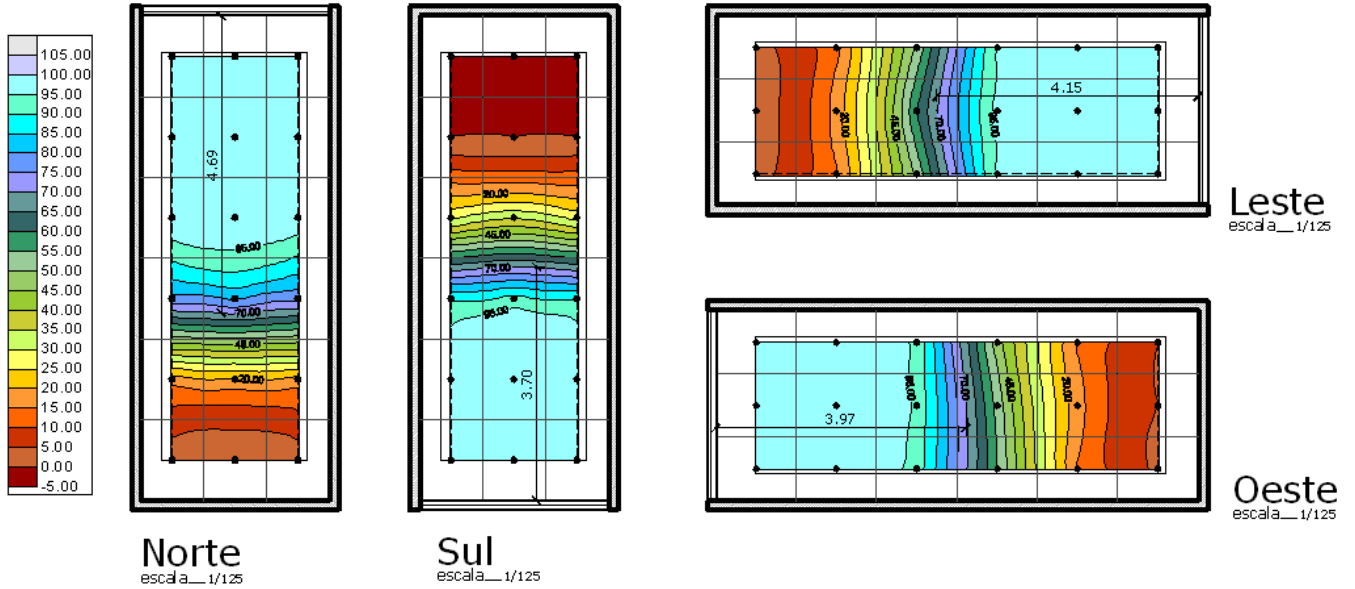
### | São Paulo | Latitude 23'61" |



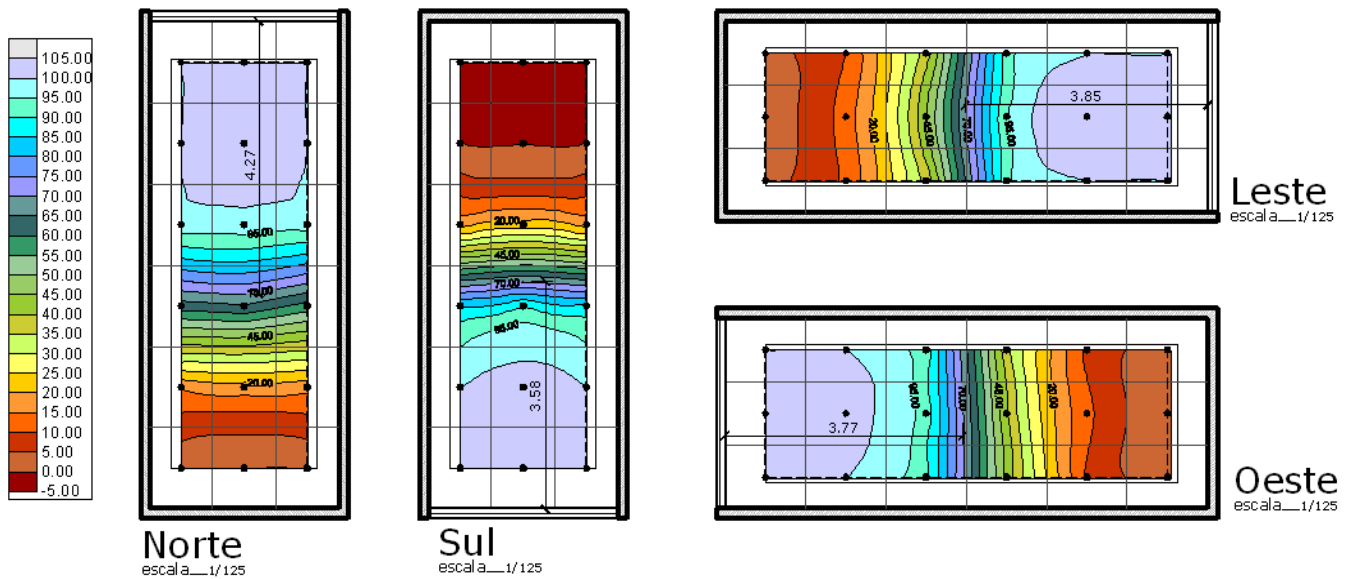
## Resultado das Simulações da Situação 4

Horário de Ocupação: 8:00 às 16:00 | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

### | Curitiba | Latitude 25'51" |



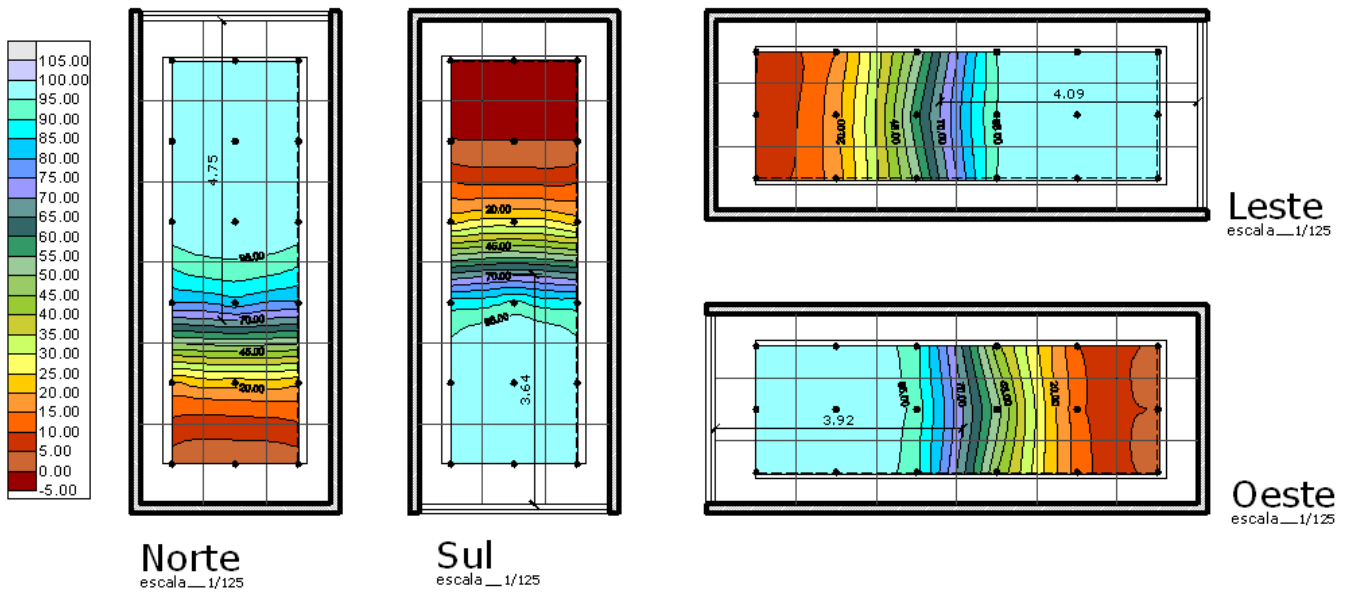
### | Florianópolis | Latitude 27'66" |



## Resultado das Simulações da Situação 4

Horário de Ocupação: 8:00 às 16:00 | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Porto Alegre** | Latitude 30'51" |

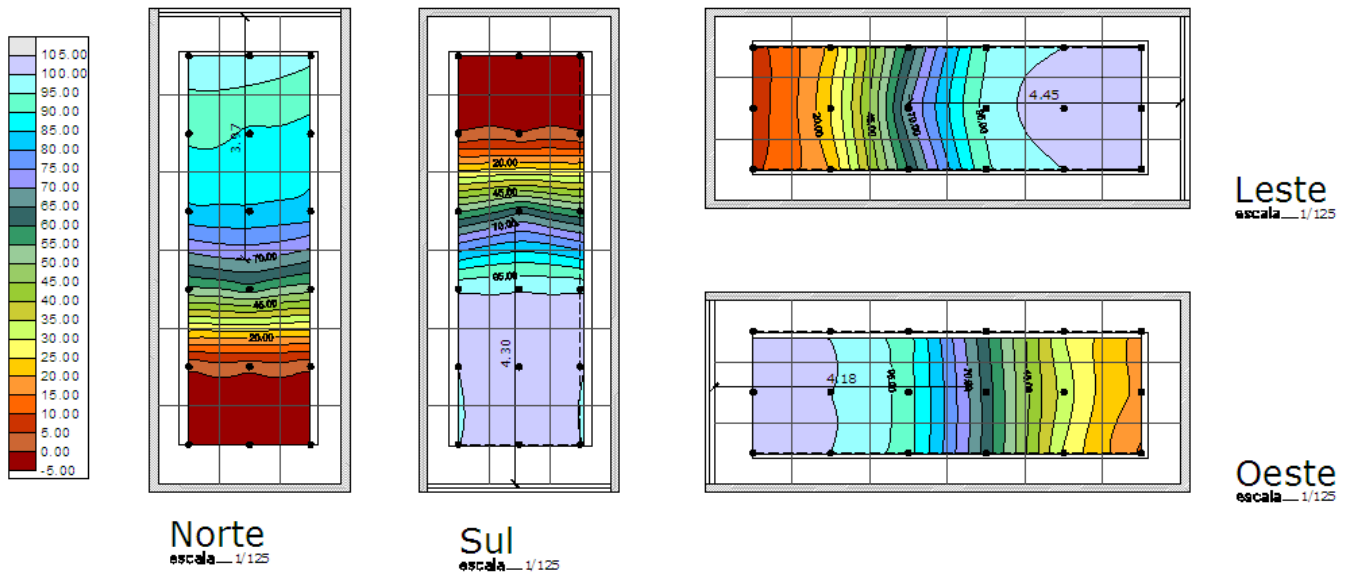


## 7.5. Apêndice 5: Resultados da Situação 5

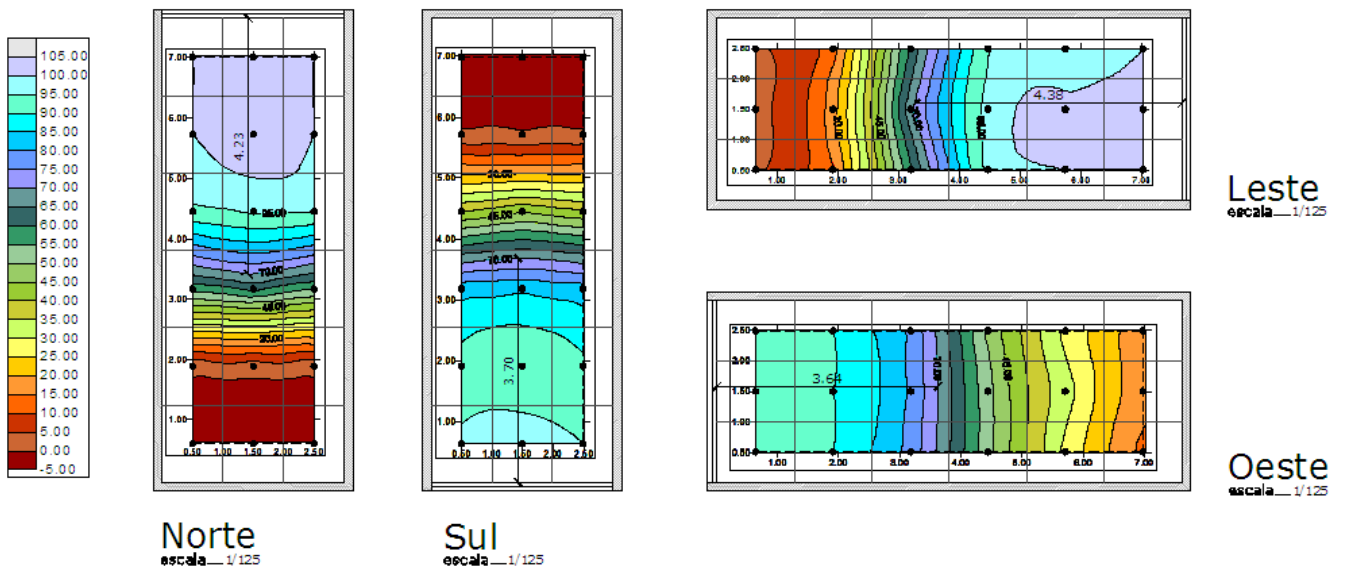
### Resultado das Simulações da Situação 5

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **São Luís** | Latitude 2'60" | Horário de Ocupação: 7 às 17h |



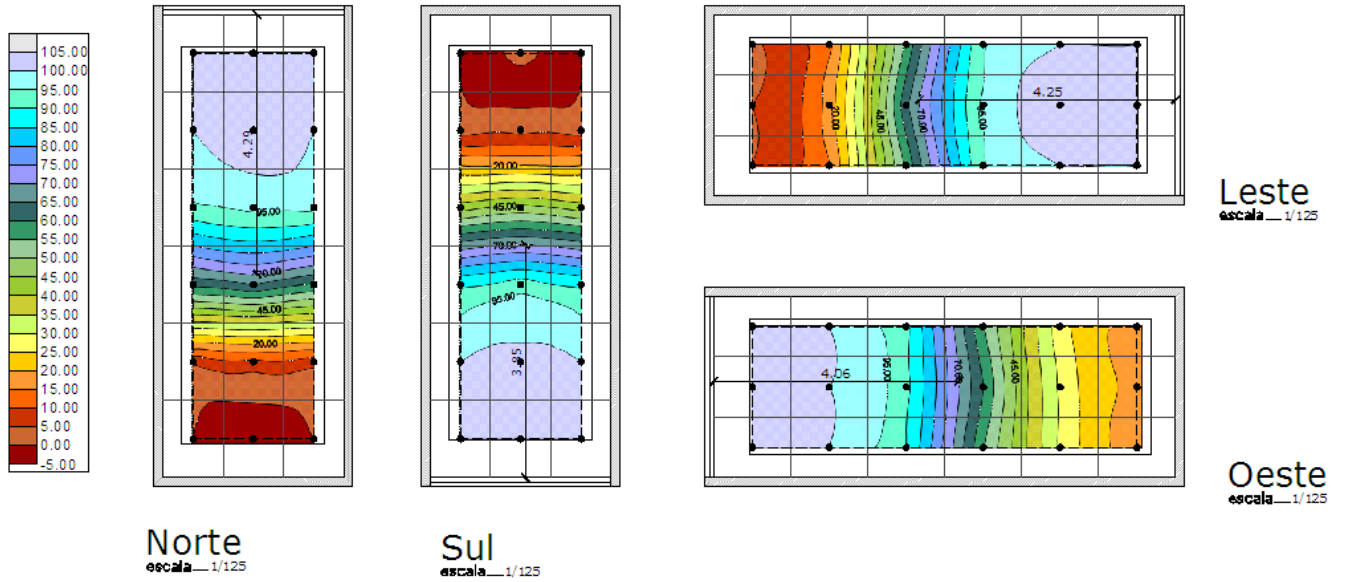
| **Natal** | Latitude 5'91" | Horário de Ocupação: 7 às 17:00 |



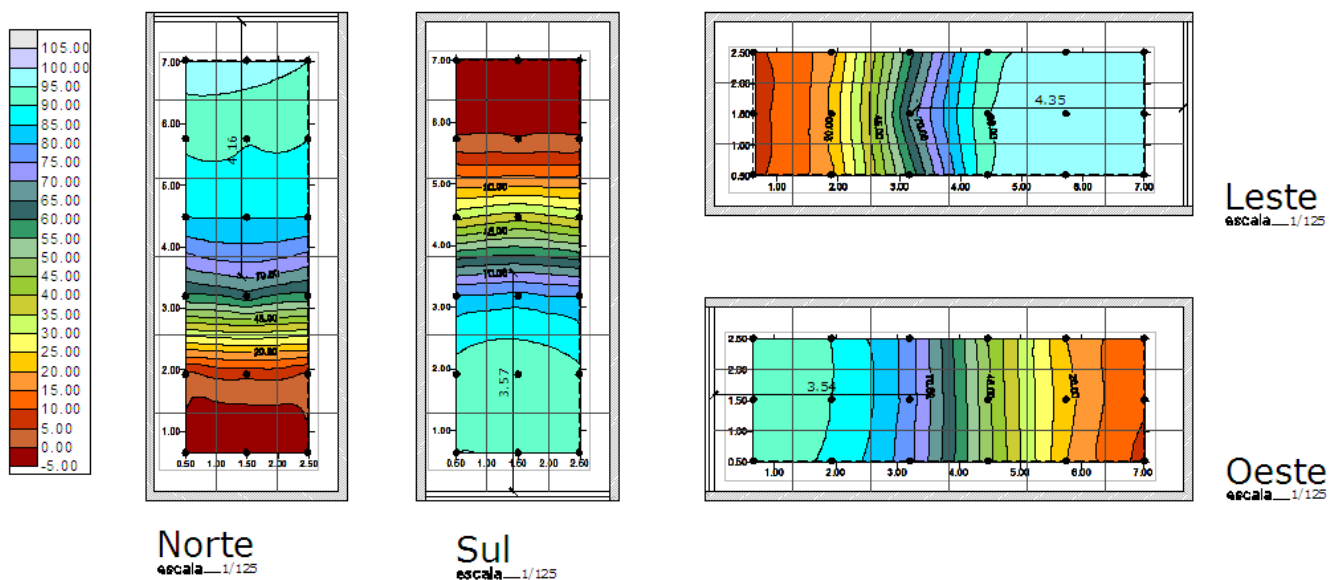
## Resultado das Simulações da Situação 5

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Maceió** | Latitude 9'50" | Horário de Ocupação: 7 às 16:30 |



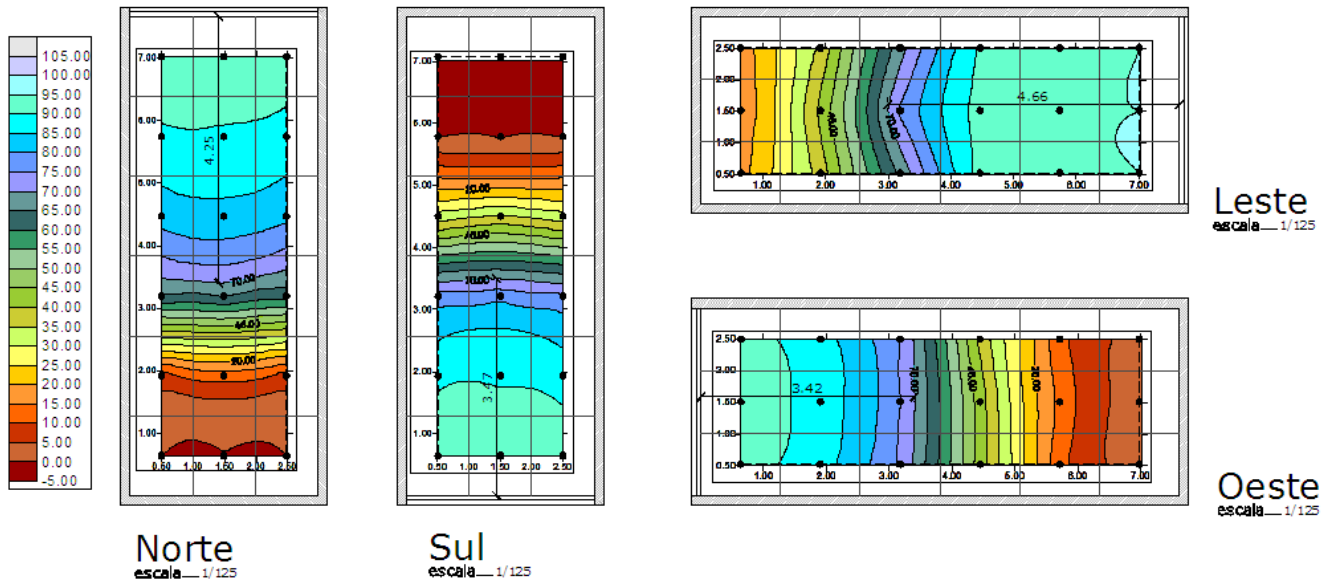
| **Salvador** | Latitude 12'90" | Horário de Ocupação: 7:15 às 16:45 |



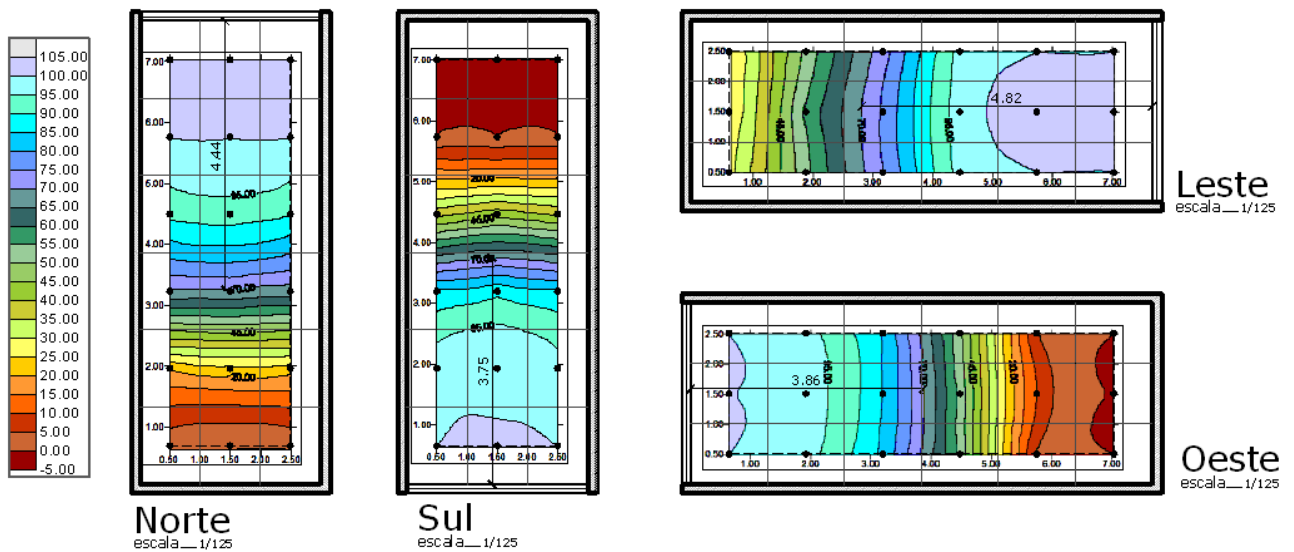
## Resultado das Simulações da Situação 5

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Brasília** | Latitude 15'9" | Horário de Ocupação: 7:30 às 16:30 |



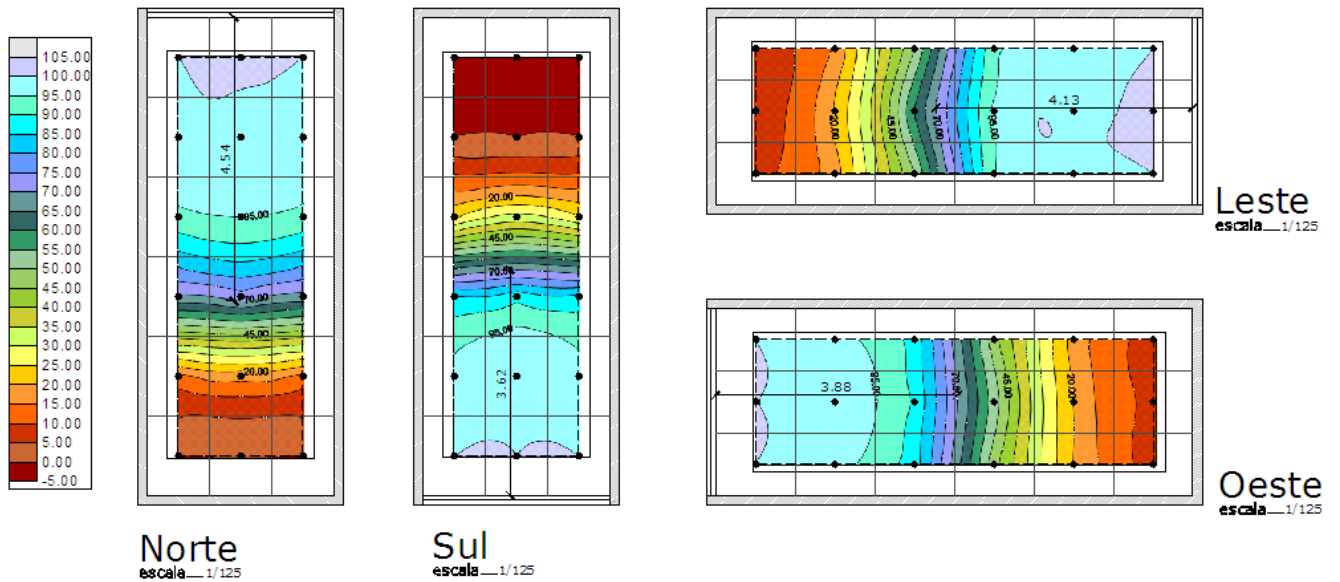
| **Belo Horizonte** | Latitude 19'55" | Horário de Ocup.: 07:45 às 16:15 |



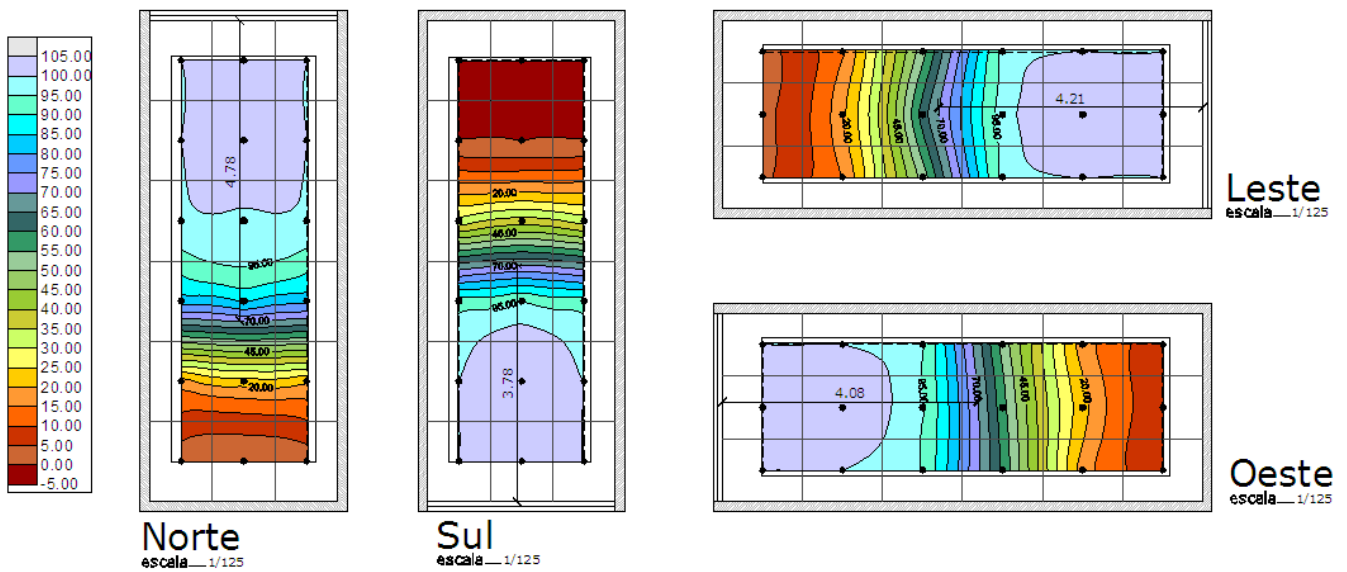
## Resultado das Simulações da Situação 5

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Rio de Janeiro** | Latitude 22'83" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |



| **São Paulo** | Latitude 23'61" | Horário de Ocup.: 07:45 às 16:15 |

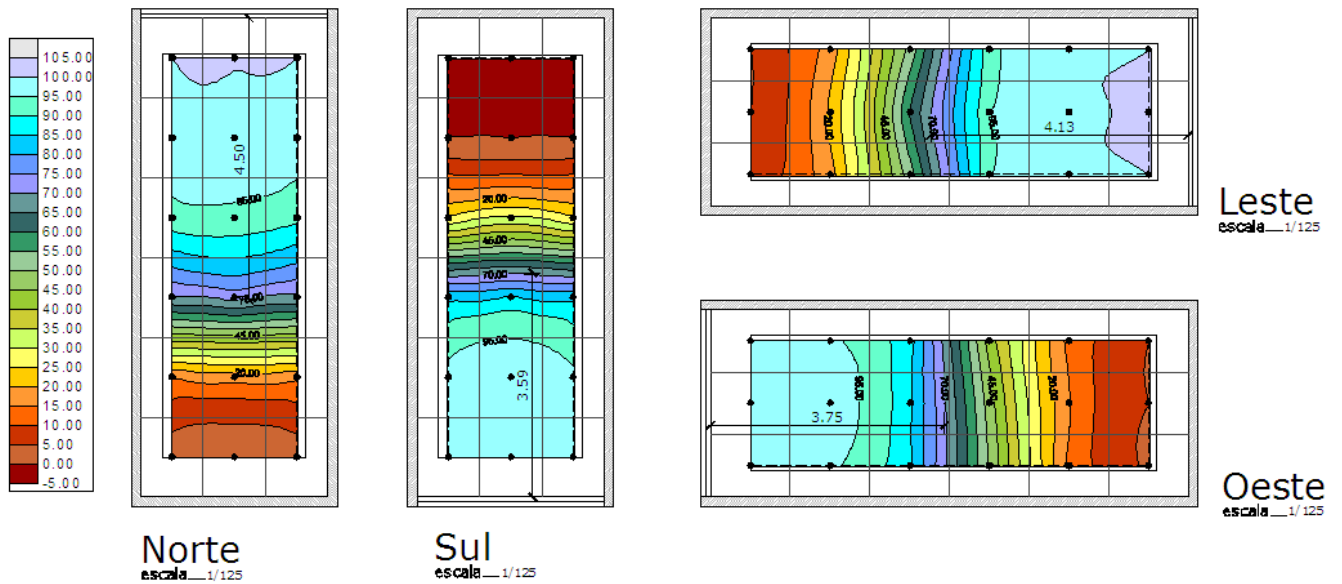




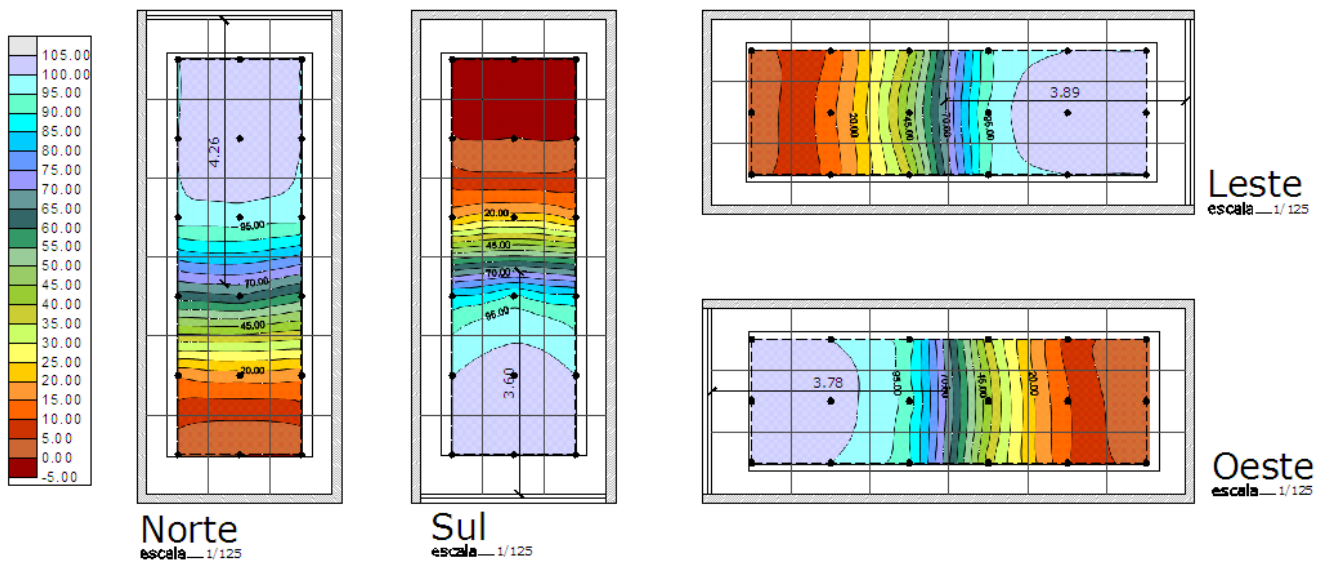
## Resultado das Simulações da Situação 5

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| Curitiba | Latitude 25'51" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |



| Florianópolis | Latitude 27'66" | Horário de Ocupação: 8 às 16:00 |

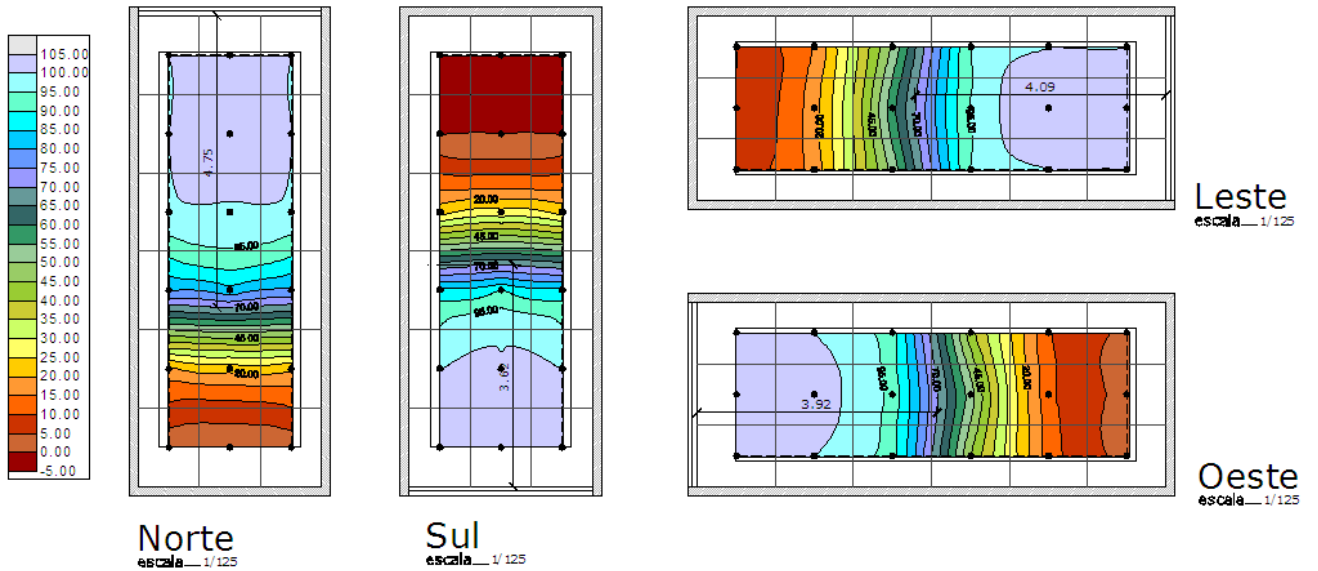




## Resultado das Simulações da Situação 5

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Porto Alegre** | Latitude 30'51" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |

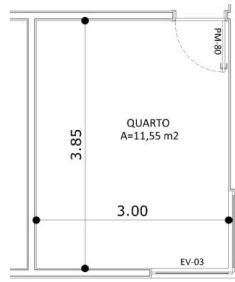


## 7.6. Apêndice 6: Validação dos resultados para ambientes sem proteção solar

	Ambientes	Características
1	<p>ESTAR/JANTAR ÁREA: 20,35m<sup>2</sup></p>	<p>Localização: Florianópolis                      Profundidade: 5,15 m                      Dimensões da abertura: 1,50 x 1,20 m                      Peitoril: 1,00 m   Altura da janela: 2,20 m</p> <p><b>Aplicação do valor de 1,8:</b>  <math>P \leq 1,80 \times H \text{ janela}</math>                      5,15 m <math>\geq</math> 3,96 m -&gt; <b>Não Atendeu</b></p> <p><b>Aplicação do valor de 2,57:</b>  <math>P \leq 2,57 \times H \text{ janela}</math>                      5,15 m <math>\geq</math> 5,65 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>
2	<p>QUARTO ÁREA: 8,15m<sup>2</sup></p>	<p>Localização: Florianópolis                      Profundidade: 3,00 m                      Dimensões da abertura: 1,20 X 1,20 m                      Peitoril: 1,00 m   Altura da janela: 2,20 m</p> <p><b>Aplicação do valor de 1,8:</b>  <math>P \leq 1,80 \times H \text{ janela}</math>                      3,00 m <math>\leq</math> 3,96 m -&gt; <b>Atendeu</b></p> <p><b>Aplicação do valor de 2,57:</b>  <math>P \leq 2,57 \times H \text{ janela}</math>                      3,00 m <math>\leq</math> 5,65 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>
3	<p>SUÍTE A=13,20M<sup>2</sup></p>	<p>Localização: Florianópolis                      Profundidade: 4,40 m                      Dimensões da abertura: 1,50 X 1,20 m                      Peitoril: 1,00 m   Altura da Janela: 2,20 m</p> <p><b>Aplicação do valor de 1,8:</b>  <math>P \leq 1,80 \times H \text{ janela}</math>                      4,40 m <math>\geq</math> 3,96 m -&gt; <b>Não Atendeu</b></p> <p><b>Aplicação do valor de 2,57:</b>  <math>P \leq 2,57 \times H \text{ janela}</math>                      4,40 m <math>\leq</math> 5,65 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>
4	<p>QUARTO CASAL A=47,72m<sup>2</sup></p>	<p>Localização: Florianópolis                      Profundidade: 5,00 m                      Dimensões das aberturas:                      J1: 1,50 X 2,10 m e J2: 2,50 X 1,50 m                      Peitoris: 1,00 m                      Altura das Janelas:                      J1: 2,10m e J2: 2,50m                      Altura média: 2,3 m</p> <p><b>Aplicação do valor de 1,8:</b>  <math>P \leq 1,80 \times H \text{ janela}</math>                      5,00 m <math>\geq</math> 4,14 m -&gt; <b>Não Atendeu</b></p> <p><b>Aplicação do valor de 2,57:</b>  <math>P \leq 2,57 \times H \text{ janela}</math>                      5,00 m <math>\leq</math> 5,91 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>

5		<p>Localização: Florianópolis                      Profundidade: 4,45 m                      Dimensões da abertura: 1,50 X 1,20 m                      Peitoril: 1,00 m   Altura da janela: 2,20 m</p> <p><b>Aplicação do valor de 1,8:</b>  <math>P \leq 1,80 \times H \text{ janela}</math>                      4,45 m <math>\geq</math> 3,96 m -&gt; <b>Não Atendeu</b></p> <p><b>Aplicação do valor de 2,57:</b>  <math>P \leq 2,57 \times H \text{ janela}</math>                      4,45 m <math>\leq</math> 5,65 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>
6		<p>Localização: Florianópolis                      Profundidade: 6,00 m                      Dimensões da abertura: 3,00 X 1,50 m                      Peitoril: 1,00 m   Altura da janela: 2,50 m</p> <p><b>Aplicação do valor de 1,8:</b>  <math>P \leq 1,80 \times H \text{ janela}</math>                      6,00 m <math>\geq</math> 4,50 m -&gt; <b>Não Atendeu</b></p> <p><b>Aplicação do valor de 2,57:</b>  <math>P \leq 2,57 \times H \text{ janela}</math>                      6,00 m <math>\leq</math> 6,42 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>
7		<p>Localização: Florianópolis                      Profundidade: 2,80 m                      Dimensões da abertura: 1,50 X 1,20 m                      Peitoril: 1,00 m   Altura da janela: 2,20m</p> <p><b>Aplicação do valor de 1,8:</b>  <math>P \leq 1,80 \times H \text{ janela}</math>                      2,80 m <math>\leq</math> 3,96 m -&gt; <b>Atendeu</b></p> <p><b>Aplicação do valor de 2,57:</b>  <math>P \leq 2,57 \times H \text{ janela}</math>                      2,80 m <math>\leq</math> 5,65 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>
8		<p>Localização: Florianópolis                      Profundidade: 4,00 m                      Dimensões da abertura: 2,00 X 1,50 m                      Peitoril: 1,00 m   Altura da janela: 2,50</p> <p><b>Aplicação do valor de 1,8:</b>  <math>P \leq 1,80 \times H \text{ janela}</math>                      4,00 m <math>\leq</math> 4,50 m -&gt; <b>Atendeu</b></p> <p><b>Aplicação do valor de 2,57:</b>  <math>P \leq 2,57 \times H \text{ janela}</math>                      4,00 m <math>\leq</math> 6,42 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>
9		<p>Localização: Brasília                      Profundidade: 3,19 m                      Dimensões da abertura: 1,10m X 1,10 m                      Peitoril: 1,10 m   Altura da janela: 2,10</p> <p><b>Aplicação do valor de 1,8:</b>  <math>P \leq 1,80 \times H \text{ janela}</math>                      3,19 m <math>\leq</math> 3,78 m -&gt; <b>Atendeu</b></p> <p><b>Aplicação do valor de 2,57:</b>  <math>P \leq 2,57 \times H \text{ janela}</math>                      3,19 m <math>\leq</math> 5,39 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>

10



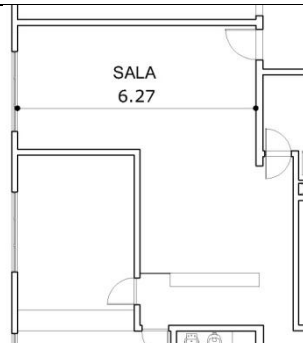
Localização: Brasília  
 Profundidade: 3,00 m (menor)  
 Dimensões da abertura: 1,260m X 2,50 m  
 Altura da abertura: 3,50  
**Aplicação do valor de 1,8:**  
 $P \leq 1,80 \times H$  janela  
 3,00 m  $\leq$  4,5m -> **Atendeu**  
**Aplicação do valor de 2,57:**  
 $P \leq 2,57 \times H$  janela  
 3,00m  $\leq$  8,99 m -> **Atendeu**

11



Localização: Brasília  
 Profundidade: 2,88m  
 Dimensões da abertura: 5,56m X 2,30 m  
 Altura da abertura: 2,30  
**Aplicação do valor de 1,8:**  
 $P \leq 1,80 \times H$  janela  
 2,88 m  $\leq$  4,14 m -> **Atendeu**  
**Aplicação do valor de 2,57:**  
 $P \leq 2,57 \times H$  janela  
 2,88 m  $\leq$  5,91 m -> **Atendeu**

12



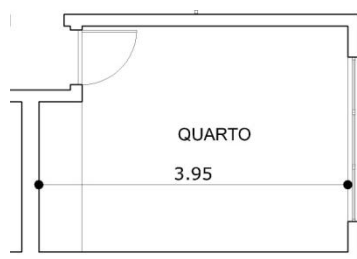
Localização: Brasília  
 Profundidade: 6,27m  
 Dimensões da abertura: 2,10m X 1,5 m  
 Peitoril: 1,0m | Altura da abertura: 2,50  
**Aplicação do valor de 1,8:**  
 $P \leq 1,80 \times H$  janela  
 6,27 m  $\geq$  4,5 m -> **Não Atendeu**  
**Aplicação do valor de 2,57:**  
 $P \leq 2,57 \times H$  janela  
 6,27 m  $\leq$  6,42 m -> **Atendeu**

13



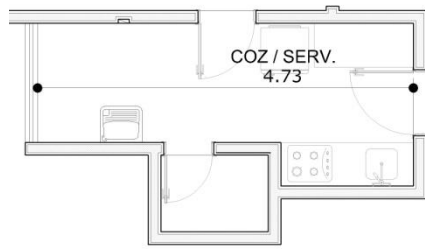
Localização: Brasília  
 Profundidade: 3,07m  
 Dimensões da abertura: 2,10m X 1,5 m  
 Peitoril: 1,0m | Altura da abertura: 2,50  
**Aplicação do valor de 1,8:**  
 $P \leq 1,80 \times H$  janela  
 3,07 m  $\leq$  4,5m -> **Atendeu**  
**Aplicação do valor de 2,57:**  
 $P \leq 2,57 \times H$  janela  
 3,07 m  $\leq$  6,42 m -> **Atendeu**

14



Localização: Brasília  
 Profundidade: 3,95m  
 Dimensões da abertura: 2,10m X 1,5 m  
 Peitoril: 1,0m | Altura da abertura: 2,50  
**Aplicação do valor de 1,8:**  
 $P \leq 1,80 \times H$  janela  
 3,95 m  $\leq$  4,5 m -> **Atendeu**  
**Aplicação do valor de 2,57:**  
 $P \leq 2,57 \times H$  janela  
 3,95 m  $\leq$  6,42m -> **Atendeu**

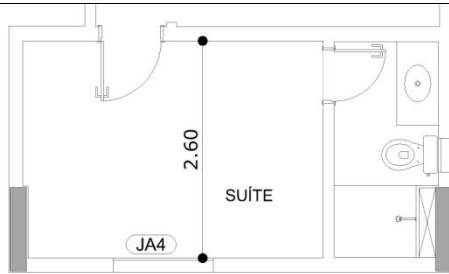
15



Localização: Brasília  
 Profundidade: 4,73m  
 Dimensões da abertura: 1,5m X 1,1 m  
 Peitoril: 1,0m | Altura da abertura: 2,10

**Aplicação do valor de 1,8:**  
 $P \leq 1,80 \times H$  janela  
 4,73 m  $\geq$  3,78 m -> **Não atendeu**  
**Aplicação do valor de 2,57:**  
 $P \leq 2,57 \times H$  janela  
 4,73m  $\leq$  5,39 m -> **Atendeu**

16



DIMENSÃO 1,20 X 1,2  
 PEITORIL 1,06

Localização: Brasília  
 Profundidade: 5,56 m  
 Dimensões da abertura: 1,2m X 1,2 m  
 Peitoril: 1,06m | Altura da abertura: 2,26m

**Aplicação do valor de 1,8:**  
 $P \leq 1,80 \times H$  janela  
 2,6m  $\leq$  4,07 m -> **Atendeu**  
**Aplicação do valor de 2,57:**  
 $P \leq 2,57 \times H$  janela  
 2,6m  $\leq$  5,80 m -> **Atendeu**

17



Localização: Brasília  
 Profundidade: 5,56 m  
 Dimensões da abertura: 1,5m X 1,2 m  
 Peitoril: 1,06m | Altura da abertura: 2,26m

**Aplicação do valor de 1,8:**  
 $P \leq 1,80 \times H$  janela  
 5,56m  $\geq$  4,07 m -> **Não atendeu**  
**Aplicação do valor de 2,57:**  
 $P \leq 2,57 \times H$  janela  
 5,56m  $\leq$  5,80 m -> **Atendeu**

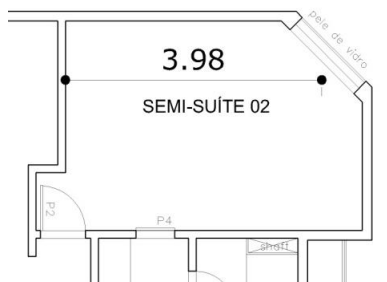
18



Localização: Brasília  
 Profundidade: 4,37 m  
 Dimensões da abertura: 1,2m X 1,2 m  
 Peitoril: 1,06m | Altura da abertura: 2,26m

**Aplicação do valor de 1,8:**  
 $P \leq 1,80 \times H$  janela  
 4,37m  $\geq$  4,07 m -> **Não atendeu**  
**Aplicação do valor de 2,57:**  
 $P \leq 2,57 \times H$  janela  
 4,37 m  $\leq$  5,80 m -> **Atendeu**

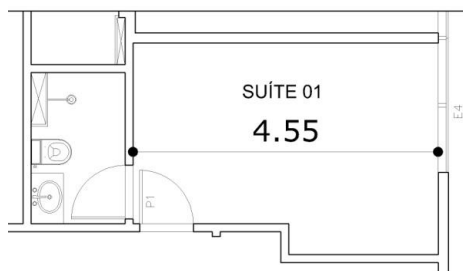
19



Localização: Brasília  
 Profundidade: 3,98 m  
 Dimensões da abertura: 1,4m X 2,9 m  
 Altura da abertura: 2,9m

**Aplicação do valor de 1,8:**  
 $P \leq 1,80 \times H$  janela  
 3,98 m  $\leq$  5,22 m -> **Atendeu**  
**Aplicação do valor de 2,57:**  
 $P \leq 2,57 \times H$  janela  
 3,98 m  $\leq$  7,45 m -> **Atendeu**

20



Localização: Brasília

Profundidade: 4,55 m

Dimensões da abertura: 2,92m X 2,9 m

Altura da abertura: 2,9m

**Aplicação do valor de 1,8:**

$P \leq 1,80 \times H$  janela

4,55 m  $\leq$  5,22 m -> **Atendeu**

**Aplicação do valor de 2,57:**

$P \leq 2,57 \times H$  janela

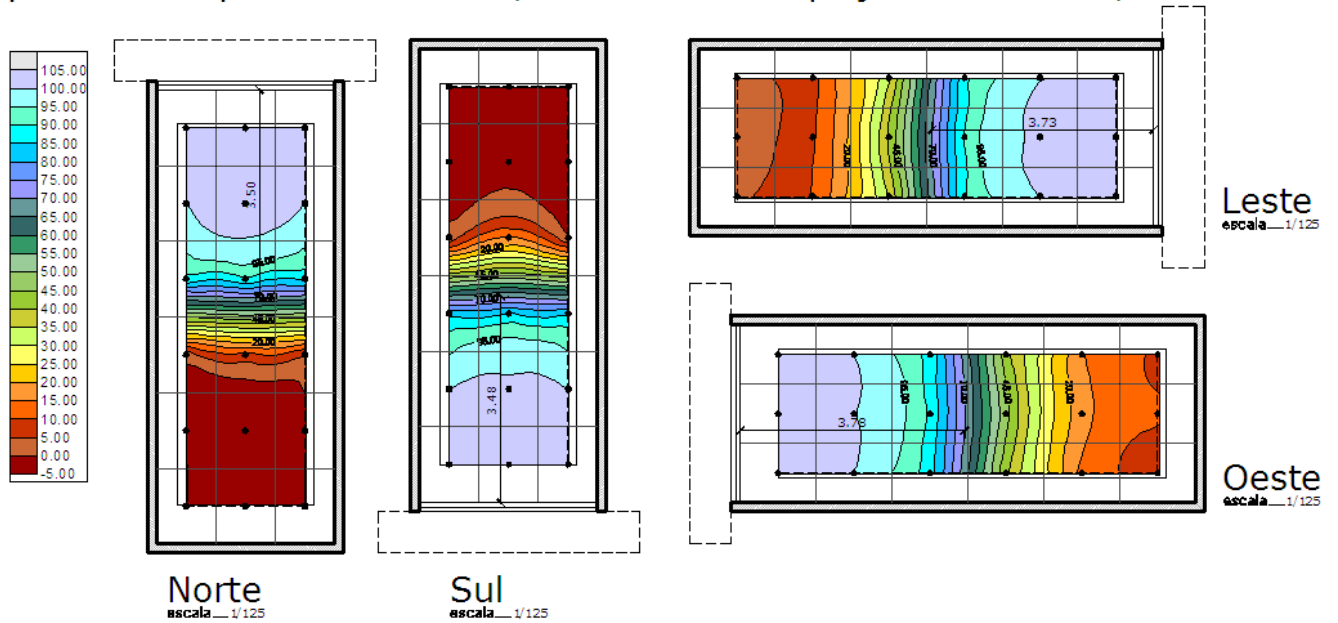
4,55 m  $\leq$  7,45 m -> **Atendeu**

## 7.7. Apêndice 7: Resultados do Modelo 1

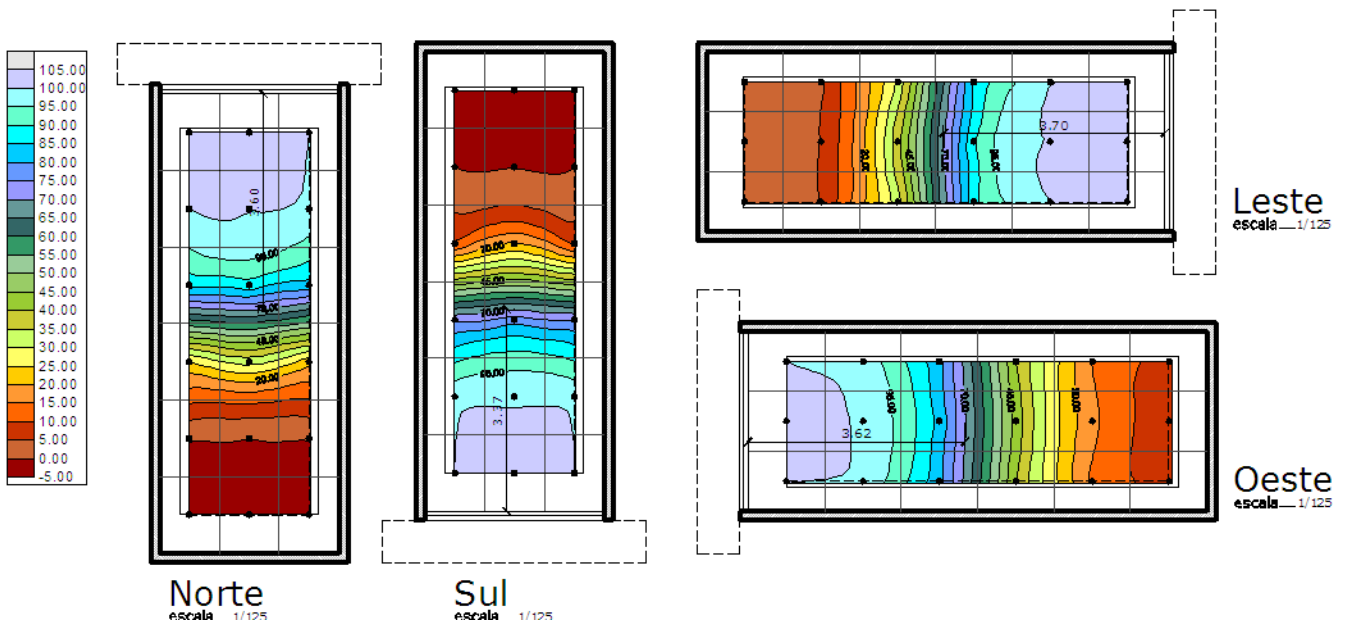
### Resultados das Simulações do Modelo 1a – Beiral 70cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **São Luís** | Latitude 2'60" | Horário de Ocupação: 7 às 17h |



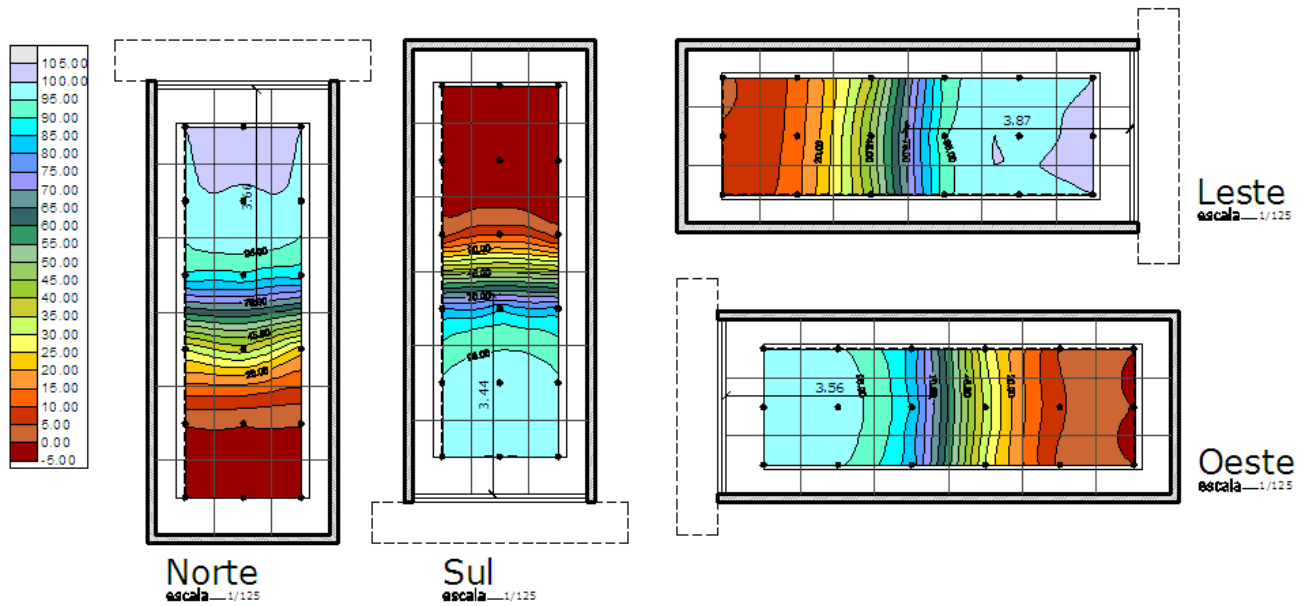
| **Maceió** | Latitude 9'50" | Horário de Ocupação: 7 às 16:30 |



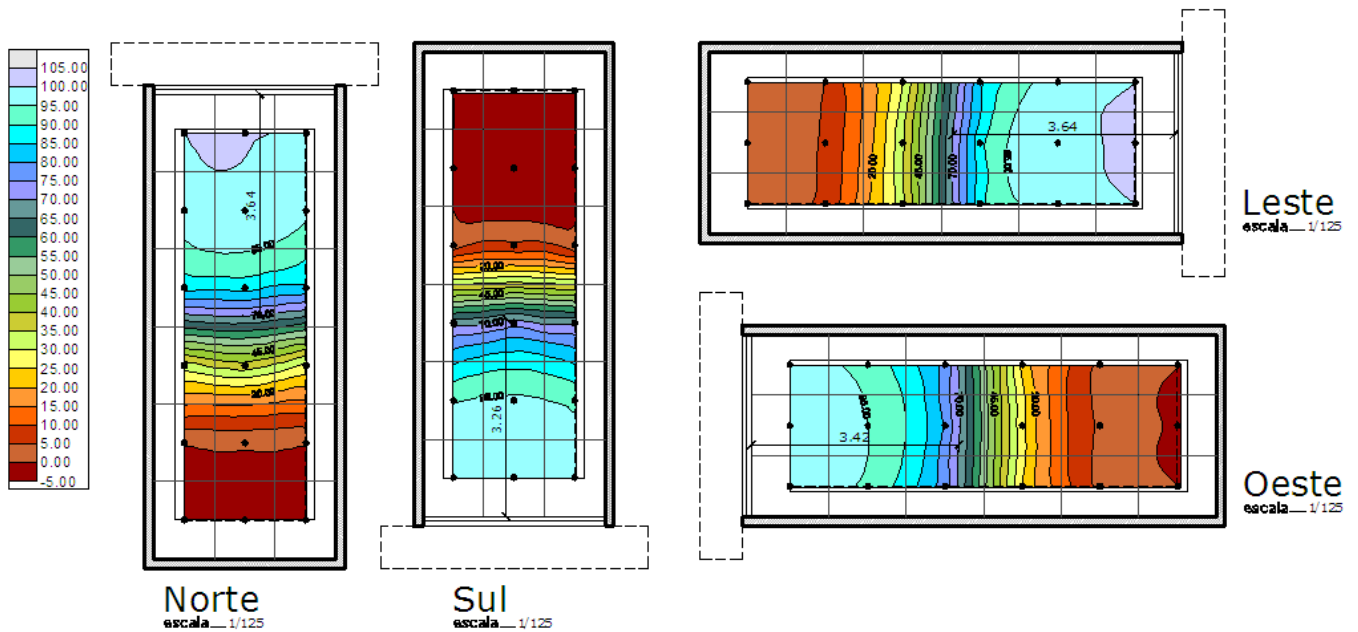
## Resultados das Simulações do Modelo 1a – Beiral 70cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Brasília** | Latitude 15'9" | Horário de Ocupação: 7:30 às 16:30 |



| **Curitiba** | Latitude 25'51" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |

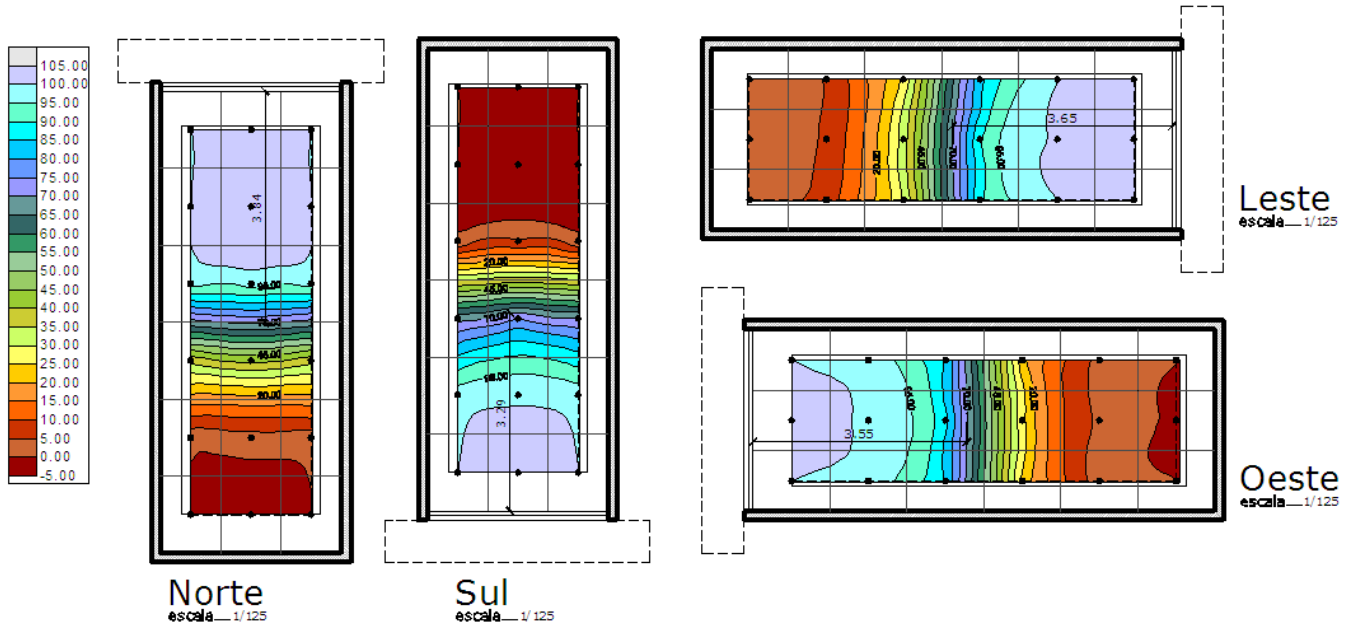




## Resultados das Simulações do Modelo 1a – Beiral 70cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

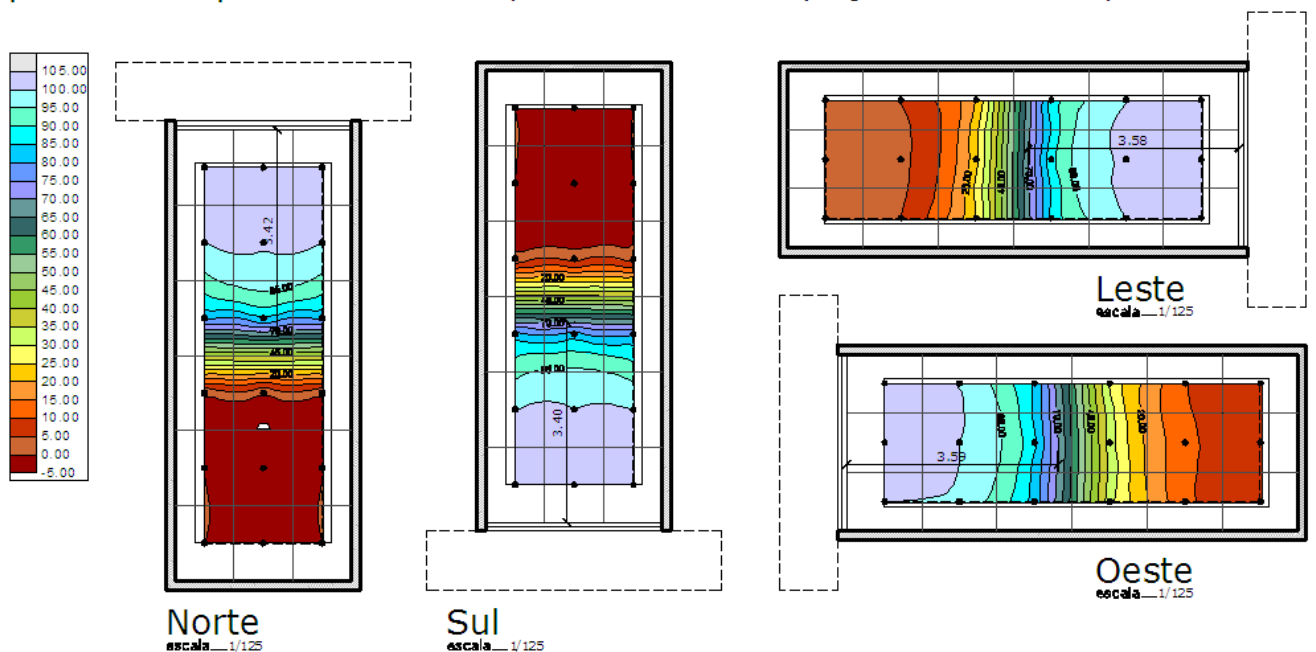
| **Porto Alegre** | Latitude 30'51" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |



## Resultados das Simulações do Modelo 1b – Beiral 100cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

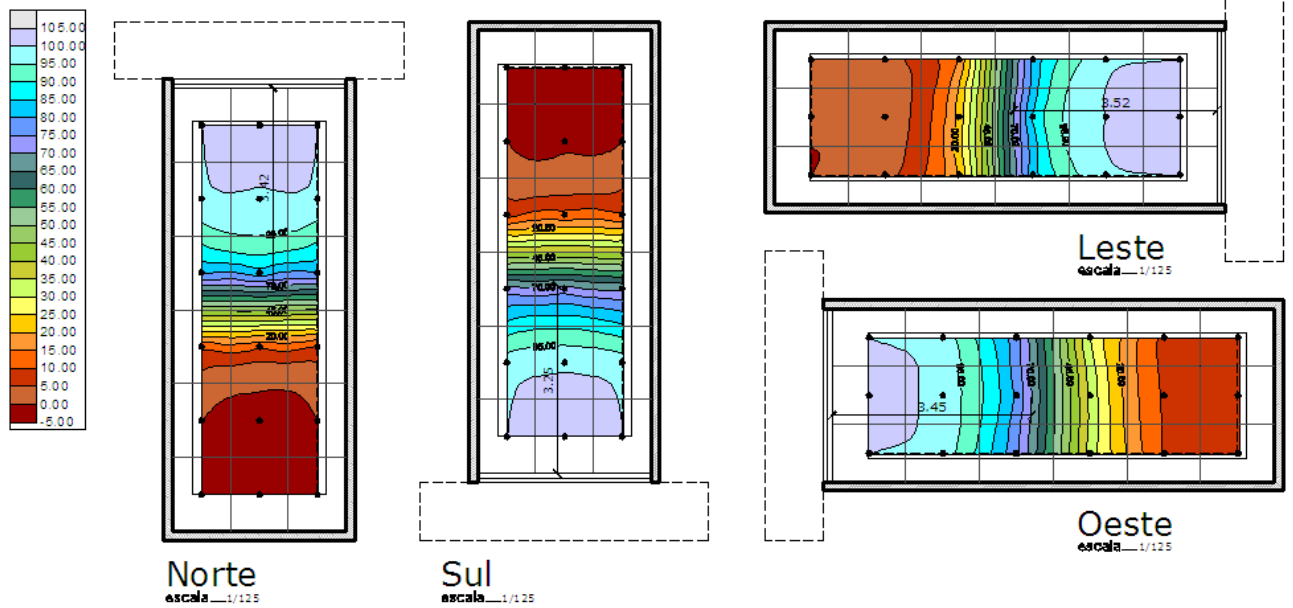
| **São Luís** | Latitude 2'60" | Horário de Ocupação: 7 às 17h |



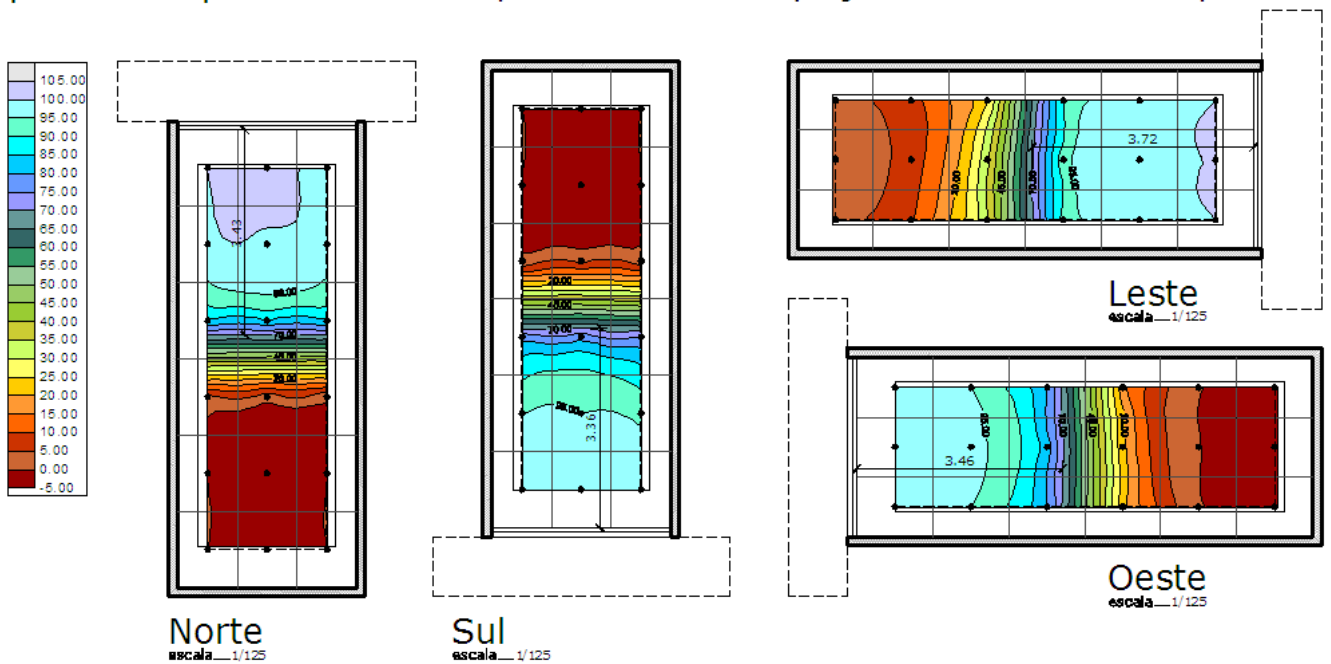
## Resultados das Simulações do Modelo 1b – Beiral 100cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Maceió** | Latitude 9'50" | Horário de Ocupação: 7 às 16:30 |



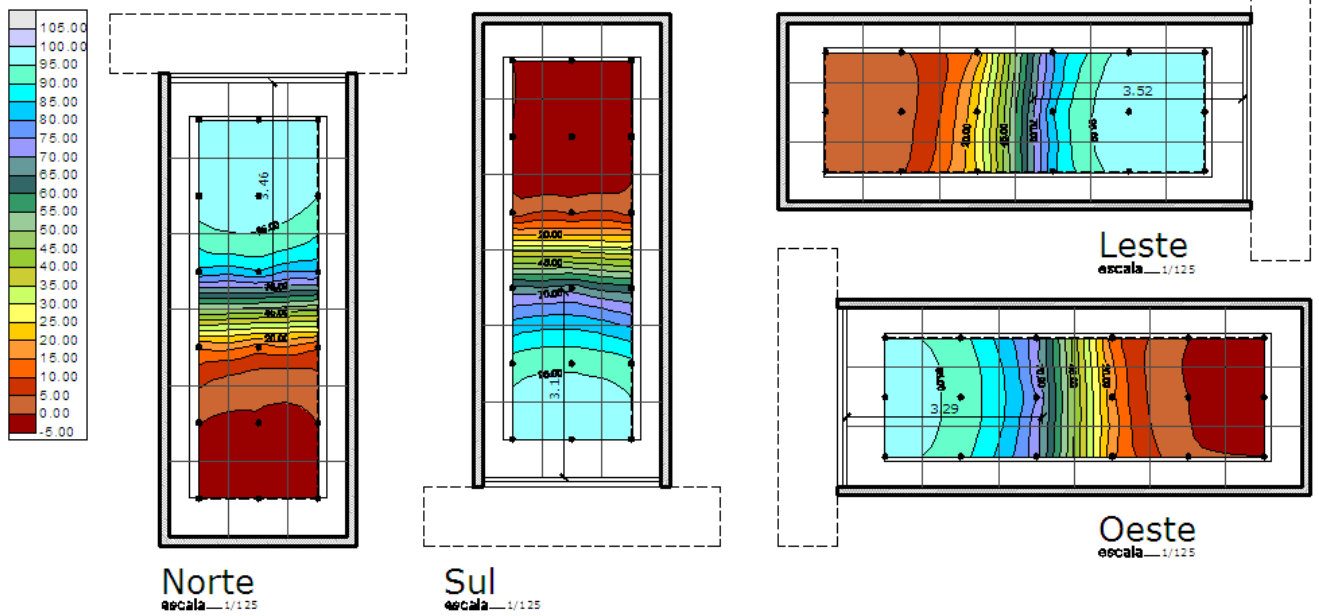
| **Brasília** | Latitude 15'9" | Horário de Ocupação: 7:30 às 16:30 |



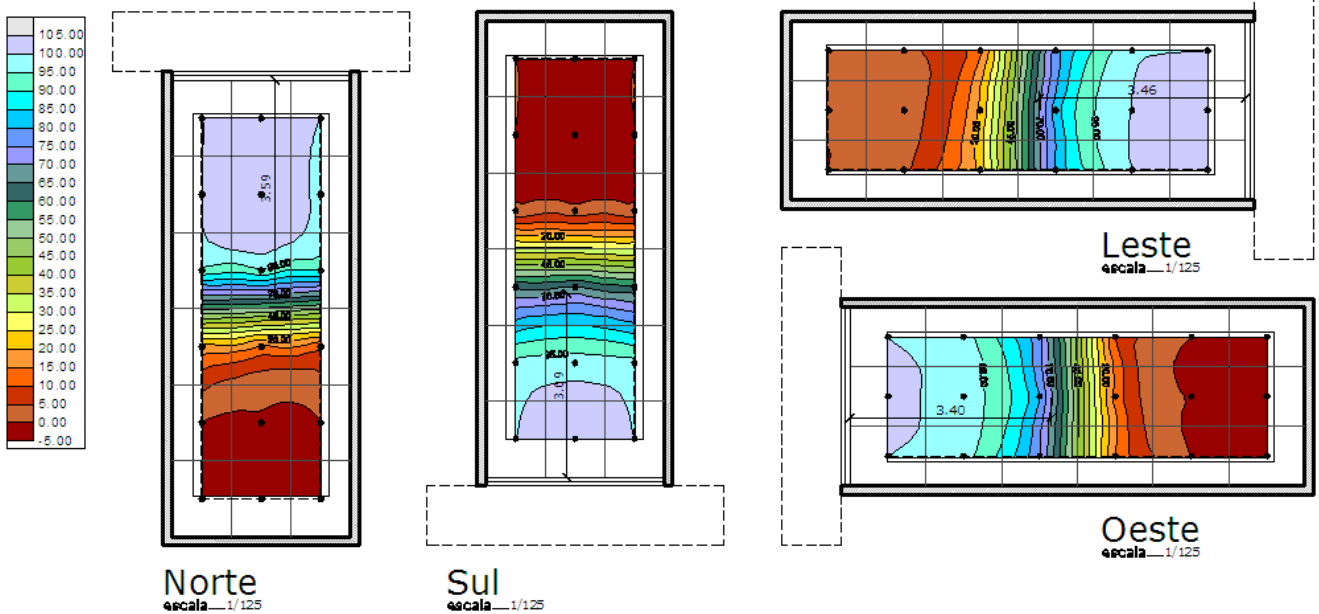
## Resultados das Simulações do Modelo 1b – Beiral 100cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| Curitiba | Latitude 25'51" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |



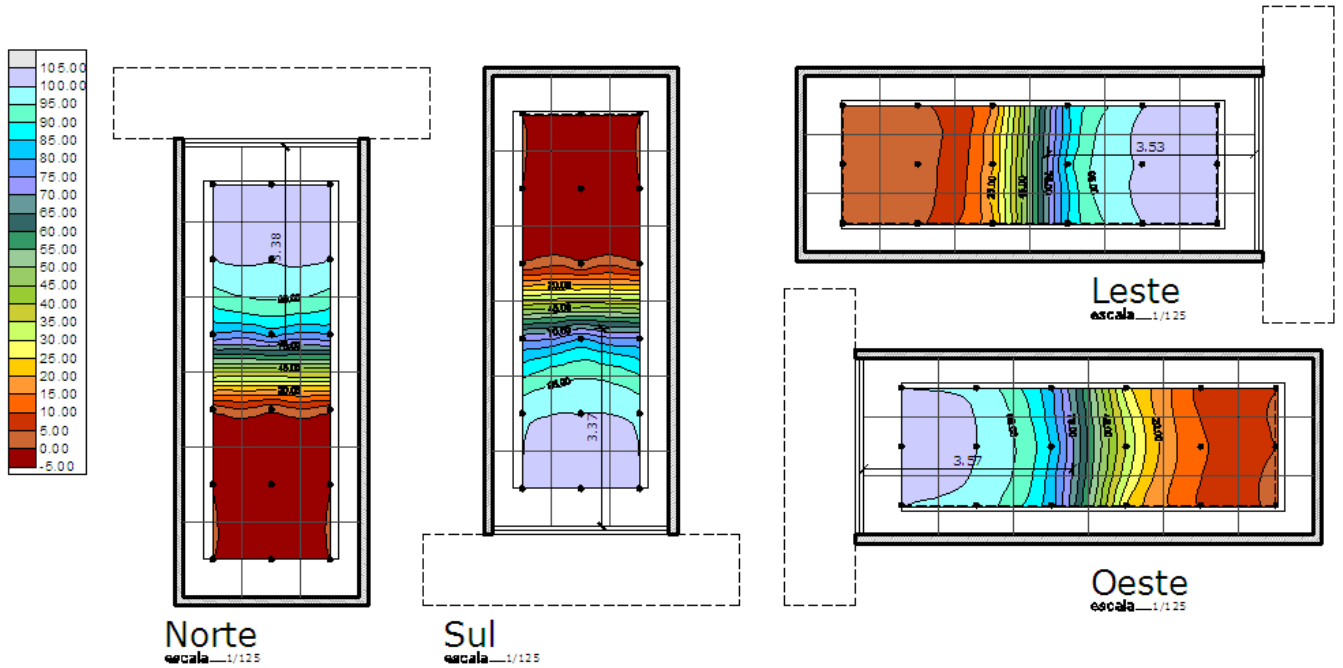
| Porto Alegre | Latitude 30'51" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |



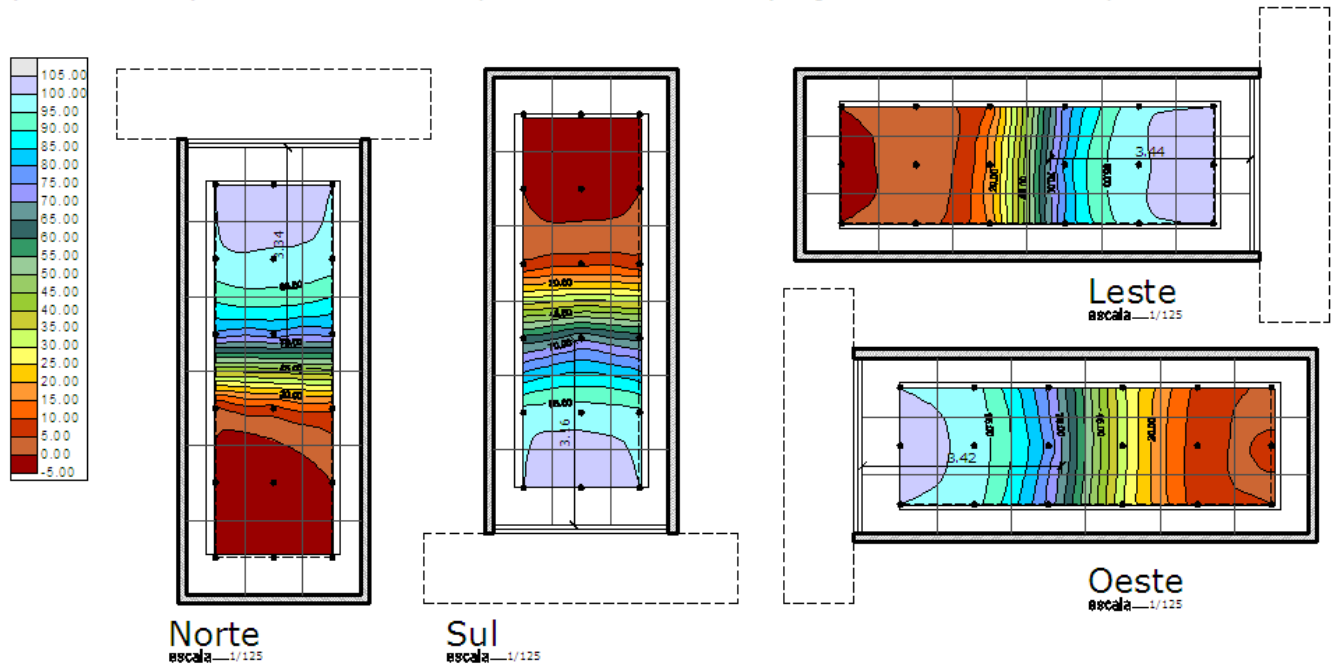
## Resultados das Simulações do Modelo 1c – Beiral 120cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **São Luís** | Latitude 2'60" | Horário de Ocupação: 7 às 17h |



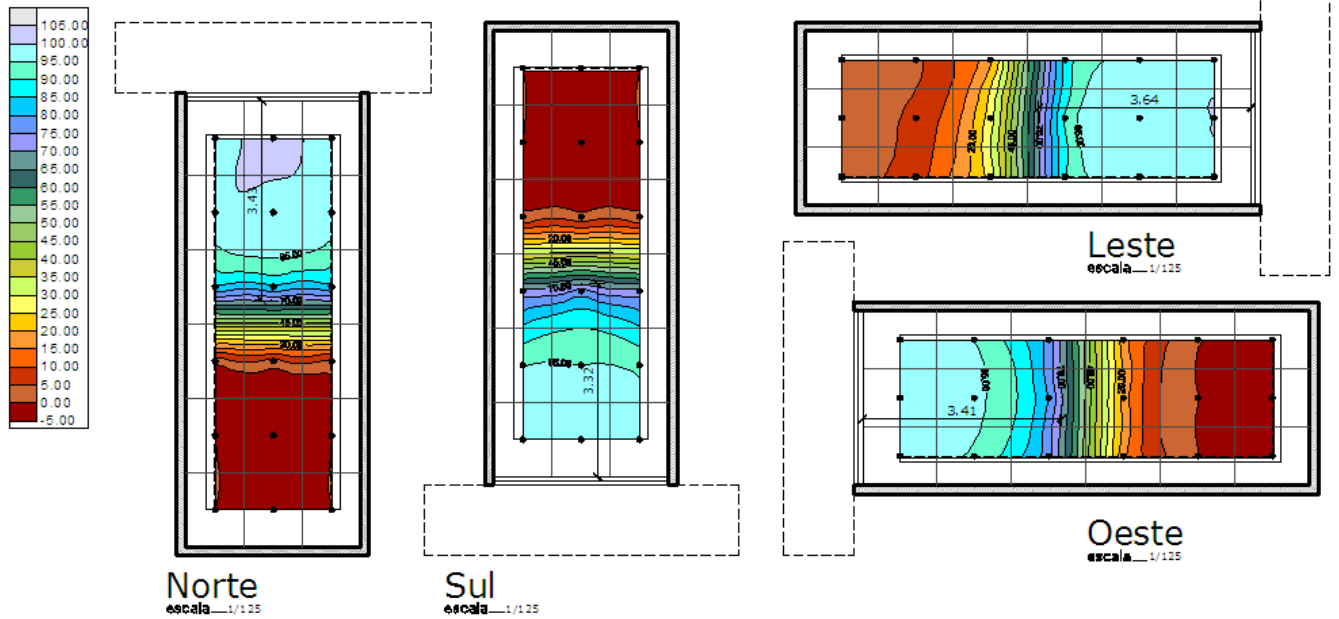
| **Maceió** | Latitude 9'50" | Horário de Ocupação: 7 às 16:30 |



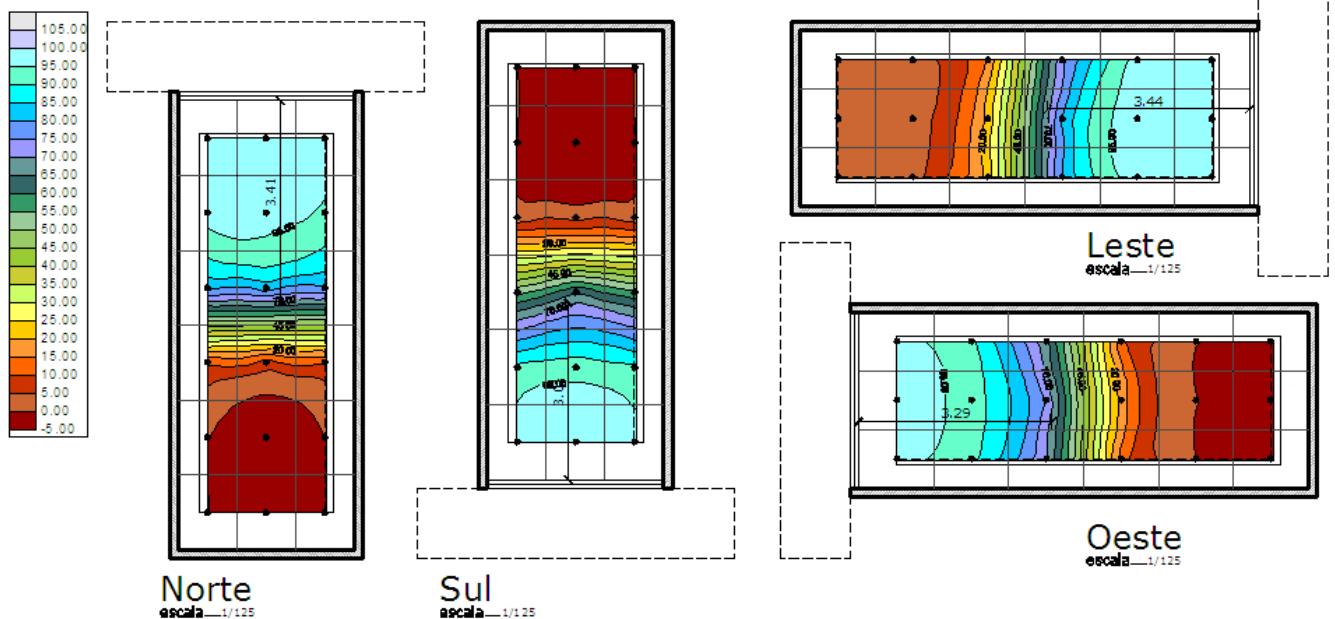
## Resultados das Simulações do Modelo 1c – Beiral 120cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Brasília** | Latitude 15'9" | Horário de Ocupação: 7:30 às 16:30 |



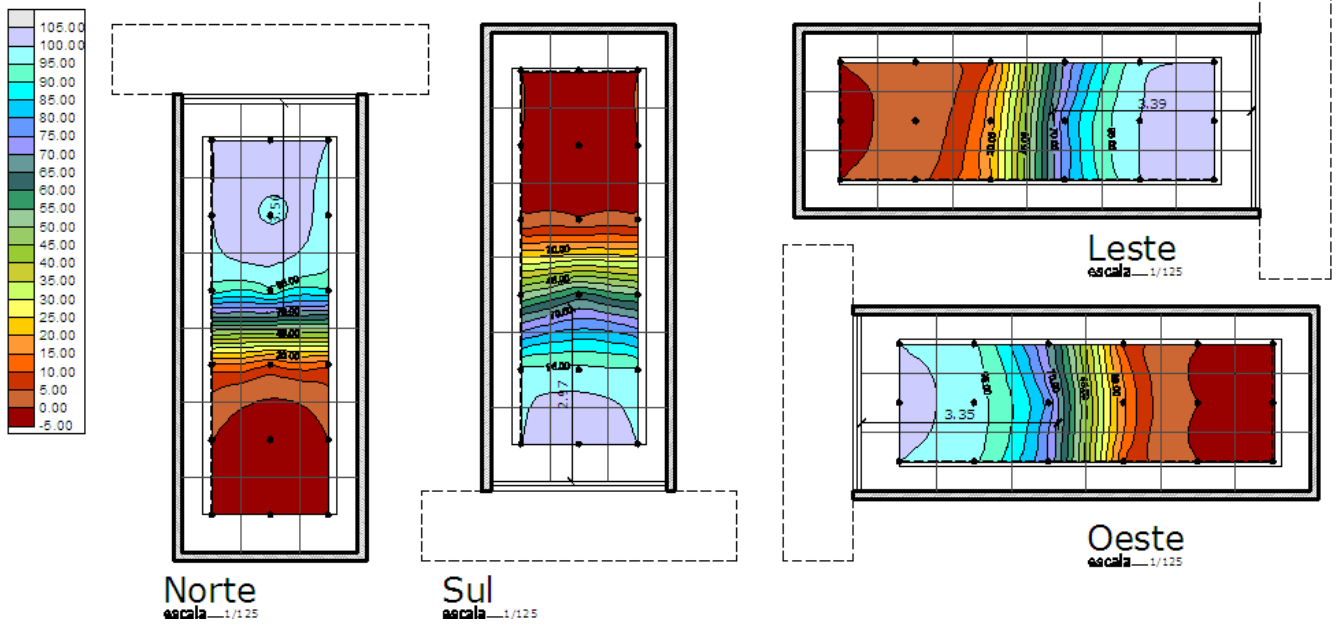
| **Curitiba** | Latitude 25'51" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |



## Resultados das Simulações do Modelo 1c – Beiral 120cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Porto Alegre** | Latitude 30'51" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |

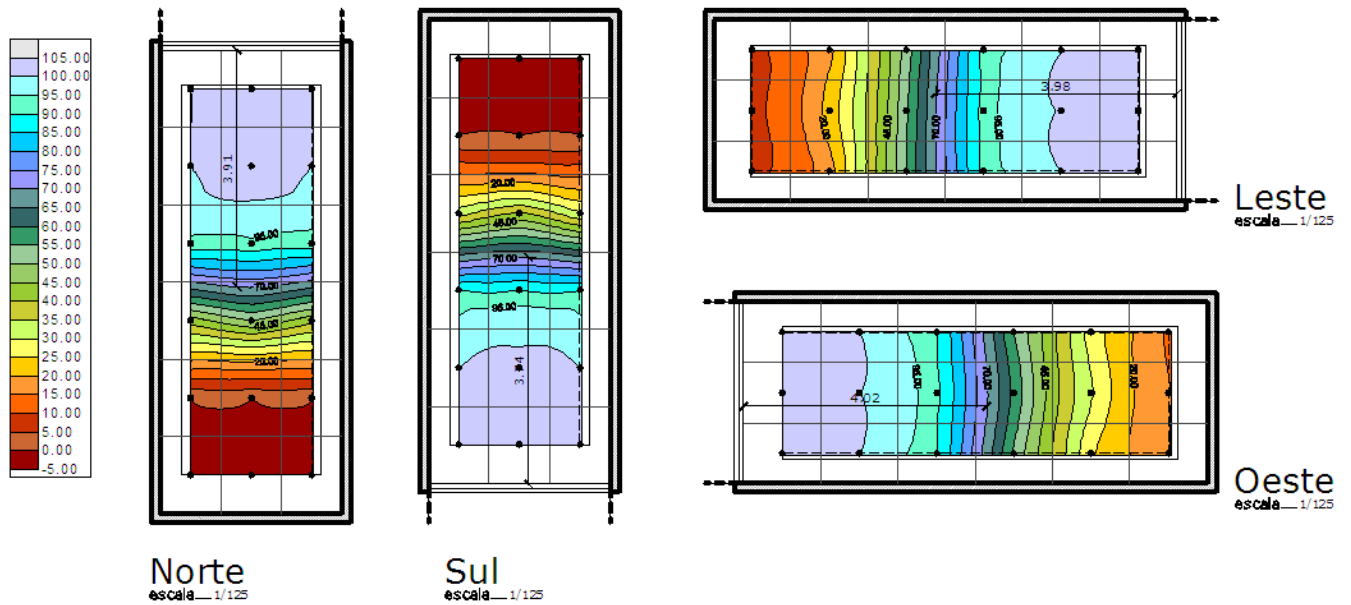


## 7.8. Apêndice 8: Resultados do Modelo 2

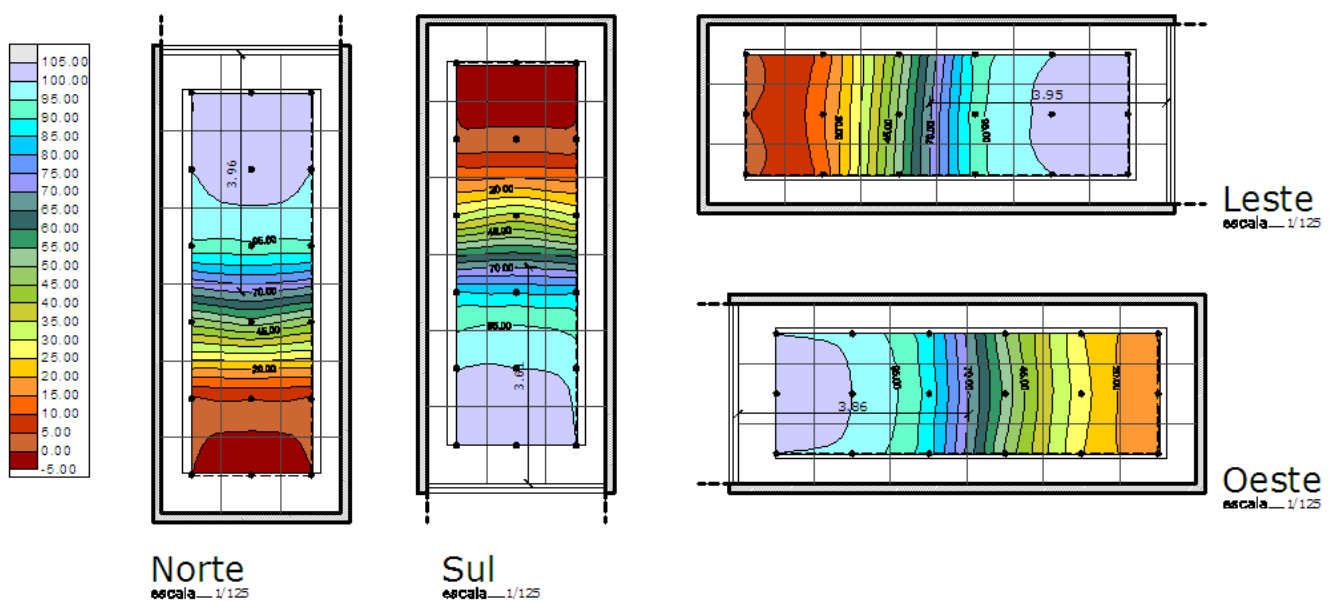
### Resultados das Simulações do Modelo 2a – Proteção vertical 50cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **São Luís** | Latitude 2'60" | Horário de Ocupação: 7 às 17h |



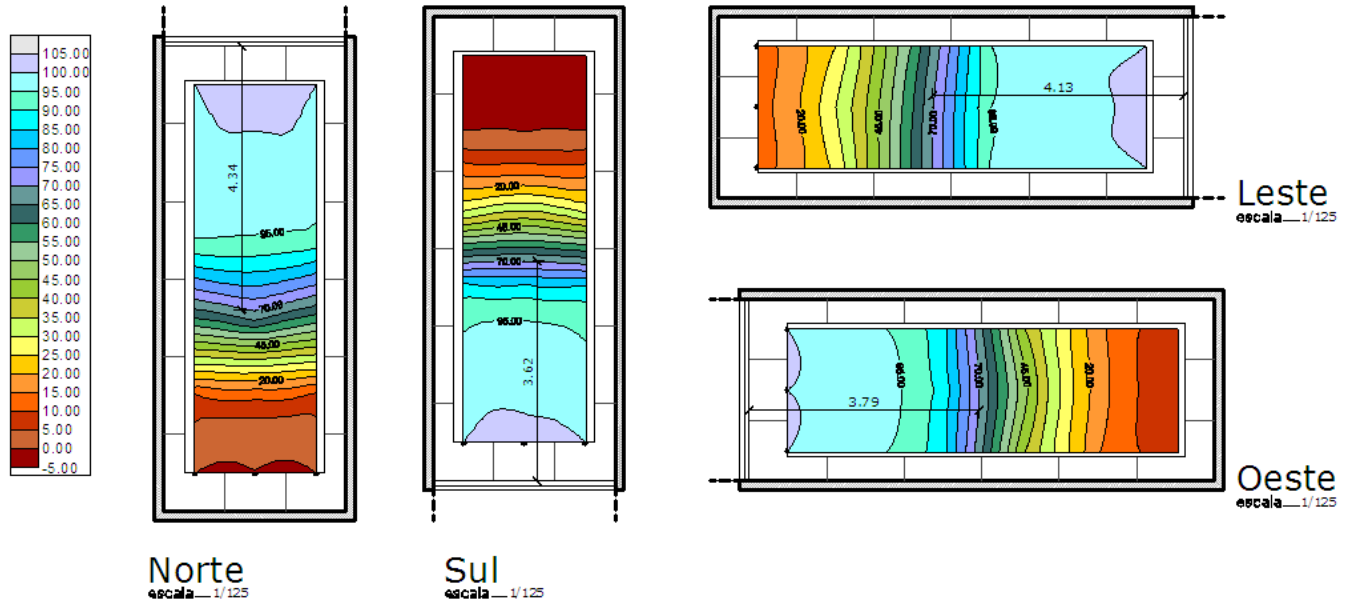
| **Maceió** | Latitude 9'50" | Horário de Ocupação: 7 às 16:30 |



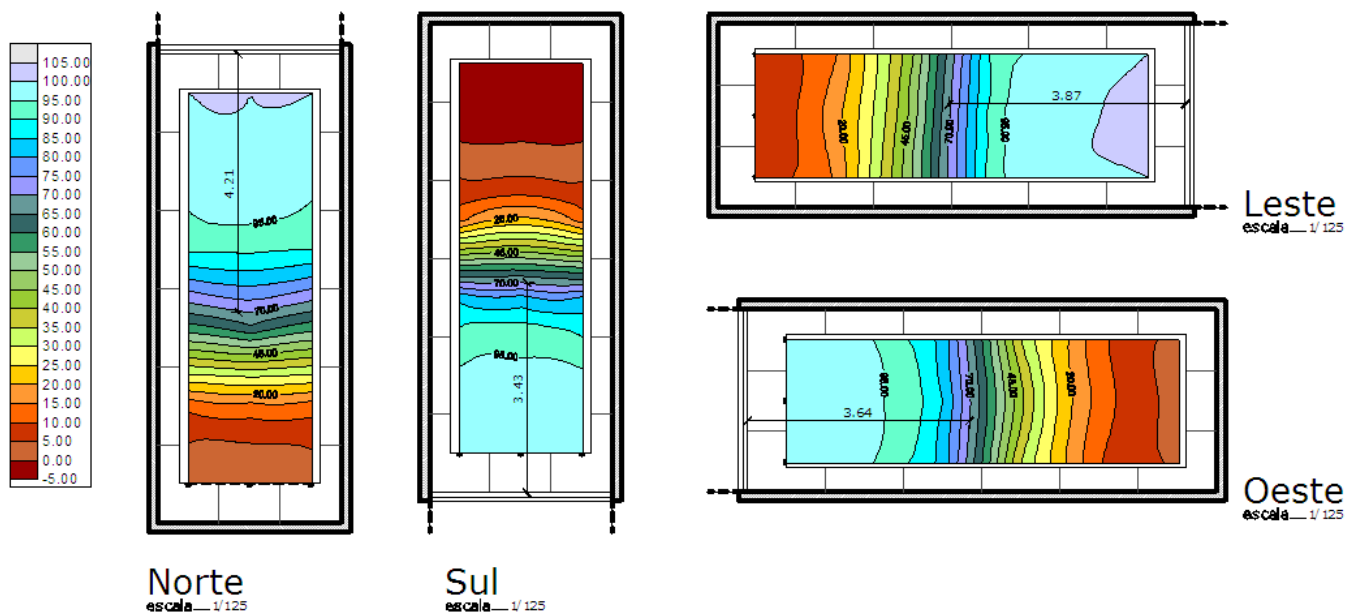
## Resultados das Simulações do Modelo 2a – Proteção vertical 50cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Brasília** | Latitude 15'9" | Horário de Ocupação: 7:30 às 16:30 |



| **Curitiba** | Latitude 25'51" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |

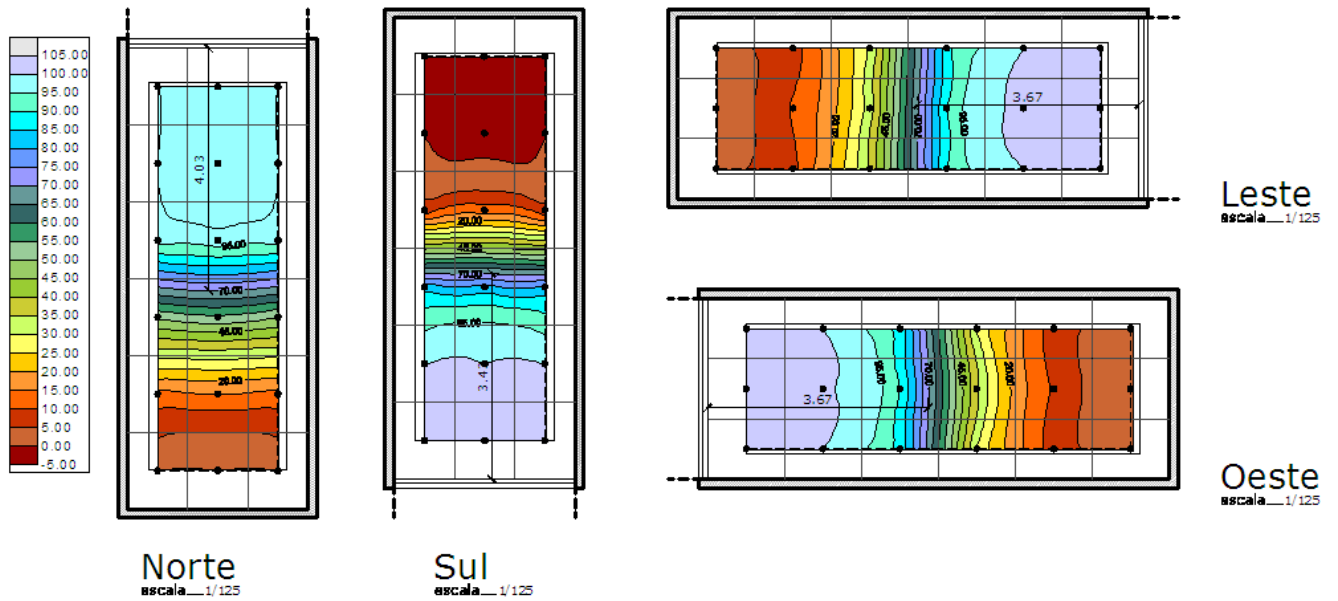




## Resultados das Simulações do Modelo 2a – Proteção vertical 50cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

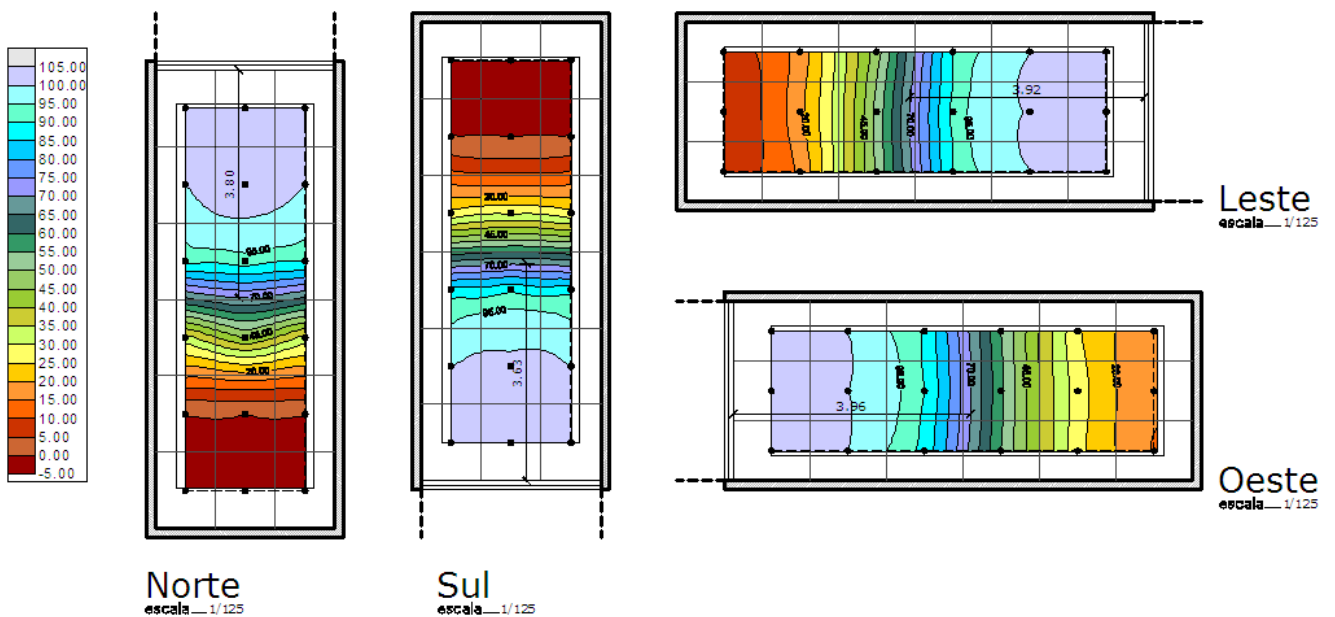
| **Florianópolis** | Latitude 27'66" | Horário de Ocupação: 8 às 16:00 |



## Resultados das Simulações do Modelo 2b – Proteção vertical 100cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

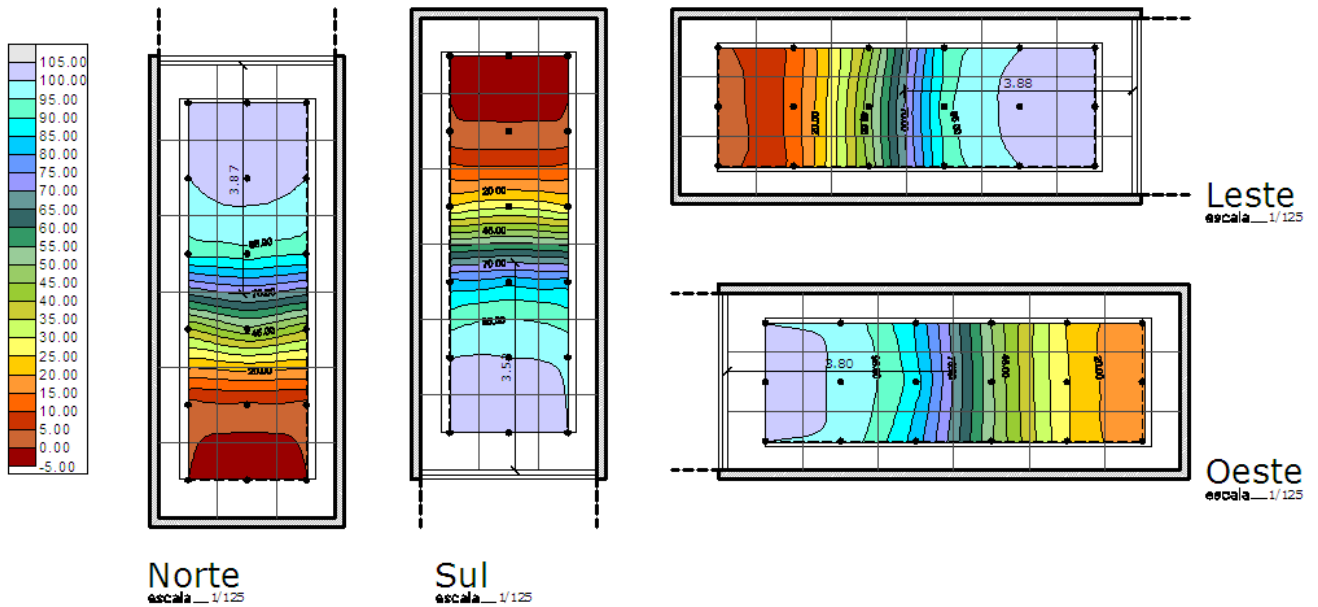
| **São Luís** | Latitude 2'60" | Horário de Ocupação: 7 às 17h |



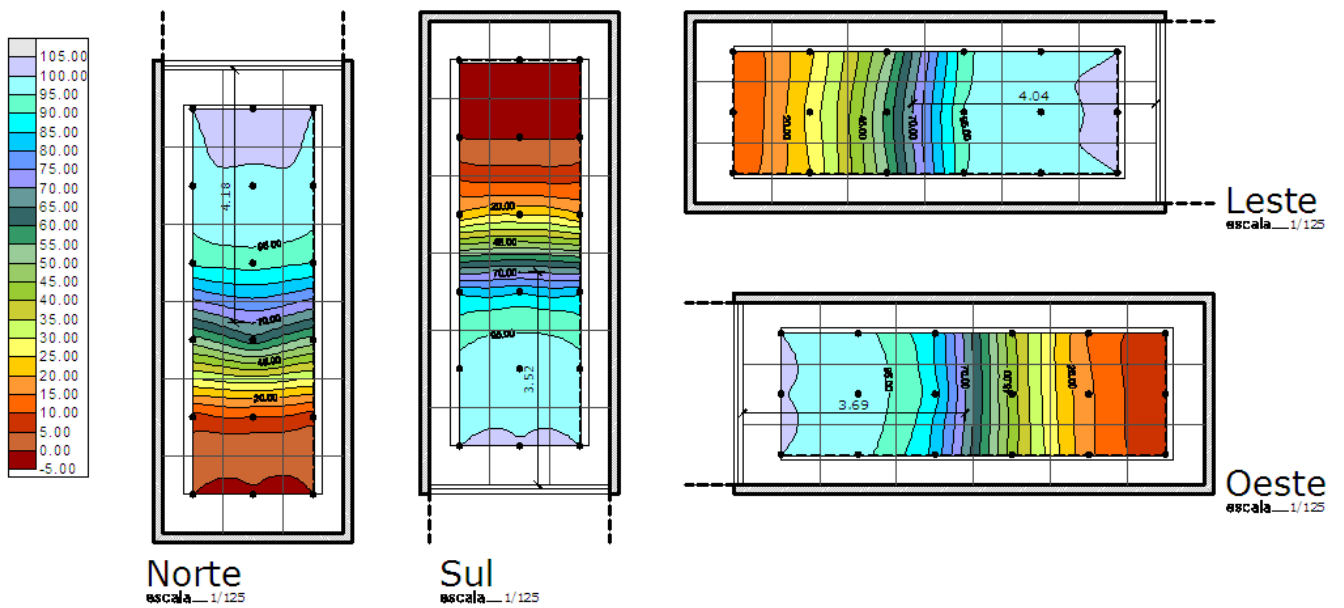
## Resultados das Simulações do Modelo 2b – Proteção vertical 100cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Maceió** | Latitude 9'50" | Horário de Ocupação: 7 às 16:30 |



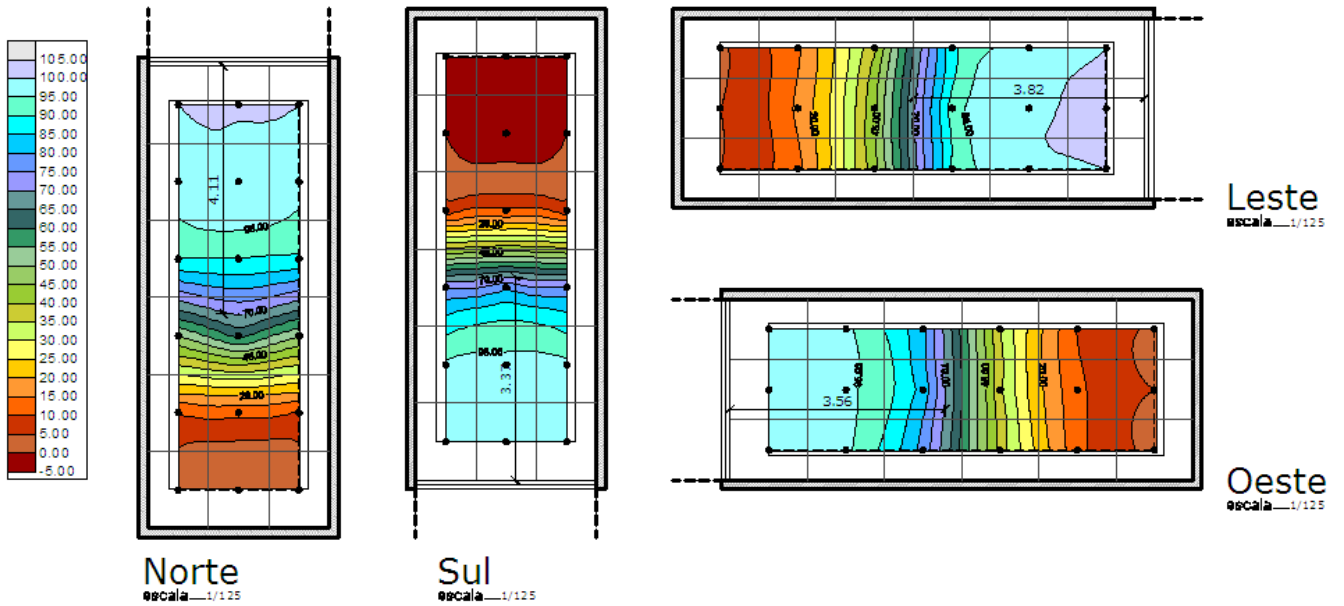
| **Brasília** | Latitude 15'9" | Horário de Ocupação: 7:30 às 16:30 |



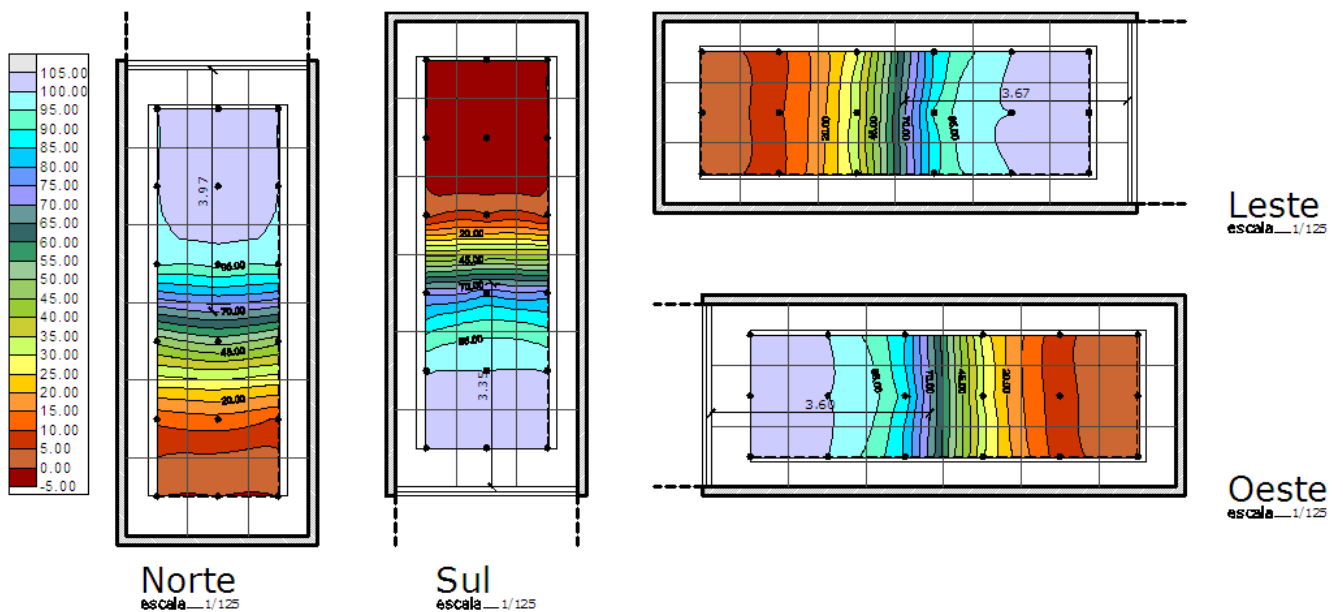
## Resultados das Simulações do Modelo 2b – Proteção vertical 100cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| Curitiba | Latitude 25'51" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |



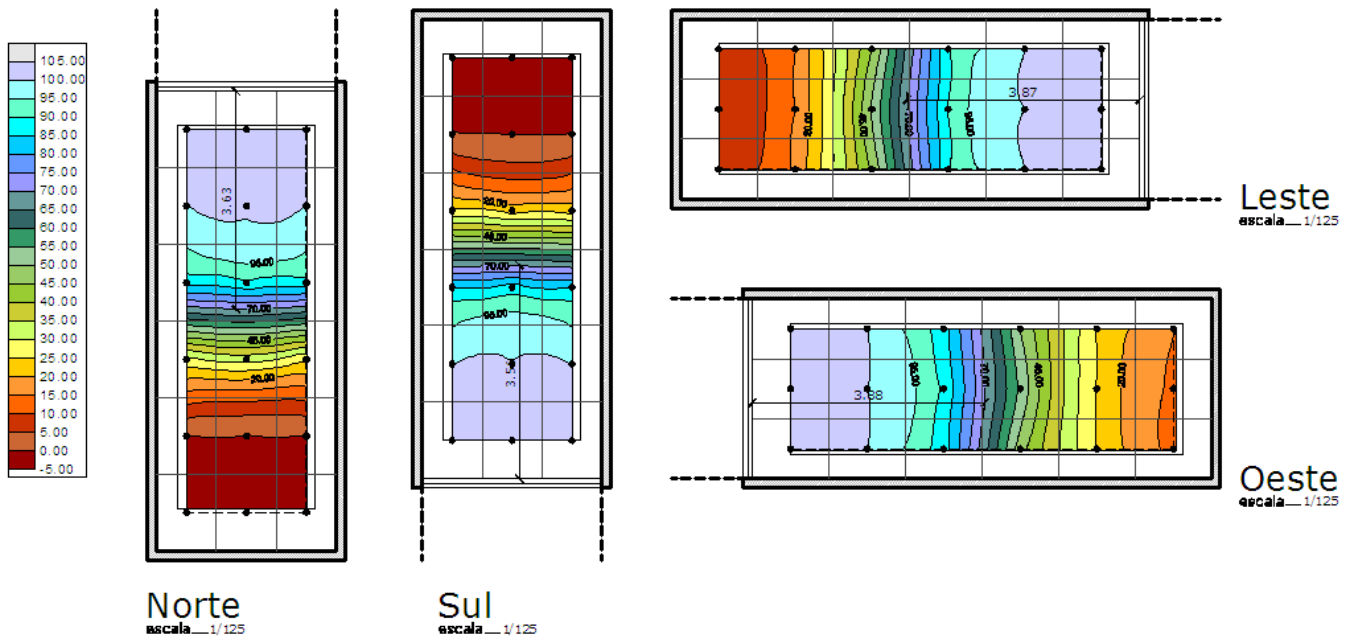
| Florianópolis | Latitude 27'66" | Horário de Ocupação: 8 às 16:00 |



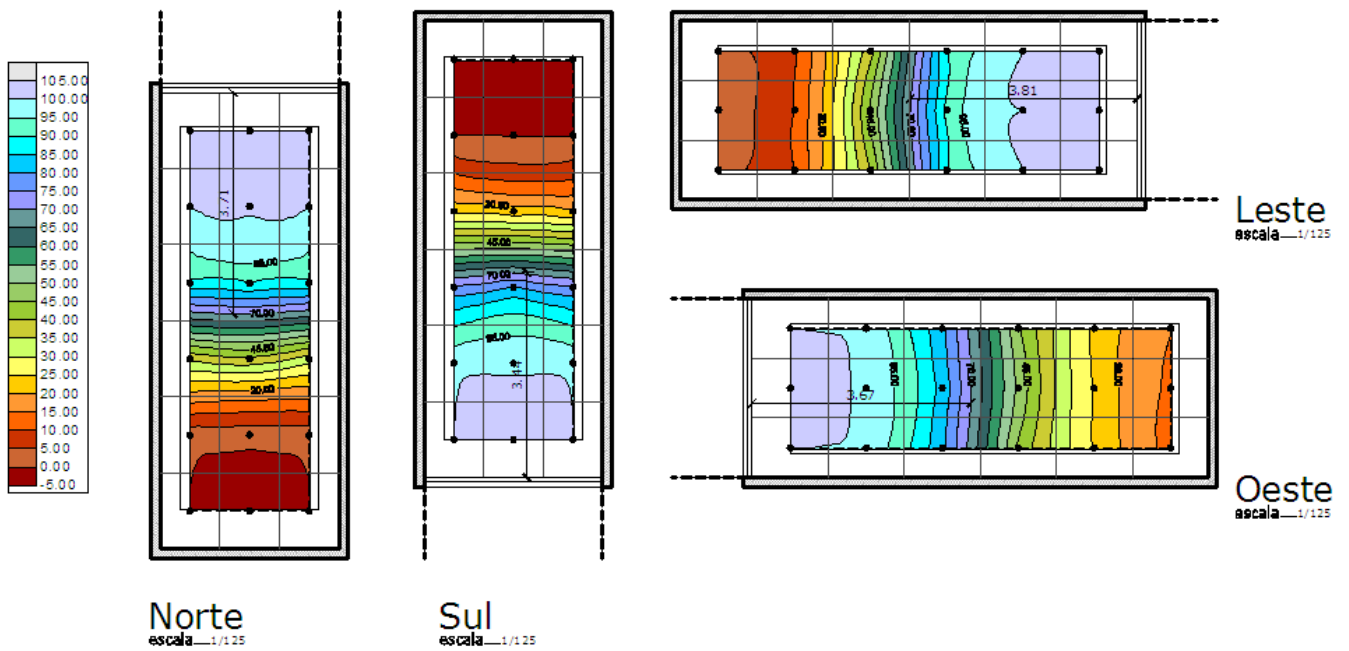
## Resultados das Simulações do Modelo 2c – Proteção vertical 120cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **São Luís** | Latitude 2'60" | Horário de Ocupação: 7 às 17h |



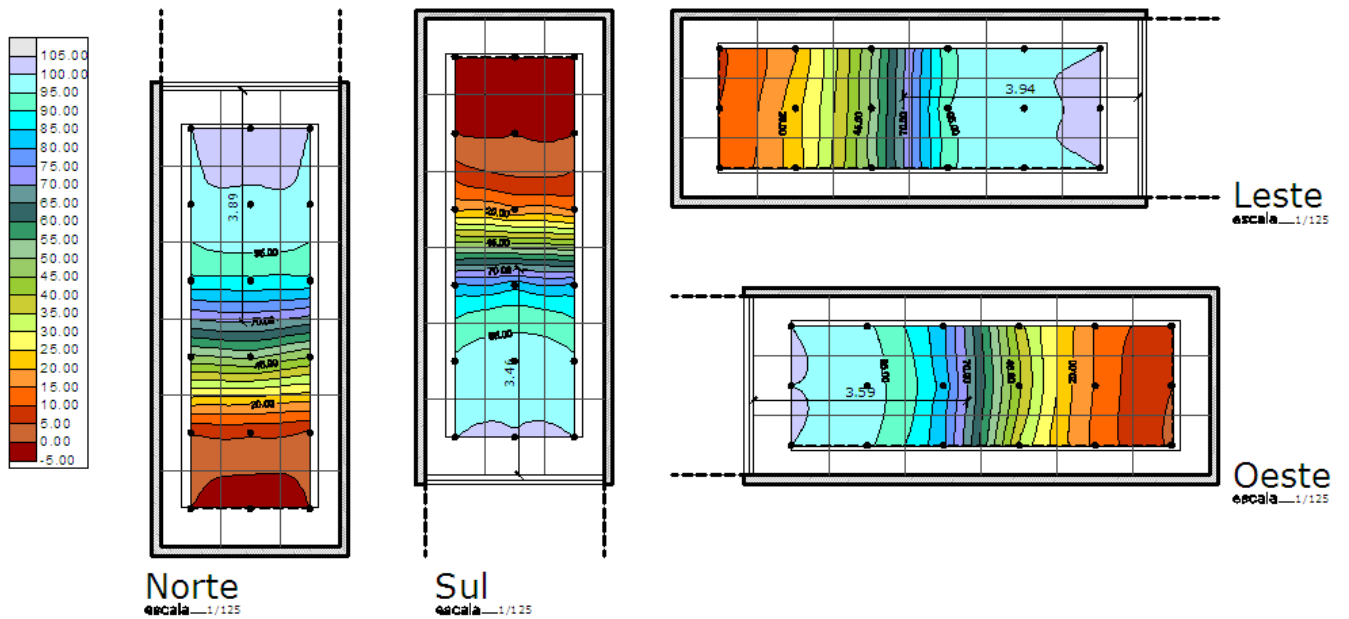
| **Maceió** | Latitude 9'50" | Horário de Ocupação: 7 às 16:30 |



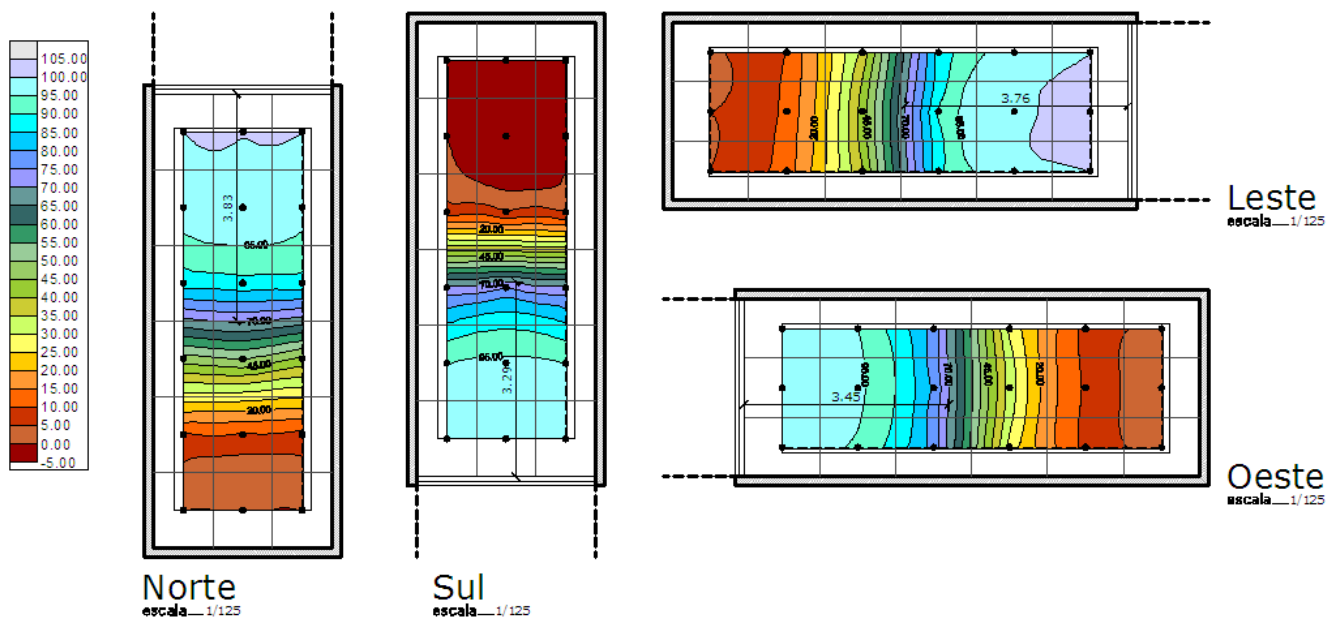
## Resultados das Simulações do Modelo 2c – Proteção vertical 120cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Brasília** | Latitude 15'9" | Horário de Ocupação: 7:30 às 16:30 |



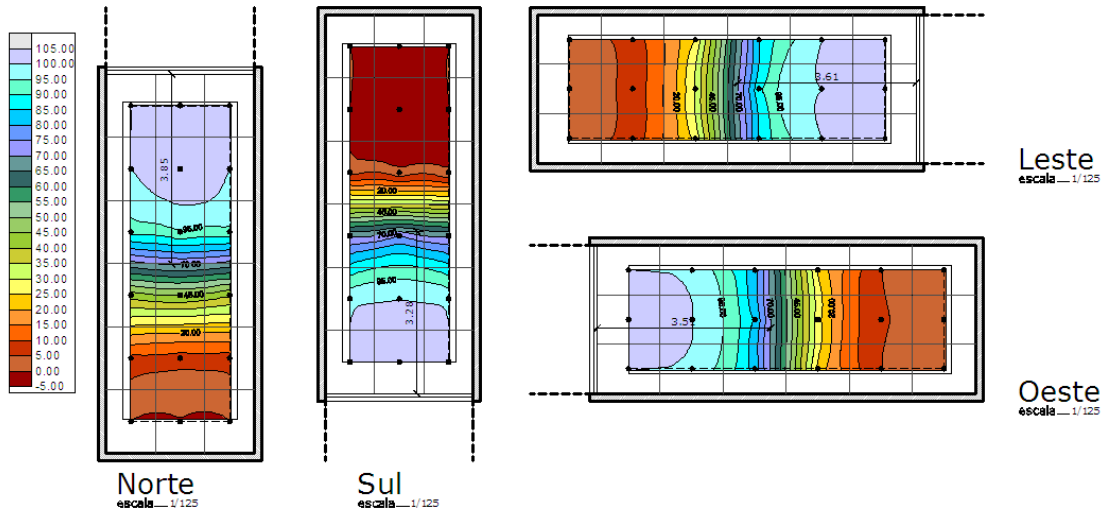
| **Curitiba** | Latitude 25'51" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |



## Resultados das Simulações do Modelo 2c – Proteção vertical 120cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Florianópolis** | Latitude 27'66" | Horário de Ocupação: 8 às 16:00 |

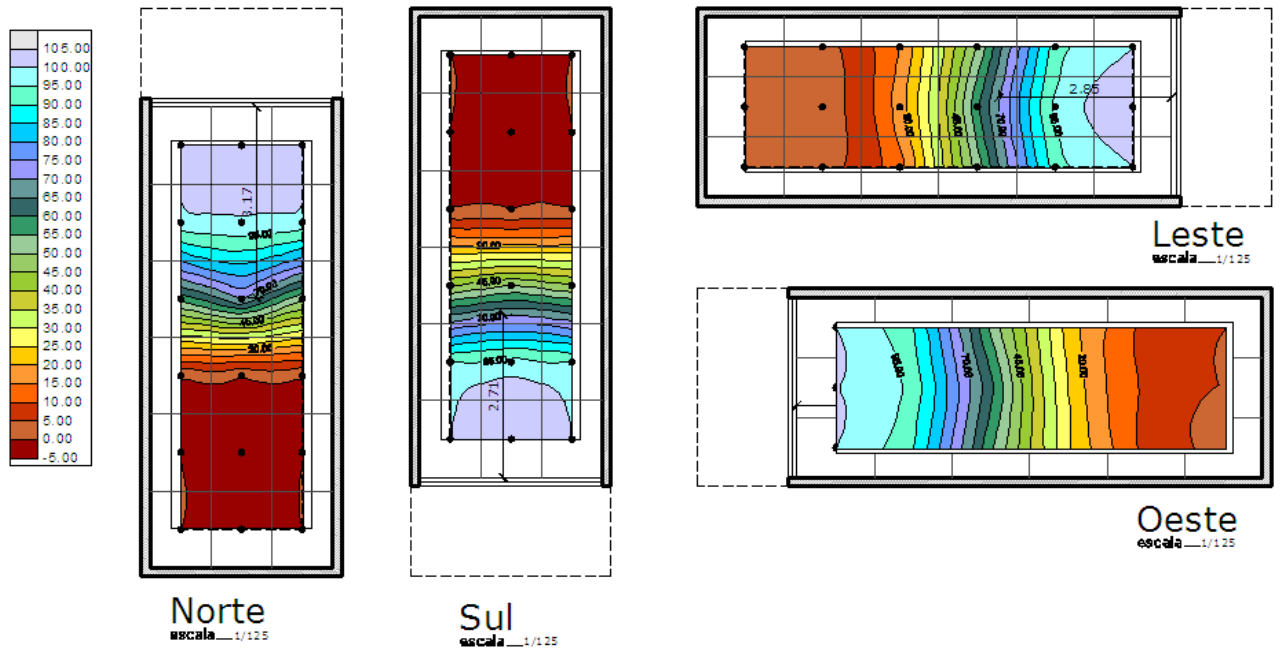


## 7.9. Apêndice 9: Resultados do Modelo 3

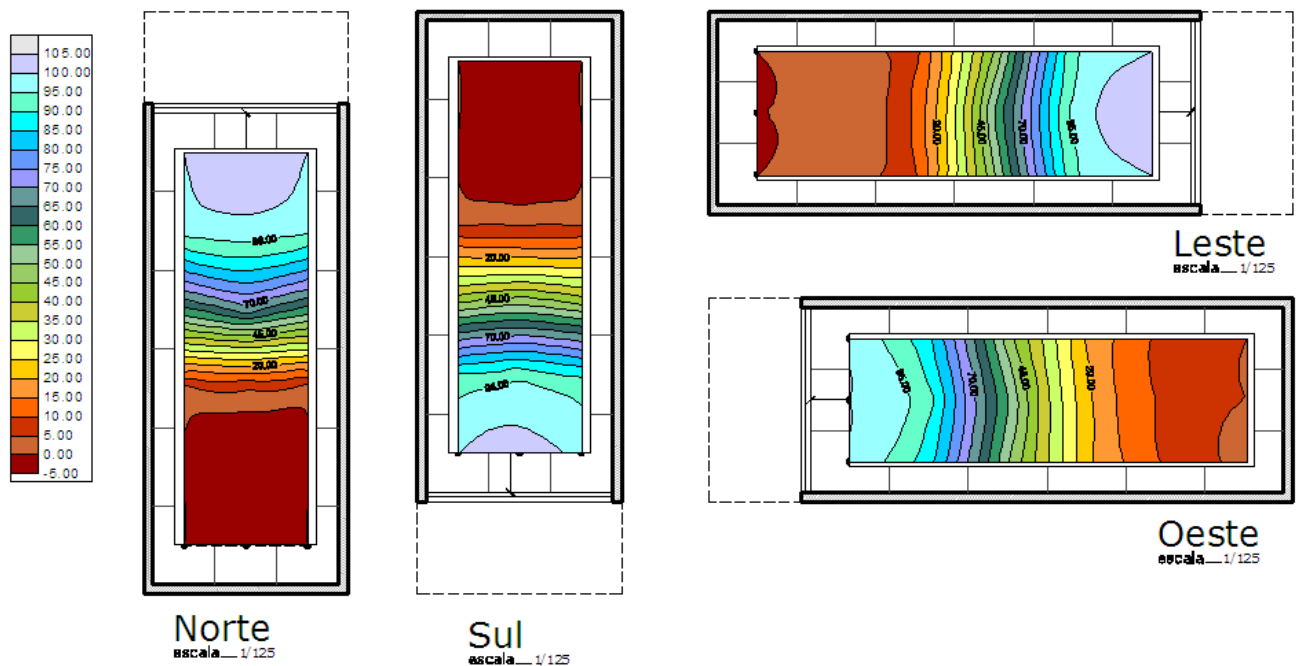
### Resultado das Simulações do Modelo 3 – Proteção Mista - varanda 150cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **São Luís** | Latitude 2'60" | Horário de Ocupação: 7 às 17h |



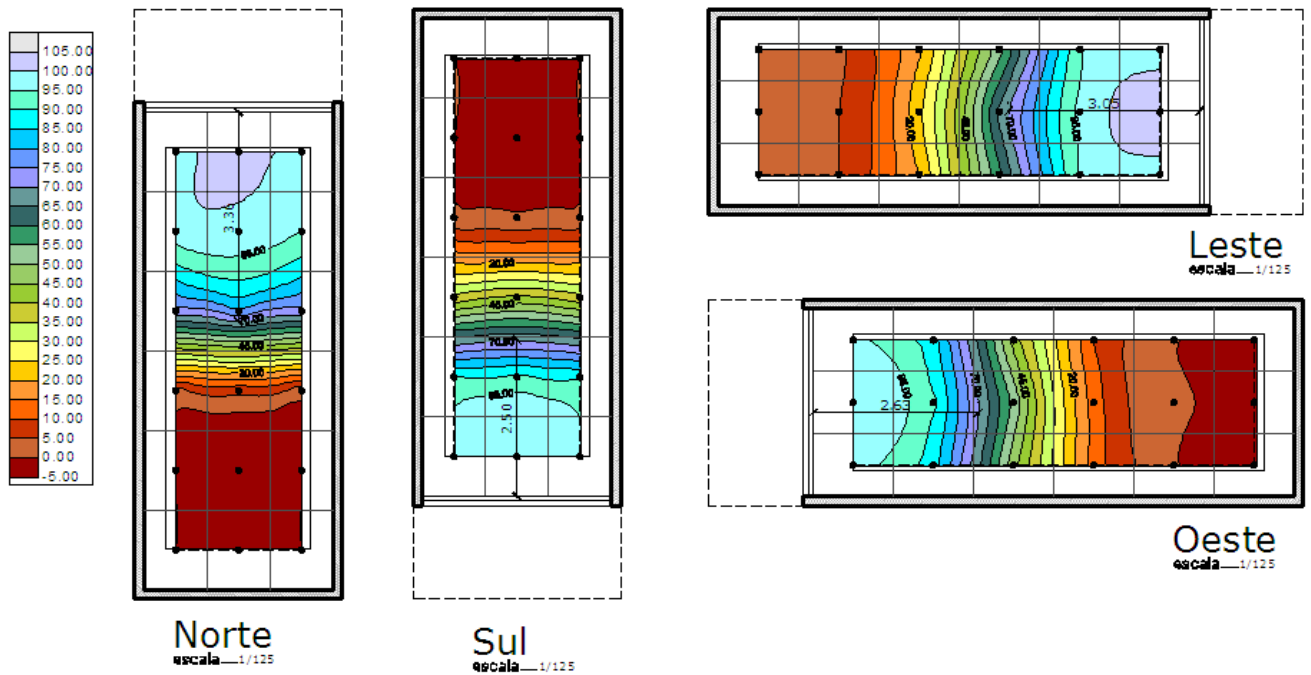
| **Maceió** | Latitude 9'50" | Horário de Ocupação: 7 às 16:30 |



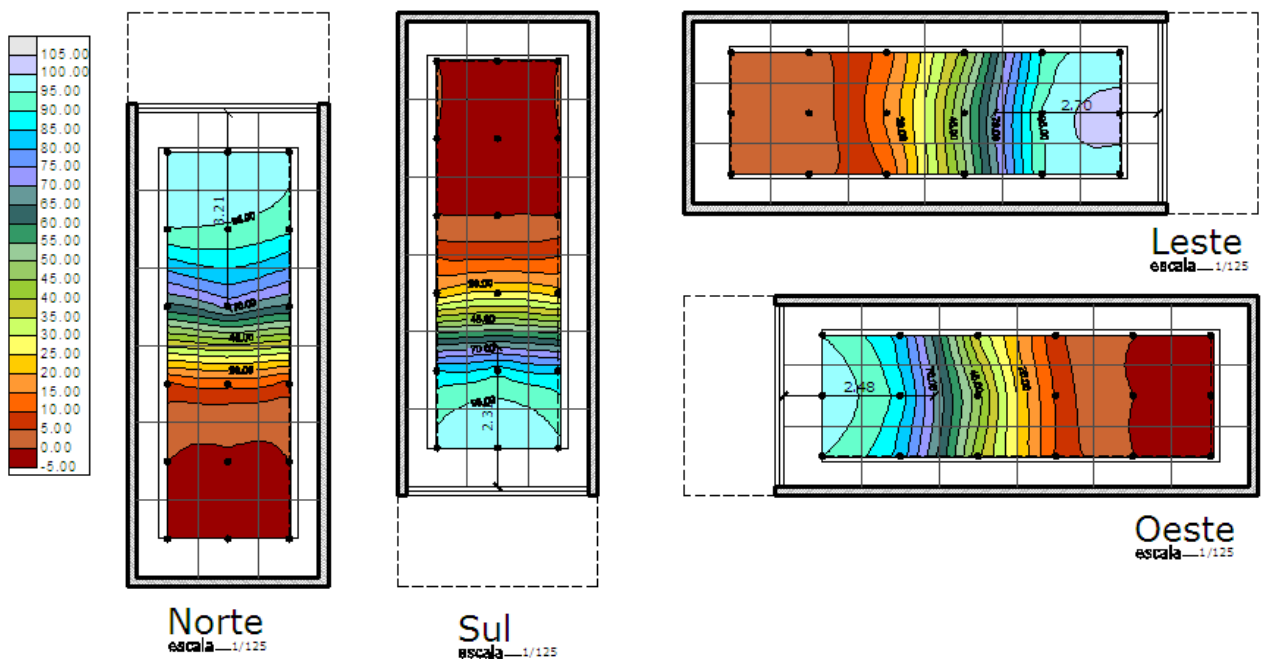
## Resultado das Simulações do Modelo 3 – Proteção Mista - varanda 150cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Brasília** | Latitude 15'9" | Horário de Ocupação: 7:30 às 16:30 |



| **Curitiba** | Latitude 25'51" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |

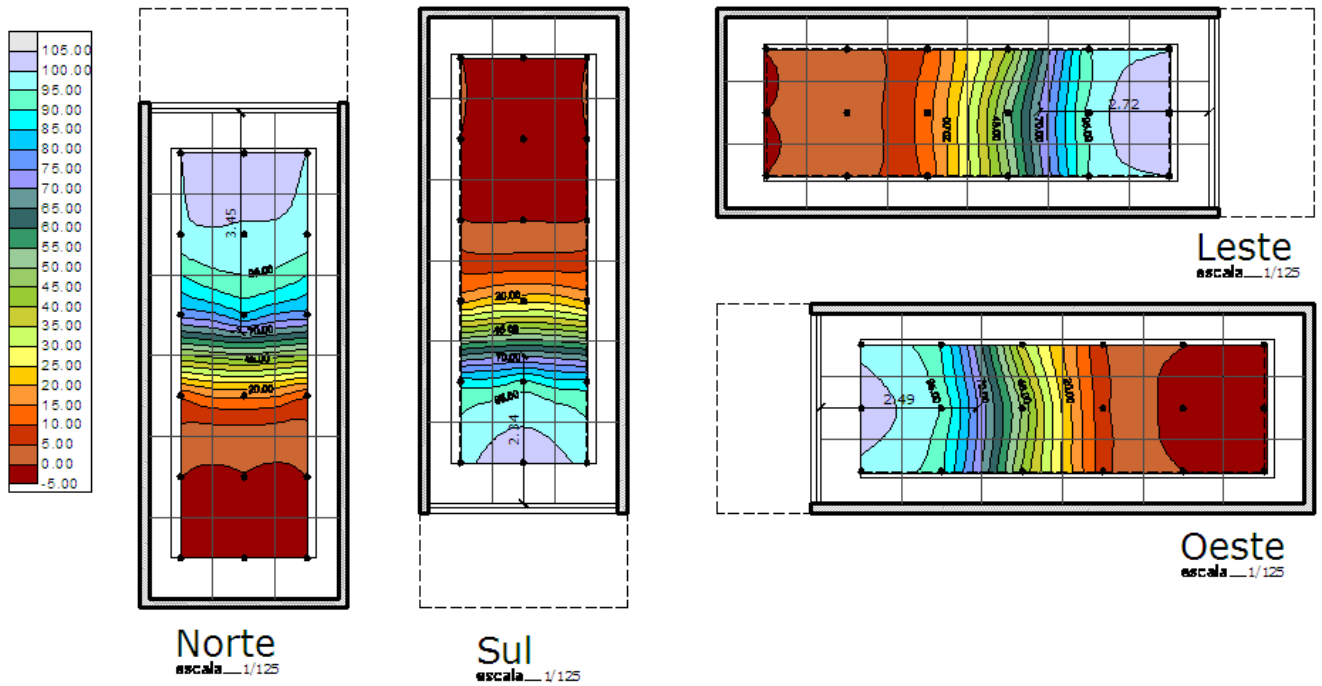




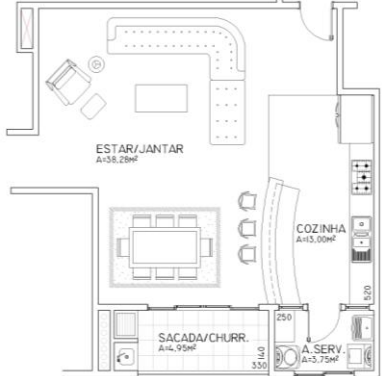

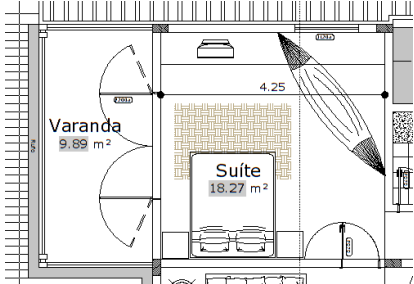

## Resultado das Simulações do Modelo 3 – Proteção Mista - varanda 150cm

Horário de Ocupação variável | Iluminância de Projeto 60 lux | DA 70%

| **Porto Alegre** | Latitude 30'51" | Horário de Ocup.: 7:45 às 16:15 |



## 7.10. Apêndice 10: Validação dos resultados para ambientes com proteção solar

Ambientes	Características
<p>1</p> 	<p>Localização: Florianópolis                  Profundidade: 7,35m                  Dimensões da abertura: 2,80 x 2,10 m                  Altura da abertura: 2,10 m  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela  <math>7,35m \geq 4,43 \rightarrow</math> Não Atendeu  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela  <math>7,35m \geq 6,19 m \rightarrow</math> Não Atendeu</p>
<p>2</p> 	<p>Localização: Florianópolis                  Profundidade: 5,0m                  Dimensões da abertura: 2,0 x 2,70 m                  Altura da abertura: 2,70 m  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela  <math>5,0m \leq 5,69 m \rightarrow</math> Atendeu  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela  <math>5,0m \geq 7,96m \rightarrow</math> Atendeu</p>
<p>3</p> 	<p>Localização: Brasília                  Profundidade: 4,25 metros                  Dimensões da abertura: 2,00 X 2,43 m                  Peitoril: - m   Altura da Abertura: 2,43 m  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela  <math>4,25 \leq 5,12m \rightarrow</math> Atendeu</p>
<p>4</p> 	<p>Localização: Brasília                  Profundidade: 4,47 metros                  Dimensões da abertura: 1,50 X 1,20 m                  Peitoril: 1,10 m   Altura da Janela: 2,30 m  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela  <math>4,47m \leq 4,85 m \rightarrow</math> Atendeu  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela  <math>4,47 \leq 6,78 m \rightarrow</math> Atendeu</p>

5	<p>projecção brise de proteção solar - 5º pavimento</p> <p>400 cm</p> <p>suíte 2 12,45m<sup>2</sup></p> <p>ban 3.1</p> <p>EPV2</p>	<p>Localização: Brasília                  Profundidade: 4,0 metros                  Dimensões da abertura: 4,12 X 2,46 m                  Altura da Abertura: 2,46 m  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela                  4,0m <math>\leq</math> 5,19 m -&gt; <b>Atendeu</b>  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela                  4,0 <math>\leq</math> 7,25 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>
6	<p>projecção brise de proteção solar - 5º pavimento</p> <p>354 cm</p> <p>Suíte 3 8,35m<sup>2</sup></p> <p>banho 3</p> <p>EPV1</p>	<p>Localização: Brasília                  Profundidade: 3,54 metros                  Dimensões da abertura: 1,58 X 2,46 m                  Altura da abertura: 2,46 m  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela                  3,54m <math>\leq</math> 5,19 m -&gt; <b>Atendeu</b>  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela                  4,0 <math>\leq</math> 7,25 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>
7	<p>456 cm</p> <p>suíte 4 8,90m<sup>2</sup></p> <p>ban 3.1</p> <p>ban 3.2</p> <p>EPV1</p>	<p>Localização: Brasília                  Profundidade: 4,56 metros                  Dimensões da abertura: 2,74 X 2,46 m                  Altura da Janela: 2,46 m  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela                  3,54m <math>\leq</math> 5,19 m -&gt; <b>Atendeu</b>  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela                  4,0 <math>\leq</math> 7,25 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>
8	<p>varanda 11,70m<sup>2</sup></p> <p>890 cm</p> <p>sala estar / jantar 39,00m<sup>2</sup></p> <p>ban 3.1</p> <p>PAC6</p> <p>SALA</p> <p>EPV1</p>	<p>Localização: Brasília                  Profundidade: 8,90 m                  Dimensões da abertura: 2,40 X 2,30 m                  Altura da Abertura: 2,30 m  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela                  3,54m <math>\leq</math> 4,85 m -&gt; <b>Atendeu</b>  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela                  4,0 <math>\leq</math> 6,78 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>
9	<p>5.75</p> <p>SUÍTE 2 A= 17,49 m<sup>2</sup></p> <p>PROJEÇÃO DA COBERTURA</p> <p>EPV04</p>	<p>Localização: Brasília                  Profundidade: 5,75 m                  Dimensões da abertura: 2,00m X 1,60 m                  Peitoril: 1,00 m   Altura da janela: 2,60m  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela                  5,75m <math>\geq</math> 5,48 m -&gt; <b>Não Atendeu</b>  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela                  5,75 <math>\leq</math> 7,67 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>

10		<p>Localização: Brasília                  Profundidade: 6,50 m (menor)                  Dimensões da abertura: 4,00 X 2,60 m                  Altura da porta: 2,60 m  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela  <math>6,5m \geq 5,48m \rightarrow</math> Não Atendeu  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela  <math>6,5m \geq 7,67m \rightarrow</math> Atendeu</p>
11		<p>Localização: Brasília                  Profundidade: 6,10m (maior)                  Profundidade média: 5,57m                  Dimensões da abertura: 2,60m X 1,40 m                  Peitoril: 1,20 m   Altura da janela: 2,60m  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela  <math>6,10 \geq 5,48m \rightarrow</math> Não Atendeu  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela  <math>6,1m \geq 7,67m \rightarrow</math> Atendeu</p>
12		<p>Localização: Brasília                  Profundidade: 4,00 m                  Dimensões da abertura: 2,00 X 2,60 m                  Altura da porta: 2,60m  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela  <math>4,0m \leq 5,48m \rightarrow</math> Atendeu  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela  <math>4,0m \leq 7,67m \rightarrow</math> Atendeu</p>
13		<p>Localização: Brasília                  Profundidade: 5,50 m                  Dimensões da abertura: 2,00 X 2,60 m                  Altura da porta: 2,60 m  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela  <math>5,5m \leq 5,48m \rightarrow</math> Não Atendeu  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela  <math>5,5m \leq 7,67m \rightarrow</math> Atendeu</p>
14		<p>Localização: Brasília                  Profundidade: 3,55 m                  Dimensões da abertura: 2,00 X 2,60 m                  Altura da porta: 2,60 m  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela  <math>3,55m \leq 5,48m \rightarrow</math> Atendeu  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela  <math>3,55m \leq 7,67m \rightarrow</math> Atendeu</p>

15		<p>Localização: Brasília                      Profundidade: 3,24 m (menor)                      Dimensões da abertura: 1,90 X 1,20 m                      Peitoril: 1,0 m   Altura da janela: 2,20  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela                      3,24 m <math>\leq</math> 4,64 m -&gt; <b>Atendeu</b>  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela                      3,24 m <math>\leq</math> 6,49 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>
16		<p>Localização: Brasília                      Profundidade: 4,23m (maior)                      Dimensões da abertura: 1,90 X 1,20 m                      Peitoril: 1,0 m   Altura da janela: 2,20  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela                      4,23 m <math>\leq</math> 4,64 m -&gt; <b>Atendeu</b>  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela                      4,23 m <math>\leq</math> 6,49 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>
17		<p>Localização: Brasília                      Profundidade: 4,46 metros                      Dimensões da abertura: 2,80 X 2,20 m                      Altura da abertura: 2,20  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela                      4,46 m <math>\leq</math> 4,64 m -&gt; <b>Atendeu</b>  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela                      4,46m <math>\leq</math> 6,49 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>
18		<p>Localização: Brasília                      Profundidade: 9,58 m                      Dimensões da abertura: 1,90 X 1,20 m                      Peitoril: 1,0 m   Altura da janela: 2,20  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela                      9,58 m <math>\geq</math> 4,64 m -&gt; <b>Não Atendeu</b>  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela                      9,58 m <math>\geq</math> 6,49 m -&gt; <b>Não Atendeu</b></p>
19		<p>Localização: Brasília                      Profundidade: 6,08 metros                      Dimensões da abertura: 2,85 X 1,10 m                      Peitoril: 1,10 m   Altura da janela: 2,20  <b>Aplicação do valor de 2,11:</b>  <math>P \leq 2,11 \times H</math> janela                      6,08 m <math>\geq</math> 4,64 m -&gt; <b>Não Atendeu</b>  <b>Aplicação do valor de 2,95:</b>  <math>P \leq 2,95 \times H</math> janela                      6,08 m <math>\geq</math> 6,49 m -&gt; <b>Atendeu</b></p>

