



Universidades Lusíada

Brandão, Andreia Almeida

Iluminação na arquitetura dos espaços museográficos : simulação paramétrica com elum tools para autodesk revit no centro interpretativo do castro de Monte Castelo

<http://hdl.handle.net/11067/7620>

Metadados

Data de Publicação

2023

Resumo

A presente dissertação de Mestrado em Arquitetura versa sobre a modelação paramétrica para a simulação do desempenho da iluminação natural e artificial no contexto da arquitetura de espaços museográficos. Dada a complexidade intrínseca dos espaços museográficos, marcada pela multiplicidade de variáveis envolvidas, torna-se imperativo empregar ferramentas que possam auxiliar efetivamente o projeto de arquitetura. A análise de variáveis como os contrastes, o conforto visual, a iluminação dos obje...

The present Master's dissertation in Architecture explores parametric modeling as a means to simulate the lighting performance, both natural and artificial, in the architectural contexts of museum spaces. Given the intrinsic complexity of museum spaces, marked by the multiplicity of involved variables, it is imperative to employ tools which can effectively assist architectural design. The analysis of variables such as contrasts, visual comfort, the lighting of objects and compliance with regulat...

Palavras Chave

Arquitetura, Museografia, BIM, Autodesk Revit, Iluminação Natural

Tipo

masterThesis

Revisão de Pares

no

Coleções

[ULF-FAA] Dissertações

Esta página foi gerada automaticamente em 2024-11-13T11:22:09Z com informação proveniente do Repositório



Orientador: Professor Doutor Rogério Arroéda

ILUMINAÇÃO NA ARQUITETURA DOS ESPAÇOS MUSEOGRÁFICOS
Simulação paramétrica com ElumTools® para Autodesk Revit® no Centro Interpretativo do Castelo de Monte Castelo

2022
2023

ILUMINAÇÃO NA ARQUITETURA DOS ESPAÇOS MUSEOGRÁFICOS

Simulação paramétrica com ElumTools® para Autodesk Revit® no Centro Interpretativo do Castelo de Monte Castelo

Andreia Almeida Brandão



Dissertação para obtenção do grau de mestre em Arquitectura
pela Universidade Lusitana de Vila Nova de Famalicão

FAA - Faculdade de Arquitectura e Artes

Novembro de 2023



Universidade Lusíada
Centro Universitário Lusíada - Norte

**ILUMINAÇÃO NA ARQUITETURA DOS ESPAÇOS
MUSEOGRÁFICOS**

Simulação paramétrica com ElumTools® para Autodesk Revit® no Centro
Interpretativo do Castro de Monte Castelo

Andreia Almeida Brandão

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura

Orientação Científica: Professor Doutor Rogério Amoêda

FAA – Faculdade de Arquitetura e Artes

Vila Nova de Famalicão, novembro 2023

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Rogério Amoêda, pela sua total disponibilidade, entrega,
ensinamentos e motivação.

Aos meus Pais, pelo amor, pela presença constante, pelo encorajamento e por me
fazerem acreditar sempre nas minhas capacidades.

Ao Pedro, pelo carinho, companheirismo, ajuda e paciência ao longo destes anos.

ÍNDICE

Agradecimentos	III
Índice	V
Índice de Figuras	VII
Índice de Tabelas	XV
Resumo	XVII
Abstract.....	XIX
Lista de siglas e abreviaturas	XXI
Introdução	3
1. ILUMINAÇÃO MUSEOGRÁFICA.....	9
1.1. Resenha Histórica.....	10
2. EXIGÊNCIAS PARA A ILUMINAÇÃO MUSEOGRÁFICA	13
2.1. Objetivos da iluminação museográfica	15
2.2. A importância do conceito	16
2.3. Iluminação natural, artificial e mista.....	19
2.5. A Iluminação museográfica e a conservação preventiva	27
2.6. Conforto visual.....	32
2.7. Iluminação museográfica para utilizadores com reduzida acuidade visual (ou incapacidade sensorial)	37
3. EXECUÇÃO DA ILUMINAÇÃO MUSEOGRÁFICA.....	43
3.1. Luz e ambiência	45
3.2. Fontes de Luz	46
3.3. Luminárias.....	47
3.3.1. Tipos de luminárias.....	49

3.4. Composições de Luz	51
4. MODELAÇÃO PARAMÉTRICA.....	55
4.1. Ferramentas paramétricas de iluminação	57
4.2. ElumTools [®] – <i>Add-in</i> de iluminação para Autodesk Revit [®]	58
5. SIMULAÇÃO PARAMÉTRICA DA ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL APLICADA A UM CASO DE ESTUDO	67
5.1. Castro de Monte Castelo	68
5.2. Projeto para o Centro Interpretativo do Castro de Monte Castelo	72
5.3. Parametrização do objeto no Autodesk Revit [®]	76
5.4. Parametrização da condição luminotécnica	78
5.4.1. Parâmetros Computacionais e dados de entrada	78
5.4.2. Plano de trabalho	79
5.4.3. Grelha de iluminância	80
5.4.4. Necessidades de iluminação	81
5.4.5. Valor de refletância de luz (LRV)	82
5.5. Resultados obtidos para os cenários parametrizados para os cenários A.....	84
5.5.1. Resultados obtidos para o cenário A1	84
5.5.2. Resultados para o cenário A2	87
5.6. Resultados obtidos para os cenários AN	90
5.6.1. Resultados para o cenário AN1	90
5.6.2. Resultados para o cenário AN2	93
5.7. Discussão global dos resultados	95
Conclusões.....	101
Bibliografia.....	103
Apêndices.....	A1

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Objetivos gerais da iluminação museográfica. Adaptado de Sylvania (2015:6).	15
Fig. 2 – Da conotação à denotação de uma iluminação no triângulo semiótico. Adaptado de Ezrati (2020, p. 183).	17
Fig. 3 – Museu Guggenheim, Frank Lloyd Wright. Fonte: https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/21.250/8018	20
Fig. 4 – Funcionamento do ciclo circadiano. Fonte: https://www.emporioluz.com.br/blog/temperatura-de-cor-nosso-organismo-e-os-ambientes/	21
Fig. 5 – Variação do ângulo de incidência e da área recetora dos raios solares ao longo do dia natural, como consequência do movimento diurno aparente do sol. Fonte: https://pt.slideshare.net/CarvalhoCC/variabilidade-da-radiao-solar-geral	22
Fig. 6 – Temperatura de Cor. Fonte: https://curatorial.com/insights/lighting-art-with-museum-expertise	24
Fig. 7 - Relação de conforto ambiental entre nível de iluminância e tonalidade de cor da lâmpada. Fonte: https://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed39/ed_39%20-%20AT%20Museu.pdf	25
Fig. 8 – Espectro das ondas eletromagnéticas. Fonte: https://www.pinterest.pt/pin/584693964099598020/	25
Fig. 9 - Exemplo de reprodução de cor. Adaptado de Sylvania (2015, p. 22).	26
Fig. 10 - Luminária equipada com filtros para reduzir as radiações UV e IR, e telas antiofuscamento. Fonte: Ganslandt, R. & Hofmann, H. (2005, p. 239).	29
Fig. 11 – Modelo de conforto visual. Adaptado de Bortolan et al. (2019, p. 81).	32

Fig. 12 – Alto contraste e baixo contraste. Adaptado de: https://www.klmlighting.com/led-track-light-museum/	33
Fig. 13 - Representação esquemática do sistema visual. Desenho elaborado pela autora. Adaptado de Bortolan et al. (2019, p. 69).....	34
Fig. 14 – Absorção, reflexão, transmissão e refração da luz. Adaptado de: https://sites.ifi.unicamp.br/mbonanca/files/2019/11/tema4L.pdf	35
Fig. 15 – Variações luminosas no campo visual. Adaptado de Vajão (2015, p. 10).....	39
Fig. 16 – Iluminação artificial (Museu D. Diogo de Sousa.....	44
Fig. 17 – Iluminação natural e artificial (Museu Nacional de Arte Tóquio – Le Corbusier)	44
Fig. 18 – Espectro das lâmpadas. Adaptado de: https://www.celinalago.com.br/2018/05/como-iluminacao-led-pode-comprometer.html	46
Fig. 19 – Iluminação do espaço expositivo. Fonte: (ibidem 2005, p. 238).	47
Fig. 20 – Iluminação através de calhas eletrificadas. Fonte: (ibidem 2005, p. 239).	48
Fig.21 – Controlo ótico da amplitude da luz. Adaptado (Hughes, 2015, p. 140).....	50
Fig. 22 – Modelando um objeto tridimensional. Adaptado: (Hughes, 2015, p. 146).....	52
Fig. 23 – Formas de iluminação e os seus efeitos. Adaptado de: https://core.ac.uk/download/pdf/80590773.pdf	53
Fig. 24 – Práticas de iluminação expositiva. Fonte: https://core.ac.uk/download/pdf/80590773.pdf	54
Fig. 25 - Vantagens da utilização do BIM. Adaptado: https://www.mdarchitects.com/what-is-a-building-information-model	56
Fig. 26 – Início da versão trial do ElumTools®	58
Fig. 27 - Ferramentas do <i>add-in</i> ElumTools®	59

Fig. 28 – Modo de utilização do ElumTools®	59
Fig. 29 – Configurações da luminária no ElumTools®	60
Fig. 30 – Mapa de materiais dado pelo ElumTools®	61
Fig. 31 – Definição do plano de trabalho pelo ElumTools®	62
Fig. 32 – Calcular a iluminação para a geometria selecionada.	63
Fig. 33 - Barra de visualização do projeto no ElumTools®	64
Fig. 34 – Criação instantânea de tabelas.	64
Fig. 35 – Simulação da iluminação natural e artificial com o ElumTools®	65
Fig. 36 – Castro de Guifões. Fonte: https://www.csarmento.uminho.pt/site/files/original/9055ffd9b9f0ebac284695ebc4e8db04717be9c9.pdf	69
Fig. 37 – Resumo meteorológico de Guifões. Fonte: weatherspark.com.....	69
Fig. 38 – Nebulosidade em Guifões. Fonte: weatherspark.com.....	70
Fig. 39 – Horas de luz solar e crepúsculo (Guifões). Fonte: weatherspark.com.....	70
Fig. 40 – Nascer e Pôr-do-Sol com crepúsculo e luz solar no horário de verão (Guifões). Fonte: weatherspark.com	71
Fig. 41 – Média diária de energia solar de ondas curtas incidente em Guifões. Fonte: weatherspark.com	71
Fig. 42 – Planta de Localização do Centro Interpretativo do Castro de Monte Castelo.	72
Fig. 43 – Planta do piso -1 (estacionamento).	73
Fig. 44 – Planta piso 1.....	74
Fig. 45 – Planta piso 2.....	74
Fig. 46 – Planta da cobertura.....	75

Fig. 47 – Corte longitudinal.	75
Fig. 48. – Alçado sudoeste.	75
Fig. 49 – Exemplos de artefactos encontrados no Castro de Guifões. Fotografias de José Manuel Varela e Andreia Arezes, respetivamente.....	76
Fig. 50 – Espólio virtual da Global Digital Heritage.	77
Fig. 51 – Planta da sala de exposição permanente. Produzidas no Autodesk Revit®. ...	77
Fig. 52 – Condições do céu no ElumTools®.	79
Fig. 53 – Definição do plano de trabalho no ElumTools®.	80
Fig. 54 – Distribuição dos sistemas de iluminação artificial – cenário A1.	84
Fig. 55 – Mapa de iluminância obtido para o cenário A1 – plano de trabalho 0,75m. ...	85
Fig. 56 – Renderização 3D de iluminâncias interiores do cenário A1 – plano de trabalho 0,75m.	85
Fig. 57 - Mapa de iluminância obtido para o cenário A1 – plano de trabalho 1,00m.	85
Fig. 58 – Renderização 3D de iluminâncias interiores do cenário A1 – plano de trabalho 1,00m.	86
Fig. 59 - Distribuição dos sistemas de iluminação artificial – cenário A2.....	87
Fig. 60 - Mapa de iluminância obtido para o cenário A2 – plano de trabalho 0,75m.	88
Fig. 61 - Renderização 3D da iluminância do cenário A2 – plano de trabalho 0,75m. .	88
Fig. 62 - Mapa de iluminância obtido para o cenário A2 – plano de trabalho 1,00m.	88
Fig. 63 - Renderização 3D da iluminância do cenário A2 – plano de trabalho 1,00m. .	89
Fig. 64 - Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de verão às 16h para o cenário AN1.	90

Fig. 65 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de verão às 8h00 para o cenário AN1.....	91
Fig. 66 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de verão às 12h00 para o cenário AN1.....	91
Fig. 67 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de inverno às 8h00 para o cenário AN1.....	91
Fig. 68 - Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de inverno às 12h00 para o cenário AN1.....	92
Fig. 69 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de inverno às 16h00 para o cenário AN1.....	92
Fig. 70 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de verão às 08h00 para o cenário AN2.....	93
Fig. 71 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de verão às 12h00 para o cenário AN2.....	93
Fig. 72 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de verão às 16h00 para o cenário AN2.....	94
Fig. 73 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de inverno às 08h00 para o cenário AN2.....	94
Fig. 74 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de inverno às 12h00 para o cenário AN2.....	94
Fig. 75 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de inverno às 16h00 para o cenário AN2.....	95
Fig. 76 - Renderização dos cenários A1 e A2, respetivamente.....	96
Fig. 77 – Renderização do cenário AN1 – Solstício de verão às 8h00, 12h00 e 16h00, respetivamente.....	97

Fig. 78 - Renderização do cenário AN1 – Solstício de inverno às 8h00, 12h00 e 16h00, respectivamente.	97
Fig. 79 - Renderização do cenário AN2 – Solstício de Verão às 8h00, 12h00 e 16h00, respectivamente.	98
Fig. 80 - Renderização do cenário AN2 – Solstício de Inverno às 8h00, 12h00 e 16h00, respectivamente.	99
Fig. 81 - Gráfico de comparação entre a iluminância média (É) para os cenários A e AN nos solstícios de verão e inverno.	99
Fig. 82A – Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário A1 (plano de trabalho: 0,75m).	A2
Fig. 83A – Mapa de iluminâncias para o Cenário A1 (plano de trabalho: 0,75m).	A2
Fig. 84A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário A1 (plano de trabalho: 1,00m).	A3
Fig. 85A - Mapa de iluminâncias para o Cenário A1 (plano de trabalho: 1,00m).	A3
Fig. 86A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário A2 (plano de trabalho: 0,75m).	A4
Fig. 87A - Mapa de iluminâncias para o Cenário A2 (plano de trabalho: 0,75m).	A4
Fig. 88A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário A2 (plano de trabalho: 1,00m).	A5
Fig. 89A - Mapa de iluminâncias para o Cenário A2 (plano de trabalho: 1,00m).	A5
Fig. 90A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN1 no solstício de inverno às 8h00.	A6
Fig. 91A – Mapa de iluminâncias para o Cenário AN1 no solstício de inverno às 8h00.	A7
Fig. 92A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN1 no solstício de inverno às 12h00.	A8

Fig. 93A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN1 no solstício de inverno às 12h00.	A9
Fig. 94A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN1 no solstício de inverno às 16h00.	A10
Fig. 95A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN1 no solstício de inverno às 16h00.	A11
Fig. 96A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN1 no solstício de verão às 08h00.	A12
Fig. 97A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN1 no solstício de verão às 08h00.	A13
Fig. 98A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN1 no solstício de verão às 12h00.	A14
Fig. 99A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN1 no solstício de verão às 12h00.	A15
Fig. 100A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN1 no solstício de verão às 16h00.	A16
Fig.101A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN1 no solstício de verão às 16h00.	A17
Fig. 102A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN2 no solstício de inverno às 08h00.	A18
Fig. 103A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN2 no solstício de inverno às 08h00.	A19
Fig. 104A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN2 no solstício de inverno às 12h00.	A20
Fig. 105A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN2 no solstício de inverno às 12h00.	A21

Fig. 106A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN2 no solstício de inverno às 16h00.	A22
Fig. 107A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN2 no solstício de inverno às 16h00.	A23
Fig. 108A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN2 no solstício de verão às 08h00.	A24
Fig. 109A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN2 no solstício de verão às 08h00.	A25
Fig. 110A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN2 no solstício de verão às 12h00.	A26
Fig. 111A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN2 no solstício de verão às 12h00.	A27
Fig. 112A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN2 no solstício de verão às 16h00.	A28
Fig. 113A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN2 no solstício de verão às 16h00.	A29

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros para projeto de iluminação. Fonte: https://www.aea.com.br/wp-content/uploads/2017/09/AULA-1-Conceitos-Gerais.pdf	18
Tabela 2 – Temperatura de cor e sensação visual correspondente. Adaptado de Montezuma (2018, p. 169).....	24
Tabela 3 - Tipos de fontes de iluminação museográfica. Adaptado de Montezuma (2018, p. 179).....	26
Tabela 4 – Limite de exposição recomendada em termos de horas de iluminância.....	28
Tabela 5 - Elementos da iluminação que influenciam no conforto visual. Adaptado de (Bortolan et al., 2019, p. 79).....	36
Tabela 6 – Aplicação da diferença do LRV na sinalização. Fonte: https://www.arcomodular.com.br/portugues/uploads/Artigos/Sinaliza%C3%A7%C3%A3o%20VI%20-%20Contraste%20Visual%20-%20Linha%20Guia.pdf	41
Tabela 7 - Tipo de luminária quanto à emissão luminosa	49
Tabela 8 - Espaçamento dos pontos da grelha recomendados pela EN 12464-1 (CEN, 2021, p. 16).....	80
Tabela 9 - Espaçamento dos pontos da grelha para o caso de estudo.....	81
Tabela 10 - Locais de reunião pública – Museus, pela EN 12464-1 (CEN, 2021. p. 65).	81
Tabela 11 – Iluminação adequada.	82
Tabela 12 - Valores de refletância da luz (LRV) para a superfície dos materiais internos	83
Tabela 13 - Valores de refletância (LRV) do mobiliário expositivo	83

Tabela 14 – Resumo dos resultados obtidos para o cenário A1 – plano de trabalho	
0,75m	86
Tabela 15 – Resumo dos resultados obtidos para o cenário A1 – plano de trabalho	
1,00m	86
Tabela 16 - Resumo dos resultados obtidos para o cenário A2 – plano de trabalho	
0,75m.	89
Tabela 17 - Resumo dos resultados obtidos para o cenário A2 – plano de trabalho	
1,00m.	89
Tabela 18 - Resumo dos resultados obtidos para o cenário AN1 durante o solstício de verão.....	92
Tabela 19 - Resumo dos resultados obtidos para o cenário AN1 durante o solstício de inverno	93
Tabela 20 - Resumo dos resultados obtidos para o cenário AN2 durante o solstício de verão.....	95
Tabela 21 - Resumo dos resultados obtidos para o cenário AN2 durante o solstício de inverno	95

RESUMO

A presente dissertação de Mestrado em Arquitetura versa sobre a modelação paramétrica para a simulação do desempenho da iluminação natural e artificial no contexto da arquitetura de espaços museográficos.

Dada a complexidade intrínseca dos espaços museográficos, marcada pela multiplicidade de variáveis envolvidas, torna-se imperativo empregar ferramentas que possam auxiliar efetivamente o projeto de arquitetura. A análise de variáveis como os contrastes, o conforto visual, a iluminação dos objetos e o cumprimento das normativas, destaca a necessidade de ferramentas de apoio na gestão desses elementos. Neste contexto, as plataformas BIM emergem como instrumentos indispensáveis, capazes de gerir e analisar as diversas variáveis, permitindo a introdução de melhorias em tempo real ao longo do projeto e facilitando o diálogo entre as diferentes especialidades.

No âmbito específico da iluminação na arquitetura, existem já várias ferramentas, tais como Diva4Rhino[®], DIALux Evo[®] ou ReluxDesktop[®]. Para este trabalho, desenvolvido em ambiente Autodesk Revit[®], a opção foi utilizar um *add-in* próprio de simulação luminotécnica, o ElumTools[®], desenvolvido especificamente para este programa. A efetividade deste *software* foi avaliada através de um caso de estudo centrado na sala de exposição permanente do Centro Interpretativo do Castro de Monte Castelo, desenvolvido na unidade curricular de Projeto III. Para essa avaliação foram estabelecidos dois macro cenários: um exclusivamente com iluminação artificial e outro conjugando a iluminação natural e a iluminação artificial. Após a parametrização e avaliação dos resultados obtidos de iluminância, foram definidos cenários de melhoria à solução inicial para ambas as situações, tendo sempre em consideração tanto a quantidade como a qualidade da luz.

Conclui-se que a implementação destes *softwares* é extremamente simples e intuitiva, possibilitando a aferição em tempo real de diversas possibilidades e a introdução de melhorias na solução inicial, aplicando o cenário que melhor que adequa ao projeto.

Palavras-chave: Arquitetura; Museografia; BIM; Simulação paramétrica; Autodesk Revit[®]; ElumTools[®]; Iluminação natural; Iluminação artificial.

ABSTRACT

The present Master's dissertation in Architecture explores parametric modeling as a means to simulate the lighting performance, both natural and artificial, in the architectural contexts of museum spaces. Given the intrinsic complexity of museum spaces, marked by the multiplicity of involved variables, it is imperative to employ tools which can effectively assist architectural design. The analysis of variables such as contrasts, visual comfort, the lighting of objects and compliance with regulations, highlights the need for tools to support the management of these elements. In this context, BIM platforms emerge as indispensable tools, capable of managing and analyzing the numerous variables, allowing improvements to be made in real time throughout the project and facilitating dialogue between the different specialties.

In the specific field of architectural lighting, there are already various tools available, such as Diva4Rhino[®], DIALux Evo[®] or ReluxDesktop[®]. For this work, carried out in the Autodesk Revit[®] environment, the choice was to use a dedicated luminotechnic simulation add-in, ElumTools[®], specifically developed for this program. The effectiveness of this software was assessed through a case study focused on the permanent exhibition room of the Interpretive Center of Castro de Monte Castelo, developed in the Project III curriculum. For this evaluation, two macro scenarios were established: one exclusively with artificial lighting and another combining natural and artificial lighting. After parameterization and evaluation of the obtained illuminance results, improvement scenarios were defined for both situations, always considering both the quantity and quality of light.

It can be concluded that the implementation of this software is remarkably straightforward and intuitive, making it possible to assess different possibilities in real time and to make improvements to the initial solution by applying the scenario that best suits the project.

Keywords: Museum spaces; natural lighting; artificial lighting; luminotechnical simulation; ElumTools[®]; Autodesk Revit

Lista de siglas e abreviaturas

A – Iluminação Artificial

AN – Iluminação Artificial e Natural

AP - Apêndice

BIM – Building Information Modeling

CIE – Comissão Internacional de Iluminação

cm – Centímetros

E – Iluminância

Ēm – Iluminância média

Ēm,ceiling – Iluminância nas paredes

Ēm,Wall – Iluminância nos tetos

Ēm,z – Iluminância cilíndrica

E_{max} - Iluminância máxima

E_{min} - Iluminância mínima

FAA – Faculdade de Arquitetura e Artes

GDH – Global Digital Heritage

ICOM – International Council of Museums

IES – Illuminating Engineering Society

IFC – Industry Foundation Classes

IRC / Ra – Índice de Reprodução de Cor

IV – Infravermelha

K – Kelvin

kWh – Quilowatt-hora

LED – Light-Emitting Diode

LRV – Valor de Refletância da Luz

Lx – Lux

m – Metros

m² – Metros quadrados

nm – Nanômetros

OLED – Organic Light-Emitting Diode

R – Refletância

R_{UGL} – Classificação unificada de brilho

TC – Temperatura de Cor

U₀ – Uniformidade geral

UV – Ultravioleta

μW/lm – Micro-watts por lúmen

2D – Duas dimensões

3D – Três dimensões

I think light is an active, calculated component of architecture. Lighting should be subordinate to architecture and should enhance the experience of people within the lit space.”

- Martin Lupton, Light Collective

INTRODUÇÃO

Os espaços museográficos estão fortemente ligados à cultura visual, em que a iluminação deve ser devidamente pensada e integrada na Arquitetura, por forma a permitir a clara perceção, interpretação e comunicação dos espaços, obras e conteúdos pelo observador. As diferentes exposições de um objeto à luz resultam em diferentes experiências visuais, pois o sistema ocular traduz os objetos com base na reflexão da luz visível, criando contrastes de luz e sombra, e diferentes graus de brilho, consoante as propriedades óticas dos materiais.

Assim, e tendo em consideração a crescente flexibilidade dos espaços museográficos, que a Museografia atual vem exigindo, este tipo de projetos carece de um crescente cuidado e sensibilidade por parte dos arquitetos, aproximando-os cientificamente do discurso a ter com o engenheiro luminotécnico, sem descuar o conceito inerente ao projeto.

Estes espaços apresentam exigências e requisitos luminotécnicos muito próprios, que se prendem, essencialmente, com a conservação das peças expostas, acuidade visual dos utilizadores e eficiência energética do edifício. Para além destas questões específicas, têm ainda de responder às exigências luminotécnicas de informação, de segurança e de manutenção.

A deficiente iluminação dos espaços interfere não só na acessibilidade comunicacional como também na acessibilidade física, podendo tornar-se uma barreira à perceção dos mesmos. A insuficiência, excesso ou as propriedades intrínsecas à iluminação constitui, à partida, um impedimento à perceção e fruição do espaço para pessoas com menor acuidade visual. Desta forma, deverá ser promovida uma maior harmonização entre luz difusa e luz direta, de acordo com as tarefas a realizar.

Assim, da mesma forma que um equipamento deve ter em consideração os diferentes tipos de visitantes, também as práticas de iluminação devem concretizar-se com base numa abordagem rigorosa e sensível, que alie valores estéticos a princípios técnicos e de inclusão, visando não só a qualidade visual e ambiental, como também a inclusividade. De facto, tem-se observado uma evolução concetual das práticas de iluminação, cada vez mais inovadoras e humanizadas, em que o utilizador passou a figurar como parâmetro essencial.

Conforme referido por Montezuma (2018, p. 223), nos museus portugueses as qualificações dos responsáveis pela iluminação das suas exposições são ora em Engenharia Eletrotécnica ou em Arquitetura. Desta forma, torna-se evidente a importância da multidisciplinariedade na formação dos arquitetos, que devem estar aptos a lidar com diversas áreas, incluindo a luminotecnia. Torna-se essencial que os Arquitetos prestem uma atenção particular à multidisciplinariedade da sua formação e às diferentes saídas profissionais e de prosseguimento de estudos que o curso possibilita.

Neste sentido, a introdução da simulação no processo projetual é de extrema importância, proporcionando a antecipação das diferentes variáveis, através da análise e comparação dos resultados obtidos para diferentes cenários possíveis.

A incorporação de ferramentas paramétricas para a simulação computacional no processo de projeto revela-se, assim, essencial na modelação dos edifícios e na análise da componente visual e técnica da iluminação em Arquitetura, nomeadamente ao nível da valorização do espaço arquitetónico e dos conteúdos expositivos, permitindo envolver o visitante numa experiência fenomenológica integral.

Esta alteração do paradigma da prática projetual, que evoluiu para as plataformas de BIM (e.g. Autodesk Revit[®]), permite antecipar e avaliar o desempenho do edifício em fase de projeto, proporcionando uma melhor qualidade das soluções projetuais.

O método simulativo revela-se profundamente vantajoso no auxílio à tomada de decisões fundamentadas no processo projetual, ao recorrer a uma aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos. Permite igualmente, através da execução de renderizações 3D, a fácil visualização e interação com o modelo virtual do projeto de arquitetura enquanto está a ser elaborado. O Autodesk Revit[®] surge assim como uma das ferramentas BIM mais utilizadas, um programa de última geração, que apresenta maior compatibilidade com as principais ferramentas de simulação luminotécnica (e.g. ElumTools[®]), permitindo uma troca de modelos de informação sem perda ou alteração de dados.

A partir do projeto desenvolvido na unidade curricular de Projeto III para o Castro de Monte Castelo, cujo programa era a realização de um Centro interpretativo, foi selecionada a sala de exposição permanente para posterior ligação com a dissertação de mestrado. A sala de exposição permanente, pela sua condição temporal mais duradoura,

permite projetar o edifício para a acomodação de um espólio cuja natureza já é conhecida, viabilizando a apresentação de uma solução mais estável e de longo prazo.

Embora a iluminação artificial tenha sido priorizada, dada a natureza museográfica do espaço, a escolha de sobrepor a iluminação natural à artificial é justificada pela intenção de permitir aos visitantes manter contacto visual com o exterior, ou seja, a ruína arqueológica do Castro.

Esta abordagem visa estabelecer uma conexão sensorial entre o ambiente interno do espaço expositivo e o contexto histórico e cultural externo, aprimorando assim a experiência única proporcionada pelo Centro Interpretativo.

Para este estudo adotou-se a seguinte metodologia:

1. Consulta e análise crítica de fontes bibliográficas sobre os conceitos-base de iluminação natural e artificial, e especificações técnicas de iluminação de espaços museográficos, com recurso a diferentes repositórios, bem como às publicações da área científica através da biblioteca de conhecimento partilhado b-On.
2. Definição de um quadro concetual, tendo por base o conhecimento adquirido anteriormente, composto por um conjunto de linhas orientadoras para o projeto.
3. Aquisição de competências na utilização de programas paramétricos aplicados à Arquitetura, nomeadamente os programas Autodesk Revit[®], na plataforma BIM, e o *add-in* ElumTools[®].
4. Seleção do caso de estudo (o projeto elaborado na unidade curricular de Projeto III), definição do problema e recolha de dados.
5. Parametização do objeto no Autodesk Revit[®].
6. Integração do modelo no ElumTools[®] para efetuar as simulações para os cenários considerados:
 - 6.1. Avaliação inicial dos valores de iluminância interiores (medidos em lux), nos planos horizontais e verticais, para o Caso 1, conforme as normas e regulamentos aplicáveis, bem como os materiais e luminárias escolhidos (cenário 1);
 - 6.2. Introdução de soluções adicionais de melhoria dos valores de iluminância anteriores (cenário 2, caso 1);
 - 6.3. Introdução da componente da iluminação natural e avaliação dos valores de iluminância (cenário 1, caso 2);

- 6.4. Introdução de soluções adicionais de melhoria (cenário 2, caso 2).
7. Análise e discussão comparativa para os diferentes cenários de projeto, consoante a introdução de soluções de melhoria propostas, de acordo com os dados calculados pelo programa.

Esta dissertação divide-se em duas partes, uma componente teórica e outra prática, onde se procura fazer, primeiramente, uma revisão do Estado da Arte sobre os principais temas a incidir na vertente prática, com respetiva revisão bibliográfica.

O primeiro capítulo faz uma pequena resenha histórica da iluminação na arquitetura dos espaços museográficos.

O segundo capítulo versa sobre as exigências específicas relacionadas à iluminação museográfica, discutindo os seus objetivos, a relevância do conceito e as abordagens tanto para a iluminação natural como artificial. São ainda explorados os requisitos fundamentais e os métodos aplicados para alcançar efetivamente a iluminação museográfica, nomeadamente ao nível da conservação preventiva, do conforto visual e acessibilidade visual.

O terceiro capítulo explora as problemáticas inerentes à execução da iluminação museográfica, focalizando nos aspetos relacionados com a luz e a ambiência, as fontes de luz e luminárias, bem como as composições de luz, e na forma como esses elementos são geridos de maneira a criar a atmosfera desejada. Neste contexto, são analisados os desafios e considerações práticas que envolvem a concretização eficaz da iluminação nos espaços museográficos.

O quarto capítulo introduz algumas ferramentas paramétricas de iluminação ao nível da modelação paramétrica, incidindo particularmente sobre o *add-in* utilizado, o ElumTools® para Autodesk Revit®, e suas funcionalidades, bem como as etapas necessárias ao cálculo das iluminâncias.

O quinto, e último capítulo, apresenta o caso de estudo, nomeadamente os fatores relevantes para a proposta de projeto arquitetónico e parâmetros computacionais iniciais à simulação da iluminação natural e artificial. Utilizou-se o *add-in* para Autodesk Revit® ElumTools® para calcular os valores de iluminância do caso de estudo e introduzir melhorias, em função dos valores de iluminância interiores de referência e opções das arquitetónicas. Com o *output* dos diferentes cenários através da modelação computacional

realizada, é possível analisar e discutir os resultados obtidos e aplicar o cenário que melhor se adequa à forma e função do edifício, satisfazendo as normas aplicáveis (e.g. EN 12464-1:2021 “Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor Work Places”) e o conforto do utilizador.

1. ILUMINAÇÃO MUSEOGRÁFICA

1.1. Resenha Histórica

Até meados do século XVIII não existia uma arquitetura específica para os espaços museológicos, sendo as obras e objetos expostos nos palácios e palacetes do colecionador (em geral, um rei, um nobre ou uma instituição). Os primeiros museus tratavam-se de adaptações de igrejas, de palácios, daí a existência de grandes vãos.

A transformação deste cenário ocorreu nos finais do séc. XVIII e inícios do séc. XIX, com a criação do modelo de museu moderno. Nesse período, desenvolveu-se uma arquitetura específica para os espaços museológicos. Isto ocorreu paralelamente à reconversão de edifícios históricos, estando intimamente ligada à preservação, pesquisa e comunicação das coleções. Houve uma evolução na busca de soluções para uma melhor iluminação das exposições e uma melhor distribuição e estruturação do espaço e das coleções (Colin, 2013, p. 29).

Até ao séc. XIX era privilegiada a iluminação natural, através do uso de claraboias e de iluminação zenital, que permitia uma grande disponibilidade de luz através da iluminação indireta, e até mesmo da abertura de um pátio central que iluminava os pisos inferiores, maximizando o seu uso. Os espaços museológicos dependiam fortemente da luz natural, daí a invenção de soluções que permitissem uma entrada de luz mais difusa, reduzindo o encandeamento e melhorando as condições de visualização do acervo (Drakou, 2019, p. 50).

Antes da introdução da iluminação artificial, em dias de fraca intensidade luminosa, muitos museus, como a National Gallery em Londres, tinham muitas vezes que encerrar, por não haver luz natural suficiente para ver as pinturas. Não obstante, artistas e visitantes entendiam a luz como um componente vivo que alterava a percepção das obras. Assim, muitas pinturas e esculturas foram concebidas originalmente sob a luz do dia, para serem apreciadas em ambientes iluminados naturalmente (Trogenza & Loe, 2009, p. 110). A posterior introdução da iluminação artificial resolveu os desafios relacionados com a visibilidade em condições de baixa luminosidade, mas também trouxe consigo novas considerações sobre como a iluminação artificial pode afetar a percepção do acervo. Essa transição marca uma mudança significativa na forma como os museus abordam a iluminação para otimizar a experiência do visitante e a preservação das coleções.

Em 1879, ocorreu um marco significativo com o advento da luz artificial, impulsionado pela invenção da lâmpada elétrica por Thomas Edison. Essa inovação teve

um impacto profundo nos métodos de iluminação, levando a uma completa reavaliação das práticas existentes. No entanto, até meados do séc. XX, devido ao desconhecimento dos efeitos da iluminação artificial, prevaleceram perspectivas conservacionistas, que visavam somente a conservação do acervo. A situação inverteu-se radicalmente devido à sensibilização para os danos causados pela radiação ultravioleta e pela luz visível, com a total abolição da iluminação natural em espaços expositivos, posição comodista à época dos arquitetos e profissionais de luminotecnica, face aos preços acessíveis da energia.

Entre 1930 e 1950, a Revista Burlington Magazine publicou 13 recomendações para a intensidade de luz nos museus, com base nos estudos e pesquisas realizados na época sobre os efeitos da iluminação na conservação do acervo (Druzik & Eshoj, 2007, p. 52). Algumas dessas recomendações incluíam:

- i. Manter a intensidade da luz direta no nível mais baixo possível para evitar o brilho excessivo que pudesse prejudicar a fruição das peças ou a sua conservação;
- ii. Promover uma iluminação geral dos espaços de forma difusa e uniforme, evitando sombras ou áreas excessivamente iluminadas;
- iii. Utilizar lâmpadas de baixa voltagem para reduzir a produção de calor e minimizar possíveis danos;
- iv. Filtrar a luz ultravioleta para prevenir danos causados pela radiação;
- v. Controlar e filtrar a luz natural, limitando a quantidade de luz solar direta incidente no acervo.

Em 1931, o Museu do Louvre introduziu a iluminação artificial, implementando componentes de luz geral, difusa, dirigida e de realce, sem a presença de sombras.

Em 1945, um relatório da Illuminating Engineering Society (IES) declara que museus que dependem da iluminação natural estão tecnicamente obsoletos (Drakou, 2019, p. 59).

Aliado aos novos conhecimentos da época sobre o funcionamento da visão humana, deu-se primazia à visão por contraste, criando-se ambientes pesados, cansativos ao olho humano. Perdia-se também a atmosfera tão característica dos espaços museológicos, com a eliminação completa da iluminação natural e deficiente instalação elétrica.

Com o desenvolvimento da ciência luminotécnica, foram reinventados os modelos tipológicos de museu do séc. XIX, onde a iluminação lateral e zenital se aliava às novas tecnologias e à democratização dos novos e sofisticados equipamentos de controlo de luminosidade.

De facto, até finais do séc. XX, a iluminação museográfica cingia-se à aplicação das normas técnicas, de boa visibilidade e de conservação preventiva do acervo. No entanto, a partir do último terço do séc. XX, a luz natural passou a ser novamente integrada, recorrendo-se às novas tecnologias de controlo e filtros UV e antirreflexo. A iluminação natural voltou a ser considerada a melhor opção para a fruição artística, pois os componentes de iluminação artificial não conseguiam ainda reproduzir com precisão a riqueza de cores dos objetos. A iluminação incandescente distorcia a perceção das cores, enquanto a iluminação fluorescente modificava os tons de cada cor (Montezuma, 2018, p. 23).

Nas últimas décadas, houve uma maior abertura face ao carácter interdisciplinar da iluminação museográfica, havendo foco na educação e comunicação com o público, a par da evolução científica e tecnológica da área.

2. EXIGÊNCIAS PARA A ILUMINAÇÃO MUSEOGRÁFICA

A iluminação museográfica desempenha um papel crucial na apresentação das peças e otimização da experiência visual, respondendo a aspetos específicos relativos à sensibilidade e exclusividade das características das peças e ambientes.

As exigências para a iluminação museográfica são atualizadas periodicamente consoante os novos avanços técnicos e científicos e abrangem uma série de considerações técnicas, estéticas e de conservação. Assim, nove princípios fundamentais orientam a iluminação museográfica:

- i. Valores de iluminância mínimos (lux) – estabelece a quantidade mínima recomendada de luz que atinge uma superfície para garantir condições adequadas de iluminação;
- ii. Uniformidade geral (U_0) – procura uma distribuição equitativa da luz em determinada área, evitando grandes contrastes entre áreas mais iluminadas e áreas menos iluminadas;
- iii. Controlo de ofuscamento – refere-se às estratégias e dispositivos utilizados para reduzir ou eliminar a luminosidade excessiva ou desconfortável num ambiente;
- iv. Versatilidade da luz – enfatiza a flexibilidade do sistema de iluminação e de controlo;
- v. Fidelidade de reprodução de cores – avalia a capacidade de uma fonte de luz em reproduzir as cores de forma precisa;
- vi. Qualidade visual das cores – destaca a capacidade de uma fonte de luz em realçar ou exibir as cores de forma agradável aos olhos;
- vii. Valorização da arquitetura e do ambiente expositivo – procura realçar as características do espaço e da exposição;
- viii. Relação entre luz natural e artificial – promove a integração adequada, visando o aspeto qualitativo;
- ix. Eficiência energética e conservação do acervo - reflete o aparecimento de sofisticados programas de *hardware* e *software* não só para redução do consumo energético, mas também para implementar novas estratégias de conservação preventiva.

Atender a essas exigências na iluminação museográfica não somente aprimora a experiência do visitante, como também desempenha um papel crucial na preservação do património cultural, garantindo que as peças em exposição sejam apreciadas e protegidas da melhor maneira possível.

2.1. Objetivos da iluminação museográfica

O objetivo primordial da iluminação museográfica é iluminar cada objeto respeitando a sua sensibilidade à luz e tendo em conta a otimização das condições de observação para os visitantes.

A iluminação museográfica consiste numa ferramenta de comunicação, num instrumento da expografia, devendo sempre ter em conta conceitos básicos da semiótica. Visa proporcionar uma experiência de visualização adequada aos objetos expostos, otimizando as condições de observação, sendo igualmente importante ao nível da conservação preventiva, por forma a reduzir ao mínimo os danos provocados pela luz (Ulas, 2015, p. 25).



Fig. 1 – Objetivos gerais da iluminação museográfica. Adaptado de Sylvania (2015:6).

A personalização da iluminação para cada objeto é um aspeto crucial desse processo. A iluminação deve destacar os detalhes específicos de cada peça, evitando sombras indesejadas que possam obscurecer características importantes. Ao assegurar um ambiente visual confortável para os visitantes, a movimentação e a transição entre os espaços é facilitada, melhorando a sua experiência. A orientação/encaminhamento visual nas exposições é fundamental para proporcionar uma experiência envolvente aos visitantes (Locker, 2011, p. 153).

2.2. A importância do conceito

Na iluminação museográfica, o conceito desempenha um papel fundamental na criação de uma experiência significativa e coerente para os visitantes. É responsável pela criação de uma ideia subjacente ao projeto de iluminação, que abrange aspectos estéticos, narrativos e emocionais, bem como os objetivos inerentes à exposição. Essa concepção possibilita aos visitantes compreender uma determinada ordem – um princípio, meio e fim – que guia e enriquece a sua visita. Essencialmente, o conceito na iluminação não visa apenas iluminar os objetos expostos, mas também narrar uma história visual coesa, transmitir emoções e aprofundar a compreensão do conteúdo exposto, através de uma jornada sensorial e intelectual memorável que harmoniza o visual com a narrativa.

Vajão (2015, p. 192) destaca como elementos básicos para a concepção de um projeto de iluminação museográfica “a compreensão da arquitetura dos espaços, na sua constituição construtiva, dimensional e decorativa”.

O conceito assegura que a encenação visual transmita informações importantes sobre o acervo e a sua interpretação, destacando detalhes relevantes e facilitando a compreensão e apreciação das peças. O contexto em que se insere e cerca um objeto ou uma obra influencia a maneira como o percebemos. Esse ambiente tanto pode sugerir uma integração natural, uma harmonia, quanto pode gerar uma tensão que confere significado à peça.

No processo de concepção luminotécnica, deve-se atender às características da exposição, do ambiente, do tipo, natureza e apresentação dos materiais expostos, do regime de funcionamento da exposição e frequência de visitantes esperados. A luz deve ser encarada como um meio de interpretação do conceito expositivo, conforme salientado por Vajão (2015, p. 51).

A iluminação museográfica não é apenas um meio funcional; é uma forma de expressão e deve ser projetada de forma a integrar e realçar os diversos elementos da cenografia. Desde a arquitetura do espaço até ao som ambiente, passando pela narrativa escrita, a paleta de cores e posicionamento estratégico dos objetos, a iluminação desempenha um papel crucial. Uma iluminação bem elaborada não apenas destaca e valoriza os objetos expostos, mas também contribui para a atmosfera, o ambiente e a narrativa do espaço museográfico como um todo.

Os jogos de luz e sombras, os efeitos dramáticos ou subtis de iluminação, permitem a criação de uma atmosfera particular e emotiva, proporcionando uma sensação de unidade e coerência entre os objetos e o espaço expositivo. A iluminação não se limita a iluminar; ela pode criar espaços de contemplação, promover a fruição, destacar áreas interativas ou estabelecer um diálogo visual entre o acervo e o público.

O conceito é desenvolvido a partir de uma experiência fundamentada na observação (ver figura 2). Isso implica a compreensão dos atributos e processos psicofisiológicos envolvidos na percepção visual, e como esses elementos podem ser combinados para desenvolver um conceito de iluminação para um determinado espaço arquitetônico (Cuttle, 2003, p. 115).



Fig. 2 – Da conotação à denotação de uma iluminação no triângulo semiótico. Adaptado de Ezrati (2020, p. 183).

A conceção da iluminação museográfica tem início a partir de um conceito imaginado, fundamentado na experiência e no conhecimento relacionado ao tema da exposição. Esta ideia tem igualmente de ser avaliada pela equipa de museólogos, submetendo-se a um filtro semântico, por forma a garantir que a sua interpretação e significado estejam alinhados com a visão e objetivos da exposição, bem como a linguagem e a mensagem que se deseja transmitir. Este refinamento ajuda a assegurar que a ideia esteja clara, precisa e alinhada com o propósito da exposição antes de avançar para as etapas seguintes de desenvolvimento e implementação. Posteriormente, é avaliada a sua viabilidade material e financeira, bem como a sua compatibilidade com os requisitos

de conservação e segurança. A sua implementação depende assim do nosso conhecimento técnico e das opções tecnológicas disponíveis (Ezrati, 2020, p. 184).

Tabela 1 – Parâmetros para projeto de iluminação. Fonte: <https://www.aea.com.br/wp-content/uploads/2017/09/AULA-1-Conceitos-Gerais.pdf>

“A luz da razão”	“A luz da emoção”
1. Níveis Mínimos de Iluminação (fixados pela norma técnica)	1. Níveis Mínimos de Iluminação definidos na norma são muito baixos e têm pouco significado
2. Boa distribuição da luz (uniformidade)	2. Desuniformidade
3. Boa reprodução de cor	3. Boa reprodução da cor
4. Aparência de cor da luz artificial mais neutra e fria	4. Aparência quente de cor da luz artificial
5. Não ofuscamento	5. Contrastes, relação claro-escuro, luz e sombra.
6. Economia de energia	6. Economia de energia não é um fator determinante
7. Flexibilidade e mutabilidade da luz (sistemas de controlo)	7. Maior flexibilidade e mutabilidade da luz
8. Integração do projeto luminotécnico com o de Arquitetura	8. Integração do projeto luminotécnico com o de Arquitetura

2.3. Iluminação natural, artificial e mista

Atualmente, a iluminação museográfica opera em duas abordagens principais: numa técnica mista de iluminação, combinando luz natural e artificial, ou depende exclusivamente da iluminação artificial.

Nas soluções de iluminação mista, a tonalidade da luz artificial não deve diferir muito da tonalidade média da luz do dia refletida. À medida que a luz artificial se aproxima da temperatura de 5000 K, adquire uma semelhança notável com a luz do dia. Portanto, é aconselhável escolher tonalidades a partir dos 3000 K, simulando a luz da manhã e do fim da tarde. Essa escolha visa proporcionar uma transição suave entre as fontes de luz, evitando contrastes bruscos que possam causar desconforto visual, ao mesmo tempo que respeita o nosso ciclo circadiano. Além disso, é aconselhável que as fontes de iluminação artificial projetem luz nas mesmas superfícies e nas mesmas direções da luz natural, promovendo uma integração harmoniosa (Vajão, 2015, p. 166).

A inclusão da iluminação natural e da iluminação artificial foi central no pensamento de Frank Lloyd Wright aquando do desenvolvimento do projeto do Museu Guggenheim em Nova Iorque. Para Wright, a luz era mais do que uma mera fonte de iluminação, era um elemento fundamental no desenho arquitetónico, uma parte intrínseca e essencial da própria arquitetura. Ele acreditava que a luz desempenhava um papel crucial na definição da atmosfera, expressividade e valorização dos espaços. Uma das estratégias de Wright foi o desenho de uma extensa claraboia em vidro para iluminar o átrio central do museu. Além disso, o deslocamento das rampas, resultado da ampliação do raio da espiral, assegurava que a luz natural alcançasse todos os andares do museu, proporcionando uma iluminação adequada e integrada. Wright propôs um sistema para ajustar os níveis de iluminância da luz natural com base na natureza das obras expostas. Ele defendia o uso da iluminação artificial somente quando necessário, garantindo que a luz natural fosse a principal fonte sempre que possível. Além disso, incorporou dispositivos de controlo para regular a intensidade luminosa, evitando excessos quando os níveis de luz natural excediam as necessidades. Essa abordagem meticulosa demonstra a preocupação de Wright não apenas com a presença da luz, mas também com a qualidade e gestão adequada desse elemento crucial no contexto do museu.



Fig. 3 – Museu Guggenheim, Frank Lloyd Wright. Fonte: <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/21.250/8018>

Os espaços museográficos podem empregar duas vertentes de iluminação natural – zenital ou lateral –, de forma conjunta ou isoladamente.

A luz zenital pode assumir duas formas distintas: direta ou indireta, dependendo da forma como é direcionada e controlada. A primeira entra no espaço expositivo de forma direta, por aberturas no teto, sem obstruções significativas. Por outro lado, a iluminação zenital indireta é filtrada ou redirecionada de alguma forma para criar uma distribuição luminosa mais difusa e suave no espaço de exposição. Essa abordagem é frequentemente adotada quando o objetivo é evitar sombras e contrastes acentuados, de modo a criar uma atmosfera uniforme e proteger as peças em exposição contra danos causados por radiação solar direta ou calor excessivo.

A maior parte dos museus opta por bloquear a entrada direta da luz natural, principalmente pela dificuldade em controlá-la e em regular a sua intensidade luminosa e de TC, de acordo com as necessidades de conservação. Não obstante, é possível alcançar um equilíbrio entre a preservação do acervo e a utilização adequada da luz natural, através da implementação de soluções ativas e passivas que procuram controlar a intensidade da luz, do calor e a radiação UV (ARUP, 2019, p. 8).

Existem diversas formas de controlo de luminosidade, nomeadamente filtros UV, persianas ou estores, telas microperfuradas ou cortinas em pano-cru. Os filtros, preferencialmente aplicados pelo interior, são constituídos por finas películas que absorvem praticamente todos os raios UV, reduzindo a radiação em 99%, bem como a transmissão térmica e de luz visível (Sousa et al, 2007, p. 99). É, contudo, preciso ter em consideração a fotodegradação dos filtros, que faz com que diminua a proteção aos raios UV.

A luz natural desempenha um papel fundamental na regulação do ritmo circadiano do corpo humano, atuando como um estímulo para o relógio biológico (ver figura 4). No entanto, as características dinâmicas e mutáveis da luz natural tornam desafiador o seu uso nos espaços museográficos, pois a luz do dia compreende tanto a luz direta incidente do sol quanto a luz solar dispersa por partículas na atmosfera.



Fig. 4 – Funcionamento do ciclo circadiano. Fonte: <https://www.emporioluz.com.br/blog/temperatura-de-cor-nosso-organismo-e-os-ambientes/>

A qualidade e a quantidade de iluminação natural nos espaços museográficos são influenciadas por diversos fatores. As condições temporais e meteorológicas desempenham um papel importante, uma vez que a presença do sol, das nuvens, a estação do ano e até a hora do dia, afetam a quantidade e a direção da luz natural que penetra no espaço. Em dias ensolarados, a incidência de luz é mais intensa, enquanto em dias nublados a intensidade luminosa é menor. A Temperatura de Cor num dia de céu limpo pode variar entre 20.000K e 2.500K ao pôr-do-Sol (Karlicek et al, 2017, p. 725).

Um dos fatores que influencia a luz natural são as diferentes épocas do ano e do dia, assim como as condições atmosféricas. Compreender a sua variabilidade em termos de intensidade, direção e distribuição é essencial para aproveitarmos ao máximo os seus benefícios em termos de iluminação, estética e bem-estar. Durante o inverno, há menos horas de luz natural devido à inclinação do eixo da Terra em relação ao Sol. Os dias são mais curtos e as noites mais longas, resultando em menos horas de luz durante o dia. Durante o verão ocorre o oposto. Os dias são mais longos, as noites mais curtas,

proporcionando mais horas de luz natural. O próprio microclima da região também pode interferir na quantidade e intensidade da luz natural disponível.

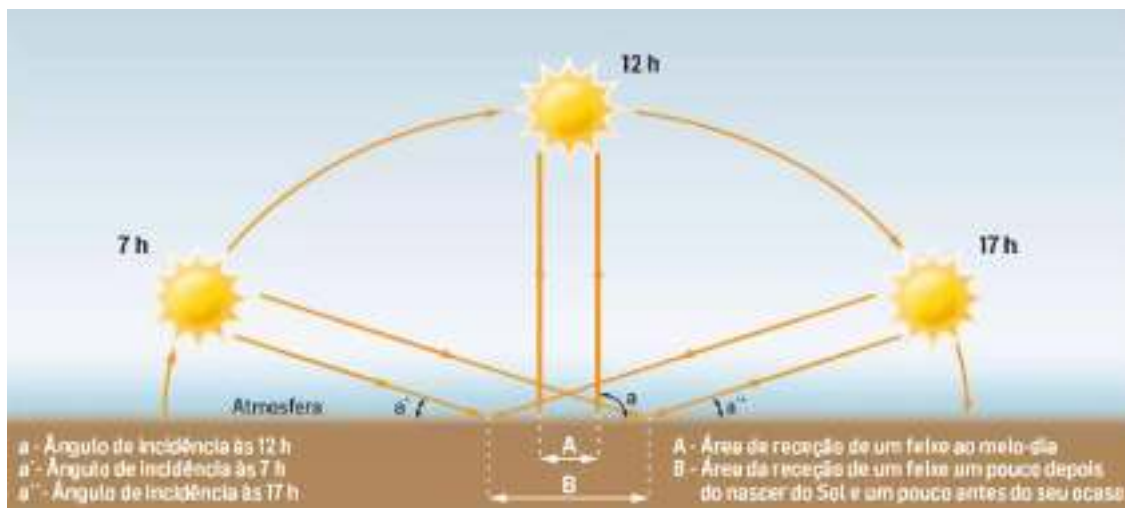


Fig. 5 – Variação do ângulo de incidência e da área recetora dos raios solares ao longo do dia natural, como consequência do movimento diurno aparente do sol. Fonte: <https://pt.slideshare.net/CarvalhoCC/variabilidade-da-radio-solar-geral>

O próprio desenho do edifício é crucial – a quantidade e o tipo de aberturas, como janelas e claraboias, a sua localização e orientação cardinal. O desenho e escolha dos vãos deve ser determinado por requisitos luminotécnicos e de sustentabilidade, desde cedo na conceção arquitetónica. Preferencialmente, deve optar-se por iluminação zenital ao invés de iluminação lateral, e a área envidraçada deve ser cuidadosamente considerada, pois a quantidade de luz admitida é proporcional a essa área. Deve-se assim ter cuidado com luminâncias das vidraças e das paredes refletoras exteriores.

De facto, a envoltória exterior do edifício representa um papel relevante. Elementos como árvores, edifícios adjacentes e outros obstáculos podem influenciar significativamente a quantidade de luz natural que atinge o edifício. Esses elementos podem agir como barreiras, bloqueando ou filtrando a luz, impactando tanto a intensidade quanto a qualidade da iluminação natural disponível no interior do espaço museográfico.

2.4. Princípios, tipologias e métodos da iluminação museográfica

As exposições podem ser categorizadas em dois tipos: permanentes (ou de longa duração) e temporárias. Enquanto a exposição permanente representa o núcleo essencial da instituição, com foco numa coleção própria, a exposição temporária traz uma renovação constante ao espaço, apresentando novos temas, obras ou coleções por um período mais breve. Essa diferenciação não reflete apenas diferentes objetivos, mas também se traduz em requisitos distintos no que diz respeito à iluminação e manutenção técnica.

No caso da exposição permanente, há a necessidade de um planejamento de iluminação mais estável e duradouro, visando destacar de maneira consistente as peças centrais da coleção ao longo do tempo. Por outro lado, nas exposições temporárias, a flexibilidade torna-se mais imperativa, exigindo a capacidade de realizar ajustes rápidos para se adaptar às diferentes obras e temas apresentados (Karlicek et al, 2017, p. 722).

Diversas abordagens podem ser adotadas para conferir flexibilidade a uma instalação. No caso de luminárias embutidas, estas podem ser ligadas ou desligadas consoante as necessidades de iluminação dos diferentes usos do espaço. Outra alternativa são as luminárias direcionais, com uso de refletores. Não obstante, o maior grau de flexibilidade é obtido com luminárias em calhas e estruturas suspensas, que permitem a reorganização conforme necessário para atender os requisitos específicos da exposição.

Na iluminação museográfica devem ter tido em conta alguns parâmetros funcionais, nomeadamente a Temperatura de Cor (TC) e o Índice de Reprodução de Cores ou Índice de Rendimento Cromático (IRC).

A Temperatura de Cor refere-se à aparência visual da luz emitida por uma fonte de iluminação e é um parâmetro essencial para a qualidade e o conforto da iluminação. Medida em Kelvin (K), determina se a luz parece mais “quente” (amarelada) ou mais “fria” (azulada) (ver na figura 6). Importante ressaltar que não se refere ao calor físico de uma fonte luminosa, mas sim à faixa de frequências no espectro eletromagnético que a luz emitida contém. A temperatura de cor quente varia entre 2700K e 3000K e cria uma atmosfera aconchegante e íntima. A temperatura de cor neutra (3500K e 4500K) oferece uma luz branca natural, adequada para a maior parte dos espaços museográficos. Já a

temperatura de cor fria (5000K ou mais) produz uma luz branca intensa, devendo ser usada em espaços onde a precisão de cor é fundamental.

Tabela 2 – Temperatura de cor e sensação visual correspondente. Adaptado de Montezuma (2018, p. 169).

Temperatura de Cor (Kelvin)	Tonalidade	Efeitos associados
Até 3.000K	Branco alaranjado (quente)	Íntimo, amistoso, pessoal
De 3.000K a 5.000K	Branco (intermédio)	Convidativo, limpo, confortável
Superior a 5.000K	Branco azulado (frio)	Brilhante, alerta, cores exatas



Fig. 6 – Temperatura de Cor. Fonte: <https://curatorial.com/insights/lighting-art-with-museum-expertise>

A variação da intensidade luminosa e de TC confere um ambiente visual dinâmico e impactante. Essa variação da luz e das tonalidades ao longo do dia cria uma experiência visual em constante evolução, influenciando significativamente a nossa percepção e interação com o espaço circundante.

A implementação da iluminação artificial proporciona um controlo preciso sobre os níveis de iluminância e de TC, garantindo os níveis recomendados de iluminância (lux) para o grau de sensibilidade dos diferentes objetos à luz, consoante as normas de conservação preventiva (Montezuma, 2018, p. 171).

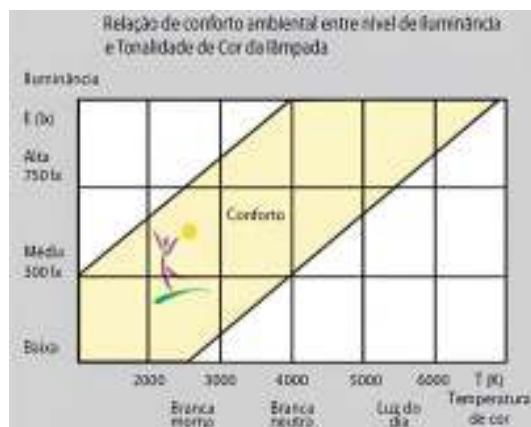


Fig. 7 - Relação de conforto ambiental entre nível de iluminância e tonalidade de cor da lâmpada. Fonte: https://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed39/ed_39%20-%20AT%20Museu.pdf

O sistema visual humano evoluiu para ser altamente sensível à luz do dia, respondendo a uma gama de cores e comprimentos de onda presentes na faixa de luz visível (entre os 400 e os 700 nm) (ver figura 8). Em contraste, as fontes de luz artificiais, por sua vez, priorizaram o contraste e eficiência luminosa, não oferecendo um espectro tão completo quanto a luz natural. Conseqüentemente, o nosso sistema visual enfrenta desafios contínuos para equilibrar o espectro de cores, o que pode levar à fadiga visual, especialmente ao apreciarmos obras de policromia muito rica (Karlicek et al. 2017, p. 731).

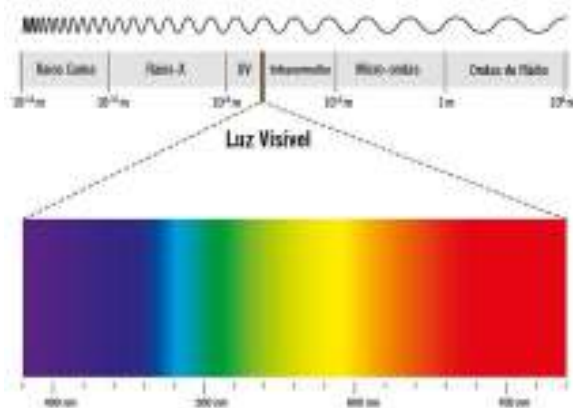


Fig. 8 – Espectro das ondas eletromagnéticas. Fonte: <https://www.pinterest.pt/pin/584693964099598020/>

O IRC é uma forma de comparar a capacidade de reprodução de uma fonte de luz em relação a uma fonte de luz natural. A luz natural é única e visualmente preferível, sendo considerada o padrão ideal de reprodução de cores, pelo que IRC da luz artificial deve ser o mais próximo possível da luz natural. É expresso numa escala de 0 a 100, sendo

que um IRC mais alto indica uma melhor reprodução de cores. Para a iluminação museográfica, um IRC alto é imprescindível (sempre acima de 90) (Montezuma, 2018, p. 173). Um IRC alto garante uma reprodução das cores de forma fiel, preservando a qualidade estética dos objetos exibidos e facilitando a compreensão e apreciação dos mesmos. O IRC torna-se particularmente importante se os níveis de lux estão a ser mantidos relativamente baixos por questões preventivas, permitindo a apresentação das verdadeiras cores do objeto.

Tabela 3 - Tipos de fontes de iluminação museográfica. Adaptado de Montezuma (2018, p. 179).

Tipo de fonte	Fluxo luminoso (lúmenes)	Watts	Temperatura de Cor (Kelvin)	Índice de Reprodução de Cor (IRC)	Vida média (horas)	
Natural	Nascer e pôr-do-sol	-	3.000 K – 6.500 K	100	-	
	Dia de sol	-	6.400 K – 6.900 K	100	-	
	Dia nublado	-	10.000 K – 26.000 K	100	-	
Artificial	Halogéneo (230)	1-1000lm 22.000lm	75W 1.000W	2.700 K	100	2.000 – 4.000h
	Halogéneo (12V)	320lm 3.200lm	20W 100W	2.700 K	100	5.000h
	Fluorescente	1.750lm 5.200lm	24W 58W	3.000 K – 6.500 K	80-89	7.000h – 15.000h
	Fluorescente compacta	600lm 2.800lm	9W – 36W	2.700 K – 5.000 K	80-89	7.000h – 12.000h
	LED	25lm 3.200lm	1,7W 42W	1.700 K – 10.000 K	70-85	10.000h – 80.000h



Fig. 9 - Exemplo de reprodução de cor. Adaptado de Sylvania (2015, p. 22).

2.5. A Iluminação museográfica e a conservação preventiva

A iluminação, juntamente com a temperatura e a humidade relativa, é uma das três variáveis responsáveis pela correta conservação do acervo. Todas as fontes de iluminação geram calor, o que pode influenciar a humidade relativa do ar, bem como o teor de unidade dos objetos. Esse fenómeno deve ser controlado e gerido com cuidado em ambientes museológicos, uma vez que as flutuações da humidade relativa e no teor de humidade têm consequências negativas para a preservação a longo prazo dos objetos em exposição.

Ao iluminarmos um objeto, fornecemos uma fonte contínua de energia. Essa energia é recebida pela superfície do objeto e interage com as moléculas presentes nessa região. Como resultado, parte da energia pode ser refletida, enquanto outra parte é absorvida pelo objeto, podendo resultar em várias reações químicas. Existem dois processos pelos quais a luz pode causar essa degradação, a saber: reações fotoquímicas e efeito térmico da radiação.

A conservação preventiva visa proteger os objetos de valor cultural e artístico, evitando danos causados por fatores ambientais, entre eles a iluminação inadequada. Estes danos são cumulativos, progressivos e irreversíveis. Assim, não é somente a intensidade da luz num momento específico que é relevante, mas sim a quantidade de luz à qual os objetos foram expostos ao longo de um período de tempo.

A redução da intensidade da iluminação em objetos sensíveis pode estender o período de exposição, seguindo a lei da reciprocidade, desde que seja feito de maneira equitativa. Contudo, é imperativo respeitar os valores limites recomendados de ultravioletas e de iluminância (Sousa et al., 2007, p. 56).

O objetivo principal da conservação preventiva é minimizar a exposição à luz, protegendo a integridade e preservação dos objetos. Desta forma, existem algumas diretrizes e boas práticas a seguir para garantir a preservação dos objetos expostos. Nas áreas de depósito ou reservas expositivas deve eliminar-se a iluminação natural (devido à nociva radiação UV) e reduzir-se ao máximo a presença de iluminação artificial, mantendo-a desligada sempre que possível e iluminando-se somente a área de trabalho, mantendo as restantes sem iluminação. A localização estratégica das luminárias enfiamento dos corredores, em vez de sob as estantes, é uma prática eficaz para salvaguardar o acervo.

Os raios UV causam danos cinco vezes superiores aos danos causados pela luz visível, razão pela qual a comunidade museológica adotou um valor limite de 75 $\mu\text{W}/\text{lm}$ para a radiação UV (Homem, 2007, p. 230). Deve optar-se sempre por lâmpadas com baixa emissão de UV e IV, seguindo os valores limites recomendados de exposição aos raios ultravioletas e a intensidade de luz (lux) e, se possível, optar por valores mais baixos.

Tabela 4 – Limite de exposição recomendada em termos de horas de iluminância.

Grau de sensibilidade dos objetos à luz	Níveis recomendados de iluminância (lux)		Níveis aconselhados de UV ($\mu\text{W}/\text{lm}$)	Níveis de temperatura de Cor (K)	Tonalidade	Fonte de luz recomendada
Materiais altamente sensíveis à luz: aguarela, têxteis, peles, sedas, minerais	<50 lux	50.000 lux hora/ano*	<30	2700K	Quente	Apenas artificial
Materiais moderadamente sensíveis à luz: pintura a óleo, madeira, cabedal, marfim, plásticos	<200 lux	480.000 lux hora/ano**	<75	3.000-4.000K	Quente - Neutro	Natural e/ou artificial
Materiais pouco sensíveis à luz: pedra, metal, vidro, cerâmica	<300 lux	(Dependente das situações da exposição)	<75	4.000K	Neutro	Natural e/ou artificial

* Aproximadamente (50 lux) x (8 horas por dia) x (125 dias por ano)

** Aproximadamente (200 lux) x (8 horas por dia) x 300 dias por ano)

Nota: Toda a radiação ultravioleta (abaixo de 400 nm) deve ser eliminada.

Quando um objeto é sensível à luz, é recomendável diminuir a componente de luz difusa e dar prioridade à luz de realce, que é direcionada especificamente para o objeto, por forma a criar contrastes visuais mais marcantes. A relação entre a sensibilidade de um objeto à luz e a quantidade de luz difusa é, assim, inversamente proporcional.

É recomendado ainda usar sistemas de controlo de iluminação, como *dimmers* e filtros UV no equipamento expositivo, para ajustar a intensidade luminosa de acordo com as necessidades de cada objeto. Estes últimos, além de reduzirem a radiação UV quase a integralmente, minimizam a transmissão do calor e da luz visível (ver figura 10).

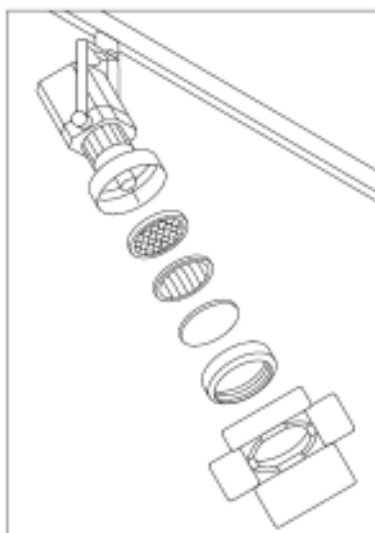


Fig. 10 - Luminária equipada com filtros para reduzir as radiações UV e IR, e telas antiofuscamento. Fonte: Ganslandt, R. & Hofmann, H. (2005, p. 239).

Deve evitar-se a iluminação direta, devendo-se optar por uma iluminação indireta e bem distribuída, minimizando a formação de sombras indesejadas e pontos de luz concentrados.

Por forma a manter um ambiente interno que projeta e preserve a integridade das peças, os espaços museográficos apresentam um elevado consumo energético. A eficiência de uma instalação depende, em grande parte, da escolha das lâmpadas. Neste contexto, as lâmpadas Light Emitting Diode (LED) representam uma alternativa altamente viável, visto que requerem apenas de 5 a 20% da eletricidade necessária a uma lâmpada de halogéneo ou incandescente para produzir o mesmo nível de luminosidade e cerca de metade da eletricidade necessária por uma lâmpada fluorescente. Além disso, as lâmpadas LED emitem menos calor e radiação ultravioleta em comparação com outras fontes de luz. Adicionalmente, a durabilidade das lâmpadas LED, com uma média de aproximadamente 50.000 horas, contribui para a redução dos custos de substituição e manutenção.

A tecnologia Organic Light-Emitting Diode (OLED) é uma variação do LED, apresentando moléculas de carbono na sua composição. Protótipos avançados como o K4 OLED estão a ser executados em sinalética de emergência. Os OLED apresentam a particularidade de não emitirem UV nem IV, tornando-os adequados para iluminar objetos sensíveis. Além disso, apresentam diversas vantagens, embora ainda não estejam completamente estabilizados, nomeadamente:

- i. Superfície de iluminação homogênea – emitem uma luz regular e difusa, proporcionando uma iluminação uniforme em toda a superfície, eliminando áreas de sombra;
- ii. Ausência de ofuscamento – ao contrário de algumas fontes de luz tradicionais, os OLED não geram ofuscamento, o que contribui para um ambiente visual mais confortável;
- iii. Não necessita de sistemas para difusão de luz - diferente de outras tecnologias, não exigem sistemas adicionais para difundir a luz de forma uniforme;
- iv. Baixo consumo de energia – consomem menos energia em comparação com algumas fontes de luz convencionais, o que os torna uma escolha mais eficiente e sustentável;
- v. Energia ecológica limpa - a maior parte dos resíduos dos OLED pode ser reaproveitada, o que os torna uma fonte de energia ecológica e de baixo impacto ambiental;
- vi. Luz suave e brilho controlado – oferecem uma luz suave, sem sombras perceptíveis e com controle preciso do brilho.

Atualmente, os OLED têm um custo elevado devido à fase inicial de pesquisa e desenvolvimento. No entanto, espera-se que evoluam tecnologicamente a médio e longo prazo, o que provavelmente resultará numa redução de custo e numa maior adoção desta tecnologia inovadora.

De acordo com Vajão (2015, p. 64) existem quatro categorias de espaços de exibição, classificadas de acordo com o nível de controle ambiental:

- i. Categoria um – os espaços têm um controle ambiental mínimo; a luz diurna é possível, e o ambiente não é especialmente adaptado para proteger as obras ou artefactos; este nível de controle é geralmente utilizado em contextos onde a preservação não é uma prioridade absoluta;
- ii. Categoria dois – os espaços oferecem um nível moderado de controle ambiental, para artefactos menos sensíveis a moderados; as salas de exposição são versáteis, podendo adaptar as suas condições conforme necessário para diferentes tipos de exposições; permite alguma luz diurna e admite níveis de iluminação de 150 a 300 lux;

- iii. Categoria três – os espaços de exposição possuem um controlo ambiental mais rigoroso; são adequados a artefactos sensíveis a variações de temperatura, humidade e luz; admite um mínimo de luz diurna e níveis de iluminação até 300 lux;
- iv. Categoria quatro – na categoria mais alta de controlo ambiental, os espaços implementam um rigoroso controlo sobre as condições ambientais; projetados para abrigar artefactos altamente sensíveis a qualquer variação ambiental; nestes espaços, a preservação e proteção das peças expostas são de extrema importância, exigindo um controlo preciso das condições ambientais; não permite a entrada de luz natural e o nível de iluminação não pode passar 100 lux.

A colaboração entre o museólogo, o designer, o arquiteto e o engenheiro luminotécnico é essencial para o sucesso da aplicação de planos de prevenção eficazes. A abordagem interdisciplinar permite integrar conhecimentos especializados de diversas áreas para criar ambientes que atendam tanto às necessidades estéticas e de visualização quanto às exigências de preservação.

Atualmente, esta colaboração é facilitada pelo uso de programas de iluminação, representando um avanço significativo nesse processo. Estas ferramentas permitem executar simulações e modelações em ambiente virtual, sendo possível antecipar e corrigir possíveis erros de iluminação antes do projeto ser executado (Montezuma, 2018, p.188). Isso economiza tempo e recursos, garantindo que a iluminação é otimizada para alcançar os objetos desejados. Além disso, a visualização virtual facilita a comunicação entre os membros da equipa, garantindo que todos partilham uma compreensão clara das intenções do projeto.

2.6. Conforto visual

O conforto visual refere-se à condição em que uma pessoa pode ver com clareza e facilidade num determinado ambiente, sem sentir fadiga ou desconforto nos olhos. É a sensação de bem-estar visual que resulta de um ambiente adequadamente iluminado, onde a luz é distribuída de maneira eficiente e sem causar ofuscamento, sombras incômodas ou contrastes extremos.

Para maior conforto visual, deve-se promover uma harmonização entre luz difusa e luz dirigida, para produção de contrastes. Os ambientes iluminados somente com luz difusa são monótonos e pouco apelativos, pela inexistência de sombras. Não obstante, o excesso de contrastes, gerados exclusivamente pelo uso de luz dirigida, torna os ambientes cansativos e desconfortáveis. De facto, o sistema biológico humano necessita de doses variáveis de luz direta para o seu bem-estar. Assim, é necessário prever uma iluminação uniforme de iluminância numa determinada área, por forma a controlar os excessos de brilho e sombra e reduzir o desconforto visual. O brilho em excesso pode ser incômodo ou até mesmo incapacitante.

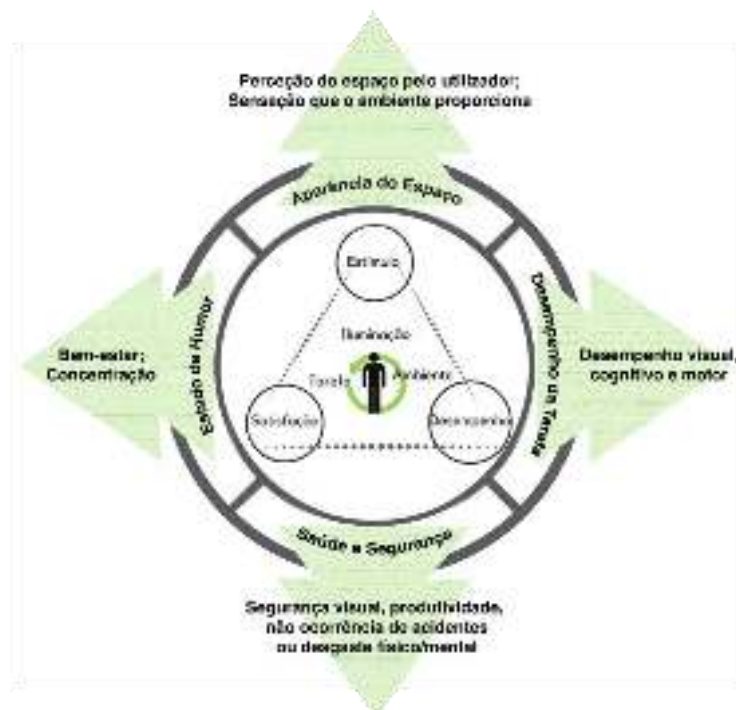


Fig. 11 – Modelo de conforto visual. Adaptado de Bortolan et al. (2019, p. 81)

Um correto nível de iluminação procura garantir o contraste adequado à tarefa a realizar e o controlo das refletâncias, uma vez que a percepção de contraste entre um objeto e o pano de fundo aumenta com a luminosidade circundante. A refletância é a relação entre a quantidade de luz refletida por uma superfície em relação à quantidade de luz incidente sobre ela. As suas propriedades dependem de vários fatores, incluindo o material da superfície, o seu estado físico e químico (por exemplo: a presença de humidade), a sua textura (se o material é rugoso ou não) e o ângulo de incidência da luz.

Usualmente, em ambientes museográficos, recomenda-se uma proporção de contraste de 6/1 entre os objetos mais iluminados e os menos iluminados no campo de visão (Sylvania, 2015. p. 10).



Fig. 12 – Alto contraste e baixo contraste. Adaptado de: <https://www.klmighting.com/led-track-light-museum/>

O conforto visual está relacionado com diversos fatores, que influenciam diretamente a forma como os nossos olhos interpretam e se adaptam ao ambiente visual, nomeadamente a quantidade de luz, a sua distribuição, o contraste, a ausência de ofuscamento, a qualidade da luz, a ergonomia e a adequação às atividades que ocorrem no espaço. Quando estas condições são atendidas, os indivíduos podem desfrutar de uma visão nítida, clara e sem esforço, facilitando a percepção de detalhes, objetos e ambientes.

Embora as fontes de luz difusa se possam assemelhar à luz diurna na sua distribuição, estas não reproduzem todas as características e qualidades específicas da luz solar natural. A luz diurna varia ao longo do dia em termos de intensidade, temperatura

de cor e direção, o que não é totalmente replicado pelas fontes de luz artificial difusas. As fontes de luz difusa procuram simular a luz diurna. Estas são projetadas por forma a fornecer uma distribuição ampla, uniforme e suave da luz, sem criar sombras acentuadas ou pontos de luz diretos.

Vajão (2015, p. 78) propõe que, como regra, se assuma como contribuição máxima da luz difusa ambiente aproximadamente 1/2 a 1/3 da incidência total de luz permitida. A criação de uma atmosfera com iluminação difusa pode ser alcançada por meio de iluminação artificial exclusiva ou integrando-a com a luz natural, por meio de aberturas zenitais. Estas aberturas devem ser concebidas de modo a evitar a incidência direta da luz solar e devem ser complementadas por tetos opacos ou translúcidos, com os níveis de transmissividade desejáveis, para otimizar a difusão da luz.

O olho humano apresenta uma notável capacidade de adaptação à variação de luminosidade, permitindo-nos ver em ambientes com diferentes níveis de luz, desde a luz mais ténue, como a luz da lua (1 lux), até à intensa luz solar (100.000 lux), Este ajuste é eficaz dentro do nosso campo visual, abrangendo 140° de amplitude de visão no plano vertical, 180° no plano horizontal e com uma capacidade de alcance de até 11 km, extensão máxima que conseguimos visualizar com acuidade (Vajão, 2015, p. 10). É através da luz que o olho capta imagens do ambiente que nos rodeia, através de um estímulo visual, e as transmite ao cérebro, que por sua vez traduz a informação.

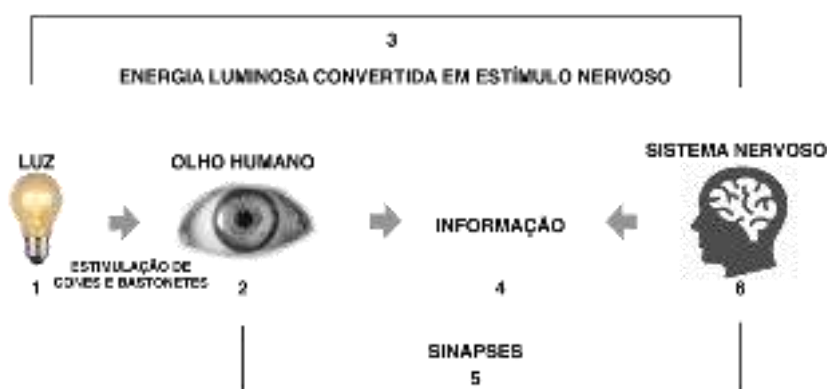


Fig. 13 - Representação esquemática do sistema visual. Desenho elaborado pela autora. Adaptado de Bortolan et al. (2019, p. 69)

De facto, é impossível compreender a iluminação museográfica sem primeiro compreender a luz e a sua interação com as diferentes texturas e materiais (Miller & Miller, s.d.. p. 2). Os diferentes materiais refletem, absorvem e filtram a luz de forma distinta, influenciando a qualidade cromática e, em algumas situações, criando sombra sobre si mesmos. A projeção das sombras deve ser algo tido em conta, para que estas não se projetem também nos elementos vizinhos, sobrepondo-se e prejudicando a sua leitura e observação.

As ciências dos metais classifica os tipos de materiais em sete grupos: metais, cerâmicas, polímeros orgânicos, compósitos, semicondutores, biomateriais e materiais avançados (Montezuma, 2018, p. 85). Estes apresentam diferentes propriedades óticas na sua interação com a luz, nomeadamente: reflexão (ocorre quando a luz incide numa superfície e é “devolvida” na direção oposta), absorção (quando a luz é absorvida pelos átomos ou moléculas do material, convertendo-a em energia térmica), refração (quando a luz atravessa uma fronteira entre dois materiais com diferentes índices de refração, resultando numa mudança da direção da luz) e transmissão (capacidade de um material permitir que a luz o atravesse sem ser absorvida ou refletida significativamente).

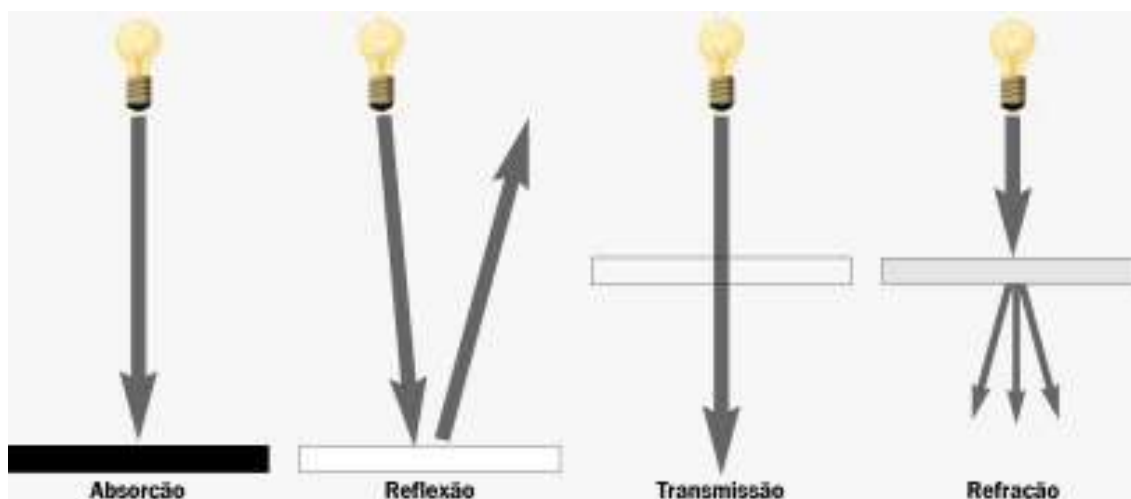


Fig. 14 – Absorção, reflexão, transmissão e refração da luz. Adaptado de: <https://sites.ifi.unicamp.br/mbonanca/files/2019/11/tema4L.pdf>

Esta sensibilização é imprescindível para uma iluminação expositiva de qualidade e para uma boa legibilidade visual, especialmente ao apresentar peças que provoquem a sensação de brilho, como o vidro e o metal. A sensação visual de brilho não depende somente da composição material do objeto, mas também do tipo de luz que incide sobre

ele, o ângulo de incidência da luz e a distância e ângulo de visão do observador (Montezuma, 2018, p. 87). Não obstante contribuir para o reconhecimento de certos materiais, a forte sensação de luminosidade visual pode anular a percepção da cor ou dos detalhes do objeto, reduzindo a sua visibilidade e afetando a atenção do observador.

Tabela 5 - Elementos da iluminação que influenciam no conforto visual. Adaptado de (Bortolan et al., 2019, p. 79)

Elementos	Sintomas
Ausência de iluminação natural	Dificuldade de orientação temporal; necessidade biológica de informação visual.
Excesso de iluminação natural	Variações de luz, brilho e cor impactam no conforto visual.
Iluminação artificial: excesso de contrastes, ofuscamento ou ausência de informação visual (iluminação branca uniforme)	Dor de cabeça, dificuldade de leitura, <i>stress</i> e ansiedade.
Baixa iluminância	<i>Stress</i> visual e desconforto.
Iluminação artificial: alta ou baixa luminosidade	Alta luminosidade: desconforto visual, brilho e ofuscamento. Baixa luminosidade: tensão nos olhos, desconforto, fadiga. Alterações no ritmo circadiano.
Iluminação natural: luminosidade baixa	Sono e insatisfação.
Iluminação de adaptação	Aumenta a acuidade visual, sensibilidade aos contrastes e eficiência nas funções oculares.
Uniformidade da luz	Melhora as condições visuais e evita contrastes.
Brilho excessivo	Fadiga, desconforto, perda da visibilidade e desempenho

2.7. Iluminação museográfica para utilizadores com reduzida acuidade visual (ou incapacidade sensorial)

Somente uma percentagem limitada de pessoas com incapacidade visual é totalmente cega. Muitas vezes não é possível realizarem uma visita espontaneamente, pela falta de acessibilidade dos edifícios e pela sua iluminação inadequada. Não basta, contudo, prever diferentes formatos de comunicação. De facto, a maioria das pessoas com deficiência prefere visitas que não estejam estritamente adaptadas, onde o modo de comunicação não se limite exclusivamente à sua condição. A verdadeira acessibilidade envolve criar um ambiente inclusivo que permita que todas as pessoas, independentemente das suas capacidades, possam participar plenamente. Nesse sentido, a colaboração próxima entre arquitetos e engenheiros luminotécnicos é crucial para criar ambientes arquitetónicos inclusivos e acessíveis.

De acordo com o Conceito Europeu de Acessibilidade, a principal falta de acessibilidade das pessoas com menor acuidade visual reside, principalmente, em questões relacionadas à orientação e à falta de informação.

A iluminação de um edifício interfere na acessibilidade do mesmo, afeta o acesso ao espólio e a sua interpretação. A iluminação deve ser suficiente e adequada, guiando inequivocamente o percurso a seguir.

O IRC da luz artificial nos espaços museográficos é de extrema importância, não apenas para garantir a beleza estética das exposições, mas também para a segurança e acessibilidade dos visitantes, especialmente aqueles com necessidades visuais específicas, como idosos ou pessoas com menor acuidade visual. Uma reprodução precisa das cores facilita a compreensão do ambiente e dos objetos, evitando acidentes e proporcionando uma experiência mais acessível e inclusiva.

A idade dos visitantes e níveis de luminância têm um grande impacto na experiência de visita. Para pessoas com menor acuidade visual deve promover-se uma maior luminância, sem provocar ofuscamento, e uma distribuição da iluminação uniforme, evitando-se mudanças bruscas de luminosidade e a criação de sombras (que podem ser confundidas com obstáculos). O interior dos museus deve permitir que as pessoas se desloquem livremente, sem existirem constrangimentos para as pessoas com mobilidade condicionada. Em áreas expositivas necessariamente escuras é necessário dispor de um corrimão ao longo da sala, por forma a proporcionar segurança aos visitantes.

Também a utilização de luminárias direcionadas pode facilitar a visualização e compreensão das peças, ao destacar pontos específicos das exposições e direcionar a atenção dos visitantes para os detalhes importantes.

É necessário ter particularmente em atenção ao conforto visual nas áreas de acesso e distribuição. Os espaços de circulação devem apresentar um carácter comunicativo, estimulante e orientado, apelando à sua correta e confortável utilização. Nestas a iluminação deve ser uniforme, por forma a não existirem zonas distintas de luz e sombra, que provocam desorientação, desconforto e insegurança. Particularmente, nas zonas de transição, seja do exterior para o interior ou até mesmo entre espaços adjacentes com diferentes necessidades lumínicas, é necessário promover-se uma transição gradual de iluminância que permita a adaptação visual, uma vez que o sistema ocular apresenta alta sensibilidade a variações de luminância e resposta de adaptação lenta. De facto, a percepção de luminosidade de um espaço não depende tanto do nível absoluto de luminância, mas sim do nível de adaptação à luminosidade. Assim, um ambiente com iluminação moderadamente baixa pode parecer luminoso para alguém que esteve alguns minutos num local mais escuro. (Vajão, 2015, p. 1)

Idealmente, as zonas de entrada devem dispor de sistemas de controlo, por forma a permitir a compensação quantitativa de luz diurna. Durante o dia, o espaço de receção e entrada deve estar mais iluminado para ajudar nesta adaptação. Num dia de céu claro, sem nuvens, podemos passar de um ambiente externo com 10.000 lux para um interior com menos 40% (ver figura 15). À noite, o contrário acontece: passamos de ambientes com pouca luz para espaços com muita iluminação. A impressão inicial será, assim, de um espaço pouco iluminado, com cores suaves, podendo levar vários segundos para que as superfícies e objetos retomem a sua aparência familiar. Estas variações ambientais exigem a adaptação constante do visitante, sendo que um idoso pode demorar mais de dez minutos para se conseguir adaptar a 50%. Desta forma, o espaço de entrada deve estar mais iluminado durante o dia por forma a ajudar nesta adaptação. A entrada é o primeiro espaço que é apresentado ao visitante. Se durante o dia, se deve amenizar esta transição, durante a noite esta deve ser assinalada, por forma a convidar/atrainir o visitante, apresentando uma imagem noturna sugestiva. Isso inclui o uso de iluminação adequada, sinalização tátil ou outros elementos visuais que orientem e atraiam os visitantes, mesmo em condições de baixa luminosidade.

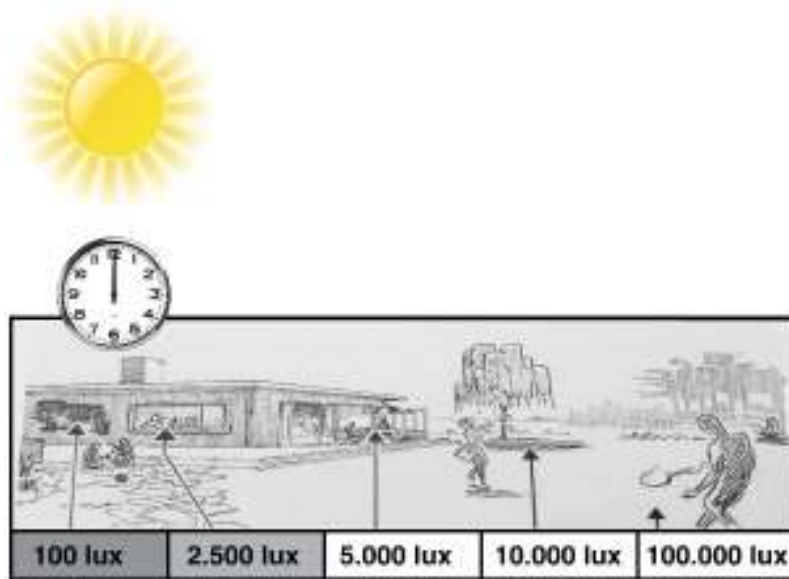


Fig. 15 – Variações luminosas no campo visual. Adaptado de Vajão (2015, p. 10).

Assim, este controlo da luz não está ligado somente à iluminação artificial. As aberturas para iluminação natural não se devem situar no campo visual dos visitantes, uma vez que pode provocar ofuscamento. Deve evitar-se, assim, o desenho de janelas (ou até mesmo portas de vidro) no final de um vão de escadas ou corredor. Também as fontes de luz devem ser colocadas acima da linha normal de visão. Da mesma forma, em compartimentos com um pé direito baixo, devem evitar-se materiais refletores ao nível do campo visual, incluindo os próprios materiais selecionados pelo arquiteto para o interior, que devem possuir baixa refletividade. Para otimizar a visibilidade de uma peça, a luminância do ambiente ao redor do objeto que o visitante está a observar, não pode ser maior do que a luminância do próprio objeto, por forma a não ser ofuscado pela luz circundante (Cuttle, 2007, p. 21).

Da mesma forma, pessoas com daltonismo leve, por exemplo, são capazes de detetar as cores na presença de boa iluminação (natural ou artificial), apresentando dificuldades somente quando a qualidade de iluminação é fraca ou deficiente.

Nos espaços museológicos é necessário ter em conta também os locais em que o guia deve parar para a sua explicação. Deve ser um local bem iluminado, para que o rosto do guia seja bem iluminado, permitindo a leitura labial.

Com o avançar da idade, ocorre a degeneração natural e progressiva da função ótica. Os tecidos oculares perdem gradualmente a sua transparência e as lentes adquirem uma tonalidade amarelada, resultando numa diminuição da acuidade visual, perceção das cores e sensibilidade ao contraste. As pessoas idosas podem demorar mais tempo a

adaptar-se a uma alteração da iluminância e obter uma adaptação menos completa (Drakou, 2019, p. 36). Assim, apesar de se considerar que 50 lux são suficientes para perceber corretamente a cor, o Canadian Conservation Institute sugere que podemos aumentar até cerca de 150 lux para detalhes de baixo contraste, objetos escuros e para pessoas idosas.

A acuidade visual tem por base a percepção das diferenças de contraste entre diferentes níveis de luminosidade (Vajão, 2015, p. 11). Assim, o contraste, embora importante para facilitar a distinção de objetos e detalhes, necessita de alguns cuidados por forma a evitar-se contrastes extremos que possam dificultar a visualização e causar fadiga visual. Contrastes adequados entre as diferentes superfícies, como paredes, pisos e objetos, facilitam a sua identificação e localização, tornando a experiência mais acessível e inclusiva. A utilização da cor branca nas paredes é um excelente recurso para melhorar a visibilidade e legibilidade da exposição, criando um contraste marcante com as obras e objetos expostos, que geralmente possuem tons mais escuros, ao apresentar uma reflexão de cerca de 70%. Para aumentar o contraste entre as peças e o pano de fundo branco, será necessário aumentar a quantidade de luz incidente. Este contraste revela-se fundamental, especialmente se se tratar de um objeto monocromático.

Além do branco, é possível optar por cores neutras ou pouco saturadas, com um acabamento mate, que também contribui para essa finalidade. No caso de escolha por uma cor mais vibrante, é recomendável que seja uma cor complementar à tonalidade predominante das obras ou objetos expostos (Montezuma, 2018, p. 159).

Ao optarmos por cores com menor capacidade de reflexão nas paredes, conseguiremos obter os mesmos resultados em termos de contraste e acuidade visual, mesmo com uma menor intensidade de luz incidente (Vajão, 2015, p. 101).

A melhor forma de medir o contraste é através do seu valor da refletância da luz (LRV). Este indica a quantidade de luz que uma cor reflete e é medido numa escala de 0 a 100. Um LRV de 100 indica que a cor reflete toda a luz, resultando em branco puro, enquanto um LRV de 0 significa que a cor absorve toda a luz incidente e não reflete nenhuma, resultando no preto puro.

A norma EN 12464-1:2021 define valores de refletância mínimos e máximos para tetos, paredes e pisos. Contudo, é preciso ter em atenção que as pessoas com baixa acuidade visual utilizam os contrastes para perceber o seu redor, não focando necessariamente nas cores. Dessa forma, é crucial considerar o contraste visual entre duas áreas adjacentes para garantir o melhor entendimento do ambiente, tornando-o mais

seguro e acessível. Assim, para projetar espaços acessíveis, é crucial a aplicação consciente dos princípios de contraste, não apenas para atender a normas estabelecidas, mas também para promover um *design* universal e inclusivo.

Tabela 6 – Aplicação da diferença do LRV na sinalização. Fonte:
<https://www.arcomodular.com.br/portugues/uploads/Artigos/Sinaliza%C3%A7%C3%A3o%20VI%20-%20Contraste%20Visual%20-%20Linha%20Guia.pdf>

Aplicação visual	Diferença na escala LRV
Áreas amplas (parede, piso, portas, teto)	≥ 20 pontos
Elementos e componentes para facilitar a orientação (corrimãos, controles, pisos táteis)	≥ 30 pontos
Perigo em potencial	≥ 60 pontos
Texto informativo (sinalização)	≥ 60 pontos

As cores das paredes desempenham um papel particularmente significativo na experiência visual de um espaço, pois estão diretamente dentro do campo de visão das pessoas. A escolha destas cores pode influenciar a sensação de um ambiente, bem como afetar o contraste e a visibilidade dos objetos e elementos expostos. Em contraste, os tetos e pavimentos têm uma importância visual relativamente menor, embora desempenhem um papel na composição geral do espaço. No que diz respeito ao pavimento, é importante considerar a questão do brilho. Um pavimento excessivamente brilhante pode criar reflexos indesejáveis dos pontos de luz localizados no teto, o que pode causar distração e desconforto visual.

O *Guia de Boas Práticas de Acessibilidade: Comunicação Inclusiva em Monumentos, Palácios e Museus*, disponibilizado pelo Património Cultural, já faz referência a pequenas soluções voltadas para pessoas com baixa visão e para pessoas cegas, nomeadamente a utilização de iluminação direcionada e uma boa iluminação com contrastes cromáticos, por forma a possibilitar maior grau de autonomia e segurança.

A iluminação direcionada pode ajudar a destacar áreas específicas de interesse, proporcionando uma melhor orientação para pessoas com baixa visão ou cegueira parcial.

3. EXECUÇÃO DA ILUMINAÇÃO MUSEOGRÁFICA

A execução da iluminação museográfica começa por uma análise teórica das exigências de visão e de preservação. Esta abordagem prévia permite que a iluminação seja planeada de forma a atender tanto aos aspetos visuais quanto à segurança e conservação das peças em exposição.

Vajão (2015, p. 74) faz referência a dois processos distintos de abordagem, dependendo se estamos a lidar com um espaço iluminado exclusivamente por luz natural ou um espaço com iluminação mista:

- i. Ao trabalhar em ambientes iluminados exclusivamente artificialmente, o processo começa pela luz de realce e só depois, juntamente com a luz de encenação, pensar a luz de ambiência e circulação, por poder haver aproveitamento das reflexões da luz de realce;
- ii. No caso de um espaço iluminado tanto por iluminação natural como artificial, o processo inicia-se pela componente de luz difusa, de proveniência solar, elétrica ou ambas, uma vez que esta será a base da intervenção.

Uma correta contribuição da luz natural na iluminação do espaço museográfico procura reduzir as necessidades da luz artificial, recorrendo a sistemas de controlo. Quando a integração da iluminação natural não é possível, a atmosfera luminosa dependerá da correta escolha e aplicação das fontes de luz e luminárias. A qualidade e a precisão da perceção visual serão influenciadas pelas fontes de luz, enquanto a distribuição luminosa será condicionada pelas luminárias (ibidem, pp. 102 – 103).



Fig. 16 – Iluminação artificial (Museu D. Diogo de Sousa
Autor da fotografia: Isabel Pacheco



Fig. 17 – Iluminação natural e artificial (Museu Nacional de Arte Tóquio – Le Corbusier)
Fonte: architecturalmoleskine.blogspot.com

3.1. Luz e ambiência

As diferentes abordagens em relação à dicotomia entre luz natural e luz artificial implicam percepções distintas e têm impactos variados em termos de ambiência e espacialidade.

A importância da iluminação na arquitetura de espaços museográficos remete não só para uma questão funcional, em termos dos parâmetros de iluminação pré-estabelecidos, mas por ser um elemento ativo na criação de atmosferas e ambiências. Para criar uma atmosfera agradável, é essencial compreender as vantagens da luz difusa e da luz dirigida, e saber como controlá-las. Por exemplo, se o objetivo da exposição for permitir que os visitantes circulem livremente pelo espaço, sem uma direção específica, a luz difusa será a opção (Skowranek, 2017, p. 43). É uma abordagem que valoriza a liberdade de movimento e a descoberta, ao criar uma iluminação uniforme e suave que se espalha de maneira equitativa pelo ambiente.

A criação da atmosfera desejada e do efeito pretendido num espaço é um processo que depende da interação harmoniosa entre vários elementos chave – lâmpada, luminária e ambiente iluminado. A escolha da lâmpada ou fonte de luz desempenha um papel fundamental nesse processo, pois determina o tipo de luz emitida, a sua qualidade de cor, intensidade e temperatura. Estes fatores afetam diretamente a maneira como percebemos o ambiente e as cores presentes. Também a luminária desempenha um papel crucial na distribuição e direcionamento da luz. Por fim, também a compreensão das características do ambiente desempenha um papel importante. A textura, cores das paredes, objetos presentes e a sua disposição são fatores que interagem com a luz para criar uma experiência visual única.

Nas áreas não dedicadas à exposição do acervo, a iluminação ambiente desempenha um papel fundamental na garantia da visibilidade, alternando entre períodos de funcionamento intensivo durante o horário de visita pública e períodos de operação parcial durante o encerramento (Vajão, 2015, p. 79). Nestas áreas não expositivas, a iluminação ambiente é frequentemente controlada por sistemas automatizados que ajustam os níveis de luz com base em sensores de movimento, horário do dia e até mesmo condições de luz natural, assegurando, assim, um equilíbrio entre a funcionalidade do espaço, a conservação e a responsabilidade ambiental.

A função primordial da iluminação ambiente nos espaços museográficos é possibilitar que as pessoas percebam o espaço e facilitar as atividades que nele ocorram.

3.2. Fontes de Luz

De acordo com o Plano de Conservação Preventiva da Direção Geral do Património, em 2007, as fontes de luz artificial mais usadas nos museus eram lâmpadas de filamento de tungsténio, tungsténio-halogéneo e fluorescentes e as menos usadas, devido ao fraco IRC eram as lâmpadas de alta pressão de sódio ou de mercúrio. As lâmpadas de halogéneo e as lâmpadas incandescentes eram as escolhidas para a iluminação museográfica, uma vez que apresentavam um IRC de 100%. Contudo, em setembro de 2018 as lâmpadas halogéneas deixaram de ser vendidas na União Europeia, por forma a reduzir as emissões de carbono. A decisão de descontinuar as lâmpadas de halógeno no mercado da União Europeia foi motivada principalmente pelo compromisso ambiental e pela busca de soluções mais eficientes em termos energéticos. As lâmpadas de halogéneo, embora tivesse um IRC alto, eram ineficientes no consumo de energia. Geravam muito calor durante a utilização e consumiam mais eletricidade em comparação com as alternativas mais modernas, como as lâmpadas LED. Tanto as lâmpadas LED como as de halogéneo permitem a regulação do fluxo luminoso, sendo especialmente usadas nas luzes de realce, pelas suas dimensões reduzidas.

Atualmente, a escolha recai nos LED, uma vez que os disponíveis no mercado oferecem um IRC acima de 90, gastam menos de 80% de energia do que as tecnologias de halogéneo ou incandescência tradicionais, apresentam uma longa vida útil e não são produzidos com químicos tóxicos como o mercúrio das lâmpadas fluorescentes. Tanto os LED como a fibra ótica não emitem UV nem IV. A fibra ótica tecnicamente não é uma fonte de luz, mas sim um condutor (transmitem a luz gerada por uma fonte até ao ponto a iluminar).

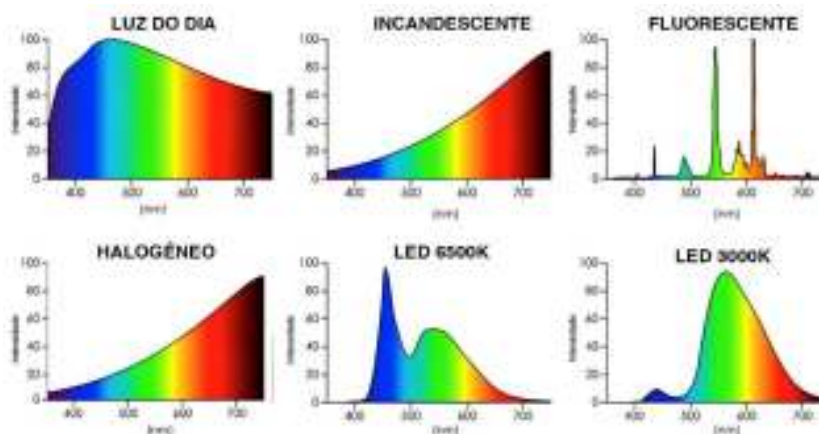


Fig. 18 – Espectro das lâmpadas. Adaptado de: <https://www.celinalago.com.br/2018/05/como-iluminacao-led-pode-comprometer.html>

3.3. Luminárias

Após a definição do conceito de iluminação, inicia-se o planejamento da implementação da iluminação museológica, o que inclui a tomada de decisões sobre a seleção de lâmpadas e luminárias, a disposição e instalação desses dispositivos, a configuração de equipamentos de controle, bem como a estimativa dos custos relacionados à execução e manutenção do sistema (Ganslandt & Hofmann, 1992, p. 126).

A escolha das luminárias desempenha um papel crucial na iluminação de qualquer espaço, não apenas em termos de funcionalidade, mas também na estética geral. As luminárias são responsáveis por abrigar e direcionar o fluxo luminoso, influenciado diretamente a atmosfera e a aparência de um ambiente. Portanto, ao selecionar as luminárias, é fundamental considerar diversos fatores que vão além da simples decoração.

Existem diversas abordagens quanto às luminárias, cada uma com as suas vantagens e aplicações específicas. Uma das opções mais comuns são as luminárias embutidas no teto, conhecidas como *downlights*. Essas luminárias oferecem uma iluminação discreta, integrando-se perfeitamente à arquitetura do espaço. Estas são ideias para criar uma iluminação geral.

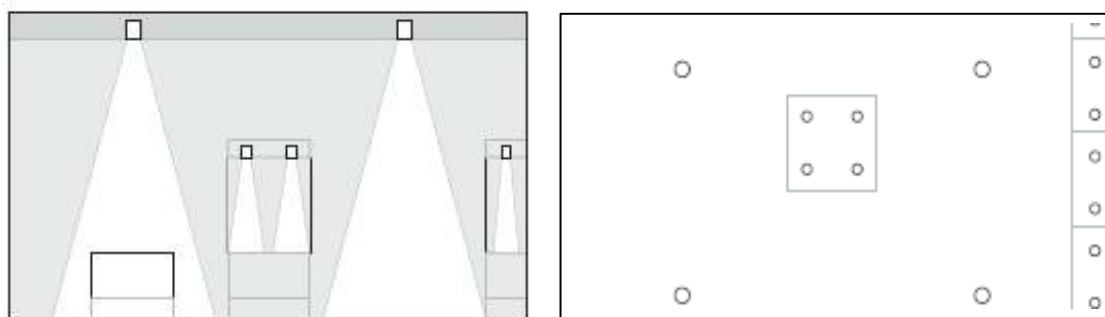


Fig. 19 – Iluminação do espaço expositivo. Fonte: (ibidem 2005, p. 238).

Por outro lado, existem luminárias que não se misturam com a arquitetura, surgindo como elementos independentes. Essas luminárias, frequentemente penduradas em estruturas suspensas, têm o poder de influenciar ativamente a imagem visual geral do ambiente. Estas luminárias são particularmente adequadas para iluminação variável, pela sua flexibilidade. É fundamental, contudo, assegurar uma disposição visual coesa das luminárias utilizadas, mantendo consistência no estilo, forma e cor, a fim de preservar a harmonia do ambiente e garantir uma aparência coesa.

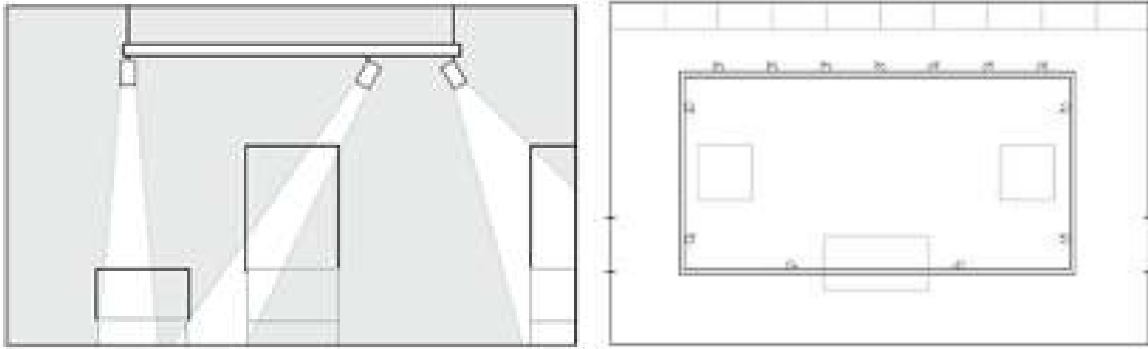


Fig. 20 – Iluminação através de calhas eletrificadas. Fonte: (ibidem 2005, p. 239).

Outra opção é a utilização de *downlights* semi-embutidos, que combinam a descrição das luminárias embutidas com alguma independência das luminárias suspensas. A vantagem dos *downlights* semi-embutidos está na sua versatilidade. Permitem a criação de efeitos de iluminação direcionada, destacando elementos específicos ou áreas de destaque no espaço, sem comprometer a continuidade do teto.

3.3.1. Tipos de luminárias

A Comissão Internacional de Iluminação (CIE) distingue as luminárias de acordo com a sua emissão luminosa, isto é, a forma como distribuem o fluxo luminoso.

Tabela 7 - Tipo de luminária quanto à emissão luminosa

Classificação da luminária	Fluxo luminoso em relação ao plano horizontal (%)	
	Teto	Plano de trabalho
Direta	0-10	90-100
Semi-direta	10-40	60-90
Direta/Indireta	50	50
Difusa	40-60	60-40
Semi-indireta	60-90	10-40
Indireta	90-100	0-10

Existem diversas categorias de luminárias, cada uma projetada com um objetivo distinto na emissão luminosa:

- a) **Luz de ambiente geral:** visa proporcionar uma iluminação uniforme e geral num espaço, permitindo que as pessoas se movam e realizem tarefas com conforto e segurança;
- b) **Luz de realce:** usada para destacar objetos, elementos ou áreas específicas de um espaço, criando um elemento focal.
- c) **Luz de varrimento vertical (*wallwasher*):** projetada para lavar ou varrer um plano vertical com luz suave e uniforme;
- d) **Luz de varrimento com focagem:** similar à luz de varrimento vertical, concentra-se em realçar áreas específicas com precisão;
- e) **Luz espacial:** usada para criar uma atmosfera ou sensação de espaço num ambiente;
- f) **Luz de orientação:** tem como objetivo fornecer direção e orientação, geralmente em espaços públicos ou áreas de tráfego, como corredores, escadas e saídas de emergência;
- g) **Luz cenográfica:** usada para criar efeitos dramáticos e cênicos;
- h) **Luz de enquadramento:** usada para criar um contorno visual ao redor de um objeto ou elemento específico dentro de um espaço.

A mistura destas diferentes camadas de iluminação desempenha um papel fundamental na narrativa visual dos espaços museológicos, destacando e dando vida às exposições.

As luminárias podem distinguir-se ainda em três categorias quanto ao controle ótico da amplitude da luz: *spotlight* (emite feixes estreitos de luz, ideal para realçar objetos específicos), *wallwasher* (de caráter mais geral, distribui uniformemente a luz numa parede) e *spotlight* de contorno (molda e direciona o feixe de luz, criando contornos precisos).

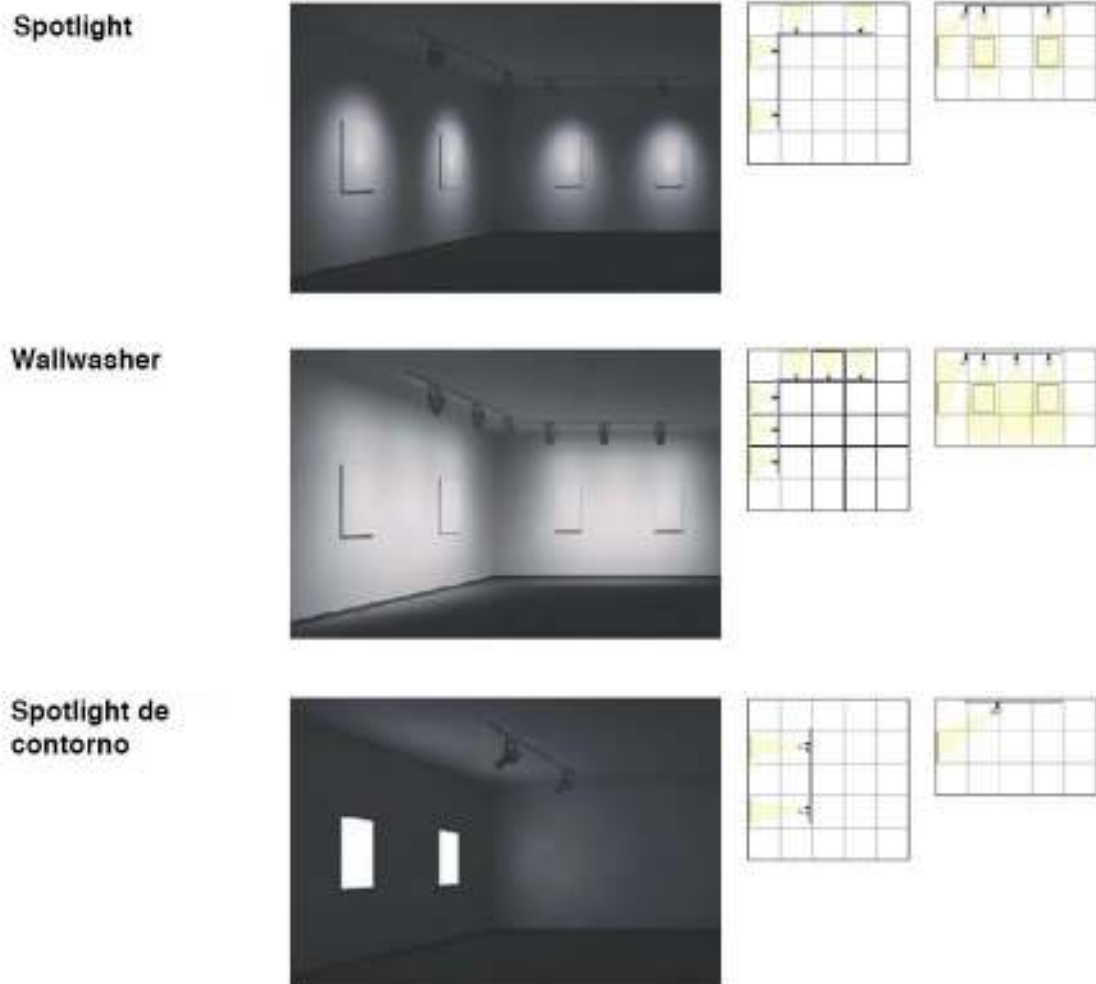


Fig. 21 – Controle ótico da amplitude da luz. Adaptado (Hughes, 2015, p. 140)

3.4. Composições de Luz

A percepção da tridimensionalidade num ambiente é uma experiência complexa que depende de vários fatores interrelacionados. É um processo eminentemente abstrato, uma vez que a informação que obtemos do exterior é bidimensional. A habilidade de perceber a tridimensionalidade origina-se na forma como os nossos olhos e mente interpretam os objetos, criando uma imagem que nos permite conceber o mundo em três dimensões. Através da extensão do espaço que nos rodeia, da disposição e orientação dos objetos no espaço, da sua forma e da estrutura da sua superfície somos capazes de compreender a tridimensionalidade do que nos rodeia. Contudo, um dos elementos mais cruciais para essa percepção é a iluminação, em especial a luz dirigida.

A luz desempenha um papel fundamental na modelação do carácter tridimensional de um espaço. Quando a luz incide diretamente sob objetos tridimensionais, cria sombras, que são vitais para a nossa capacidade de perceber a profundidade, a forma e a textura desses mesmos objetos. As sombras acrescentam camadas de informação visual que enriquecem a nossa compreensão do espaço que nos rodeia, permitindo-nos identificar a textura das superfícies. A qualidade da luz desempenha um papel significativo nesse processo. Quando a luz é completamente difusa, isto é, quando não há fonte de luz dirigida, as sombras tornam-se menos distintas e a percepção tridimensional fica comprometida.

Ao planear a aplicação de luz dirigida e luz difusa, podemos utilizar a nossa experiência com a luz natural como referência. A luz solar direta provém de cima ou de lado, dependendo da posição do sol no céu. Isso significa que a fonte de luz está localizada acima do objeto ou espaço a iluminar, ou provém então de uma direção lateral. Além disso, a cor da luz solar direta é notavelmente mais quente do que a luz difusa proveniente do céu. A luz solar direta, geralmente associada ao sol, possui uma tonalidade mais amarelada ou alaranjada, dependendo do momento do dia. Isso contrasta com a luz difusa do céu, que tende a ser mais fria e azulada (Ganslandt & Hofmann, 1992, p. 77).

O esquema de iluminação desempenha um papel fundamental na flexibilidade dos espaços expositivos, inclusive nas exposições permanentes, mais corretamente chamadas de exposições de longa duração. A flexibilidade é essencial, uma vez que os museus atualizam frequentemente as suas coleções ou fazem ajustes nas exposições, e é imperativo que o sistema de iluminação seja adaptável a essas mudanças.

Para criar um esquema de iluminação flexível, muitos especialistas optam por utilizar uma grelha regular como base com *downlights* para iluminar uniformemente o espaço, independentemente da disposição interna do ambiente. Além disso, entre as filas de luminárias, é recomendado instalar uma calha com projetores adicionais para a iluminação de realce (ver figura 22). Estes podem ser facilmente regulados em termos de intensidade, direção e foco, permitindo a adaptação da iluminação de acordo com as necessidades da exposição atual (ibidem 1992, p. 135).

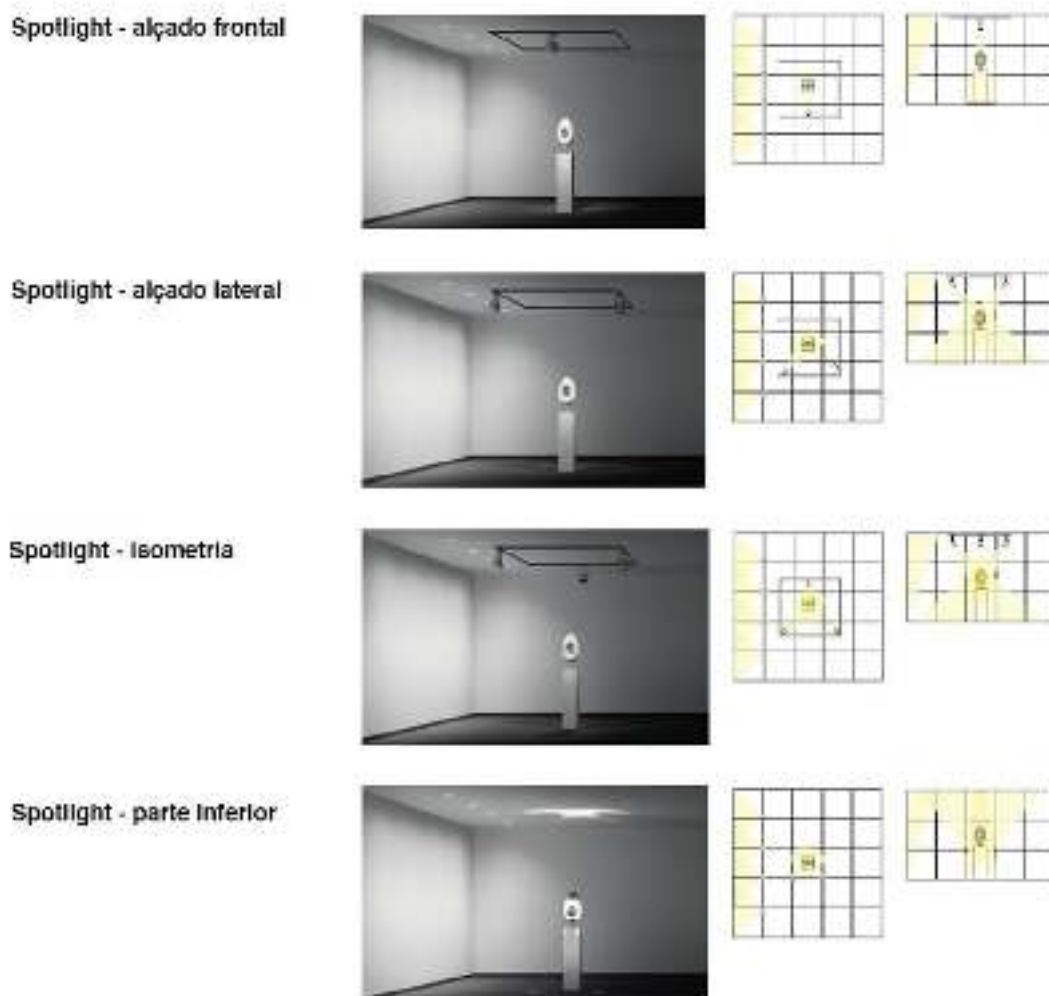


Fig. 22 – Modelando um objeto tridimensional. Adaptado: (Hughes, 2015, p. 146)

A primeira e mais importante tarefa no planeamento da iluminação é garantir que os objetos em exposição sejam corretamente iluminados, de acordo com as suas necessidades específicas. Isto envolve um entendimento das características visuais dos objetos, como a sua forma, estrutura e superfícies, bem como a sensibilidade à luz de cada

peça. Somente após assegurar que os objetos em exposição estão bem iluminados e conservados, se deve considerar a iluminação arquitetônica. Isto evita que os elementos arquitetônicos sejam sobrevalorizados ou distraiam a atenção dos visitantes em relação aos objetos expostos. A iluminação arquitetônica pode ser usada para criar uma atmosfera geral no espaço, mas deve ser cuidadosamente equilibrada para manter o foco principal no acervo e garantir que a narrativa da exposição seja a principal atração (ibidem 1992, p. 236).

A forma como uma peça ou objeto deve ser observado e iluminado pode variar significativamente, dependendo das suas características específicas e do efeito desejado (ver figura 23). Em alguns casos, uma peça pode ser iluminada de apenas um lado, realçando as formas, criando sombras dramáticas e destacando detalhes específicos. Outras peças podem beneficiar-se de iluminação a partir de vários ângulos, de modo que os observadores possam apreciá-las de diferentes perspectivas. Algumas peças são concebidas para serem vistas de todos os ângulos, destinando-se a ocupar o espaço tridimensional. Nesses casos, a iluminação deve ser distribuída de maneira uniforme para garantir que todos os detalhes possam ser visíveis independentemente da perspectiva. Isso dá origem a diversas soluções ao nível dos núcleos expositivos, tais como vitrinas, caixas de luz, mesas expositoras, nichos e painéis informativos.

Uma prática comum para obter a incidência de luz ideal é utilizar um ângulo de 30° entre o plano vertical a ser iluminado e o centro do foco de luz (ver figura 24).

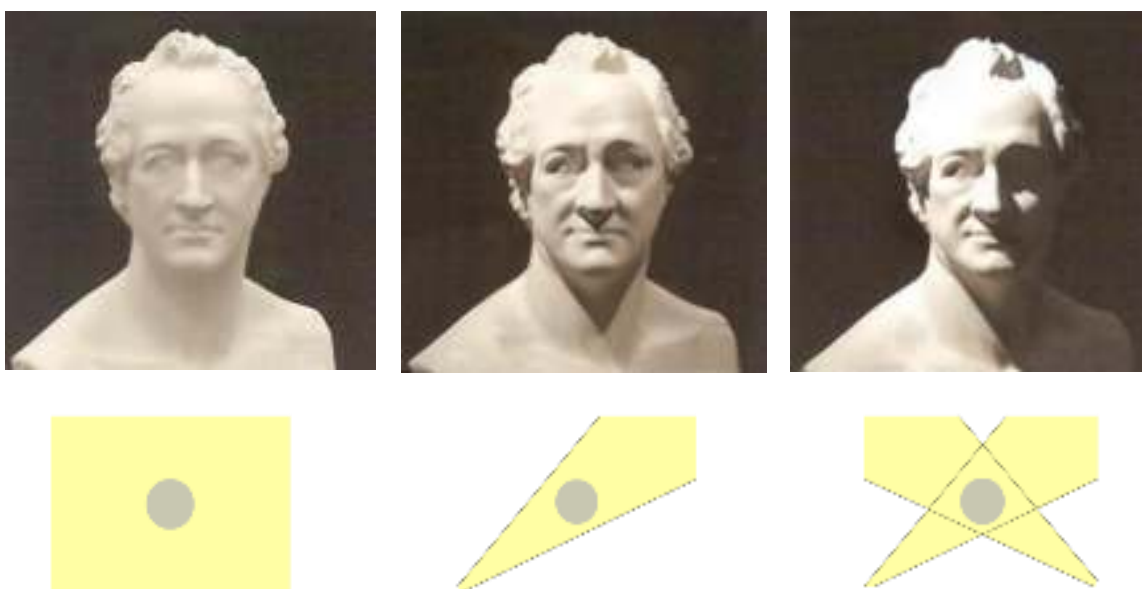


Fig. 23 – Formas de iluminação e os seus efeitos. Adaptado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/80590773.pdf>

Na iluminação de vitrinas com campânula, ou seja, com paredes e tejadilho transparentes, estas são iluminadas a partir do exterior. Nestes casos, o foco de iluminação deve ser colocado no alinhamento do vidro, evitando a projeção da sombra pela aproximação dos visitantes e da união dos vidros de proteção.

Já as vitrinas com tejadilho opaco permitem alojar o sistema de iluminação num compartimento próprio, de forma discreta. O acesso a esse compartimento deve ser feito a partir do exterior da vitrina, aspecto essencial para a manutenção e substituição das lâmpadas ou fontes de luz, sem perturbação do interior da vitrina.

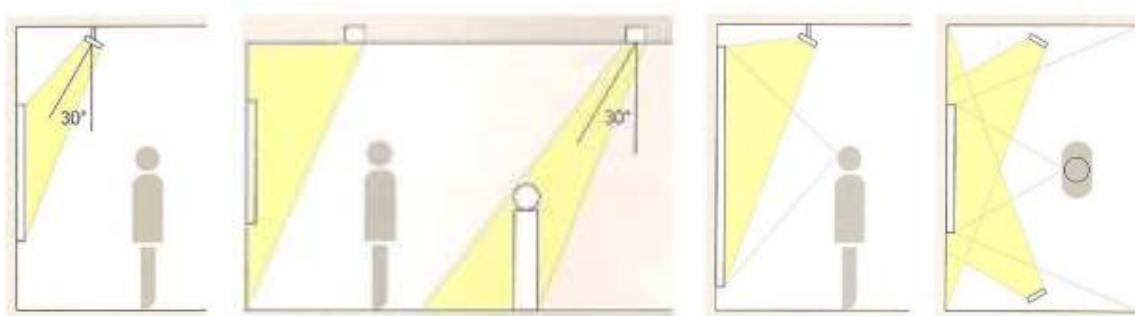


Fig. 24 – Práticas de iluminação expositiva. Fonte: <https://core.ac.uk/download/pdf/80590773.pdf>

4. MODELAÇÃO PARAMÉTRICA

A mudança do paradigma das ferramentas de projeto de base vetorial para as ferramentas paramétricas e generativas (e.g. plataformas BIM) representa um avanço significativo no campo da arquitetura. A modelação paramétrica introduz uma abordagem inovadora no processo de criação, pela integração de avançados *programas* que revolucionaram a forma como os projetos são concebidos e desenvolvidos. Nesta abordagem, os elementos do projeto são descritos através de variáveis ou parâmetros e não por formas estáticas.

Esta interatividade permite aos arquitetos e projetistas a capacidade de escolher as opções mais adequadas às necessidades específicas do projeto, resultando numa melhoria significativa das soluções projetuais.

O BIM é uma plataforma colaborativa que permite a colaboração simultânea de diversos profissionais num mesmo projeto, simplificando a interação entre arquitetos, engenheiros, construtores e as outras especialidades. Essa abordagem reduz as falhas na comunicação e aprimora a eficiência global do processo de concepção arquitetónica e de construção. O BIM integra informações provenientes das diferentes especialidades num modelo único, aprimorando a consistência dos dados e evitando discrepâncias ao longo das diversas fases do projeto.



Fig. 25 - Vantagens da utilização do BIM. Adaptado: <https://www.mdarchitects.com/what-is-a-building-information-model>

4.1. Ferramentas paramétricas de iluminação

As ferramentas paramétricas aplicadas à luminotecnica permitem aos projetistas controlar e ajustar os parâmetros de iluminação de forma precisa e eficiente. A incorporação destas ferramentas para simulação computacional no processo de projeto revela-se essencial na modelação dos edificios e na análise da componente visual e técnica da iluminação em Arquitetura, nomeadamente ao nível da valorização do espaço arquitetónico e dos conteúdos expositivos, permitindo envolver o visitante numa experiência fenomenológica integral. Ao antecipar como a iluminação interage com o espaço, é possível elevar a experiência espacial e visual, proporcionando ao visitante uma experiência mais rica e significativa. A integração da simulação luminotécnica permite ainda antecipar e avaliar o seu desempenho, nomeadamente ao nível do conforto visual, gerando sistemas de baixo consumo e de elevada eficiência.

Existem duas formas de efetuar cálculos luminotécnicos num modelo BIM. A mais comum é exportar o ficheiro num diferente formato: DWG, DXG, OBK, IFC, entre outros, extensões que podem ser lidas em diferentes programas de simulação de iluminação como o Diva4Rhino[®], LadyBug[®], DIALux Evo[®] ou ReluxDesktop[®]. No entanto, no processo de exportação, algumas propriedades e informações podem ser perdidas do modelo original, como texturas, materiais, informação geográfica, razão pela qual poderá ser preferível simplificar ao máximo o modelo 3D antes de o exportar, uma vez que poderá voltar a ser necessário adicionar algumas propriedades e características no novo programa. Inclusive, programas como o DIALux Evo[®], são por natureza programas de cálculo luminotécnico e não de desenho 2D e 3D, pelo que o processo de desenho inicial deve ser realizado noutro programa, bem como o processo de modelação do terreno, apesar do programa disponibilizar ferramentas para o efeito.

O segundo método é executar o cálculo luminotécnico diretamente no modelo 3D BIM, através de um *add-in* no programa, como o Sefaira[®], o ElumTools[®] ou o Autodesk Insight 360[®]. Estes programas trabalham diretamente dentro do ambiente de modelação BIM, acedendo a toda a informação do modelo (Miri & Ashtari, 2019, p. 2746).

4.2. ElumTools® – *Add-in* de iluminação para Autodesk Revit®

O ElumTools® é uma ferramenta de análise de iluminação *add-in* para o *programa* BIM Autodesk Revit®. Desenvolvido pela empresa norte-americana Lighting Analysts Inc., este *add-in* permite avaliar e simular a iluminação em modelos de construção 3D. Trata-se da primeira e única ferramenta verdadeiramente integrada no modelo Autodesk Revit®, eliminando a necessidade de recorrer a um *programa* externo para efetuar o cálculo, visualização e análise da iluminação.

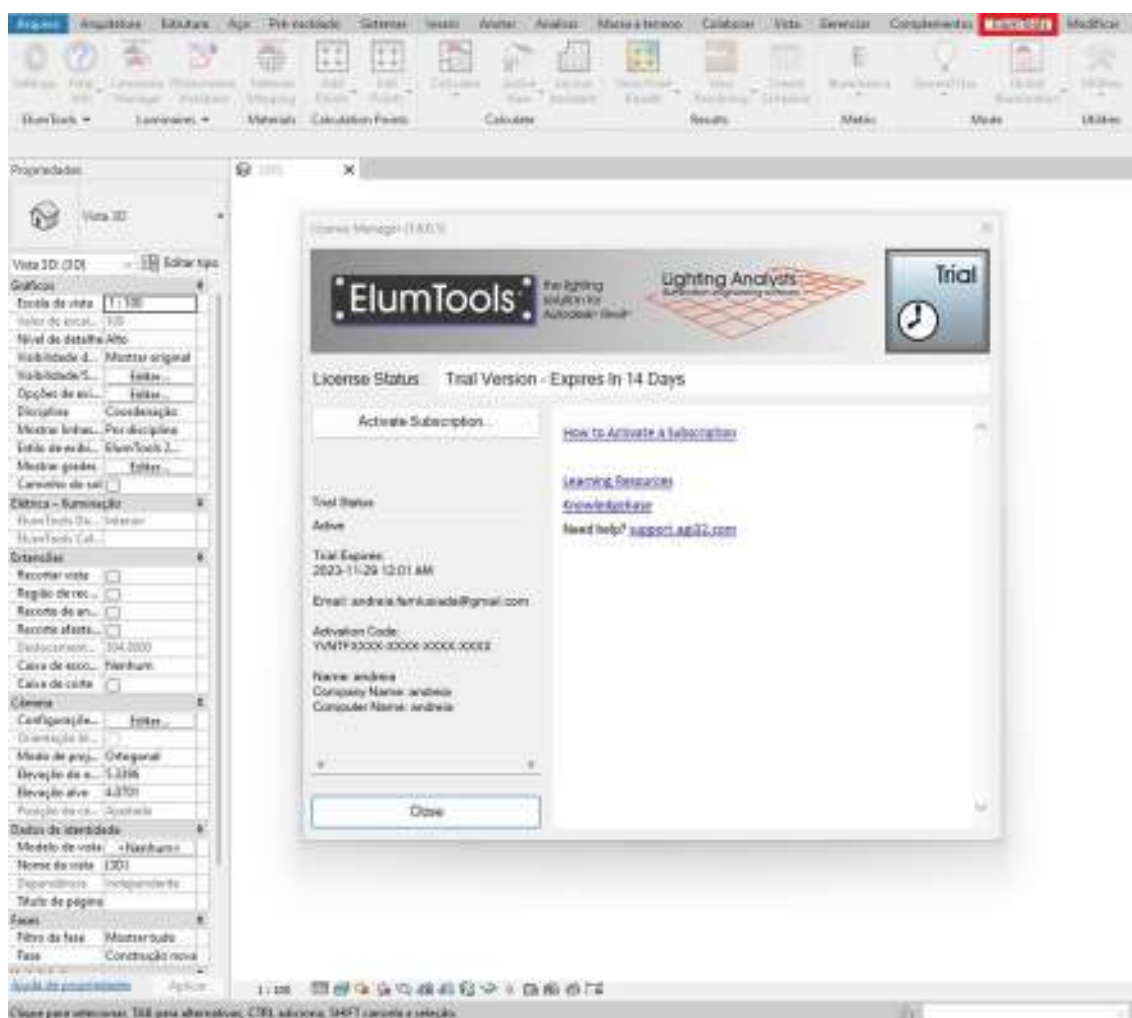


Fig. 26 – Início da versão trial do ElumTools®.

A principal vantagem desta ferramenta reside na sua perfeita integração com o Autodesk Revit®. Por se tratar de um *add-in* do programa, o ElumTools® integra-se de forma natural no ambiente de trabalho do Autodesk Revit® simplificando a realização de análises de iluminação diretamente nos modelos de projeto. Essa abordagem possibilita

que o utilizador efetue modificações no modelo de iluminação em tempo real enquanto trabalha no projeto Autodesk Revit®. A única exigência é garantir a compatibilidade da extensão com o modelo em que se está a trabalhar.

Antes de usar o ElumTools® é importante que o modelo BIM esteja bem estruturado, uma vez que a qualidade do modelo influenciará diretamente na precisão das análises de iluminação. Os materiais devem ser definidos adequadamente, atribuindo as propriedades corretas de reflexão e texturas. Além disso, é necessária a familiarização com as normas e requisitos aplicáveis, bem como compreender os parâmetros de análise oferecidos pelo programa. Estes incluem: iluminância, luminância, contraste, eficiência energética, exposição luminosa, indicadores de sustentabilidade, distribuição luminosa, uniformidade lumínica e sombreamento.



Fig. 27 - Ferramentas do *add-in* ElumTools®.

Em 2021, o ElumTools® fez uma atualização das métricas necessárias conforme a norma EN 12464-1:2011.

Para utilizar o ElumTools®, são necessários apenas quatro requisitos básicos presentes no ficheiro Autodesk Revit®: a geometria espacial do modelo, a refletância das superfícies, a fotometria das luminárias e restantes fatores associados e a posição das luminárias. A localização do projeto e a sua orientação cardinal podem ser também obtidas do modelo Autodesk Revit® ou indicadas no ElumTools®.

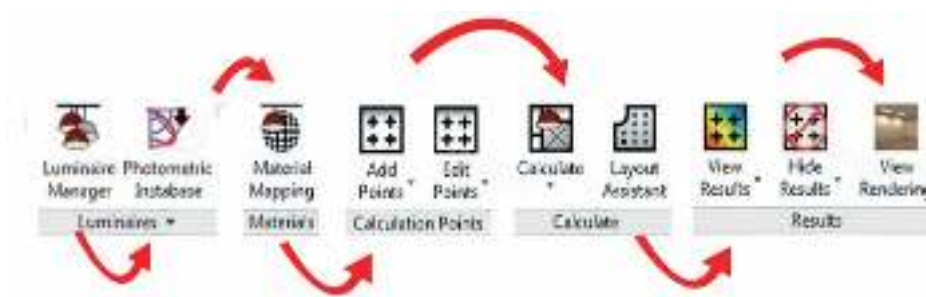


Fig. 28 – Modo de utilização do ElumTools®.

1º Passo - Validar as famílias de luminárias

Ao adicionar as famílias de luminárias é imperativo associar um ficheiro Illuminating Engineering Society (IES), por forma a definir a intensidade e estilo da fonte luminosa. IES é uma extensão de dados fotométrica que auxilia na modelação e simulação do desempenho lumínico das luminárias. A sua utilização permite uma representação realista, uma vez que estes arquivos contêm informações detalhadas sobre a distribuição da intensidade luminosa de uma fonte de luz. Esses dados permitem simular de forma precisa como a luz se propaga e atinge as superfícies de um espaço, sendo essencial para garantir que a iluminação projetada corresponda às expectativas.

A simulação com arquivos fotométricos no formato IES possibilita aos profissionais otimizar a disposição e a configuração das luminárias para alcançar os níveis desejados de iluminância de forma eficiente. Essa otimização é crucial para reduzir o consumo energético e cumprir os padrões ambientais e regulamentares vigentes.

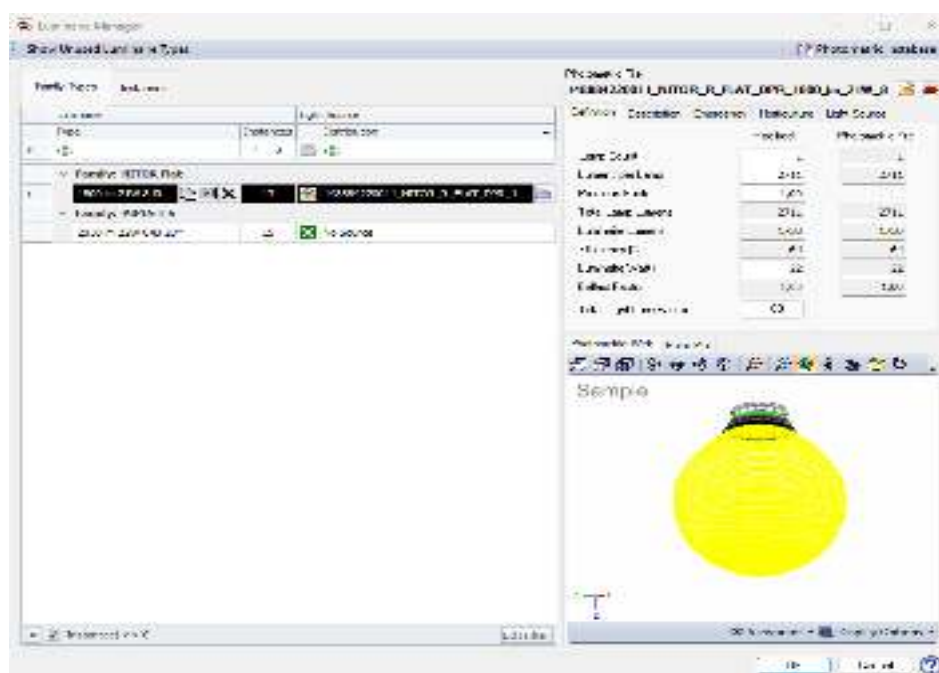


Fig. 29 – Configurações da luminária no ElumTools®.

Atualmente, fabricantes e fornecedores de luminárias disponibilizam os seus produtos como objetos BIM, incluindo todas as suas propriedades e parâmetros técnicos, óticos, geométricos, operativos e de manutenção associados. No entanto, o ElumTools® também possui um conjunto de luminárias genéricas no seu banco de dados, que podem

ser incorporadas no projeto Revit por meio do “Luminaire Manager”. Estas luminárias podem ser utilizadas conforme a sua configuração inicial ou ajustadas conforme as exigências específicas do projeto.

2º Passo - Mapear/validar os materiais

Para obter resultados precisos, é preciso confirmar e/ou editar o tipo de superfície, a cor, a refletância e a transmitância. É a parte mais morosa do processo, pois o ElumTools® carrega todos os materiais em uso e temos de lhe dar as devidas características. O ElumTools® não tem acesso a todas as propriedades dos materiais do Autodesk Revit®, somente à parte gráfica. Por forma a agilizar o processo, o *add-in* permite filtrar os materiais por categorias. Assim, antes de usarmos o ElumTools®, podemos ainda começar por definir a aparência RGB e a transparência do material.

Ao visualizar a seta vermelha em “Link”, indica que as informações dos materiais foram modificadas no ElumTools® para o cálculo luminotécnico. Se for desejável, é possível transferir essas propriedades de volta para o modelo Autodesk Revit®, basta configurar para “bidirecional”. Se a informação mostrar “unidirecional”, significa que as informações são as originalmente trazidas do modelo. Essa funcionalidade permite um controlo eficiente das propriedades dos materiais entre o ElumTools® e o modelo Autodesk Revit®.

Revit Material Properties	Link	ElumTools Material Properties
Material	Color	Color
Concrete	0.00	0.00
ElumTools Solid Grey	0.00	0.12
ElumTools Default	0.00	0.20
ElumTools Solid Grey	0.00	0.04
ElumTools Red	0.00	0.11
ElumTools White	0.00	0.02
ElumTools Black	0.00	0.05
ElumTools Brown	0.00	0.11
ElumTools Yellow	0.00	0.00
ElumTools Blue	0.00	0.00
ElumTools Green	0.00	0.00
ElumTools Purple	0.00	0.00
ElumTools Orange	0.00	0.00
ElumTools Pink	0.00	0.00
ElumTools Cyan	0.00	0.00
ElumTools Magenta	0.00	0.00
ElumTools Grey	0.00	0.00
ElumTools Black	0.00	0.00
ElumTools White	0.00	0.00
ElumTools Red	0.00	0.00
ElumTools Blue	0.00	0.00
ElumTools Green	0.00	0.00
ElumTools Yellow	0.00	0.00
ElumTools Purple	0.00	0.00
ElumTools Orange	0.00	0.00
ElumTools Pink	0.00	0.00
ElumTools Cyan	0.00	0.00
ElumTools Magenta	0.00	0.00
ElumTools Grey	0.00	0.00
ElumTools Black	0.00	0.00
ElumTools White	0.00	0.00

Fig. 30 – Mapa de materiais dado pelo ElumTools®.

3º Passo - Criar ambientes ou espaços

O ElumTools[®] permite escolher certas áreas ou espaços dentro do modelo para o cálculo de iluminação. Ao criar uma área ou espaço no Autodesk Revit[®], a linha limite é colocada automaticamente posicionada no lado interno das paredes. No entanto, para realizar cálculos de iluminação natural, a linha limite necessita de conter os vãos associados ao cálculo, como as janelas. Caso contrário, o espaço será exibido a preto, indicando que o programa não identificou nenhuma entrada de luz natural nesse espaço. Ainda, as paredes onde estão localizadas as janelas têm de ter as propriedades bem definidas no modelo, nomeadamente a especificação de se tratar de um elemento externo e as faces estarem bem posicionadas.

4º Passo - Adicionar e configurar pontos de cálculo

Para adicionar e configurar os pontos de cálculo, seleciona-se uma área ou um espaço e especifica-se o espalhamento e a elevação da grelha de pontos. Como a grelha de pontos pode ser adicionada a qualquer face plana, permite que se calcule a iluminância em superfícies como paredes.

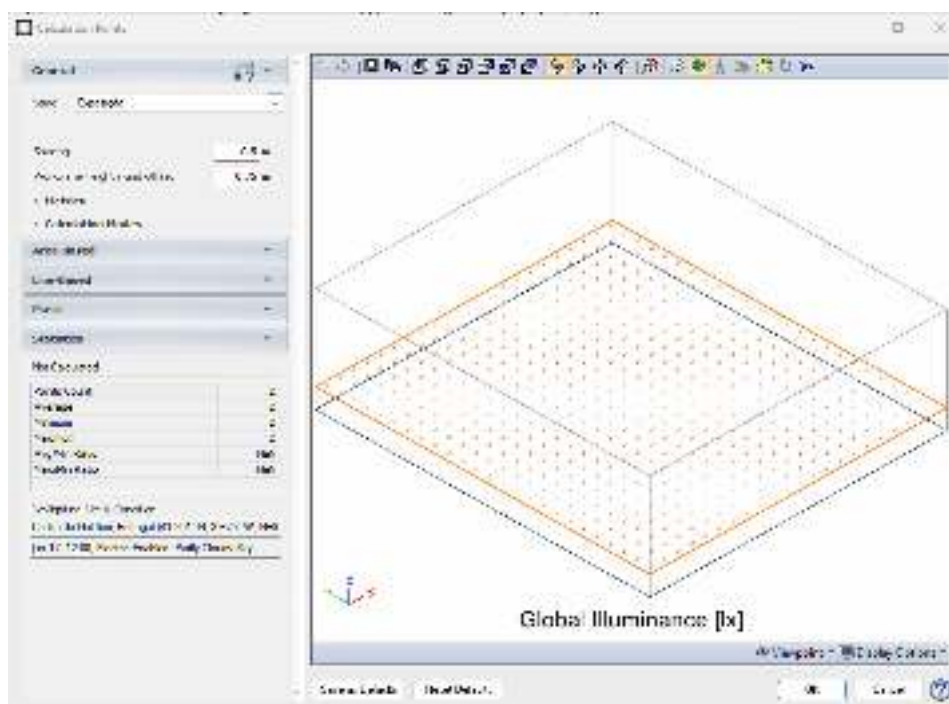


Fig. 31 – Definição do plano de trabalho pelo ElumTools[®].

O recurso “Layout Assistant” permite que as luminárias sejam colocadas automaticamente num espaço consoante os níveis de luz desejados. O Layout Assistant ajuda a encontrar o lugar ideal para localização das luminárias, caso se pretenda uma iluminação uniforme. Embora a especificação da grelha de teto não seja obrigatória, a sua utilização pode ser vantajosa para garantir que as luminárias sejam posicionadas exatamente onde desejado.

5º Passo - Calcular

É possível selecionar um ou mais espaços, abrindo a função “Revit Room”. Em seguida, o comando “Calculate” permite calcular a iluminação para a geometria pretendida.

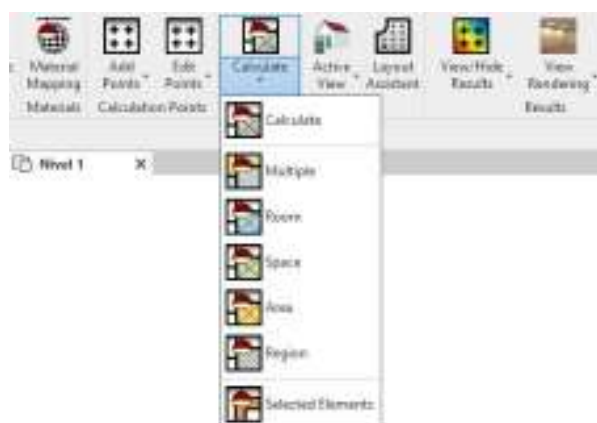


Fig. 32 – Calcular a iluminação para a geometria selecionada.

6º - Visualizar os resultados em 3D e em planta

Após o processamento, é aberta uma nova janela que permite a visualização interativa dos resultados em várias perspetivas, como vistas laterais, frontais e ao nível dos olhos.

É possível modificar todas as cores e estilos de fonte para melhorar a legibilidade dos resultados. O ElumTools® é capaz de gerar simulação de cores falsas, mapas de iluminâncias e tabelas com os resultados de iluminância. Além disso, as imagens podem ser renderizadas através do “Raytrace Viewer”, aprimorando a visualização das sombras, reflexões especulares e gradientes de luminância nas paredes e tetos.

No modo “Pseudocolor”, o ElumTools® realiza a simulação de cores falsas, permitindo perceber a quantidade de luz incidente nas superfícies (iluminância) ou refletida nas superfícies (luminância). Nesse modo, as cores variam entre o vermelho, que corresponde à maior intensidade luminosa, e o azul-escuro, que corresponde ao valor mais baixo. Adicionalmente, a escala de cinza permite uma visualização monocromática da luminância ou iluminância.

O menu “Contours” permite alterar a visualização para mapas de isolinhas ou mapas espaciais. Essa funcionalidade permite uma análise mais detalhada dos padrões de iluminação, fornecendo informações visuais sobre as variações de luminância ou iluminância em diferentes áreas do espaço modelado.

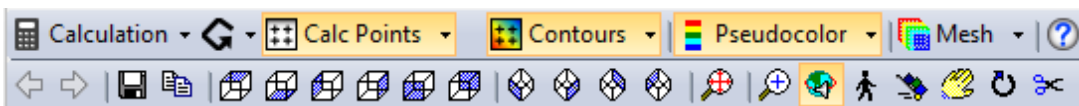


Fig. 33 - Barra de visualização do projeto no ElumTools®.

7º Criar tabelas

O ElumTools® apresenta uma ferramenta para criar instantaneamente tabelas com os resultados do projeto de iluminação.

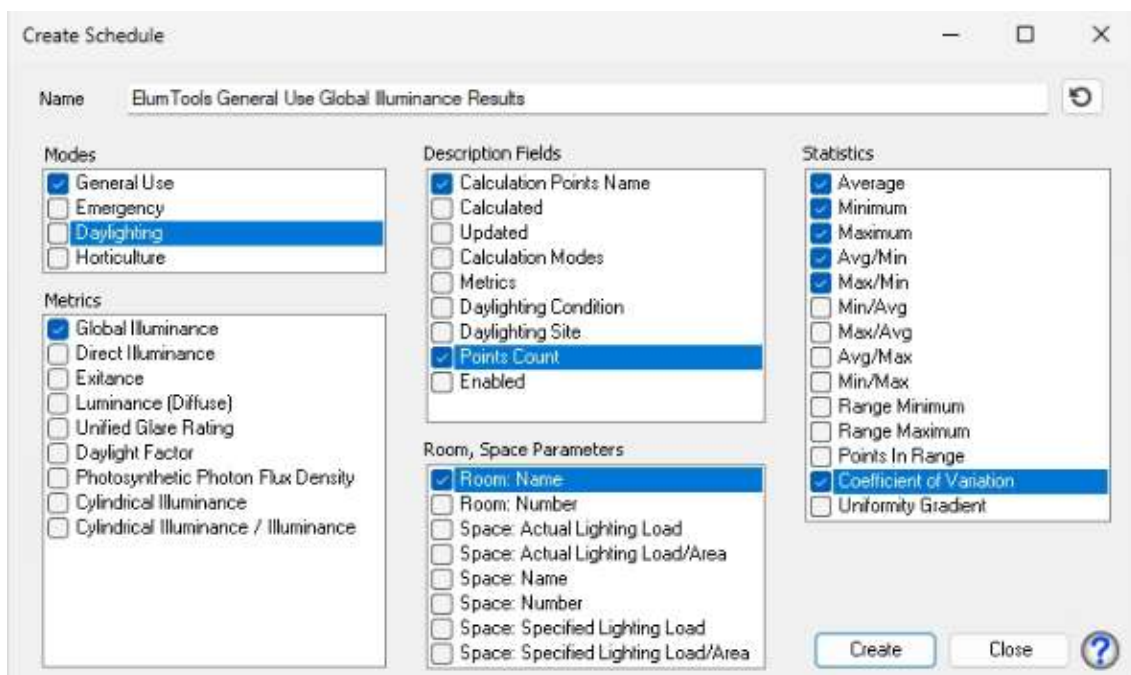


Fig. 34 – Criação instantânea de tabelas.

Opção “Daylighting”

Ao selecionar a opção “Daylighting”, abre-se um novo separador contendo os parâmetros de cálculo do projeto, nomeadamente: a localização do projeto, data e hora e o modelo de céu. O ElumTools® carrega automaticamente os parâmetros do modelo, embora estes possam ser adicionados posteriormente.

Neste contexto, é possível calcular somente a luz do dia ou conjugar com a iluminação artificial, A opção “Enable Electric Lighting in Dayligh Calculations” permite indicar se a iluminação artificial deve ser considerada nos cálculos de iluminação natural. Ao marcar esse parâmetro, o símbolo do “Daylight Parameters” aparece com uma lâmpada junto ao sol, indicando que a iluminação artificial está ativa para ser considerada nos cálculos. Caso contrário, se este parâmetro não for marcado, os cálculos serão feitos exclusivamente com base na luz natural.

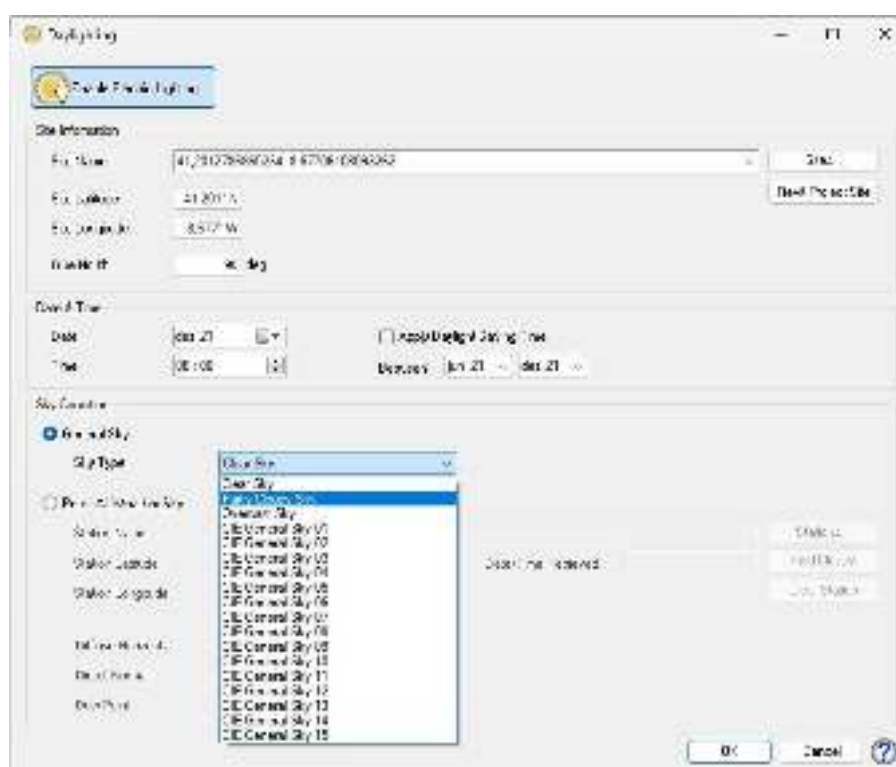


Fig. 35 – Simulação da iluminação natural e artificial com o ElumTools®.

5. SIMULAÇÃO PARAMÉTRICA DA ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL APLICADA A UM CASO DE ESTUDO

5.1. Castro de Monte Castelo

Inserido na unidade curricular de Projeto III, foi proposta a realização de um projeto para o Centro Interpretativo no Castro de Monte Castelo, em Matosinhos.

A área de intervenção está situada na União de Freguesia de Custóias, Leça do Balio e Guifões, no concelho de Matosinhos, distrito do Porto. Localizado na margem esquerda do estuário do Rio Leça, o Castro de Monte Castelo ocupa uma área de cerca de 9 hectares, desde o seu ponto mais alto até ao “Campo da Ponte”.



Fig. 36 - Perspetiva aérea do Castro de Guifões. Fonte: Google Maps.

O Castro de Monte Castelo é considerado uma das mais importantes estações arqueológicas da Idade do Ferro e do período de Romanização, na área metropolitana do Porto. É no lugar do Castro do Monte Castelo que se encontram as raízes enterradas de mil anos de habitação na primeira povoação de Matosinhos, habitada desde antes do séc. V a.C. até ao séc. V d.C., e, pontualmente, ocupada durante a Idade Média.

Foi classificado como Monumento de Interesse Público em 1971 (Decreto 516/71 DG 274 de 22 de novembro), e com a publicação do Plano Diretor Municipal em 1991 foi definida a sua área de proteção, o que não impediu a contínua construção não licenciada nas suas imediações.



Fig. 37 – Castro de Guifões. Fonte: <https://www.csarmento.uminho.pt/site/files/original/9055ffd9b9f0ebac284695ebc4e8db04717be9c9.pdf>

5.1.1. Clima e condições meteorológicas

As condições meteorológicas em Guifões são influenciadas pela sua localização geográfica e pela sua proximidade ao Rio Leça e ao Oceano Atlântico.

A estação de verão é uma época amena e ensolarada, com pouca humidade relativa e céu praticamente sem nuvens. Em contrapartida, o inverno é fresco, com alguma chuva e frequentemente nublado. As temperaturas médias ao longo do ano variam entre 2 °C e 31 °C.

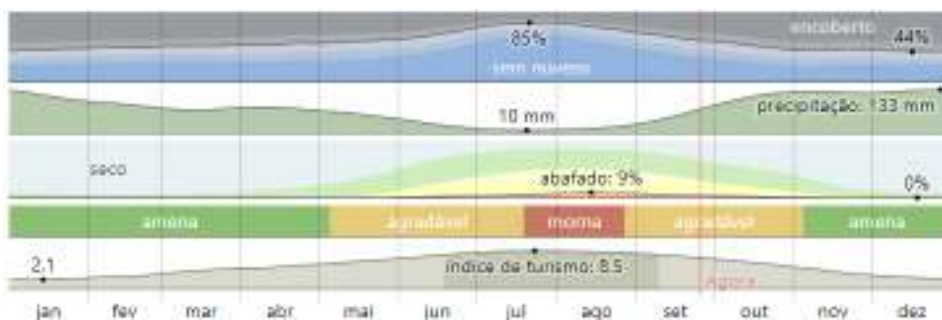


Fig. 38 – Resumo meteorológico de Guifões. Fonte: weatherspark.com

Nuvens

O período do ano menos encoberto em Guifões tem início por volta de 8 de julho e estende-se até cerca de 14 de setembro. Julho destaca-se como o mês menos encoberto, caracterizando-se por um céu ora sem nuvens, quase sem nuvens ou parcialmente

encoberto. Em contrapartida, dezembro é o mês mais encoberto, marcado por um céu encoberto ou quase encoberto mais de metade do tempo.

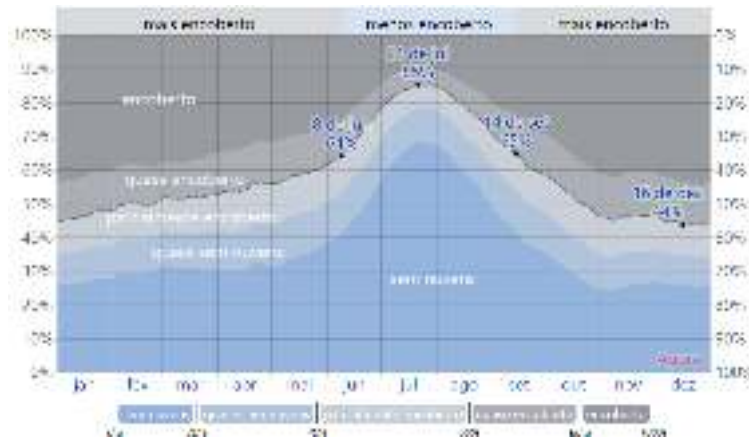


Fig. 39 – Nebulosidade em Guifões. Fonte: weatherspark.com

Sol

A duração do dia em Guifões apresenta variações significativas ao longo do ano. O dia mais longo do ano verifica-se no dia 21 de junho, com 15 horas e 9 minutos de luz solar. Já o dia mais curto verifica-se no dia 22 de dezembro, com apenas 9 horas e 12 minutos de luz solar.



Fig. 40 – Horas de luz solar e crepúsculo (Guifões). Fonte: weatherspark.com

O dia em que o nascer do sol acontece mais cedo é 15 de junho, às 06h01, enquanto o nascer do sol mais tardio se verifica a 28 de outubro, às 8h00. Relativamente ao pôr-do-sol, o dia em que acontece mais cedo é 8 de dezembro, às 17h05, em contraste com o pôr-do-sol mais tardio dia 28 de junho às 21h11.

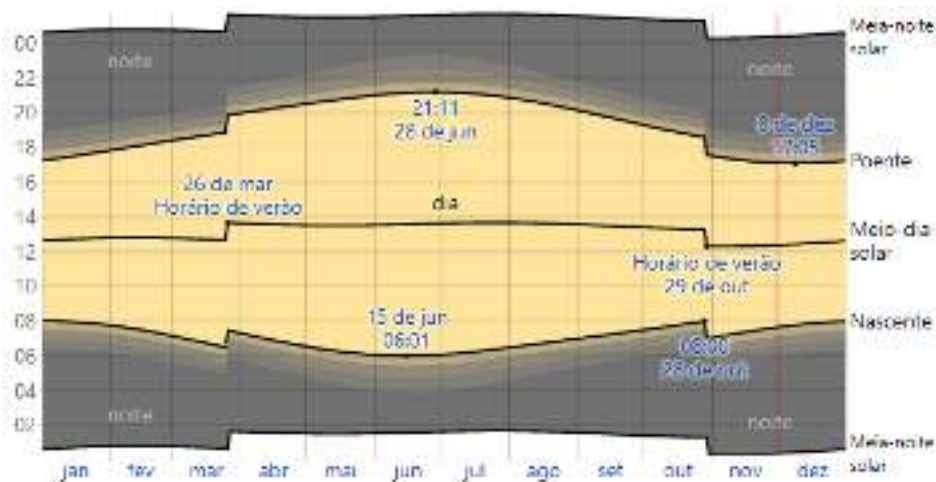


Fig. 41 – Nascer e Pôr-do-Sol com crepúsculo e luz solar no horário de verão (Guifões). Fonte: weatherspark.com

Energia Solar

Há uma grande variação da incidência de energia solar de ondas curtas ao longo do ano. A radiação de ondas curtas inclui tanto a luz visível e a radiação UV.

O período com mais radiação incidente ocorre entre 17 de maio e 21 de agosto, com uma radiação média de 6,6 kWh. Julho corresponde ao mês com maior radiação incidente, apresentando uma média de 7,7 kWh. Em contraponto, o período com menos radiação incidente ocorre entre 25 de outubro e 15 de fevereiro, sendo dezembro o dia 26 de dezembro o dia com menos radiação incidente, com uma média de 1,7 kWh.

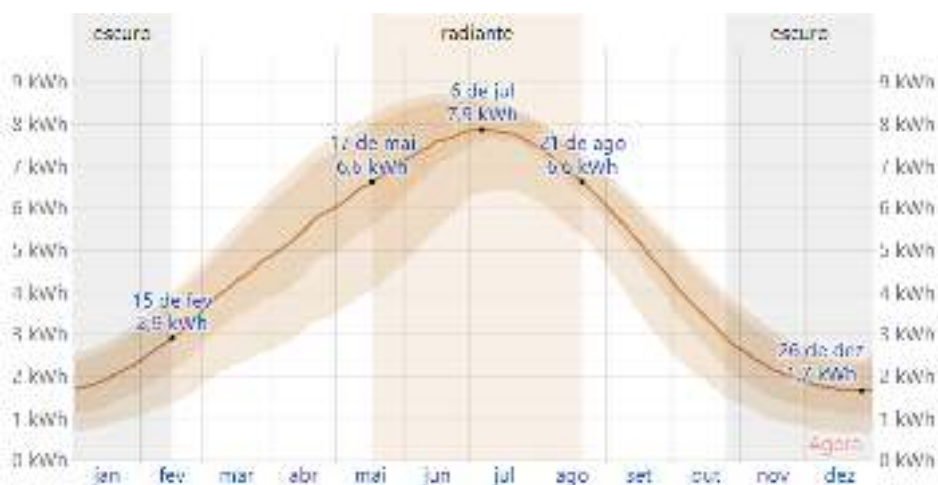


Fig. 42 – Média diária de energia solar de ondas curtas incidente em Guifões. Fonte: weatherspark.com

5.2. Projeto para o Centro Interpretativo do Castro de Monte Castêlo

A área para o equipamento propõe-se no ponto mais alto do Castro e da área de intervenção, uma das áreas mais nobres do território, com vista superior para as escavações arqueológicas já realizadas e onde se pressupõe a existência de mais vestígios. Devido à sua elevação, o topo do monte (a 65m de altitude), a que correspondia a acrópole, proporciona uma vista panorâmica do território circundante.



Fig. 43 – Planta de Localização do Centro Interpretativo do Castro de Monte Castêlo.

Respeitando e seguindo o programa preliminar entregue pelos docentes da unidade curricular de Projeto III, a proposta assenta no desenho de um volume bipartido: centro interpretativo + centro arqueológico. O equipamento proposto divide-se aparentemente em dois volumes, que se interseitam e se interligam entre si funcionalmente ao nível do piso 1. Estes orientam-se segundo dois eixos essenciais: o volume principal destinado ao Centro Interpretativo orienta-se segundo o eixo nordeste-sudoeste, em direção ao mar e ao Porto de Leixões, e o centro arqueológico no sentido este-oeste, em direção à antiga ponte de Guifões e a uma possível articulação com o Corredor Verde do Leça. Os dois prismas, dispostos num ângulo de 45°, são unidos por um volume menor que define um pátio triangular no centro do conjunto. O cruzamento dos dois define o momento de entrada.

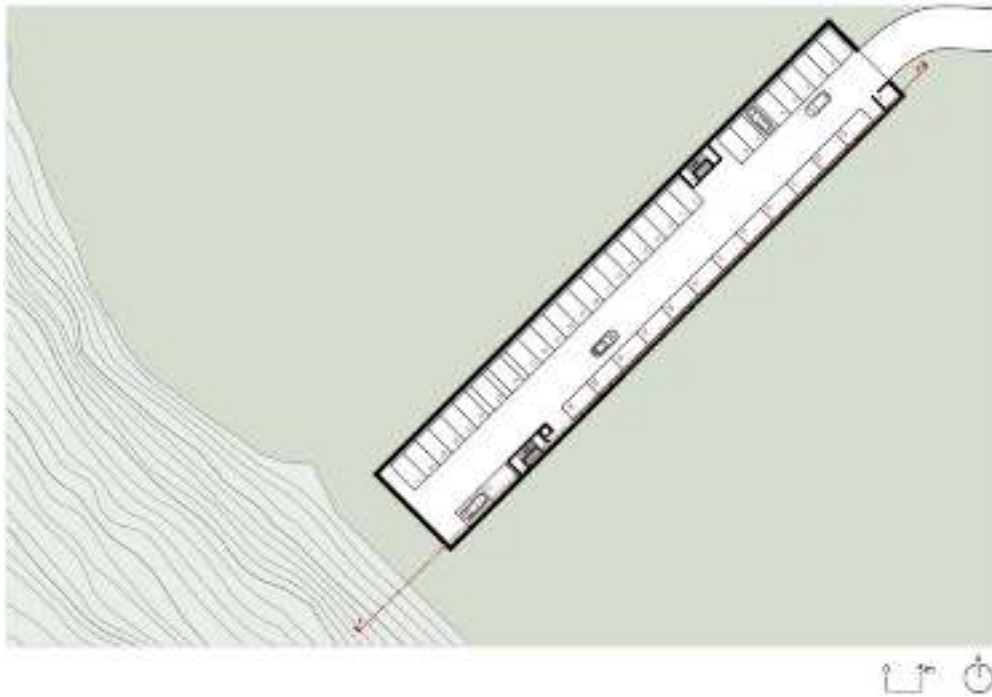


Fig. 44 – Planta do piso -1 (estacionamento).

O acesso é feito por uma entrada comum, através do volume principal ou através do estacionamento coberto no piso -1. No piso térreo desenvolvem-se, por esta ordem: a loja em contacto direto com o exterior e com o átrio, a administração, escadaria e elevador central de ligação ao piso superior, a receção, um espaço interativo, a sala interativa, sala de exposição temporária, bar e a sala educativa.

A área dedicada à arqueologia apresenta uma entrada de serviço autónoma, que dá acesso aos balneários, residência, espaços de trabalho dos arqueólogos e ao arquivo/reserva. Numa lógica funcional de acessos, apresenta ainda ligação à administração e ao bar.

A área de chegada ao piso 2 corresponde à área de descompressão do auditório, um segundo lounge, sendo servida por luz natural, através de uma claraboia que potencia o efeito ascendente, juntamente com o aumento do pé direito livre. Neste piso, desenvolve-se a sala de exposição permanente (objeto deste estudo), um pequeno espaço de estar, sanitários, uma zona de *coffee break* e auditório.

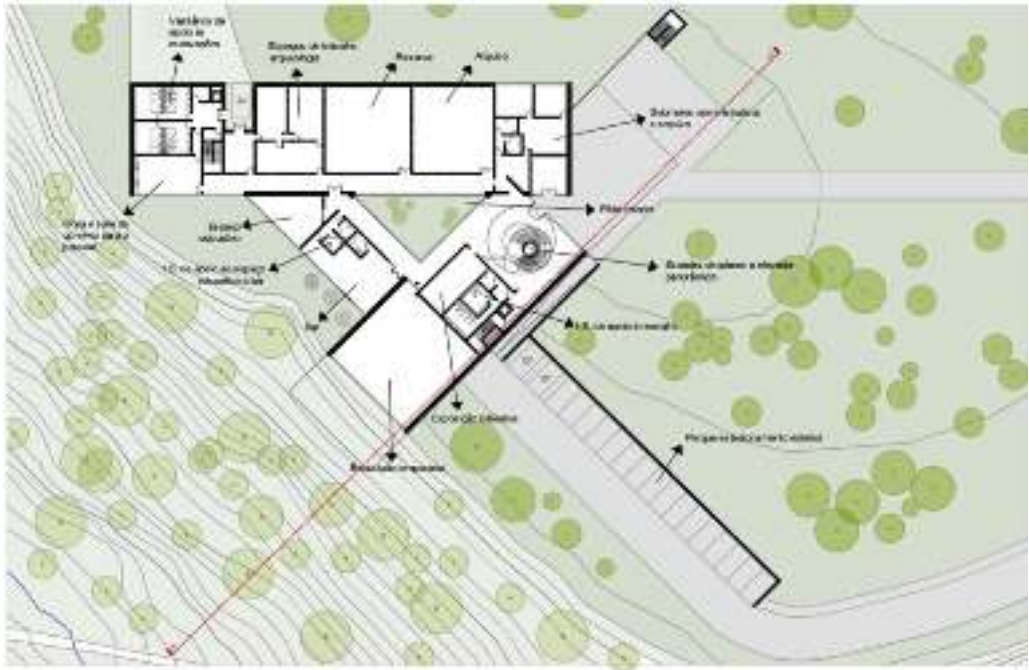


Fig. 45 – Planta piso 1.

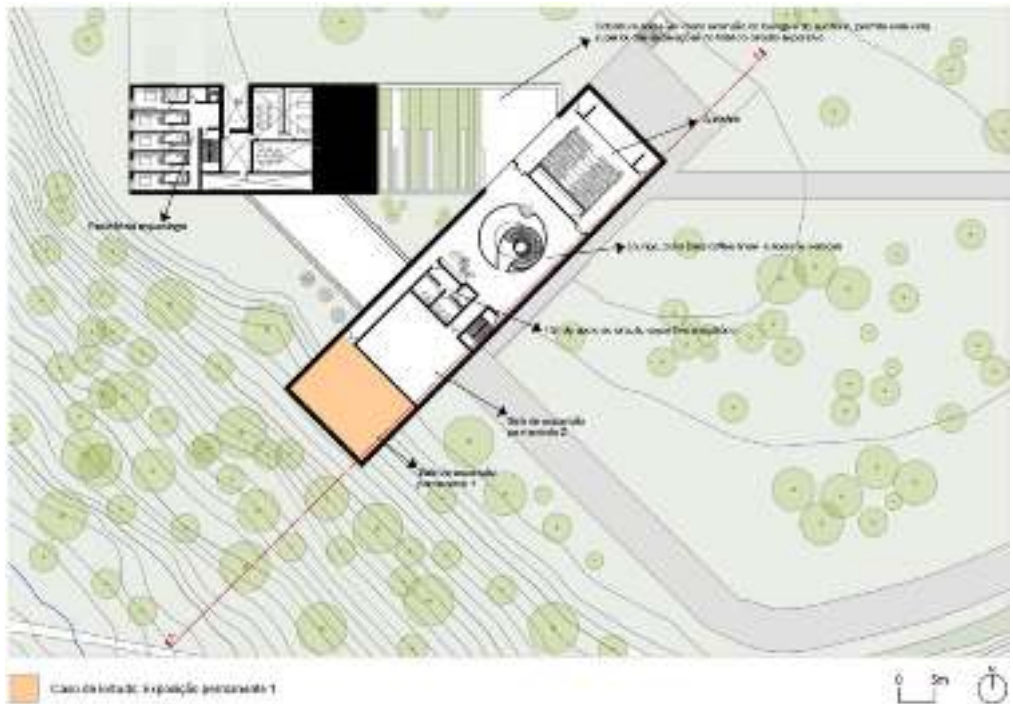


Fig. 46 – Planta piso 2.



Fig. 47 – Planta da cobertura.

A escolha dos materiais procurou ir de encontro ao conceito do projeto, de um volume maciço e monolítico que se impõe na paisagem, funcionando como um contraponto aos Silos, enquanto se adapta ao contexto. Sempre no limite entre a fusão e a imposição. Optou-se por betão texturado no exterior, que reproduz o aspeto estético da antiga construção em taipa. Quanto aos paramentos interiores, a escolha recaiu sobre reboco branco liso e piso de resina contínuo monocromático, na cor cinza-claro.

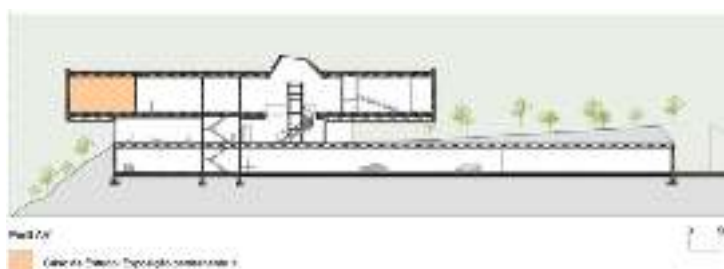


Fig. 48 – Corte longitudinal.



Fig 49. – Alçado sudoeste.

5.3. Parametrização do objeto no Autodesk Revit®

Para o desenvolvimento do cálculo luminotécnico foram criados no Revit componentes como vitrinas, mesas expositoras e plintos, verticais e horizontais. Por se tratar na sua maioria de objetos de tonalidade mais clara, optou-se por chapa de aço inox de alta resistência lacado a epóxi fosco, com RAL 9005 (preto).

Realizou-se o levantamento e identificação dos artefactos encontrados no Castro de Monte Castelo, nomeadamente: artefactos de iluminação (como lucernas), utensílios relacionados com a pesca, frutos e sementes (carpologia), telhas de rebordo, fragmentos cerâmicos (cerâmicas da Idade do Ferro, cerâmica comum romana, cerâmica bracarense, cerâmica hispânica e africana, recipientes de transporte como ânforas, materiais de construção como uma tégula, *doliums*, fragmentos de parede, plásticos, vidro (fragmentos de taças, pratos, jarros, garrafas). Em síntese, trata-se de materiais pouco sensíveis à luz (<300 lux – cerâmica, barro, pedra, vidro, metais) e moderadamente sensíveis à luz (<200 lux – plásticos). De seguida, foram importadas peças semelhantes, da mesma tipologia, para fins de simulação.



Fig. 50 – Exemplos de artefactos encontrados no Castro de Guifões. Fotografias de José Manuel Varela e Andreia Arezes, respetivamente.

Nesse sentido, para as peças expositivas, recorreu-se ao espólio virtual da Global Digital Heritage (GDH), uma entidade sem fins lucrativos localizada na Flórida, EUA, cuja missão se concentra na documentação, preservação e promoção do património cultural e histórico. Através do uso de ferramentas digitais avançadas como a

digitalização 3D, fotogrametria e outras tecnologias, procura criar digitais precisas de sítios arqueológicos, monumentos e outros elementos do património. Esta organização visa documentar e preservar locais históricos e culturais em todo o mundo.

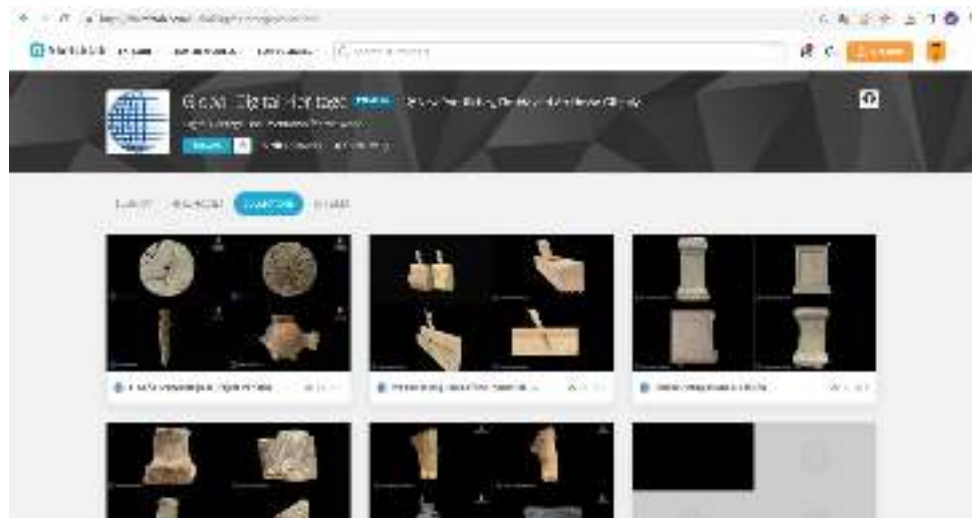


Fig. 51 – Espólio virtual da Global Digital Heritage.

Após a criação e importação de todos os conteúdos e modelos necessários à modelação, foi possível iniciar a etapa de desenvolvimento da exposição virtual, tal como mostra a figura 52.



Fig. 52 – Planta da sala de exposição permanente. Produzidas no Autodesk Revit®.

5.4. Parametrização da condição luminotécnica

A integração do *add-in* ElumTools® como ferramenta de simulação luminotécnica desempenhou um papel fundamental no apoio ao desenvolvimento do projeto de iluminação para um espaço museográfico no Centro Interpretativo. A atenção foi direcionada particularmente para a sala de exposições de longa duração, na sua componente de luz natural e artificial. O objetivo foi o de harmonizar os níveis de conforto visual e garantir uma visualização adequada dos objetos expostos, considerando as necessidades de conservação preventiva e a experiência do visitante.

Para uma melhor compreensão do impacto da luz no espaço expositivo e nas escolhas projetuais, avaliaram-se duas situações:

1º - Incorporação de apenas iluminação artificial (A)

Cenário A1: Os resultados obtidos foram analisados por forma a identificar as áreas que não atendiam aos requisitos de iluminância e de conservação preventiva.

Cenário A2: Com base nos resultados obtido no primeiro cenário, procurou-se perceber quais os parâmetros que podiam ser ajustados para melhorar a iluminância nas zonas mais escuras e reduzir a iluminância nas áreas não desejadas.

2º - Integração da iluminação artificial e iluminação natural (AN)

Cenário AN1: Realização de simulações para o solstício de inverno e verão, considerando as horas de 8h00, 12h00 e 16h00, em consonância com o horário de funcionamento do Centro Interpretativo, com a conjugação da iluminação artificial.

Cenário AN2: Tendo em conta os resultados obtidos, procedeu-se a alterações do posicionamento e dimensionamento dos vãos, por forma a assegurar o controlo adequado da entrada de luz solar e a não afetação das peças expostas. Este cenário evidenciou as melhorias alcançadas.

5.4.1. Parâmetros Computacionais e dados de entrada

O local de intervenção encontra-se situado nas coordenadas de Latitude 40.201278 e de Longitude -8.677061.

Para os cenários AN, em que se procedeu à simulação da luz natural, foram consideradas as seguintes datas e horários:

1. Solstício de inverno – 21 de dezembro de 2023 às 08h00, 12h00 e 16h00;
2. Solstício de verão – 21 de junho de 2023 às 08h00, 12h00 e 16h00.

Os horários escolhidos remetem ao horário de funcionamento ao público do Centro Interpretativo.

Para a simulação, teve-se em consideração as condições de luz natural de um céu encoberto, conforme os padrões estabelecidos pela CIE e disponibilizado pelo ElumTools®.

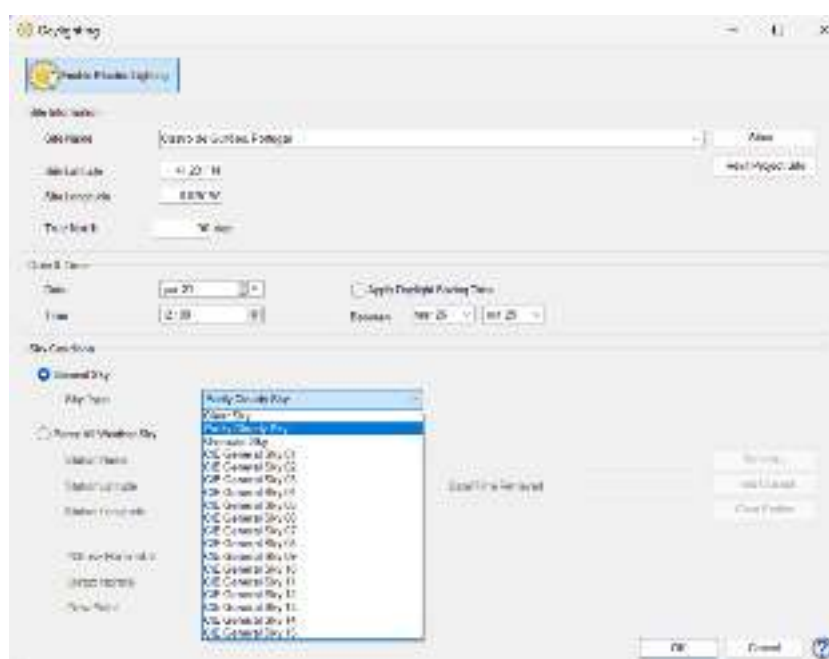


Fig. 53 – Condições do céu no ElumTools®.

5.4.2. Plano de trabalho

A área a ser estudada é a sala de exposição de longa duração, com 10,75 m de largura por 12,40 m de comprimento e uma área de 133,30 m².

O plano de trabalho para obtenção de resultados das iluminâncias dos cenários A foi definido a duas alturas diferentes, tendo em conta a altura dos diferentes mobiliários expositivos - 0,75m e 1,00m. No entanto, para os cenários AN foi só considerado o plano à cota 1,00m, uma vez que o impacto dessas iluminâncias será equivalente para ambos os planos. A componente natural influencia o espaço na totalidade, enquanto a componente

artificial é redirecionável, influenciando individualmente cada mobiliário e peça expositiva.

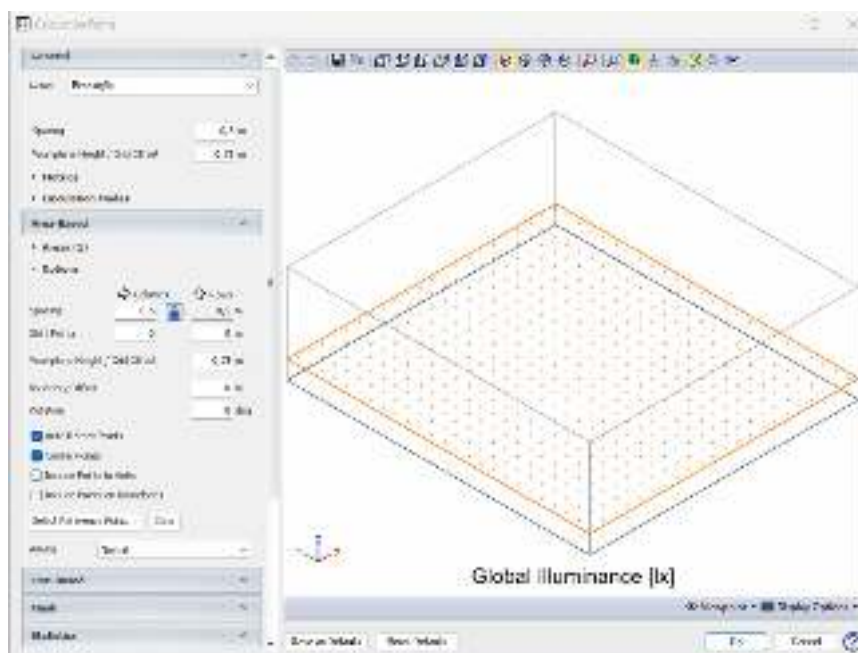


Fig. 54 – Definição do plano de trabalho no ElumTools®.

5.4.3. Grelha de iluminância

A norma EN 12464-1:2021 determina que as distâncias entre os pontos da grelha de cálculo devem ser as mesmas para o comprimento e para a largura.

Tabela 8 - Espaçamento dos pontos da grelha recomendados pela EN 12464-1 (CEN, 2021, p. 16)

Comprimento do espaço (m)	Distância máxima entre pontos da grelha (m)	Número mínimo de pontos da grelha
1,00	0,20	3
2,00	0,30	6
5,00	0,60	8
10,00	1,00	10
25,00	2,00	12
50,00	3,00	17
100,00	5,00	20

Como o comprimento do espaço ultrapassa os 10 m especificados pela norma, optou-se pelo valor de referência de 25,00 m. Este estabelece um número mínimo de

pontos, contudo, na prática, o cálculo continua a basear-se num número superior de pontos, por forma a otimizar a precisão dos resultados.

Quanto mais densa for a grelha, mais perfeitas serão as curvas de nível do mapa das isolinhas, uma vez que se tratam de curvas de nível com os mesmos valores de iluminância.

Assim, definiu-se uma grelha quadrada de pontos com 0,50 por 0,50 m e com 550 pontos.

Tabela 9 - Espaçamento dos pontos da grelha para o caso de estudo

Comprimento do espaço em metros	Distância entre os pontos da grelha	Número de pontos da grelha
12,40	0,5m	550

5.4.4. Necessidades de iluminação

A referida norma especifica apenas as necessidades de iluminação das áreas gerais que os museus contemplam, nomeadamente: áreas de entrada, áreas de circulação, vestiários, lounges, bilheteiras, cafetarias, receção, corredores, salas de conferências. Especificamente para museus, apenas refere o valor mínimo de reprodução de cor (R_a) ≥ 80 , deixando à consideração que os requisitos de iluminação são determinados pelo contexto próprio das exposições e das peças a expor.

Tabela 10 - Locais de reunião pública – Museus, pela EN 12464-1 (CEN, 2021, p. 65).

Tipo de tarefas / Área de atividade	\dot{E}_m lx		U_0	R_a	R_{UGL}	$\dot{E}_{m,sz}$ lx	$\dot{E}_{m,wall}$ lx	$\dot{E}_{m,ceiling}$ lx	Requisitos específicos
	requirido	modificado							
Exposições, insensíveis à luz	-	-	-	80	-	-	-	-	A iluminação é determinada pelos requisitos de visualização.
Exposições sensíveis à luz	-	-	-	80	-	-	-	-	1. A iluminação é determinada pelos requisitos de visualização. 2. A proteção contra radiações nocivas é fundamental.

Como se trata de uma exposição de cerâmicas, um material pouco sensível à luz, os níveis recomendados de iluminância devem ser <300 lux, os níveis de UV <75 $\mu\text{W}/\text{lm}$ e a tonalidade de cor 4000 K (neutro).

Tabela 11 – Iluminação adequada.

Iluminância da tarefa ou área de atividade (E_m)	Iluminância do entorno imediato
lux	lux
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
≤ 200	Mesma iluminância da área de tarefa

Estes valores respeitam a escala de iluminância recomendada pela norma, por forma a existir uma diferença perceptual de contraste entre os diferentes níveis de luminosidade:

5 – 7,5 – 10 – 15 – 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 700 – 1000 – 1500 – 2000 – 3000 – 5000 – 7500 – 10 000 (valores em lux)

5.4.5. Valor de refletância de luz (LRV)

Para garantir o conforto visual, a norma EN 12464-1:2021 estabelece intervalos específicos de refletância, orientando na seleção dos materiais (Comité Européen de Normalisation, 2021, p.12), nomeadamente:

- Tetos: 0,7 a 0,9
- Paredes: 0,5 a 0,8
- Pisos: 0,2 a 0.6

Assim, aquando da seleção dos materiais para a sala de exposições, foi considerada a conformidade dos valores de refletância de luz nas superfícies de acordo com a norma EN 12464-1, conforme tabela abaixo:

Tabela 12 - Valores de refletância da luz (LRV) para a superfície dos materiais internos

Superfície	Material	Cor	Acabamento	LRV
Teto	Placas de gesso cartonado	Branco RAL 9016	Fosco	90%
Paredes	Reboco pintado	Branco RAL 9010	Fosco	75%
Piso/chão	Pavimento de resina contínuo	Cinzeno RAL 7037	Fosco	21%

Essa preocupação estendeu-se à escolha dos materiais do mobiliário do circuito expositivo:

Tabela 13 - Valores de refletância (LRV) do mobiliário expositivo

Superfície	Material	Cor	Acabamento	LRV
Vitrine	Chapa de aço de alta resistência	Preto RAL 9005	Lacada a epóxi fosco	10%
Banco para descanso	Tecido	Bege RAL	Linho	63%

A norma recomenda ainda que a refletância do mobiliário e outros objetos esteja compreendida entre 0,2 e 0,7. Isso significa que esses objetos devem refletir entre 20% a 70% da luz que incide sobre eles. Ao manter a refletância dentro desta faixa controlamos a quantidade de luz refletida no ambiente e garantimos um nível de luminosidade adequado.

A norma admite ainda que o vidro interior transparente tem uma refletância tipo de 0,1, ou seja, que reflete apenas cerca de 10% da luz incidente. Esse valor de refletância é relativamente baixo, o que é desejável para evitar reflexos excessivos e manter uma visão clara através do vidro. Não obstante, existem já vidros antirreflexo (temperados ou laminados) que conferem às vitrinas e expositores um efeito “sem vidro”, sem descurar a sua proteção e segurança. O vidro antirreflexo escolhido apresenta uma transmissão luminosa de 97%, uma reflexão inferior de 1% e uma reflexão residual de um azul suave neutro.

5.5. Resultados obtidos para os cenários parametrizados para os cenários A

5.5.1. Resultados obtidos para o cenário A1

Para os cenários A1 foi considerada a seguinte distribuição de luminárias:

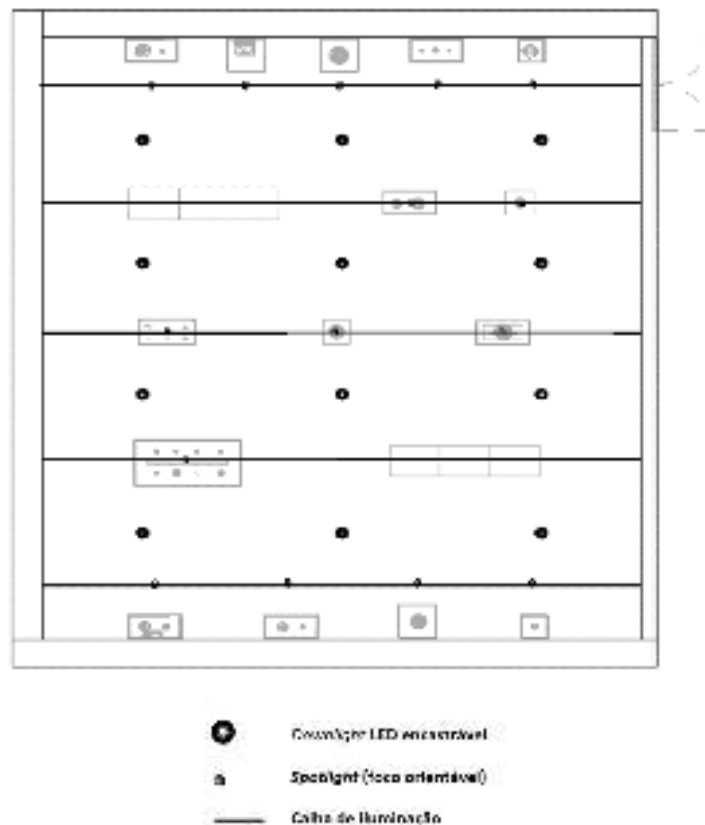


Fig. 55 – Distribuição dos sistemas de iluminação artificial – cenário A1.

Para o cenário A1 foram traçados os mapas de iluminância e renderizações 3D para iluminâncias interiores para os planos de trabalho 0,75m e 1,00m, conforme demonstram as figuras 56 a 59:

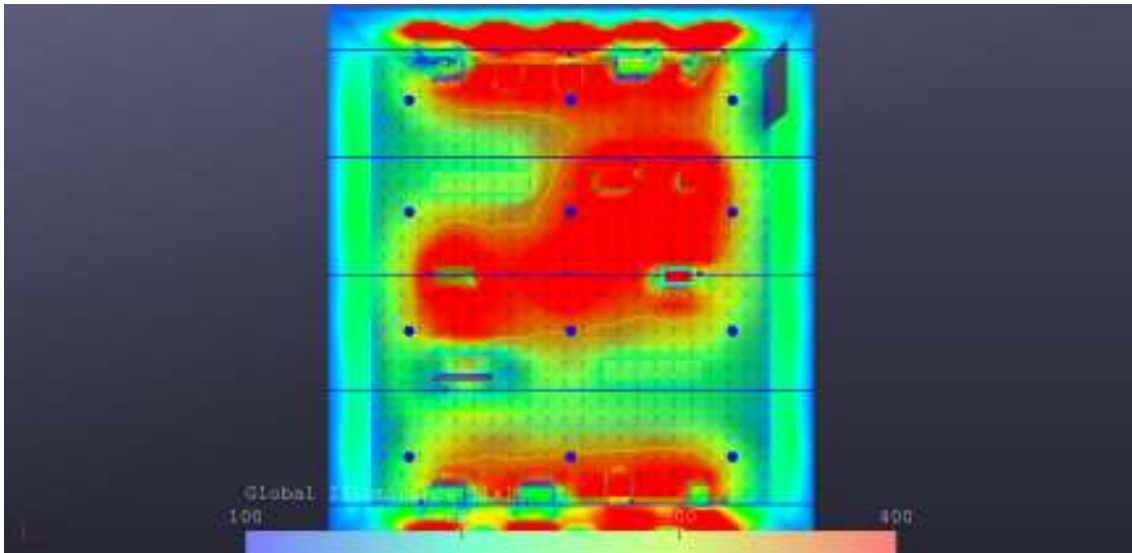


Fig. 56 – Mapa de iluminância obtido para o cenário A1 – plano de trabalho 0,75m.

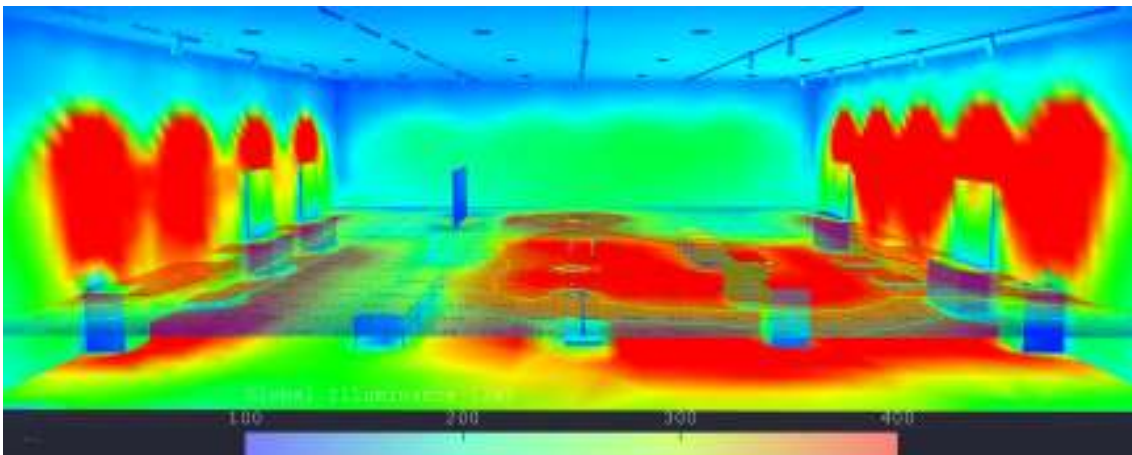


Fig. 57 – Renderização 3D de iluminâncias interiores do cenário A1 – plano de trabalho 0,75m.

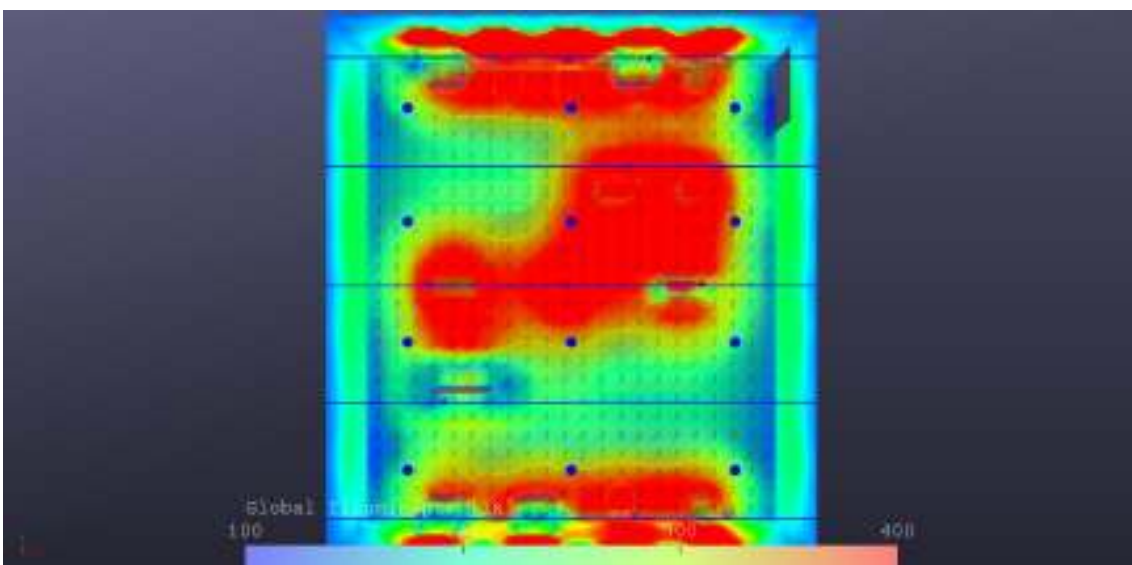


Fig. 58 - Mapa de iluminância obtido para o cenário A1 – plano de trabalho 1,00m.

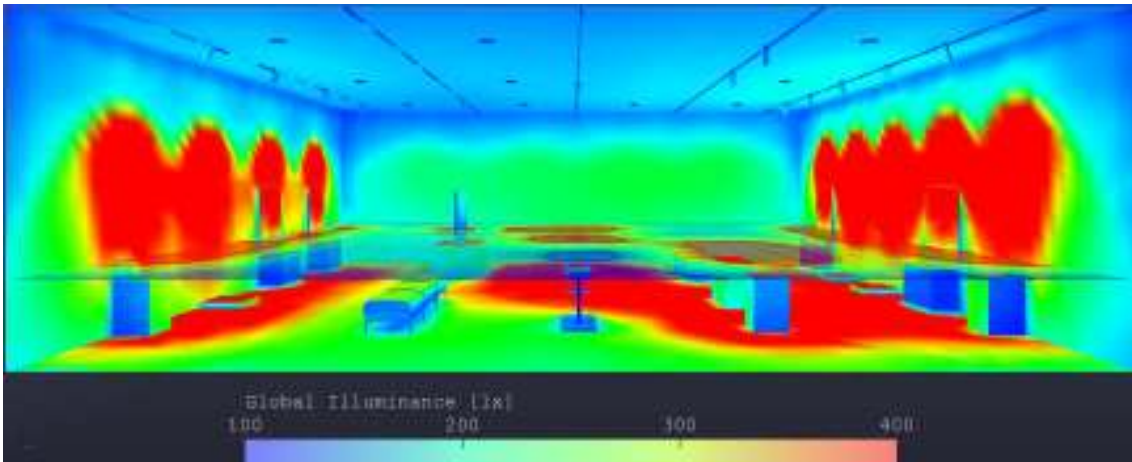


Fig. 59 – Renderização 3D de iluminâncias interiores do cenário A1 – plano de trabalho 1,00m.

Os resultados obtidos para o cenário A1 estão resumidos nas tabelas 14 e 15:

Tabela 14 – Resumo dos resultados obtidos para o cenário A1 – plano de trabalho 0,75m

<ElumTools General Use Global Illuminance Results.>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Calculation Points	Points Count	Average	Maximum	Minimum	Avg/Min	Max/Min	Coefficient of Variation
Exposição 2	531	289 lx	759 lx	69 lx	4.0	10.9	0.5

Tabela 15 – Resumo dos resultados obtidos para o cenário A1 – plano de trabalho 1,00m

<ElumTools General Use Global Illuminance Results.>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Calculation Points	Points Count	Average	Maximum	Minimum	Avg/Min	Max/Min	Coefficient of Variation
Exposição 2	950	323 lx	884 lx	104 lx	3.1	8.5	0.5

Os resultados do cenário A1 revelam deficiências significativas na iluminação da sala de exposições, resultando na criação de sombra no seu perímetro. A intensidade luminosa transmitida pelos *spotlights* revela-se excessiva, ocasionando problemas na preservação das peças, uma vez que estão expostas a uma luminosidade superior a 300 lux. Isto é particularmente problemático considerando as características das peças em questão. Apesar de a iluminância média se situar abaixo dos 300 lux, conforme as normas de conservação preventiva, a iluminância em alguns pontos do plano de trabalho onde se situam as peças é superior, alcançando em alguns pontos os 800 lux. Detetadas estas falhas, avançou-se para o cenário A2.

5.5.2. Resultados para o cenário A2

No cenário A2, foi introduzido um *downlight* extra em cada fila de luminárias, procurando eliminar as áreas escuras e as sombras que existiam junto à parede em todo o perímetro da sala.

As luminárias foram redistribuídas, de acordo com a figura 60, as potências das fontes de luz foram baixadas e os ângulos de incidência das luminárias ajustados, conforme as necessidades específicas de cada objeto expositivo, tendo em conta os resultados obtidos no cenário A1.

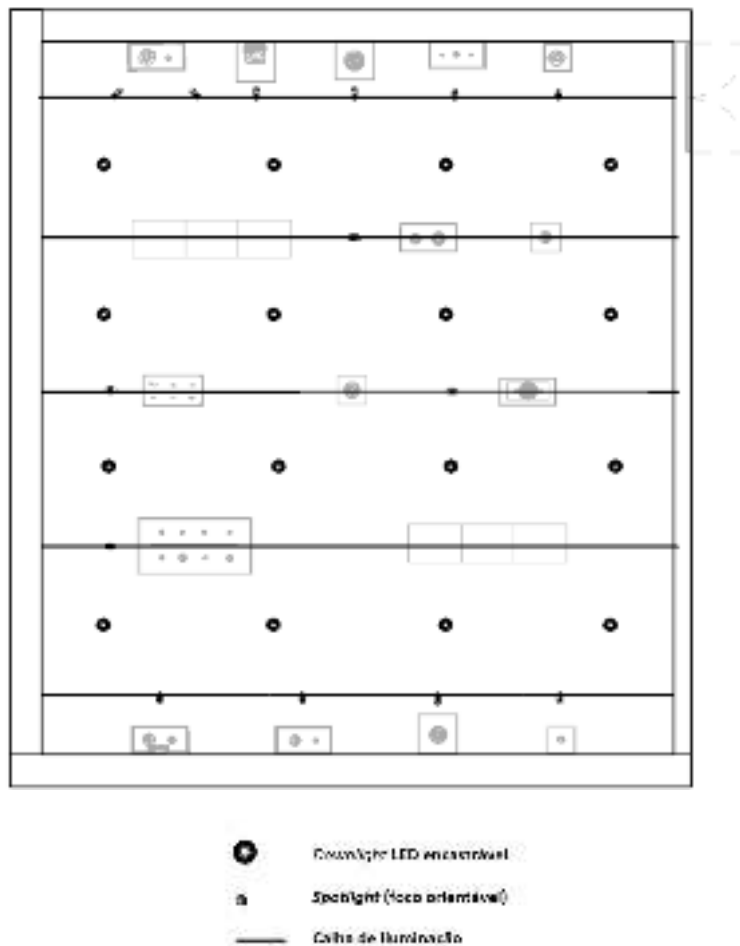


Fig. 60 - Distribuição dos sistemas de iluminação artificial – cenário A2.

Para o cenário A2 foram traçados novamente os mapas de iluminância para os planos de trabalho 0,75 e 1,00m, conforme demonstram as figuras 61 a 64:

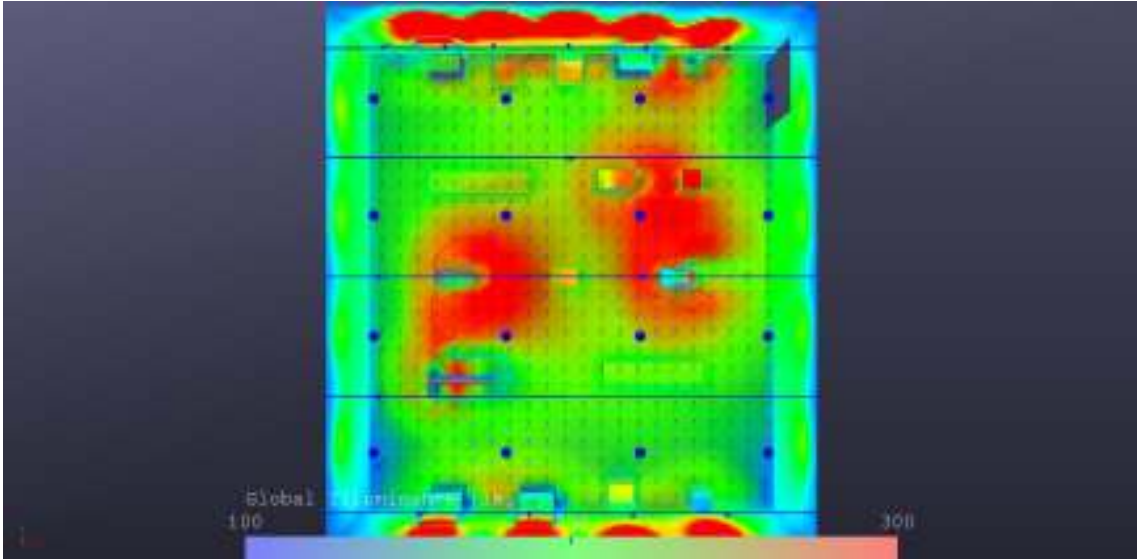


Fig. 61 - Mapa de iluminância obtido para o cenário A2 – plano de trabalho 0,75m.

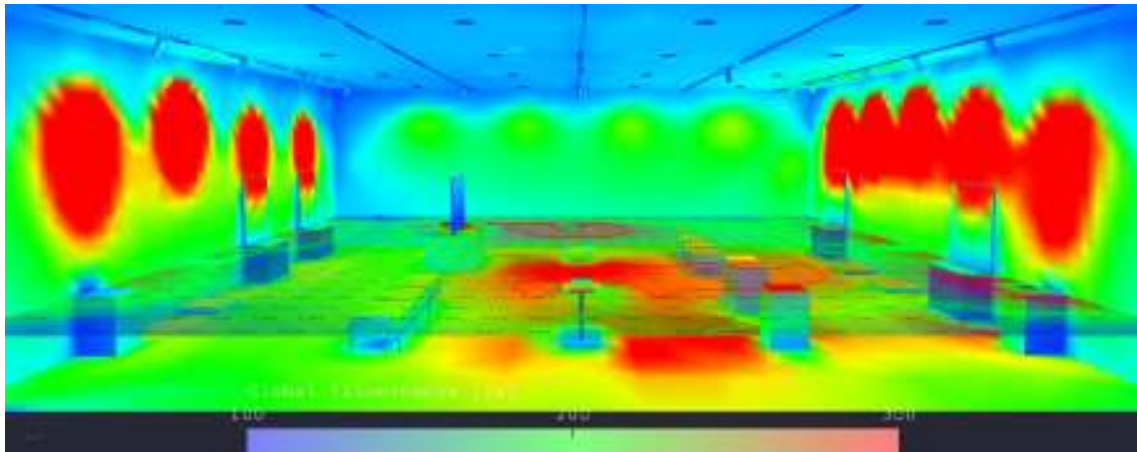


Fig. 62 - Renderização 3D da iluminância do cenário A2 – plano de trabalho 0,75m.

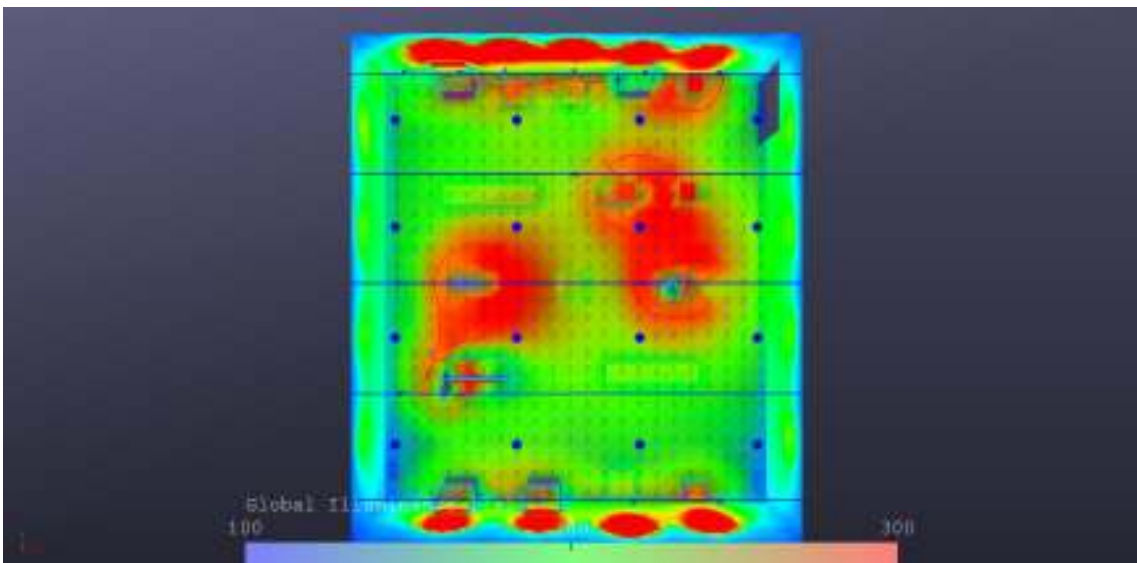


Fig. 63 - Mapa de iluminância obtido para o cenário A2 – plano de trabalho 1,00m.

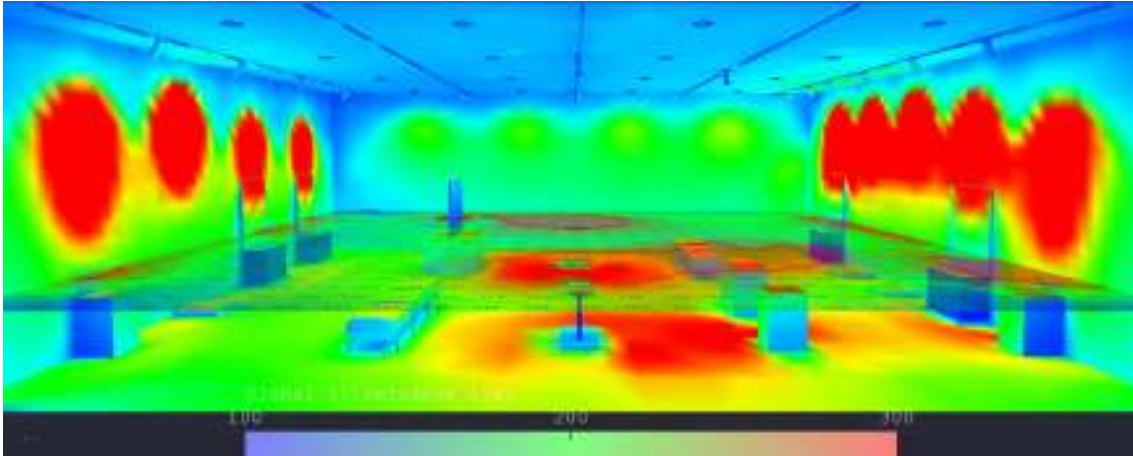


Fig. 64 - Renderização 3D da iluminância do cenário A2 – plano de trabalho 1,00m.

Os resultados obtidos para o cenário A2 estão resumidos nas tabelas 16 e 17:

Tabela 16 - Resumo dos resultados obtidos para o cenário A2 – plano de trabalho 0,75m.

<ElumTools General Use Global Illuminance Results 5>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Calculation Points	Points Count	Average	Maximum	Minimum	Avg/Min	Max/Min	Coefficient of Variation
Ambiente 3	533	220 lx	438 lx	35 lx	6.4	12.6	0.3

Tabela 17 - Resumo dos resultados obtidos para o cenário A2 – plano de trabalho 1,00m.

<ElumTools General Use Global Illuminance Results,>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Calculation Points	Points Count	Average	Maximum	Minimum	Avg/Min	Max/Min	Coefficient of Variation
Ambiente 3	550	232 lx	517 lx	43 lx	5.4	12.0	0.3

Ao comparar os mapas de iluminância e as renderizações de iluminância 3D, torna-se evidente que a adição de um *downlight* extra em cada fila de luminárias no cenário 2 é capaz de eliminar as áreas escuras da sala. Essa modificação contribuiu significativamente para a uniformização da luz, abordando efetivamente as deficiências de iluminação identificadas no cenário inicial quanto à componente de luz difusa. Além disso, a adaptação da potência das fontes de luz foi necessária para otimizar a iluminação, procurando um equilíbrio entre a preservação das peças e a criação de uma atmosfera visualmente atrativa na sala expositiva.

5.6. Resultados obtidos para os cenários AN

Os cenários AN consideraram apenas o plano à cota 1,00m, uma vez que a influência da iluminação natural é uniforme e equivalente em ambas as alturas, não influenciando diretamente as peças expositivas, ao contrário da componente artificial analisada anteriormente.

5.6.1. Resultados para o cenário AN1

Com base nos resultados obtidos nos cenários A2 (de melhoria da componente da iluminação artificial), foi introduzida a iluminação natural. Assim, no cenário AN1 foram introduzidos dois vãos – duas janelas com vidro com proteção UV e apenas 10% de transmissão solar (ver figura 65) – no enfiamento dos corredores do circuito expositivo.

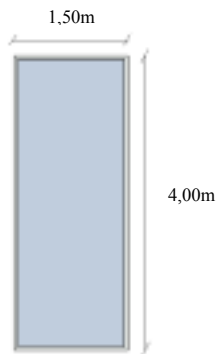


Fig. 65 – Medidas dos vãos.

Para os cenários AN1 foram traçados novamente os mapas de iluminância, conforme demonstram as figuras 66 a 68:

AN1 – Solstício de verão – 21 de junho

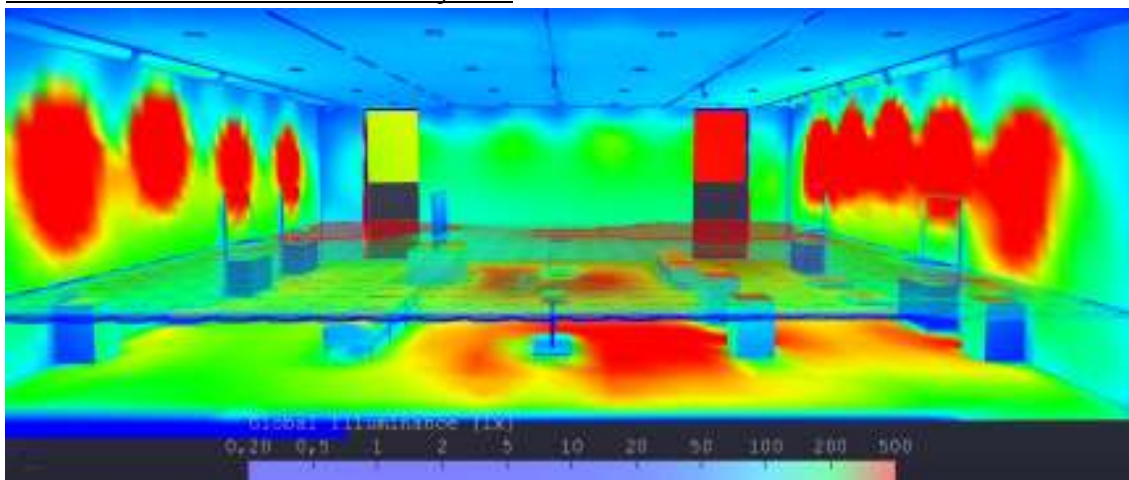


Fig. 66 - Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de verão às 16h para o cenário AN1.

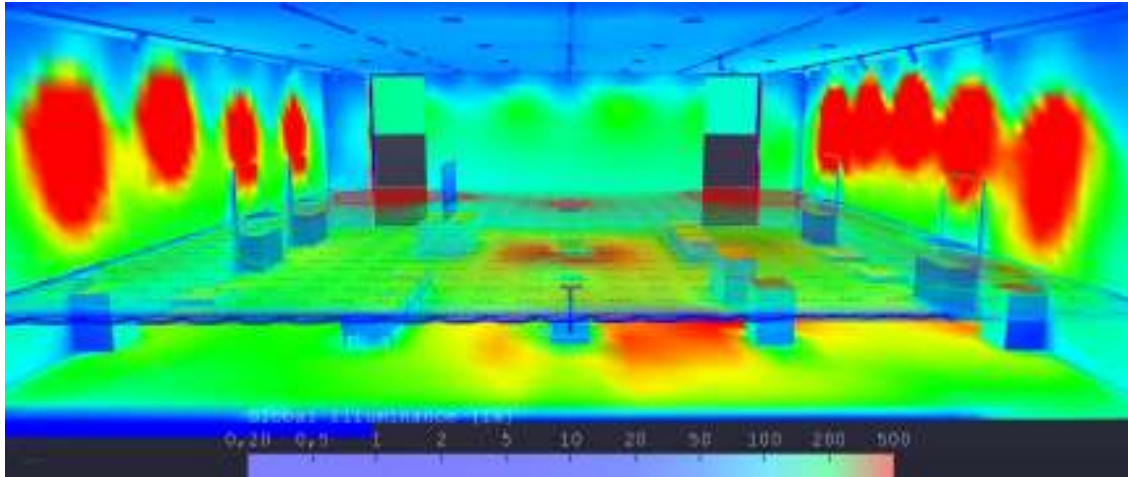


Fig. 67 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de verão às 8h00 para o cenário AN1.

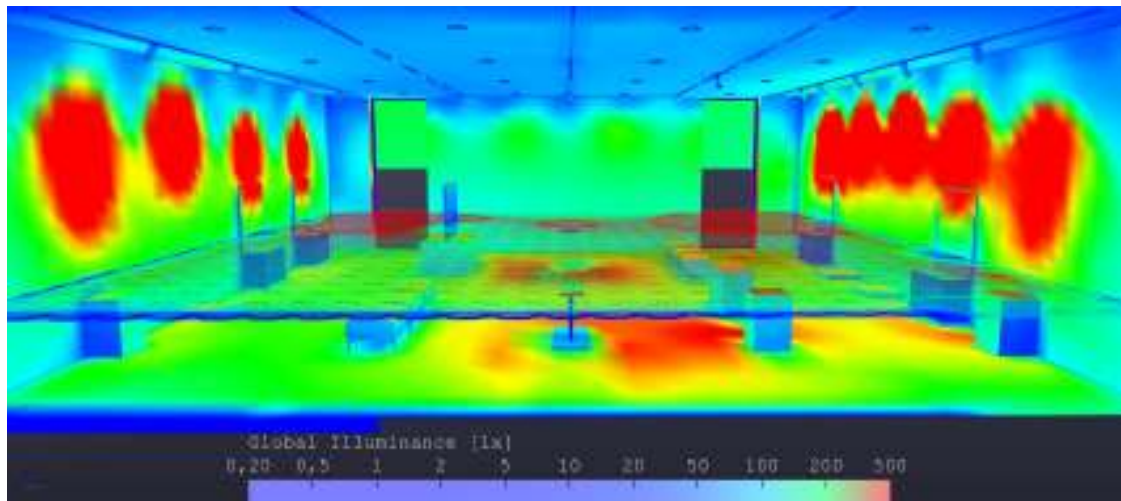


Fig. 68 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de verão às 12h00 para o cenário AN1.

AN1 - Solstício de inverno – 21 de dezembro

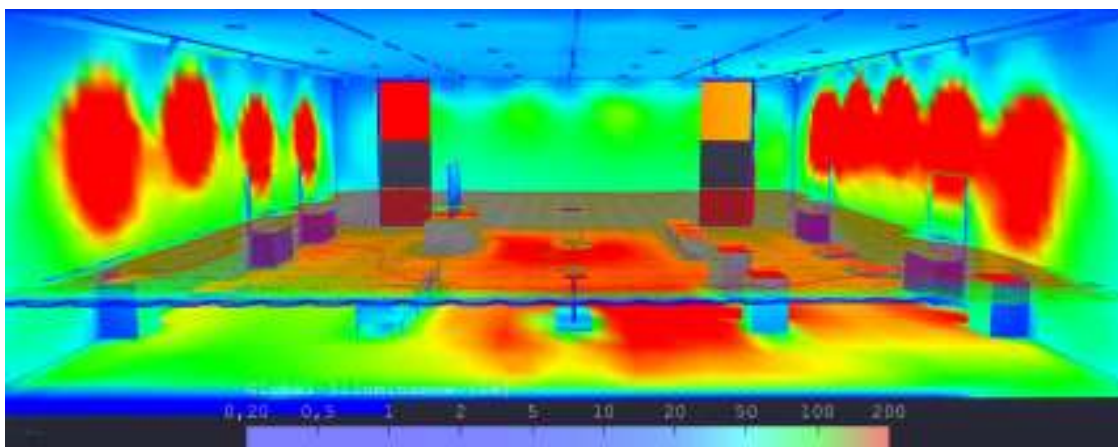


Fig. 69 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de inverno às 8h00 para o cenário AN1.

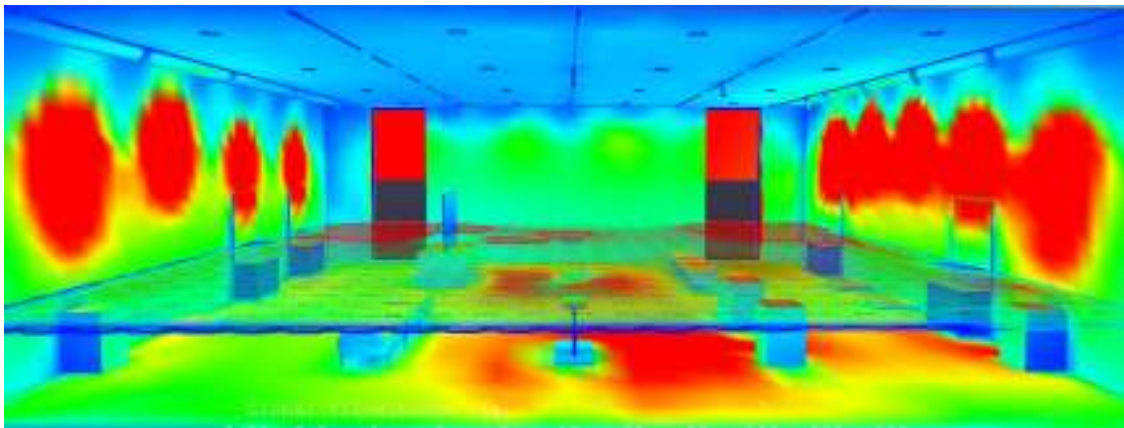


Fig. 70 - Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de inverno às 12h00 para o cenário AN1.

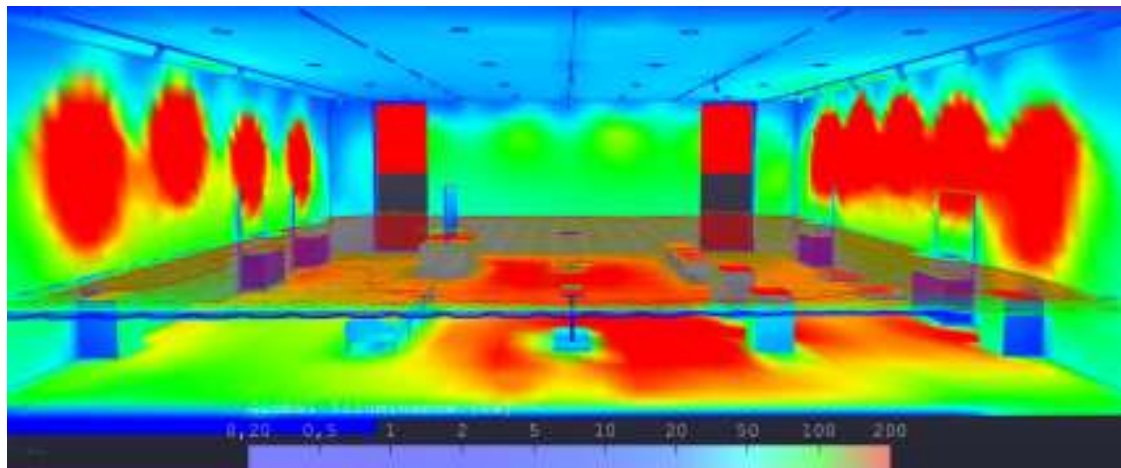


Fig. 71 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de inverno às 16h00 para o cenário AN1.

Os resultados obtidos para o cenário AN1 estão resumidos nas tabelas seguintes:

Tabela 18 - Resumo dos resultados obtidos para o cenário AN1 durante o solstício de verão

EumTools Daylighting Global Illuminance Results									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Coloration Point	Daylighting Control	Daylighting Size	Plane Color	Average	Maximum	Minimum	Avg/M2	Max/M2	Coefficient of Variation
Area 1	Jan 21, 08:00, ElectroCarro de Café, 547			207 lx	2045 lx	0 lx	3776.2	4305.4	1.3
Area 1	Jan 21, 12:00, ElectroCarro de Café, 627			578 lx	2622 lx	0 lx	7496.8	8424.8	1.1
Area 1	Jan 21, 16:00, ElectroCarro de Café, 547			535 lx	1209 lx	0 lx	11355.5	25018.0	2.5

Tabela 19 - Resumo dos resultados obtidos para o cenário AN1 durante o solstício de inverno

ElumTools Daylighting Global Illuminance Results									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Calculation Name	Daylighting Condition	Daylighting Site	Points Count	Average	Minimum	Maximum	Avg/Min	Max/Min	Coefficient of Variation
Area 1	June 21 08:00	ElectrCentro de Gestão - 1847	1847	226 lx	961 lx	3 lx	2366.2	2470.8	2.0
Area 1	June 21 12:00	ElectrCentro de Gestão - 1847	1847	170 lx	625 lx	8 lx	1049.4	1278.6	2.1
Area 1	June 21 18:00	ElectrCentro de Gestão - 1847	1847	217 lx	131 lx	0 lx	1084.3	1407.8	0.6

5.6.2. Resultados para o cenário AN2

No cenário AN1, a iluminância junto às janelas era excessiva, criando fortes zonas de contraste no circuito expositivo. No cenário AN2, adicionaram-se persianas exteriores, com lâminas reguláveis verticais. Este sistema de controlo a radiação solar, permite abrir as lâminas até 90° ou fechar completamente, consoante as necessidades de iluminação.

AN2 – Solstício de verão – 21 de junho

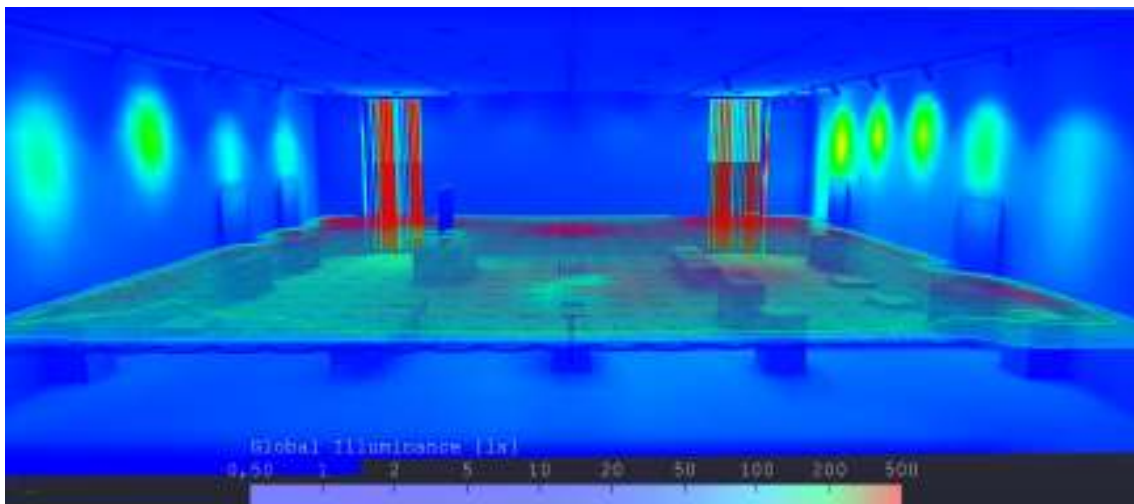


Fig. 72 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de verão às 08h00 para o cenário AN2.

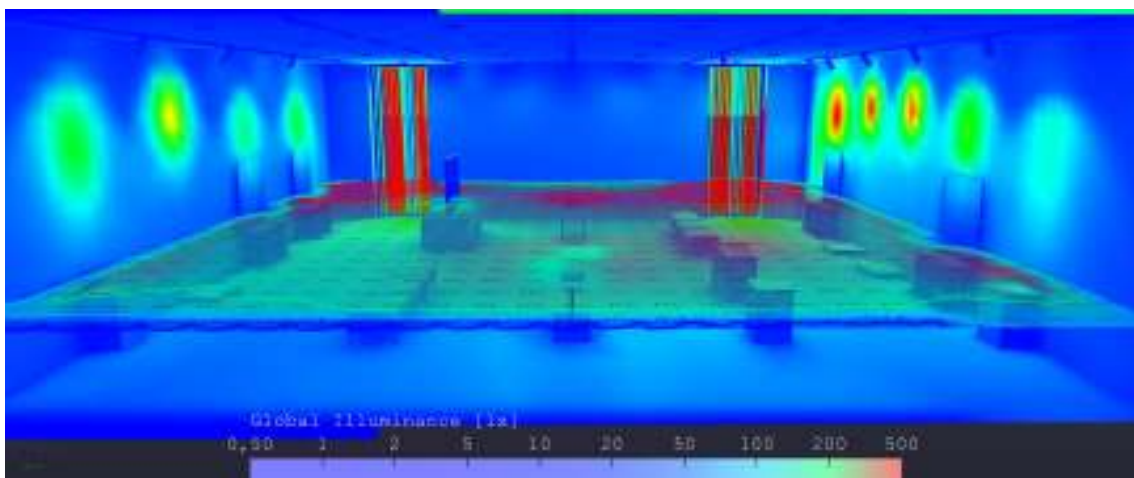


Fig. 73 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de verão às 12h00 para o cenário AN2.

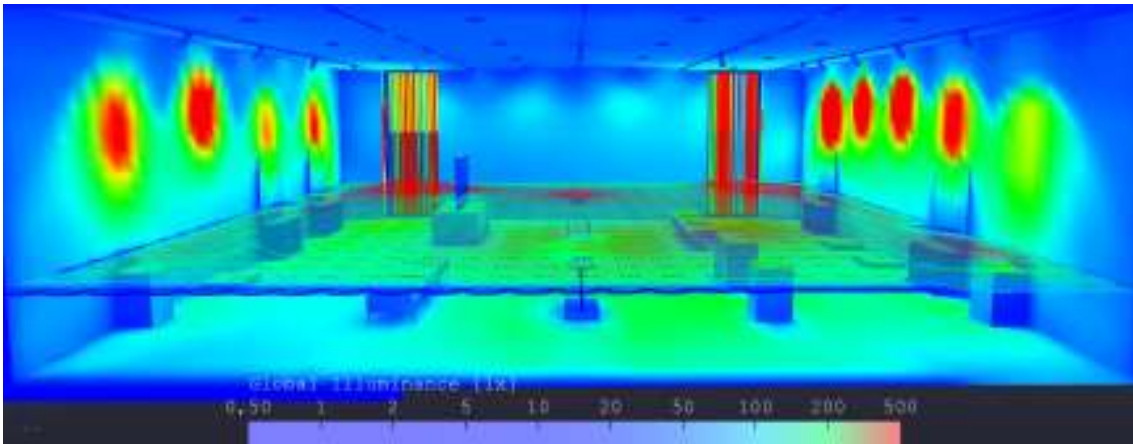


Fig. 74 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de verão às 16h00 para o cenário AN2.

AN2 – Solstício de inverno – 21 de dezembro

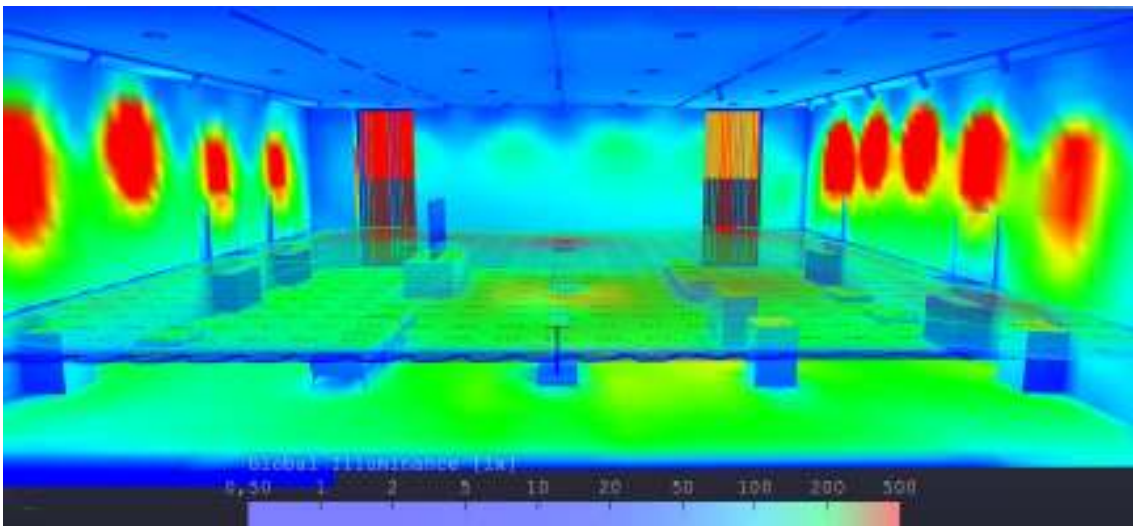


Fig. 75 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de inverno às 08h00 para o cenário AN2.

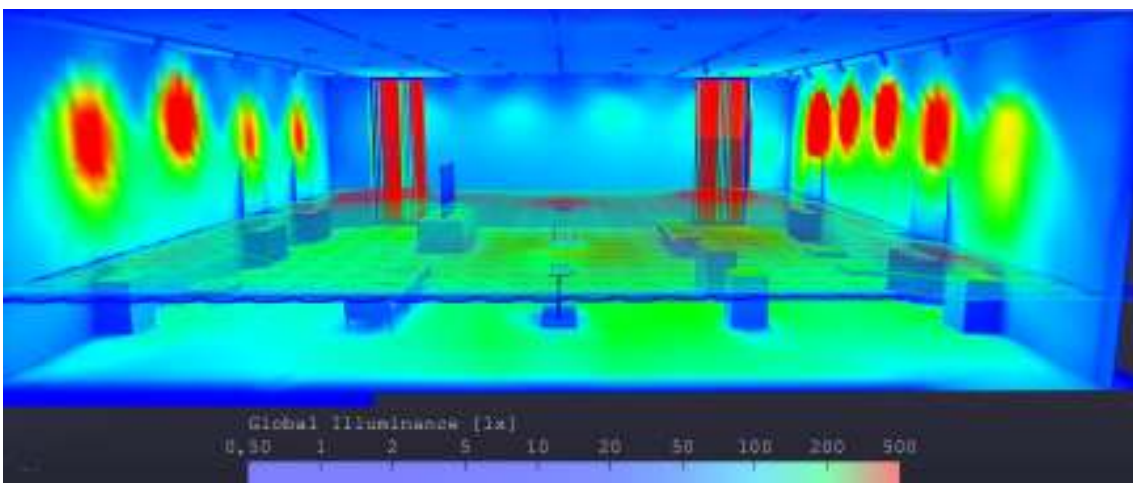


Fig. 76 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de inverno às 12h00 para o cenário AN2.

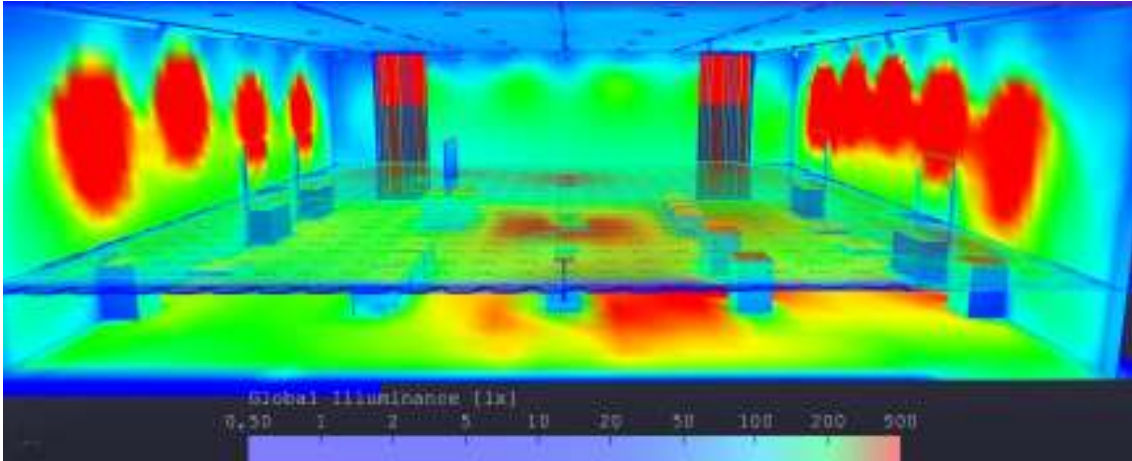


Fig. 77 – Renderização 3D para iluminâncias interiores em solstícios de inverno às 16h00 para o cenário AN2.

Os resultados obtidos para o cenário AN2 estão resumidos nas tabelas seguintes:

Tabela 20 - Resumo dos resultados obtidos para o cenário AN2 durante o solstício de verão

ElumTools Daylighting Global Illuminance Results									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Calculation Points	Daylighting Condition	Daylighting Site	Points Count	Average	Maximum	Minimum	Avg/Min	Max/Min	Coefficient of Variation
Area 1	Jul 21 08:00, Electr. Castro de Gólfes	547		213 lx	1817 lx	0 lx	2180.0	14821.7	0.7
Area 1	Jul 21 12:00, Electr. Castro de Gólfes	547		329 lx	2963 lx	8 lx	2522.5	15362.0	1.0
Area 1	Jan 21 16:00, Electr. Castro de Gólfes	547		203 lx	1408 lx	0 lx	7040.2	44104.5	0.8

Tabela 21 - Resumo dos resultados obtidos para o cenário AN2 durante o solstício de inverno

ElumTools Daylighting Global Illuminance Results									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Calculation Points	Daylighting Condition	Daylighting Site	Points Count	Average	Maximum	Minimum	Avg/Min	Max/Min	Coefficient of Variation
Area 1	Dec 21 08:00, Electr. Castro de Gólfes	547		211 lx	700 lx	8 lx	7306.5	24435.4	0.6
Area 1	Dec 21 12:00, Electr. Castro de Gólfes	547		257 lx	1485 lx	0 lx	4128.0	23082.8	0.7
Area 1	Dec 21 16:00, Electr. Castro de Gólfes	547		217 lx	701 lx	8 lx	10924.9	34376.8	0.8

5.7. Discussão global dos resultados

Nos espaços museográficos, a presença da luz artificial desempenha um papel crucial e indispensável. É essencial para realçar e destacar as peças expositivas. Diferentemente da luz natural, que varia ao longo do dia e das condições meteorológicas, a iluminação artificial proporciona um controlo preciso sobre a iluminação.

Os resultados para o cenário A1 demonstram fraca iluminação, com contrastes muito acentuados em todo o percurso expositivo, com zonas de sombra em todo o

perímetro da sala e nas zonas de estar. Com a análise do cenário A2 (ver figura 78), depreende-se que a iluminação artificial é eficaz tanto a iluminar os mobiliários expositivos, como a estabelecer uma ambiência geral mais atrativa.



Fig. 78 - Renderização dos cenários A1 e A2, respetivamente.

Após o estabelecer do cenário de melhoria da componente artificial, surge o desafio de integrar a iluminação natural, sem gerar contrastes muito acentuados, uma vez que os vãos desta fachada estão orientados a sudoeste.

Quando a componente artificial e a componente natural trabalham em conjunto, torna-se possível atenuar os contrastes agressivos, ao compensar as zonas de contraste com a iluminação artificial.

Ao integrar a iluminação natural é possível desfrutar de vistas do exterior, tão importantes no contexto museográfico, uma vez que proporcionam um contacto com a história e arqueologia do local.

Como se pode verificar na figura 79, às 16h00 do solstício de verão, o sol incide diretamente numa das estantes expositivas, o que pode provocar ofuscamento e a degradação cumulativa das peças.

Da mesma forma, às 16h00 do solstício de verão, o facto do sol incidir de frente à fachada sudoeste pode criar situações de desconforto visual ao entrar na sala expositiva, uma vez que se encontra na parede oposta (ver figura 80).



Fig. 79 – Renderização do cenário AN1 – Solstício de verão às 8h00, 12h00 e 16h00, respetivamente.



Fig. 80 - Renderização do cenário AN1 – Solstício de inverno às 8h00, 12h00 e 16h00, respetivamente.

No cenário AN2, alguns projetores tiveram de ser deslocados ligeiramente para se obter um maior controlo das sombras provocadas pelos visitantes e das sombras próprias dos objetos.

Nos locais expositivos, onde os valores de iluminância ficaram ligeiramente inferiores a 300 lux, não interferindo com a boa capacidade visual, foi preferível, uma vez que resulta em menos danos cumulativos às peças e menos gastos energéticos.

A proposta do cenário AN2 oferece proteção da luz solar direta no solstício de verão, conforme demonstrado na figura 81.

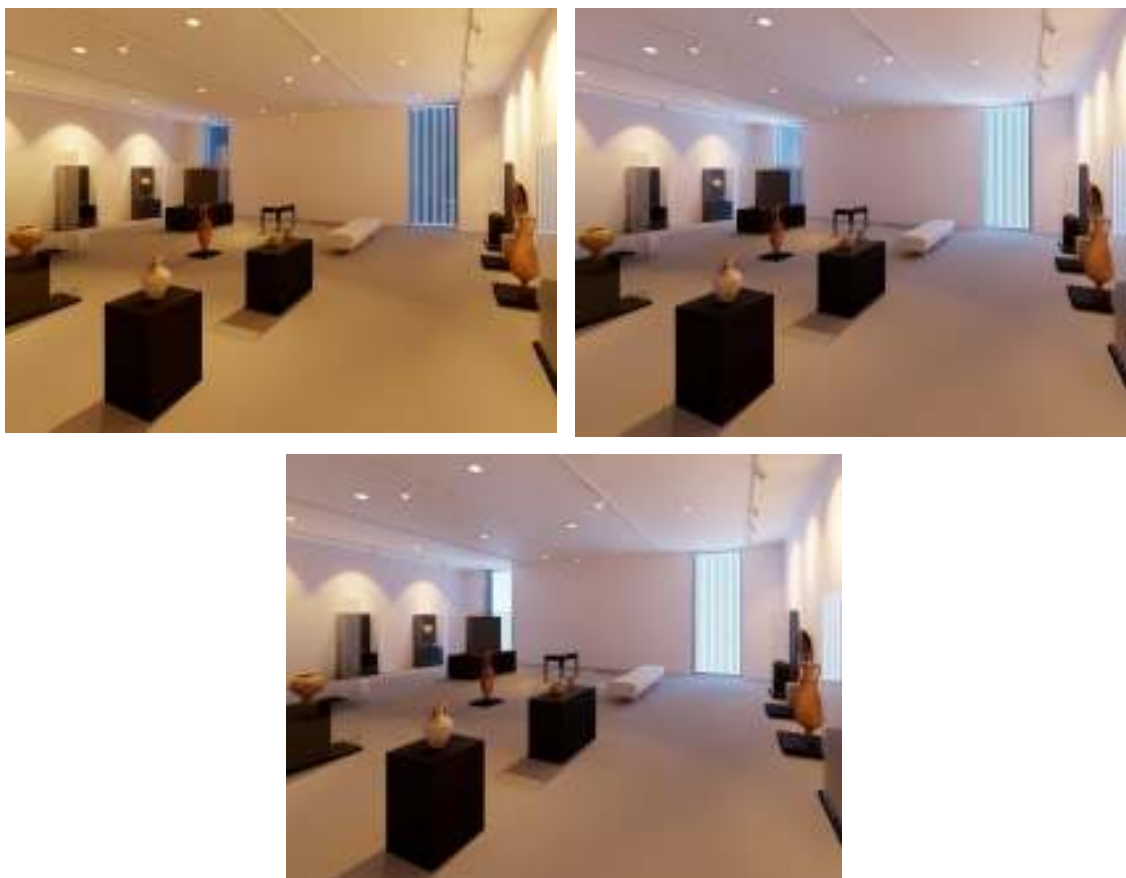


Fig. 81 - Renderização do cenário AN2 – Solstício de Verão às 8h00, 12h00 e 16h00, respetivamente.

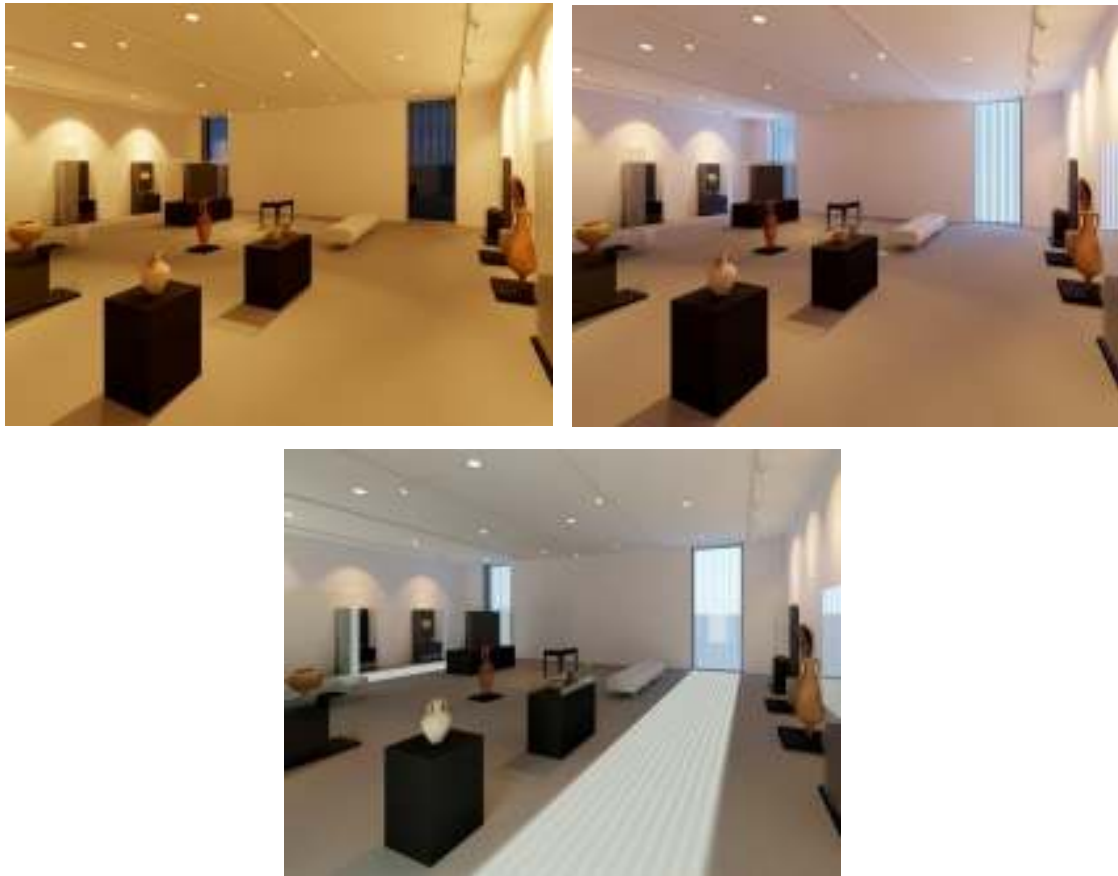


Fig. 82 - Renderização do cenário AN2 – Solstício de Inverno às 8h00, 12h00 e 16h00, respetivamente.

A melhoria geral do controlo da iluminância média (\bar{E}_m) para os cenários A e AN é demonstrada na figura seguinte:

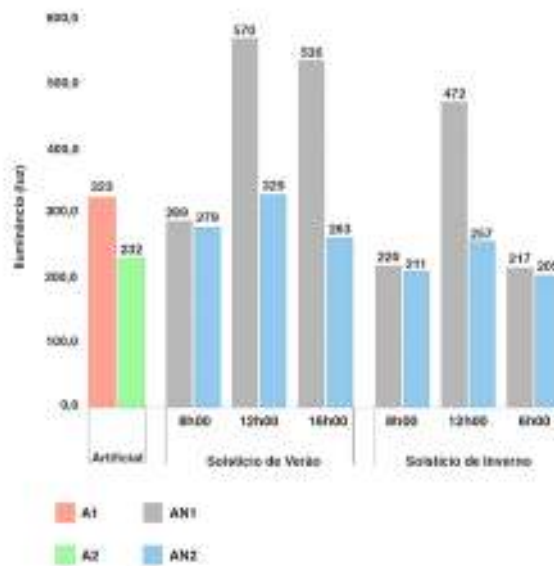


Fig. 83 - Gráfico de comparação entre a iluminância média (\bar{E}_m) para os cenários A e AN nos solstícios de verão e inverno.

A implementação de um sistema de sombreamento composto por persianas exteriores com lâminas reguláveis para controlar a entrada de luz natural no interior da exposição.

Como se pode verificar na figura 83, os valores de iluminância média baixaram após a introdução do sistema de sombreamento exterior, encontrando-se assim entre os valores recomendados (<300 lux), com a exceção do valor de iluminância média no cenário AN2 às 12h00 do solstício de verão, que apresenta um valor de 329 lux. Isto justifica-se pela imprecisão da regulação manual das lâminas no Autodesk Revit[®], que foi realizada tendo em conta cartas solares. Como tal, é aconselhado a implementação de um sistema de controlo automático inteligente com sensores de luminosidade e programação de horário.

CONCLUSÕES

A arquitetura dos espaços museográficos remete para uma relação intrínseca entre a forma e a função, onde a forma física do museu torna um instrumento fundamental para a comunicação. Neste contexto, a Arquitetura transcende a sua função primária, tornando-se uma narrativa visual que potencializa a experiência do visitante. Visa assim criar ambientes que não só abrigam as peças, como também comunicam histórias, desencadeiam emoções e proporcionam uma imersão singular no universo cultural que abraçam.

A iluminação é um parâmetro essencial na Arquitetura, em especial nos espaços museográficos. Não obstante a ênfase na iluminação desses espaços recaia frequentemente na componente artificial, devido às exigências de conservação das peças e à complexidade do controlo da iluminação natural, a inclusão da mesma pode ser necessária por opção projetual. Neste contexto, torna-se imperativo a realização de simulações computacionais para compreender a influência da iluminação natural no espaço. Questões como a necessidade de dimensionamento, a orientação da abertura, os momentos em que a luz penetra e o modo como ocorre tornam-se elementos fundamentais a serem considerados, devendo ser posteriormente plasmados no projeto.

Além disso, é importante destacar a necessidade da atualização constante sobre as tecnologias emergentes por parte dos arquitetos. A capacidade de integrar estas tecnologias não impulsiona apenas a eficiência do trabalho, como também proporciona soluções inovadoras e sustentáveis alinhadas com as expectativas contemporâneas. Esta abordagem proactiva não só melhora a qualidade dos projetos, como também fortalece a posição do arquiteto como agente de mudança e inovação no campo da Arquitetura.

Embora haja programas mais utilizados e precisos, esta ferramenta oferece uma abordagem conveniente e prática, permitindo que os arquitetos realizem simulações detalhadas de iluminação, considerando tanto fontes naturais como artificiais, diretamente na plataforma de elaboração do projeto arquitetónico. Essa integração direta contribui para uma análise mais eficiente da iluminação, facilitando a tomada informada de decisões em qualquer fase projetual e promovendo um diálogo profícuo com o engenheiro luminotécnico. A interface interativa e o conjunto de recursos e funcionalidades desta ferramenta simplificam as tarefas e facilitam a interpretação dos dados de forma intuitiva.

O add-in ElumTools® para Autodesk Revit® revela ser uma ferramenta muito útil para a simulação da iluminação natural e artificial no desenvolvimento do projeto de arquitetura. Através da fácil integração do programa, é possível avaliar a quantidade e qualidade da luz nas diversas fases projetuais, permitindo a realização de experiências com diferentes cenários e oferecendo resultados imediatos.

O ElumTools® revela, contudo, algumas dificuldades de comunicação entre o projeto em ambiente Autodesk Revit® e a simulação luminotécnica, especialmente no que diz respeito à necessidade de repetir a inserção de parâmetros.

Desta forma, para aprofundar ainda mais a validação e a comparação dos resultados, uma das possibilidades de continuidade da investigação seria utilizar os mesmos parâmetros computacionais de entrada e executar a simulação num outro programa, como por exemplo o DIALux Evo®, mais amplamente usado pelos engenheiros luminotécnicos. A comparação entre os resultados obtidos no ElumTools® e no DIALux Evo® poderá fornecer dados valiosos sobre a consistência e a fiabilidade das simulações, contribuindo para uma compreensão mais detalhada das capacidades de cada ferramenta.

BIBLIOGRAFIA

- ARUP. (2019). *Rethinking lighting in museums and galleries*. Royal Academy of Arts.
- Bortolan, G., Ferreira, M. & Tezza, R. (2019). *Comfort and discomfort: Concepts review and elaboration of a visual discomfort model*. Human Factors in Design. <https://doi.org/10.5965/2316796308152019>
- Boyce, P. (2009). *The SLL Lighting Handbook*. Chartered Institution of Building Services Engineers.
- Comitê Européen de Normalisation. (2021). *EN 12464-1 Light and lighting – Lighting of work spaces – Part 1: Indoor work places*. CEN.
- Collin, A. (2013). *Conceitos-chaves de museologia*. ICOM.
- Costa, G. (2016). *Museus, Luzes e Desafios: Iluminação Aplicada ao Mundo dos Museus*. De Maio Comunicação e Editora.
- Cuttle, C. (2003). *Lighting by design*. Elsevier.
- Cuttle, C. (2007). *Light For Arts Sake: Lighting for Artworks and Museum Displays*. Elsevier.
- Lighting Analysts. (2012). *ElumTools®. The first fully-integrated Add-in lighting programa for Autodesk Revit*.
- Drakou, D. (2019). *Museum Lighting – an holistic approach*. [Tese de Doutorado, Sapienza – Università di Roma]. <https://iris.uniroma1.it/handle/11573/1308831>.
- Druzik, J. & Eshøj B. (2007). *Museum Lighting: Its past and future development*. National Museum of Denmark.
- Ganslandt, R. & Hofmann, H. (2005). *Handbook of Lighting*. ERCO.
- Ezrati, J. J. (2020). *A importância do conceito da iluminação de museus*. Revista Museologia e Interdisciplinaridade <https://doi.org/10.26512/museologia.v9iEspecial.35434>

Homem, P. M. (2007). *Ferramentas inovadoras para a monitorização ambiental e avaliação de danos para objetos em museus, palácios, arquivos e bibliotecas: a exposição luminosa e os dosímetros LightCheck®*. Faculdade de Letras da Universidade do Porto. <https://hdl.handle.net/10216/13583>.

Hughes, P. (2015). *Exhibition Design An Introduction*. Laurence King Publishing

ICOM. (2013). *Conceitos-chave de museologia*. Armand Colin.

IESNA. (1996). *Museum and Art Gallery Lighting: A Recommended Practice*. Illuminating Engineering Society of North America

Karlicek, R., Sun, C., Zisis, G. & Ma, R. (2017). *Handbook of Advanced Lighting Technology*. Springer Reference

Lechner, N. (2015). *Heating, cooling, lighting: Sustainable Methods for Architects*. John Wiley & Sons.

Locker, P. (2011). *Basics Interior Design – Exhibition Design*. AVA Publishing

Miller, J. V. & Miller, R. E. (s.d.). *Museum Lighting – Pure and Simple*. NoUVIR Lighting

Miri, M. & Ashtari Elmita. (2019) *Daylight Study from Early to the End of Architectural/Urban Design process by Developing an Add-in for Revit*. International Building Performance Simulation Association

Montezuma, C. (2012). *A luz na interpretação visual da obra de arte*. Tese de doutoramento em Belas-Artes. Universidade de Lisboa.

Montezuma, C. (2018). *Iluminação em Museus: A Descoberta da Obra de Arte*. Caleidoscópio.

OVI. (2013). *Lighting Design and Process*. JOVIS Verlag

Oxman, R. (2017). *Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.001>.

Pinheiro, J. L. P. (2017) *ElumTools®. Ferramenta para projetos de iluminação totalmente integrada a uma plataforma BIM*. Lume Arquitetura

Rico, J. C. (2011). *Montaje de exposiciones. Dossier Metodológico*. Publicaciones de la Universidad de Cádiz

Russel, S. (2012). *The architecture of light*. Conceptnine.

Saunders, D. (2021). *Museum Lighting: A Guide for Conservators and Curators*. Getty Publications.

Sholanke, A., Fadesere, O. & Elendu D. (2021). *The Role of Artificial Lighting in Architectural Design: A Literature Review*. doi:10.1088/1755-1315/665/1/012008

Skowranek, R., (2017). *Basic Building Services Lighting Design*. Birkhauser.

SLL. (2016). *Lighting Guide 12: Emergency lighting design guide*. The Society of Light and Lighting.

Sousa, C., Carvalho, G., Amaral, J. & Tissot, M. (2007). *Plano de Conservação Preventiva. Bases orientadoras, normas e procedimentos*. Instituto dos Museus e da Conservação.

Sylvania, F. (2015). *Lighting for Museums and Galleries*. Havells Sylvania.

Tregenza, P. & Loe D. (2009). *The design of lighting*. Taylor & Francis.

Ulas, E. B., Crampton, R., Tennant, F. & Bickersteth, J. (2015). *A Practical Guide for Sustainable Climate Control and Lighting in Museums and Galleries*. Steensen Varming.

Vajão, V. (2015). *Manual de Práticas de Iluminação: Arte a iluminar Arte*. Lidel.

APÊNDICES

Apêndice 1: Cenário A1 – plano de trabalho 0,75m

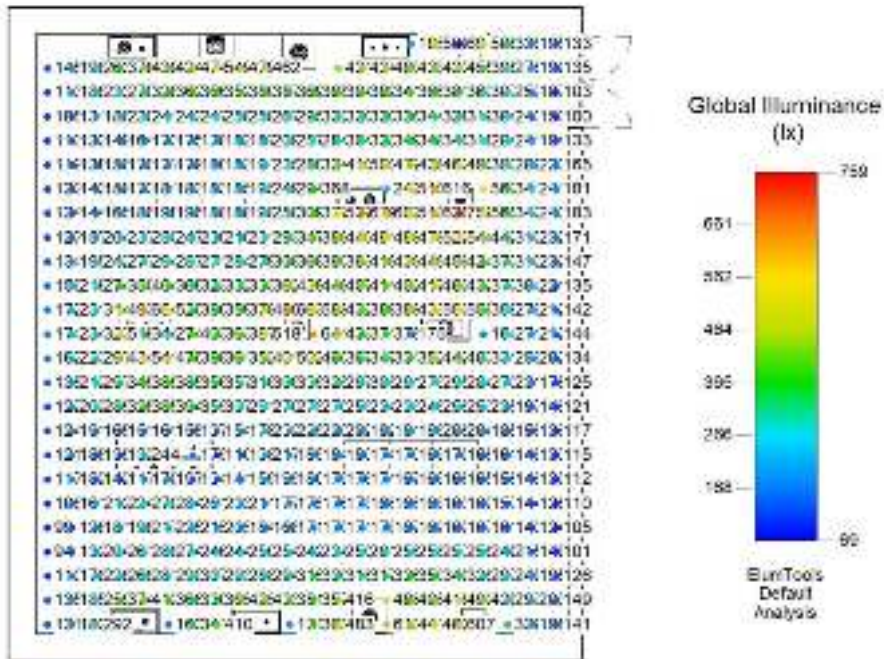


Fig. 84A – Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário A1 (plano de trabalho: 0,75m).

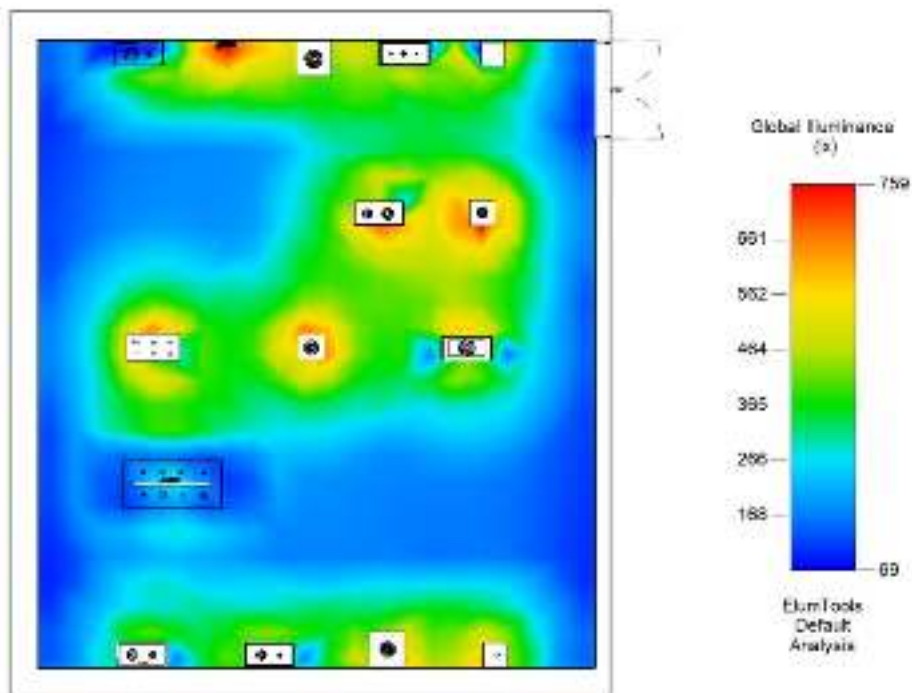


Fig. 85A – Mapa de iluminâncias para o Cenário A1 (plano de trabalho: 0,75m).

Apêndice 2: Cenário A1 – plano de trabalho 1,00m

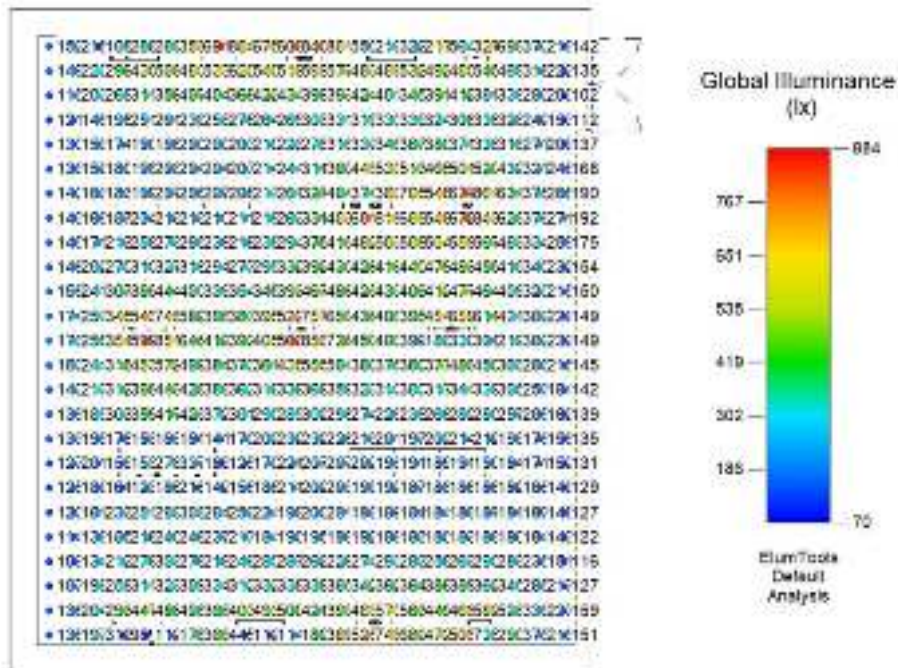


Fig. 86A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário A1 (plano de trabalho: 1,00m).

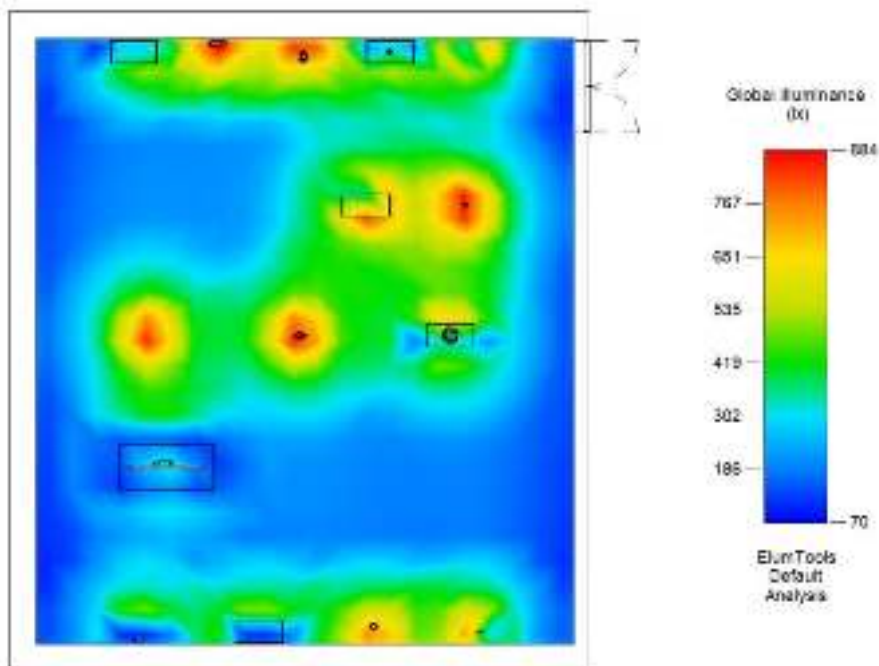


Fig. 87A - Mapa de iluminâncias para o Cenário A1 (plano de trabalho: 1,00m).

Apêndice 3: Cenário A2 – plano de trabalho 0,75m

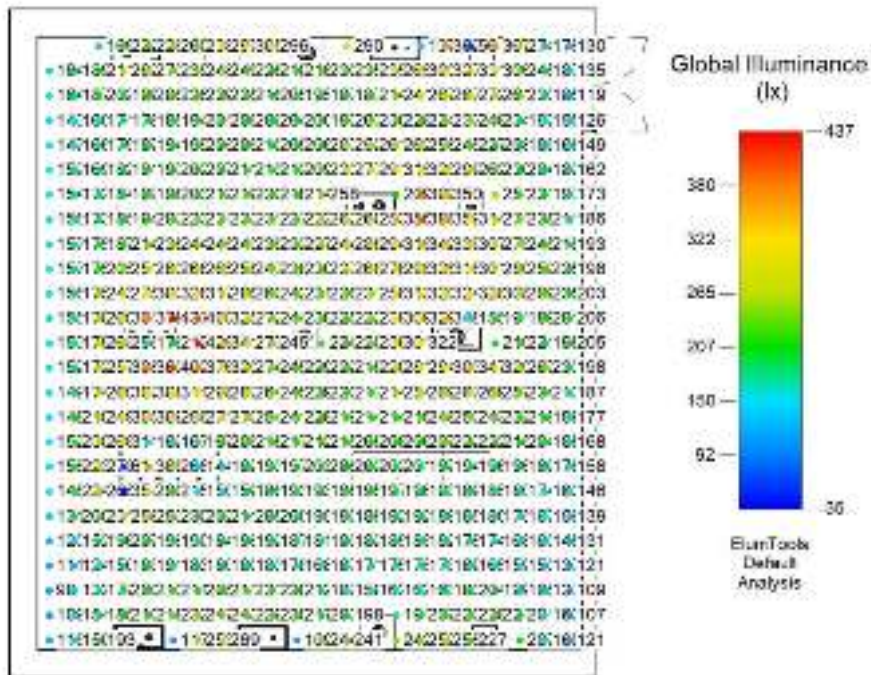


Fig. 88A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário A2 (plano de trabalho: 0,75m).

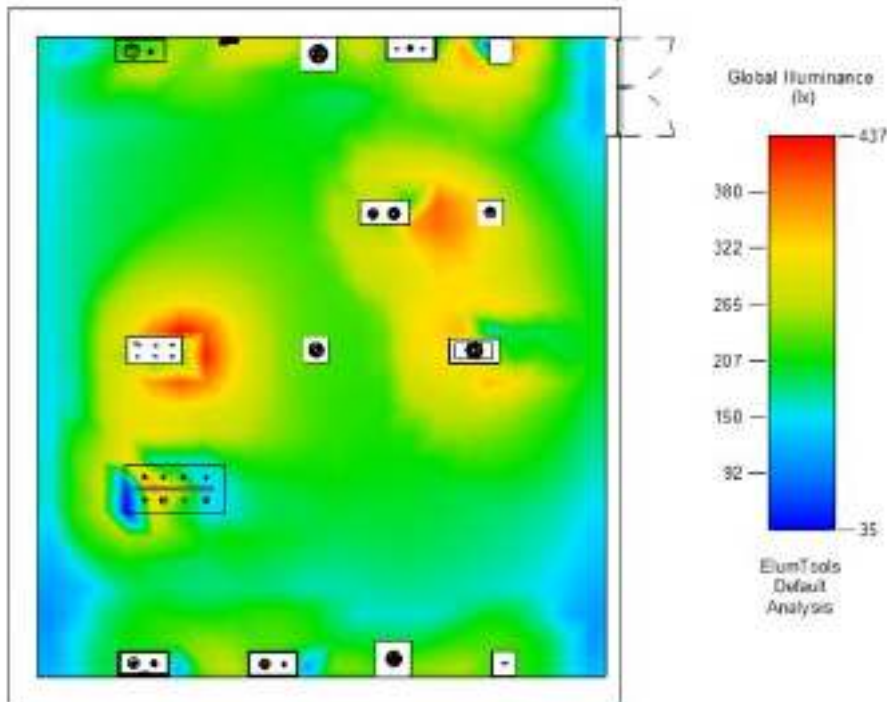


Fig. 89A - Mapa de iluminâncias para o Cenário A2 (plano de trabalho: 0,75m).

Apêndice 4: Cenário A2 – plano de trabalho 1,00m

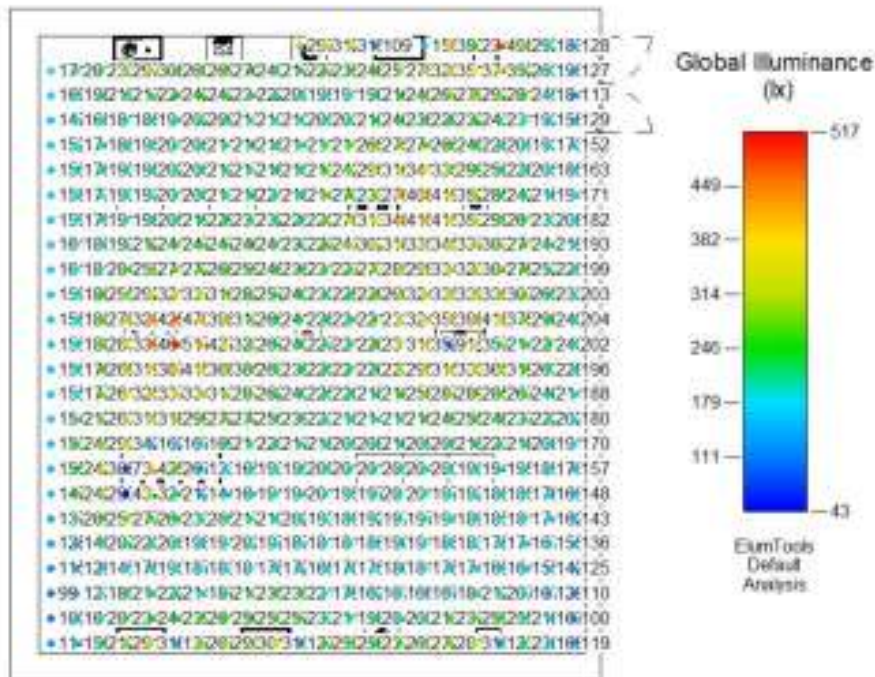


Fig. 90A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário A2 (plano de trabalho: 1,00m).

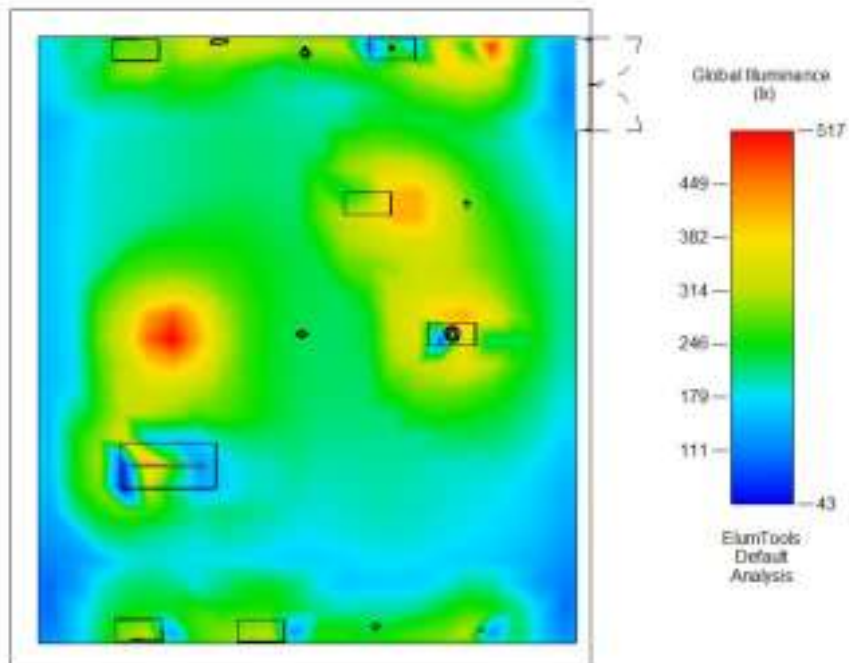


Fig. 91A - Mapa de iluminâncias para o Cenário A2 (plano de trabalho: 1,00m).

Apêndice 5: Cenário AN1 – Solstício de inverno às 8h00

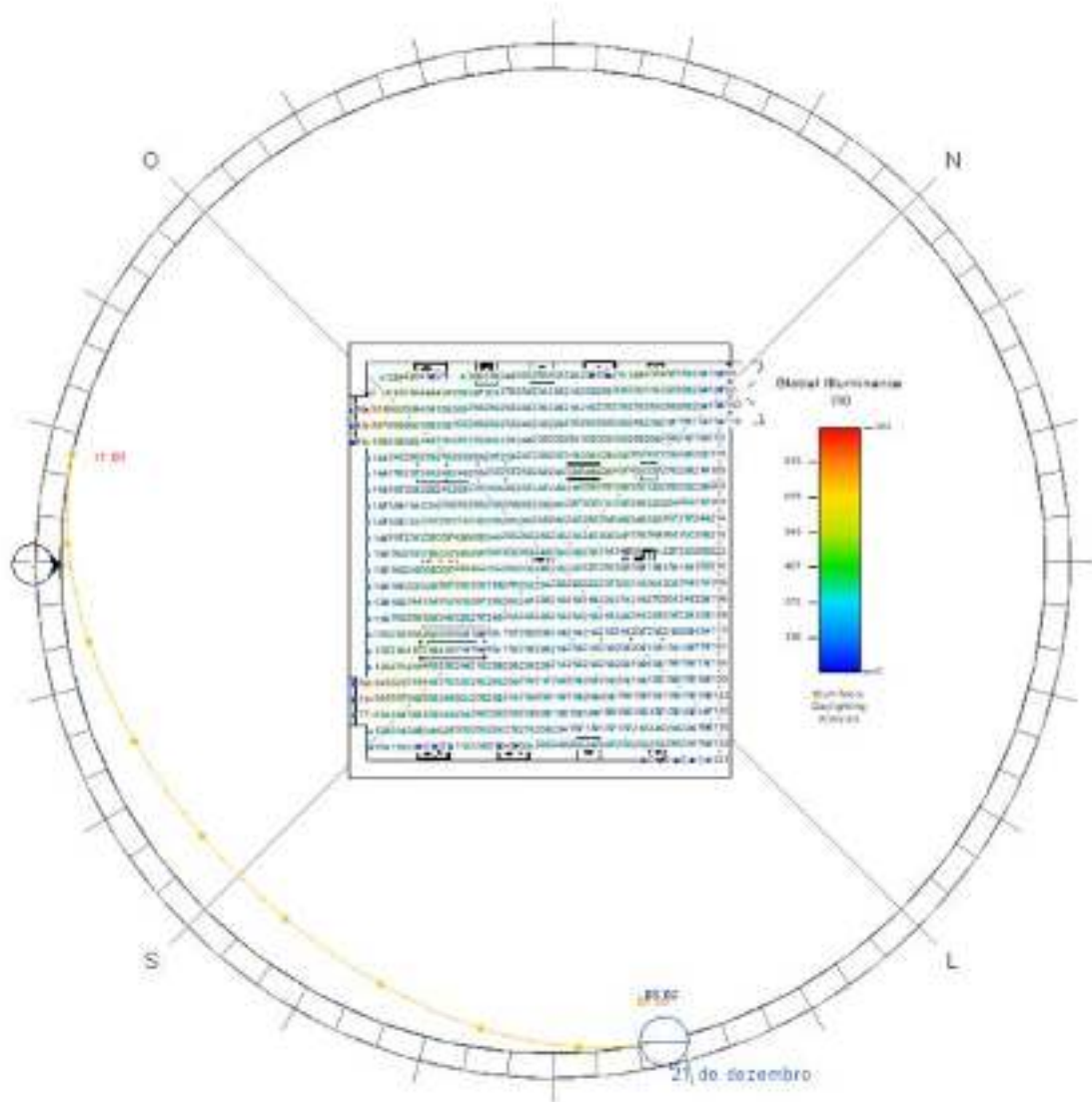


Fig. 92A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN1 no solstício de inverno às 8h00.

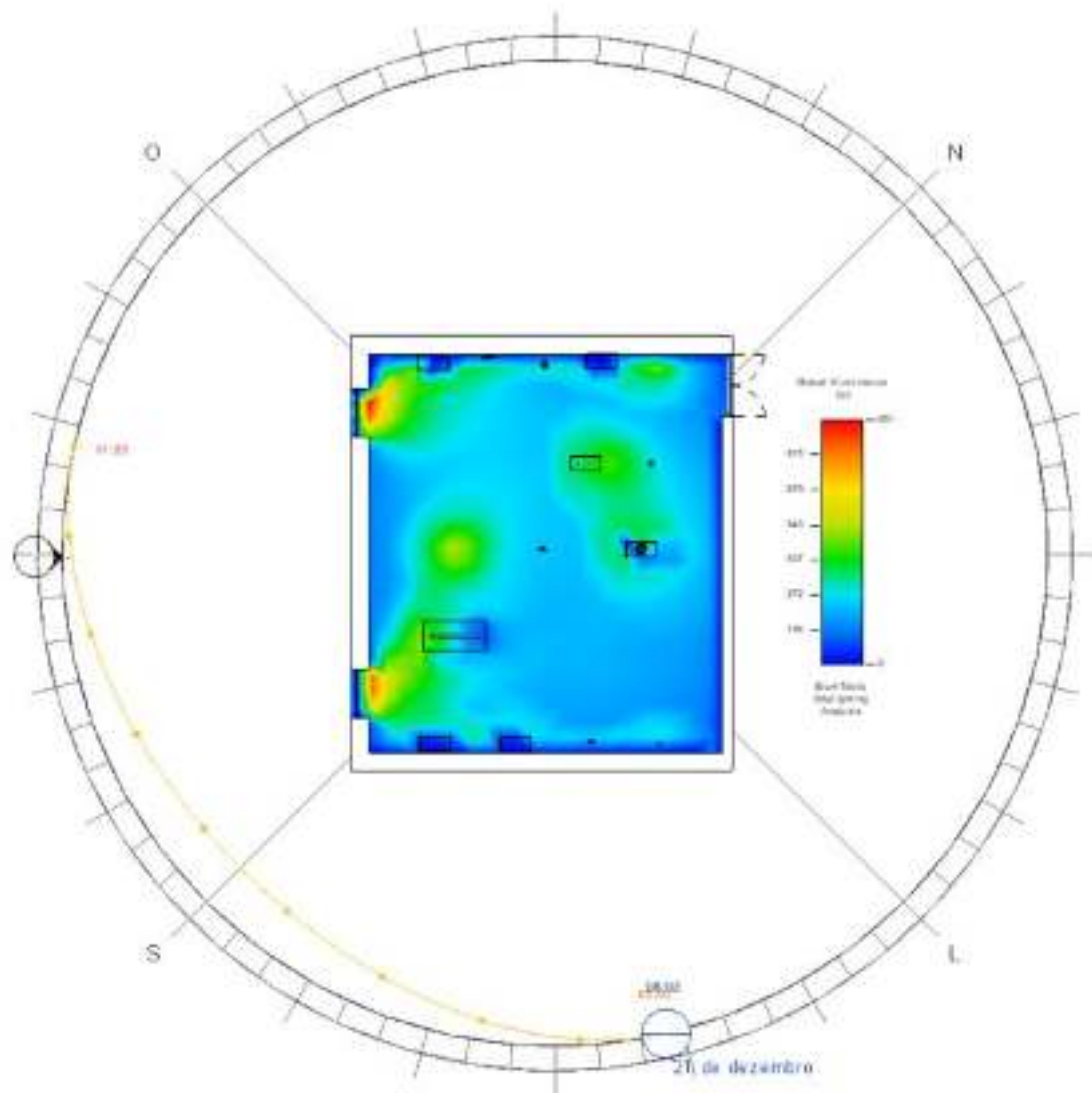


Fig. 93A – Mapa de iluminâncias para o Cenário AN1 no solstício de inverno às 8h00.

Apêndice 6: Cenário AN1 – Solstício de inverno às 12h00

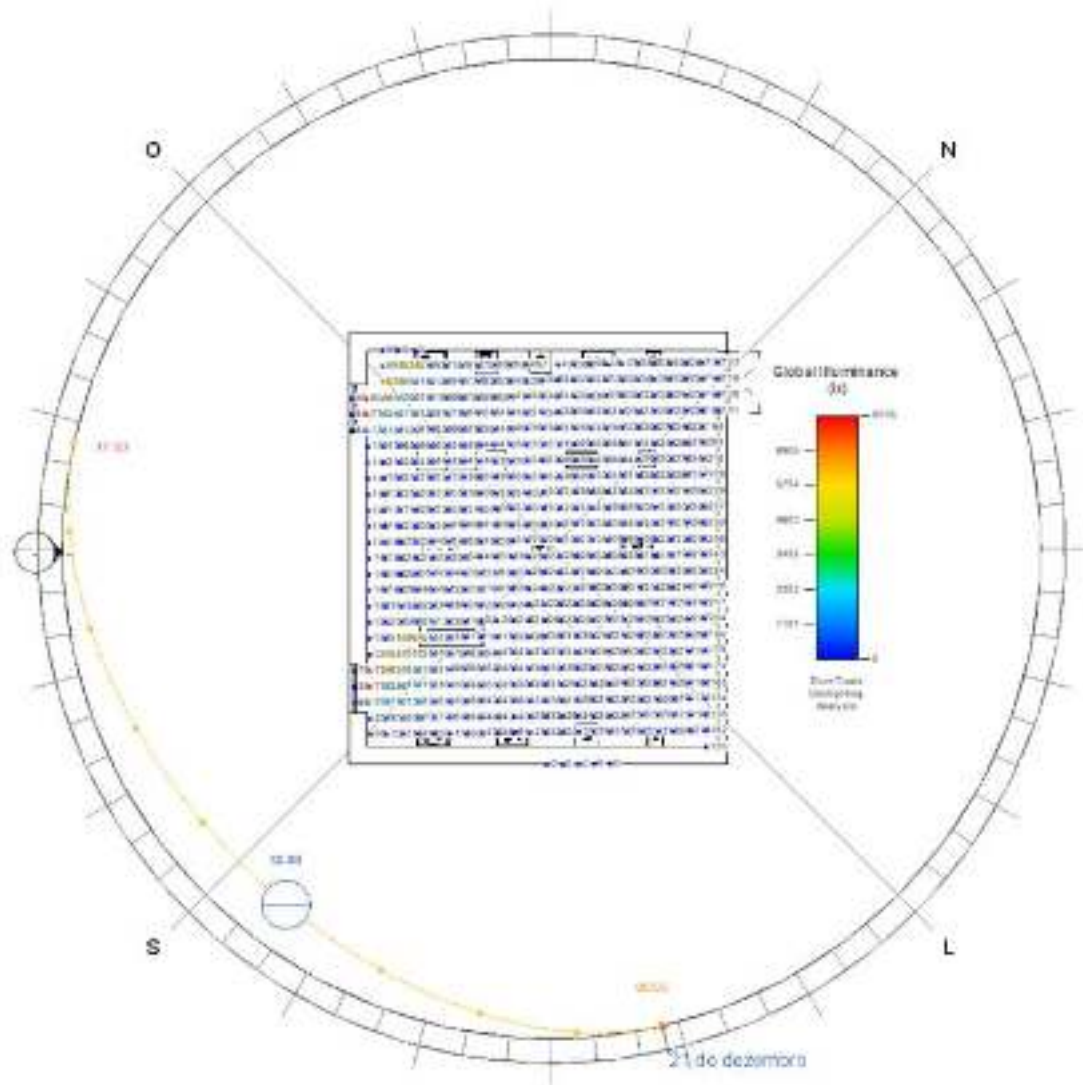


Fig. 94A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN1 no solstício de inverno às 12h00.

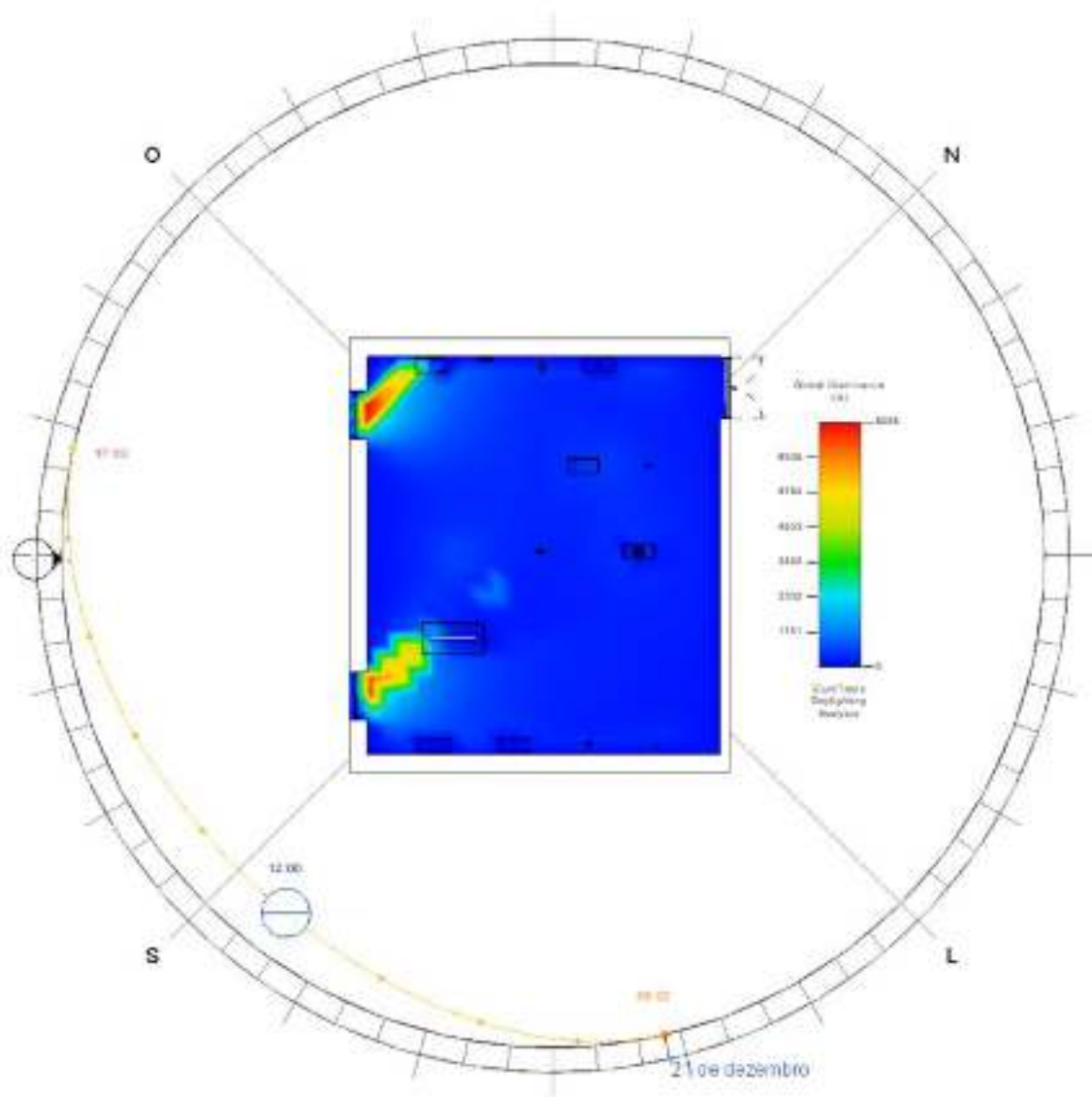


Fig. 95A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN1 no solstício de inverno às 12h00.

Apêndice 7: Cenário AN1 – Solstício de inverno às 16h00

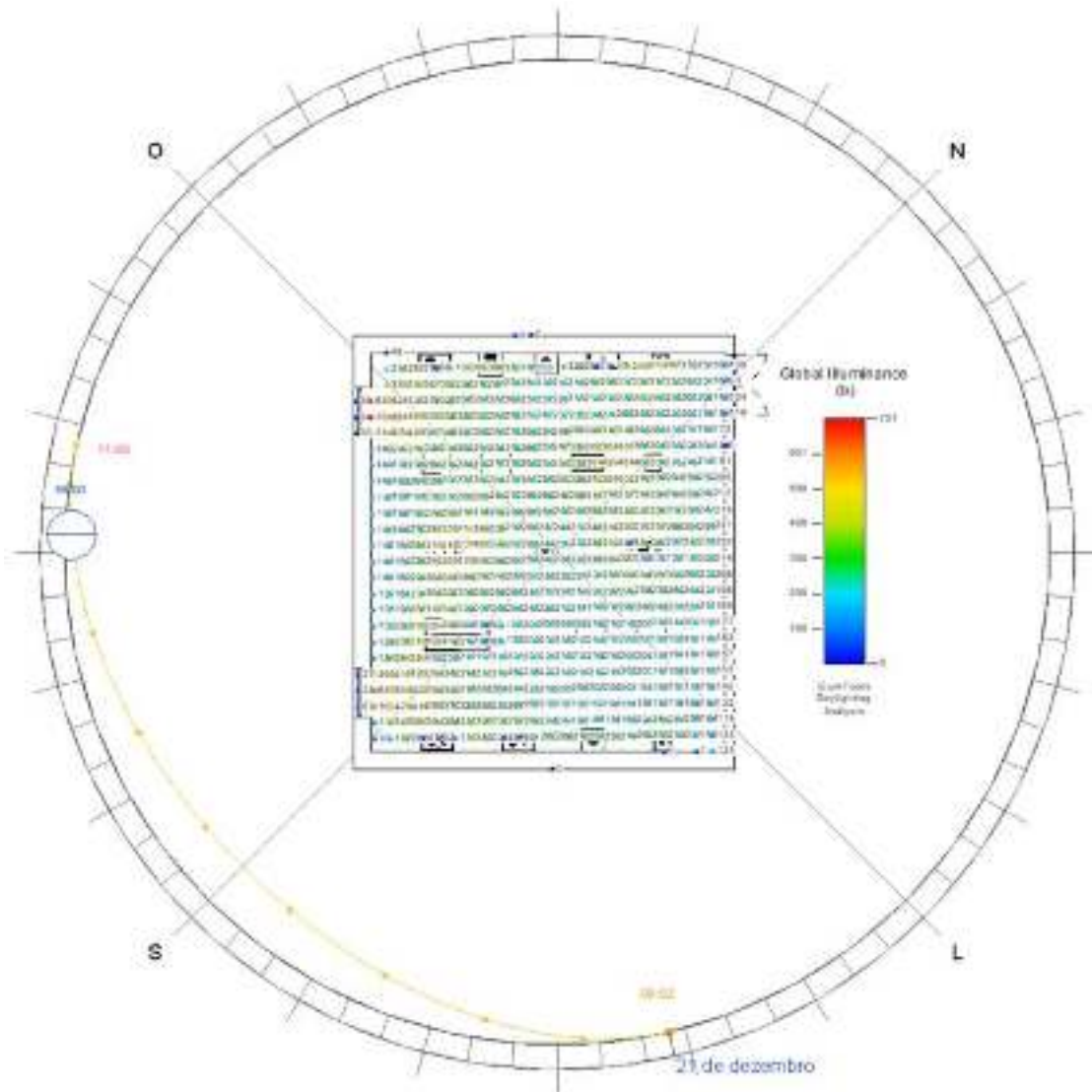


Fig. 96A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN1 no solstício de inverno às 16h00.

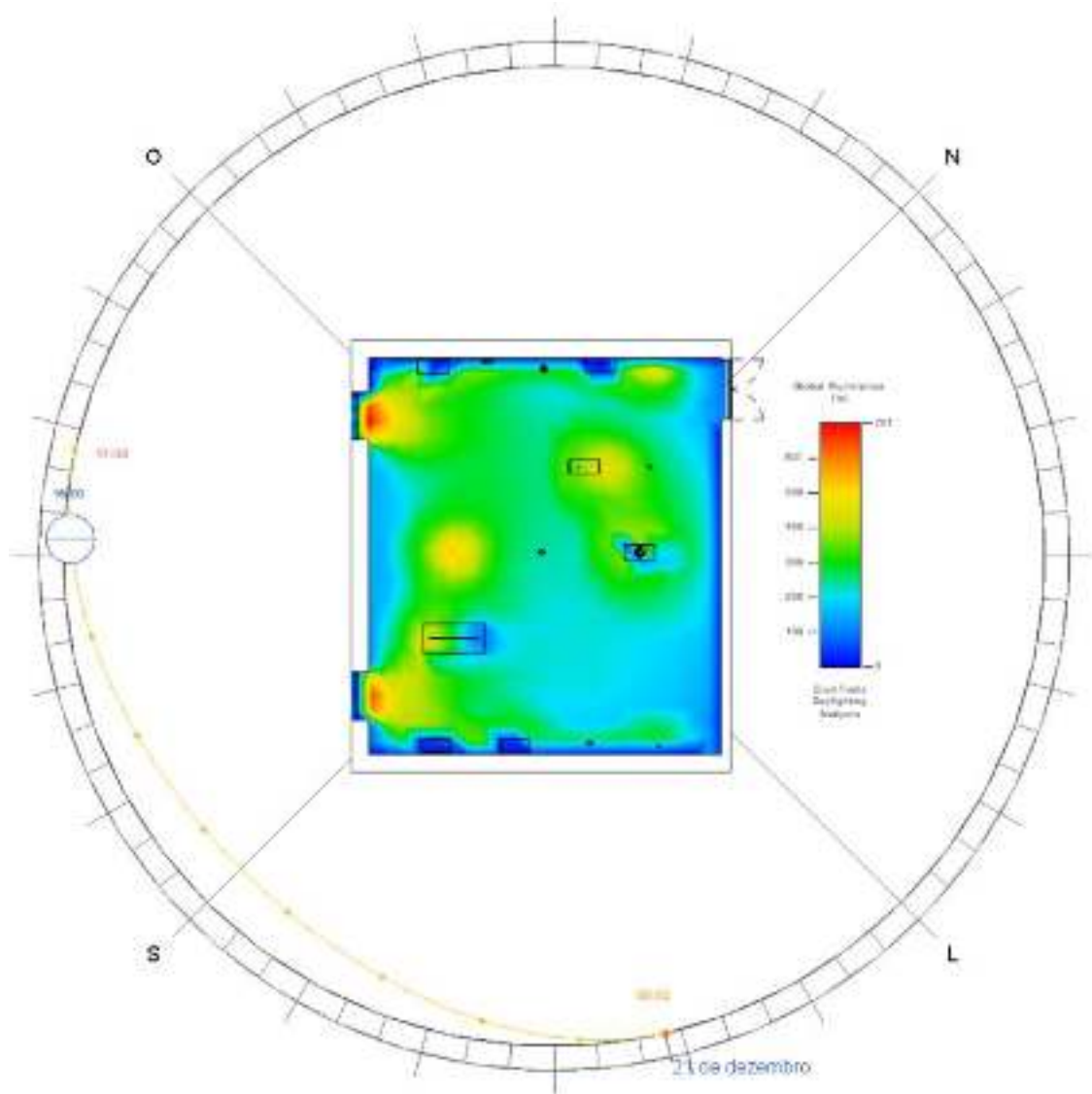


Fig. 97A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN1 no solstício de inverno às 16h00.

Apêndice 8: Cenário AN1 – Solstício de verão às 08h00

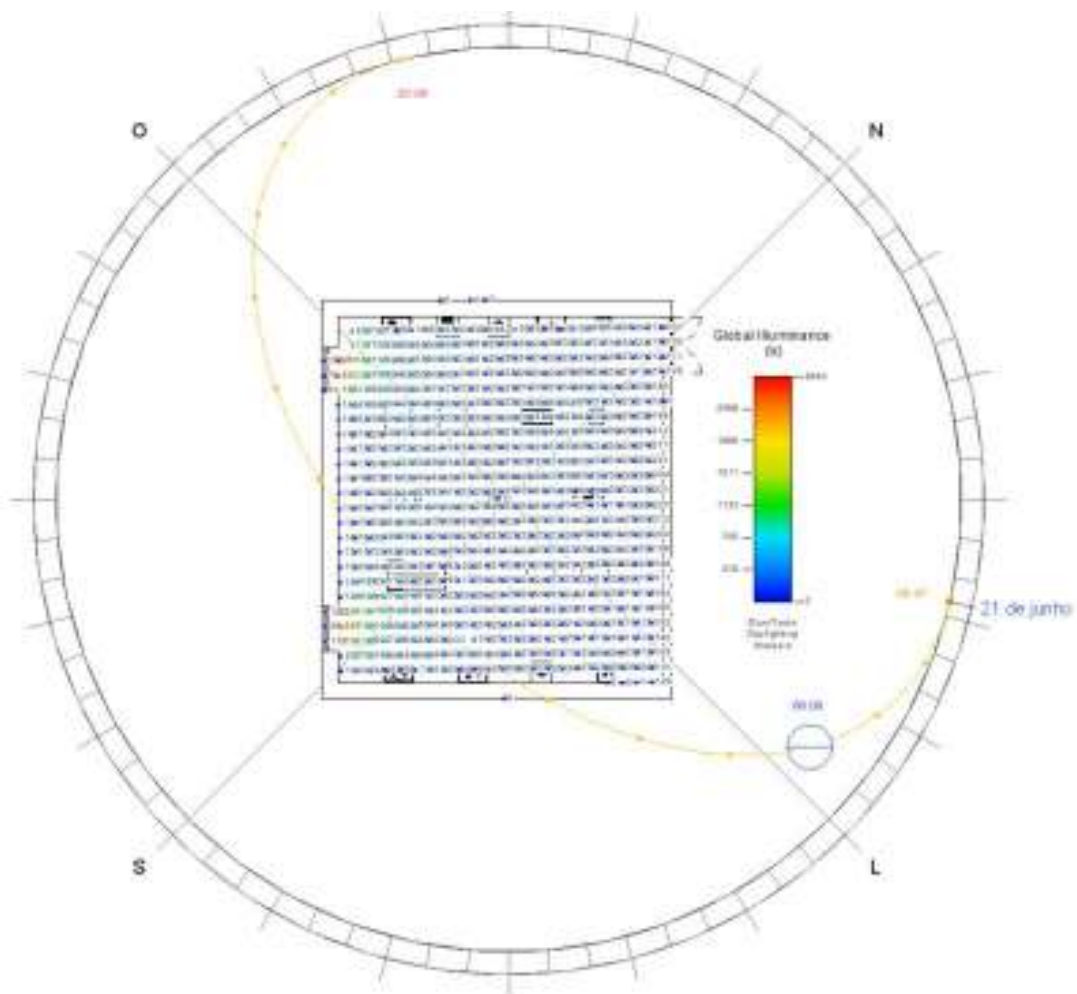


Fig. 98A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN1 no solstício de verão às 08h00.

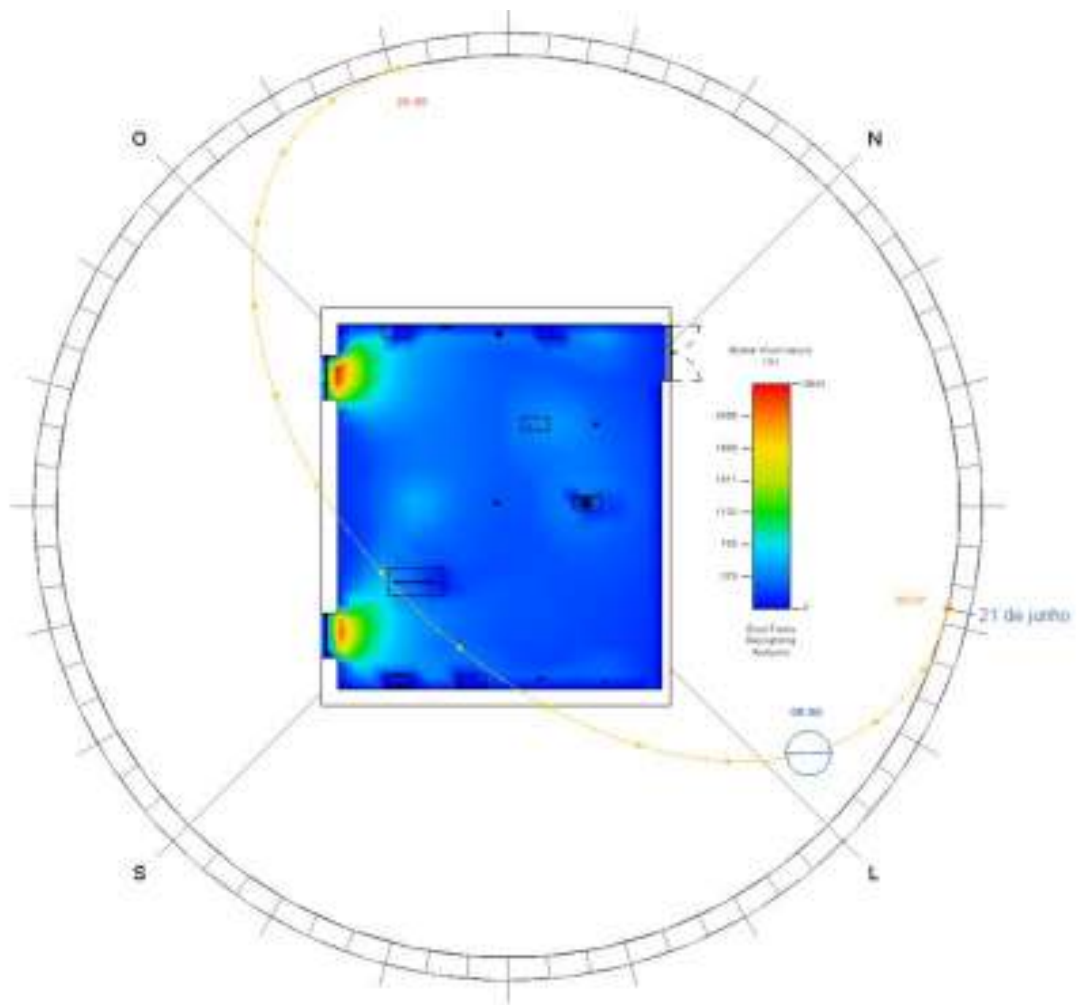


Fig. 99A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN1 no solstício de verão às 08h00.

Apêndice 9: Cenário AN1 – Solstício de verão às 12h00

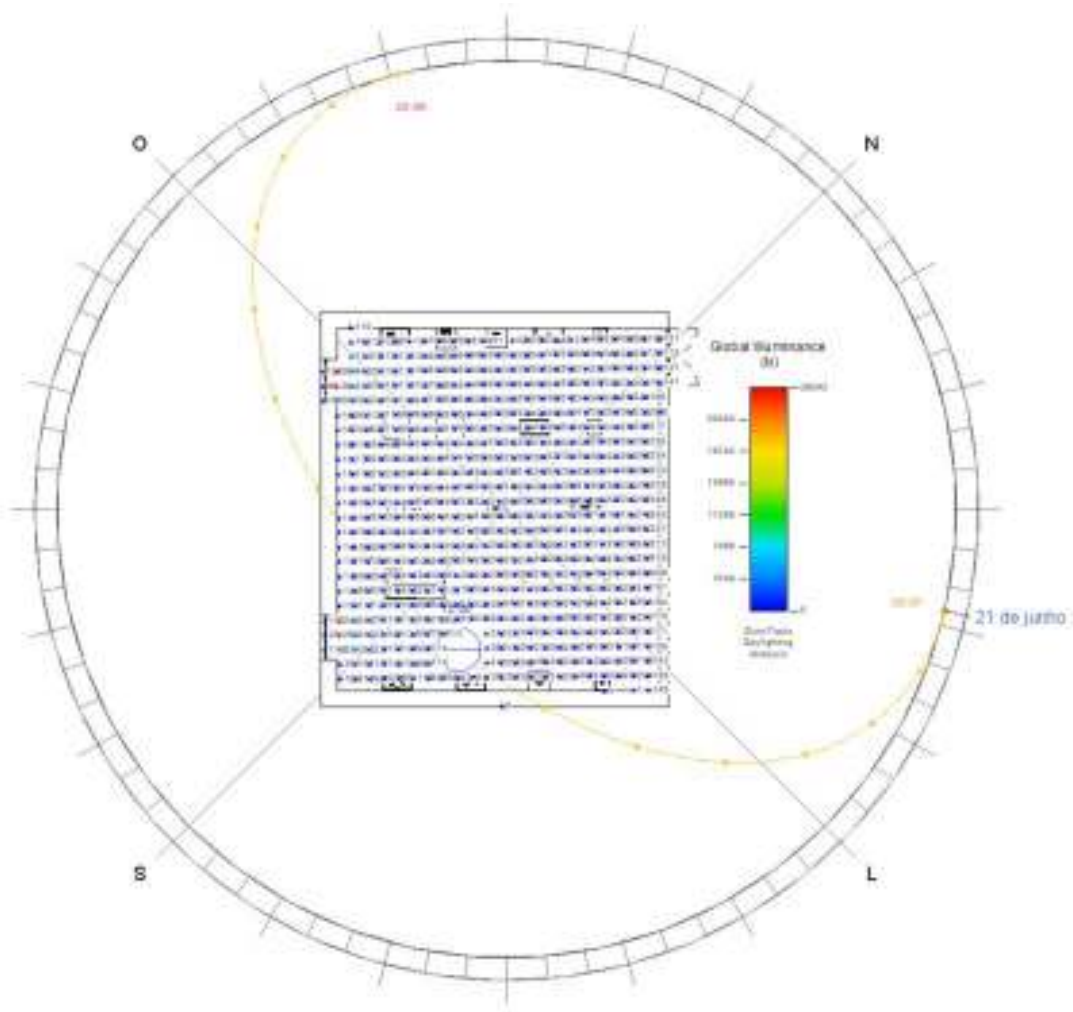


Fig. 100A - Iluminância nos pontos da grade para o Cenário AN1 no solstício de verão às 12h00.

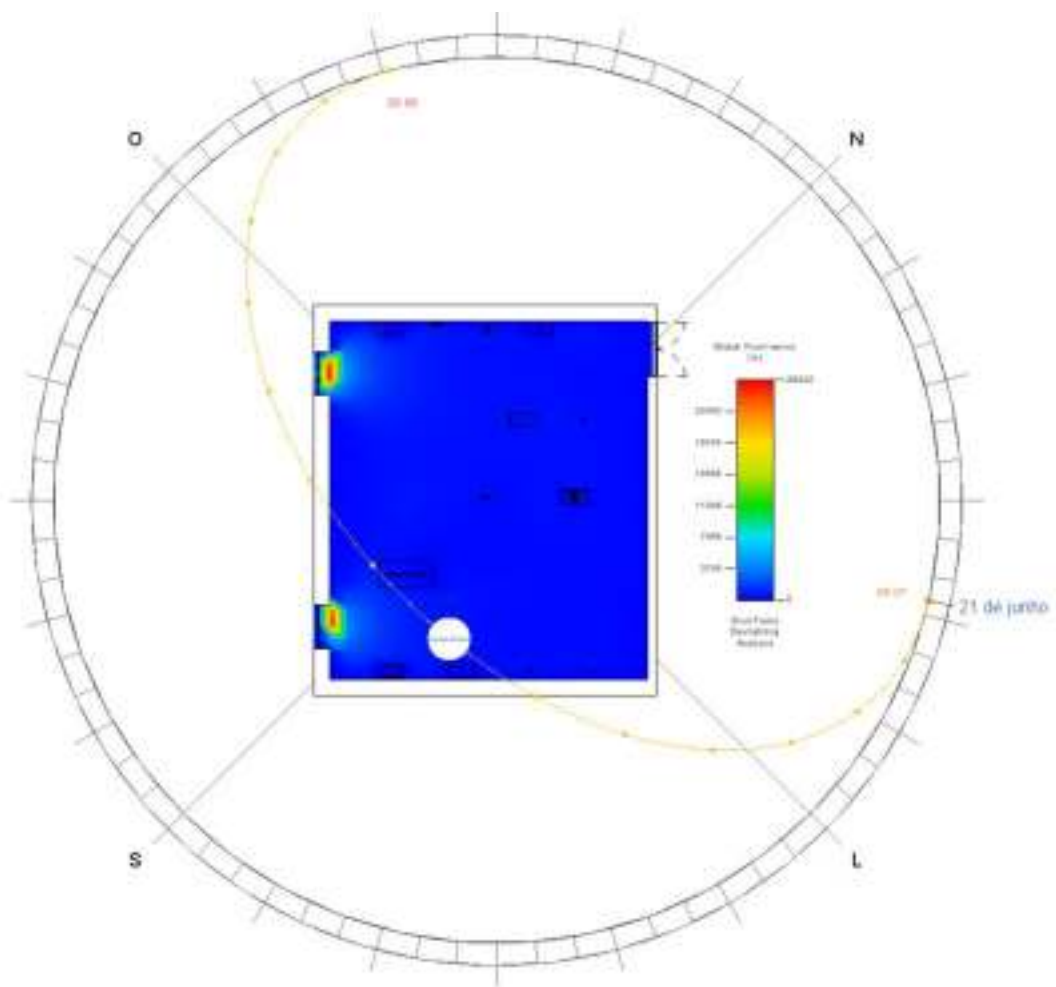


Fig. 101A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN1 no solstício de verão às 12h00.

Apêndice 10: Cenário AN1 – Solstício de verão às 16h00

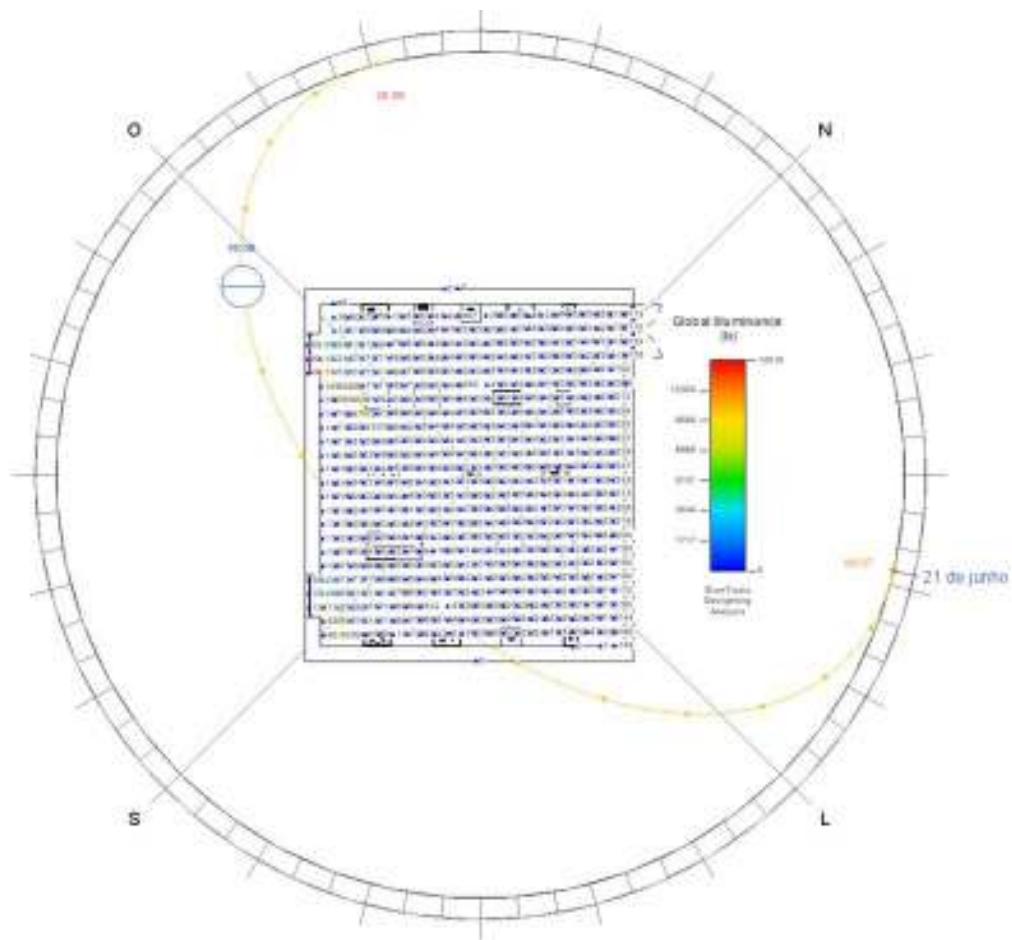


Fig. 102A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN1 no solstício de verão às 16h00.

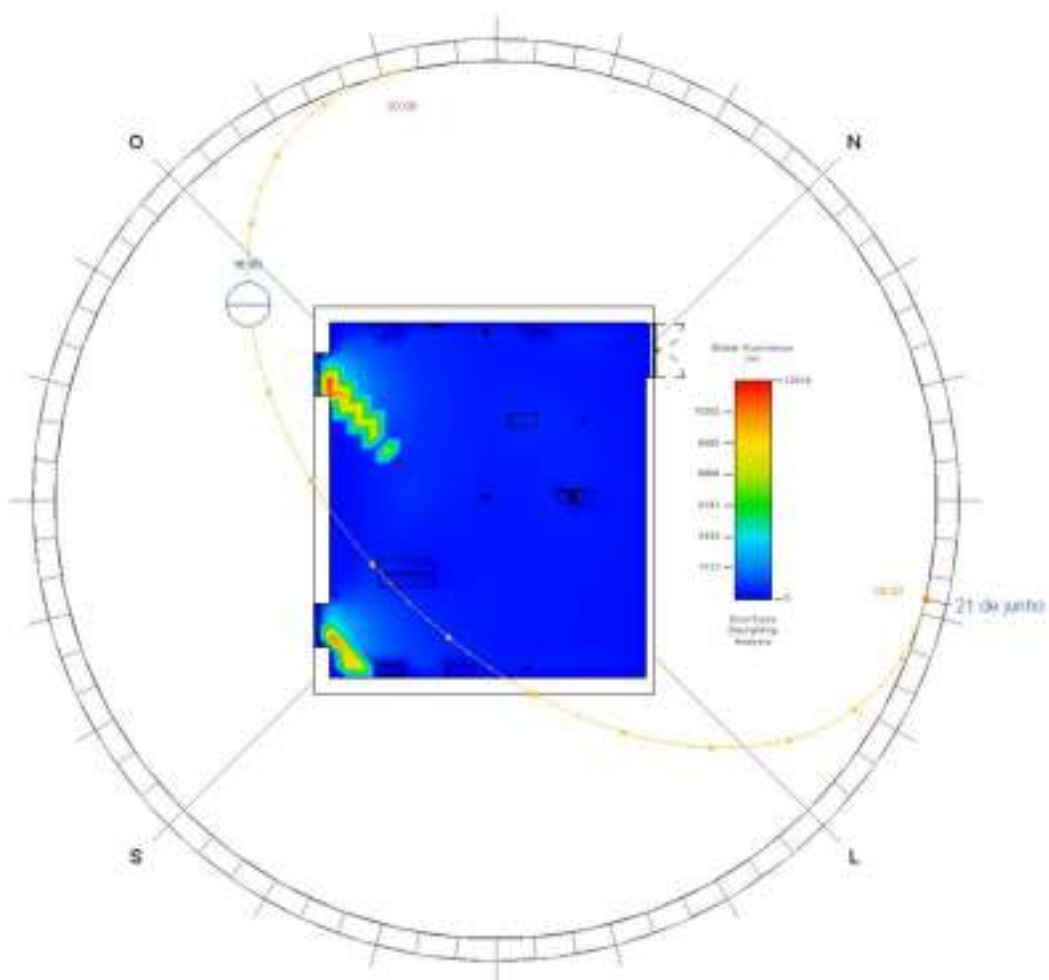


Fig.103A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN1 no solstício de verão às 16h00.

Apêndice 11: Cenário AN2 – Solstício de inverno às 08h00

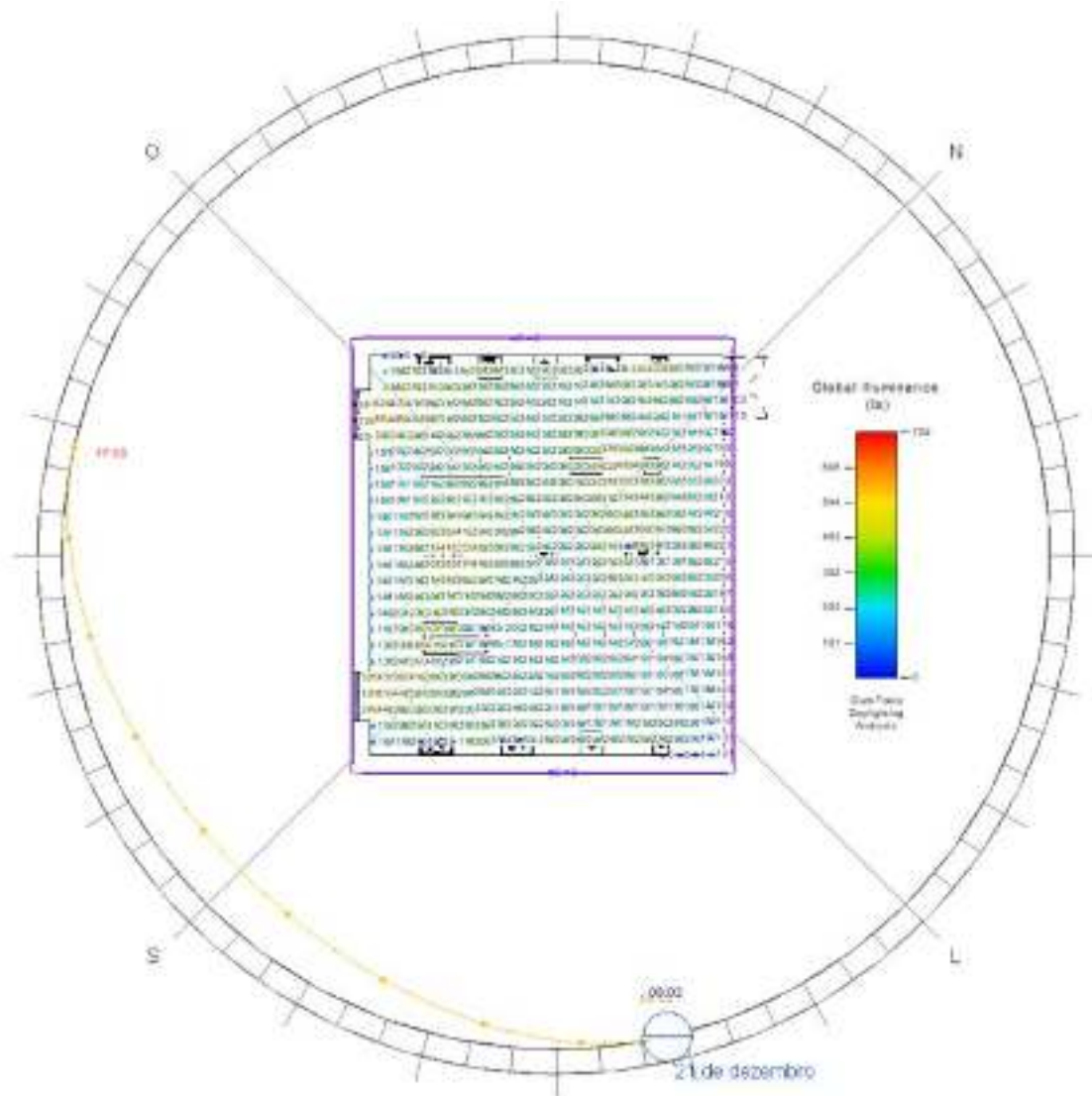


Fig. 104A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN2 no solstício de inverno às 08h00.

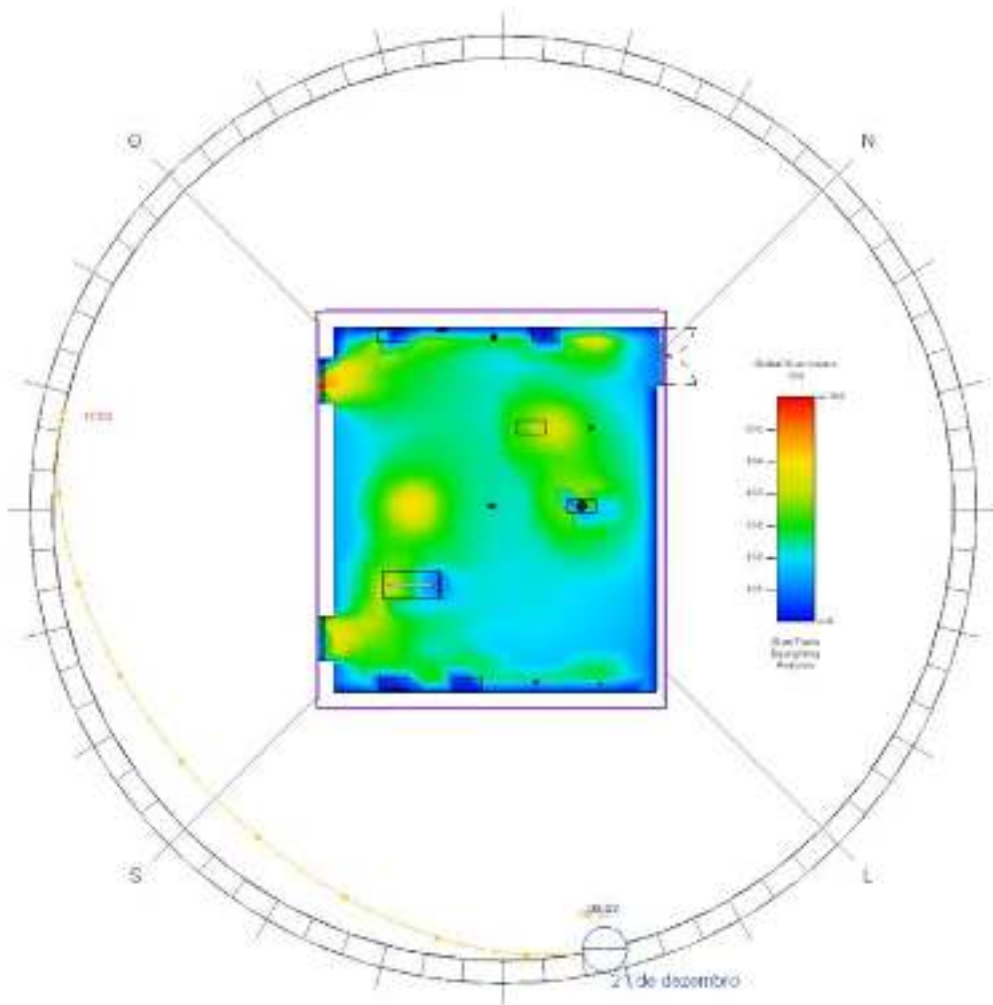


Fig. 105A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN2 no solstício de inverno às 08h00.

Apêndice 12: Cenário AN2 – Solstício de inverno às 12h00

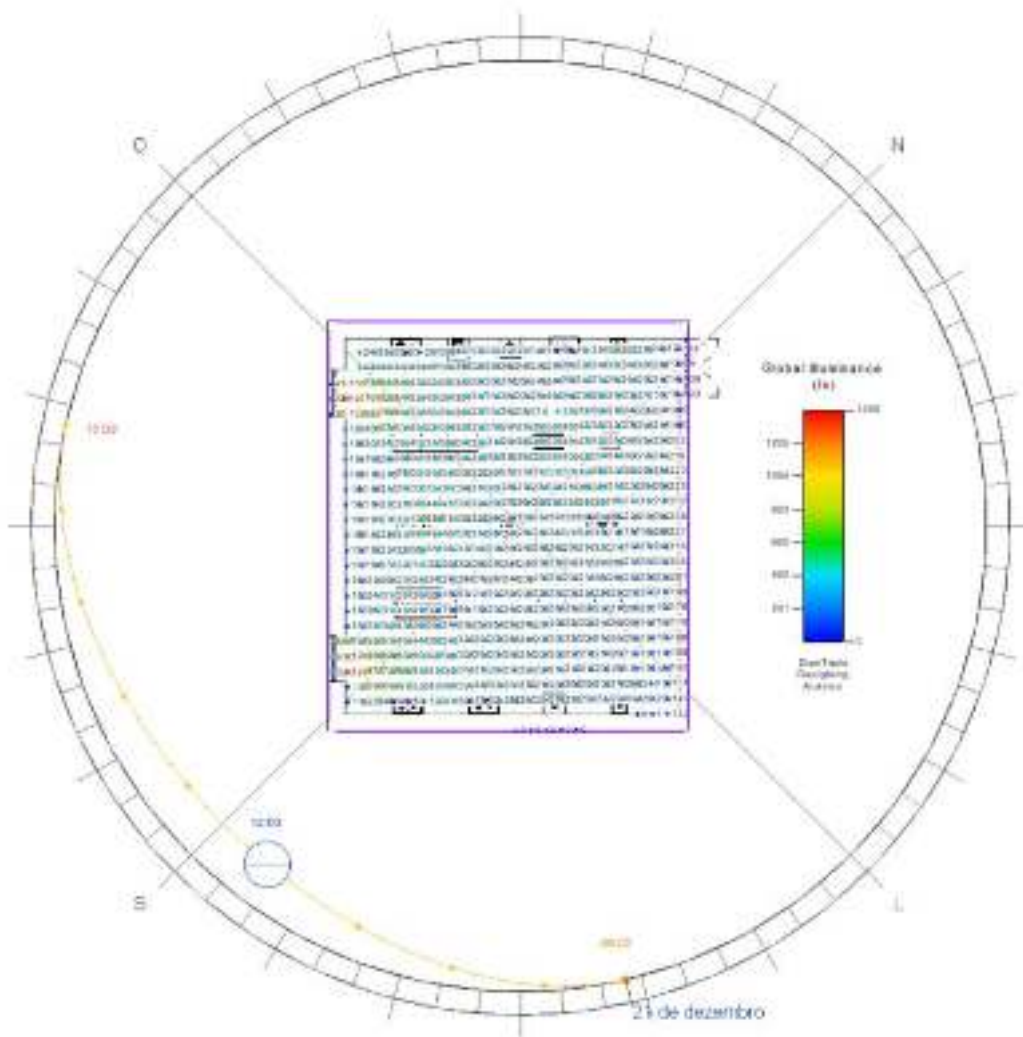


Fig. 106A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN2 no solstício de inverno às 12h00.

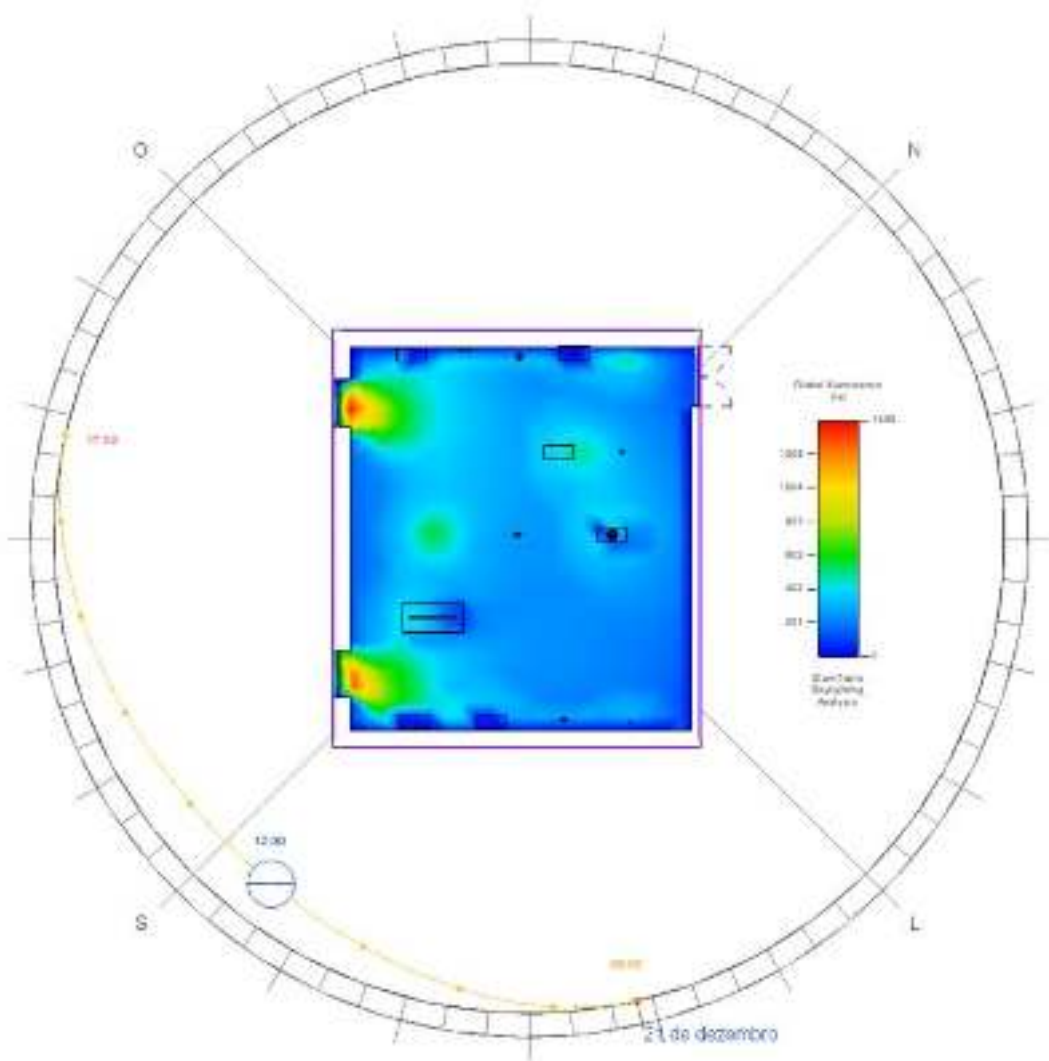


Fig. 107A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN2 no solstício de inverno às 12h00.

Apêndice 13: Cenário AN2 – Solstício de inverno às 16h00

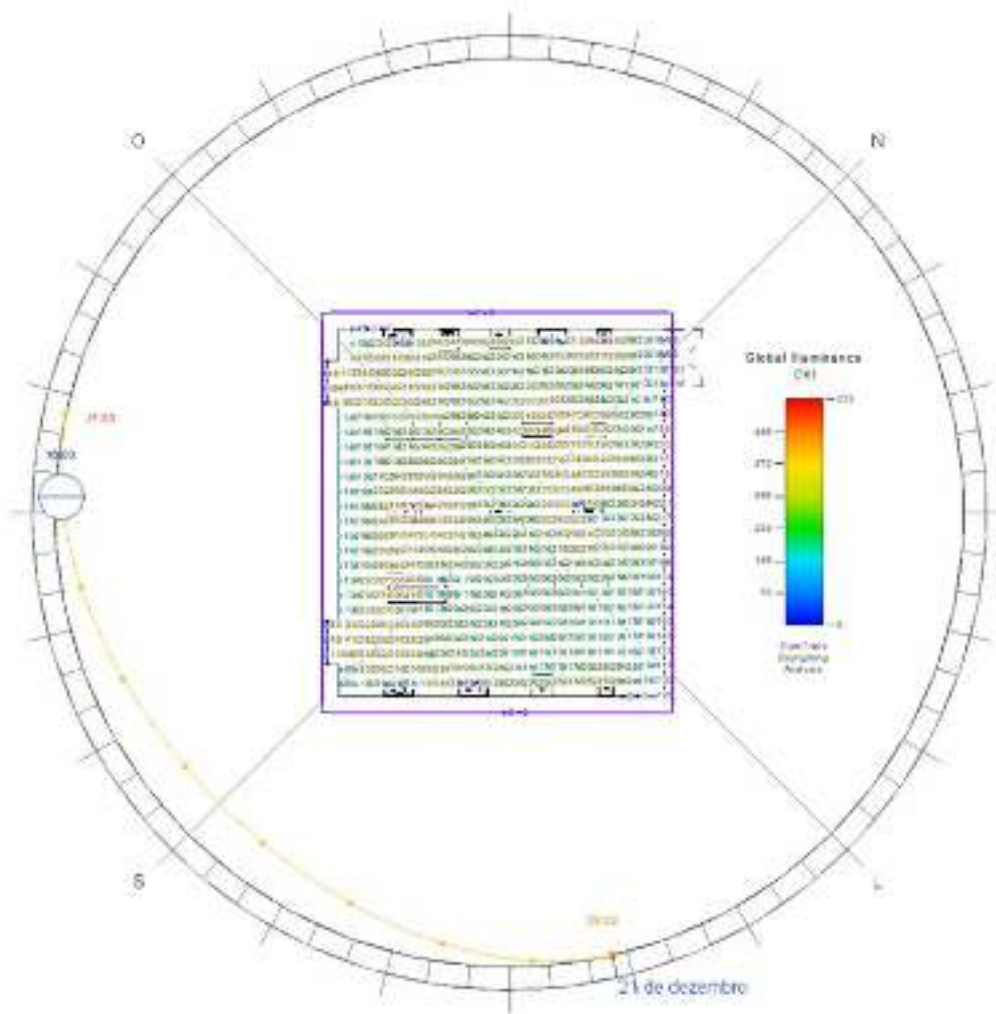


Fig. 108A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN2 no solstício de inverno às 16h00.

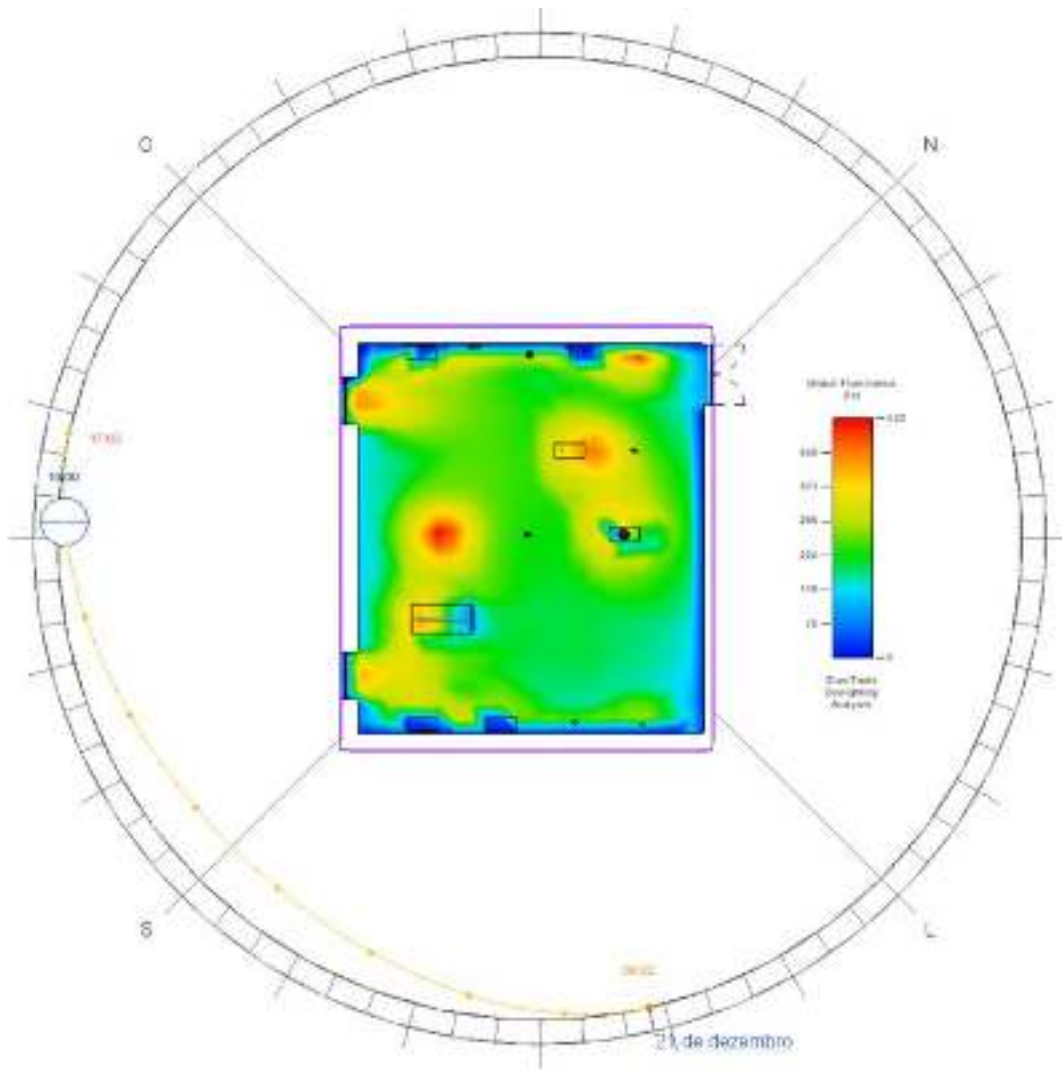


Fig. 109A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN2 no solstício de inverno às 16h00.

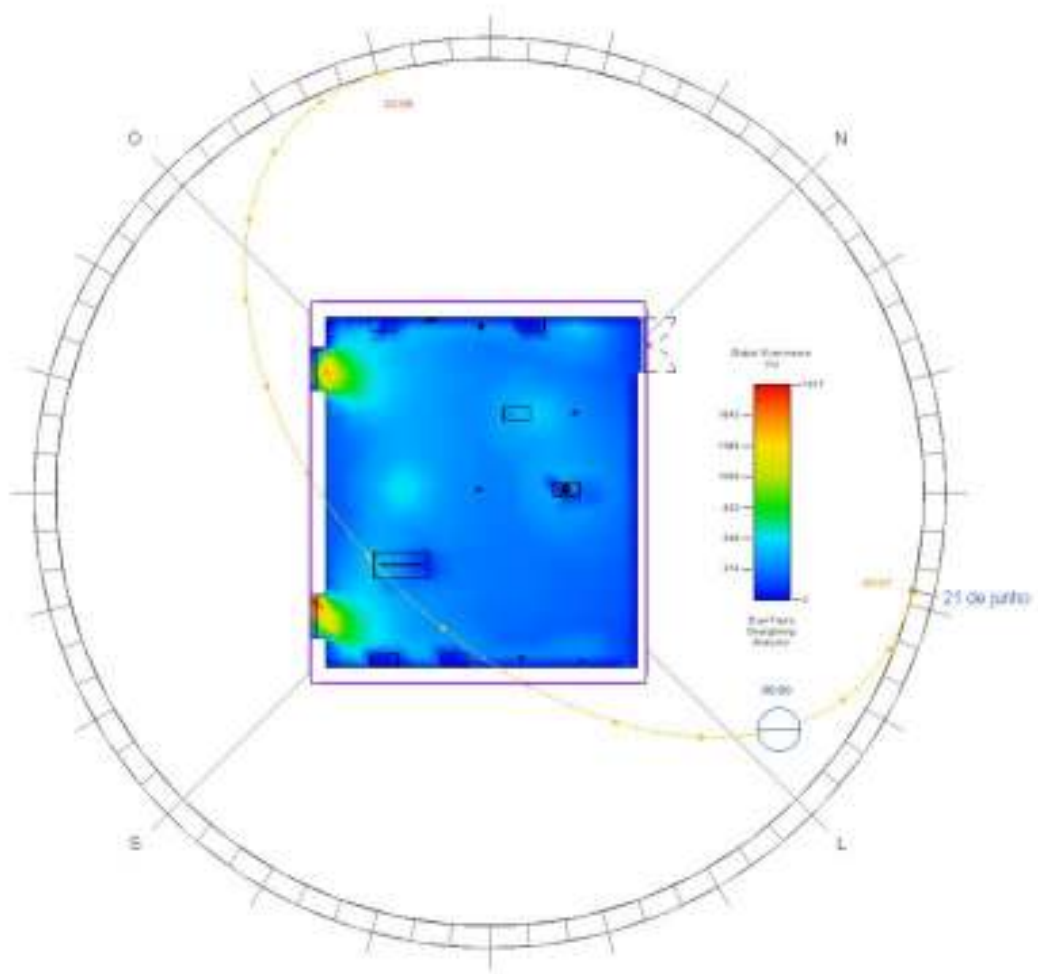


Fig. 111A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN2 no solstício de verão às 08h00.

Apêndice 15: Cenário AN2 – Solstício de verão às 12h00

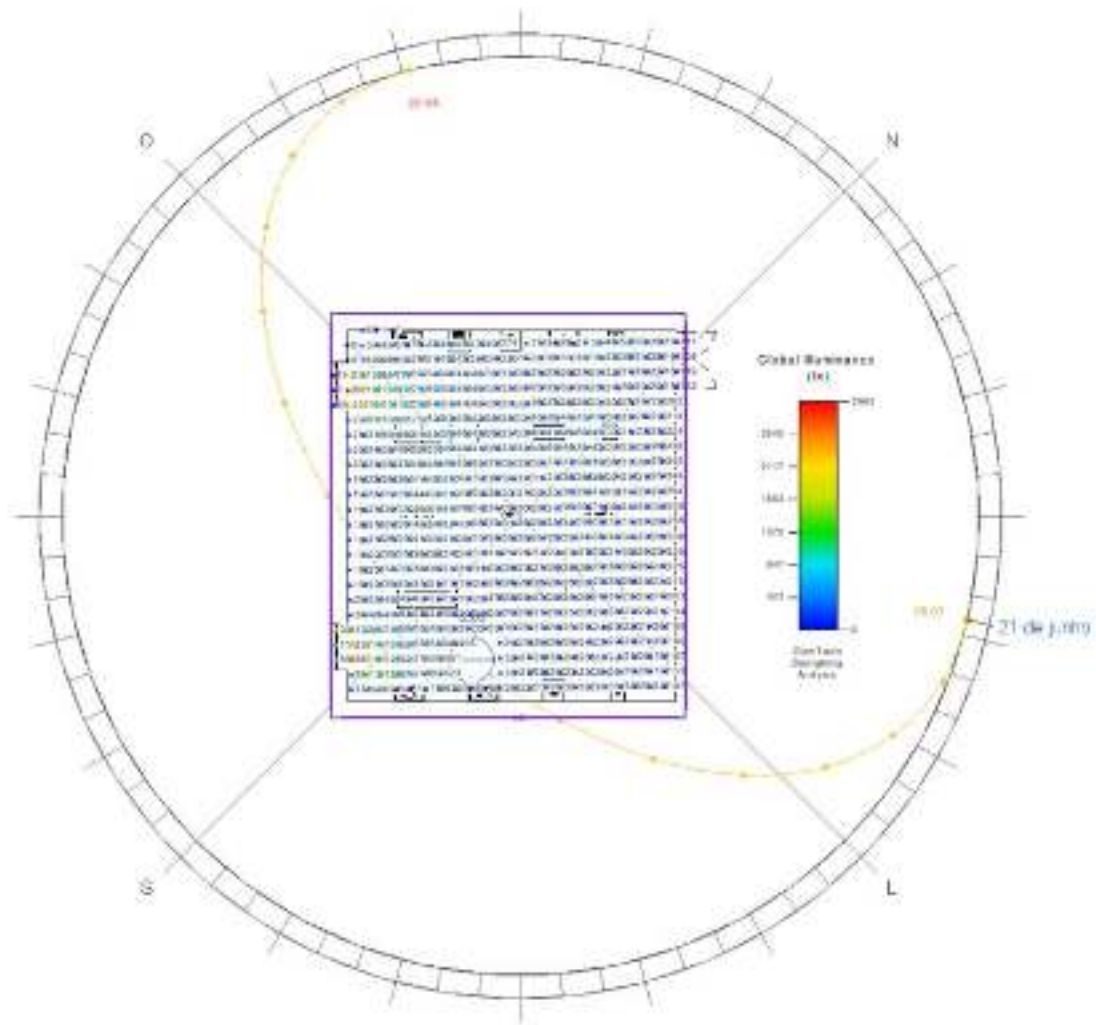


Fig. 112A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN2 no solstício de verão às 12h00.

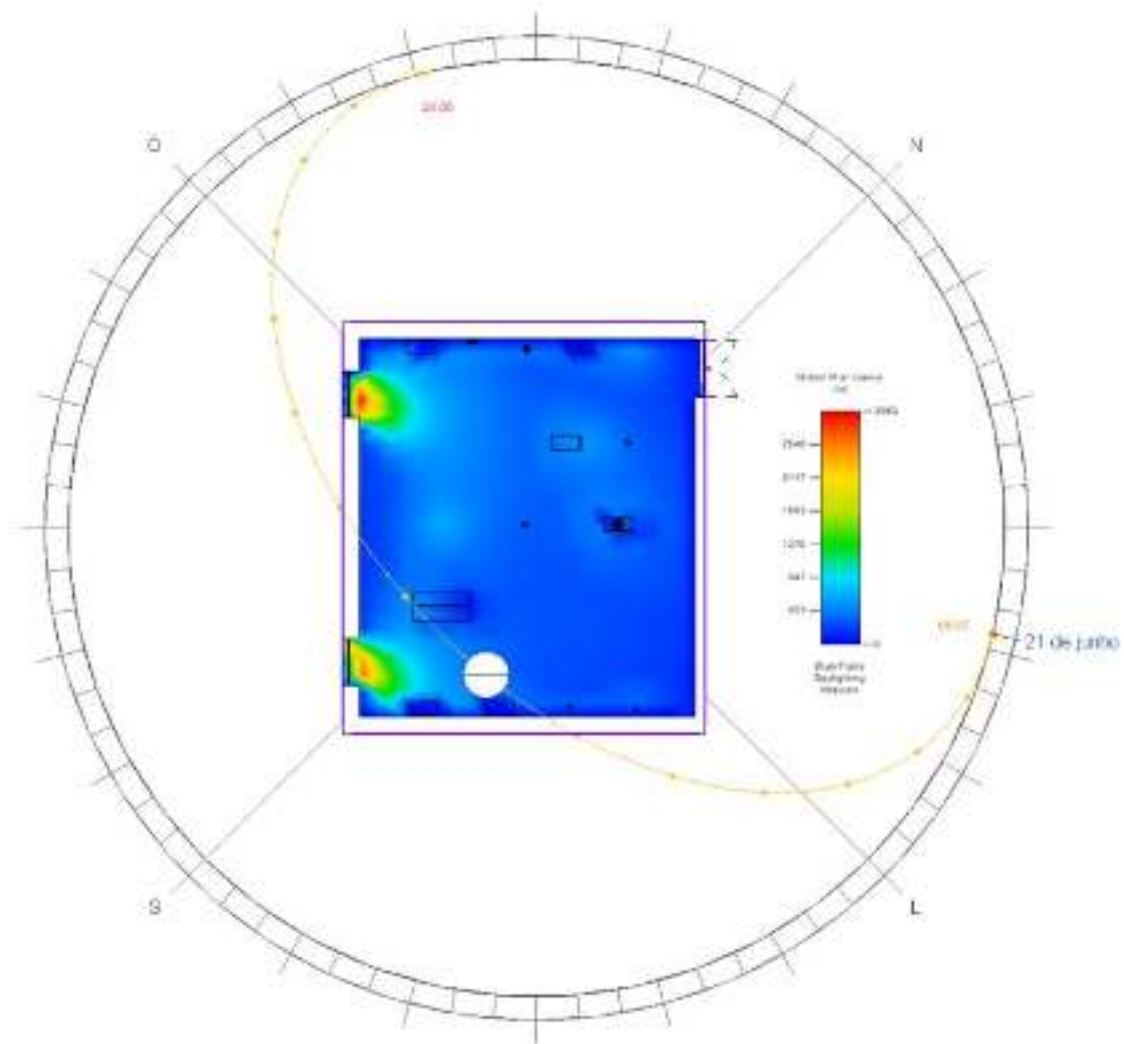


Fig. 113A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN2 no solstício de verão às 12h00.

Apêndice 16: Cenário AN2 – Solstício de verão às 16h00

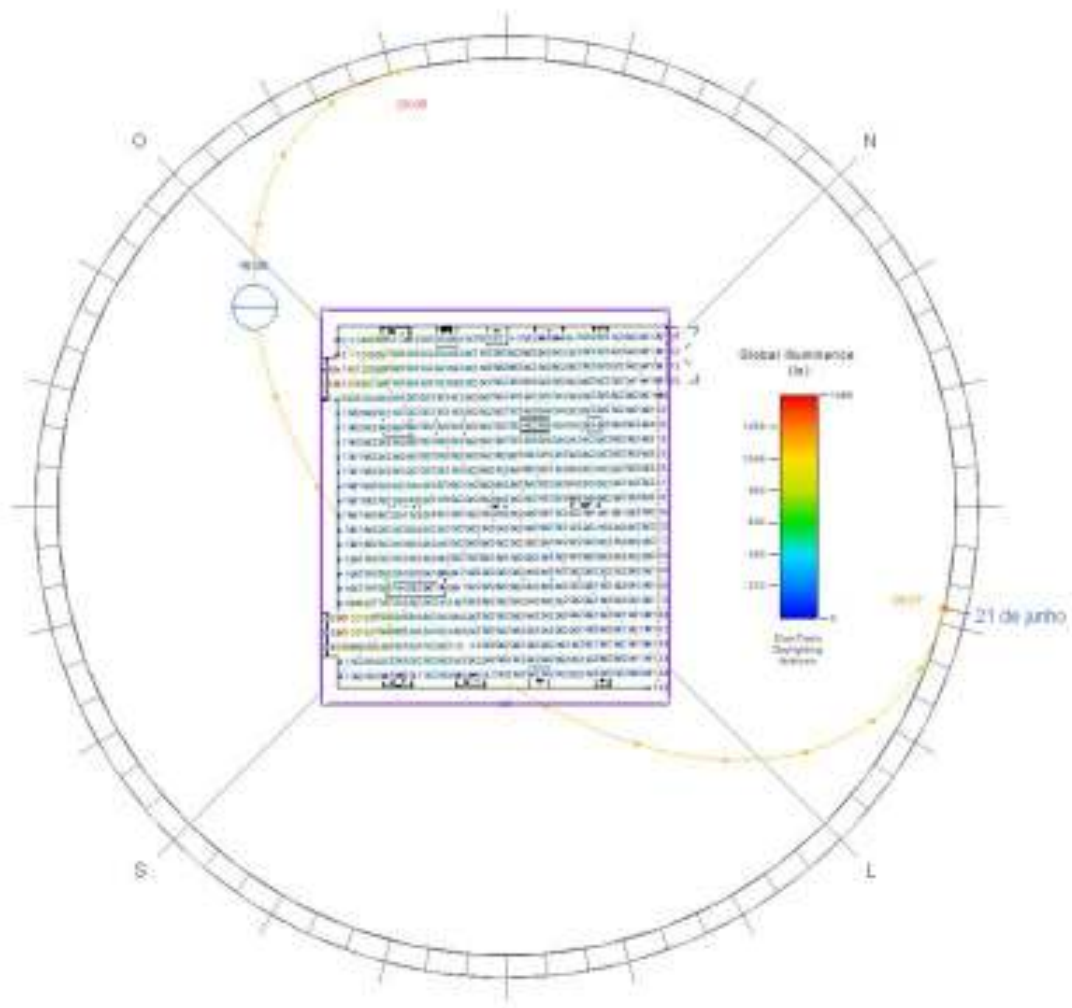


Fig. 114A - Iluminância nos pontos da grelha para o Cenário AN2 no solstício de verão às 16h00.

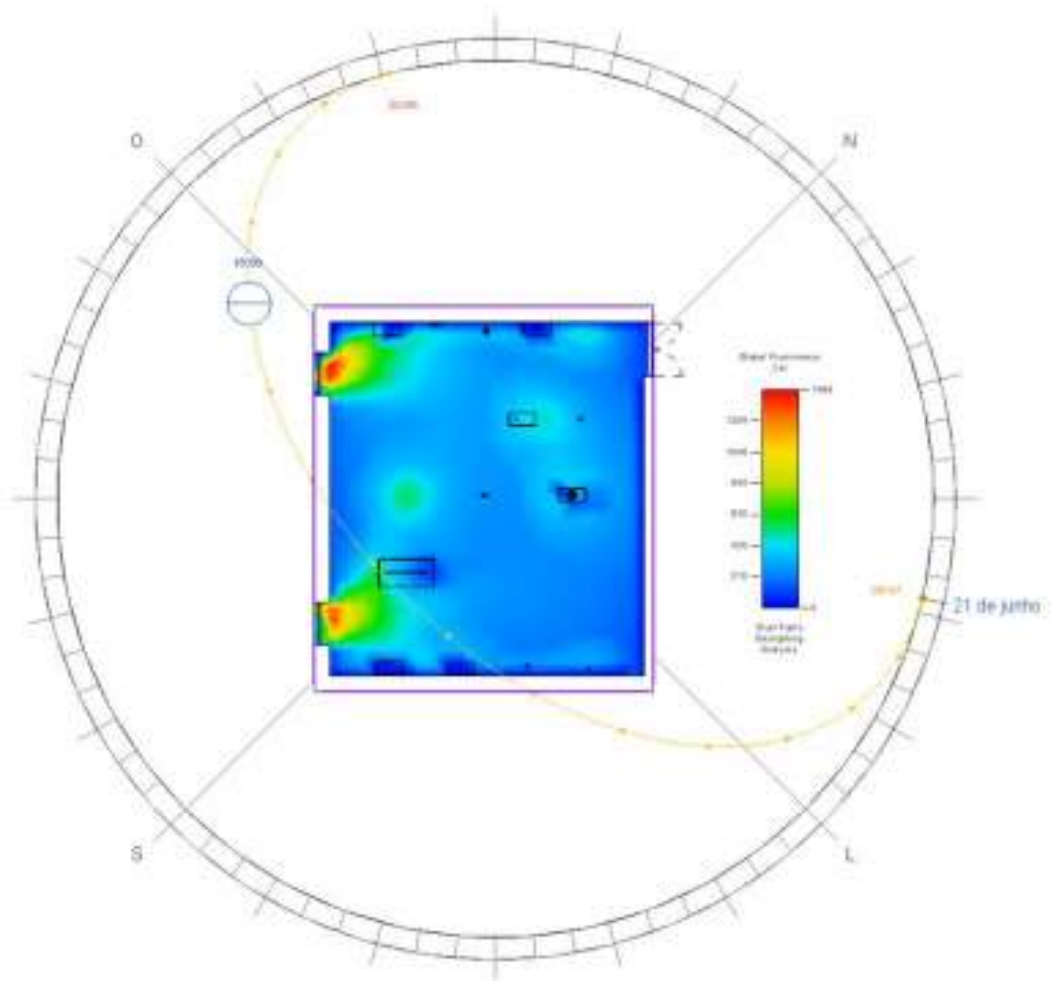


Fig. 115A - Mapa de iluminâncias para o Cenário AN2 no solstício de verão às 16h00.