

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS DE CURITIBA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ENGENHARIA DE CONTROLE E  
AUTOMAÇÃO

ANA LUCIA DE LARA FAUCZ  
ANNE VEIGA BALBUENO  
PEDRO HENRIQUE ZARAMELA

**PROJETO LUMINOTÉCNICO EM AMBIENTES DIDÁTICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA**

**2019**

ANA LUCIA DE LARA FAUCZ  
ANNE VEIGA BALBUENO  
PEDRO HENRIQUE ZARAMELA

## **PROJETO LUMINOTÉCNICO EM AMBIENTES DIDÁTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Elétrica e Engenharia de Controle e Automação do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista e Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: **Thiago de Paula Machado Bazzo**

**CURITIBA**

**2019**

Ana Lucia de Lara Faucz  
Anne Veiga Balbuena  
Pedro Henrique Zaramela

## Projeto Luminotécnico em Ambientes Didáticos

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 21 de novembro de 2019.

---

Prof. Antônio Carlos Pinho, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Profa. Annemarle Gehrke Castagna, Mestre  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

### ORIENTAÇÃO

---

Thiago de Paula Machado Bazzo, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### BANCA EXAMINADORA

---

Thiago de Paula Machado Bazzo, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Vilmair Wirmond, Me.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Carlos Alberto Dallabona, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

## RESUMO

FAUCZ, A. L. L., BALBUENO, A. V., ZARAMELA P. H., **Projeto Luminotécnico em Ambientes Didáticos**. 2019. 170 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação – Curso de Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

Comércios e serviços públicos são responsáveis pela maior parcela de consumo de energia elétrica em iluminação. Considerando que a maior conscientização da economia de energia é direcionada aos indivíduos, é importante destacar que as empresas e organizações também devem dar sua contribuição. Este trabalho apresenta um projeto luminotécnico dos novos laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, para a análise dos investimentos necessários para adequação dos níveis de luminosidade conforme norma. O projeto foi realizado através de simulações no *software* DIALux Evo, com a criação de 6 cenários para comparação. Os critérios e parâmetros utilizados para o seu desenvolvimento foram obtidos através da Norma Brasileira de iluminação de ambiente de trabalho. Primeiramente foram analisadas as condições atuais dos laboratórios, para então realizar as simulações no DIALux Evo. Constatou-se que com alterações de lâmpadas, luminárias, cor do ambiente e disposição das luminárias, é possível atingir os critérios da norma e melhorar a qualidade de iluminação do ambiente. A realização de projetos luminotécnicos em ambientes didáticos, principalmente em laboratórios, auxilia na melhora dos arranjos de iluminação, como também proporcionar melhor conforto visual para os usuários.

Palavras-chave: Iluminação, DIALux Evo, Projeto luminotécnico.

## ABSTRACT

FAUCZ, A. L. L., BALBUENO, A. V., ZARAMELA P. H., **Luminotechnical Project in Teaching Environments**. 2019. 170 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação – Curso de Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

Trading and public services are responsible for the largest share of lighting electricity consumption. Considering that the greater awareness of energy saving is aimed at individuals, it is important to highlight that companies and organizations must also make their contribution. This final paper presents a lighting project of the new laboratories of the Federal Technological University of Paraná, for standard application and investments analysis. The project was carried out through simulations in DIALux Evo *software*, with the creation of 6 scenarios for comparison. The criteria and parameters used for its development were obtained through the Brazilian Standard for Workplace Lighting. First the laboratories' current conditions were analyzed, and then the simulations in DIALux Evo were performed. It has been found that by changing lamps, lighting fixture, ambient color and arrangement of lighting fixture, it is possible to meet the standard criteria and improve the ambient lighting quality. Performing lighting projects in didactic environments, especially in laboratories, assists in lighting arrangements optimization and also provides better visual comfort for students and teachers.

Keywords: Lighting, DIALux, Lighting Project.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro de Luz Visível ao Olho Humano .....	21
Figura 2 - Funcionamento de uma Lâmpada Fluorescente .....	26
Figura 3 - Lâmpada de Vapor de Mercúrio .....	27
Figura 4 - Esquema da Lâmpada de Vapor a Sódio .....	29
Figura 5 - Curva de Distribuição Luminosa da Luminária Direta .....	31
Figura 6 - Curva de Distribuição Luminosa da Luminária Semi-Direta .....	31
Figura 7 - Curva de Distribuição Luminosa da Luminária Indireta .....	32
Figura 8 - Curva de Distribuição Luminosa da Luminária Semi-Indireta .....	32
Figura 9 - Curva de Distribuição Luminosa da Luminária Direta-Indireta .....	33
Figura 10 - Curva de Distribuição Luminosa da Luminária Geral-Difusa .....	33
Figura 11 - Composição Interna de um Luxímetro .....	34
Figura 12 - Luxímetro.....	34
Figura 13 - Visualização do Entorno Imediato .....	38
Figura 14 - Iluminância Conforme o Uso da Lâmpada.....	39
Figura 15 - Tamanho da malha em função das dimensões do plano de referência .....	42
Figura 16 - Distribuição das Luminárias.....	48
Figura 17 - Cavidades em um ambiente .....	50
Figura 18 - Divisões da área de um ambiente .....	51
Figura 19 - Interior da Sala A-001 .....	53
Figura 20 - Interior da Sala A-002 .....	54
Figura 21 - Interior da Sala A-003 .....	55
Figura 22 - Interior da Sala A-004 .....	56
Figura 23 - Detalhes das Áreas de Trabalho Retangular.....	57
Figura 24 - Planta Baixa da Sala A-001 .....	58
Figura 25 - Locais das Medições na Sala A-001 .....	59
Figura 26 - Detalhes das Áreas de Trabalho em “L” .....	61
Figura 27 - Planta Baixa da Sala A-002 .....	62
Figura 28 - Locais das Medições na Sala A-002 .....	63
Figura 29 - Detalhes da Área de Trabalho Circular .....	65
Figura 30 - Planta da Sala A-003 .....	66
Figura 31 - Locais das Medições na Sala A-003 .....	67
Figura 32 - Planta da Sala A-004 .....	69
Figura 33 - Locais das Medições na Sala A-004 .....	70
Figura 34 - Exemplo de Planta no DIALux.....	74
Figura 35 - Exemplo de Visão 3D .....	74
Figura 36 - Função Mobiliário.....	75
Figura 37 - Cenários de Luz.....	76
Figura 38 - Categoria de luminárias.....	76
Figura 39 - Curvas de distribuição luminosa da luminária TCS260 .....	79
Figura 40 - Curvas de distribuição luminosa da luminária TCS165 .....	80
Figura 41 - Curvas de distribuição luminosa da luminária TMS022.....	80
Figura 42 - Disposição das luminárias na sala A-001 .....	81
Figura 43 - Isolinhas de iluminância da sala A-001 (lux) .....	83
Figura 44 - Cores falsas de iluminância da sala A-001 (lux) .....	84
Figura 45 - Disposição das luminárias na sala A-002 .....	85
Figura 46 - Isolinhas de iluminância da sala A002 (lux) .....	87
Figura 47 - Cores falsas de iluminância da sala A-002 (lux) .....	88
Figura 48 - Isolinhas de iluminância da sala A002 (lux) - Complemento para todos os cenários.....	89
Figura 49 - Cores falsas de iluminância da sala A-002 (lux) - Complemento para todos os cenários.....	89
Figura 50 - Disposição das luminárias na sala A-003 .....	90
Figura 51 - Isolinhas de iluminância da sala A-003 (lux) .....	92

Figura 52 - Cores falsas de iluminância da sala A-003 (lux) .....	93
Figura 53 - Disposição das luminárias na sala A-004 .....	94
Figura 54 - Isolinhhas de iluminância da sala A-004 (lux) .....	96
Figura 55 - Cores falsas de iluminância da sala A004 (lux) .....	97
Figura 56 - Isolinhhas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 2 .....	99
Figura 57 - Cores falsas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 2.....	100
Figura 58 - Visualização da sala A-001 no DIALux - Cenário 1 e 2 .....	101
Figura 59 - Isolinhhas de iluminância da sala A-002 (lux) - Cenário 2 .....	102
Figura 60 - Cores falsas de iluminância da sala A-002 (lux) - Cenário 2.....	103
Figura 61 - Visualização da sala A-002 no DIALux - Cenário 1 e 2 .....	104
Figura 62 - Isolinhhas de iluminância da sala A-003 (lux) - Cenário 2 .....	105
Figura 63 - Cores falsas de iluminância da sala A-003 (lux) - Cenário 2.....	106
Figura 64 - Visualização da sala A-003 no DIALux - Cenário 1 e 2 .....	107
Figura 65 - Isolinhhas de iluminância da sala A-004 (lux) - Cenário 2 .....	108
Figura 66 - Cores falsas de iluminância da sala A-004 (lux) - Cenário 2.....	109
Figura 67 - Visualização da sala A-004 no DIALux - Cenário 1 e 2 .....	110
Figura 68 - Curvas de distribuição luminosa da lâmpada TBS165 .....	113
Figura 69 - Curvas de distribuição luminosa da lâmpada RC484B.....	114
Figura 70 - Disposição das luminárias na sala A-001 - Cenário 3.....	115
Figura 71 - Isolinhhas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 3 .....	117
Figura 72 - Cores falsas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 3.....	118
Figura 73 - Visualização da sala A-001 no DIALux - Cenário 3 .....	119
Figura 74 - Disposição das luminárias na sala A-002 - Cenário 3.....	120
Figura 75 - Isolinhhas de iluminância da sala A-002 (lux) - Cenário 3 .....	122
Figura 76 - Cores falsas de iluminância da sala A-002 (lux) - Cenário 3.....	123
Figura 77 - Visualização da sala A-002 no DIALux - Cenário 3 .....	124
Figura 78 - Disposição das luminárias na sala A003 - Cenário 3.....	125
Figura 79 - Isolinhhas de iluminância da sala A-003 (lux) - Cenário 3 .....	127
Figura 80 - Cores falsas de iluminância da sala A-003 (lux) - Cenário 3.....	128
Figura 81 - Visualização da sala A-003 no DIALux - Cenário 3 .....	129
Figura 82 - Disposição das luminárias na sala A-004 - Cenário 3.....	130
Figura 83 - Isolinhhas de iluminância da sala A-004 (lux) - Cenário 3 .....	132
Figura 84 - Cores falsas de iluminância da sala A-004 (lux) - Cenário 3.....	133
Figura 85 - Visualização da sala A-004 no DIALux - Cenário 3 .....	134
Figura 86 - Isolinhhas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 3.B .....	135
Figura 87 - Cores falsas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 3.B .....	136
Figura 88 - Isolinhhas de iluminância da sala A-003 (lux) - Cenário 3.B .....	137
Figura 89 - Cores falsas de iluminância da sala A-003 (lux) - Cenário 3.B .....	138
Figura 90 - Isolinhhas de iluminância da sala A-004 (lux) - Cenário 3.B .....	139
Figura 91 - Cores falsas de iluminância da sala A-004 (lux) - Cenário 3.B .....	140
Figura 92 - Cores falsas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 2 e 4.....	141
Figura 93 - Visualização da sala A-001 no DIALux - Cenário 1 e 4 .....	142
Figura 94 - Cores falsas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 1 e 5.....	143
Figura 95 - Análise de desempenho da sala A-001 - Cenário 1 .....	145
Figura 96 - Análise de desempenho da sala A-001 - Cenário 3 .....	146
Figura 97 - Análise de desempenho da sala A-001 - Cenário 3.B .....	147
Figura 98 - Análise de desempenho da sala A-002 - Cenário 1 .....	148
Figura 99 - Análise de desempenho da sala A-002 - Cenário 3 .....	149
Figura 100 - Análise de desempenho da sala A-003 - Cenário 1 .....	150
Figura 101 - Análise de desempenho da sala A-003 - Cenário 3 .....	151
Figura 102 - Análise de desempenho da sala A-003 - Cenário 3.B .....	152
Figura 103 - Análise de desempenho da sala A-004 - Cenário 1 .....	153
Figura 104 - Análise de desempenho da sala A-004 - Cenário 3 .....	154

Figura 105 - Análise de desempenho da sala A-004 - Cenário 3.B .....155



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica em Gwh do Brasil de 1995 a 2017 .....	18
Tabela 2 - Ângulo de corte mínimo dependendo da luminância da lâmpada.....	24
Tabela 3 - UGR por área de uso.....	24
Tabela 4 - Aspecto das Lâmpadas.....	25
Tabela 5 - Classificação das Luminárias.....	30
Tabela 6 - Iluminância, Limitação de Ofuscamento e Qualidade da Cor para Cada Tipo de Ambiente .....	36
Tabela 7 - Iluminância da Tarefa vs. Iluminância do Entorno Imediato .....	37
Tabela 8 - Faixas de Refletância de Superfícies Internas.....	38
Tabela 9 - Exemplos de fatores de manutenção para sistemas de iluminação de interiores .....	40
Tabela 10 - Tamanhos da malha.....	41
Tabela 11 - Fator de Depreciação para Cada tipo de Aparelho.....	43
Tabela 12 - Refletância das Paredes Devido às Cores Utilizadas.....	44
Tabela 13 - Refletância das Superfícies Iluminadas.....	44
Tabela 14 - Fator de Utilização de Uma Luminária Philips .....	46
Tabela 15 - Rendimento Luminoso para Cada Tipo de Lâmpada .....	47
Tabela 16 - Dados das Medições na Sala A-001 .....	60
Tabela 17 - Dados das Medições na Sala A-002 .....	64
Tabela 18 - Dados das Medições na Sala A-003 .....	68
Tabela 19 - Dados das Medições na Sala A-004 .....	71
Tabela 20 - Detalhamento das Mesas .....	72
Tabela 21 - Luminárias e lâmpadas atuais das salas estudadas .....	78
Tabela 22 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A001 .....	82
Tabela 23 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A-002.....	86
Tabela 24 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A-003.....	91
Tabela 25 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A-004.....	95
Tabela 26 - Preços das Principais Lâmpadas .....	98
Tabela 27 - Luminárias e lâmpadas usadas no cenário 3 .....	112
Tabela 28 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A-001 - Cenário 3 .....	116
Tabela 29 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A-002 - Cenário 3 .....	121
Tabela 30 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A-003 - Cenário 3 .....	126
Tabela 31 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A-004 - Cenário 3 .....	131
Tabela 32 - Resumo das iluminâncias médias de cada ambiente para cada cenário .....	144
Tabela 33 - Entradas para Realização .....	144
Tabela 34 - Análise de Consumos e Custos da sala A-001 - Cenário 1.....	145
Tabela 35 - Análise de Consumos e Custos da sala A-001 - Cenário 3.....	146
Tabela 36 - Análise de Consumos e Custos da sala A-001 - Cenário 3.B .....	147
Tabela 37 - Análise de Consumos e Custos da sala A-002 - Cenário 1.....	148
Tabela 38 - Análise de Consumos e Custos da sala A-002 - Cenário 3.....	149
Tabela 39 - Análise de Consumos e Custos da sala A-003 - Cenário 1.....	150
Tabela 40 - Análise de Consumos e Custos da sala A-003 - Cenário 3.....	151
Tabela 41 - Análise de Consumos e Custos da sala A-003 - Cenário 3.B .....	152
Tabela 42 - Análise de Consumos e Custos da sala A-004 - Cenário 1.....	153
Tabela 43 - Análise de Consumos e Custos da sala A-004 - Cenário 3.....	154
Tabela 44 - Análise de Consumos e Custos da sala A-004 - Cenário 3.B .....	155
Tabela 45 - Investimento necessário para implantação do cenário 3 .....	157
Tabela 46 - Investimento necessário para implantação do cenário 3.B.....	159

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

DAELT - Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

IRC - Índice de Reprodução de Cor

ISO - International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização)

LED - Light Emitting Diode (Diodo emissor de luz)

NR - Norma Regulamentadora

NBR - Normas Brasileiras

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

PEA - População Economicamente Ativa

PIB - Produto Interno Bruto

Ra - Índice Médio de Reprodução de Cor

UGRL - Limiting Unified Glare Rating (Limitação do Índice de Ofuscamento Unificado)

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\phi$  - Fluxo Luminoso

I - Intensidade Luminosa

$\omega$  - Esterradiano

E - Iluminância ou Iluminamento

S - Área

dt - Distância entre o Objeto e a Fonte Luminosa

L - Luminância

$\theta$  - Ângulo de Incidência do Fluxo Luminoso

$E_m$  - Iluminância média ou Iluminamento médio

Ra - Índice Médio de Reprodução de Cor

$\phi_t$  - Fluxo Luminoso Total

$F_u$  - Fator de Depreciação do Serviço da Luminária

$F_{di}$  - Fator de Utilização do Recinto

K - Índice de Recinto

A - Comprimento do Recinto

B - Largura do Recinto

$H_{tp}$  - Altura Útil

$\rho_{pe}$  - Percentual de Refletância de Acordo com as Cores de Pintura das Paredes

$\rho_{pi}$  - Percentual de Refletância Média do Piso

$\rho_{pq}$  - Percentual de Refletância Média da Parede

$\rho_{te}$  - Percentual de Refletância Média do Teto

$N_{iu}$  - Número de Luminárias

$N_{ia}$  - Número de Lâmpadas por Luminárias

$\phi_l$  - Fluxo Luminoso Emitido por uma Lâmpada

$\eta$  - Rendimento Luminoso

P - Potência

R - Distância Máxima entre os Centros das Luminárias (comprimento do recinto)

T - Distância Máxima entre os Centros das Luminárias (largura do recinto)

*Eh* - Iluminamento Horizontal

X - Local de Medição de Iluminância

a - Cota a

b - Cota b

c - Cota c

d - Cota d

Pt - Cota Pt

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 TEMA DA PESQUISA .....	14
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	16
1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS .....	16
1.4 OBJETIVOS.....	17
1.4.1 Objetivo Geral.....	17
1.4.2 Objetivo Específico .....	17
1.5 JUSTIFICATIVA .....	17
1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	19
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	19
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
2.1 TERMINOLOGIA.....	21
2.1.1 Luz.....	21
2.1.2 Fluxo Luminoso.....	22
2.1.3 Intensidade Luminosa.....	22
2.1.4 Iluminância .....	22
2.1.5 Luminância.....	22
2.1.6 Luminosidade .....	23
2.1.7 Contraste .....	23
2.1.8 Ofuscamento .....	23
2.1.9 Temperatura de cor .....	24
2.1.10 Índice de Reprodução de Cor (IRC) .....	25
2.2 EQUIPAMENTOS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL E DE MEDIÇÃO .....	25
2.2.1 Tipos de lâmpadas .....	25
2.2.1.1 Lâmpadas Fluorescentes .....	25
2.2.1.2 Lâmpadas de Vapor de Mercúrio .....	27
2.2.1.3 Lâmpadas de Estado Sólido (LEDS).....	28
2.2.1.4 Lâmpada de Vapor de Sódio.....	29
2.2.2 Luminárias .....	29
2.2.2.1 Luminária Direta.....	30
2.2.2.2 Luminária Semi-Direta.....	31
2.2.2.3 Luminária Indireta .....	31
2.2.2.4 Luminária Semi-Indireta .....	32
2.2.2.5 Luminária Direta-Indireta.....	32
2.2.2.6 Luminária Geral-Difusa.....	33
2.2.3 Luxímetro.....	33
2.3 ILUMINAÇÃO EM AMBIENTES INTERNOS.....	34
2.3.1 Iluminação Indireta.....	35
2.3.2 Iluminação Solar .....	35
2.3.3 Legislação Aplicável .....	35
2.3.4 Ergonomia.....	36
2.3.5 Iluminação de Ambientes de Trabalho .....	36
2.3.6 Método dos Lumens .....	42
2.3.7 Método Ponto a Ponto .....	48
2.3.8 Método das Cavidades Zonais.....	49
2.3.9 Método Utilizado pelo DIALux Evo .....	50
2.3.10 Etapas de um Projeto .....	51
<b>3. ANÁLISE DO AMBIENTE DE ESTUDO</b> .....	<b>53</b>
3.1 DESCRIÇÃO DOS AMBIENTES .....	53

3.1.1	A-001 .....	53
3.1.2	A-002 .....	54
3.1.3	A-003 .....	54
3.1.4	A-004 .....	55
3.2	MEDIÇÃO PRELIMINAR DOS AMBIENTES .....	56
3.2.1	Medições da Sala A-001.....	57
3.2.2	Medições da Sala A-002.....	61
3.2.3	Medições da Sala A-003.....	64
3.2.4	Medições da Sala A-004.....	68
<b>4.</b>	<b>PROJETO COM AUXÍLIO COMPUTACIONAL E RESULTADOS .....</b>	<b>73</b>
4.1	CENÁRIO 1 .....	77
4.1.1	Simulação da A-001 .....	80
4.1.2	Simulação da A-002 .....	85
4.1.3	Simulação da A-003 .....	90
4.1.4	Simulação da A-004 .....	94
4.2	CENÁRIO 2 .....	97
4.2.1	Simulação da A-001 - Cenário 2.....	98
4.2.2	Simulação da A-002 - Cenário 2.....	101
4.2.3	Simulação da A-003 - Cenário 2.....	104
4.2.4	Simulação da A-004 - Cenário 2.....	107
4.3	CENÁRIO 3 .....	110
4.3.1	Simulação da A-001 - Cenário 3.....	114
4.3.2	Simulação da A-002 - Cenário 3.....	119
4.3.3	Simulação da A-003 - Cenário 3.....	124
4.3.4	Simulação da A-004 - Cenário 3.....	129
4.4	CENÁRIO 3.B .....	134
4.4.1	Simulação da A-001 - Cenário 3.B.....	134
4.4.2	Simulação da A-002 - Cenário 3.B.....	136
4.4.3	Simulação da A-003 - Cenário 3.B.....	136
4.4.4	Simulação da A-004 - Cenário 3.B.....	138
4.5	CENÁRIO 4 .....	140
4.5.1	Simulação da A-001 - Cenário 4.....	141
4.6	CENÁRIO 5.....	142
4.6.1	Simulação da A-001 - Cenário 5.....	142
4.7	RESUMO .....	143
4.8	ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E ECONÔMICO .....	144
4.8.1	Análise da sala A-001.....	145
4.8.2	Análise da sala A-002.....	147
4.8.3	Análise da sala A-003.....	149
4.8.4	Análise da sala A-004.....	152
4.9	INVESTIMENTOS ESTIMADOS.....	156
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>162</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>164</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 TEMA DA PESQUISA

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (BRASIL, 1988) vigente, assegura o bem-estar social do cidadão, classificando-o como um bem relativo, que sofre mudanças conforme o passar das décadas e costumes tradicionais. Atualmente a energia elétrica é um item de necessidade básica, a qual deveria ser um direito garantido pelo Estado, sendo realmente acessível, visando também pessoas em condições precárias e transitórias. Tal direito está intrinsecamente relacionado com a dignidade humana, como outros direitos fundamentais: educação, vida, saúde e lazer. Todavia, o Estado ainda não consegue garantir a plena distribuição de energia elétrica, mesmo que sua relevância já tenha sido constatada (ROSA, 2014). Com um aumento da PEA (População Economicamente Ativa) ano após ano, a demanda energética também entra em crescimento.

Para estimar a demanda, é necessário avaliar alguns parâmetros, como as informações demográficas, poder de consumo da população e verificar o setor industrial, responsável por um grande consumo energético. A evolução demográfica interfere pelo aumento do número de ligações na rede elétrica. De acordo com a Projeção de Demanda de Energia Elétrica (EPE, 2017a), o crescimento a curto prazo entre o período de 2017 a 2026 é estimado em 0,6% ao ano. Tal aumento também contribui para o aumento da demanda, pois irá aumentar o número de domicílios, consequentemente aumentando os pontos de energia.

A evolução do PIB dos setores industriais possui a projeção de crescimento médio de 2,2% ao ano durante 2016 a 2026 (MME, 2017), acarretando um maior poder de compra da população. O setor metalúrgico corresponde a um dos maiores eletrointensivos entre as indústrias, consumindo 35% de eletricidade da indústria brasileira, também movimentando outros setores econômicos, como a indústria civil. Seu aumento está previsto em 3,2% ao ano, de 2016 a 2026 (EPE, 2017a). Influenciando também no resultado do aumento da demanda nacional.

Segundo dados do balanço energético nacional de 2017, elaborado pela EPE, o consumo e a demanda por energia elétrica no cenário nacional continuam em ascendência, embora a taxa de crescimento esteja em patamares menores. O que nos leva a crer que estaríamos indo em direção a uma situação insustentável econômica e

energeticamente (EPE, 2017b). Para que seja possível atender esta crescente demanda, a solução se divide em duas partes, de forma geral. A primeira consistiria em se aumentar a oferta de energia e a segunda seria buscar melhorias na eficiência energética através da redução no consumo.

Com o crescimento do consumo surge outro obstáculo, o potencial hidráulico. O Brasil tem um extenso recurso pluvial, porém a maior parte deste já está sendo explorada. O incremento de produção de energia, no que diz respeito a geração a partir de fontes hídricas, se torna cada vez mais dificultoso. A previsão é de que o potencial hidrelétrico brasileiro - de 260 mil megawatts (MW) - chegue ao esgotamento entre os anos de 2025 e 2030. Embora já exista um plano de investimento em fontes de energia renovável - como eólica e solar fotovoltaica, por exemplo - que visa ampliar a geração e diversificar a matriz elétrica, ainda se tem como prioridade a geração de energia hidrelétrica. Portanto, em paralelo deve-se buscar a diminuição no consumo e por consequência, haverá um avanço em eficiência na utilização da energia elétrica (AGÊNCIA SENADO, 2014).

O consumo consciente de eletricidade e a aplicação da eficiência energética são os dois principais pilares para que o Brasil consiga reverter uma situação de escassez que possa vir a acontecer. Eficiência energética significa gerar a mesma quantidade de energia com menos recursos naturais, ou utilizar um serviço que necessite de menos energia. Em se tratando da geração de energia, o principal objetivo na atualidade seria reduzir a emissão de resíduos e acompanhar a tendência global do mercado “verde” (HADDAD, 2013). Enquanto a maior parte dos investimentos é destinada a fontes alternativas de geração de energia elétrica, outras partes são divididas entre meio ambiente, eficiência energética, planejamento, proteção de sistemas de energia elétrica, qualidade e confiabilidade dos serviços de energia elétrica, etc. (ANEEL, 2011).

O controle do gasto de energia no Brasil pode ser auxiliado por certificados governamentais, como é o caso da regulamentação de equipamentos eletrônicos (KLEINA, 2011). Muitos equipamentos atuais passam pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro. O PBE fornece uma etiquetagem aos produtos passados pelas análises, com informações a respeito da eficiência energética, ruídos, entre outros. Para reduzir o consumo doméstico, além da conscientização de apagar a luz quando ela não é mais necessária, os consumidores também precisam se acostumar a olhar se o produto desejado contém a etiqueta do PBE (EPE, 2017c).



De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética, a classe que mais consome energia é a residencial, sendo seu maior consumo em iluminação. O consumo da iluminação é distribuído da seguinte maneira: 23% do consumo de energia elétrica residencial, 44% no comercial e serviços públicos e 1% no industrial (SANTOS et al., 2007). Para reduzir esse consumo, o ambiente precisa passar por uma avaliação. A análise a ser realizada neste trabalho de conclusão de curso visa auxiliar no desenvolvimento da relação entre economia, sustentabilidade e luminosidade suficiente para as atividades a serem desenvolvidas no local de estudo - alguns laboratórios da UTFPR.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) do campus Curitiba realizou reformas em quatro novos laboratórios que serão utilizados por estudantes e professores. Cada laboratório tem uma finalidade própria, sendo compostos por diferentes áreas, disposições de materiais e mobílias apropriadas.

Cada um dos ambientes laboratoriais realizou-se uma avaliação separadamente, de acordo com as necessidades de atividades específicas. Realizou-se medições de luminosidade para verificar se os laboratórios se adequam às normas. A partir dos dados obtidos, projetou-se modificações para se adequar às normas de luminância. O projeto garante o melhor desempenho que uma iluminação pode oferecer para o usuário.

## 1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

Conforme observou-se nos laboratórios da UTFPR, havia a possibilidade de melhoria da iluminação para se adequar às normas e melhorar a eficiência luminosa. Tais medidas melhoraram o aproveitamento dos alunos, tanto no conforto visual quanto no aprendizado.

Algumas dificuldades podem ser encontradas pelo fato de que cada um dos laboratórios terá uma utilização específica. Dessa forma, cada ambiente apresenta necessidades particulares que precisarão ser atendidas, seguindo todas as exigências normativas, visando sempre o cumprimento da norma, um investimento financeiro razoável e uma boa utilização dos recursos da instalação, como o espaço disponível na sala, portas e janelas, aproveitamento da luz natural, entre outros.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolvimento um projeto luminotécnico para ambientes didáticos na UTFPR campus Curitiba na sede centro.

### 1.4.2 Objetivo Específico

- a) Aprofundamento de conhecimentos sobre luminotécnica e iluminação artificial;
- b) Verificação o atual estado dos ambientes selecionados;
- c) Realização um projeto luminotécnico, analisando diversas variáveis como, viabilidade, custo e adequação às normas;
- d) Simulação de resultados através do *software* DIALux Evo;
- e) Verificação os resultados obtidos.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2004) desde 1995, o consumo de energia elétrica no Brasil cresceu aproximadamente 94,28% nos 23 anos subsequentes, conforme apresentado na Tabela 1.

*Tabela 1 - Consumo de energia elétrica em Gwh do Brasil de 1995 a 2017.*

Ano	Consumo (Gwh)
1995	243 074
1996	257 330
1997	273 280
1998	284 522
1999	292 188
2000	307 529
2001	283 257
2002	293 226
2003	306 987
2004	329 707
2005	344 284
2006	356 129
2007	377 030
2008	388 472
2009	384 306
2010	415 683
2011	433 034
2012	448 126
2013	463 142
2014	474 823
2015	465 290
2016	461 484
2017	465 130

**Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2004).**

Com os avanços tecnológicos, a sociedade atual é dependente da energia elétrica. Apesar do Brasil possuir uma das maiores usinas hidrelétricas do mundo, não significa que não exista o risco de produção energética ser insuficiente no futuro, em decorrência do aumento da demanda de energia.

Uma das táticas para aliviar essa pressão é reduzir o consumo energético. Em se tratando de ambientes com finalidades didáticas, a iluminação é um grande potencial para aplicar a redução do uso de energia elétrica. De acordo com Apolônio et al. (2014), cerca de 24% da energia consumida em prédios públicos provém da iluminação.

Devido à escassez de fiscalização das normas de iluminação, muitas regras não são cumpridas, podendo afetar o consumo de energia dos ambientes, bem como a

quantidade de iluminação necessária para a realização de tarefas. O estudo desse trabalho de conclusão de curso vem com o objetivo de aprimorar não somente a iluminação do laboratório, garantindo uma melhora na aprendizagem dos estudantes através de uma iluminância adequada, mas também uma maior economia para a universidade.

## 1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste trabalho, diversos procedimentos teóricos serão aplicados, entre eles, um aprofundamento sobre luminotécnica, iluminação artificial em ambientes internos e externos através das normas NBR/ISO 8995-1 - Iluminação em Ambientes de Trabalho (NBR, 2013) e NBR 15215 - Iluminação Natural (NBR, 2005).

Após a primeira etapa de estudos, passaremos a verificar o atual estado de iluminação dos ambientes, através do luxímetro, para realizar as comparações destas medidas com os requisitos de normas.

Realizar-se-á um projeto luminotécnico, analisando diversas variáveis como, viabilidade, custo, intensidade de iluminação, através do *software* DIALux Evo, para ter uma análise completa, tanto de dados, como visualmente. Tendo vários projetos diferentes, um com maior iluminação, outro com menor custo, com o mínimo de gastos da reforma, melhor custo-benefício, etc;

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho de conclusão de curso será dividido pela seguinte maneira:

O capítulo 1 conta com a Introdução, o capítulo 2 dispõe sobre iluminação de ambientes internos, contando com referencial teórico, legislação vigente e como iluminar um ambiente. O capítulo 3 aborda a análise dos ambientes em estudo, descreve o uso dos ambientes e sua medição, já usando as diretrizes do capítulo anterior para dizer qual luminosidade é necessária para cada parte do ambiente, trata a luminosidade das salas, se atendem ou não as normas.

O capítulo 4 apresenta o projeto luminotécnico com diversas faces e seus resultados, desde a mais completa até a mais singela, por exemplo, um projeto luminotécnico apenas com as trocas de lâmpadas LED e luminárias refletoras se enquadrando em uma versão mais básica de modificações. Uma versão mais completa é um

projeto luminotécnico com modificações de estruturas, pintura, piso, luminárias, lâmpadas, comparando-as no melhor custo benefício; apresenta uma análise de desempenho energético e econômico, assim como o investimento estimado para o cenário mais indicado.

O capítulo 5 é a conclusão geral do estudo, logo após são as referências bibliográficas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A partir da literatura foram selecionados conceitos importantes para uma melhor assimilação deste trabalho de conclusão de curso, tanto na terminologia quanto equipamentos de iluminação e medição, iluminação em ambientes internos e legislação aplicável.

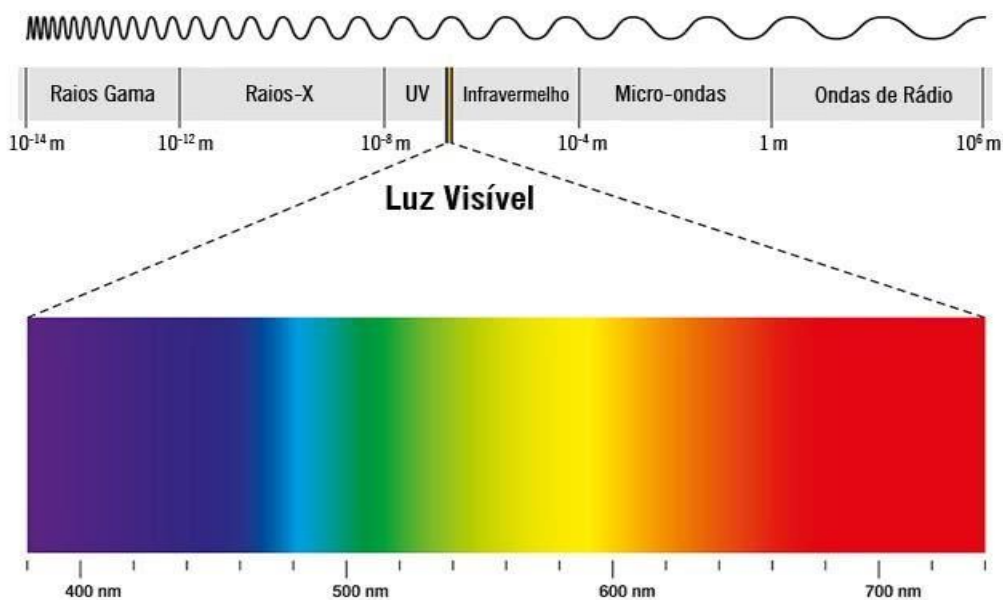
### 2.1 TERMINOLOGIA

É primordial a compreensão de alguns conceitos e termos técnicos que são utilizados frequentemente ao longo do texto deste trabalho. Portanto, estão a seguir as definições em questão:

#### 2.1.1 Luz

A luz pode ser definida como parte de uma radiação de natureza eletromagnética. A parte da radiação que é visível pelo olho humano possui comprimentos de onda na faixa entre 380 nm e 760 nm, como se pode observar na Figura 1 (GUERRINI, 2008).

Figura 1 - Espectro de Luz Visível ao Olho Humano.



Fonte: ITAIM Iluminação (2016).

### 2.1.2 Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso ( $\Phi$ ) de uma fonte pode ser definido como a quantidade de energia luminosa radiante, emitida por unidade de tempo e avaliada de acordo com a sensação luminosa produzida. Pode ser direto - quando é recebido diretamente de uma fonte de luz primária - ou indireto - quando é recebido após uma reflexão. Normalmente expresso em lúmens (lm) (GUERRINI, 2008).

### 2.1.3 Intensidade Luminosa

A definição de intensidade luminosa (I) é dada pelo fluxo luminoso ( $\Phi$ ) por esterradiano ( $\omega$ ). Esta grandeza é medida em candela (cd), ou seja, possui uma intensidade energética de 1/683 W por esterradiano (GUERRINI, 2008). Sendo representada na Equação 1.

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (1)$$

### 2.1.4 Iluminância

Iluminância ou iluminamento (E) corresponde a densidade de fluxo luminoso ( $\phi$ ) incidente em uma superfície, isto é, a quantidade de luz que incide em uma determinada área S (S). É medido em lux, que equivale a um lúmen por metro quadrado, conforme a Equação 2.

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (2)$$

A iluminância em alguns casos também é calculada através da Equação 3, que leva em consideração o ângulo de incidência do fluxo luminoso no objeto em questão ( $I \cos \theta$ ) e a distância entre o objeto e a fonte luminosa (dt) (GUERRINI, 2008).

$$E = \frac{I \cos \theta}{dt^2} \quad (3)$$

### 2.1.5 Luminância

Define-se por luminância (L) de um objeto a relação entre o iluminamento na direção do mesmo e a área aparente. Por área aparente entende-se a área de um elemento qualquer projetado em um plano perpendicular à direção do fluxo luminoso em questão. Em termos práticos, pode-se dizer que a luminância nada diz a respeito da luz emitida pela fonte (I) até um objeto e sim a luz refletida por ele ( $S \cos \theta$ ). A unidade

padrão de luminância é candela por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), também conhecida por nit. É calcula-se através da equação 4:

$$L = \frac{I}{S \cos \theta} \quad (4)$$

### 2.1.6 Luminosidade

A luminosidade é um parâmetro visual ligado à sensação dos seres humanos que estão em um determinado ambiente através do qual, o mesmo parece ter mais ou menos luz. (ABNT, 1991).

### 2.1.7 Contraste

O conceito de contraste pode ser entendido a partir de duas óticas diferentes: a física e a perceptiva. Em sentido perceptivo é a avaliação da diferença de aspecto entre duas ou mais partes do campo observado, justapostos no espaço ou no tempo. Já analisando a partir da perspectiva física, contraste é uma grandeza associada à diferença de luminosidade percebida, na qual se considera a diferença de luminância dos estímulos em questão (ABNT, 1991).

### 2.1.8 Ofuscamento

É a condição de visão que se dá devido ao excesso de contraste, luminância ou a distribuição desfavorável dos mesmos. Normalmente traz consigo desconforto ao usuário do ambiente e perda ou redução da capacidade de distinguir cores, detalhes e objetos. Pode ser causado diretamente pelas fontes de luz - ofuscamento direto - ou pela reflexão dos objetos do ambiente - ofuscamento indireto (ABNT, 1991).

Na proteção contra o ofuscamento em lâmpadas elétricas, o ângulo de corte mínimo para proteção de visualização direta da lâmpada não pode ser inferior que os dados da Tabela 2. Pode ser desconsiderado o ângulo de corte para luminárias que não estejam no campo de visão do trabalhador durante a ação realizada (NBR, 2013).



Tabela 2 - Ângulo de corte mínimo dependendo da luminância da lâmpada

Luminância da lâmpada (kcd/m <sup>2</sup> )	Ângulo de corte mínimo (graus)
1 a 20	10
20 a 50	15
50 a 500	20
>= 500	30

Fonte: ABNT - ISO/CIE 8995-1 (2013).

O Índice de Ofuscamento determina o desconforto causado pelo ofuscamento, relacionando a luminância (cd/m<sup>2</sup>) do fundo (L<sub>b</sub>), a luminância (cd/m<sup>2</sup>) no campo de visão do observador (L), o ângulo sólido da parte luminosa de cada luminária junto ao olho do observador (esferorradiano) (ω) e o índice de posição Guth de cada luminária, individualmente relacionado ao seu deslocamento a partir da linha de visão (p) (ILUMINATO, 2018), conforme a equação 5:

$$UGR = \frac{0,25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 * w}{p^2} \quad (5)$$

Seus usos conforme escala podem ser observados na Tabela 3:

Tabela 3 - UGR por área de uso

Área de uso	UGR
Desenho técnico	≤ 16
Leitura, escrita, salas de aula, computação,	≤ 19
Trabalho em indústria, exposições, recepções	≤ 22
Trabalho bruto, escadas	≤ 25
Corredores	≤ 28

Fonte: Iluminato (2018).

### 2.1.9 Temperatura de cor

Segundo Guerrini (2008), a temperatura de cor de uma fonte luminosa é aquela na qual o corpo negro emite um fluxo luminoso de mesma intensidade que a fonte em questão e comparativamente com as mesmas frequências básicas. Porém quando se fala em temperatura de cor, usa-se uma lógica inversa. Quanto maior o valor da temperatura

de cor de uma fonte, mais fria considera-se. O corpo negro pode ser interpretado como um objeto teórico que pode absorver toda a radiação eletromagnética que nele chega. A Tabela 4 relaciona as temperaturas de cor de lâmpada com os aspectos que são percebidos.

*Tabela 4 - Aspecto das Lâmpadas*

Aspecto da lâmpada	Temperatura de cor
Morna ou Amarelada	até 3500 K
Neutra ou Branca	de 3300 a 5000 K
Fria ou Azulada	maior que 5000 K

**Fonte: Lume Arquitetura (2008).**

### **2.1.10 Índice de Reprodução de Cor (IRC)**

O índice de reprodução de cor é uma escala (de 0 a 100) criada e usada para medir o quanto a reprodução das cores de uma determinada fonte luminosa é fiel à realidade, tendo o sol como referência. Fontes que apresentam IRC entre 80 e 100 são consideradas fontes com grande fidelidade na reprodução de cor (LUMICENTER, 2017).

## **2.2 EQUIPAMENTOS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL E DE MEDIÇÃO**

### **2.2.1 Tipos de lâmpadas**

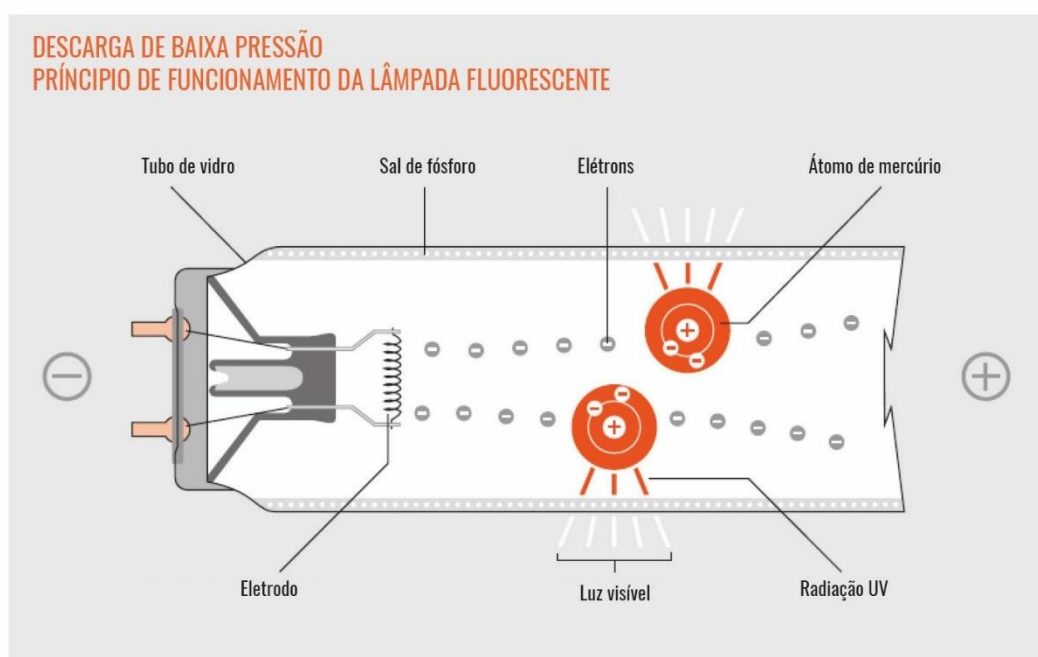
Uma parte importante da realização de um projeto luminotécnico é a escolha das lâmpadas a serem utilizadas. Além da escolha do fabricante e dos parâmetros físicos e técnicos, é necessário escolher o tipo de lâmpada a ser utilizado na instalação. Para tal, utiliza-se as características técnicas e construtivas. Modelos que já estão ultrapassados para os padrões atuais - como a lâmpada incandescente, por exemplo - ou que não têm serventia para as aplicações deste trabalho, foram desconsideradas.

#### **2.2.1.1 Lâmpadas Fluorescentes**

As lâmpadas fluorescentes são lâmpadas de descarga de baixa pressão e são assim chamadas pelo fato de que a camada de revestimento fluoresce quando entra em contato com a radiação ultravioleta, pois há nela um pó fluorescente. Os cristais deste pó, fazem com que a radiação eletromagnética que está em frequências mais altas se torne luz visível.

A escolha da substância fluorescente a ser cristalizada e utilizada como pó fluorescente varia de acordo com a frequência de luz desejada, embora quase sempre sejam usados sais de fósforo. Frequentemente se usa o halofosfato de cálcio, pois este produz luz branca. As lâmpadas fluorescentes podem ser encontradas em diversos formatos como linear, circular, compacta, entre outros. São constituídas de algumas partes construtivas, entre elas o tubo, a base, os eletrodos, - também conhecidos como catodos - vapor de mercúrio e gás de enchimento inerte, além da camada de pó fluorescente já citada, conforme demonstra a Figura 2.

Figura 2 - Funcionamento de uma Lâmpada Fluorescente.



Fonte: Adaptado de Ledvance (2019).

O funcionamento da lâmpada fluorescente se dá a partir do momento em que o sistema é energizado, quando surge uma diferença de tensão entre os eletrodos, os elétrons ganham movimento dentro do tubo da lâmpada. Através da corrente formada pelo movimento desses elétrons, o gás de enchimento se ioniza, a resistência do tubo diminui e o arco elétrico salta. O fluxo de elétrons no arco excita as cargas elétricas atômicas do mercúrio, fazendo com que elas mudem de órbita e gerando radiação. Essa radiação é absorvida pelos cristais do pó fluorescente, que gera luminescência (CAVALIN; CERVELIN, 2011).

De acordo com Amaral, Cerezini e Polli (2016) no Brasil, anualmente, são consumidas cerca de 100 milhões de lâmpadas fluorescentes. As lâmpadas

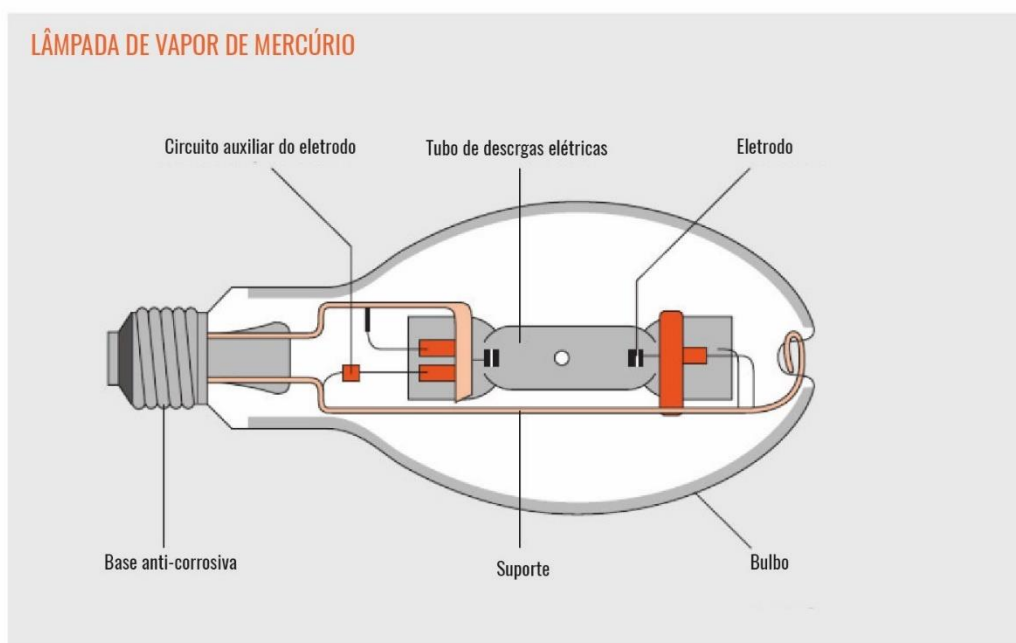
fluorescentes, em geral, possuem uma alta eficiência energética, uma vida média que varia entre 7500 e 45000 horas, temperatura de cor entre 2700 e 6000 K e um IRC de 85% em média. São comumente utilizadas em ambientes comerciais, residenciais e industriais, principalmente os modelos tradicionais de tubo e compactos (VOITILLE, 2013).

### 2.2.1.2 Lâmpadas de Vapor de Mercúrio

A lâmpada de vapor de mercúrio tem diversas semelhanças com a lâmpada fluorescente. Ela também utiliza o princípio de descarga elétrica através de gases. Seu funcionamento se dá de maneira muito similar à fluorescente, porém neste caso o mercúrio está confinado dentro de um tubo de arco submetido a uma alta pressão.

Do mesmo modo que as fluorescentes, a lâmpada de vapor de mercúrio também necessita do uso de reatores para conectar a lâmpada à rede e limitar a corrente de operação. Essas lâmpadas também possuem base, eletrodos, bulbo, entre outras partes construtivas (CREDER, 2014), como a Figura 3 retrata:

*Figura 3 - Lâmpada de Vapor de Mercúrio*



**Fonte: Adaptado de Ledvance (2019).**

Um ponto importante a ser citado é que as lâmpadas de vapor de mercúrio possuem um longo transitório de potência. Esse modelo de lâmpada tem partida instantânea, por isso não há necessidade de se utilizar nenhum dispositivo auxiliar para

acioná-la, porém elas demoram em média 8 minutos para entrar em regime, ou seja, atingir a potência nominal e, portanto, o nível nominal de iluminamento (CREDER, 2014).

Este tipo de lâmpada possui um IRC ruim, - entre 40 e 50% - temperatura entre 3900 e 4300 K e uma vida média de 16000 horas. É utilizada principalmente para iluminação de vias públicas, praças, jardins, estacionamentos, parques e fábricas (CAVALIN; CERVELIN, 2011).

No contexto de lugares amplos e espaçosos, a utilização deste tipo de lâmpada se faz vantajosa por conta de não necessitarem de ignitores ou starters, terem uma baixa carga térmica, uma vida útil longa e um baixo custo se comparadas com as lâmpadas incandescentes de alta potência, que também são bastante utilizadas para estas aplicações.

### 2.2.1.3 Lâmpadas de Estado Sólido (LEDS)

As lâmpadas de estado sólido, popularmente conhecidas por lâmpadas LED, são lâmpadas com funcionamento baseado em um circuito eletrônico com a utilização dos LEDs. Por não possuírem filamento, vapor ou líquido são conhecidas como lâmpadas de estado sólido. Esta é uma tecnologia que ainda permanece em ascensão no mercado brasileiro, apesar de já consolidada, o desenvolvimento da tecnologia e a popularização do seu preço vêm fazendo com que cada vez as lâmpadas LED ganhem mais aplicações.

Essas lâmpadas têm seu funcionamento fundamentado em circuitos eletrônicos com LEDs, *Light Emitting Diode*, que significa em português diodo emissor de luz. Em linhas gerais, funciona da mesma forma que um diodo, porém este é construído com materiais especiais como arsenito de gálio e fosfito de gálio e por isso é capaz de emitir luz. (CAVALIN; CERVELIN, 2011).

Existe uma série de motivos e explicações para este crescimento do mercado das lâmpadas LED nos últimos anos, isso se deve ao fato de que se há muitas vantagens no uso desse tipo de lâmpada. Pelo fato de serem lâmpadas extremamente eficientes, possuem ótimos níveis de iluminamento mesmo tendo pequenas potências e já seriam uma grande vantagem somente pelo fato de consumirem menos energia, mas também deve-se levar em consideração o impacto ambiental, que é muito menor pelo fato de que este tipo de lâmpada tem uma vida útil muito mais longa do que a maioria dos outros tipos, o que faz com que sejam consumidas menos unidades e menos lixo seja gerado.

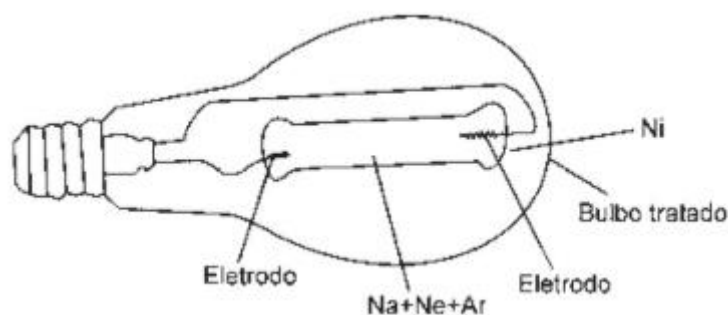
As LEDs não possuem mercúrio ou alguma substância tóxica em sua composição, o que faz com que possam ser descartadas no lixo comum (INMETRO, 2016).

As lâmpadas LED possuem vida útil média de mais de 50000 horas, muito superior as fluorescentes, por exemplo. Tem uma temperatura de cor entre 2760 e 10000 K e um IRC de cerca de 90%, em média (CAVALIN; CERVELIN, 2011).

#### 2.2.1.4 Lâmpada de Vapor de Sódio

As lâmpadas de vapor de sódio têm a descarga como seu princípio de funcionamento, do mesmo modo que as lâmpadas fluorescentes e as lâmpadas de vapor de mercúrio. Neste caso, o vapor de sódio possui alta pressão, na ordem de 20 kN/m<sup>2</sup>. A luz produzida de cor amarelo-ouro é resultado da ordem de pressão. Além do sódio, pode conter gases como xenônio, argônio e mercúrio, sendo todos visíveis no espectro da luz pelo seu comprimento de onda. As potências fabricadas vão de 70 a 1000 watts, com eficiência de 130 lm/W e IRC de 20 a 39%. Sua temperatura de cor é 2000 K e possui vida média de 24.000 horas. Suas utilizações principais são em siderúrgicas, pedreiras, aeroportos e construções civis. A Figura 4 demonstra um esquema da lâmpada de vapor de sódio, desde a descarga pelo argônio até a vaporização do sódio (GUERRINI, 2008).

*Figura 4 - Esquema da Lâmpada de Vapor a Sódio*



**Fonte: Délio Guerrini (2008).**

#### 2.2.2 Luminárias

A importância da luminária vai além de fixar a lâmpada, sua escolha reflete em controlar e distribuir a luz; ser viável economicamente; o contraste que a lâmpada produz e seu ofuscamento; produzir eficiência; coeficiente de utilização e o bem-estar causado pela iluminação. A escolha adequada maximiza o aproveitamento da luz, possibilitando o uso de lâmpadas de menor carga. A eficiência de uma luminária tem

como fatores envolvidos a forma das luminárias; a existência ou não de aletas; o material e o tipo de pintura do refletor. O coeficiente de utilização é a porcentagem de lúmens emitidos pela lâmpada que atinge a superfície de trabalho (FIORINI, 2006).

As luminárias para uso interno são classificadas através do fluxo luminoso, conforme apresenta a Tabela 5.

*Tabela 5 - Classificação das Luminárias*

Classe da Luminária	Fluxo Luminoso Emitido	
	Para Cima (%)	Para Baixo (%)
Direta	0 – 10	90 – 100
Semi-direta	10 – 40	60 – 90
Geral-difusa	40 – 60	40 – 60
Direta-indireta	40 – 60	40 – 60
Semi-indireta	60 – 90	10 – 40
Indireta	90 – 100	0 – 10

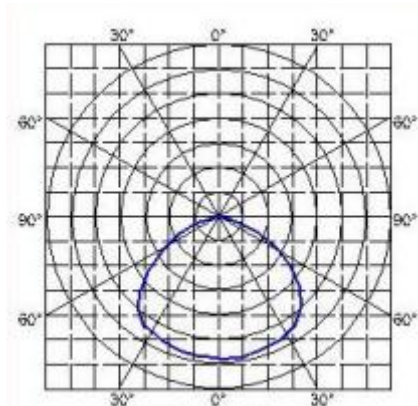
**Fonte: Philips (1981).**

A partir da tabela é possível verificar o contraste entre as classes de luminárias. A luminária direta direciona praticamente todo seu fluxo para baixo, aumentando a luminosidade, enquanto as luminárias semidireta, geral-difusa, direta-indireta e semi-indireta possuem um fluxo emitido gradativo, até chegar em seu antagônico máximo, a luminária indireta, a qual possui todo seu fluxo para cima.

#### 2.2.2.1 Luminária Direta

É considerada luminária direta quando o fluxo luminoso é dirigido diretamente sobre a superfície a ser iluminada. Entretanto é necessário ter atenção com contrastes acentuado e ofuscamentos diretos e indiretos (GHISI, 1997). A Figura 5 apresenta a curva de distribuição luminosa desta luminária.

*Figura 5 - Curva de Distribuição Luminosa da Luminária Direta*

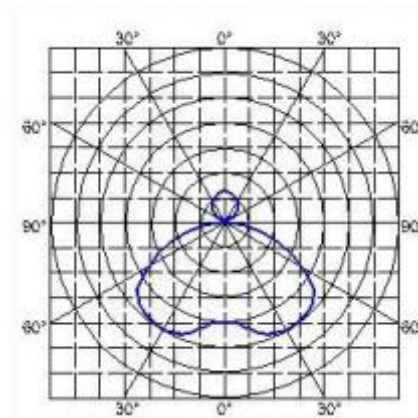


**Fonte: Thiago Fiorini (2006).**

#### 2.2.2.2 Luminária Semi-Direta

Consiste em grande parte do fluxo luminoso ser dirigido diretamente ao plano de trabalho e parte do fluxo atinge o plano de trabalho através de reflexões no teto e na parede. Em consequência são produzidas sombras mais tênues e menos ofuscamento (GHISI, 1997). A Figura 6 aborda a curva de distribuição característica desta luminária.

*Figura 6 - Curva de Distribuição Luminosa da Luminária Semi-Direta*



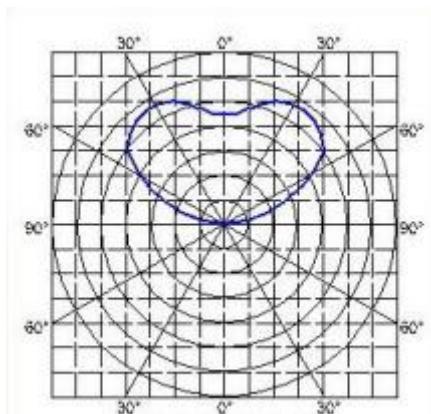
**Fonte: Thiago Fiorini (2006).**

#### 2.2.2.3 Luminária Indireta

Quando o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas só chega ao plano de trabalho através de reflexão de reflexão em paredes e tetos. São utilizadas normalmente em iluminação decorativa pela grande dissipação de fluxo luminoso até o plano de trabalho (GHISI, 1997). A Figura 7 apresenta a curva característica desta luminária.



*Figura 7 - Curva de Distribuição Luminosa da Luminária Indireta*

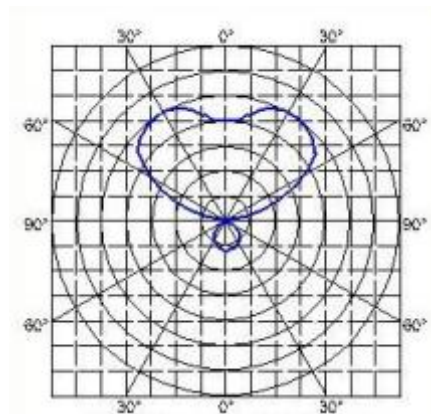


**Fonte: Thiago Fiorini (2006).**

#### 2.2.2.4 Luminária Semi-Indireta

A maior parte do fluxo luminoso incide na superfície de trabalho através da reflexão no teto e paredes e apenas uma pequena parcela a atinge diretamente. Tem ausência de ofuscamento e pouca sombra, porém não é muito aplicada devido à baixa eficiência (GHISI, 1997). A Figura 8 retrata a curva de distribuição desta luminária.

*Figura 8 - Curva de Distribuição Luminosa da Luminária Semi-Indireta*

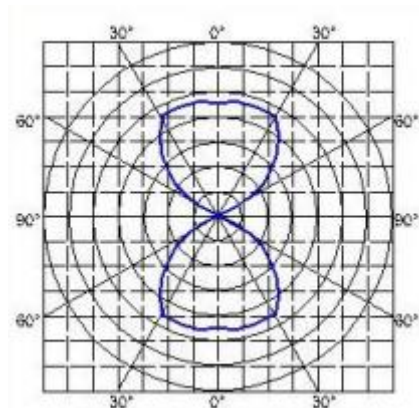


**Fonte: Thiago Fiorini (2006).**

#### 2.2.2.5 Luminária Direta-Indireta

Apresenta o mesmo fluxo luminoso para cima e para baixo (GHISI, 1997). A Figura 9 demonstra sua curva de distribuição.

*Figura 9 - Curva de Distribuição Luminosa da Luminária Direta-Indireta*

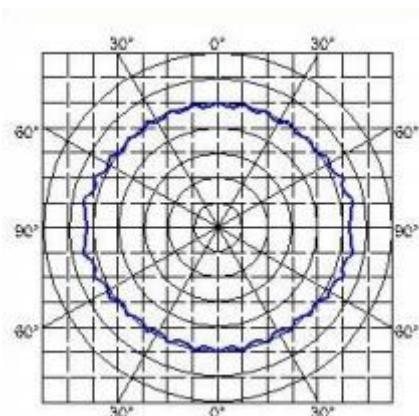


**Fonte: Thiago Fiorini (2006).**

#### 2.2.2.6 Luminária Geral-Difusa

É feita a partir de luminárias difusoras que espalham o fluxo luminoso em diversas direções, produzindo poucas sombras e uma possibilidade remota de ofuscamento (GHISI, 1997). A Figura 10 condiz com sua curva de distribuição.

*Figura 10 - Curva de Distribuição Luminosa da Luminária Geral-Difusa*

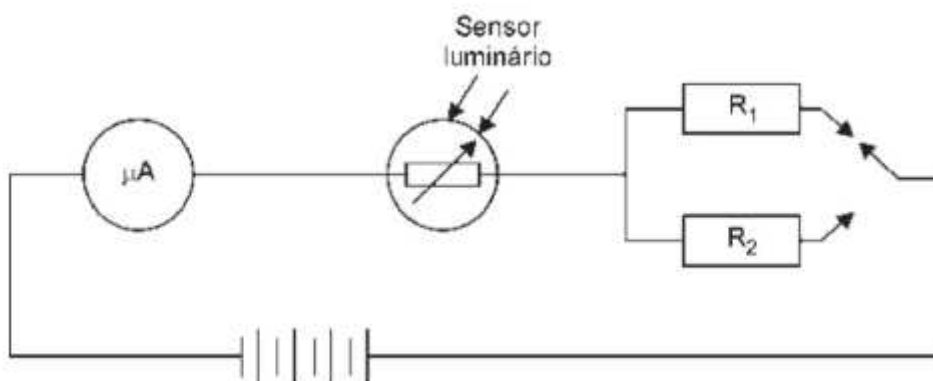


**Fonte: Thiago Fiorini (2006).**

#### 2.2.3 Luxímetro

Para medir os lúmens de qualquer ambiente se utiliza o luxímetro. Sua composição interna consta de um micro-amperímetro ligado a um sensor fotoelétrico, para medir a iluminância, conforme identificado na Figura 11 (GUERRINI, 2008).

Figura 11 - Composição Interna de um Luxímetro



Fonte: Délio Guerrini (2008).

A Figura 12 apresenta a aparência de um luxímetro externamente. Para que a medição ocorra sem interferências é necessário se afastar do objeto. A fotocélula em formato de calota esférica circular realiza a medição, transferindo os dados para o visor.

Figura 12 - Luxímetro



Fonte: Highmed (2019).

### 2.3 ILUMINAÇÃO EM AMBIENTES INTERNOS

Para iluminar ambientes internos é necessário saber qual tipo de ambiente ele é (escritório, ambiente familiar, escolar, hospitalar), o nível de trabalho, a idade das pessoas que o frequentam, se há incidência de luz solar diretamente, a disposição dos

elementos de manobra (interruptores ou sensores), cores de piso, teto e parede. Todos os fatores afetam o valor da iluminância necessária para atingir as normas usadas no Brasil.

### **2.3.1 Iluminação Indireta**

É meramente decorativa, como a utilização de sancas - uma moldura feita de gesso na maioria das vezes, instalada na junção do forro com a parede do ambiente. Pode ser aberta, invertida e fechada dependendo da finalidade requisitada - com baixo rendimento e fatores de depreciação maiores que 1,4 devido a sua composição física, porém apresenta baixas potências para manter a diferença de iluminação do ambiente. O espaçamento entre as lâmpadas deverá ser grande, para evitar manchas e sobreposições de luz (GUERRINI, 2008).

### **2.3.2 Iluminação Solar**

A luz do dia é utilizada em áreas próximas às janelas ou aberturas. No restante do ambiente utiliza-se uma iluminação artificial auxiliar para manter a uniformidade da luminância em toda a sala, com sensores fotoelétricos, por exemplo, que são muito utilizados em grandes ambientes, como escolas e locais de ensino (GUERRINI, 2008).

Em períodos como os atuais, em que há uma crescente preocupação com eficiência energética, é primordial a otimização do uso da luz natural, principalmente porque esta pode substituir a iluminação artificial durante o dia e alcançar uma grande economia no consumo de energia elétrica. Por este motivo, têm se observado uma maior preocupação com este quesito na concepção dos projetos de edificações, pois a luz natural traz consigo uma grande melhoria no conforto visual e no bem-estar dos frequentadores de um determinado ambiente (ABNT, 2005).

A luz natural possui uma variabilidade e qualidades mais agradáveis e apreciadas que o ambiente proporcionado pela iluminação artificial. Aberturas, em geral, proporcionam aos ocupantes o contato visual com o mundo exterior e permitem também o relaxamento do sistema visual pela mudança das distâncias focais. A presença da luz natural pode garantir uma sensação de bem-estar e um relacionamento com o ambiente maior no qual os ocupantes estão inseridos (ABNT, 2005).

### **2.3.3 Legislação Aplicável**

Algumas normas são específicas da iluminação interna, como, NBR-5461 Iluminação (NBR, 1991), NBR ISO/CIE 8995-1 – Iluminação em Ambientes de Trabalho (NBR, 2013) e NBR 15215 – Iluminação Natural Primeiramente (NBR, 2005). Outras abordam o assunto indiretamente, como é o caso da NR 17 – Ergonomia (TRT, 2007).

### 2.3.4 Ergonomia

A influência da iluminação na ergonomia é muito grande, como é possível observar nos benefícios que uma boa iluminação trás: diminui a fadiga dos olhos, gera influências benéficas ao sistema nervoso vegetativo (que comanda o metabolismo e as funções do corpo), eleva o rendimento de trabalho, diminui erros e acidentes e melhora o conforto, bem-estar e segurança. Entretanto a preocupação com a iluminação e sua adequação ainda não estão plenamente difundidas em ambientes residências, por representarem preocupação no retorno com a energia elétrica utilizada (CAVALIN; CERVELIN, 2011).

A Norma Regulamentadora (NR) 17 (2007) tem a seção 17.5.3 sobre iluminação, retratando que todos os ambientes de trabalho devem ter iluminação adequada para cada tipo de operação realizada, seja ela natural ou artificial; a iluminação deve ser uniformemente distribuída e difusa e deve-se sempre evitar ofuscamento, reflexos incômodos, sombras e contrastes excessivos.

### 2.3.5 Iluminação de Ambientes de Trabalho

A NBR 8995-1 (NBR, 2013) especifica os requisitos e formas para a melhor iluminação em ambientes de trabalho, buscando garantir o conforto e a segurança das atividades realizadas, como é possível verificar neste tópico.

*Tabela 6 - Iluminância, Limitação de Ofuscamento e Qualidade da Cor para Cada Tipo de Ambiente*

<b>Tipo de ambiente, tarefa ou atividade</b>	<b>Iluminância <math>E_m</math> (lux)</b>	$UGR_L$	$R_a$	<b>Observações</b>
<b>Montagem</b>				
Oficinas eletrônicas, ensaios, ajustes	1.500	16	80	
<b>Construções educacionais</b>				
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80	
Salas de aplicação e laboratórios	500	19	80	
Salas de ensino de computador	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.

**Fonte: Adaptado de ABNT - ISO/CIE 8995-1 (2013).**

É interessante que se aumente a iluminância em certas ocasiões, como: quando o contraste for excepcionalmente baixo durante a tarefa; o trabalho visual é crítico; a correção dos erros é onerosa; é da maior importância a exatidão ou a alta produtividade e a capacidade de visão dos trabalhadores estão abaixo do normal. É importante ressaltar que a iluminância mantida em áreas onde se realizam trabalhos contínuos não pode ser inferior a 200 lux (NBR, 2013).

A iluminância do entorno segue este mesmo padrão, devendo estar relacionada à iluminância que a determinada atividade necessita, para não causar desconforto (NBR, 2013), conforme Tabela 7.

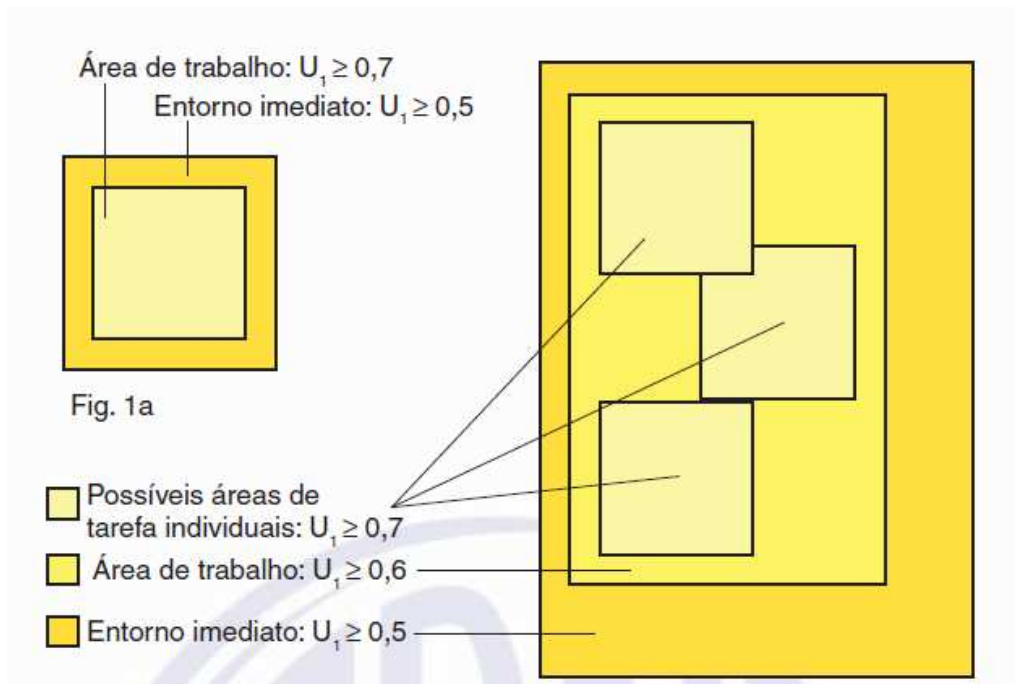
*Tabela 7 - Iluminância da Tarefa vs. Iluminância do Entorno Imediato*

<b>Iluminância da tarefa (lux)</b>	<b>Iluminância do entorno imediato (lux)</b>
$\geq 750$	500
500	300
300	200
$\leq 200$	mesma iluminância da área da tarefa

**Fonte: ABNT - ISO/CIE 8995-1 (2013).**

É sugerível observar a uniformidade da ação. Sendo a uniformidade a razão entre o valor mínimo e o valor médio da iluminância na tarefa, não podendo ser inferior que 0,7 na tarefa e 0,5 no entorno imediato. Se houver vários planos de trabalho juntos, a uniformidade aumenta para 0,6, conforme a Figura 13.

Figura 13 - Visualização do Entorno Imediato



Fonte: ABNT - ISO/CIE 8995-1 (2013).

Segundo essa mesma norma, NBR ISO/CIE 8995-1 (2013), as luminâncias das superfícies são determinadas pela refletância e pela iluminância nas superfícies. Na Tabela 8, têm-se as faixas de refletância úteis mais importantes para as superfícies internas.

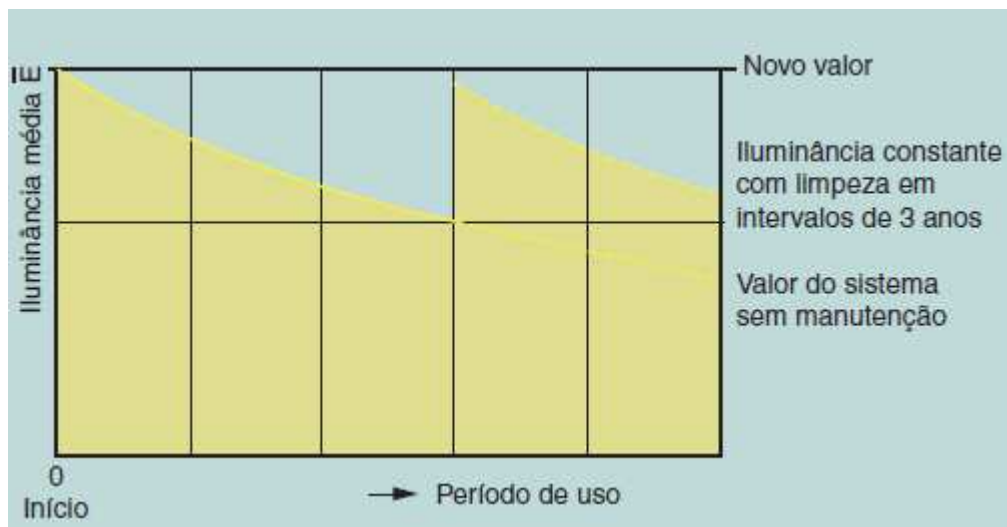
Tabela 8 - Faixas de Refletância de Superfícies Internas

Superfície	Faixas de refletância
Teto	0,6-0,9
Paredes	0,3-0,8
Planos de trabalho	0,2-0,6
Piso	0,1-0,5

Fonte: ABNT - ISO/CIE 8995-1 (2013).

O fator de manutenção é a relação entre a iluminância mantida e o nível de luminância, quando o sistema de iluminação é novo, por um determinado tempo, como aborda a Figura 14.

Figura 14 - Iluminância Conforme o Uso da Lâmpada



Fonte: ABNT - ISO/CIE 8995-1 (2013).

Para melhores resultados é necessário um acompanhamento de manutenção, tendo cadastrado as especificações da lâmpada e luminária, junto com o registro de limpeza (NBR, 2013).

O fato de manutenção é dado pela Equação 6:

$$MF = FMFL \cdot FSL \cdot FML \cdot FMSS \quad (6)$$

onde FMFL é a depreciação do fluxo luminoso da lâmpada; FSL o efeito de falha por envelhecimento da lâmpada; FML os efeitos de redução do fluxo luminoso devido ao acúmulo de sujeira nas luminárias; a redução da refletância devido à deposição de sujeira nas superfícies da sala e FMSS o fator de manutenção das superfícies de sala (NBR, 2013).

É possível observar na Tabela 9 exemplos de fatores e sua respectiva construção.



Tabela 9 - Exemplos de fatores de manutenção para sistemas de iluminação de interiores

Fator de manutenção	Exemplo
0,80	Ambiente muito limpo, ciclo de manutenção de um ano, 2.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 8.000 h, substituição individual, luminárias direta e indireta com uma pequena tendência de coleta de poeira, FMFL = 0,93; FSL = 1,00; FML = 0,90; FMSS = 0,96
0,67	Carga de poluição normal no ambiente, ciclo de manutenção de três anos, 2.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 12.000 h, substituição individual, luminárias direta e indireta com uma pequena tendência de coleta de poeira, FMFL = 0,91; FSL = 1,00; FML = 0,80; FMSS = 0,90
0,57	Carga de poluição normal no ambiente, ciclo de manutenção de três anos, 2.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 12.000 h, substituição individual, luminárias com uma tendência normal de coleta de poeira, FMFL = 0,91; FSL = 1,00; FML = 0,74; FMSS = 0,83
0,5	Ambiente sujo, ciclo de manutenção de três anos, 8.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 8.000 h, LLB, substituição em grupo, luminárias com uma tendência normal de coleta de poeira, FMFL = 0,93; FSL = 0,93; FML = 0,65; FMSS = 0,94

Fonte: ABNT - ISO/CIE 8995-1 (2013).

A malha é utilizada para determinar as iluminâncias e uniformidades médias, as quais dependem do tamanho e da forma da superfície de referência, seja ela área da tarefa, local de trabalho ou arredores, da geometria do sistema de iluminação, da distribuição da intensidade luminosa das luminárias utilizadas, da precisão requerida e das quantidades fotométricas a serem avaliadas (NBR, 2013). O tamanho da malha é visualizado na Tabela 10.

*Tabela 10 - Tamanhos da malha*

<b>Ambiente</b>	<b>Maior dimensão da zona ou sala, aproximadamente (m)</b>	<b>Tamanho da malha p (m)</b>
área da tarefa	1	0,2
salas pequenas	5	0,6
salas médias	10	1m
salas grandes	50	3m

**Fonte: ABNT - ISO/CIE 8995-1 (2013).**

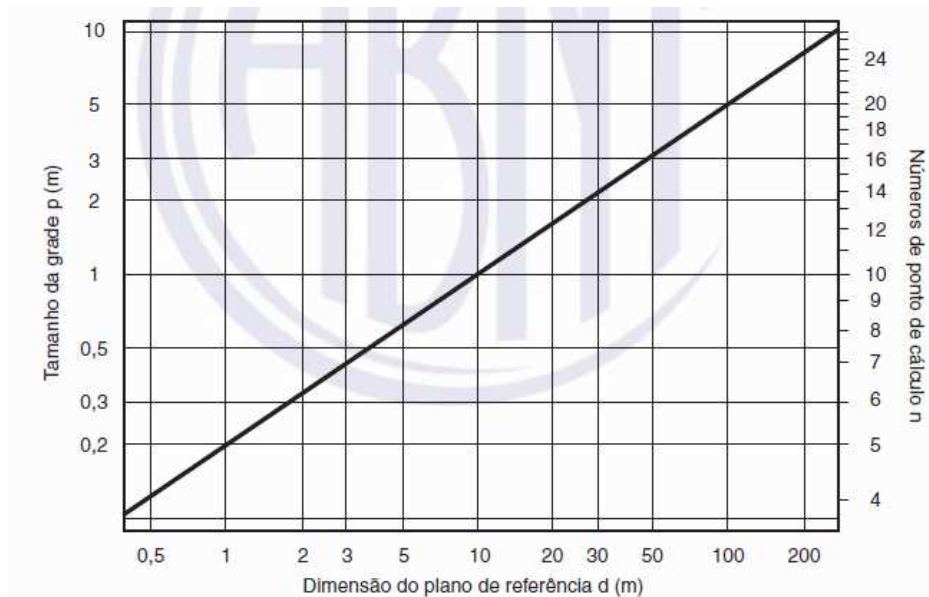
O tamanho da malha p é demonstrado na Equação 7:

$$P = 0,2 \cdot 5^{\log_{10}d} \quad (7)$$

sendo p é o tamanho da malha (m), d a maior dimensão da superfície de referência (m), n o número de pontos de cálculo considerando a malha p. O número de pontos (n) é então estabelecido pelo número inteiro mais próximo da relação d para p.

As áreas retangulares são subdivididas em pequenos retângulos, quase quadrados, com os pontos de cálculo ao centro. A média aritmética de todos os pontos é a iluminância média. Quando a superfície de referência tem uma relação do comprimento e a largura entre 0,5 e 2, o tamanho da malha p e o número de pontos podem ser obtidos com base na maior dimensão d da área de referência. Para outros casos, a menor dimensão é tomada como base para determinar o espaçamento entre pontos da malha (NBR, 2013), conforme Figura 15.

Figura 15 - Tamanho da malha em função das dimensões do plano de referência



Fonte: ABNT - ISO/CIE 8995-1 (2013).

Após referenciados os pontos acima, é necessário realizar o cálculo luminotécnico.

### 2.3.6 Método dos Lumens

Há várias formas de cálculos utilizadas no mercado, entretanto a maioria deles deriva segundo Guerrini (2008), do método dos lumens. Ele é baseado na Equação 8, que determina o fluxo de luz necessário para suprir um iluminamento médio desejado no ambiente (MAMEDE, 2018).

$$\Phi_t = \frac{ES}{F_u F_{di}} \quad (8)$$

onde o fluxo luminoso total ( $\Phi_t$ ) é o Iluminamento desejado (E) vezes a área a iluminar (S), pelo fator de depreciação do serviço da luminária ( $F_u$ ) multiplicado pelo fator de utilização do recinto ( $F_{di}$ ). Na fórmula há diversos fatores para o melhor aproveitamento, como: o tipo de iluminação, seja direta ou indireta; tipo de lâmpada, incandescente ou fluorescente; reflexões das paredes e tetos; depreciação do fluxo luminoso com o tempo; dimensões do ambiente; limpeza dos aparelhos relacionados no ambiente e do próprio ambiente (GUERRINI, 2008).

De acordo com Mamede Filho (2018), o fator de depreciação do serviço da luminária é obtido através da relação entre o fluxo luminoso emitido por uma luminária no período máximo antes da manutenção e o fluxo emitido no início de operação. Esse

fator é necessário pois tanto a redução do fluxo de luz da lâmpada com o passar do tempo, quanto o acúmulo de sujeira na luminária implica numa perda de iluminação do ambiente. A Tabela 11 apresenta o fator de depreciação para cada tipo de aparelho.

*Tabela 11 - Fator de Depreciação para Cada tipo de Aparelho*

<b>Tipo de Aparelho</b>	$F_{di}$
Aparelhos para embutir incandescentes	0,85
Aparelhos para embutir lâmpadas refletores	
Calha aberta e chanfrada	0,80
Refletor industrial para lâmpadas incandescentes	
Luminária comercial	0,75
Luminária ampla utilizada em linhas contínuas	
Refletor parabólico para 2 lâmpadas incandescentes	0,70
Refletor industrial para lâmpada VM	
Aparelho para lâmpada incandescente para iluminação indireta	
Luminária industrial tipo Miller	
Luminária com difusor de acrílico	
Globo de vidro fechado para lâmpada incandescente	
Refletor com difusor plástico	
Luminária comercial para lâmpada <i>high output</i> com colmeia	0,60
Luminária para lâmpada fluorescente para iluminação indireta	

**Fonte: Mamede Filho (2018).**

O fator de utilização é a relação entre o fluxo de luz emitido pela lâmpada e o fluxo luminoso que chega ao plano de trabalho. Este fator depende de três características: dimensões do ambiente, tipo de luminária e pintura das paredes (MAMEDE, 2018). A primeira das características - dimensões do ambiente - possibilita o cálculo do índice de recinto K, através da Equação 9:

$$K = \frac{AB}{H_{lp} (A + B)} \quad (9)$$

sendo (A) o comprimento do recinto, (B) a largura e ( $H_{lp}$ ) a altura da fonte de luz sobre o plano de trabalho, em que todas as medidas são dadas em metros.

Primordialmente ao percentual de refletância de acordo com as cores de pintura das paredes ( $\rho_{pe}$ ) observado na Tabela 12, deve-se analisar a tonalidade das superfícies iluminadas (teto, parede e piso), para determinar as suas respectivas refletâncias médias ( $\rho_{te}$ ,  $\rho_{pa}$  e  $\rho_{pi}$ ) conforme Tabela 13.

*Tabela 12 - Refletância das Paredes Devido às Cores Utilizadas*

<b>Cor</b>	<b>Refletâncias (%)</b>
Branco, branco claro	80-70
Amarelo claro	65-55
Verde claro, rosa, azul celeste, cinza claro	50-45
Bege, amarelo escuro, marrom escuro	40-35
Vermelho, laranja, cinza médio	30-25
Verde escuro, azul escuro, vermelho escuro	20-15
Azul marinho, preto	10-5

**Fonte: Mamede Filho (2018).**

*Tabela 13 - Refletância das Superfícies Iluminadas*

<b>Superfície</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Refletâncias (%)</b>
Teto	Branco	70
	Claro	50
	Escuro	30
Paredes	Claras	50
	Medianas	30
	Escuras	10
Piso	Escuro	10

**Fonte: Mamede Filho (2018).**

A partir das informações discorridas acima, somado com o tipo de luminária utilizada, é possível encontrar o fator de utilização da luminária. A Tabela 14 Tabela 14 - Fator de Utilização de Uma Luminária Philips apresenta um exemplo de como o cruzamento dos dados descritos abaixo gera o fator em questão: Teto claro ( $\rho_{te} =$

50%), parede clara ( $\rho_{pa} = 50\%$ ), piso escuro ( $\rho_{pi} = 30\%$ ), índice de recinto  $K = 4$ , luminária Philips TMS 500 – 2 Lâmpadas de 65W.

Tabela 14 - Fator de Utilização de Uma Luminária Philips

Luminária típicas	Teto	70%		50%		70%	50%	30%	
	Parede	50%	30%	50%	30%	10%	10%	30%	10%
	K	10%							
TMS 500 – 2 Lâmpadas de 65W	0,60	0,32	0,25	0,29	0,22	0,20	0,18	0,20	0,317
	0,80	0,39	0,31	0,35	0,29	0,26	0,24	0,26	0,22
	1,00	0,45	0,37	0,40	0,16	0,32	0,29	0,31	0,27
	1,25	0,50	0,43	0,45	0,39	0,39	0,34	0,36	0,32
	1,50	0,55	0,48	0,49	0,44	0,42	0,39	0,40	0,36
	2,00	0,61	0,55	0,56	0,50	0,50	0,46	0,46	0,42
	2,50	0,66	0,60	0,60	0,55	0,55	0,51	0,50	0,47
	3,00	0,69	0,64	0,63	0,58	0,59	0,55	0,53	0,55
	4,00	0,73	0,69	0,67	0,63	0,65	0,60	0,57	0,55
5,00	0,76	0,72	0,69	0,66	0,69	0,63	0,60	0,58	

Fonte: Adaptada de Mamede Filho (2018).

Para as informações fornecidas o fator de utilização é igual a 0,67.

Segundo Mamede (2018), um projeto luminotécnico requer o número de luminárias necessário no ambiente, esse dado é gerado pela Equação 10:

$$N_{iu} = \frac{\Phi_t}{N_{ia}\Phi_l} \quad (10)$$

o número de luminárias ( $N_{iu}$ ) é igual a razão entre o fluxo luminoso total ( $\Phi_t$ ) e a multiplicação do número de lâmpadas por luminária ( $N_{ia}$ ) pelo fluxo luminoso emitido por uma lâmpada ( $\Phi_l$ ).

O rendimento luminoso ( $\eta$ ) é utilizado para indicar o rendimento da conversão de energia em luz por uma determinada fonte luminosa entre o fluxo luminoso ( $\Phi_t$ ) (em lúmens) e a potência (P) (geralmente medida em watts), conforme a Equação 11 (MAMEDE, 2018). A Tabela 15 retrata o rendimento luminoso para cada tipo de lâmpada.

$$\eta = \frac{\Phi_t}{P} \quad (11)$$

Tabela 15 - Rendimento Luminoso para Cada Tipo de Lâmpada

<b>Tipos de lâmpadas</b>	<b>Rendimento luminoso (lumens/W)</b>
Incandescente	10 a 15
Halogêneas	15 a 25
Mista	20 a 35
Vapor de mercúrio	45 a 55
LEDs	35 a 70
Fluorescente comum	55 a 75
Fluorescente compacta	50 a 80
Multivapores metálicos	65 a 90
Fluorescentes econômicas	75 a 90
Vapor de sódio	80 a 140

**Fonte: Mamede Filho (2018).**

Segundo Mamede (2018), a distribuição das luminárias deve ser feita de modo a conduzir uma entrega adequada de luz. Para isso, a distância máxima entre os centros das luminárias (R e T) deve estar entre 1 e 1,5 metros de sua altura útil ( $H_{lp}$ ) segundo as Equações 12 e 13.

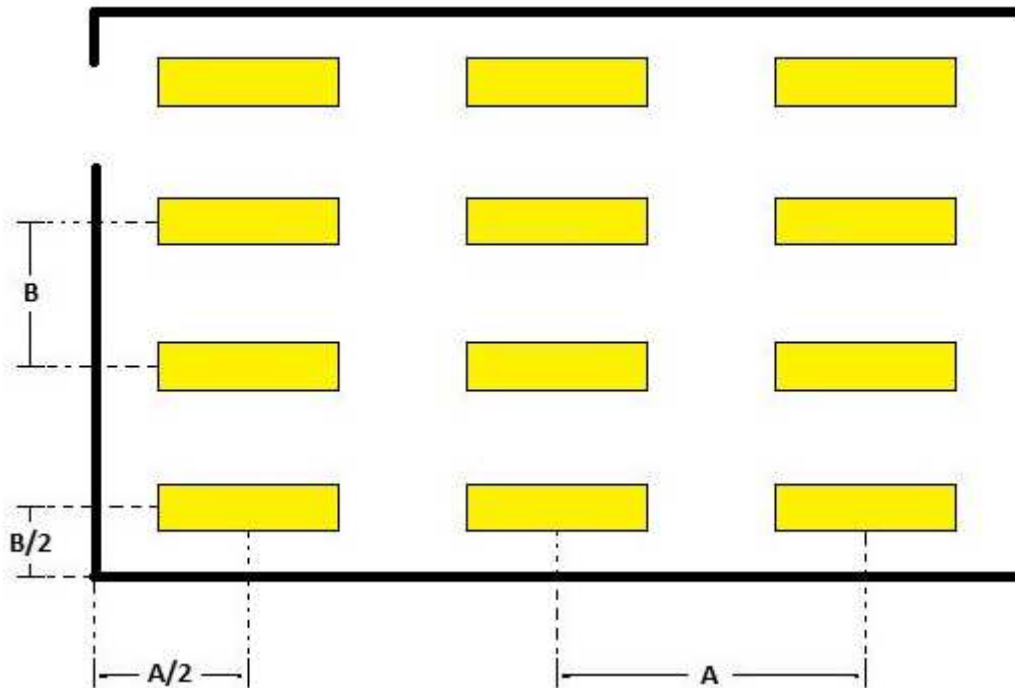
$$1 \leq R \leq (1,5 \times H_{lp}) \quad (12)$$

$$1 \leq T \leq (1,5 \times H_{lp}) \quad (13)$$

Em relação à distância das luminárias com a parede, o afastamento deve ser metade dos valores de R e T, conforme Figura 16. Entretanto também é comum que a distância das luminárias apenas seja menor que a altura da montagem.



Figura 16 - Distribuição das Luminárias



Fonte: Adaptada de Mamede Filho (2018).

### 2.3.7 Método Ponto a Ponto

O Método Ponto a Ponto tem origem a partir da lei de Lambert, com a Equação 14 do iluminamento horizontal ( $E_h$ ).

$$E_h = \frac{I \cos(\alpha)}{d^2} \quad (14)$$

onde as variáveis utilizadas são a incidência do fluxo luminoso no objeto em questão ( $I \cos(\alpha)$ ) sobre a distância entre o objeto e a fonte luminosa ( $d^2$ ). É utilizado principalmente na verificação de iluminação de projetores em instalações novas. Por não realizar correções de lumens, normalmente usa um coeficiente, variando de 0,60 para ambientes sujos a 0,75 para ambientes limpos (GUERRINI, 2008).

Primeiramente é preciso verificar se a distância “d” que a distância entre a fonte de luz e o objeto a ser iluminado, for no mínimo cinco vezes as dimensões físicas da fonte, calcula-se a iluminância pelo método ponto a ponto. Este método é utilizado para fontes pontuais para determinação da iluminância obtida com pequenas lâmpadas e fechos de luz bem definidos como lâmpadas dicróicas e PAR, por exemplo (KAWASAKI, 2004).

Após a verificação aplicam-se as seguintes equações para obter as iluminâncias:

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (15)$$

para luz incidindo perpendicularmente ao plano do objeto, e:

$$E = \frac{I(\alpha) \cos^3(\alpha)}{h^2} \quad (16)$$

para luz que não incide perpendicularmente ao plano do objeto, sendo as variáveis I = intensidade luminosa (vertical), em cd; E = iluminância no ponto, em lx; d = distância da fonte luminosa ao objeto;  $\alpha$  = ângulo de abertura do fecho; h = distância vertical entre a fonte de luz e o plano do objeto e  $I\alpha$  = intensidade luminosa no ângulo  $\alpha$ , em cd.

A iluminância (E) em um determinado ponto é o somatório de todas as iluminâncias incidentes provenientes de diferentes pontos de luz, dada pela seguinte fórmula:

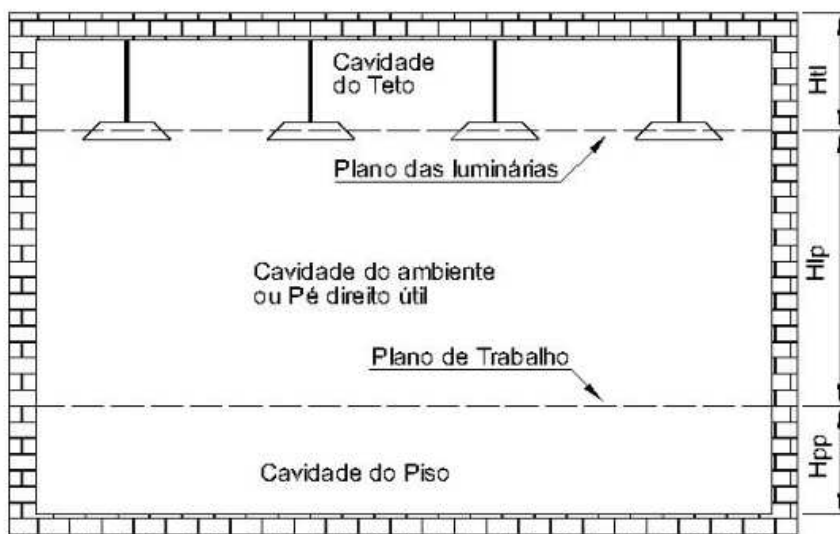
$$E = \frac{Ll}{h^2} + \Sigma \left( \frac{I(\alpha) \cos^3(\alpha)}{h^2} \right) \quad (17)$$

Neste método não são consideradas as refletâncias das superfícies (teto, paredes e piso), como ocorre no método dos lumens, podendo ser considerado bem trabalhoso para ser executado manualmente em ambientes com várias fontes luminosas. (KAWASAKI, 2004).

### 2.3.8 Método das Cavidades Zonais

Tal método, é realizado a partir da transferência de fluxo luminoso, com modificações em relação aos fatores de utilização e depreciação já utilizados no método dos lumens. Esse método é considerado mais meticuloso, exigindo uma maior precisão nos cálculos. É normalmente utilizado em ambientes com uma aplicação técnica, que possuem cavidades de grande porte (MAMEDE, 2018), conforme a Figura 17.

Figura 17 - Cavidades em um ambiente



Fonte: Adaptada de Mamede Filho (2018).

### 2.3.9 Método Utilizado pelo DIALux Evo

Segundo a DIAL™ (2019), empresa responsável pela produção do DIALux™ e derivados, o *software* calcula a influência da luz emitida entre as luminárias, e a luz refletida pelas superfícies iluminadas, utilizando o método *radiosity method*, o qual consiste no princípio da conservação da energia, assumindo que toda a luz total projetada em uma superfície tem uma parcela que é absorvida, o restante é refletido, totalizando a luz incidente na superfície.

Tal método modela uma equação para cada superfície. Definindo que a luz emitida por uma superfície é resultante da luz absorvida de outras superfícies e da emissão da sua própria luminância. Assim, obtém-se diversas equações que definem o brilho proveniente de cada superfície (DIAL, 2019). Após o usuário realizar a modelagem do ambiente, incluindo os inputs dos objetos, cores e a iluminação, o *software* fragmenta o ambiente em pequenos pedaços como demonstra a Figura 18 obtida através da equação 18.

Figura 18 - Divisões da área de um ambiente



Fonte: *DIALux* (2019).

$$P = 0,2 \cdot 5^{\log_{10}d} \quad (18)$$

onde  $d$  representa a maior dimensão da superfície e  $p$  o tamanho máximo da célula.

A Figura 18 apresenta variações nas divisões das superfícies, sendo intensificadas em regiões próximas as fontes de luz ou onde a luz é incidente. Além de um cálculo mais preciso, o *software* utiliza uma modelagem de sistemas de iluminação reais, possibilitando consultaro catálogo do fabricante de lâmpadas e luminárias atuais no mercado, efetuando o download do modelo a ser utilizado no projeto. Também há a opção de adequação do projeto com a NBR ISO/CIE 8995-1:2013 e a eficiência dos sistemas de iluminação (DIAL, 2019).

### 2.3.10 Etapas de um Projeto

Para se fazer um projeto luminotécnico detalhado é preciso saber quais normas devem ser atendidas e definir qual o método a ser utilizado. Entre os vários métodos de cálculo luminotécnico, o mais utilizado é o *DIALux*, ou *softwares* similares, que conforme pode se verificar no site da DIAL, empresa que o desenvolveu, pode auxiliar a fazer todos os cálculos de maneira mais prática, rápida e precisa (DIAL, 2019), o qual utiliza o método *radiosity*.

Para aplicações voltadas a ambientes internos, os projetos luminotécnicos devem seguir as diretrizes da norma NBR ISO 8995 (ABNT, 2013). Conhecendo o método a

ser utilizado e as normas a serem atendidas, o próximo passo é o levantamento de dados. É necessário fazer uma visita técnica ao local onde está se desenvolvendo o projeto luminotécnico para levantamento de dados relevantes para o projeto, como a atividade que se desenvolve no local, o perfil das pessoas que o frequentam, altura do plano de trabalho, situação atual da iluminação, entre outros.

Após o levantamento dos dados técnicos do ambiente inicia-se a etapa de projeto propriamente dita. Na etapa de projeto são escolhidos os fabricantes de luminárias e lâmpadas, assim como seus modelos. Deve-se levar em consideração as características específicas da lâmpada, como: potência, temperatura de cor, vida útil, entre outros, para a modelagem no *software* escolhido.

Em seguida vem a etapa de implementação, onde basicamente se busca alcançar na prática os níveis de iluminamento obtidos na etapa de projeto, fazendo a instalação de toda a infraestrutura elétrica prevista em projeto, como lâmpadas, luminárias, sensores, relés e interruptores. Esta etapa também abrange a adequação de outros parâmetros do ambiente que estarão devidamente apontados no projeto, como a cor das paredes e teto, por exemplo.

A etapa final da idealização do projeto luminotécnico e de eficiência energética é a etapa de medição. Depois da adequação da sala, deve ser realizada uma nova visita técnica a fim de fazer novas medições dos dados luminotécnicos, através dos quais poderá se averiguar se, de fato os novos níveis fotométricos estão de acordo com o que se tinha previsto e também calcular quanto se ganhou em eficiência com a nova instalação.

### 3. ANÁLISE DO AMBIENTE DE ESTUDO

Como abordado no item 2.3.10 Etapas de um Projeto é necessário que exista uma etapa de análise preliminar dos ambientes, quando serão feitas medidas de dados luminotécnicos.

#### 3.1 DESCRIÇÃO DOS AMBIENTES

Este trabalho de conclusão de curso apresenta quatro laboratórios distintos do campus Curitiba da UTFPR para realização do estudo, conforme as descrições a seguir.

##### 3.1.1 A-001

A sala de ensino A-001 é utilizada como laboratório de eletrônica digital dos cursos de engenharia elétrica e engenharia de controle e automação. Esta sala possui um quadro branco, retroprojetor e bancadas duplas com fontes de 12V CC para realização de experimentos, conforme apresenta a Figura 19.

*Figura 19 - Interior da Sala A-001*



**Fonte: Autoria própria.**

Tal ambiente de ensino se enquadra na categoria “Salas de aplicação e laboratórios” da Tabela 4, com iluminância mínima de 500 lux na superfície de trabalho.

### 3.1.2 A-002

A sala A-002 também é uma sala utilizada para realização de experimentos de eletrônica analógica, eletrônica digital e eletrônica de potência, porém nesta não há aulas, é utilizada somente para realização de pesquisa. Esta sala é mostrada na Figura 20.

*Figura 20 - Interior da Sala A-002*



**Fonte: Autoria própria.**

O laboratório se enquadra na categoria “Oficinas eletrônicas, ensaios, ajustes” da Tabela 4, com iluminância mínima de 1500 lux.

### 3.1.3 A-003

A sala A-003 é destinada à projetos de pesquisa e desenvolvimento no âmbito de energia solar e suas aplicações, principalmente na utilização das placas fotovoltaicas. Nesse ambiente os trabalhos são realizados através de material impresso e computadores, como aborda a Figura 21.

*Figura 21 - Interior da Sala A-003*



**Fonte: Autoria própria.**

Este ambiente de ensino se enquadra em “Salas de aplicação e laboratórios” da Tabela 4, com iluminância mínima de 500 lux.

#### **3.1.4 A-004**

Na sala de aula A-004 são realizados estudos de controle, organizada para aulas teóricas e práticas. Apesar de existirem máquinas controláveis no laboratório, a maior parte do desenvolvimento é teórico e elas só são manuseadas para manutenção, como demonstra a Figura 22.



*Figura 22 - Interior da Sala A-004*



**Fonte: Autoria própria.**

A sala A-004 se enquadra em "Salas de aplicação e laboratórios" da Tabela 4, com iluminância mínima de 500 lux.

### 3.2 MEDIÇÃO PRELIMINAR DOS AMBIENTES

Antes de se começar a elaboração do projeto luminotécnico e de eficiência energética, é necessário que se faça uma visita ao ambiente, a fim de que seja feito um levantamento detalhado de todos os parâmetros técnicos de iluminação, da topografia da sala, do arranjo da mobília, das dimensões da sala e das áreas de trabalho e outras informações relevantes para a realização do projeto. Para realizar as medidas dos dados pertinentes ao projeto, estabeleceu-se um método de medição e este foi replicado para todos os laboratórios que este estudo abrange.

Primeiramente, foram tomadas as medidas dos lados e da altura da sala e das dimensões das áreas de trabalho, as quais estão detalhadas nos itens 3.2.1 - Medições da Sala A-001 até 3.2.4 - A-004. Posteriormente, executou-se as medidas dos dados fotométricos, para que se possa concluir se o sistema de iluminação atual atende a norma NBR ISO 8995 (ABNT, 2013), ou não. A metodologia utilizada para executar tal procedimento consiste basicamente em comparar os valores estabelecidos por norma para a categoria deste ambiente, com os valores de iluminamento medidos ponto a

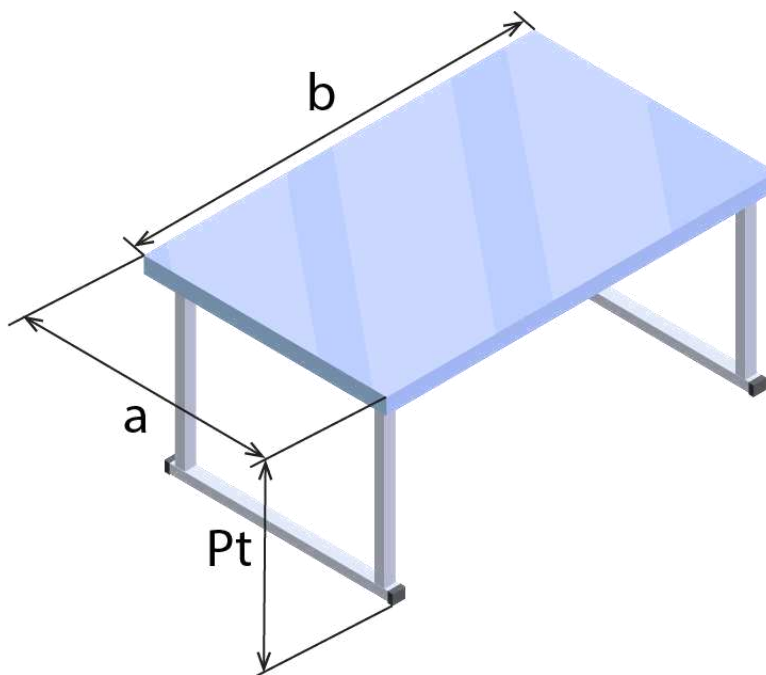
ponto na sala. Para que a sala esteja de acordo com o nível de iluminação que a norma estabelece, nenhum ponto de medição deve estar abaixo do valor estipulado, caso contrário, conclui-se que a sala não atende aos níveis mínimos necessários de iluminação, portanto, se faz pertinente uma reforma do sistema de iluminação.

Os resultados obtidos através deste método estão detalhadamente descritos nos itens a seguir.

### 3.2.1 Medições da Sala A-001

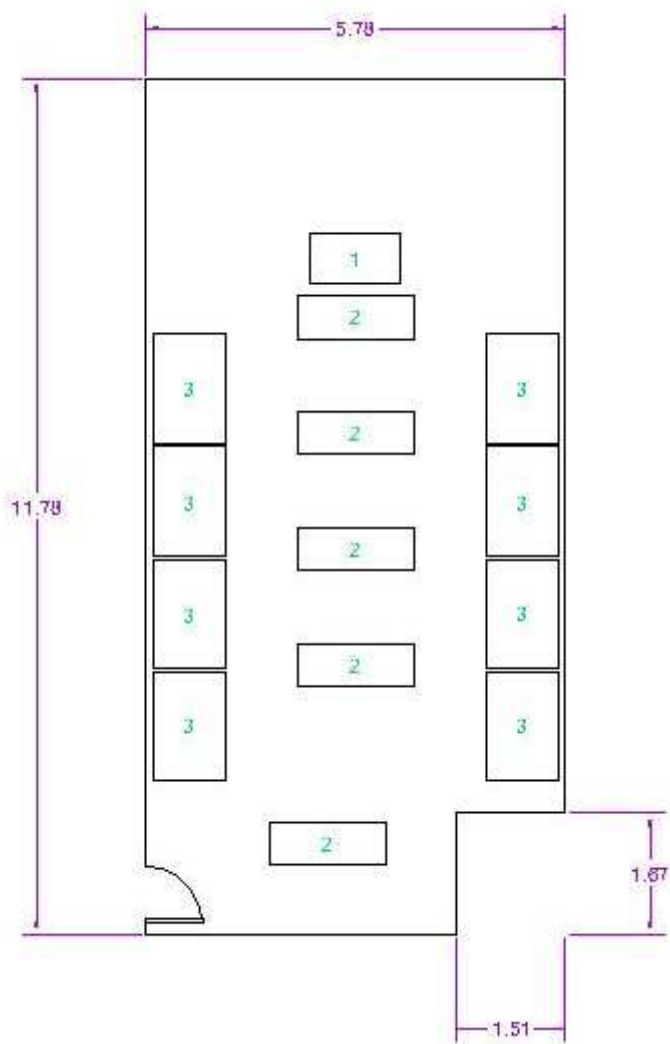
A sala A-001 foi enquadrada na categoria “Salas de aplicação e laboratórios”, conforme descrito no item 3.1.1. As medições das áreas de trabalho resultaram em três tipos de mesas diferentes, onde todas têm a forma retangular da Figura 23.

*Figura 23 - Detalhes das Áreas de Trabalho Retangular*



**Fonte: Autoria própria.**

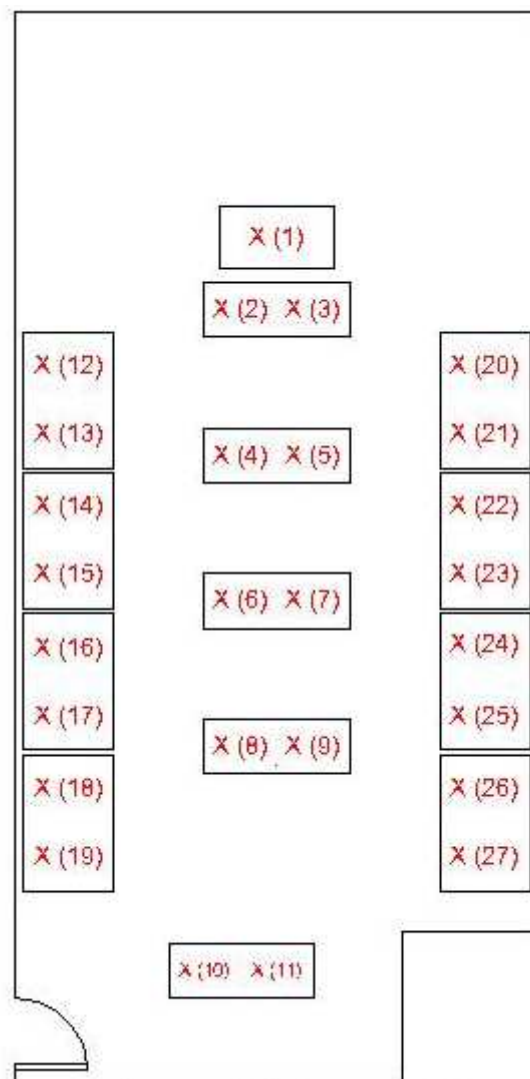
As medidas das dimensões da sala estão apresentadas na Figura 24. Os números nas áreas de trabalho indicam qual é a referência da mesa em questão e tem suas dimensões definidas na Tabela 16.

*Figura 24 - Planta Baixa da Sala A-001*

**Fonte: Autoria própria.**

As medições de iluminância foram realizadas em todos os planos de trabalho, conforme apresenta a Figura 25, onde cada “X” corresponde a uma medição, visto que a maioria das bancadas são utilizadas por duas pessoas. Pela interpretação da Norma NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), definiu-se como grau de importância somente às áreas de trabalhos, espaços vazios foram desconsiderados.

Figura 25 - Locais das Medições na Sala A-001



Fonte: Autoria própria.

Seus dados são retratados na Tabela 16.

*Tabela 16 - Dados das Medições na Sala A-001*

<b>Local de Medição</b>	<b>Iluminância (lx)</b>
1	211
2	210
3	195
4	145
5	149
6	162
7	181
8	183
9	196
10	203
11	189
12	246
13	248
14	167
15	164
16	162
17	150
18	149
19	162
20	181
21	183
22	196
23	203
24	189
25	246
26	248
27	167

**Fonte: Autoria própria.**

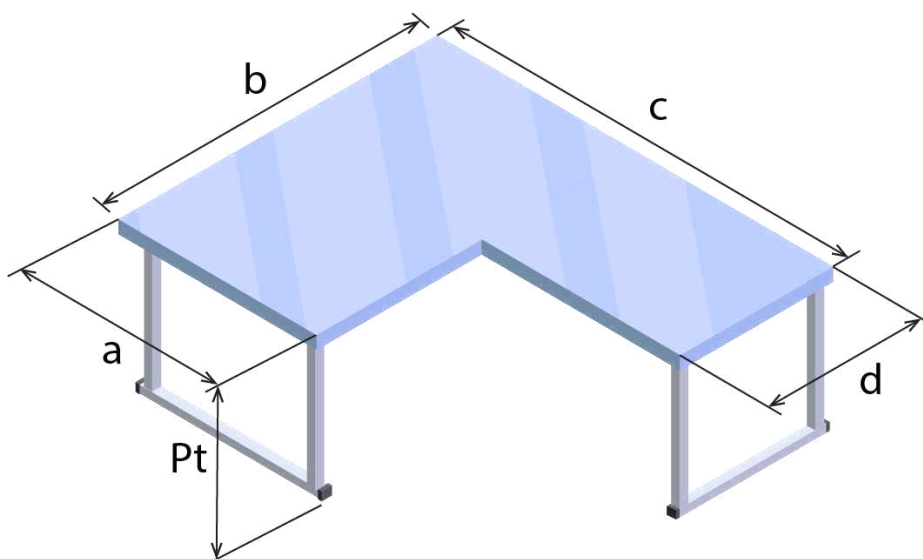
Pela categoria da sala, sua iluminância mínima segundo a norma NBR 8995-1 (ABNT, 2013) é 500 lux, portanto nenhum ponto de trabalho atende a norma. A medida mais baixa foi 145 lux, em uma região de ofuscamento na parte central da sala, por estar entre duas luminárias. Observa-se também que medidas com menor iluminância se encontram na região do fundo da sala, próximo às paredes.

Todas as medições em todas as salas foram realizadas com o luxímetro, utilizando as boas práticas do equipamento, esperando 10 minutos antes da primeira medição com o aparelho ligado para sua calibração interna e afastando-se do equipamento para não gerar interferências de luminosidade (NBR 5382, 1985).

### 3.2.2 Medições da Sala A-002

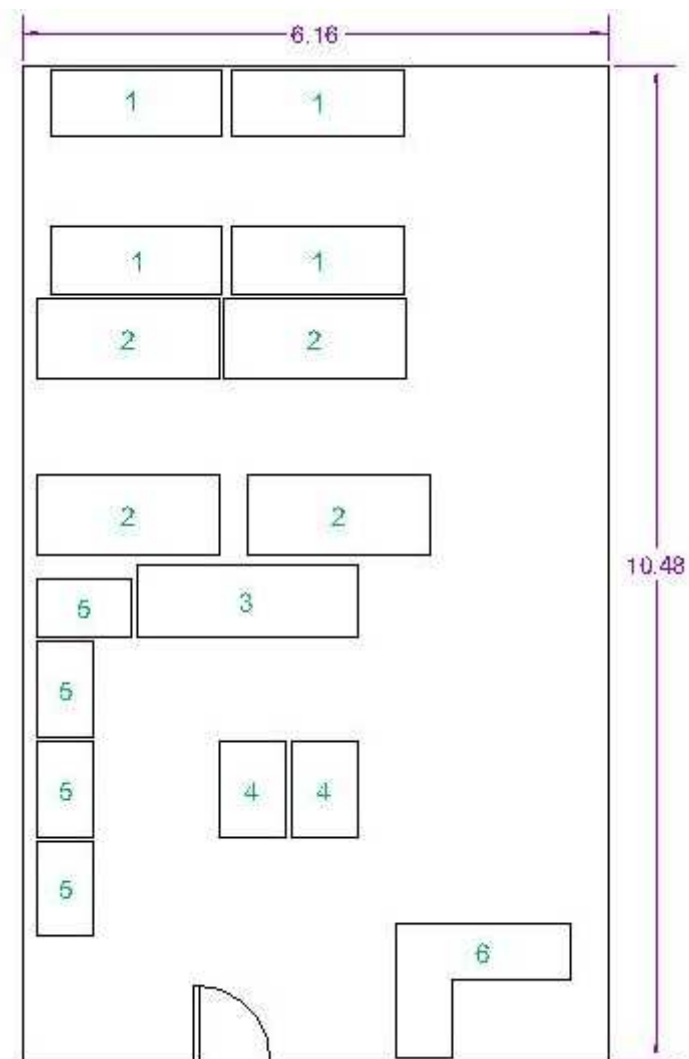
A sala A-002 foi categorizada como “Oficinas eletrônicas, ensaios, ajustes” no item 3.1.2. As medições das áreas de trabalho resultaram em seis tipos de mesas diferentes, onde cinco delas têm a forma retangular conforme mostra a Figura 23 e a mesa restante tem o formato de “L” ilustrado na Figura 26.

Figura 26 - Detalhes das Áreas de Trabalho em “L”



Fonte: Autoria Própria.

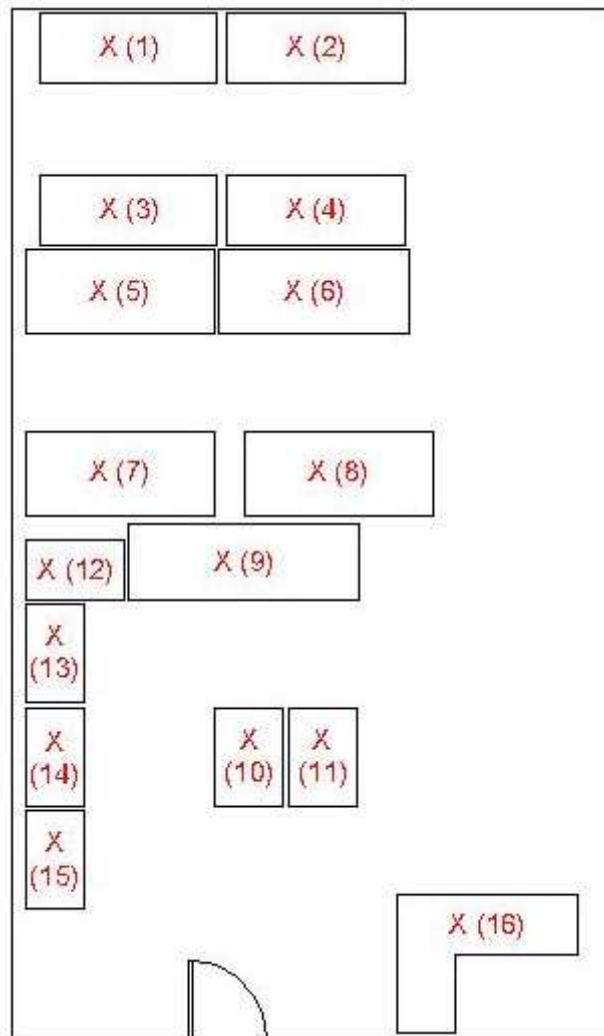
As medidas das dimensões da sala estão apresentadas na Figura 27. Os números nas áreas de trabalho indicam qual é a referência da mesa em questão e todas elas têm suas dimensões devidamente definidas pela Tabela 17.

*Figura 27 - Planta Baixa da Sala A-002*

**Fonte: Autoria própria.**

As medições de iluminância foram realizadas em todos os planos de trabalho, conforme apresenta a Figura 28, onde cada "X" corresponde a uma medição. Nesta sala há somente um usuário por mesa.

Figura 28 - Locais das Medições na Sala A-002



Fonte: Autoria própria.

Seus dados são retratados na Tabela 17.



Tabela 17 - Dados das Medições na Sala A-002

<b>Local de Medição</b>	<b>Iluminância (lx)</b>
1	160
2	183
3	175
4	148
5	153
6	138
7	113
8	239
9	166
10	199
11	192
12	182
13	156
14	212
15	186
16	205

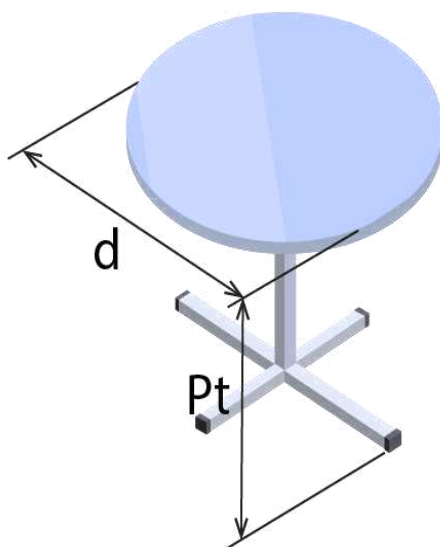
**Fonte: Autoria própria.**

Pela categoria da sala, o valor mínimo de iluminância, segundo a norma NBR 8995-1 (ABNT, 2013) é 1500 lux, portanto nenhum ponto de trabalho atende a norma. O menor ponto é de 113 lux, em uma região próxima à parede e longe da distribuição do fluxo luminoso pelas posições das luminárias, o mesmo ocorre com os pontos 4, 5 e 6.

### **3.2.3 Medições da Sala A-003**

A sala A-003 foi enquadrada na aplicação “Salas de aplicação e laboratórios” de acordo com o item 3.1.3. As medições das áreas de trabalho resultaram em seis tipos de mesas diferentes, onde três delas têm a forma retangular da Figura 23, outras duas tem formato de “L” detalhado na Figura 26 e a última delas por sua vez, tem um formato circular que está ilustrado na Figura 29.

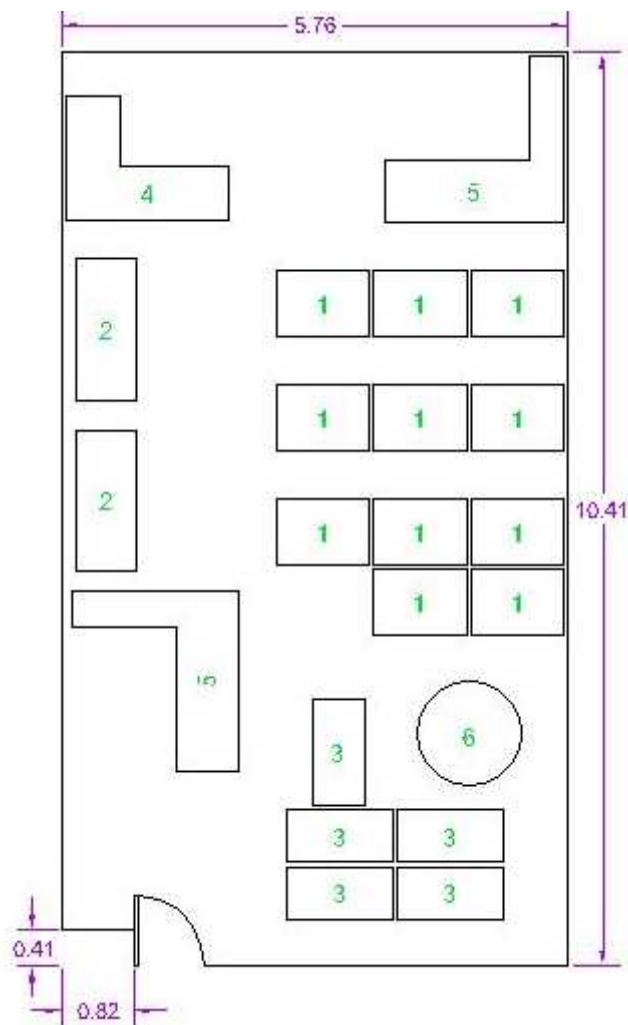
*Figura 29 - Detalhes da Área de Trabalho Circular*



**Fonte: Autoria própria.**

A Figura 30 mostra a planta da sala e tem suas dimensões evidenciadas. Os números nas áreas de trabalho indicam qual é a referência de cada mesa e tem suas dimensões definidas na Tabela 18.

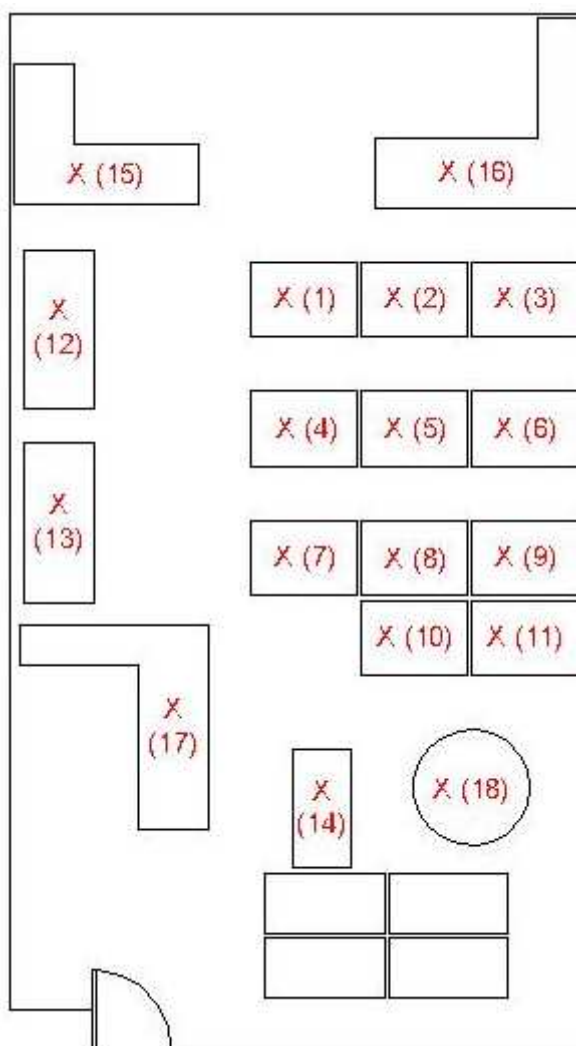
Figura 30 - Planta da Sala A-003



**Fonte: Autoria própria.**

As medições de iluminância foram realizadas em todos os planos de trabalho, conforme apresenta a Figura 31, onde cada “X” corresponde a uma medição. Nessas mesas há somente um usuário por mesa.

Figura 31 - Locais das Medições na Sala A-003



Fonte: Autoria própria.

Seus dados são retratados na Tabela 18.

Tabela 18 - Dados das Medições na Sala A-003

Local de Medição	Iluminância (lux)	Local de Medição	Iluminância (lux)
1	309	10	329
2	305	11	256
3	382	12	320
4	354	13	293
5	222	14	347
6	400	15	372
7	358	16	412
8	262	17	342
9	383	18	393

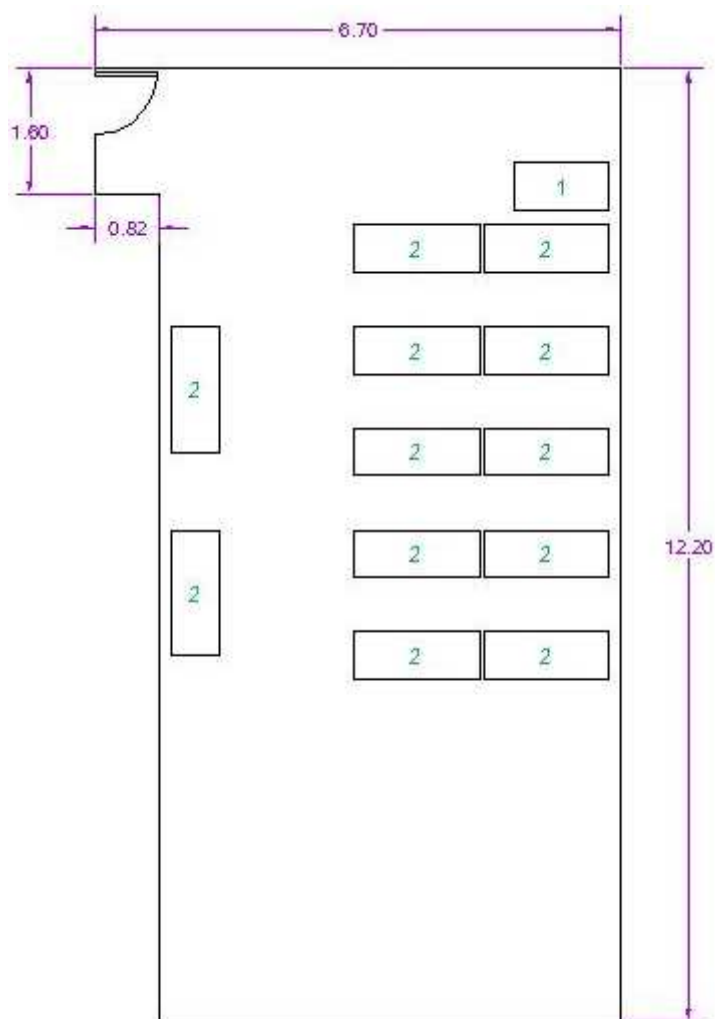
**Fonte: Autoria própria.**

Pela categoria da sala, seu iluminamento mínimo segundo a norma NBR 8995-1 (ABNT, 2013) é 500 lux, embora os valores estejam maiores em comparação às outras salas, ainda nenhum ponto de trabalho atende a norma. O ponto de menor iluminância apresenta 222 lux, devido a sua posição longe da distribuição do fluxo luminoso pelas posições das luminárias.

#### **3.2.4 Medições da Sala A-004**

A sala A-004 foi enquadrada como “Salas de aplicação e laboratórios” conforme item 3.1.4. As medições das áreas de trabalho resultaram em dois tipos de mesas diferentes, onde todas elas têm a forma retangular da Figura 23.

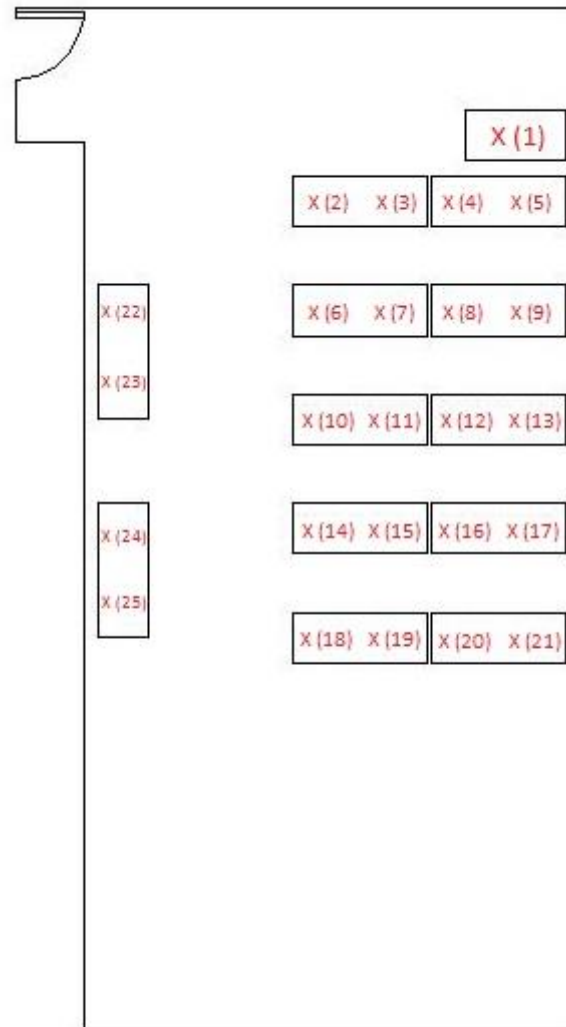
A Figura 32 retrata a planta da sala. Os números nas áreas de trabalho diferenciam os tipos de mesa e indicam as mesas que são do tipo 1 e do tipo 2, todas elas têm suas dimensões definidas na Tabela 19.

*Figura 32 - Planta da Sala A-004*

**Fonte: Autoria própria.**

As medições de iluminância foram realizadas em todos os planos de trabalho, conforme apresenta a Figura 33, onde cada X corresponde a uma medição.

Figura 33 - Locais das Medições na Sala A-004



Fonte: Autoria própria.

Seus dados são retratados na Tabela 19.

*Tabela 19 - Dados das Medições na Sala A-004*

<b>Local de Medição</b>	<b>Iluminância (lx)</b>
1	503
2	503
3	495
4	418
5	452
6	462
7	461
8	436
9	373
10	494
11	522
12	520
13	536
14	452
15	495
16	579
17	553
18	536
19	508
20	513
21	512
22	247
23	258
24	230
25	405

**Fonte: Autoria própria.**

Pela categoria da sala, sua iluminância mínima segundo a norma NBR 8995-1 (ABNT, 2013) é 500 lux, embora alguns valores atendam o esperado, a sala como um todo ainda não atende a norma. O menor ponto de iluminância é de 230 lux, em um



ponto próximo. Sua posição longe da distribuição do fluxo luminoso pelas posições das luminárias também desfavorece o resultado.

Para uma melhor visualização, a Tabela 20 apresenta todas as mesas e suas respectivas cotas.

*Tabela 20 - Detalhamento das Mesas*

Mesa	Forma	Cota a (cm)	Cota b (cm)	Cota c (cm)	Cota d (cm)	Cota Pt (cm)
<b>A-001</b>						
1	Retangular	70	125	-	-	75
2	Retangular	60	160	-	-	75
3	Retangular	100	150	-	-	75
<b>A-002</b>						
1	Retangular	70	180	-	-	100
2	Retangular	85	192	-	-	80
3	Retangular	76	233	-	-	80
4	Retangular	70	100	-	-	75
5	Retangular	60	100	-	-	75
6	L	60	141	184	60	75
<b>A-003</b>						
1	Retangular	75	106	-	-	75
2	Retangular	70	160	-	-	87
3	Retangular	60	120	-	-	75
4	L	60	141	184	60	75
5	L	40	190	204	70	75
6	Circular	-	-	-	120	73
<b>A-004</b>						
1	Retangular	60	120	-	-	75
2	Retangular	60	160	-	-	75

**Fonte: Autoria própria.**

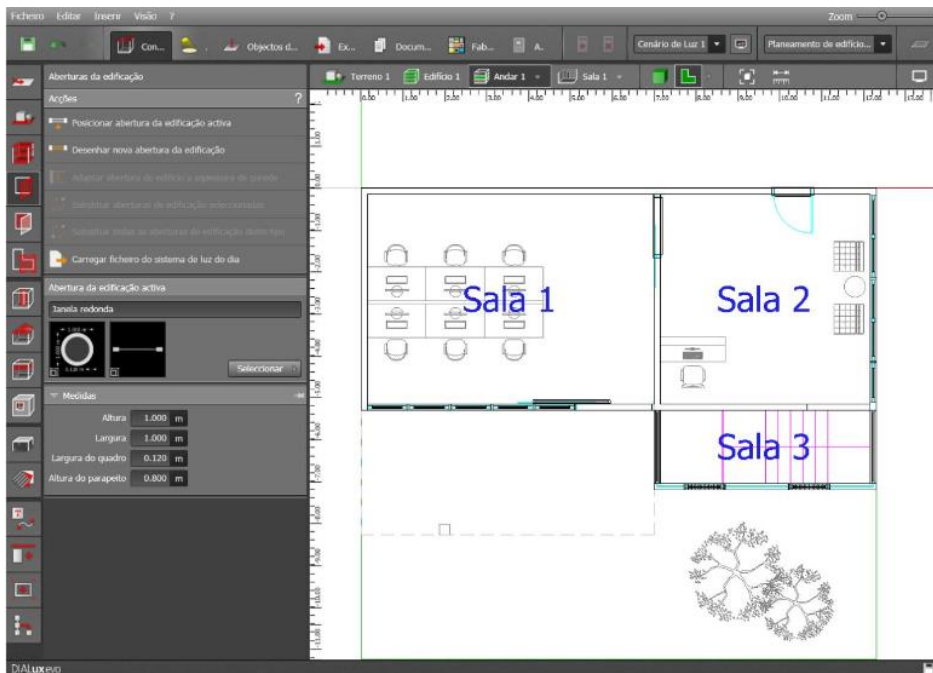
#### 4. PROJETO COM AUXÍLIO COMPUTACIONAL E RESULTADOS

Projeto com auxílio computacional e análise dos resultados Os *softwares* de iluminação são ferramentas para auxílio nos cálculos luminotécnicos, que também podem fornecer uma análise espacial e uma renderização foto-realista. Para a realização do projeto deste trabalho foi selecionado o *software* DIALux Evo por quatro principais razões: apresenta as funções necessárias para o cálculo luminotécnico e para a análise de ambiente; contém em sua biblioteca mais de 90 fabricantes de luminárias internacionais; é um *software* já apresentado em sala de aula na disciplina Engenharia de Iluminação da UTFPR; é totalmente gratuito.

O *software* utiliza o *radiosity method* e para que seja possível a realização das simulações é necessária que algumas informações sejam fornecidas ao programa; como as dimensões do ambiente, disposição e modelos das lâmpadas e luminárias no ambiente, cores das superfícies, entre outros. Sua norma vigente é a DIN EN 12464-1 (2005), similar à NBR 8995-1 (2013). As plantas foram elaboradas no *AutoCAD*, com extensão DWG, importadas no *DIALux* e utilizadas como referência para elaboração do modelo e da malha utilizada nas medições em campo (DIAL, 2019).

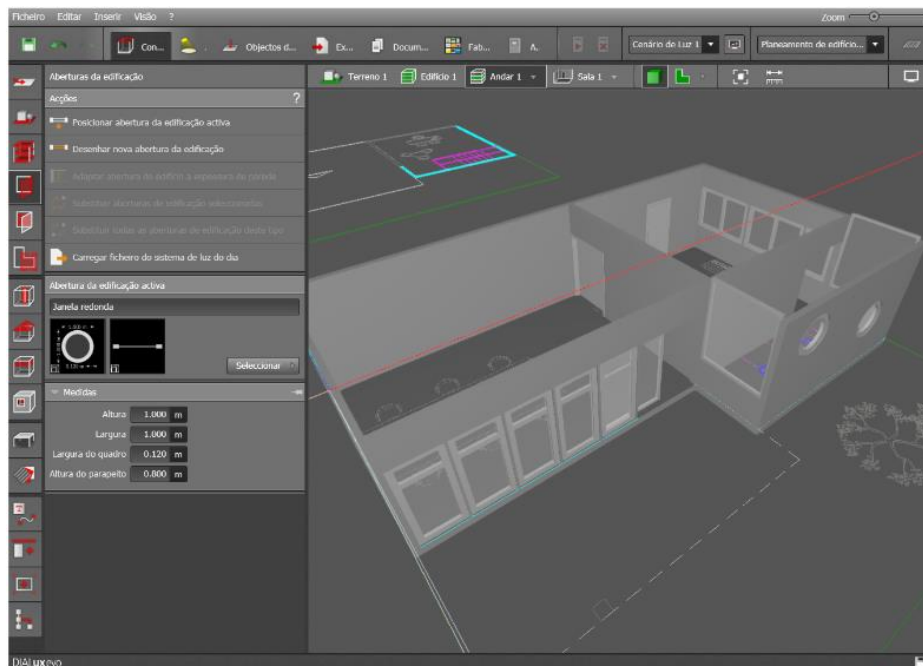
Posteriormente foram realizadas as configurações do sistema, como deixar o sistema métrico como vigente. É possível obter a visão das plantas segundo os exemplos obtidos na Figura 34 e na Figura 35.

Figura 34 - Exemplo de Planta no DIALux



Fonte: FAU-USP (2018).

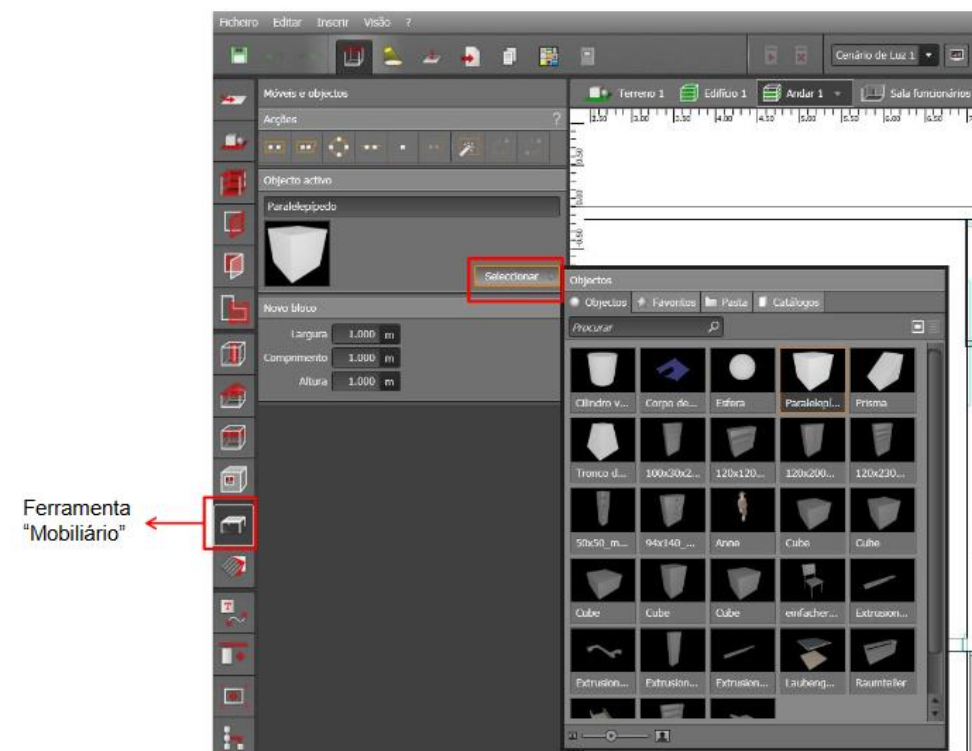
Figura 35 - Exemplo de Visão 3D



Fonte: FAU-USP (2018).

Em seguida insere-se o mobiliário no ambiente para que o resultado seja o mais preciso possível, a partir da função “mobiliário”, segundo a Figura 36.

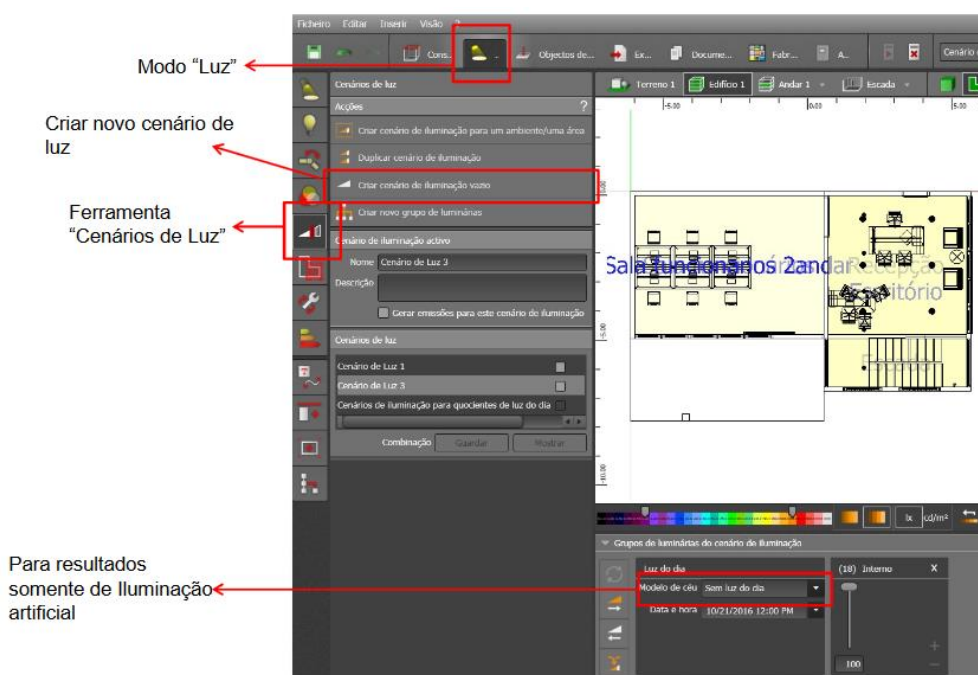
Figura 36 - Função Mobiliário



Fonte: FAU-USP (2018).

Após a inserção do mobiliário, o teto é adicionado e configura-se os tons de teto, parede e piso. A iluminação vem a seguir, com a sua distribuição de lâmpadas e luminárias como demonstra a Figura 37 e a Figura 38.

Figura 37 - Cenários de Luz



Fonte: FAU-USP (2018).

Figura 38 - Categoria de luminárias

- Catálogo de luminárias



Fonte: FAU-USP (2018).

A documentação é vital, visto que gera o relatório técnico com todas as informações para confiabilidade para o processo. O *DIALux* fornece três principais resultados de iluminância no ambiente: isolinhas, cores falsas e grade de valores. A

origem da palavra isolinha é grega, sendo uma composição *de iso*(iguais) e linha. Isso significa que as linhas desenhadas conectam lugares diferentes que compartilham um valor comum, como por exemplo as curvas de níveis que servem para unir alturas comuns em relação ao nível do mar (Quoos, 2019).

De acordo com a HISOUR (2019), antes de assimilar cor falsa, é preciso se definir o que é cor verdadeira. Cor verdadeira é quando a imagem fornece uma reprodução de cor natural, ou o mais próximo dela. Ou seja, a cor que está apresentada na imagem de um objeto é a mesma caso o observador visse o objeto diretamente. Em contrapartida, a cor falsa se destoa da cor natural (aumentando o contraste) para facilitar a percepção de características que não seriam possíveis de serem observadas através de cores verdadeiras. No caso do projeto luminotécnico, as cores falsas são responsáveis por apresentar a distribuição de luz no espaço numa escala de graduação de iluminância (UNIVERSIDADE CAROLINA DO NORTE, 2017).

A grade de valores representa a iluminância em pontos igualmente distribuídos nas salas de laboratórios. Expondo também o ponto de maior e menor valor de iluminância de cada ambiente.

Neste trabalho, elegeram-se as visões de isolinhas e cores falsas, pois na opção de grade de valores não é possível escolher os pontos para os quais se deseja saber a iluminância, o que resultaria em uma interpretação pouco realista, uma vez que se fariam comparações das medidas de pontos diferentes.

#### 4.1 CENÁRIO 1

Realizou-se a simulação nas condições reais da sala, com a mesma disposição de lâmpadas e luminárias. As idades das lâmpadas foram estimadas, pois os setores responsáveis pela instalação e pela manutenção destas lâmpadas não possui registro de data de instalação. Uma vez que o intuito do cenário 1 era replicar as condições atuais da sala, a escolha das luminárias foi balizada pelas características da instalação atual, utilizou-se luminárias cujo as características se aproximam ao máximo das luminárias que hoje estão instaladas nas salas em questão

Na Tabela 21 encontram-se algumas informações sobre as luminárias e lâmpadas encontradas nas salas estudadas.

Tabela 21 - Luminárias e lâmpadas atuais das salas estudadas

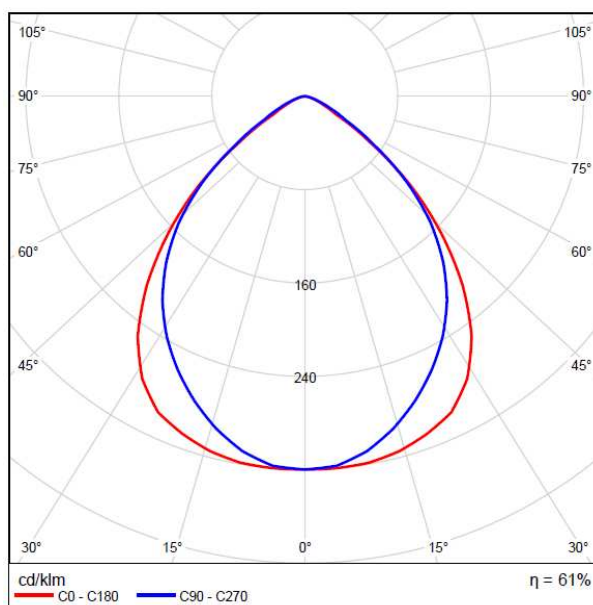
<b>A001</b>	<b>Marca / Modelo</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Vida Útil (horas)</b>	<b>Temperatura da Cor</b>	<b>Cor</b>	<b>Quantidade</b>
Luminária	Philips / TCS260 2x	-	-	-	-	12
Lâmpadas	Philips / Fluorescente Tubular Confort 32W 64RS - TLD	32	7500	4100K	Neutra	22
	Não identificada	-	-	-	Neutra	1
	Queimada	-	-	-	-	1
<b>A002</b>	<b>Marca / Modelo</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Vida Útil (horas)</b>	<b>Temperatura da Cor</b>	<b>Cor</b>	<b>Quantidade</b>
Luminária	Philips / TCS260 2x	-	-	-	-	12
	Philips / TMS022 2x	-	-	-	-	2
Lâmpadas	Philips / Fluorescente Tubular Confort 32W 64RS - TLD	32	7500	4100K	Neutra	9
	Sylvania / Luz do Dia Plus 65W T 12	65	12000	5000K	Neutra	5
	Osram / Lumilux T8 L 36W/840	36	20000	4000K	Neutra	2
	Não Identificada	-	-	-	Neutra	12
<b>A003</b>	<b>Marca / Modelo</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Vida Útil (horas)</b>	<b>Temperatura da Cor</b>	<b>Cor</b>	<b>Quantidade</b>
Luminária	Philips / TMS022 2x	-	-	-	-	12
Lâmpadas	Osram / Lumilux T8 L 58W/840	58	20000	4000K	Neutra	14
	Sylvania / Luz do Dia Plus 65W T 12	65	12000	5000K	Neutra	8
<b>A004</b>	<b>Marca / Modelo</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Vida Útil (horas)</b>	<b>Temperatura da Cor</b>	<b>Cor</b>	<b>Quantidade</b>
Luminária	Philips / TCS165 2x	-	-	-	-	22
Lâmpadas	Philips / Fluorescente Tubular Confort 32W 64RS - TLD	32	7500	4100K	Neutra	18
	Queimada	-	-	-	-	4

Fonte: Autoria própria.

Como dito anteriormente, para a simulação é necessário conhecer a disposição das luminárias e qual o modelo das lâmpadas e luminárias de cada ambiente. As distâncias das luminárias são referenciadas de acordo com o sistema cartesiano, tendo o ponto de origem localizado no canto inferior esquerdo do ambiente. As luminárias estão enumeradas para identificação de suas respectivas posições no plano cartesiano, altura e fator de manutenção.

As luminárias encontradas nos laboratórios são consideradas diretas, pois o fluxo luminoso é emitido diretamente para o plano de trabalho, tornando-se independente de reflexos. As luminárias TCS260 e TCS165 da Philips emitem o fluxo com mais precisão para o plano de trabalho, tornando a iluminação mais intensa. Todavia, a luminária TMS022 dispersa mais a luz pelo ambiente, tornando a iluminação mais ampla, porém menos intensa. Tais características podem ser observadas nas curvas de distribuição luminosa apresentadas na Figura 39, Figura 40 e na Figura 41.

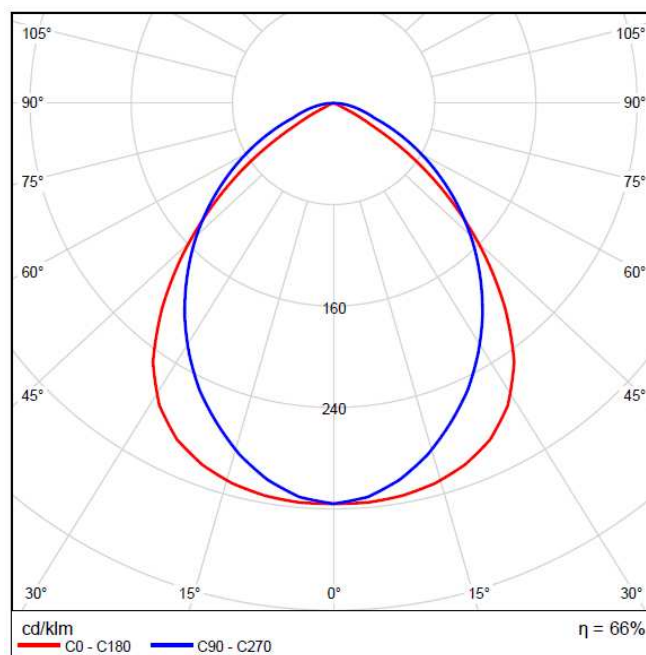
Figura 39 - Curvas de distribuição luminosa da luminária TCS260



Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

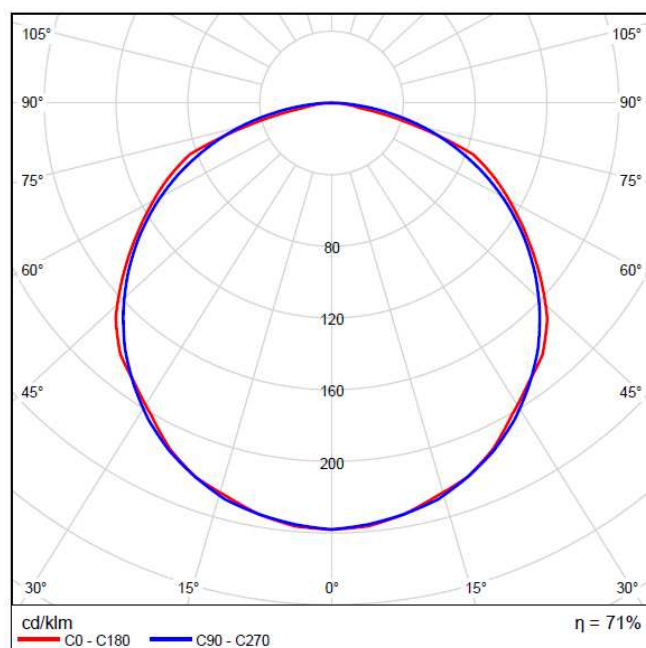


Figura 40 - Curvas de distribuição luminosa da luminária TCS165



Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

Figura 41 - Curvas de distribuição luminosa da luminária TMS022



Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

#### 4.1.1 Simulação da A-001

A Figura 48 representa a distribuição de lâmpadas e luminárias na sala, enquanto a Tabela 22 apresenta seus resultados. O fator de manutenção utilizado em todos os



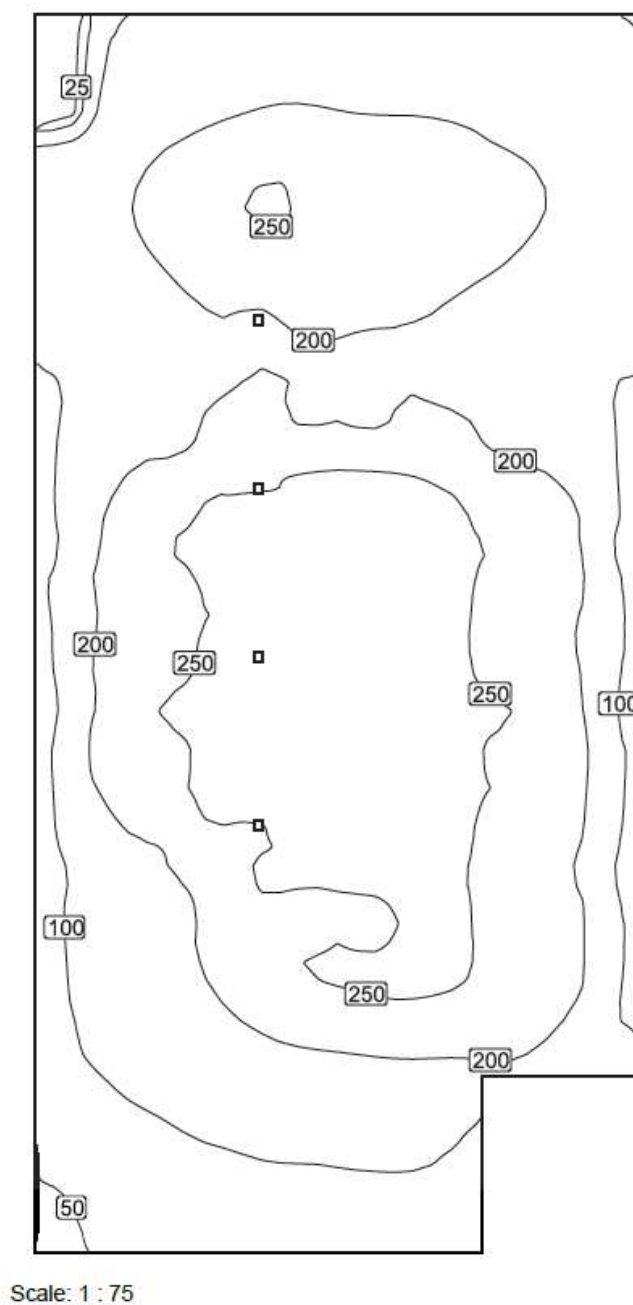
Tabela 22 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A001

Número	X (m)	Y (m)	Altura (m)	Fator de Manutenção
1	1,30	10,06	2,80	0,50
2	2,80	10,06	2,80	0,50
3	4,54	10,06	2,80	0,50
4	2,80	6,98	2,80	0,50
5	1,30	6,98	2,80	0,50
6	4,54	6,98	2,80	0,50
7	2,80	4,75	2,80	0,50
8	1,30	4,75	2,80	0,50
9	4,54	4,75	2,80	0,50
10	2,80	2,54	2,80	0,50
11	1,30	2,54	2,80	0,50
12	4,54	2,54	2,80	0,50

Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

Ao se aplicar os dados necessários para que o *software* retorne os cálculos de iluminância do ambiente, obteve-se o primeiro resultado de iluminância, expresso em isolinhas, de acordo com a Figura 43.

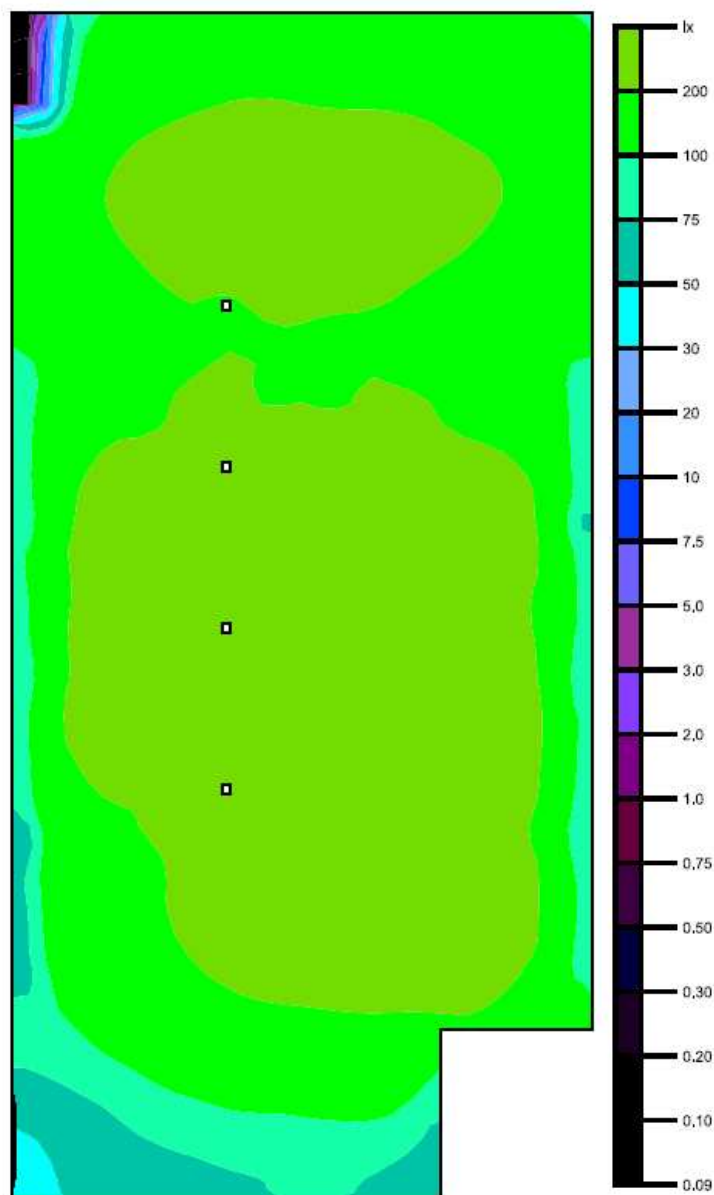
Figura 43 - Isolinhas de iluminância da sala A-001 (lux)



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Através da isolinhas é concluí-se que as regiões que apresentam maiores valores de iluminância são as regiões centrais. Essas áreas informam um valor aproximado de 250 lux, ou seja, está pelo menos 50% abaixo do valor que a norma exige para ambientes como este. A Figura 44 apresenta a mesma conclusão, mas através de cores falsas.

Figura 44 - Cores falsas de iluminância da sala A-001 (lux)



Scale: 1 : 75

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

A escala de iluminância do mapa de cor falsa varia de 0,09lux a 300lux. Como esperado, a região do centro apresenta maiores luminâncias, que se encontram entre 200lux e 300lux. A posição que apresenta o maior valor de iluminância está localizada praticamente no centro da sala, enquanto a de menor valor se encontra no canto superior esquerdo, o que se deve ao fato de que há um mobiliário neste local que tem altura maior do que a do plano de trabalho.

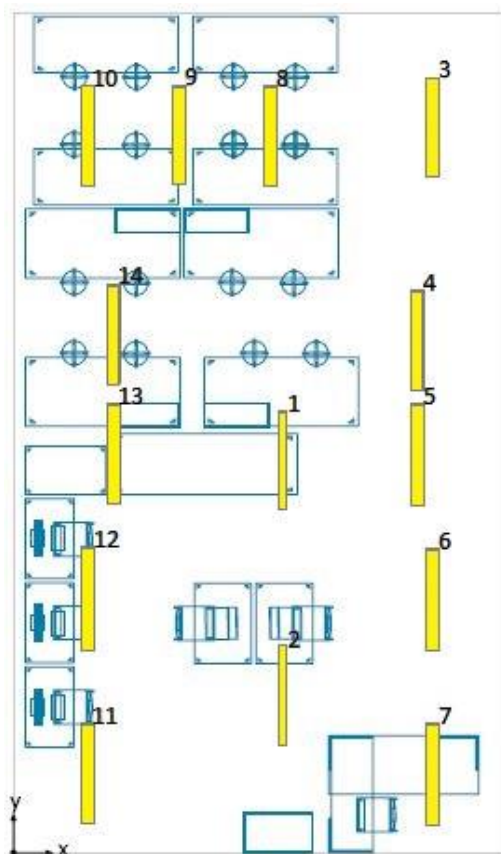
Com a análise e corroboração dos resultados obtidos, conclui-se que esta sala de laboratório não apresenta o requisito mínimo de luminância para ambientes acadêmicos

com atividades laboratoriais. Os locais específicos de trabalho se encontram na região central (superior, centro e inferior) e nas laterais direita e esquerda do ambiente, e essas posições apresentam luminância entre 100 e 300 lux, e abaixo de 100 lux, respectivamente. Isso significa que todos os locais estão aquém dos 500 lux exigidos pela norma NBR 8995-1 (ABNT, 2013).

#### 4.1.2 Simulação da A-002

A Figura 45 representa a distribuição de lâmpadas e luminárias na sala, enquanto a Tabela 23 apresenta seus resultados.

Figura 45 - Disposição das luminárias na sala A-002



Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

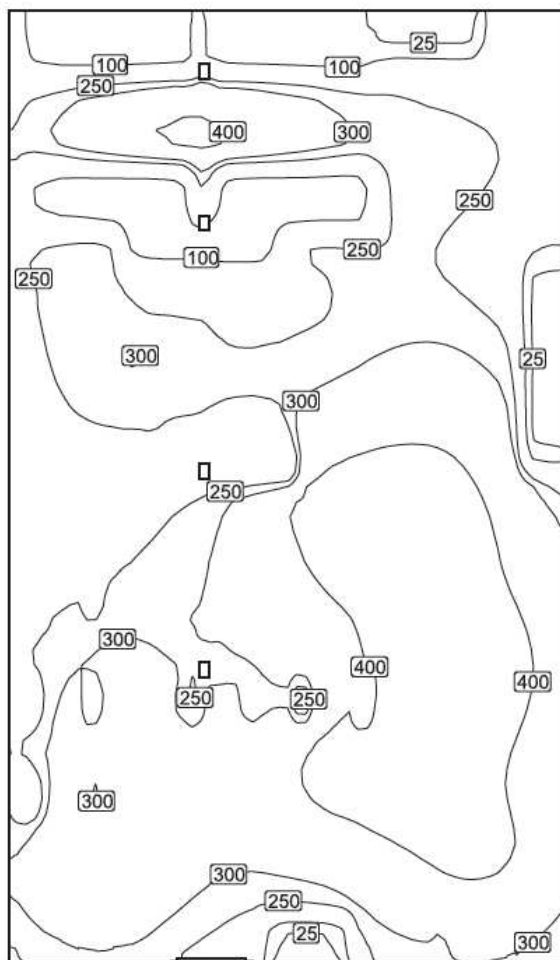
Tabela 23 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A-002

Número	X (m)	Y (m)	Altura (m)	Fator de Manutenção
1	3,34	4,89	2,80	0,50
2	3,34	1,97	2,80	0,50
3	5,22	9,04	2,87	0,50
4	5,02	6,39	2,87	0,50
5	5,02	4,98	2,87	0,50
6	5,22	3,18	2,87	0,50
7	5,22	0,99	2,87	0,50
8	3,19	8,95	2,87	0,50
9	2,05	8,95	2,87	0,50
10	0,93	8,94	2,87	0,50
11	0,93	0,99	2,87	0,50
12	0,93	3,19	2,87	0,50
13	1,24	4,98	2,87	0,50
14	1,24	6,47	2,87	0,50

Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

Nota-se que a disposição das lâmpadas é irregular. Seria justificável a assimetria caso a iluminação projetada nas bancadas atingissem o patamar mínimo de luminância necessária para a realização dos trabalhos. Entretanto, observa-se nos resultados seguintes, começando pela Figura 46, que essa característica não é apresentada.

Figura 46 - Isolinhas de iluminância da sala A002 (lux)



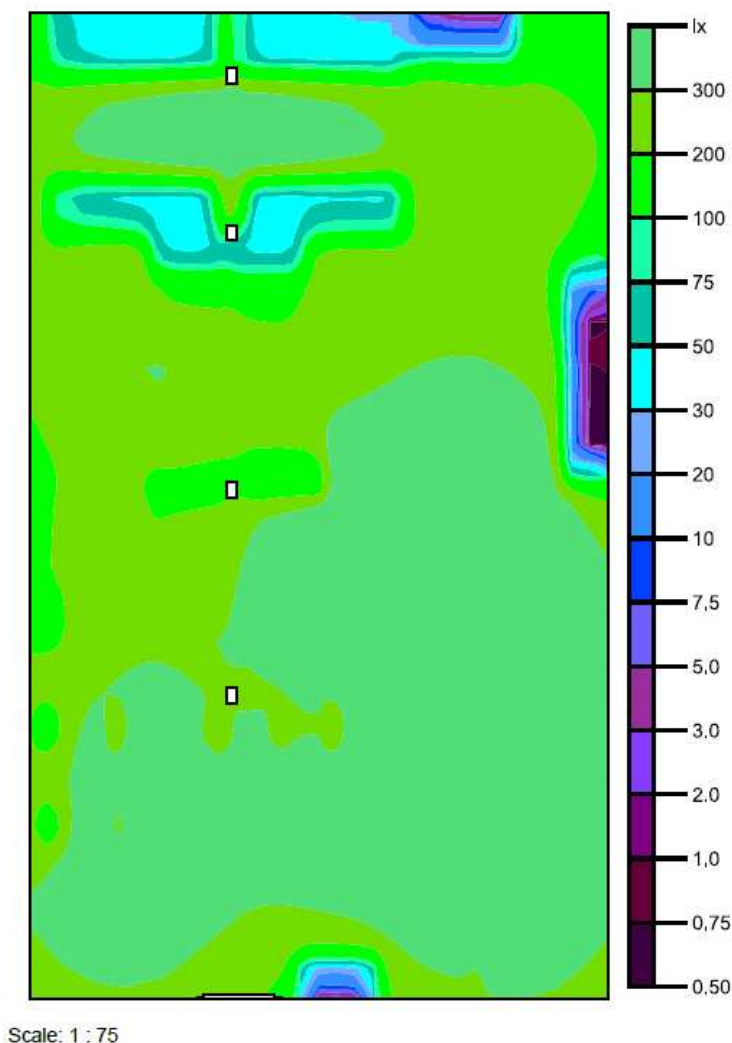
Scale: 1 : 75

**Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).**

A maior área que apresenta o maior valor de iluminância, o equivalente a aproximadamente 400 lux, localiza-se na lateral direita inferior. As isolinhas dessa sala demonstram que há maior variação de luminância nesse ambiente com uma distribuição aleatória. Nota-se esse mesmo comportamento na Figura 47.



Figura 47 - Cores falsas de iluminância da sala A-002 (lux)

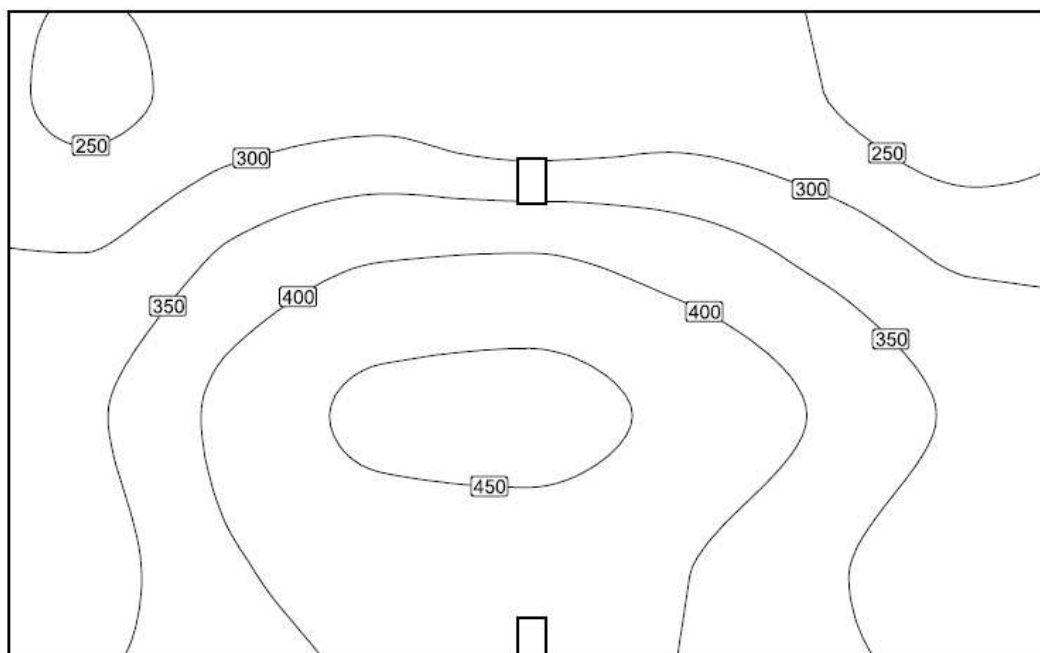


Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Esse mapa de cor falsa demonstra que há uma grande área que se encontra na faixa de 300 lux a 400 lux. Entretanto o resto da sala apresenta iluminância mais baixa, o que se deve a posição dos móveis que tem altura maior que a do plano de trabalho.

Para realização do cálculo, posicionou-se o plano de trabalho a 80 centímetros do chão, o que é uma medida razoável para quase todas as mesas desta sala, com exceção das mesas que se encontram no canto superior esquerdo (Tipo 1), pois estas possuem 1 metro de altura. Portanto se fez necessário fazer as medidas de iluminância destas separadamente do restante da sala, em um plano de trabalho a 1 metro de distância do chão. Os resultados destes cálculos estão apresentados abaixo na Figura 54 e na Figura 55. O mesmo ocorre em todos os cenários para o ambiente de ensino A-002.

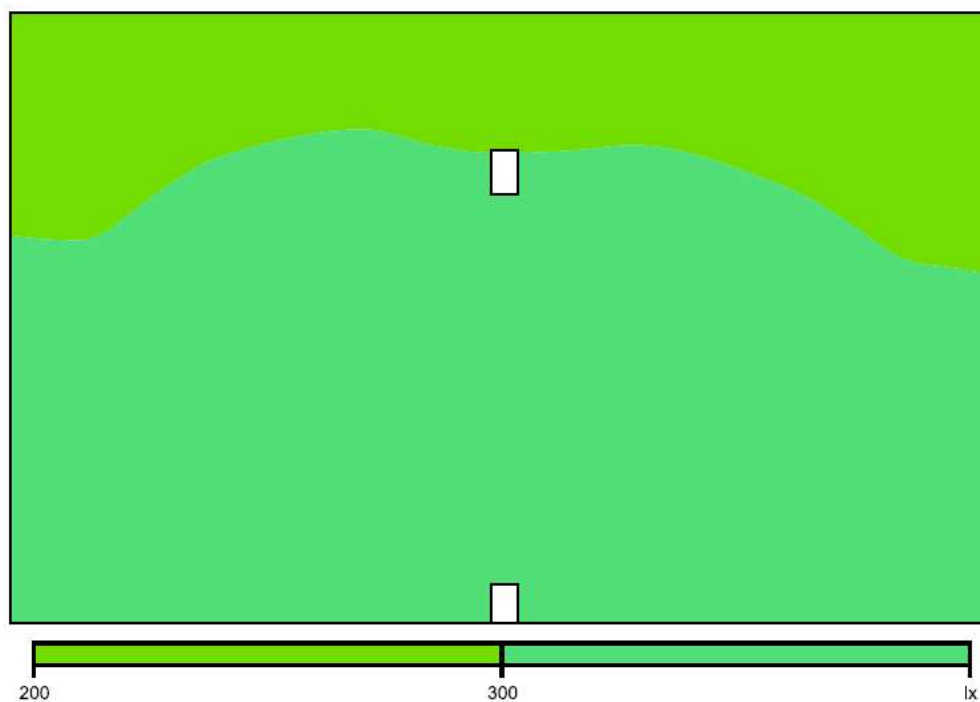
Figura 48 - Isolinhas de iluminância da sala A002 (lux) - Complemento para todos os cenários



Scale: 1 : 25

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Figura 49 - Cores falsas de iluminância da sala A-002 (lux) - Complemento para todos os cenários



Scale: 1 : 25

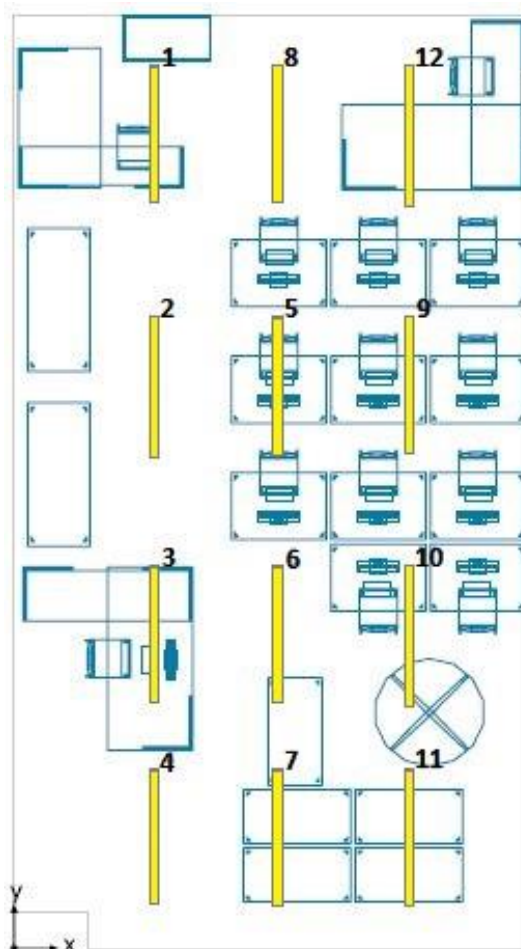
Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Com esses resultados conclui-se que além dos pontos que apresentam maior valor de iluminância não estarem situados nos locais de bancadas, onde são realizadas atividades de laboratórios, esses valores não atingem o mínimo exigido pela norma NBR 8995-1, que para esta sala é de 1500 lux (ABNT, 2013).

#### 4.1.3 Simulação da A-003

A Figura 50 representa a distribuição de lâmpadas e luminárias na sala, enquanto a Tabela 24 apresenta seus resultados.

Figura 50 - Disposição das luminárias na sala A-003



Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

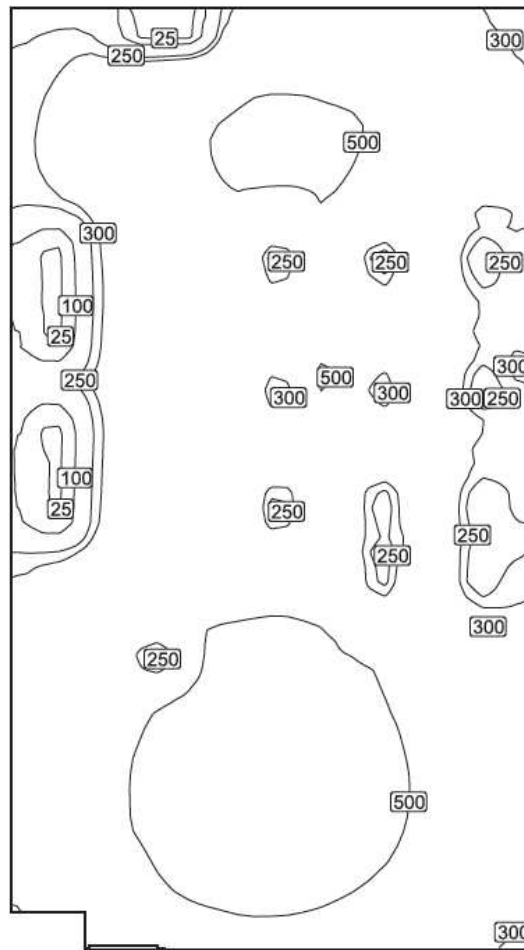
Tabela 24 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A-003

Número	X (m)	Y (m)	Altura (m)	Fator de Manutenção
1	1,56	9,09	3,04	0,50
2	1,56	6,30	3,04	0,50
3	1,56	3,51	3,04	0,50
4	1,56	1,25	3,04	0,50
5	2,94	6,30	3,04	0,50
6	2,94	3,51	3,04	0,50
7	2,94	1,25	3,04	0,50
8	2,94	9,09	3,04	0,50
9	4,41	6,30	3,04	0,50
10	4,41	3,51	3,04	0,50
11	4,41	1,25	3,04	0,50
12	4,41	9,09	3,04	0,50

Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

A Figura 51 e a Figura 52 são os resultados adquiridos pelo *DIALux*, e apresentam a distribuição de iluminância na sala A-003. A Figura 51 apresenta em isolinhas como está arranjada a iluminância nesse ambiente.

Figura 51 - Isolinhas de iluminância da sala A-003 (lux)

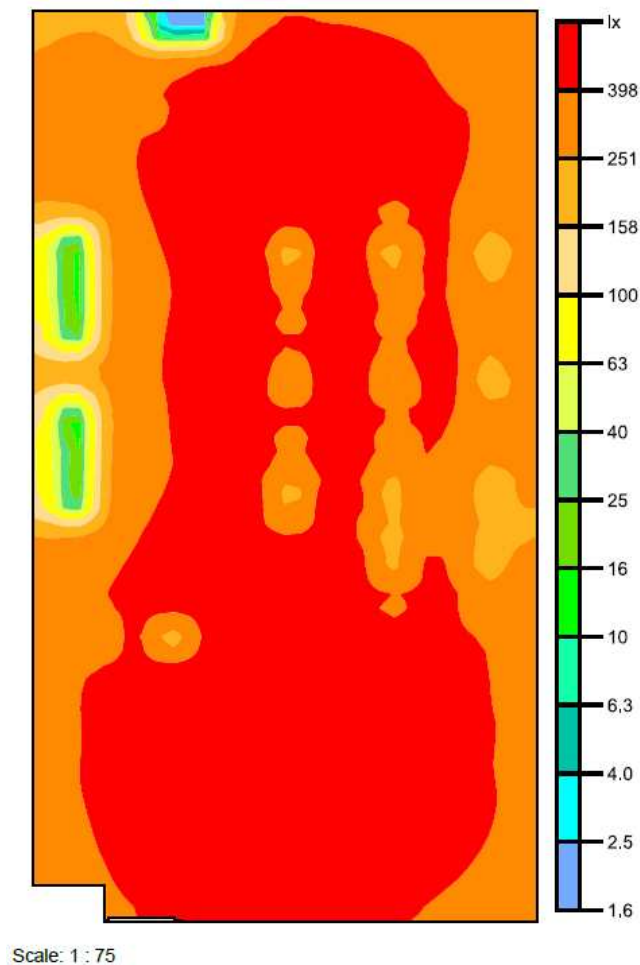


Scale: 1 : 75

**Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).**

Através das isolinhas nota-se que a maior área desse ambiente apresenta uma iluminância entre 300 lux e 500 lux. Dessa forma, o resultado da análise mostra que grande parte dessa sala apresenta iluminância maior que os ambientes analisados anteriormente (salas A-001 e A-002). A Figura 52 apresenta visualmente, de uma forma mais clara, que este ambiente apresenta iluminância mais alta na maior parte de sua dimensão.

Figura 52 - Cores falsas de iluminância da sala A-003 (lux)



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

O mapa de cor falsa está apresentado em uma escala de 1,6 lux a mais de 398 lux. Visualmente é facilmente percebido que praticamente toda a parte central apresenta iluminância superior a 398 lux e o entorno compreende uma iluminância entre 251 lux e 398 lux. Entretanto, na lateral esquerda central há uma região em que a maior parte da iluminância não passa dos 100 lux, devido a presença da mobília da sala. De acordo com a Figura 50, nessa área encontram-se mesas para realização de tarefas, as quais necessitam do mínimo de iluminância que a norma NBR 8995-1 exige (500 lux) (ABNT, 2013).

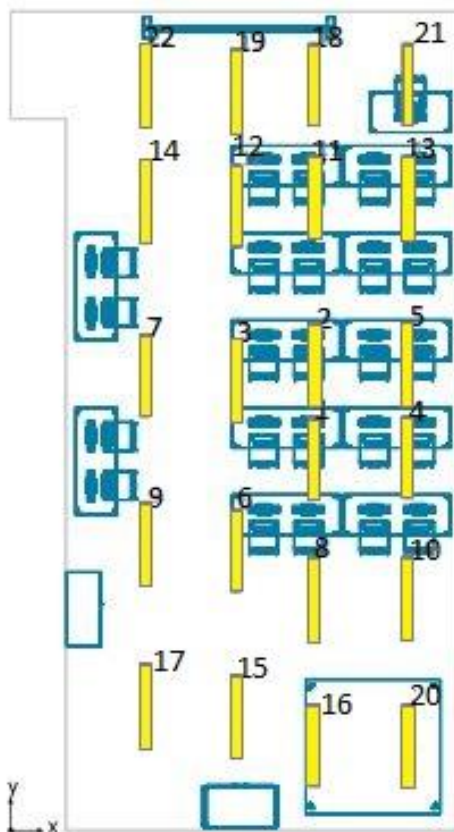
Os pontos de maior e menor iluminância comprovam o resultado das Figura 51e Figura 52, ou seja, a área que apresenta a maior iluminância localiza-se na região central inferior do ambiente, enquanto a de menor iluminância se encontra na lateral esquerda. Além disso, as isolinhas apontam que em diversas áreas a iluminância ultrapassou o

valor de 500 lux, requerido pela norma NBR 8995-1, enquanto outros pontos ficaram bem abaixo desse valor.

#### 4.1.4 Simulação da A-004

A Figura 53 representa a distribuição de lâmpadas e luminárias na sala, enquanto a Tabela 25 apresenta seus resultados.

Figura 53 - Disposição das luminárias na sala A-004



Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

Tabela 25 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A-004

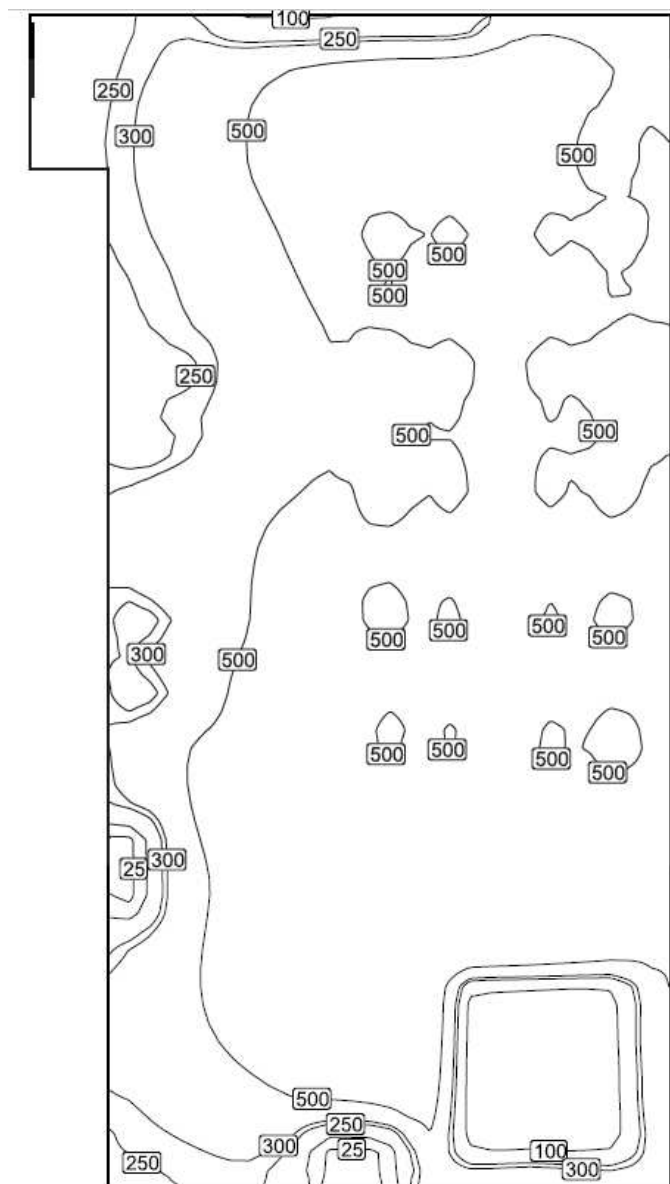
Número	X (m)	Y (m)	Altura (m)	Fator de Manutenção
1	4,51	5,57	3,05	0,50
2	4,51	6,94	3,05	0,50
3	3,35	6,71	3,05	0,50
4	5,91	5,57	3,05	0,50
5	5,91	6,94	3,05	0,50
6	3,35	4,18	3,05	0,50
7	2,00	6,78	3,05	0,50
8	4,51	3,48	3,05	0,50
9	2,00	4,28	3,05	0,50
10	5,91	3,48	3,05	0,50
11	4,51	9,44	3,05	0,50
12	3,35	9,30	3,05	0,50
13	5,91	9,44	3,05	0,50
14	2,00	9,38	3,05	0,50
15	3,35	1,71	3,05	0,50
16	4,51	1,27	3,05	0,50
17	2,00	1,87	3,05	0,50
18	4,51	11,11	3,05	0,50
19	3,35	11,03	3,05	0,50
20	5,91	1,27	3,05	0,50
21	5,91	11,11	3,05	0,50
22	2,00	11,09	3,05	0,50

Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

O mapa de isolinhas apresenta como está feita a distribuição da iluminância nesse ambiente. A Figura 54 apresenta esse resultado.



Figura 54 - Isolinhas de iluminância da sala A-004 (lux)

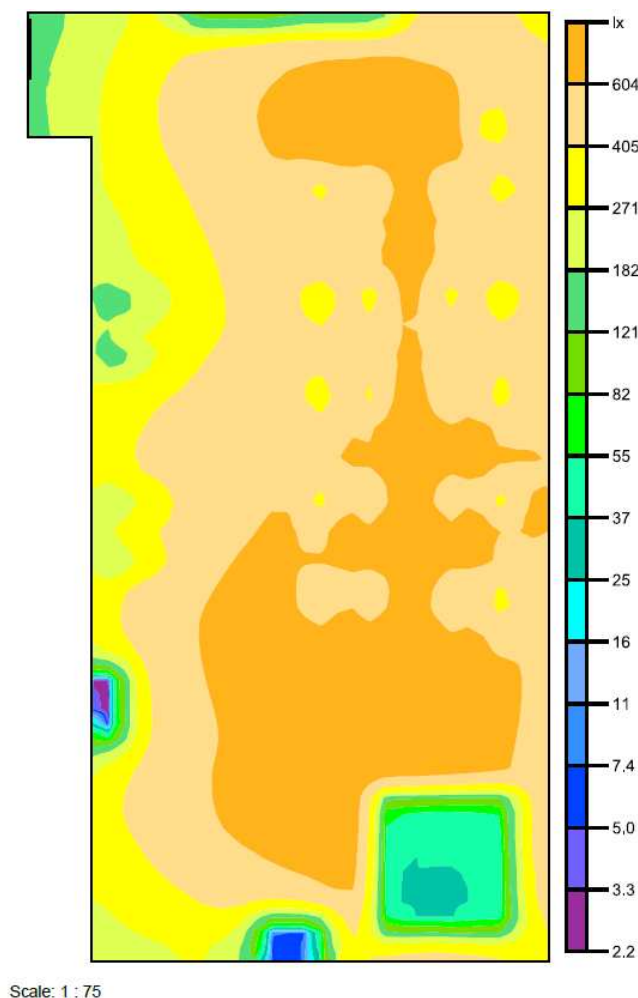


Scale: 1 : 75

**Fonte: Resultado obtido através doDIALux (2019).**

Através da análise do mapa de isolinhas é possível determinar que a maior área da sala apresenta uma iluminância igual ou superior a 500 lux. Através da Figura 55 visualiza-se esse resultado pelo mapa de cor falsa.

Figura 55 - Cores falsas de iluminância da sala A004 (lux)



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Uma grande parte central da sala tem uma iluminância superior à 604 lux e seu entorno apresenta uma iluminância entre 405 e 604 lux. O canto inferior direito tem uma iluminância cujo valor está compreendido entre 37 lux e 55 lux, pelo fato de que há mobiliário nestes locais.

#### 4.2 CENÁRIO 2

No cenário 2 foram realizadas duas alterações em relação ao cenário 1 (modelo real): substituição das lâmpadas em uso por outras novas e funcionais, sendo todas elas do modelo da Philips (Fluorescente Tubular Confort 32W 64RS - TLD).

A opção de utilizar a mesma lâmpada no ambiente garante o aumento da uniformidade luminosa. As lâmpadas Philips foram as selecionadas pois são normalmente encontradas nos maiores comércio de lâmpadas, facilitando a compra.

Além disso, dentre as lâmpadas que já estavam sendo usadas nas salas, a Philips é a mais barata, conforme apresenta a Figura 55 e Tabela 26, onde realizou-se uma pesquisa de mercado.

*Tabela 26 - Preços das Principais Lâmpadas*

<b>Lâmpada</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Philips / Fluorescente 32W Confort	10,83
Sylvania / Fluorescente 65W T12	13,00
Osram / Fluorescente Tubular 58W T8 840 (4000K)	21,97
Oram / Fluorescente Tubular 36W T8 Super 84	25,44

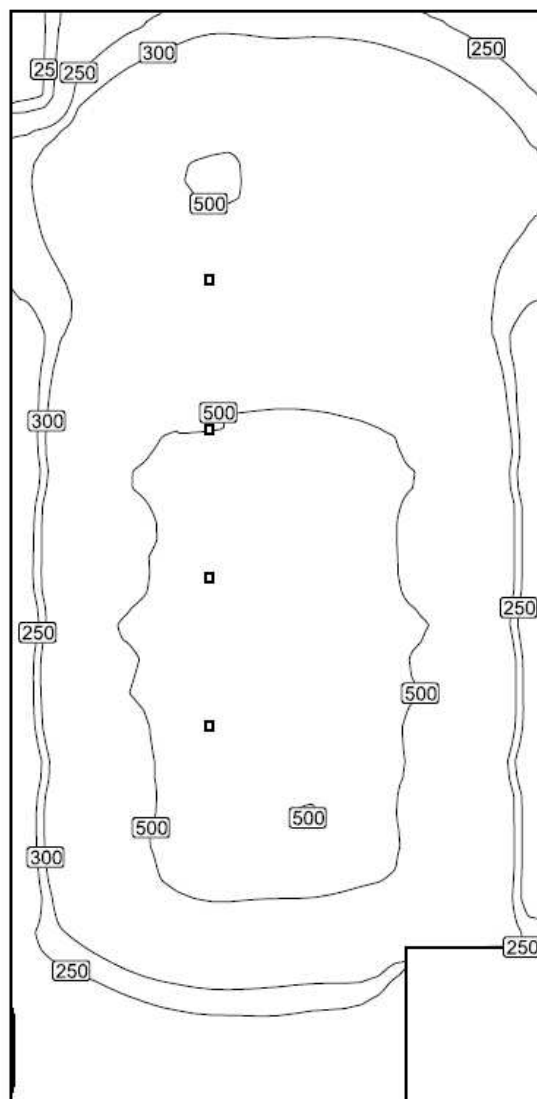
**Fonte: Autoria Própria.**

O resultados do cenário 2 mostram que com as pequenas modificações realizadas houve uma melhora na iluminância das salas, com exceção da sala A-003. Os resultados são compostos pelo mapa de isolinhas e o mapa de cor falsa.

#### **4.2.1 Simulação da A-001 - Cenário 2**

O mapa de isolinhas apresenta como está feita a distribuição da iluminância nesse ambiente, conforme a Figura 56 e através da Figura 57 visualiza-se esse resultado pelo mapa de cor falsa.

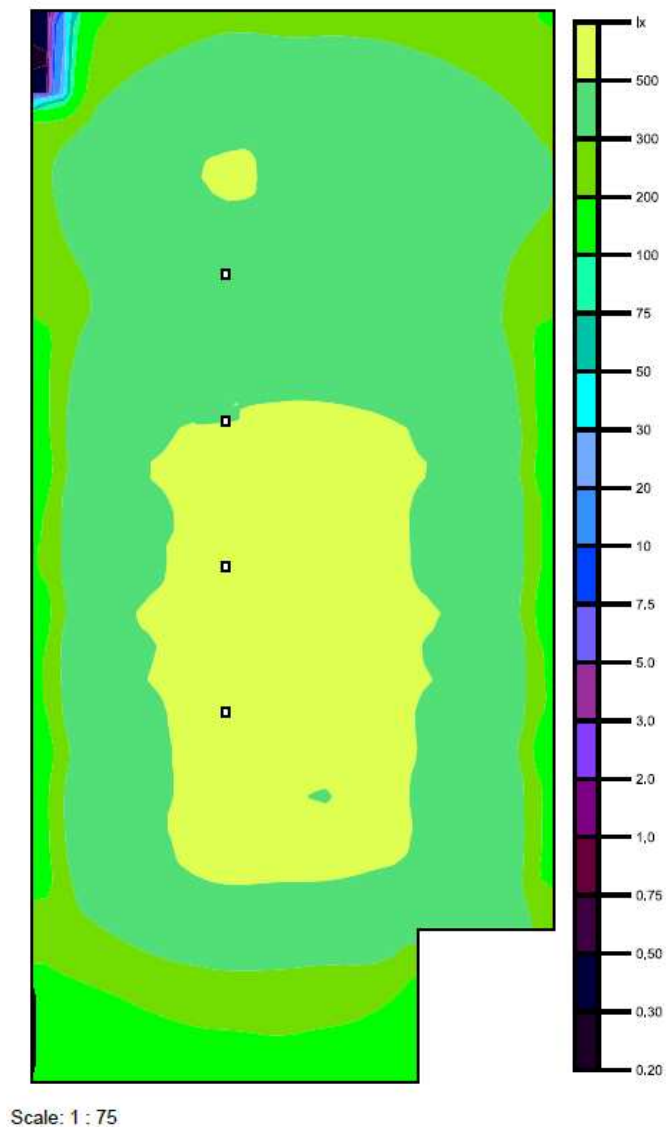
Figura 56 - Isolinhas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 2



Scale: 1 : 75

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

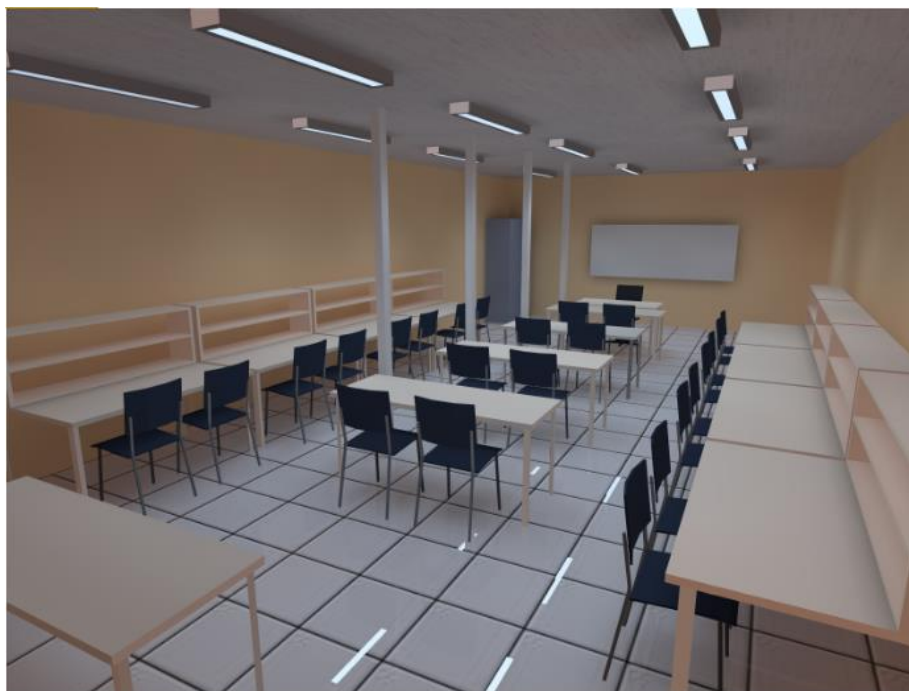
Figura 57 - Cores falsas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 2



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

A Figura 58 corresponde a realização da sala tanto no cenário 1 quanto no cenário 2, visto que só ocorre a troca de lâmpadas.

Figura 58 - Visualização da sala A-001 no DIALux - Cenário 1 e 2

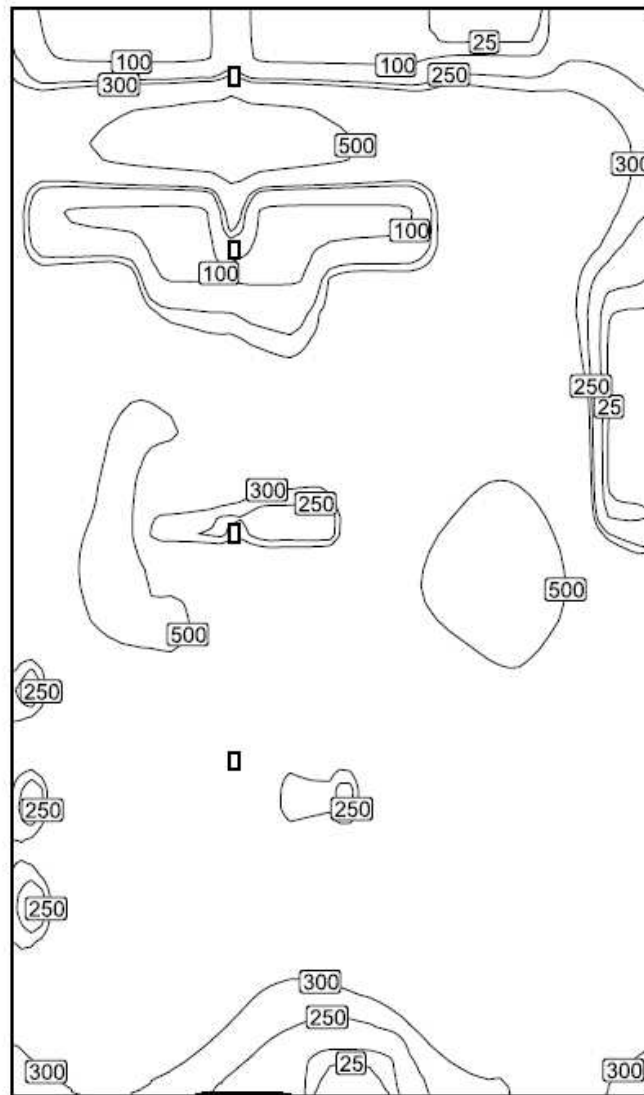


Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

#### 4.2.2 Simulação da A-002 - Cenário 2

O mapa de isolinhas apresenta como está feita a distribuição da iluminância nesse ambiente, conforme a Figura 59 e através da Figura 60 visualiza-se esse resultado pelo mapa de cor falsa.

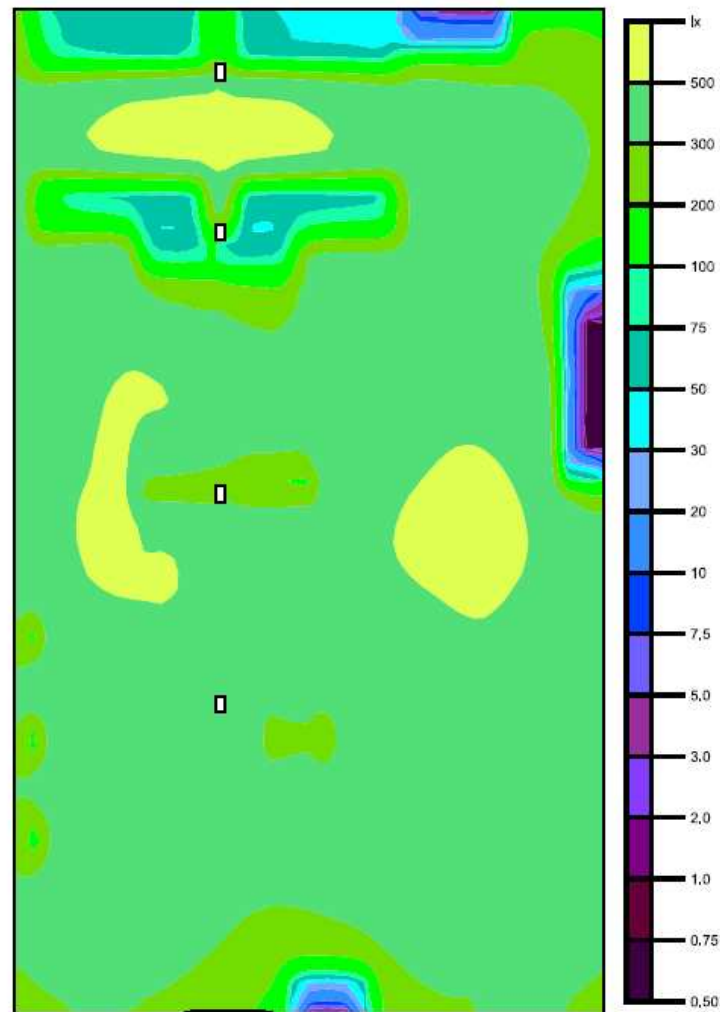
Figura 59 - Isolinhas de iluminância da sala A-002 (lux) - Cenário 2



Scale: 1 : 75

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Figura 60 - Cores falsas de iluminância da sala A-002 (lux) - Cenário 2



Scale: 1 : 75

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

A Figura 61 corresponde a realização da sala tanto no cenário 1 quanto no cenário 2, visto que só ocorre a troca de lâmpadas. Esse cenário ainda não é o ideal, visto que apenas algumas pequenas áreas de trabalho alcançaram o requisitado de 500 lux pela norma NBR 8995-1 (2013). Também é possível considerar que já houve um aumento significativo em relação ao cenário 1.



Figura 61 - Visualização da sala A-002 no DIALux - Cenário 1 e 2

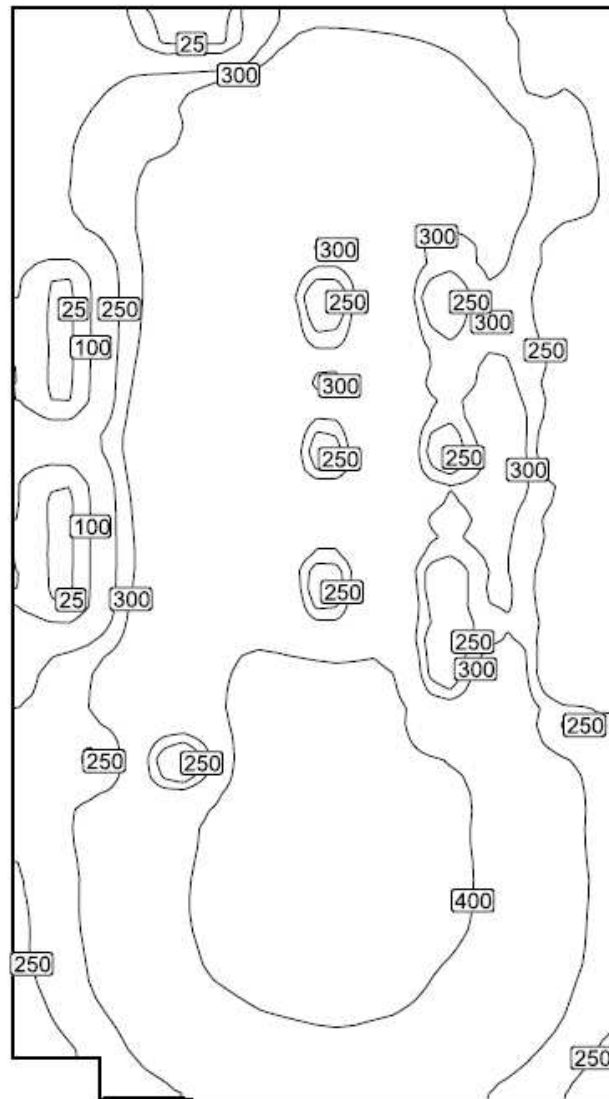


Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

#### 4.2.3 Simulação da A-003 - Cenário 2

O mapa de isolinhas apresenta como está feita a distribuição da iluminância nesse ambiente, conforme a Figura 62 e através da Figura 63 visualiza-se esse resultado pelo mapa de cor falsa.

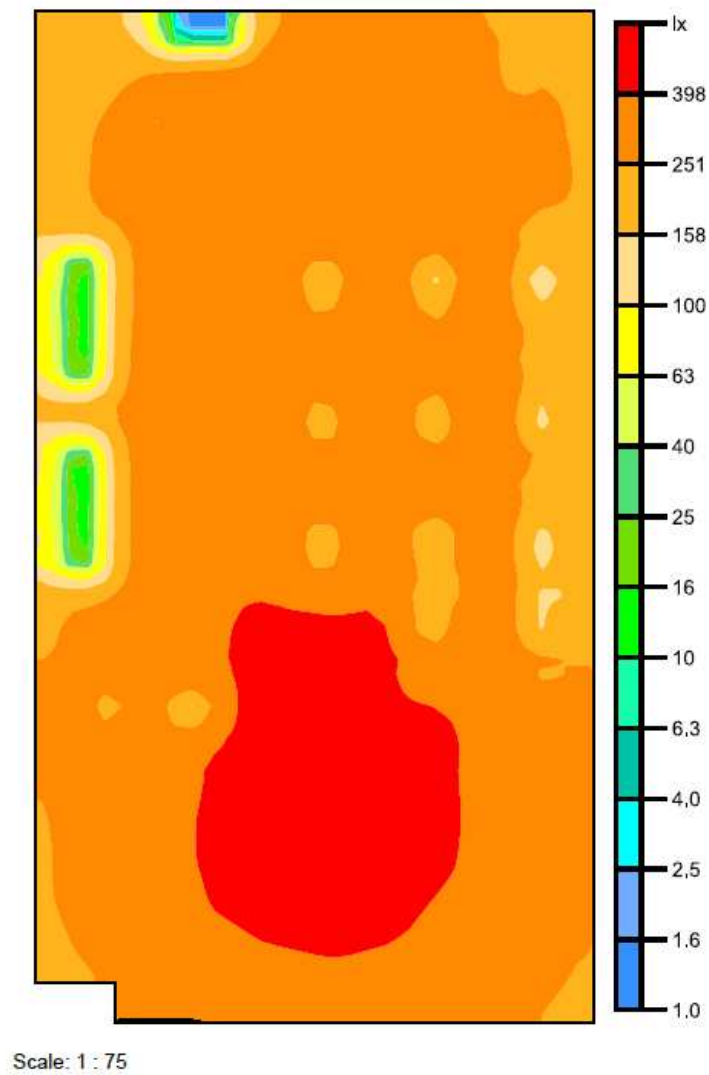
Figura 62 - Isolinhas de iluminância da sala A-003 (lux) - Cenário 2



Scale: 1 : 75

Fonte: Resultado obtido através doDIALux(2019).

Figura 63 - Cores falsas de iluminância da sala A-003 (lux) - Cenário 2



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

A Figura 64 corresponde a realização da sala tanto no cenário 1 quanto no cenário 2, visto que só ocorre a troca de lâmpadas.

Figura 64 - Visualização da sala A-003 no DIALux - Cenário 1 e 2

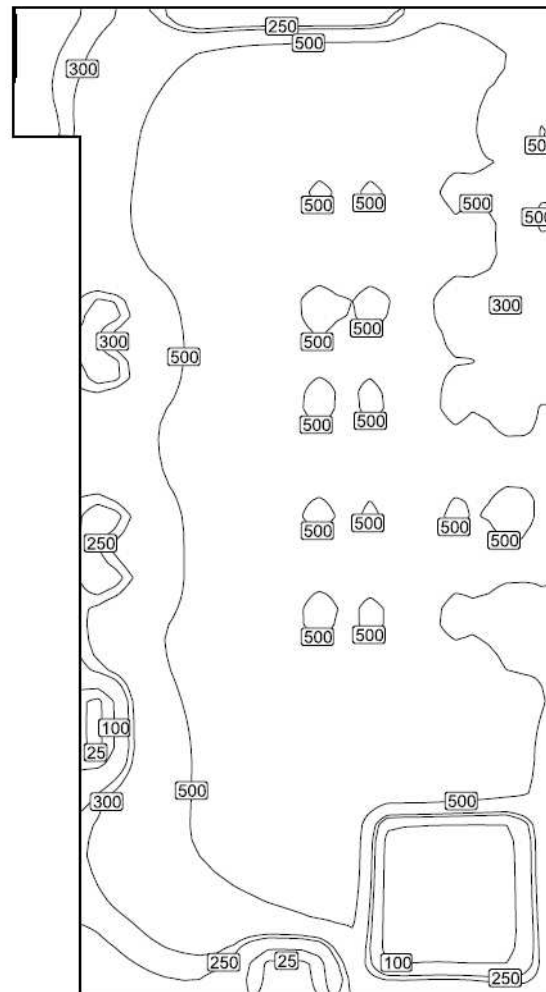


Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

#### 4.2.4 Simulação da A-004 - Cenário 2

O mapa de isolinhas apresenta como está feita a distribuição da iluminância nesse ambiente, conforme a Figura 65 e através da Figura 66 visualiza-se esse resultado pelo mapa de cor falsa.

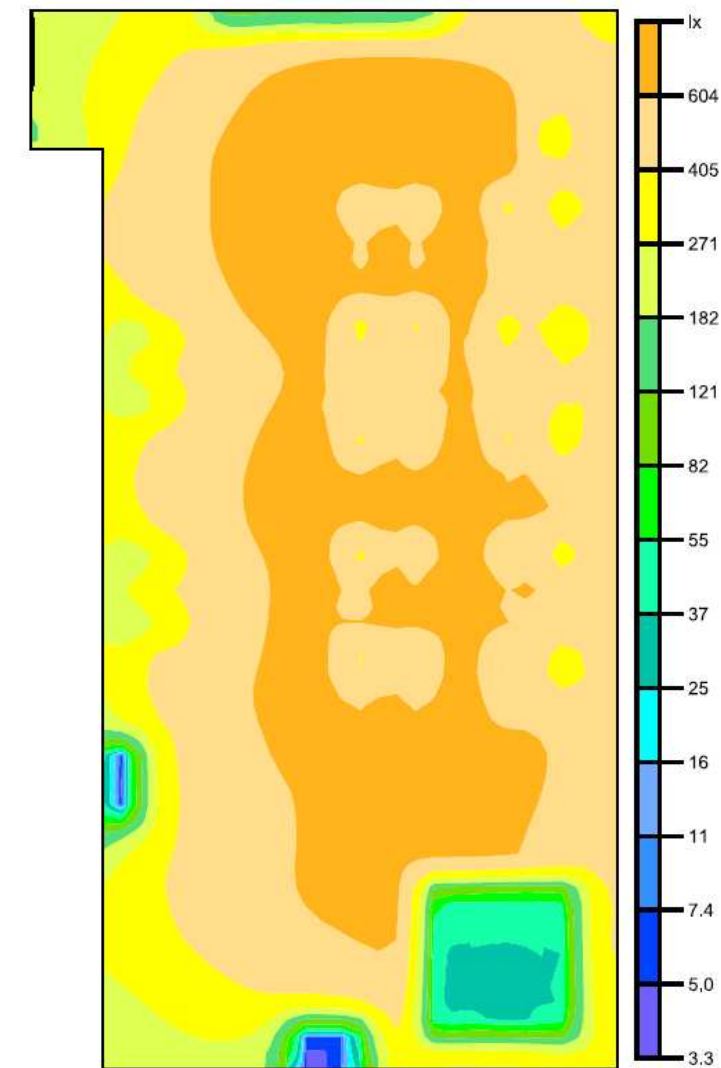
Figura 65 - Isolinhas de iluminância da sala A-004 (lux) - Cenário 2



Scale: 1 : 75

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Figura 66 - Cores falsas de iluminância da sala A-004 (lux) - Cenário 2



Scale: 1 : 75

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

A Figura 67 corresponde a realização da sala tanto no cenário 1 quanto no cenário 2, visto que só ocorre a troca de lâmpadas.

Figura 67 - Visualização da sala A-004 no DIALux - Cenário 1 e 2



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

### 4.3 CENÁRIO 3

As mudanças realizadas no cenário 3 envolvem a redistribuição das luminárias para seu melhor aproveitamento, bem como o uso de novos modelos de lâmpadas e luminárias. A simulação realizou-se integralmente no software Dialux Evo. O software apresenta algumas opções de distribuição de luminárias: Distribuição retangular; Distribuição poligonal; Distribuição circular; Distribuição linear; Distribuição pontual; Distribuição automática.

A distribuição retangular serve para áreas que são retangulares e necessitam de duas dimensões principais que delimitam a área em que as luminárias serão distribuídas. Posteriormente escolhe-se o número de linhas e colunas de luminárias que a distribuição terá, a distância entre as luminárias e a altura a que elas serão instaladas.

Na distribuição poligonal os inputs são, de maneira geral, os mesmos no modelo retangular, com a diferença que a área a ser iluminada tem formato diferente do retangular.

A distribuição circular funciona da mesma forma, com a diferença que as duas dimensões a serem determinadas inicialmente são o centro da circunferência e o seu raio, e posteriormente escolhe-se quantas luminárias serão colocadas ao longo do comprimento da circunferência.

A distribuição linear funciona de maneira equivalente, porém determina-se apenas uma linha, sobre a qual as luminárias serão distribuídas de acordo com a entrada do número de luminárias indicado pelo usuário. Foi o modo de distribuição usado em todos os cenários, exceto nos cenários 1 e 4. Nestes cenários, o método escolhido foi o método de distribuição pontual, pois o objetivo destes cenários eram replicar a instalação das salas da maneira mais fiel possível.

Diferentemente de todas as outras distribuições, que requerem inputs manuais, a distribuição automática traz uma sugestão de distribuição que o software considera razoável para aquela área automaticamente.

Na Tabela 27 encontram-se as informações sobre lâmpadas e luminárias para tais para esse cenário.



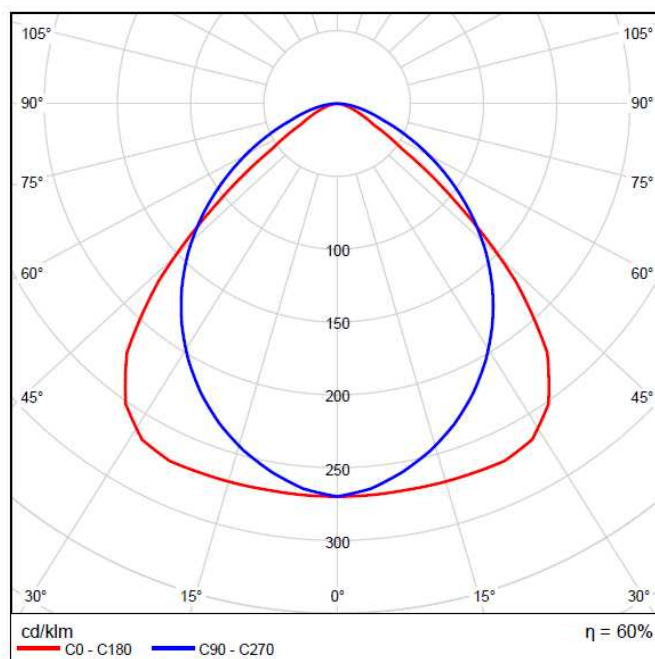
Tabela 27 - Luminárias e lâmpadas usadas no cenário 3

<b>A001</b>	<b>Marca / Modelo</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Vida Útil (horas)</b>	<b>Temperatura da Cor (K)</b>	<b>Cor</b>	<b>Quantidade</b>
Luminária	Philips / TBS165 G 4x	-	-	-	-	14
Lâmpada	Philips / TL5 Essential 14W/830 1SL/40	14	20000	3000	Quente	56
<b>A002</b>	<b>Marca / Modelo</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Vida Útil (horas)</b>	<b>Temperatura da Cor (K)</b>	<b>Cor</b>	<b>Quantidade</b>
Luminária	Philips/ RC484B W60L60 VPC	-	-	-	-	16
Lâmpada	Stella / T5 55CM 9W 6500	9	25000	6500 K	Fria	64
<b>A003</b>	<b>Marca / Modelo</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Vida Útil (horas)</b>	<b>Temperatura da Cor (K)</b>	<b>Cor</b>	<b>Quantidade</b>
Luminária	Philips / TBS165 G 4x	-	-	-	-	16
Lâmpada	Philips / TL5 Essential 14W/830 1SL/40	14	20000	3000 K	Quente	64
<b>A004</b>	<b>Marca / Modelo</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Vida Útil (horas)</b>	<b>Temperatura da Cor (K)</b>	<b>Cor</b>	<b>Quantidade</b>
Luminária	Philips / TBS165 G 4x	-	-	-	-	24
Lâmpada	Philips / TL5 Essential 14W/830 1SL/40	14	20000	3000 K	Quente	96

Fonte: Autoria Própria.

As luminárias utilizadas no cenário 3 das salas A-001, A-003 e A-004 apresentam características que a tornam capaz de economizar energia caso sejam combinadas com lâmpadas TL5 da Philips. Sua aplicação inclui escritórios, corredores, escolas e comércio (Philips, 2019a). De acordo com sua curva de distribuição luminosa, conforme Figura 68, ela é capaz de emitir o fluxo luminoso mais precisamente para o plano de trabalho, e sua emissão horizontal alcança uma região mais ampla.

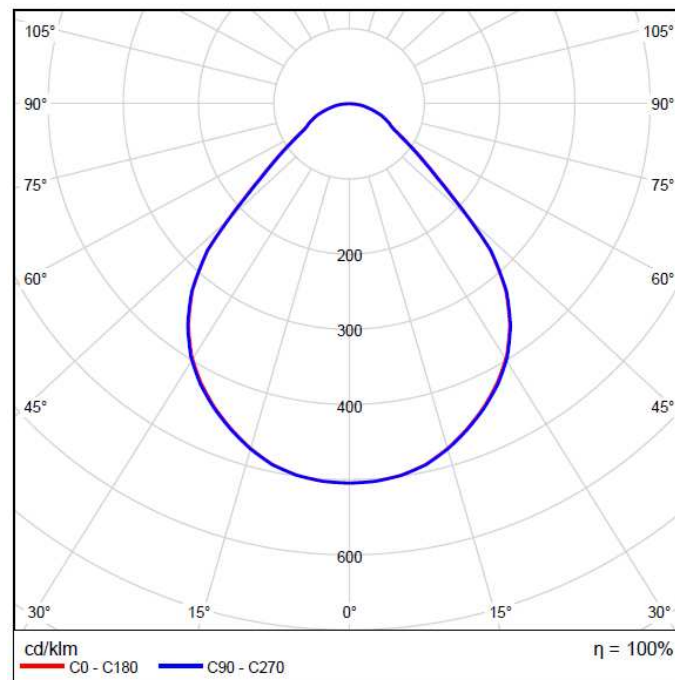
Figura 68 - Curvas de distribuição luminosa da lâmpada TBS165



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

A opção de luminária para a sala A-002 foi a Philips RC484B W60L60 VPC, a qual permite um maior conforto visual ao mesmo tempo que mantém os funcionários e estudantes alertas (Philips, 2019c). Foi utilizada visando atender a iluminância mínima de 1500 lux requisitada pela norma NBR 8995-1 (2013), muito superior aos outros ambientes de estudo. A iluminação direta fornecida por ela é igualmente distribuída na horizontal e na vertical, emitindo o fluxo luminoso diretamente para o plano de trabalho, segundo a Figura 69.

Figura 69 - Curvas de distribuição luminosa da lâmpada RC484B

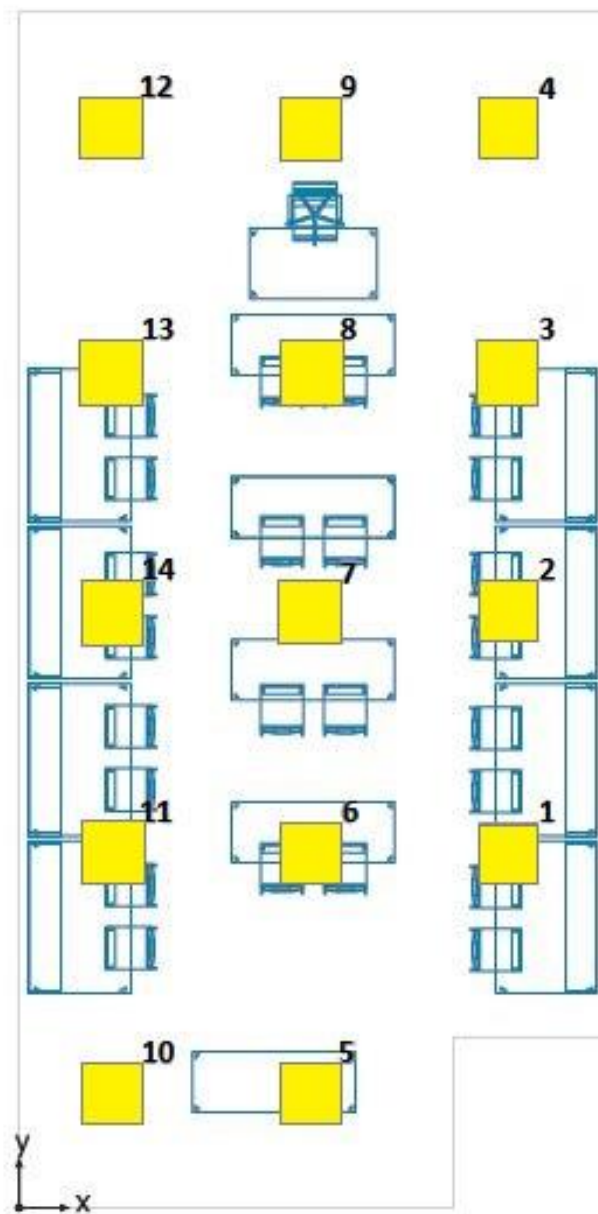


Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

#### 4.3.1 Simulação da A-001 - Cenário 3

A redistribuição das luminárias da sala A-001 e suas informações são abordadas na Figura 70 e na Tabela 28.

Figura 70 - Disposição das luminárias na sala A-001 - Cenário 3



Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

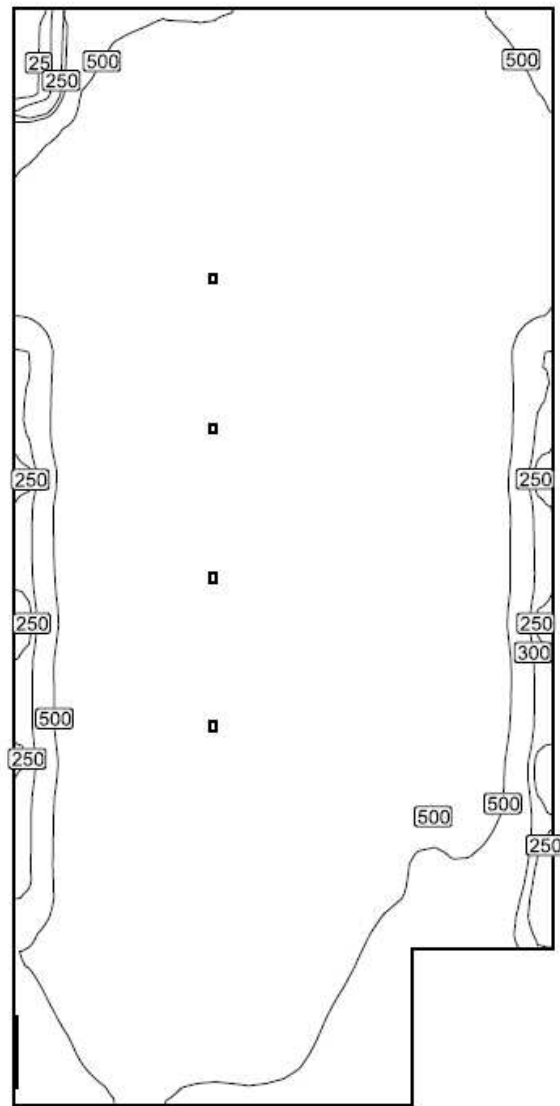
Tabela 28 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A-001 - Cenário 3

Número	X (m)	Y (m)	Altura (m)	Fator de Manutenção
1	4,81	3,50	2,83	0,80
2	4,81	5,87	2,83	0,80
3	4,81	8,25	2,83	0,80
4	4,81	10,62	2,83	0,80
5	2,86	1,12	2,83	0,80
6	2,86	3,50	2,83	0,80
7	2,86	5,87	2,83	0,80
8	2,86	8,25	2,83	0,80
9	2,86	10,62	2,83	0,80
10	0,91	1,12	2,83	0,80
11	0,91	3,50	2,83	0,80
12	0,91	10,62	2,83	0,80
13	0,91	8,25	2,83	0,80
14	0,91	5,87	2,83	0,80

Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

Na Figura 71 e na Figura 72 é possível observa-se que a iluminância está melhor distribuída no ambiente e cumpre o requisito de iluminância mínima de 500 lux da norma NBR 8995-1 (2013).

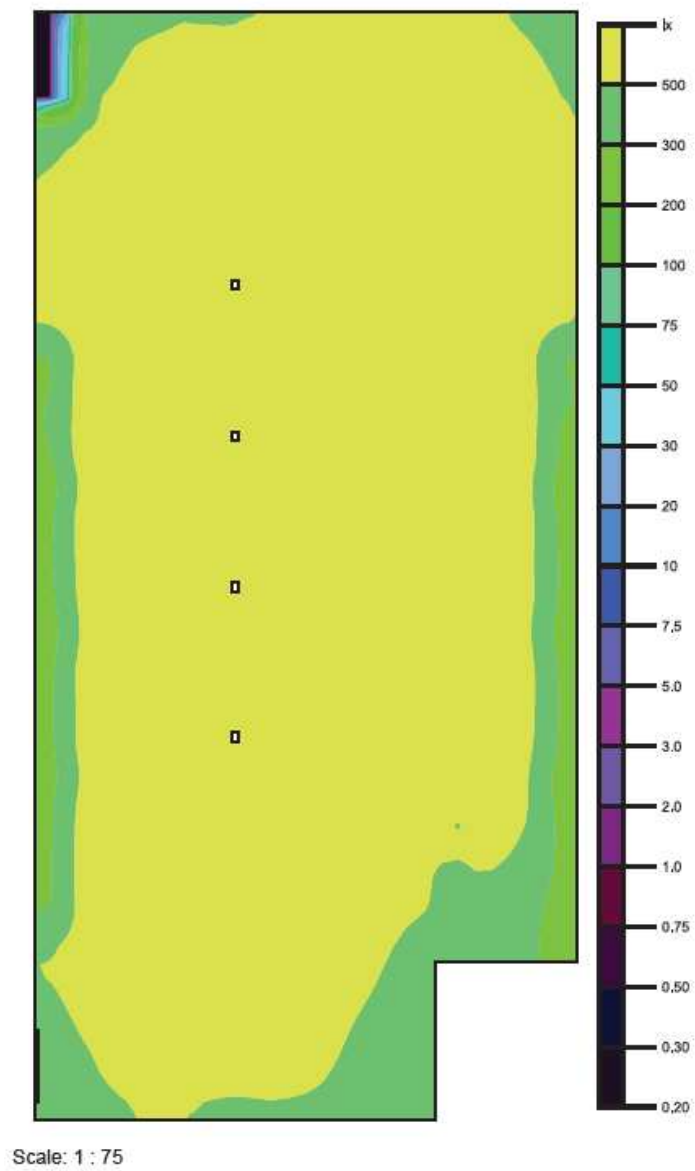
Figura 71 - Isolinhas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 3



Scale: 1 : 75

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Figura 72 - Cores falsas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 3



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

A Figura 73 corresponde a realização da sala no cenário 3.

Figura 73 - Visualização da sala A-001 no DIALux - Cenário 3



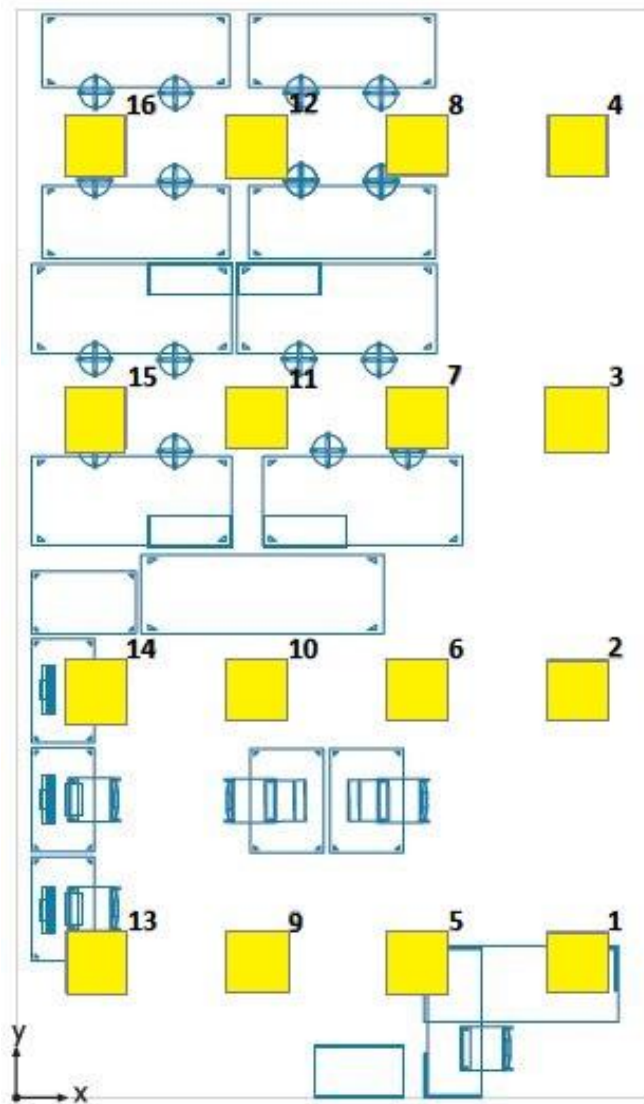
Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

#### 4.3.2 Simulação da A-002 - Cenário 3

A Figura 74 apresenta a nova distribuição das luminárias na sala A002 e a Tabela 29 apresenta suas informações detalhadas.



Figura 74 - Disposição das luminárias na sala A-002 - Cenário 3



Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

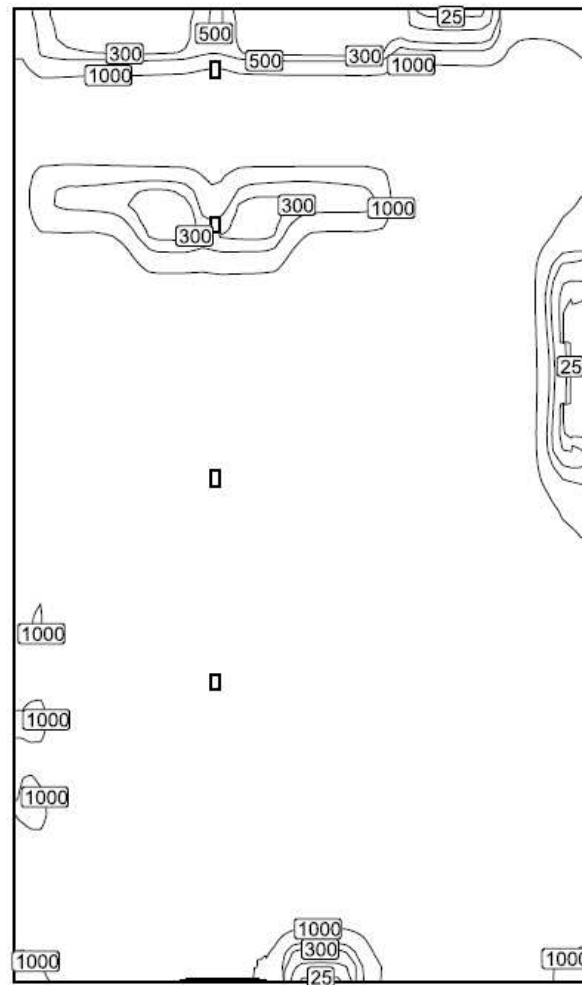
Tabela 29 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A-002 - Cenário 3

Número	X (m)	Y (m)	Altura (m)	Fator de Manutenção
1	5,39	1,31	2,90	0,80
2	5,39	3,93	2,90	0,80
3	5,39	6,55	2,90	0,80
4	5,39	9,17	2,90	0,80
5	3,85	1,31	2,90	0,80
6	3,85	3,93	2,90	0,80
7	3,85	6,55	2,90	0,80
8	3,85	9,17	2,90	0,80
9	2,31	1,31	2,90	0,80
10	2,31	3,93	2,90	0,80
11	2,31	6,55	2,90	0,80
12	2,31	9,17	2,90	0,80
13	0,77	1,31	2,90	0,80
14	0,77	3,93	2,90	0,80
15	0,77	6,55	2,90	0,80
16	0,77	9,17	2,90	0,80

Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

A iluminância na sala A002 melhorou após as alterações para o cenário 3, conforme demonstram a Figura 75 e a Figura 76. A Figura 77 representa a simulação realizada no software utilizado.

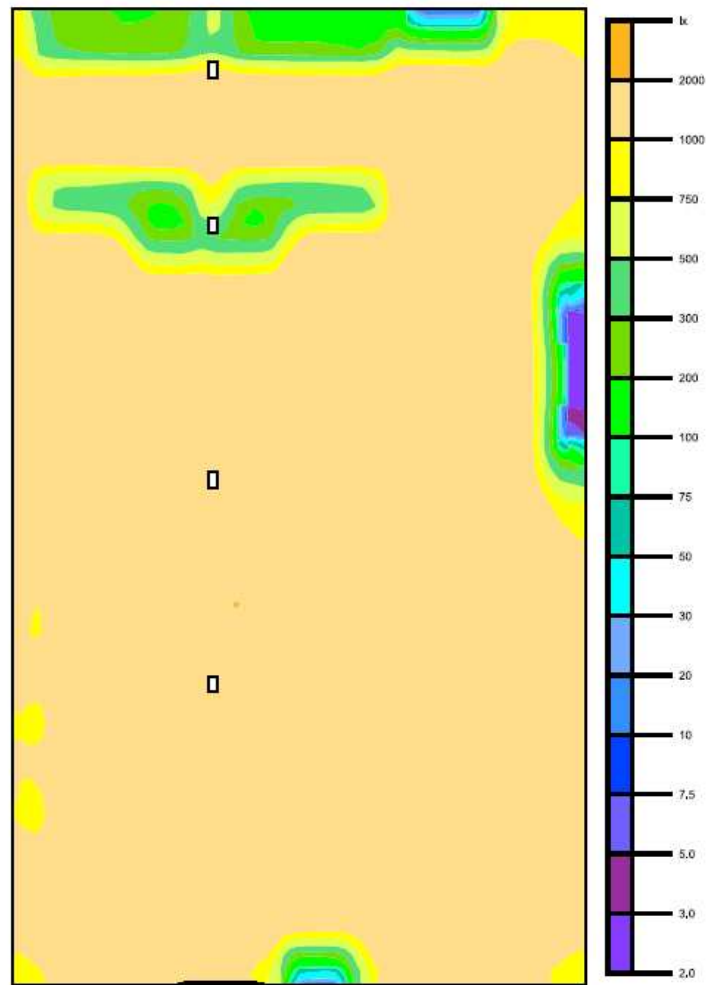
Figura 75 - Isolinhas de iluminância da sala A-002 (lux) - Cenário 3



Scale: 1 : 75

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Figura 76 - Cores falsas de iluminância da sala A-002 (lux) - Cenário 3



Scale: 1 : 75

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Figura 77 - Visualização da sala A-002 no DIALux - Cenário 3

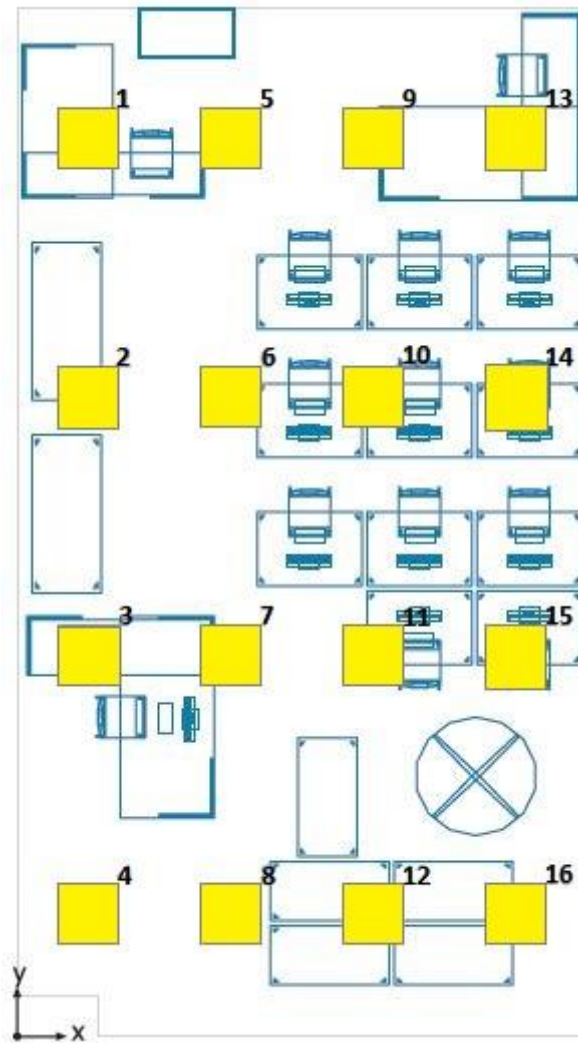


Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

#### 4.3.3 Simulação da A-003 - Cenário 3

A redistribuição das luminárias da sala A003 está apresentada na Figura 78e a Tabela 30aborda suas informações detalhadas.

Figura 78 - Disposição das luminárias na sala A003 - Cenário 3



Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

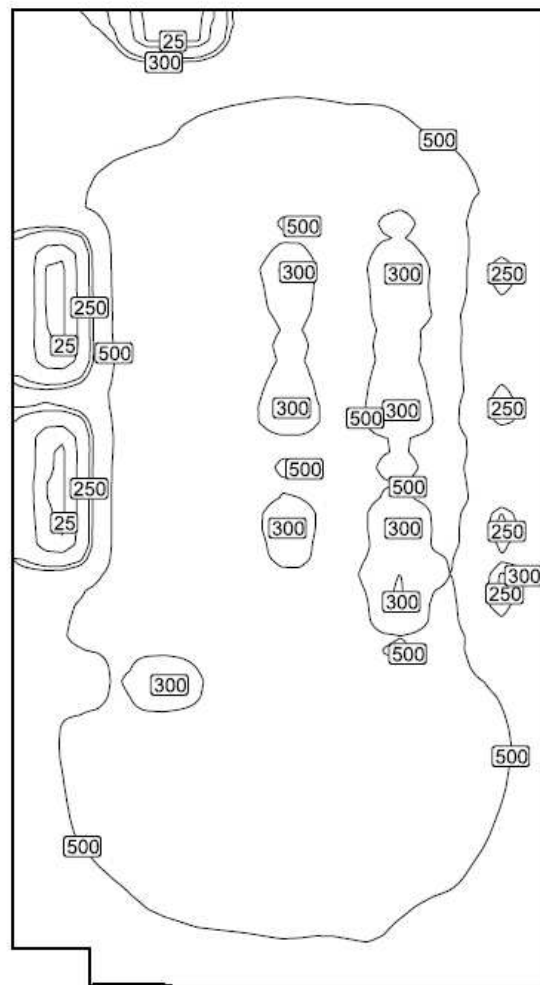
Tabela 30 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A-003 - Cenário 3

Número	X (m)	Y (m)	Altura (m)	Fator de Manutenção
1	0,72	9,10	3,28	0,80
2	0,72	6,48	3,28	0,80
3	0,72	3,86	3,28	0,80
4	0,72	1,24	3,28	0,80
5	2,16	9,10	3,28	0,80
6	2,16	6,48	3,28	0,80
7	2,16	3,86	3,28	0,80
8	2,16	1,24	3,28	0,80
9	3,60	9,10	3,28	0,80
10	3,60	6,48	3,28	0,80
11	3,60	1,24	3,28	0,80
12	3,60	9,17	3,28	0,80
13	5,04	9,10	3,28	0,80
14	5,04	6,48	3,28	0,80
15	5,04	3,86	3,28	0,80
16	5,04	1,24	3,28	0,80

Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

O cenário 3 apresentou valores maiores de iluminância na sala A003, como apresentam a Figura 79e a Figura 80. A Figura 81 representa a simulação da sala no software utilizado.

Figura 79 - Isolinhas de iluminância da sala A-003 (lux) - Cenário 3

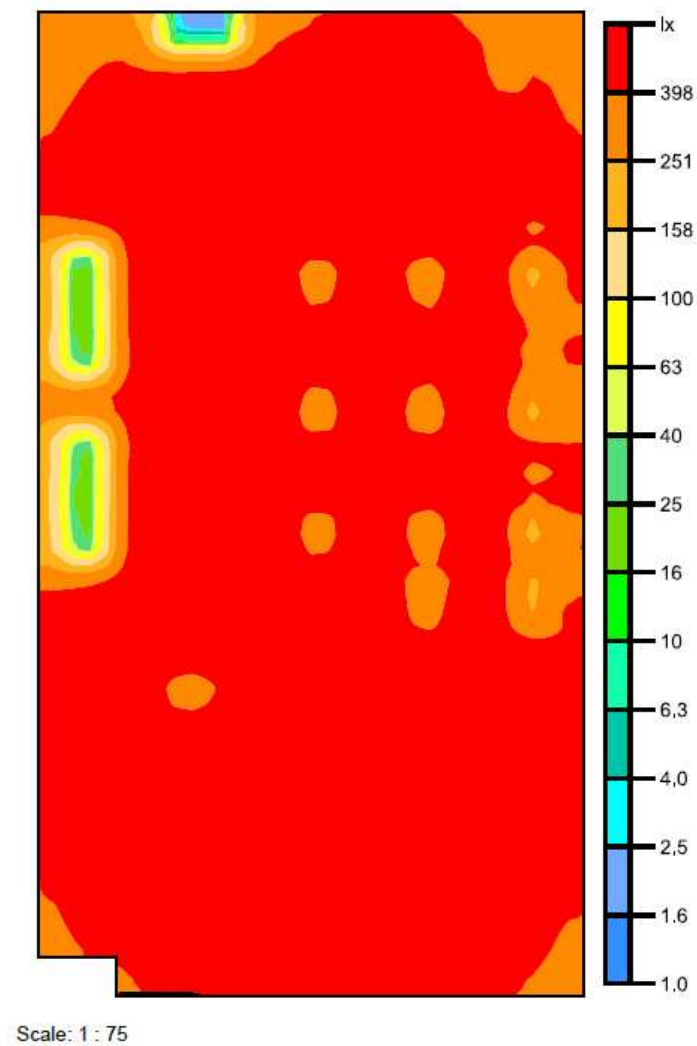


Scale: 1 : 75

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).



Figura 80 - Cores falsas de iluminância da sala A-003 (lux) - Cenário 3



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

*Figura 81 - Visualização da sala A-003 no DIALux - Cenário 3*

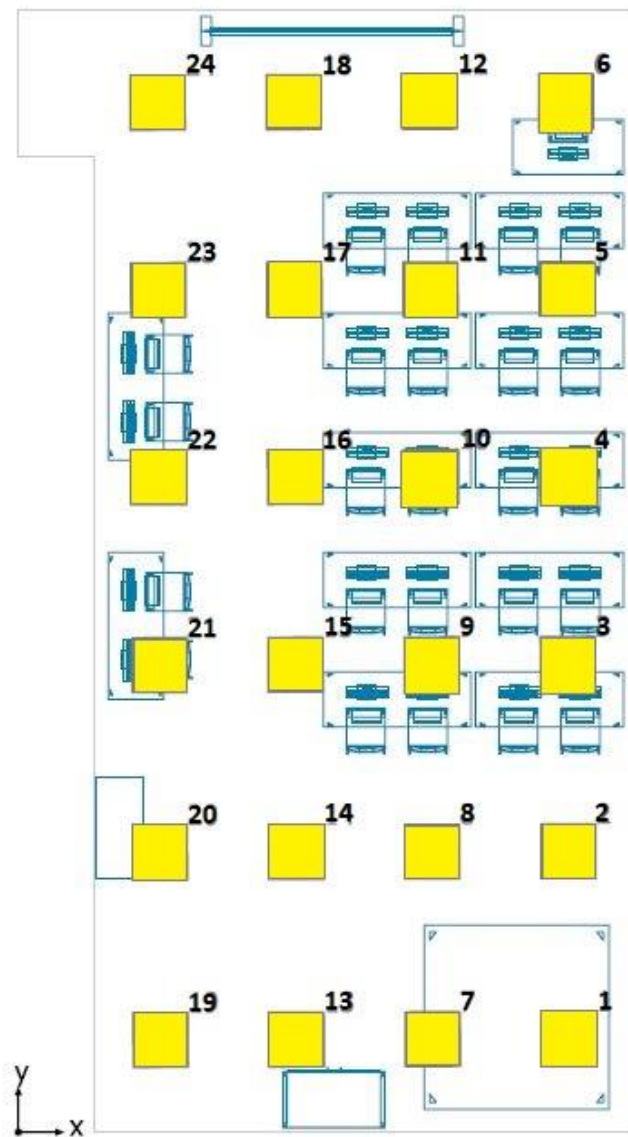


**Fonte: Resultado obtido através do DIALux (2019).**

#### **4.3.4 Simulação da A-004 - Cenário 3**

A redistribuição das luminárias da sala A-004 está apresentada na Figura 82 e a Tabela 31 aborda suas informações detalhadas.

Figura 82 - Disposição das luminárias na sala A-004 - Cenário 3



Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

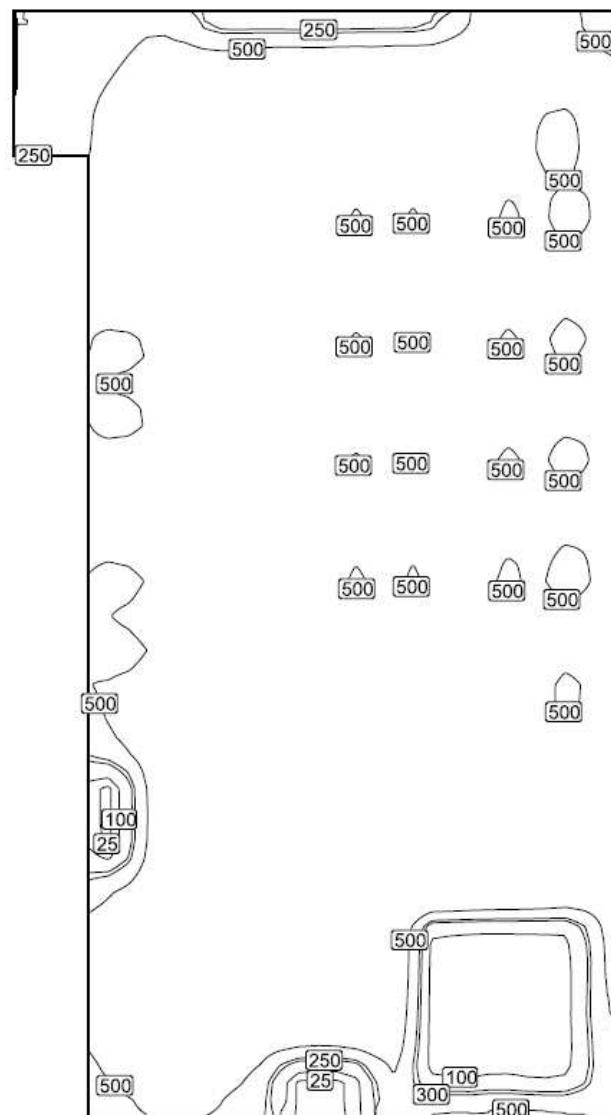
Tabela 31 - Dados de disposição e fator de manutenção das luminárias da sala A-004 - Cenário 3

<b>Número</b>	<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Fator de Manutenção</b>
1	5,96	1,02	3,04	0,80
2	5,95	3,05	3,04	0,80
3	5,95	5,09	3,04	0,80
4	5,94	7,13	3,04	0,80
5	5,94	9,16	3,04	0,80
6	5,93	11,20	3,04	0,80
7	4,49	1,01	3,04	0,80
8	4,48	3,05	3,04	0,80
9	4,47	5,08	3,04	0,80
10	4,47	7,12	3,04	0,80
11	4,46	9,16	3,04	0,80
12	4,46	11,19	3,04	0,80
13	3,01	1,01	3,04	0,80
14	3,01	3,04	3,04	0,80
15	3,00	5,08	3,04	0,80
16	3,00	7,12	3,04	0,80
17	2,99	9,15	3,04	0,80
18	2,98	11,19	3,04	0,80
19	1,54	1,00	3,04	0,80
20	1,53	3,04	3,04	0,80
21	1,53	5,08	3,04	0,80
22	1,52	7,11	3,04	0,80

Fonte: Adaptado do *DIALux* (2019).

Assim como nas outras sala, a A-004 também apresentou maiores valores de iluminância, como mostra a Figura 83 e a Figura 84. As isolinhas e as cores falsas são imagens complementares principalmente para a sala A-004. É possível observar pequenas ilhas também contendo uma escala de 500 lux, embora seja menor do que a região externa devido ao ofuscamento direto. A Figura 85 demonstra a representação através do software utilizado.

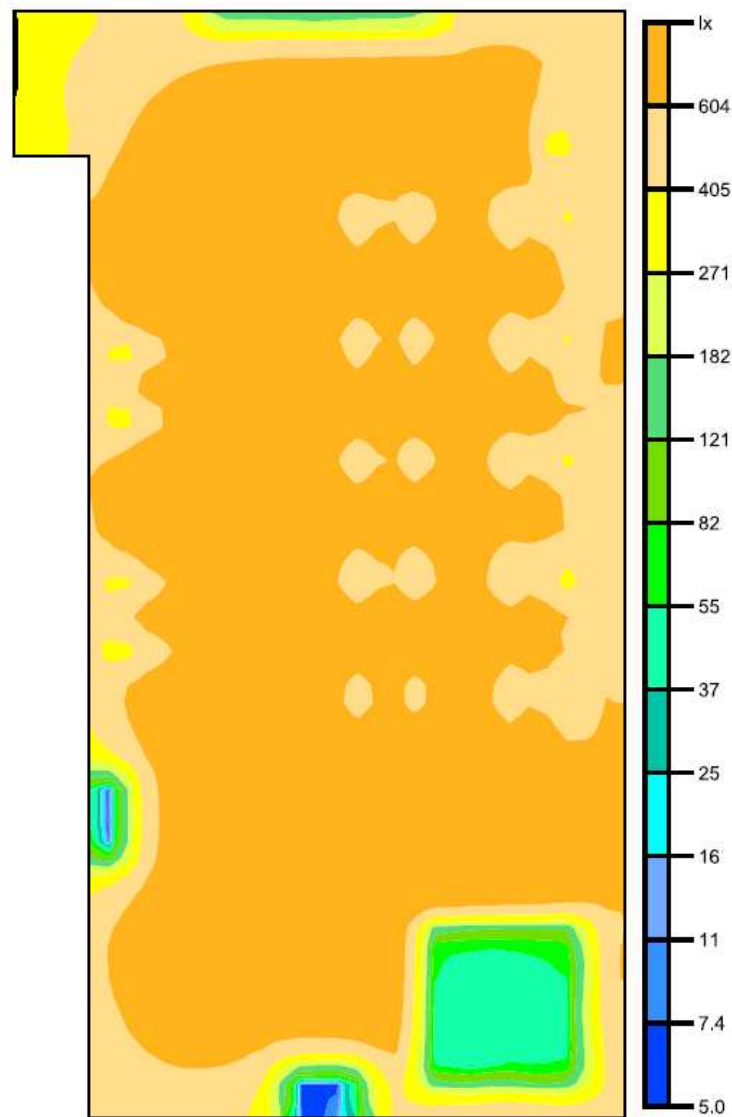
Figura 83 - Isolinhas de iluminância da sala A-004 (lux) - Cenário 3



Scale: 1 : 75

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Figura 84 - Cores falsas de iluminância da sala A-004 (lux) - Cenário 3



Scale: 1 : 75

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Figura 85 - Visualização da sala A-004 no DIALux - Cenário 3



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

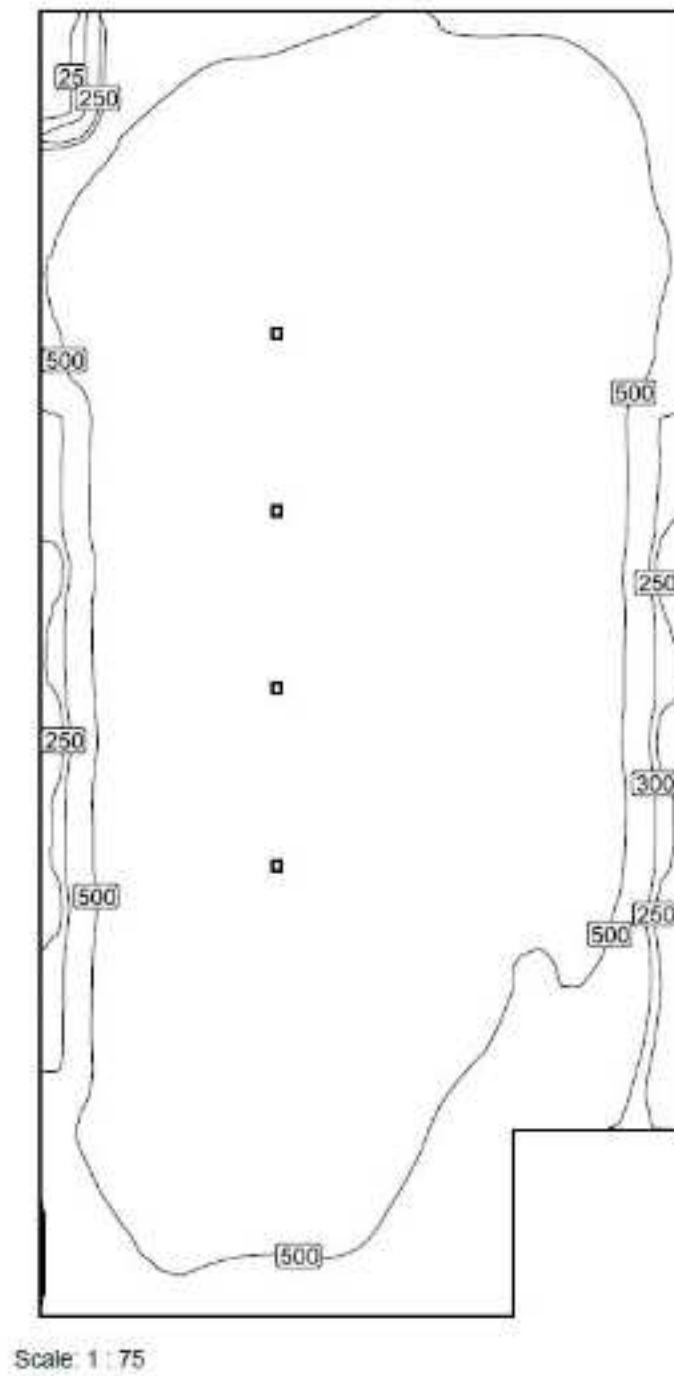
#### 4.4 CENÁRIO 3.B

Realizou-se o cenário 3.B, em detrimento do 3, onde apenas trocou-se o tipo da lâmpada utilizada para a LED, visando a análise não somente luminotécnica, para atender a norma NBR 8995-1 (2013), mas também para realizar uma análise de retorno de investimento que ocorre por a lâmpada LED ser mais cara, entretanto possui uma maior vida útil e eficiência.

##### 4.4.1 Simulação da A-001 - Cenário 3.B

A Figura 86 e a Figura 87 demonstram os níveis baixos de iluminância para o padrão da norma NBR 8995-1 (2013), pelas isolinhas e cores falsas. É possível observar um leve aumento na região atendida pela norma, correspondendo a toda área de trabalho.

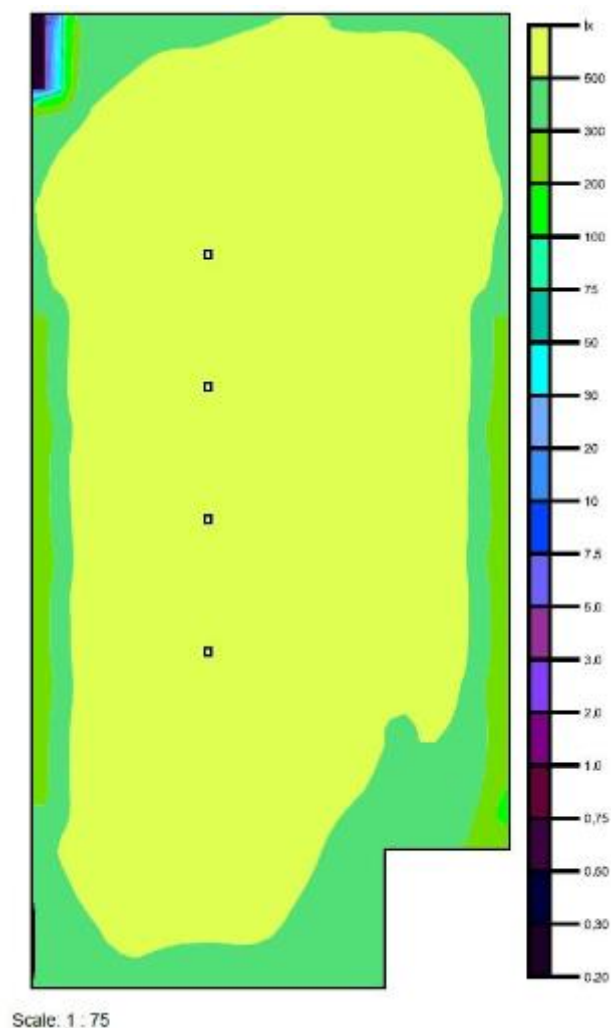
Figura 86 - Isolinhas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 3.B



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).



Figura 87 - Cores falsas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 3.B



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

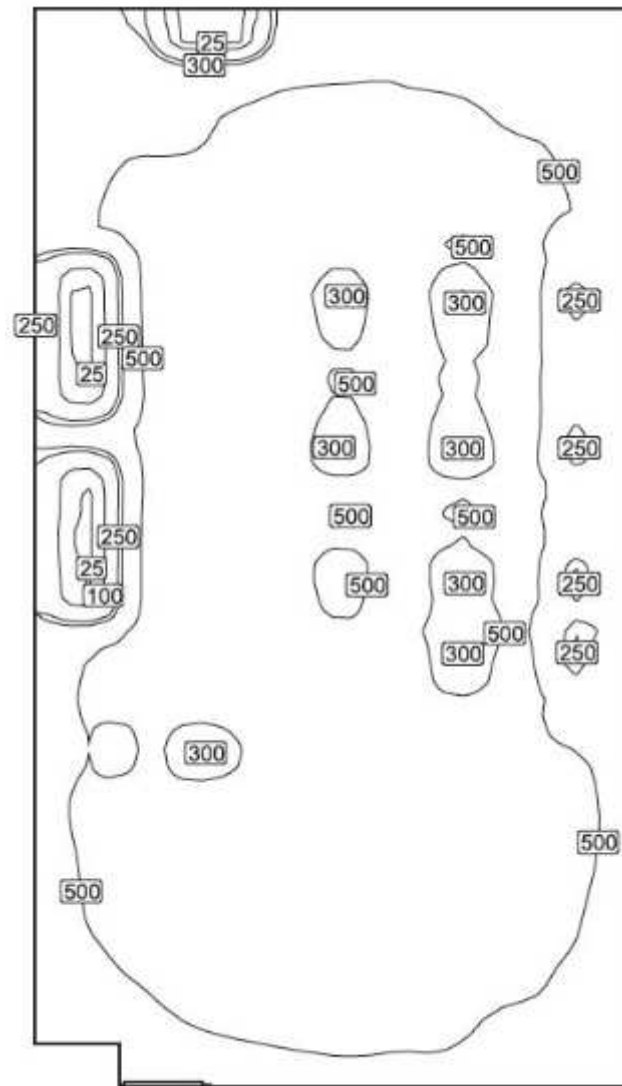
#### 4.4.2 Simulação da A-002 - Cenário 3.B

O ambiente de ensino A-002 não possui o cenário 3.B visto que se utilizou lâmpadas LEDs em seu cenário 3 para poder atingir a iluminância mínima de 1500 lux.

#### 4.4.3 Simulação da A-003 - Cenário 3.B

A Figura 88 e a Figura 89 demonstram os níveis baixos de iluminância para o padrão da norma NBR 8995-1 (2013), pelas isolinhas e cores falsas. Observou-se que sua iluminância está muito similar com o caso 3, melhorado em escalas mínimas, no entanto, utiliza uma potência menor, reduzindo assim o consumo de energia.

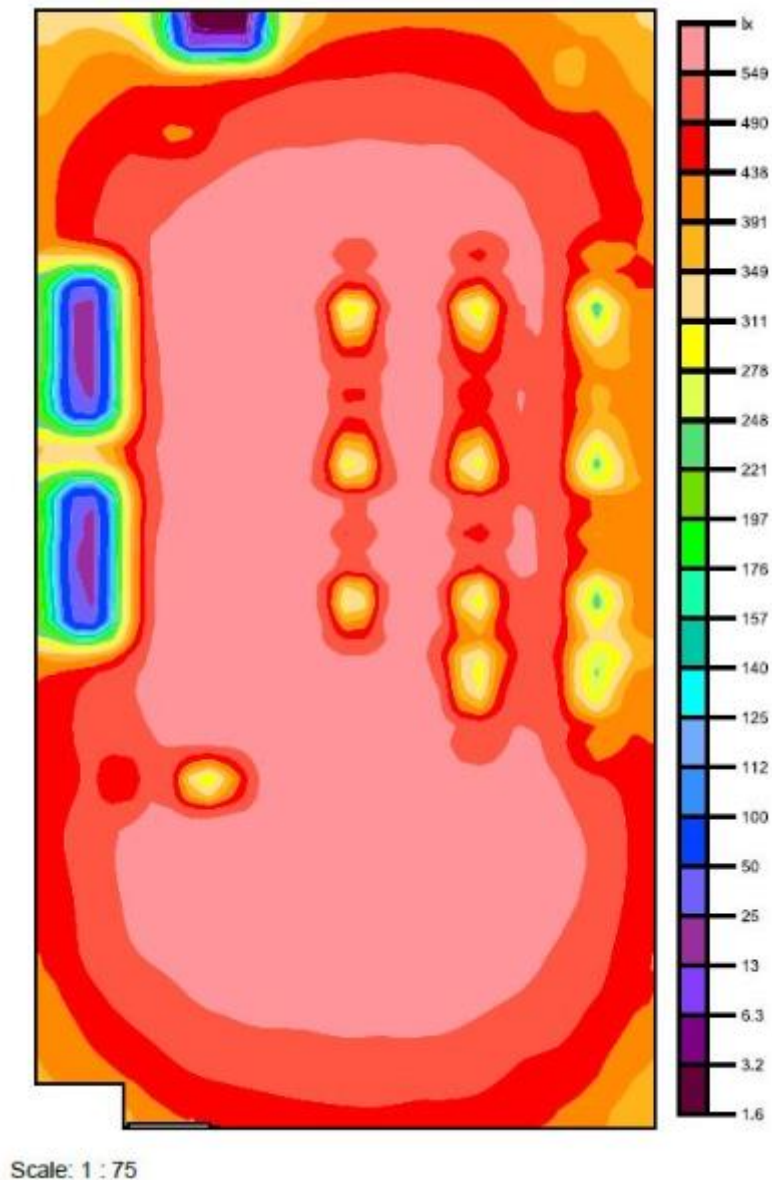
Figura 88 - Isolinhas de iluminância da sala A-003 (lux) - Cenário 3.B



Scale: 1 : 75

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Figura 89 - Cores falsas de iluminância da sala A-003 (lux) - Cenário 3.B

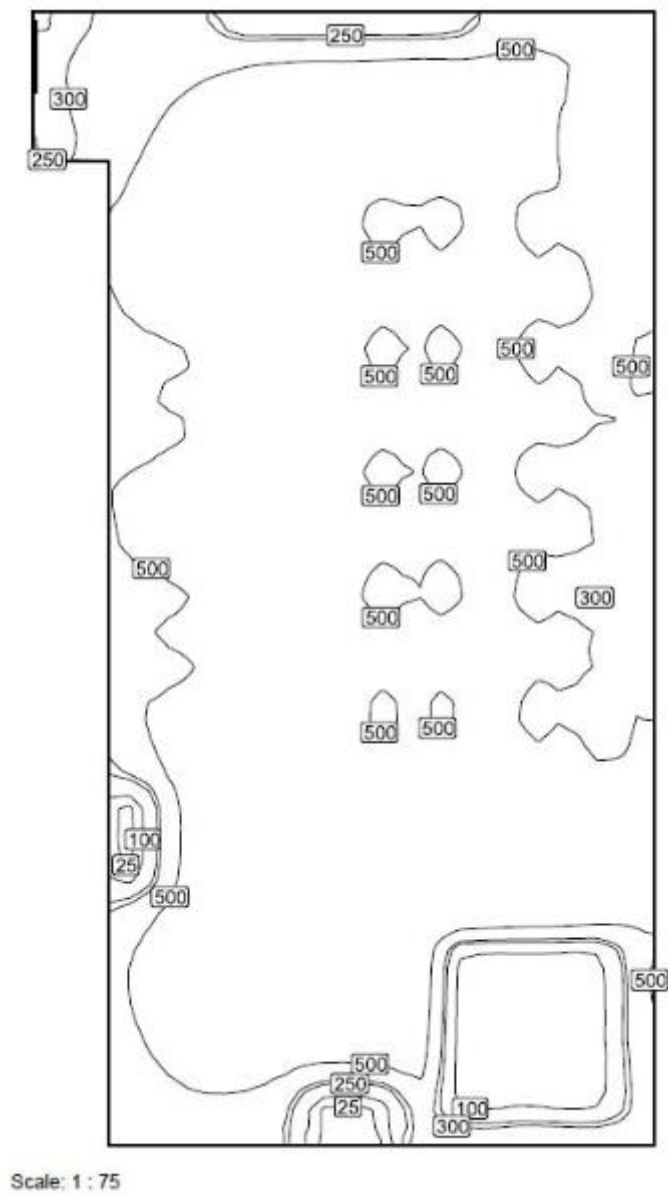


Fonte: Resultado obtido através do *DIALux*(2019).

#### 4.4.4 Simulação da A-004 - Cenário 3.B

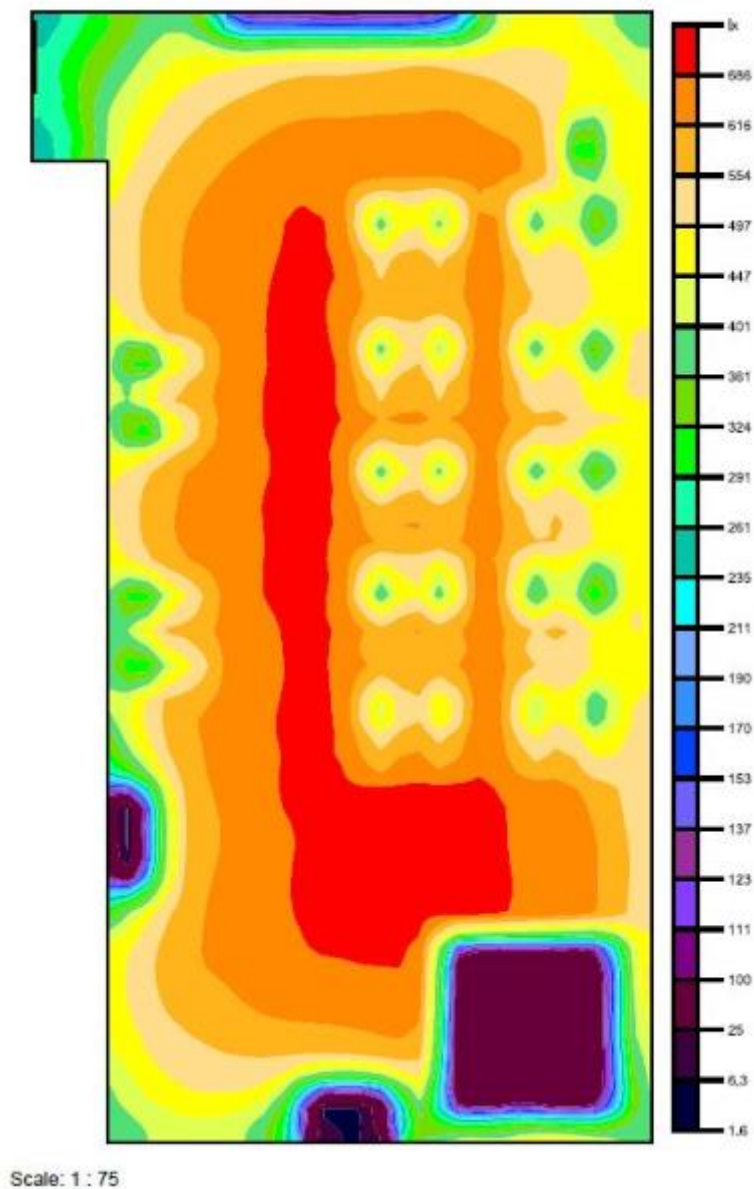
A Figura 90 e a Figura 91 demonstram os níveis baixos de iluminância para o padrão da norma NBR 8995-1 (2013), pelas isolinhas e cores falsas. É possível observar que toda a área de trabalho atende a iluminância mínima de 500 lux.

Figura 90 - Isolinhas de iluminância da sala A-004 (lux) - Cenário 3.B



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux*(2019).

Figura 91 - Cores falsas de iluminância da sala A-004 (lux) - Cenário 3.B



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

#### 4.5 CENÁRIO 4

O cenário 4 é idêntico ao cenário 2, com a diferença das paredes e teto estarem pintadas de branco, com a finalidade de aumentar os índices de iluminação. Sendo assim, a disposição das luminárias, os modelos das lâmpadas e luminárias e o tempo de uso delas são iguais aqueles utilizados no cenário 2, que correspondem à situação real dos ambientes. As diferenças foram mínimas entre o cenário 2 e 4, em todas as salas a iluminância permanece inadequada à norma NBR 8995-1 (2013). Portanto só pintar as paredes, pisos e tetos não atendem a iluminância mínima requisitada, mesmo

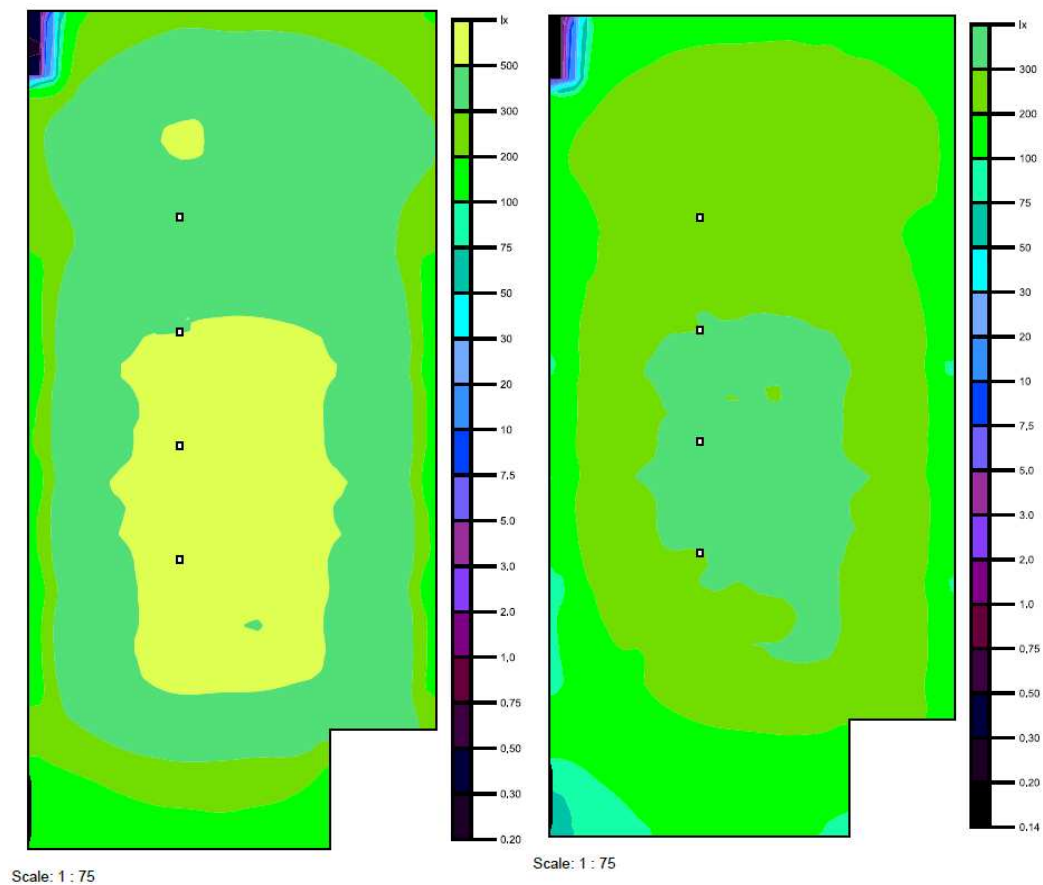
combinandoesse fator com novas lâmpadas, luminárias e outra distribuição. Como não atende a norma e não há muitas mudanças, as simulações não serão apresentadas.

Para efeitos comparativos usou-se a sala A-001 com a simulação do cenário 4 e uma comparação ao cenário 2.

#### 4.5.1 Simulação da A-001 - Cenário 4

A Figura 92 demonstra a diferença de iluminância só alterando as cores de teto, piso e parede no ambiente de estudo pelas cores falsas. A Figura 93 demonstra a comparação através do software utilizado.

Figura 92 - Cores falsas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 2 e 4



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Figura 93 - Visualização da sala A-001 no DIALux - Cenário 1 e 4



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

#### 4.6 CENÁRIO 5

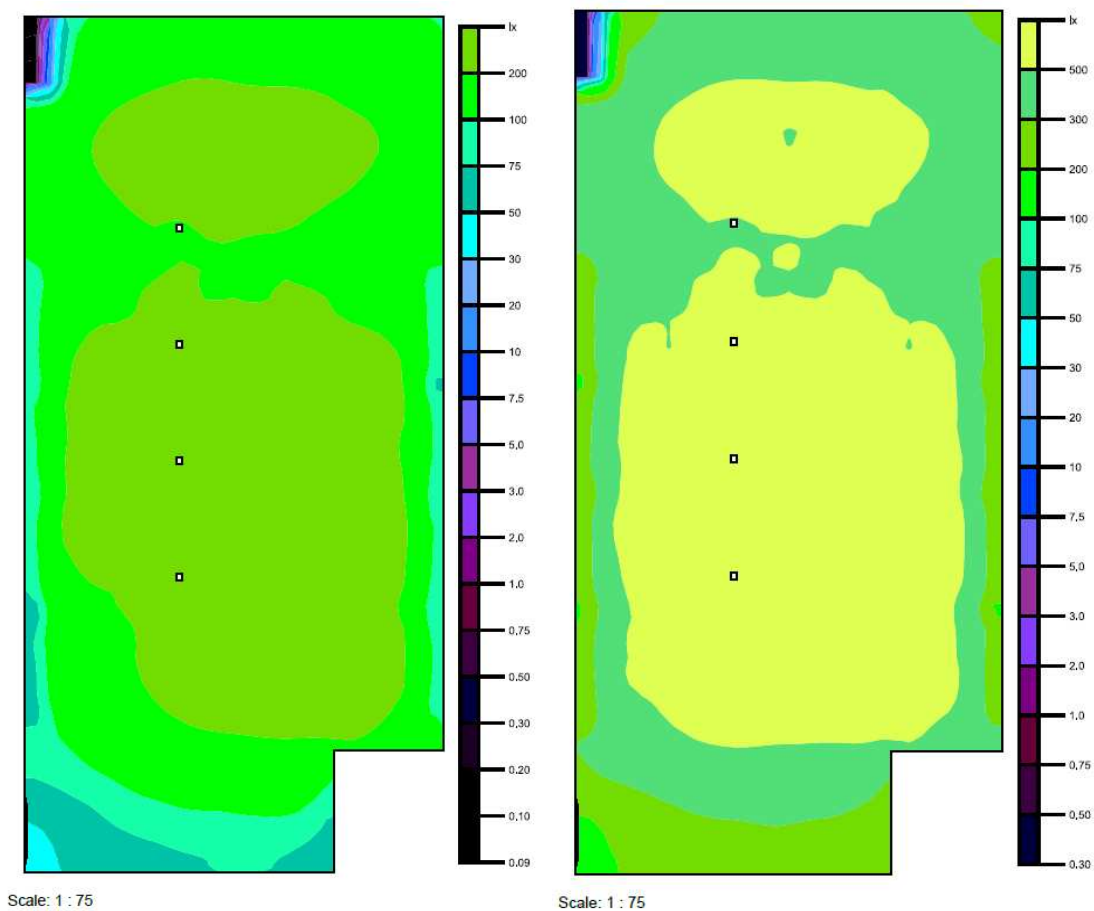
O cenário 5 é idêntico ao cenário 1, com a diferença das paredes e teto estarem pintadas de branco, com a finalidade de aumentar os índices de iluminamento. Sendo assim, a disposição das luminárias, os modelos das lâmpadas e luminárias e o tempo de uso delas são iguais aqueles utilizados no cenário 1, que correspondem à situação real dos ambientes. As diferenças foram mínimas entre o cenário 1 e 5, em todas as salas a iluminância permanece inadequada à norma NBR 8995-1 (2013). Portanto só pintar as paredes, pisos e tetos não atendem a iluminância mínima requisitada, embora haja uma melhoria, é necessário combinar esse fator com novas lâmpadas, luminárias e outra distribuição. Como não atende a norma e não há muitas mudanças, as simulações não serão apresentadas.

Para efeitos comparativos usou-se a sala A-001 com a simulação do cenário 5 e uma comparação ao cenário 1.

##### 4.6.1 Simulação da A-001 - Cenário 5

**A**Erro! Fonte de referência não encontrada. Figura 94 demonstram pelas cores falsas, os níveis de iluminância, com as principais áreas de uso dentro da norma, de iluminância mínima de 500 lux, NBR 8995-1 (2013). Para fins de visualização a imagem da sala retratada pelo software é a mesma tanto no cenário 4 quanto no cenário 5.

Figura 94 - Cores falsas de iluminância da sala A-001 (lux) - Cenário 1 e 5



Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

#### 4.7 RESUMO

A Tabela 32 contém o resumo das iluminâncias médias de cada sala para cada cenário. É necessário entender que apesar de algumas iluminâncias estarem um pouco abaixo da norma, esse valor não reflete a emissão luminosa no plano de trabalho, uma vez que o valor médio abrange também a região de entorno. Os valores ainda representam as diferenças e melhoras entre os cenários, deixando claro que o cenário 3.B apresenta os melhores resultados.



Tabela 32 - Resumo das iluminâncias médias de cada ambiente para cada cenário

Salas	Iluminância – NBR 8995-1 (lx)	Iluminância média - Cenário 1 (lx)	Iluminância média - Cenário 2 (lx)	Iluminância média - Cenário 3 (lx)	Iluminância média - Cenário 3B (lx)	Iluminância média - Cenário 4 (lx)	Iluminância média - Cenário 5 (lx)
A001	500	188	391	563	528	231	482
A002	1500	175	353	1409	1409	279	358
A003	500	335	307	474	494	471	366
A004	500	458	483	629	519	485	489

Fonte: Autoria Própria.

#### 4.8 ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E ECONÔMICO

Para efeito comparativo, realizou-se a análise de cada sala, referente aos cenários 1 (sendo a sala real), 3 e 3. B. A Tabela 33 retrata as entradas necessárias para que o software DIALux Evo possa realizar as considerações de desempenho, tendo como algumas variáveis o tempo em que há iluminação no local, e o preço tarifado da energia no local para que seja possível realizar a análise de desempenho.

Tabela 33-Entradas para Realização

<b>Dias letivos por ano</b>	210
<b>Horas que a universidade fica aberta por dia</b>	16
<b>Horas letivas por ano</b>	3360
<b>Dia</b>	2310
<b>Noite</b>	1050
<b>Fator de Ausência</b>	0,2
<b>Preço kW/h da Copel</b>	R\$ 0,79

Fonte: Autoria Própria.

A UTFPR - campus centro está enquadrada na tarifa verde, o qual corresponde a R\$0,79 o kW/h da Copel Energia. O Fator de Ausência é um parâmetro que considera o tempo em que a lâmpada não está sendo utilizada, considerando-se apenas os dias letivos na universidade.

#### 4.8.1 Análise da sala A-001

No cenário 1 com as entradas da Figura 95, as quais são derivadas da Tabela 33, observa-se o resultado gerado na Tabela 34.

Figura 95 - Análise de desempenho da sala A-001 - Cenário 1

The screenshot displays the following data and settings:

- Consumo de energia e custos:**
  - Consumo: 4950 kWh/a
  - LENI: 75 kWh/a/m<sup>2</sup>
  - Custo: 3897 R\$/a
- Tempos de utilização:**
  - Dia: 2310 Horas por ano
  - Noite: 1050 Horas por ano
  - Factor de ausência: 0.20
  - Perfil de uso activo: Escritórios
  - Atividade: Datilografia, máquina de escrever
- Propriedades taquímetro:**
  - Exibir taquímetro de energia
  - Tipo de mostrador: [Ícones de mostrador]
  - Limite ajustado: 0.000 R\$/a
  - Preço por kWh: 0.790 R\$
  - Unidade de moeda: R\$

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Tabela 34-Análise de Consumos e Custos da sala A-001 - Cenário 1

CENÁRIO 1		
Consumo anual	4950	kW.h/a
Consumo mensal	412,5	kW.h/m
LENI anual (Consumo/Área)	75	(kW.h/a)/m <sup>2</sup>
LENI mensal (Consumo/Área)	6,25	(kW.h/m)/m <sup>2</sup>
Custo anual	3897	R\$/a
Custo mensal	324,75	R\$/m

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

O cenário 1 apresenta principalmente o consumo e o custo como dado principal. Em contrapartida, é possível analisar o cenário 3, considerado a melhor intervenção realizada na Figura 96e na Tabela 35, onde apresentam um consumo maior e

consequentemente um maior custo para poder atingir a iluminância mínima requisitada pela norma NBR 8995-1 (2013) .

Figura 96 - Análise de desempenho da sala A-001 - Cenário 3

The screenshot displays the following data and settings:

- Consumo de energia e custos:**
  - Consumo: 5500 kWh/a
  - LENI: 84 kWh/a/m<sup>2</sup>
  - Custo: 4348 R\$/a
- Tempos de utilização:**
  - Dia: 2310 Horas por ano
  - Noite: 1050 Horas por ano
  - Factor de ausência: 0.20
  - Perfil de uso activo: Escritórios
  - Datilografia, máquina de escreve
- Propriedades taquímetro:**
  - Exibir taquímetro de energia
  - Tipo de mostrador: [Icons for different meter types]
  - Limite ajustado: 0.000 R\$/a
  - Preço por kWh: 0.790 R\$
  - Unidade de moeda: R\$

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Tabela 35 - Análise de Consumos e Custos da sala A-001 - Cenário 3

CENÁRIO 3		
Consumo anual	5500	kW.h/a
Consumo mensal	458,33	kW.h/m
LENI anual (Consumo/Área)	84	(kW.h/a)/m <sup>2</sup>
LENI mensal (Consumo/Área)	7	(kW.h/m)/m <sup>2</sup>
Custo anual	4348	R\$/a
Custo mensal	362,33	R\$/m


Fonte: Resultado obtido através do *DIALux*(2019).

Do cenário 3.B retira-se as seguintes informações presentes na Figura 97 e na Tabela 36, as quais apresentam uma economia em consumo e custo tanto em relação ao cenário 3 quanto ao cenário 1, sendo sua implantação o mais indicado. As mesmas observações são válidas para as demais salas.




Figura 97 - Análise de desempenho da sala A-001 - Cenário 3.B

Consumo de energia e custos	
Consumo	4550 kWh/a
LENI	70 kWh/a/m <sup>2</sup>
Custo	3605 R\$/a

Tempos de utilização	
Dia	2310 Horas por ano
Noite	1050 Horas por ano
Factor de ausência	0.20
Perfil de uso activo	Escritórios
	Datilografia, máquina de escreve
	 Detalhes

Propriedades taquímetro	
<input checked="" type="checkbox"/>	Exibir taquímetro de energia
Tipo de mostrador	  
Limite ajustado	0.000 R\$/a
Preço por kWh	0.790 R\$
Unidade de moeda	R\$

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux*(2019).

Tabela 36 - Análise de Consumos e Custos da sala A-001 - Cenário 3.B

CENÁRIO 3.B		
Consumo anual	4550	kW.h/a
Consumo mensal	379,17	kW.h/m
LENI anual (Consumo/Área)	70	(kW.h/a)/m <sup>2</sup>
LENI mensal (Consumo/Área)	5,88	(kW.h/m)/m <sup>2</sup>
Custo anual	3605	R\$/a
Custo mensal	300,42	R\$/m

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux*(2019).

#### 4.8.2 Análise da sala A-002

No cenário 1 com os inputs da Figura 98, observa-se o resultado gerado na Tabela 37.

Figura 98 - Análise de desempenho da sala A-002 - Cenário 1

The screenshot displays the following data and settings:

- Consumo de energia e custos:**
  - Consumo: 6450 kWh/a
  - LENI: 100 kWh/a/m<sup>2</sup>
  - Custo: 5081 R\$/a
- Tempos de utilização:**
  - Dia: 2310 Horas por ano
  - Noite: 1050 Horas por ano
  - Factor de ausência: 0.20
  - Perfil de uso activo: Escritórios (dropdown)
  - Datilografia, máquina de escre: (dropdown)
  - Button: Detalhes
- Propriedades taquímetro:**
  - Exibir taquímetro de energia
  - Tipo de mostrador: (Three icons: bar chart, gauge, coins)
  - Limite ajustado: 0.000 R\$/a
  - Preço por kWh: 0.790 R\$
  - Unidade de moeda: R\$

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).




Tabela 37 - Análise de Consumos e Custos da sala A-002 - Cenário 1

CENÁRIO 1		
Consumo anual	6450	kW.h/a
Consumo mensal	537,5	kW.h/m
LENI anual (Consumo/Área)	100	(kW.h/a)/m <sup>2</sup>
LENI mensal (Consumo/Área)	8,33	(kW.h/m)/m <sup>2</sup>
Custo anual	5081	R\$/a
Custo mensal	423,42	R\$/m

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Compara-se com a análise do cenário 3, considerado a melhor intervenção realizada na Figura 99e na Tabela 38.

Figura 99 - Análise de desempenho da sala A-002 - Cenário 3

Consumo de energia e custos	
Consumo	9900 kWh/a
LENI	153 kWh/a/m <sup>2</sup>
Custo	7815 R\$/a
Tempos de utilização	
Dia	2310 Horas por ano
Noite	1050 Horas por ano
Factor de ausência	0,20
Perfil de uso activo	Escritórios
	Datilografia, máquina de escre...
	<a href="#">Detalhes</a>
Propriedades taquímetro	
<input checked="" type="checkbox"/>	Exibir taquímetro de energia
Tipo de mostrador	  
Limite ajustado	0.000 R\$/a
Preço por kWh	0.790 R\$
Unidade de moeda:	R\$

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Tabela 38 - Análise de Consumos e Custos da sala A-002 - Cenário 3

CENÁRIO 3		
Consumo anual	9900	kW.h/a
Consumo mensal	825	kW.h/m
LENI anual (Consumo/Área)	153	(kW.h/a)/m <sup>2</sup>
LENI mensal (Consumo/Área)	12,75	(kW.h/m)/m <sup>2</sup>
Custo anual	7815	R\$/a
Custo mensal	651,25	R\$/m

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

#### 4.8.3 Análise da sala A-003

No cenário 1 com os inputs da Figura 100, observa-se o resultado gerado na Tabela 39.

Figura 100 - Análise de desempenho da sala A-003 - Cenário 1

The screenshot displays the following data and settings:

- Consumo de energia e custos:**
  - Consumo: 8900 kWh/a
  - LENI: 149 kWh/a/m<sup>2</sup>
  - Custo: 7039 R\$/a
- Tempos de utilização:**
  - Dia: 2310 Horas por ano
  - Noite: 1050 Horas por ano
  - Factor de ausência: 0.20
  - Perfil de uso activo: Escritórios
  - Atividade: Dactilografia, máquina de escrever
- Propriedades taquímetro:**
  - Exibir taquímetro de energia:
  - Tipo de mostrador: [Icons for different meter styles]
  - Limite ajustado: 0.000 R\$/a
  - Preço por kWh: 0.790 R\$
  - Unidade de moeda: R\$

Fonte: Resultado obtido através doDIALux (2019).

Tabela 39 - Análise de Consumos e Custos da sala A-003 - Cenário 1

CENÁRIO 1		
Consumo anual	8900	kW.h/a
Consumo mensal	741,67	kW.h/m
LENI anual (Consumo/Área)	149	(kW.h/a)/m <sup>2</sup>
LENI mensal (Consumo/Área)	12,42	(kW.h/m)/m <sup>2</sup>
Custo anual	7039	R\$/a
Custo mensal	586,58	R\$/m

Fonte: Resultado obtido através doDIALux (2019).

Compara-se com a análise do cenário 3, considerado a melhor intervenção realizada na Figura 101 e na Tabela 40.

Figura 101 - Análise de desempenho da sala A-003 - Cenário 3

The screenshot displays the following data and settings:

- Consumo de energia e custos:**
  - Consumo: 3300 kWh/a
  - LENI: 55 kWh/a/m<sup>2</sup>
  - Custo: 2591 R\$/a
- Tempos de utilização:**
  - Dia: 2310 Horas por ano
  - Noite: 1050 Horas por ano
  - Factor de ausência: 0.20
  - Perfil de uso activo: Escritórios
  - Equipamento: Datilografia, máquina de escre...
- Propriedades taquímetro:**
  - Exibir taquímetro de energia
  - Tipo de mostrador: [Icons for different meter styles]
  - Limite ajustado: 0.000 R\$/a
  - Preço por kWh: 0.790 R\$
  - Unidade de moeda: R\$

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Tabela 40 - Análise de Consumos e Custos da sala A-003 - Cenário 3





CENÁRIO 3		
Consumo anual	3300	kW.h/a
Consumo mensal	275	kW.h/m
LENI anual (Consumo/Área)	55	(kW.h/a)/m <sup>2</sup>
LENI mensal (Consumo/Área)	4,58	(kW.h/m)/m <sup>2</sup>
Custo anual	2591	R\$/a
Custo mensal	215,92	R\$/m

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Do cenário 3.B retira-se as seguintes informações presentes na Figura 102 e na Tabela 41.



Figura 102 - Análise de desempenho da sala A-003 - Cenário 3.B

Consumo de energia e custos	
Consumo	5200 kWh/a
LENI	87 kWh/a/m <sup>2</sup>
Custo	4120 R\$/a
Tempos de utilização	
Dia	2310 Horas por ano
Noite	1050 Horas por ano
Factor de ausência	0.20
Perfil de uso activo	Escritórios
	Datilografia, máquina de escre
	 Detalhes
Propriedades taquímetro	
<input checked="" type="checkbox"/>	Exibir taquímetro de energia
Tipo de mostrador	  
Limite ajustado	0.000 R\$/a
Preço por kWh	0.790 R\$
Unidade de moeda	R\$

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Tabela 41 - Análise de Consumos e Custos da sala A-003 - Cenário 3.B

CENÁRIO 3.B		
Consumo anual	5200	kW.h/a
Consumo mensal	433,333333	kW.h/m
LENI anual (Consumo/Área)	87	(kW.h/a)/m <sup>2</sup>
LENI mensal (Consumo/Área)	7,25	(kW.h/m)/m <sup>2</sup>
Custo anual	4120	R\$/a
Custo mensal	343,33	R\$/m

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

#### 4.8.4 Análise da sala A-004

No cenário 1 com os inputs da Figura 103, observa-se o resultado gerado na Tabela 42.

Figura 103 - Análise de desempenho da sala A-004 - Cenário 1

The screenshot displays the following data and settings:

- Consumo de energia e custos:**
  - Consumo: 8700 kWh/a
  - LENI: 119 kWh/a/m<sup>2</sup>
  - Custo: 6875 R\$/a
- Tempos de utilização:**
  - Dia: 2310 Horas por ano
  - Noite: 1050 Horas por ano
  - Factor de ausência: 0.20
  - Perfil de uso activo: Escritórios
  - Datilografia, máquina de escreve
- Propriedades taquímetro:**
  - Exibir taquímetro de energia
  - Tipo de mostrador: [Icons for different meter styles]
  - Limite ajustado: 0.000 R\$/a
  - Preço por kWh: 0.790 R\$
  - Unidade de moeda: R\$

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Tabela 42 - Análise de Consumos e Custos da sala A-004 - Cenário 1

CENÁRIO 1		
Consumo anual	8700	kW.h/a
Consumo mensal	725	kW.h/m
LENI anual (Consumo/Área)	119	(kW.h/a)/m <sup>2</sup>
LENI mensal (Consumo/Área)	9,92	(kW.h/m)/m <sup>2</sup>
Custo anual	6875	R\$/a
Custo mensal	572,92	R\$/m

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Compara-se com a análise do cenário 3, considerado a melhor intervenção realizada na Figura 104e na Tabela 43.

Figura 104 - Análise de desempenho da sala A-004 - Cenário 3

The screenshot displays the following data and settings:

- Consumo de energia e custos:**
  - Consumo: 9450 kWh/a
  - LENI: 129 kWh/a/m<sup>2</sup>
  - Custo: 7454 R\$/a
- Tempos de utilização:**
  - Dia: 2310 Horas por ano
  - Noite: 1050 Horas por ano
  - Factor de ausência: 0,20
  - Perfil de uso activo: Escritórios
  - Datilografia, máquina de escre...
- Propriedades taquímetro:**
  - Exibir taquímetro de energia
  - Tipo de mostrador: [Icons for different meter styles]
  - Limite ajustado: 0.000 R\$/a
  - Preço por kWh: 0.790 R\$
  - Unidade de moeda: R\$

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Tabela 43 - Análise de Consumos e Custos da sala A-004 - Cenário 3

CENÁRIO 3		
Consumo anual	9450	kW.h/a
Consumo mensal	787,5	kW.h/m
LENI anual (Consumo/Área)	129	(kW.h/a)/m <sup>2</sup>
LENI mensal (Consumo/Área)	10,75	(kW.h/m)/m <sup>2</sup>
Custo anual	7454	R\$/a
Custo mensal	621,17	R\$/m

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Do cenário 3.B retira-se as seguintes informações presentes na Figura 105 e na Tabela 44.

Figura 105 - Análise de desempenho da sala A-004 - Cenário 3.B

Consumo de energia e custos	
Consumo	7800 kWh/a
LENI	107 kWh/a/m <sup>2</sup>
Custo	6179 R\$/a

Tempos de utilização	
Dia	2310 Horas por ano
Noite	1050 Horas por ano
Factor de ausência	0.20
Perfil de uso activo	Escritórios
	Datilografia, máquina de escre...
	<a href="#">Detalhes</a>

Propriedades taquímetro	
<input checked="" type="checkbox"/>	Exibir taquímetro de energia
Tipo de mostrador	
Limite ajustado	0.000 R\$/a
Preço por kWh	0.790 R\$
Unidade de moeda	R\$

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Tabela 44 - Análise de Consumos e Custos da sala A-004 - Cenário 3.B

CENÁRIO 3.B		
Consumo anual	7800	kW.h/a
Consumo mensal	650	kW.h/m
LENI anual (Consumo/Área)	107	(kW.h/a)/m <sup>2</sup>
LENI mensal (Consumo/Área)	8,91666667	(kW.h/m)/m <sup>2</sup>
Custo anual	6179	R\$/a
Custo mensal	514,916	R\$/m

Fonte: Resultado obtido através do *DIALux* (2019).

Em todos os cenários pode-se observar a vantagem da lâmpada LED em relação a fluorescente, ao seu menor consumo energético, o que reflete no preço final de consumo.

#### 4.9 INVESTIMENTOS ESTIMADOS

Considerando os resultados obtidos do cenário 3, a partir das comparações realizadas com o cenário 1, optou-se pela implementação do cenário 3. Para a execução do projeto, é necessário que a instituição de ensino faça um investimento nos ambientes de estudo. Ou seja, será indispensável a aplicação de recursos para que se obtenha retornos futuros. Os benefícios gerados por essa aplicação são destinados tanto à instituição quanto aos alunos e professores. Será possível observar melhorias no conforto visual imediato, que a longo prazo irá resultar no aumento da eficiência dos trabalhos realizados nesses laboratórios e atenderá a norma ISO 8995-1 (2013), responsável por regulamentar a iluminância em ambientes. O investimento requerido para esse caso é de R\$23.000,95, considerando a troca das lâmpadas e luminárias e sua disposição, ressaltando que ainda há o custo de serviço, conforme apresenta a Tabela 45.

Tabela 45 - Investimento necessário para implantação do cenário 3

<b>Características do sistema de iluminação e ambiente</b>		
Modelo de lâmpada	3	Philips / TL5 Essencial 14W/830 1SL/40
Modelo de lâmpada	3.B	Stella / T5 55CM 9W 6500K
Modelo de luminária	3	Philips / TBS165 G 4x
Modelo de luminária	3.B	Philips / RC484B W60L60 VPC
Vida Útil	Horas (3)	12000
Vida Útil	Horas (3.B)	25000
Quantidade total de lâmpadas	Unidades (3)	216
Quantidade total de lâmpadas	Unidades (3.B)	64
Quantidade total de luminárias	Unidades (3)	54
Quantidade total de luminárias	Unidades (3.B)	16
Potência instalada em cada luminária	Watts (3)	56
Potência instalada em cada luminária	Watts (3.B)	36
Potência total instalada	kW	3,60
<b>Características de uso</b>		
Tempo de uso mensal	Horas/mês	224
Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação (considerando a lâmpada de menor tempo de vida útil:	Meses	16,875
<b>Custo dos equipamentos</b>		
Preço de cada lâmpada	R\$ (3)	7,12
Preço de cada lâmpada	R\$ (3.B)	29,00
Preço de cada luminária	R\$ (3)	298,19
Preço de cada luminária	R\$ (3.B)	215,81
Custos de equipamento para instalação	R\$	22.949,14
<b>Custos operacionais</b>		
Custo médio mensal de reposição das lâmpadas	R\$	51,81
Investimento total	R\$	23.000,95

Fonte: Autoria Própria.

Tendo em vista o cenário 3.B, em que são consideradas que todas as lâmpadas implementadas são LED (Stella, T5 55CM 9W 6500K), o investimento é um pouco maior conforme a Tabela 46. A análise de *payback* desse investimento, que será apresentada em seguida, demonstra que, através da redução do consumo de energia e do maior tempo de vida útil da lâmpada, a implementação desse cenário é viável.

Tabela 46 - Investimento necessário para implantação do cenário 3.B

<b>Características do sistema de iluminação e ambiente</b>		
Modelo de lâmpada	-	Stella / T5 55CM 9W 6500K
Modelo de luminária	A	Philips / TBS165 G 4x
Modelo de luminária	B	Philips / RC484B W60L60 VPC
Vida Útil	Horas	25000
Quantidade total de lâmpadas	Unidades	280
Quantidade total de luminárias	Unidades (3)	54
Quantidade total de luminárias	Unidades (3.B)	16
Potência instalada em cada luminária	Watts	36
Potência total instalada	kW	2,52
<b>Características de uso</b>		
Tempo de uso mensal	Horas/mês	224
Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação	Meses	97,66
<b>Custo dos equipamentos</b>		
Preço de cada lâmpada	R\$	29,00
Preço de cada luminária	R\$	298,19
Preço de cada luminária	R\$	215,81
Custos de equipamento para instalação	R\$	27.675,22
<b>Custos operacionais</b>		
Custo médio mensal de reposição das lâmpadas	R\$	83,15
Investimento total	R\$	27.758,37

**Fonte: Autoria Própria.**

Realizou-se os desdobramentos dos cálculos para visualizar os benefícios desse investimento com as lâmpadas LED, para verificação da amortização em todas as salas do cenário 3.B e na sala A-002 cenário 3, por já possuir o uso de LED.



A economia de energia é dada pela diferença entre a potência da lâmpada fluorescente (14 W) e a potência da lâmpada LED (9 W) instaladas. Seu resultado (5 W) multiplicado pelo número de lâmpadas fluorescentes a serem substituídas (280) é equivalente a 1,4 kW.

Para calcular a economia anual é preciso encontrar quantas horas no ano as lâmpadas estarão em uso. Considerando que a UTFPR funciona das 7 horas às 23 horas, com um total de 16 horas de operação. Entretanto as salas não serão utilizadas em 100% do tempo, dessa forma, foi considerado um fator de ausência de 20%, totalizando em 12,8 horas diárias de uso. Os laboratórios são utilizados somente em dias úteis, ou seja, 5 dias por semana. Dessa forma, tem-se 64 horas de utilização semanal. Contando que são 210 dias letivos, e que cada semana é composta de 5 úteis, tem-se 42 semanas de uso no ano. Portanto, as horas utilizadas dos laboratórios por ano é dada pela multiplicação do uso de horas diário (12,8 h), da quantidade de dias úteis na semana (5) e da quantidade de semanas utilizadas no ano (42), resultando em 2688 horas por ano.

A economia anual é o resultado da multiplicação do total da diferença de potência (1,4 kW) pela quantidade de horas de uso anual (2688 h), correspondendo a 3763,20 kWh/ano ou 3,20 Tons de Produção de CO<sub>2</sub> ano. Para conversão em reais basta multiplicar a economia de energia anual (3763,20 kWh) pela tarifa vigente a qual a universidade está aplicada (R\$0,79), gerando o montante de R\$2.972,93.

Para encontrar o tempo de duração das lâmpadas de LED instaladas é feita a relação entre a vida útil em horas de cada lâmpada (25000 h) pela quantidade de horas utilizadas por ano (2688 h). Dessa forma, é possível afirmar que o tempo que deve transcorrer para que seja necessária a substituição dessas lâmpadas é de aproximadamente 9 anos. Considerando que a cada ano é economizado R\$29.72,93 em energia, o valor poupado nos 9 anos de durabilidade das lâmpadas é de R\$27.650,02.

O investimento inicial para a implementação da utilização de lâmpadas LED é de R\$27.758,37, como apresentado na Tabela 46, e a economia anual por apresentar menor consumo de energia passa a ser de R\$2.972,93. Fazendo a relação entre esses parâmetros é possível afirmar que em 9,3 anos a dívida do investimento estaria quitada, utilizando apenas a redução do consumo de energia, devido à utilização de lâmpadas LED. Se forem acrescentados mais 9,3 anos a esse período, o gasto seria apenas da troca das lâmpadas, já que elas chegaram ao seu limite de vida útil, e, portanto, o tempo de amortização seria de 2,73 anos. Com o intervalo de tempo restante (6,57 anos), seria possível alcançar um lucro de R\$19.532,15.



## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho de conclusão de curso apresenta um projeto luminotécnico para ambientes didáticos na UTFPR campus Curitiba na sede centro, analisando diversos cenários, envolvendo custos de pintura para melhoria de refração do teto, parede e piso, custo de novas lâmpadas, fluorescentes ou LED, novas luminárias e outras opções de distribuição, com a finalidade principal de atender a norma vigente.

A importância deste tema tem impactos diretos na ergonomia e na segurança do trabalho dos ambientes estudados. Em como a alteração da iluminância tem impactos diretos no plano de trabalho utilizado, onde um melhor ambiente proporciona uma melhor concentração e realização das atividades para dos docentes e discentes.

Após a realização dos cinco cenários, observou-se que foi possível as áreas de trabalho atingirem a norma NBR 8995-1 (2013), tendo seus valores mais adequados no cenário 3, onde trocou-se as lâmpadas, as luminárias e sua disposição. A partir disto, realizou-se o cenário 3.B, sendo sua diferença apenas o uso de lâmpadas LEDs em detrimento a fluorescente. Realizou-se um estudo de investimento onde a amortização do uso de lâmpadas LEDs ocorre em 9,3 anos. Um uso recomendado visto que além de cumprir as iluminâncias mínimas propostas, também apresentam uma economia de custos para a UTFPR.

O retorno financeiro apesar de ser dado em longo prazo, cerca de 18 anos, é resultado de uma melhoria necessária. Como já comentado anteriormente, a ergonomia é importante e deve cumprir os requisitos da NR-17. A carência de ergonomia influencia na eficiência do trabalho produzido - qualitativa e quantitativamente - e pode causar danos à saúde. Sendo assim, os funcionários e estudantes podem entrar com ação trabalhista contra a instituição, requerendo indenização, principalmente se as condições estão desfavoráveis há um longo período de tempo, pois dessa forma o dano é maior.

É possível pensar na expansão desse projeto tanto para os mesmos ambientes desse estudo, como também para a universidade toda. Os cenários analisados no trabalho foram selecionados por apresentarem maior simplicidade e para demonstrar as diferenças que as mudanças causam. Todavia, outros cenários podem ser projetados para angariar resultados tão satisfatórios quanto os apresentados, ou ainda melhores. Seria possível, além das substituições de lâmpadas por outras mais modernas, a pintura de paredes e teto, melhorando a refletância do ambiente. Caso queira-se melhorar ainda mais o cenário, pensando também na maior economia de energia, há a opção de

instalação de sensores de presença, garantindo que o consumo de energia exista somente quando há alguém presente no ambiente.

A expansão do projeto para toda a universidade é possível, mas gastaria mais tempo para ser realizado, uma vez que cada ambiente tem sua característica própria, como, por exemplo, salas que recebem – em níveis diferentes – emissão de luz natural. Outro obstáculo para o planejamento luminotécnico em todo o ambiente acadêmico é a flexibilidade de funcionalidade das salas e laboratórios. É comum que uma sala antes utilizada para laboratório de eletrônica, passe a ser um laboratório de modelagem para o curso de design.

Ampliando ainda mais os prospectos futuros, caso toda a universidade esteja de acordo com as normas brasileiras propostas, seria interessante estender o projeto de sustentabilidade de geração de energia fotovoltaica do Escritório Verde (campus Curitiba) para o uso da própria universidade.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 15215-1 – Iluminação Natural**. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT. **NBR 5461 - Iluminação - Terminologia**. Rio de Janeiro, 1991.
- ABNT. **NBR IEC 62560:2013 – Lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado para serviços de iluminação geral para tensão > 50 V — Especificações de segurança**. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT. **NBR ISO/CIE 8995-1 – Iluminação em Ambientes de Trabalho**. Rio de Janeiro, 2013.
- AGÊNCIA SENADO. 2014. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2014/03/27/potencial-hidreletrico-do-brasil-acaba-em-dez-anos-alertam-especialistas>>. Acesso em: 16 set. 2018.
- AMARAL, K.M.; CERZINI, M.T.; POLLI, H.Q. **Avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais em uma Instituição de Ensino com o Uso da Ferramenta FMEA**. InterfacEHS - Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade. Vol 11 no 1 - junho de 2016, São Paulo: Centro Universitário Senac.
- ANEEL. **Avanços Tecnológicos no Setor Elétrico: R\$3 bilhões em investimentos de 1998 a 2011**. Brasília, 2011.
- CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações Elétricas Prediais: Conforme Norma NBR 5410:2004**. 21 edição. São Paulo: Érica, 2011.
- CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 15 edição. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- DIAL. **Manuals and useful information Downloads for DIALux**. 2019. Disponível em: <<https://www.dial.de/en/dialux-desktop/manual-and-useful-information/>>. Acesso em: 19 mai. 2019.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. ABCDEnergia. Eficiência Energética. 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>>. Acesso em: 18 set. 2018.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2017: Ano Base 2016**. Rio de Janeiro, 2017b.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Consumo Anual de Energia Elétrica por Classe (Nacional) – 1995 - 2018**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-Anual-de-Energia-Eletrica-por-classe-nacional>>. Acesso em: 21 abr. 2019.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Projeção da demanda de energia elétrica**. Rio de Janeiro, 2017a.
- FARIA, Maria Helena Barbosa Pereira. **Razão e emoção no design de iluminação**. 2015.

FIORINI, Thiago M. S. **Projeto de Iluminação de Ambientes Internos Especiais**. Espírito Santo: UFES, 2006.

FURUYAMA, Cristiane. **Luz, Arquitetura e Urbanismo - DIALux Evo**. São Paulo. 2018. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4467836/mod\\_resource/content/0/Aula%209%20%2829102018%29.DialuxEVO.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4467836/mod_resource/content/0/Aula%209%20%2829102018%29.DialuxEVO.pdf)>. Acesso em: 27 out. 2019.

GHISI, Eneid. **Desenvolvimento de uma Metodologia para Retrofit em Sistemas de Iluminação: Estudo de Caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. Santa Catarina: UFSC, 1997. Disponível: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO\\_Eneid\\_Ghisi.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Eneid_Ghisi.pdf)>. Acesso em: 31 mar. 2019.

GUERRINI, Délio Pereira. **Iluminação - Teoria e Projeto**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2008.

GUIA TRABALHISTA. **NR 17: Ergonomia**. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr17.htm>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

HADDAD, Jamil. **Política pública sob uma concepção inovadora. Revista Eficiência Energética**. Brasília, ed. 1, p. 7. 2013.

HIGHMED. **HMLDL-202 - Luxímetro - Medidor de Intensidade de Lux Digital**. 2019. Disponível em: <<https://www.highmed.com.br/hmldl-202-luximetro-medidor-de-intensidade-de-lux-digital/p>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

HISOUR. **Cor Falsa**. Disponível em: <<https://www.hisour.com/pt/false-color-23941/>>. Acesso em: 17 out. 2019

INMETRO. **Lâmpada LED - cartilha**. 2016

INMETRO. PBE. **O Programa Brasileiro de Etiquetagem**. Disponível em: <[http://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca\\_o\\_programa.php](http://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca_o_programa.php)>. Acesso em: 18 set. 2018.

ITAIM Iluminação. **Catálogo LED 2016-2017**, 2016.

KLEINA, Nilton. **Quais certificados realmente importam na hora de comprar um eletrônico?** Tecmundo. 2011. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/consumidor/2091-quais-certificados-realmente-importam-na-hora-de-comprar-um-eletronico-.htm>>. Acesso em: 10 out. 2018.

LEDVANCE. **Descarga de gás de baixa pressão para lâmpadas fluorescentes e lâmpadas fluorescentes compactas**. Disponível em: <<https://www.ledvance.com.br/produtos/conhecimentos-sobre-o-produto/lampadas-fluorescentes/conhecimentos-profissionais/principio-de-operacao-da-descarga-de-gas-de-baixa-pressao/index.jsp>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

LEDVANCE. **Lâmpadas de vapor de mercúrio - a solução de iluminação pragmática, testada e aprovada**. 2019. Disponível em: <<https://www.ledvance.pt/produtos/conhecimentos>>

sobre-o-produto/lampadas-de-descarga-de-alta-pressao/conhecimentos-profissionais/tecnologia-de-vapor-de-mercurio/index.jsp>. Acesso em: 20 abr. 2019.

LUMICENTER. **Reprodução de cores: métodos de avaliação das fontes luminosa**. 2017. Disponível em: <<http://www.lumicenteriluminacao.com.br/reproducao-de-cores-irc-e-tm-30/>>. Acesso em: 29 mar. 2019.

LUMIDEC ILUMINAÇÃO. **Informações técnicas. Luminotécnica - Conceitos Básicos**.2016. Disponível em: <[http://lumideciluminacao.com.br/arquivos/info\\_tecnicas\\_lumidec.pdf](http://lumideciluminacao.com.br/arquivos/info_tecnicas_lumidec.pdf)>. Acesso em: 27 out. 2019.

LUMSEARCH. **Product data sheet: EFIX TCS260 TCS 260 2XTL5-28W HFP M6**. Philips. 2019. Disponível em: <<https://lumsearch.com/en/article/pdf/DEiYgjX3TbqKov8fWK4PhQ>>. Acesso em: 27 out. 2019.

MAMEDE, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 9 ed. Rio de Janeiro. 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano decenal de energia**. Rio de Janeiro, 2017.

OSRAM. **L 36 W/840**. 2019a. Disponível em: <[https://www.osram.com.br/ecat/LUMILUX%20T8-](https://www.osram.com.br/ecat/LUMILUX%20T8-L%C3%A2mpadas%20fluorescentes%20T8-L%C3%A2mpadas%20fluorescentes-L%C3%A2mpadas-Digital%20Systems/br/pt/GPS01_1027891/PP_LATAM_BR_eCat/ZMP_60436/)

[L%C3%A2mpadas%20fluorescentes%20T8-L%C3%A2mpadas%20fluorescentes-L%C3%A2mpadas-](https://www.osram.com.br/ecat/LUMILUX%20T8-L%C3%A2mpadas%20fluorescentes%20T8-L%C3%A2mpadas%20fluorescentes-L%C3%A2mpadas-Digital%20Systems/br/pt/GPS01_1027891/PP_LATAM_BR_eCat/ZMP_60436/)

[Digital%20Systems/br/pt/GPS01\\_1027891/PP\\_LATAM\\_BR\\_eCat/ZMP\\_60436/](https://www.osram.com.br/ecat/LUMILUX%20T8-L%C3%A2mpadas%20fluorescentes%20T8-L%C3%A2mpadas%20fluorescentes-L%C3%A2mpadas-Digital%20Systems/br/pt/GPS01_1027891/PP_LATAM_BR_eCat/ZMP_60436/)>. Acesso em: 27 out. 2019.

OSRAM. **L 58 W/840**. 2019b. Disponível em: <[https://www.osram.com.br/ecat/LUMILUX%20T8-](https://www.osram.com.br/ecat/LUMILUX%20T8-L%C3%A2mpadas%20fluorescentes%20T8-L%C3%A2mpadas%20fluorescentes-L%C3%A2mpadas-Digital%20Systems/br/pt/GPS01_1027891/PP_LATAM_BR_eCat/ZMP_60449/)

[L%C3%A2mpadas%20fluorescentes%20T8-L%C3%A2mpadas%20fluorescentes-L%C3%A2mpadas-](https://www.osram.com.br/ecat/LUMILUX%20T8-L%C3%A2mpadas%20fluorescentes%20T8-L%C3%A2mpadas%20fluorescentes-L%C3%A2mpadas-Digital%20Systems/br/pt/GPS01_1027891/PP_LATAM_BR_eCat/ZMP_60449/)

[Digital%20Systems/br/pt/GPS01\\_1027891/PP\\_LATAM\\_BR\\_eCat/ZMP\\_60449/](https://www.osram.com.br/ecat/LUMILUX%20T8-L%C3%A2mpadas%20fluorescentes%20T8-L%C3%A2mpadas%20fluorescentes-L%C3%A2mpadas-Digital%20Systems/br/pt/GPS01_1027891/PP_LATAM_BR_eCat/ZMP_60449/)>. Acesso em: 27 out. 2019.

PHILIPS. **Manual de Iluminação**. 3. ed. Holanda: Philips Lighting Division, 1981.

PHILIPS. **Lineco TMS022: TMS022 2xTL-D36W HFS**. 2019. Disponível em: <<http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp910402207603-pss-global>>. Acesso em: 27 out. 2019.

PHILIPS. **SmartBalance Tunable White, recessed**. 2019c. Disponível em: <<http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp910502038503-pss-global>>. Acesso em: 5 nov. 2019.

PHILIPS. **TBS165**. 2019a. Disponível em: <<http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp910503651618-pss-global>>. Acesso em: 5 nov. 2019.

PHILIPS. **TCS165 - apenas luz.** 2018. Disponível em: <[https://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/comf2483-pss-pt\\_pt](https://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/comf2483-pss-pt_pt)>. Acesso em: 27 out. 2019.

QUOOS, JoãoHenrique. **Isolinhas e curvas de nível.** 2019. Disponível em: <<http://www.quoos.com.br/index.php/geografia/material-para-aulas-de-cartografia/89-curvas-de-nivel>>. Acesso em: 17 out. 2019.

ROSA, Taís Hemann da. **Direito Fundamental Social de acesso à energia elétrica.** In: III SANTOS, A. H. M. et al. **Eficiência Energética: teoria e prática.** 1 ed. Itajubá: Eletrobrás PROCEL, 2007. p. 55.

SYLVANIA. **Soluções em iluminação - Fluorescentes tubulares.** 2010. 19 p. Disponível em: <[http://www.metaeletrica.com.br/pdfs/Iluminacao\\_e\\_LED/Catalogo\\_SYLVANIA.pdf](http://www.metaeletrica.com.br/pdfs/Iluminacao_e_LED/Catalogo_SYLVANIA.pdf)>. Acesso em: 27 out. 2019.

SYLVANIA. **Lâmpadas.** 2006. 3 p. Disponível em: <[http://joinville.ifsc.edu.br/~anabarbara/Projetos\\_Eletricos/Catalagos/Lumin%C3%A1rias%20e%20L%C3%A2mpadas/Catalogo%20Lampadas%20-%20Sylvania.pdf](http://joinville.ifsc.edu.br/~anabarbara/Projetos_Eletricos/Catalagos/Lumin%C3%A1rias%20e%20L%C3%A2mpadas/Catalogo%20Lampadas%20-%20Sylvania.pdf)>. Acesso em: 27 out. 2019.

UNIVERSITY OF NORTH CAROLINA AT GREENSBORO. Department of Interior Architecture. **Qualitative and quantitative results: false color rendering.** Estados Unidos da América. 2017. Disponível em: <[https://iarc.uncg.edu/elight/learn/qualitative/la\\_sub/false.html](https://iarc.uncg.edu/elight/learn/qualitative/la_sub/false.html)>. Acesso em: 27 out. 2019.

VOITILLE, Nadine. **Eficientes e econômicas: as lâmpadas fluorescentes possuem grande aplicação na decoração de residências e comércios.** Clique arquitetura. 2013. Disponível em: <<https://www.cliquearquitetura.com.br/artigo/lampadas-fluorescentes.html>>. Acesso em: 29 mar. 2019.





## ANEXOS

## ANEXO A - Fator de Utilização Para Principais Lâmpadas Philips

Luminárias	Teto	70%			50%			30%	
	Parede	50%	30%	10%	50%	30%	10%	30%	10%
	K	Considera-se o piso sempre 10%							
TMS 1 – 1 Lâmpada de 65W	0,60	0,32	0,25	0,20	0,29	0,22	0,18	0,20	0,17
	0,80	0,39	0,31	0,26	0,35	0,29	0,24	0,26	0,22
	1,00	0,45	0,37	0,32	0,40	0,34	0,29	0,31	0,27
	1,25	0,50	0,43	0,27	0,45	0,39	0,34	0,36	0,32
	1,50	0,55	0,48	0,42	0,49	0,44	0,39	0,40	0,36
	2,00	0,61	0,55	0,50	0,56	0,50	0,46	0,46	0,42
	2,50	0,66	0,60	0,55	0,60	0,55	0,51	0,50	0,47
	3,00	0,69	0,64	0,59	0,63	0,58	0,55	0,53	0,55
	4,00	0,73	0,69	0,65	0,67	0,63	0,60	0,57	0,55
5,00	0,76	0,72	0,69	0,69	0,66	0,63	0,60	0,58	
TMS 500 - 2 Lâmpadas de 65W	0,60	0,31	0,25	0,20	0,27	0,22	0,18	0,19	0,16
	0,80	0,38	0,32	0,27	0,33	0,28	0,24	0,24	0,21
	1,00	0,43	0,37	0,32	0,38	0,33	0,29	0,28	0,25
	1,25	0,49	0,43	0,38	0,42	0,37	0,33	0,32	0,29
	1,50	0,53	0,47	0,42	0,46	0,41	0,37	0,35	0,32
	2,00	0,59	0,54	0,49	0,51	0,47	0,43	0,40	0,38
	2,50	0,63	0,58	0,54	0,54	0,51	0,48	0,44	0,41
	3,00	0,65	0,61	0,58	0,57	0,54	0,51	0,46	0,44
	4,00	0,69	0,66	0,62	0,60	0,57	0,55	0,49	0,47
5,00	0,71	0,68	0,66	0,62	0,60	0,58	0,51	0,50	
TMS 426 - 2 Lâmpadas de 40W	0,60	0,35	0,28	0,25	0,23	0,31	0,21	0,22	0,19
	0,80	0,43	0,36	0,32	0,30	0,38	0,27	0,28	0,24
	1,00	0,50	0,42	0,38	0,36	0,44	0,33	0,33	0,29
	1,25	0,56	0,49	0,43	0,43	0,49	0,38	0,38	0,34
	1,50	0,61	0,54	0,48	0,48	0,54	0,43	0,42	0,38

	2,00	0,68	0,61	0,55	0,56	0,60	0,50	0,48	0,45
	2,50	0,72	0,67	0,60	0,62	0,64	0,56	0,53	0,50
	3,00	0,76	0,71	0,63	0,66	0,67	0,60	0,56	0,53
	4,00	0,80	0,76	0,68	0,72	0,71	0,65	0,60	0,58
	5,00	0,83	0,80	0,71	0,76	0,74	0,68	0,63	0,61
<b>TCK 427 - 4 Lâmpadas de 40W</b>	0,60	0,33	0,27	0,27	0,23	0,32	0,23	0,26	0,23
	0,80	0,41	0,34	0,34	0,30	0,40	0,30	0,33	0,29
	1,00	0,47	0,40	0,40	0,36	0,45	0,36	0,39	0,35
	1,25	0,52	0,46	0,46	0,42	0,51	0,42	0,45	0,41
	1,50	0,56	0,51	0,50	0,47	0,55	0,46	0,49	0,46
	2,00	0,63	0,58	0,57	0,54	0,61	0,54	0,56	0,53
	2,50	0,67	0,63	0,62	0,59	0,65	0,59	0,60	0,58
	3,00	0,70	0,66	0,65	0,63	0,68	0,62	0,64	0,61
	4,00	0,73	0,70	0,69	0,68	0,71	0,67	0,68	0,66
	5,00	0,75	0,73	0,72	0,71	0,74	0,70	0,70	0,68
<b>HDK 472 - 1 Lâmpada de 400W</b>	0,60	0,50	0,46	0,42	0,50	0,45	0,42	0,45	0,42
	0,80	0,58	0,53	0,49	0,57	0,52	0,49	0,52	0,49
	1,00	0,63	0,59	0,56	0,62	0,58	0,55	0,58	0,55
	1,25	0,68	0,64	0,61	0,67	0,63	0,61	0,63	0,60
	1,50	0,72	0,68	0,65	0,70	0,67	0,65	0,66	0,64
	2,00	0,77	0,74	0,71	0,75	0,73	0,71	0,72	0,70
	2,50	0,80	0,77	0,75	0,78	0,76	0,74	0,75	0,74
	3,00	0,82	0,80	0,78	0,80	0,79	0,77	0,77	0,76
	4,00	0,84	0,82	0,81	0,82	0,81	0,80	0,80	0,79
	5,00	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,81	0,81	0,80

Fonte: Mamede Filho, 2018.