



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA



SERGEI LUIZ XAVIER JUNIOR

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

ANÁLISE DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO PROTOCOLO DALI EM PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Porto Alegre
(2011)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO
PROTOCOLO DALI EM PROJETOS DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA**

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Marcelo Götz.

Porto Alegre
(2011)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

SERGEI LUIZ XAVIER JUNIOR

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO
PROTOCOLO DALI EM PROJETOS DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA**

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Marcelo Götz, UFRGS

Doutor pela Universität Paderborn, Alemanha

Banca Examinadora:

Prof. Rafael Boldori, UFRGS

Engenheiro pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Leonir Antoninho Vivan Filho, APS Soluções em Energia S.A.

Engenheiro pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Dr. Marcelo Götz, UFRGS

Doutor pela Universität Paderborn, Alemanha

Porto Alegre, (Julho de 2011).

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, meu irmão, e amigos pelo suporte, compreensão, apoio, força e admiração passados a mim, em todos os momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos pais, Sergei Luiz Xavier e Sandra Vitória Zanon, por sempre me ensinarem os valores dignos de um ser humano, repassando a minha pessoa conhecimentos, afeto, carinho, ternura, compaixão, dignidade, hombridade e humildade.

Ao meu irmão, Luiz Pedro Zanon Xavier, pela confiança e admiração.

Aos amigos, pelo apoio, incentivo, compreensão e, principalmente auxílio e suporte, para vencer mais esta árdua batalha, que teve muitos obstáculos a serem transpassados.

Sem a ajuda de cada um de vocês - com a mais absoluta certeza - eu não chegaria ao fim desta conquista.

RESUMO

Este projeto de diplomação foi realizado com o intuito de verificar a viabilidade da implantação de um projeto de eficiência energética de iluminação sobre o terceiro pavimento do prédio sede da empresa APS Soluções em Energia S.A. utilizando a tecnologia DALI. Anteriormente ao estudo de viabilidade, este trabalho apresentará uma fundamentação teórica contendo alguns conceitos básicos sobre iluminação e protocolo DALI, de modo a servir de auxílio ao leitor para o entendimento dos conceitos de engenharia apresentados. Esta análise de viabilidade se dará por uma comparação com os resultados – financeiros e energéticos - advindos de um projeto de iluminação tradicional, *retrofit* de equipamentos, sobre este mesmo recinto. Para ambos os projetos (retrofit e adequação/DALI), os resultados serão em relação a um projeto de iluminação ineficiente que será criado para o ambiente.

Palavras-chaves: Eficiência Energética, Sistemas de Iluminação, Protocolo DALI, Resultados Energéticos e Financeiros.

ABSTRACT

This graduation project was carried out in order to verify the feasibility of installation an energy efficiency lightning project using the DALI technology on the third floor of the headquarters building of the Company APS Soluções em Energia. Prior to the feasibility study, this paper presents a theoretical foundation containing some basic concepts of lighting and DALI protocol in order to provide some basis for the reader to understand the engineering concepts presented. This feasibility analysis will be done by a comparison with the results – energy and financial – coming from a traditional lighting design, retrofit of equipment, realized on the same place. For both projects (retrofit and DALI), the results will be compared to an inefficient lighting project that will be created on the same environment.

Keywords: Energy Efficiency, Lightning Systems, DALI Protocol, Energy and Financial Results

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Motivação	17
1.2	Objetivo	18
1.3	Organização do trabalho	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Iluminação	19
2.1.1	Princípios Gerais da Luz	20
2.1.2	Conceitos básicos de um projeto de Iluminação	21
2.1.3	Sistema de Iluminação Natural	27
2.1.4	Sistemas de Iluminação Artificial	28
2.1.4.1	Lâmpadas	28
2.1.4.2	Luminárias	36
2.1.4.3	Equipamentos Auxiliares	37
2.2	Cálculos Luminotécnicos	39
2.2.1	Parâmetros relativos ao Ambiente - DIALUX	39
2.2.2	Parâmetros das Luminárias (<i>plug-ins</i>)- DIALUX	41
2.3	Protocolos de Comunicação	42
2.3.1	Modelo OSI (Open System Interconnect)	43
2.3.2	Configuração Mestre/Escravo	44
2.3.3	Codificação Manchester	44
3	PROTOCOLO DALI	46
3.1	Apresentação	46
3.2	Visão Geral do Sistema	47
3.2.1	Configuração de Rede	47
3.2.1.1	Configuração Básica	48
3.2.1.2	Configuração básica mais controlador	48
3.2.1.3	Configuração Multi Controladores	48
3.2.2	Operação do Sistema	49
3.2.2.1	Operação Padrão	49
3.2.2.2	Comissionamento	50
3.3	Comunicação	50
3.3.1	Comunicação Controlador-Reator	51
3.3.1.1	Comando Broadcast	52
3.3.1.2	Comando por endereçamento de Grupo	52
3.3.1.3	Comando por endereçamento individual	53
3.3.1.4	Comando de Cena	53
3.3.2	Comunicação Controlador-Controlador	53
3.3.3	Formatação da Mensagem de Controle DALI	54
3.3.3.1	Byte de Endereçamento	55
3.3.3.2	Byte de Comando	57
3.3.3.3	Lista de Tipos de dispositivos de controle DALI	57
3.3.4	Especificações Elétricas	58
3.3.5	Topologia de Rede	60
3.4	Estabelecimento dos Endereços Individuais do Controlador	61
4	ESTUDO DE CASO	62
4.1	Metodologia de Projeto	62
4.2	Características do Ambiente	63
4.3	Linha de Base	67
4.3.1	Características do sistema	67
4.3.2	Formas e Tempos de Funcionamento	69

4.3.3	Resultados Luminotécnicos	70
4.3.3.1	Área Geral	70
4.3.3.2	Sala de Reuniões	72
4.3.3.3	Lavabos	74
4.3.4	Resultados Energéticos e Premissas adotadas.	76
4.4	Projeto de Aplicação – Retrofit	77
4.4.1	Caracterização do Sistema Proposto	79
4.4.2	Resultados Luminotécnicos	82
4.4.2.1	Área Geral	82
4.4.2.2	Sala de Reuniões	84
4.4.2.3	Lavabos	86
4.4.3	Investimentos	88
4.4.4	Resultados Energéticos	89
4.4.5	Análise Financeira	91
4.4.6	Premissas Adotadas	92
4.5	Projeto de Aplicação – Adequação/DALI	93
4.5.1	Metodologia	93
4.5.2	Adequação do Projeto Luminotécnico	94
4.5.2.1	Adequação Área Geral	94
4.5.2.2	Adequação da Sala de Reuniões	96
4.5.2.3	Resumo dos Resultados	98
4.5.3	Cenários de Iluminação Natural	98
4.5.4	Iluminação Natural	101
4.5.4.1	Cenário I	101
4.5.4.2	Cenário II	103
4.5.4.3	Cenário III	106
4.5.4.4	Cenário IV	109
4.5.4.5	Resumo dos Resultados	112
4.5.5	Definição dos Grupos de Luminárias	113
4.5.6	Alocação dos Sensores	114
4.5.7	Lógica de Funcionamento dos Grupos	116
4.5.8	Resultados Luminotécnicos Finais	118
4.5.8.1	Cenário I - 08h00 as 10h00	118
4.5.8.2	Cenário II - 10h00 as 12h00	122
4.5.8.3	Cenário III – 13h00 as 15h00	126
4.5.8.4	Cenário IV – 15h00 as 17h00	130
4.5.8.5	Resumo dos Resultados com Dimerização	134
4.5.9	Resultados Energéticos	135
4.5.10	Materiais Empregados	137
4.5.11	Investimentos	138
4.5.12	Análise Financeira	139
4.5.13	Premissas Adotadas	140
5	COMPARATIVO DOS RESULTADOS	141
6	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	143
7	REFERÊNCIAS	145

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Consumo de energia elétrica da Região sul do Brasil.....	16
Figura 2. Propriedades da Luz conforme seu comprimento de onda.	20
Figura 3. Diferentes sensibilidades da luz ao olho humano.	21
Figura 4. Exemplo de Iluminância.	22
Figura 5. Exemplo de Luminância.	22
Figura 6. Exemplo ilustrativo da intensidade luminosa.	22
Figura 7. Fluxo Luminoso de uma lâmpada fluorescente compacta.	23
Figura 8. Representação da diferença do IRC para mesmos elementos.....	23
Figura 9. Espectro Visual da luz natural e das lâmpadas fluorescentes.	24
Figura 10. Exemplos de Lâmpadas com temperaturas de cores distintas.	24
Figura 11. Escala de Temperatura de cor - associação entre temperatura e cor.....	25
Figura 12. Comparativo da vida útil entre tipos de lâmpadas mais usuais no mercado.....	25
Figura 13. Ilustração da Eficiência de uma lâmpada.....	26
Figura 14. Lâmpada Incandescente Tradicional.....	29
Figura 15. Lâmpada Incandescente Halógena.....	29
Figura 16. Lâmpadas Fluorescentes Compactas (LFC).....	30
Figura 17. Estrutura interna e princípio de funcionamento.	31
Figura 18. Comparação entre os diâmetros dos bulbos de vidro de lâmpadas FLUOR.....	32
Figura 19. Aproveitamento do fluxo luminoso em luminárias pelas lâmpadas fluorescentes tubulares encontradas.	32
Figura 20. Lâmpada de Vapor de Mercúrio.	33
Figura 21. Lâmpada de Vapor de Sódio de Baixa Pressão (LPS).....	34
Figura 22. Lâmpada de Sódio (HPS) utilizada em via pública.	34
Figura 23. Lâmpada de Vapor Metálico Ovíde e Tubular.....	35
Figura 24. Lâmpadas Mistas de 160W, 250W e 500W.....	36
Figura 25. Diagrama polar da distribuição luminosa da luminária INTRAL DS500.	41
Figura 26. Níveis de Abstração da Automação Industrial, e seus exemplos de aplicação.....	42
Figura 27. Exemplo de comunicação do tipo Mestre-Escravo ou Cliente/Servidor	44
Figura 28. Exemplo de Codificação Manchester.....	44
Figura 29. Princípio de funcionamento de uma rede DALI.	47
Figura 30. Configuração básica da rede DALI.....	48
Figura 31. Configuração básica mais controlador.....	48
Figura 32. Configuração multi controladores.....	49
Figura 33. Codificação Manchester.....	50
Figura 34. Frame da mensagem de ida.	51
Figura 35. Frame da mensagem de volta.....	51
Figura 36. Especificação elétrica durante a transmissão de dados sobre interface DALI.....	59
Figura 37. Cabeamento da Rede DALI.	60
Figura 38. Topologias de rede do DALI.....	61
Figura 39. Código para a tipologia de lâmpadas fluorescentes tubulares.	63
Figura 40. <i>Layout em 2D</i> da Área Geral de Escritórios.....	64
Figura 41. <i>Layout em 2D</i> da Sala de Reuniões.....	65
Figura 42. <i>Layout 2D</i> dos lavabos.	65
Figura 43. <i>Layout em 3D</i> da Área De escritórios e Recepção.	65
Figura 44. Distribuição da carga de iluminação ineficiente.	67
Figura 45. Lâmpada Fluorescente T10, de 20W da OSRAM.	68
Figura 46. Reator eletromagnético de partida rápida.	68

Figura 47. Luminária utilizada na Linha de Base – FS 840 Intral.....	69
Figura 48. Dados fotométricos da luminária de 4x20W, modelo FS 840 da Intral.....	69
Figura 49. Resultados Luminotécnicos da Área Geral - Linha de Base.....	71
Figura 50. Distribuição de fluxo luminoso sobre a Área Geral - Linha de Base.....	72
Figura 51. Resultados Luminotécnicos da Sala de Reuniões - Linha de Base.....	73
Figura 52. Distribuição de fluxo luminoso sobre a Sala de Reuniões - Linha de Base.....	74
Figura 53. Resultados Luminotécnicos sobre os Lavabos - Linha de Base.	75
Figura 54. Distribuição de fluxo luminoso dos lavabos – Linha de Base.	76
Figura 55. Lâmpada Fluorescente T5, de 14W da PHILIPS.	79
Figura 56. Reator eletrônico para lâmpadas fluorescente T5 de 2x14W.....	80
Figura 57. Luminária de 4x14W, de Embutir, modelo TBS 262/C6 – Philips.	80
Figura 58. Diagrama Polar da luminária TBS 262/C6 da Philips.	81
Figura 59. Luminária para FLUOR 2x14W de embutir, modelo TBS 930/C5 da Philips.	81
Figura 60. Diagrama Polar da luminária TBS 930/C5.	82
Figura 61. Resultados Luminotécnicos da Sala de Reuniões – Retrofit.....	83
Figura 62. Distribuição de fluxo luminoso da Área Geral – <i>Retrofit</i>	84
Figura 63. Resultados Luminotécnicos da Sala de Reuniões – Retrofit.....	85
Figura 64. Distribuição luminosa da Sala de Reuniões – Retrofit.....	86
Figura 65. Resultados Luminotécnicos dos Lavabos – Retrofit.....	87
Figura 66. Distribuição Luminosa dos Lavabos – Retrofit.	88
Figura 67. Resultados Luminotécnicos da Área Geral – Adequação.	95
Figura 68. Distribuição Luminosa da Área Geral – Adequação.	96
Figura 69. Resultados Luminotécnicos da Sala de Reuniões – Adequação.	97
Figura 70. Distribuição Luminosa da Sala de Reuniões- Adequação.	97
Figura 71. Janela que contém as propriedades do cenário de luz natural.....	100
Figura 72. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural da Área Geral – Cenário I. ..	101
Figura 73. Distribuição Luminosa da Iluminação Natural da Área Geral – Cenário I.....	102
Figura 74. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural da Sala de Reuniões – Cenário I.....	103
Figura 75. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural Área Geral – Cenário II.....	104
Figura 76. Distribuição Luminosa da Iluminação Natural da Área Geral – Cenário II.	105
Figura 77. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural da Sala de Reuniões – Cenário II.	106
Figura 78. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural da Área Geral – Cenário III.	107
Figura 79. Distribuição Luminosa da Iluminação Natural da Área Geral – Cenário III.	108
Figura 80. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural da Sala de Reuniões – Cenário III.	109
Figura 81. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural da Área Geral – Cenário IV.	110
Figura 82. Distribuição Luminosa da Iluminação Natural da Área Geral – Cenário IV.....	111
Figura 83. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural da Sala de Reuniões – Cenário IV.....	112
Figura 84. Definição dos Grupos de Luminárias da Área Geral.	113
Figura 85. Sensor de Presença/Movimento/Luminosidade.	114
Figura 86. Alocação dos sensores e suas respectivas áreas de captação.	115
Figura 87. Layout da sala de Reuniões com a alocação do sensor.....	116
Figura 88. Lógica de Funcionamento dos Grupos de Luminárias com os Sensores.	117
Figura 89. Resultados Luminotécnicos Finais da Área Geral – Cenário I.	119
Figura 90. Distribuição Luminosa Final da Área Geral – Cenário I.	120
Figura 91. Resultados Luminotécnicos Finais da Sala de Reuniões – Cenário I.	121
Figura 92. Distribuição Luminosa Final da Sala de Reuniões – Cenário I.	122

Figura 93. Resultados Luminotécnicos Finais da Área Geral – Cenário II.....	123
Figura 94. Distribuição Luminosa Final da Área Geral – Cenário II.....	124
Figura 95. Resultados Luminotécnicos Finais da Sala de Reuniões – Cenário II.....	125
Figura 96. Distribuição Luminosa Final da Sala de Reuniões – Cenário II.....	126
Figura 97. Resultados Luminotécnicos Finais da Área Geral – Cenário III.....	127
Figura 98. Distribuição Luminosa Final da Área Geral – Cenário III.....	127
Figura 99. Resultados Luminotécnicos Finais da Sala de Reuniões – Cenário III.....	129
Figura 100. Distribuição Luminosa Final da Sala de Reuniões – Cenário III.....	130
Figura 101. Resultados Luminotécnicos Finais da Área Geral – Cenário IV.....	131
Figura 102. Distribuição Luminosa Final da Área Geral – Cenário IV.....	132
Figura 103. Resultados Luminotécnicos Finais da Sala de Reuniões – Cenário IV.....	133
Figura 104. Distribuição Luminosa Final da Sala de Reuniões – Cenário IV.....	134
Figura 105. Topologia DALI PROFESSIONAL adaptada para este projeto.....	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparativo da eficiência energética entre tipos de lâmpadas.	26
Tabela 2. Índice de Refletância dos materiais.	40
Tabela 3. Índice de Refletância das cores.	40
Tabela 4. Índices de Refletâncias usuais.	40
Tabela 5. Fator de Manutenção.	41
Tabela 6. As sete camadas de comunicação do modelo OSI/ISO.	43
Tabela 7. Tipos de dispositivos de controle DALI.	58
Tabela 8. Relação bitola x Comprimento dos cabos de dados.	60
Tabela 9. Iluminância por tipo de atividade definida pela NBR 5413.	66
Tabela 10. Composição das potências das tipologias da linha de base.	68
Tabela 11. Ciclos de Operação por ambiente.	70
Tabela 12. Energia Consumida na Área Geral – Linha de Base.	76
Tabela 13 Energia Consumida na Sala de Reuniões – Linha de Base.	77
Tabela 14 Energia Consumida nos Lavabos – Linha de Base.	77
Tabela 15 Energia Consumida Total – Linha de Base.	77
Tabela 16. Medidas Propostas – <i>Retrofit</i>	79
Tabela 17. Composição das potências das tipologias propostas – <i>Retrofit</i>	79
Tabela 18. Investimentos - <i>Retrofit</i>	88
Tabela 19. Energia Consumida na Área Geral - <i>Retrofit</i>	89
Tabela 20 Energia Consumida na Sala de Reuniões – <i>Retrofit</i>	89
Tabela 21 Energia Consumida nos Lavabos – <i>Retrofit</i>	90
Tabela 22. Energia Consumida pelo Sistema Proposto. – <i>Retrofit</i>	90
Tabela 23. Resultados Energéticos Esperados do <i>retrofit</i> da Iluminação.	90
Tabela 24. Análise Financeira – <i>Retrofit</i>	91
Tabela 25. Resumo dos Resultados da Adequação.	98
Tabela 26. Resumo dos Resultados de Iluminância Natural de cada ambiente.	112
Tabela 27. Cálculo da redução de potência da Área Geral – Cenário I.	120
Tabela 28. Cálculo da redução de potência da Sala de Reuniões – Cenário I.	122
Tabela 29. Cálculo da redução de potência da Área Geral – Cenário II.	124
Tabela 30. Cálculo da redução de potência da Sala de Reuniões – Cenário II.	126
Tabela 31. Cálculo da redução de potência da Área Geral – Cenário III.	128
Tabela 32. Cálculo da redução de potência da Sala de Reuniões – Cenário III.	130
Tabela 33. Cálculo da redução de potência da Área Geral – Cenário IV.	132
Tabela 34. Cálculo da redução de potência da Sala de Reuniões – Cenário IV.	134
Tabela 35. Resumo dos Resultados Luminotécnicos com Dimerização – Área Geral.	135
Tabela 36. Resumo dos Resultados Luminotécnicos com Dimerização – Sala de Reuniões.	135
Tabela 37. Resultados Energéticos – Adequação /DALI – Área Geral.	136
Tabela 38. Resultados Energéticos – Adequação /DALI – Sala de Reuniões.	136
Tabela 39. Resultados Energéticos Finais – Adequação/DALI.	137
Tabela 40. Investimentos – Adequação/DALI.	139
Tabela 41. Análise Financeira – Adequação/DALI.	139
Tabela 42. Comparativo dos Resultados Energéticos – <i>Retrofit</i> e Adequação/DALI.	141
Tabela 43. Comparativo dos Resultados Financeiros – <i>Retrofit</i> e Adequação/DALI.	141

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

BF: Ballast Factor

cd: candela

CEEE-D: Companhia Estadual de Energia Elétrica - Distribuição

DELET: Departamento de Engenharia Elétrica

DALI: Digital Addressable Lighting Interface

Dim: Dimerização

E: Nível de iluminação ou Iluminância

E_{av} : Iluminância média

FP: Horário Fora Ponta

FLUOR: Lâmpada Fluorescente Tubular

G: Grupo de Luminárias

HPS: High Pressure Sodium

IEC: International Electrotechnical Commission

IHM: Interface Homem Máquina

IL: Intensidade Luminosa

IRC: Índice de Reprodução de Cores

ISO: International Organization for Standardization

K: Kelvin

kWh: Quilo Watt hora

L: Luminância

LED: Light Emitting Diode

LFC: Lâmpada Fluorescente Compacta

Lm: Lúmen

LPS: Low Pressure Sodium

Lx: Lux

m: metro

m²: metro quadrado

ONS: Operador Nacional do Sistema

OSI: Open System Interconnect

P: Horário de Ponta

ρ : Refletância ou Coeficiente de Reflexão

SI: Sistema Internacional

T5: Lâmpada fluorescente tubular com diâmetro de 5/8"

T8: Lâmpada fluorescente tubular com diâmetro de 1"

T10: Lâmpada fluorescente tubular com diâmetro de 10/8"

T12: Lâmpada fluorescente tubular com diâmetro de 12/8"

THD: Distribuição Harmônica Total

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

W: Watt

": Polegada

1 INTRODUÇÃO

Pelo fato do consumo de energia elétrica no Brasil seguir em constante crescimento, conforme ilustra a Figura 1, (à exceção dos anos de 2001 e 2009, devido às crises inesperadas), cada vez mais está se buscando alternativas de contornar essa tendência, sempre visando tornar esse aumento em algo sustentável.

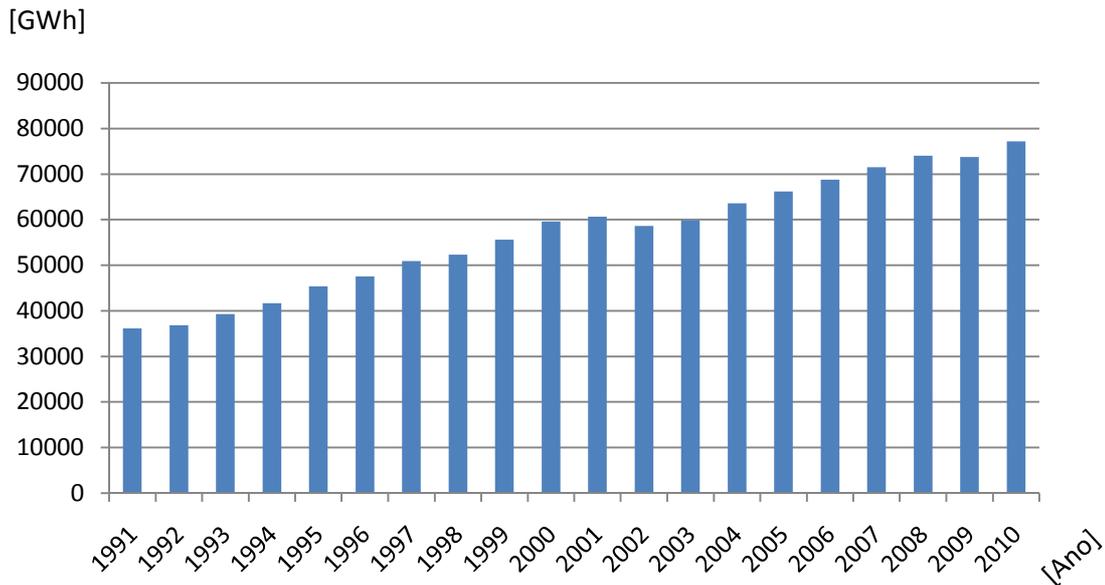


Figura 1. Consumo de energia elétrica da Região sul do Brasil.

Fonte: [1] Operador Nacional do Sistema (ONS).

Aliado a isto, o processo de globalização e a instauração de uma economia altamente competitiva, têm por exigir das empresas eficiência em todos os sentidos, seja nas suas atividades, seja no consumo de energia elétrica.

Segundo (2) (Grupo ComEnergy), no Brasil, aproximadamente 20% da energia elétrica consumida é destinada à iluminação, ultrapassando os 40% no setor terciário. Tais valores, aliados ao fato de que tecnologias de iluminação ineficientes ainda serem largamente empregadas, indicam a existência de um grande potencial de redução do desperdício, não restringindo apenas a economia proporcionada pela substituição de equipamentos antiquados por mais eficientes, mas atuando através de um sistema de otimização dos recursos existentes

Segundo (3) (Lamberts, 1997), “a eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia”.

1.1 Motivação

Em iluminação, a eficiência energética não está relacionada apenas com a redução do consumo e/ou demanda de energia, mas também com a obtenção de um sistema eficiente do ponto de vista quantitativo e qualitativo, devendo incluir um bom projeto e equipamentos de qualidade empregados de uma maneira efetiva.

Modernos sistemas de iluminação devem fazer muito mais, além de ligar e desligar a luz. Simultaneamente, os equipamentos auxiliares ganham inteligência através da tecnologia eletrônica digital, fazendo com que os ambientes possam ser controlados de forma mais eficiente, econômica e com inúmeros recursos, trazendo flexibilidade e conforto às pessoas que utilizam e habitam os ambientes. Estes sistemas eletrônicos com poderosos recursos para controle total da iluminação são chamados de sistemas de gerenciamento da iluminação.

E tratando-se de equipamentos de qualidade, sem dúvida, o emprego do DALI (Digital Addressable Lightning Interface) com intuito de incrementar à eficiência energética de um sistema de iluminação agrega uma tecnologia de ponta. Logo, o grande desafio está em verificar se um sistema robusto e arquitetônico como este, será viável em termos de financeiros, ante aos benefícios energéticos e financeiros propiciados e o investimento necessário para realizá-lo.

A preocupação financeira é válida visto que esta tecnologia ainda não é difundida no mercado brasileiro, em especial no ambiente industrial, fato este que implica na menor demanda de produto/serviço, portanto, encarecendo-o.

1.2 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo realizar uma análise de viabilidade econômica e energética da aplicação do protocolo DALI em sistemas de iluminação voltados para eficiência energética.

Após o término do estudo, retirar as devidas conclusões a respeito dos resultados finais providos da comparação entre as tecnologias utilizadas, justificando o emprego – ou não - do DALI em sistemas de iluminação nos mais diversos ambientes.

1.3 Organização do trabalho

Nas seções subseqüentes, serão apresentados, de maneira organizada, os tópicos a serem discutidos neste projeto. São eles:

- **Fundamentação Teórica:** serve para contextualizar o leitor sobre assuntos a serem abordados durante o desenvolvimento do projeto “Análise de Viabilidade da Utilização do protocolo DALI em projetos de eficiência energética”.
- **Protocolo DALI:** Será apresentada a tecnologia, descrevendo seu funcionamento;
- **Estudos de Caso:** Será realizado um projeto de eficiência energética em iluminação utilizando o protocolo DALI, e outro utilizando tecnologias já estudadas pela empresa APS Soluções em Energia S.A.;
- **Comparativo de Resultados:** Neste capítulo serão apresentados, para fins de comparação, os resultados energéticos e financeiros entre projetos de eficiência energética de iluminação utilizando DALI, e outras tecnologias tradicionalmente usadas;
- **Conclusões e Trabalhos Futuros:** Consta a conclusão sobre os resultados obtidos no capítulo 5 “Comparativo de Resultados”, e justificativas do sucesso ou insucesso do trabalho, servindo de base para futuros estudos a respeito do tema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para melhor contextualizar o presente trabalho, é de suma importância a apresentação e descrição de alguns tópicos básicos que servem de base para o entendimento dos conceitos a serem expostos no decorrer do trabalho.

2.1 Iluminação

A luz é um elemento importante e indispensável do cotidiano, justificando o desenvolvimento das tecnologias de iluminação ao longo dos últimos anos.

De acordo com (4) (RODRIGUES, 2002), no campo da iluminação sabe-se que a qualidade da luz é decisiva, tanto no que diz respeito ao desempenho das atividades, como a influência que exerce no estado emocional e no bem-estar dos seres humanos.

O primeiro e mais importante parâmetro para a definição de um projeto é a função da iluminação, tanto natural quanto artificial, a que se deseja implementar. Ela que irá determinar o tipo de luz e, portanto tecnologia, que o ambiente necessita.

Pode-se realizar um projeto de iluminação em que o objetivo é a obtenção de boas condições de visão associadas à visibilidade, segurança e orientação dentro de um determinado ambiente, o que está diretamente associado às atividades laborais e produtivas (escritório, escolas, bibliotecas, indústrias, etc.).

Pode-se, por outro lado, tratar da utilização da luz como principal instrumento de ambientação do espaço na criação de efeitos especiais com a própria luz ou no destaque de objetos e superfícies ou do próprio espaço. Este objetivo, por sua vez, está intimamente ligado às atividades não produtivas, mas de lazer, bem estar e religiosas.

2.1.1 Princípios Gerais da Luz

Por definição, luz é a radiação eletromagnética capaz de estimular a retina do olho humano, produzindo sensação visual.

Espectro Eletromagnético: A luz visível tem comprimento de onda limitado entre 380nm (radiação ultravioleta) e 780nm (radiação infravermelha), e apresenta as propriedades conforme ilustra a Figura 2:

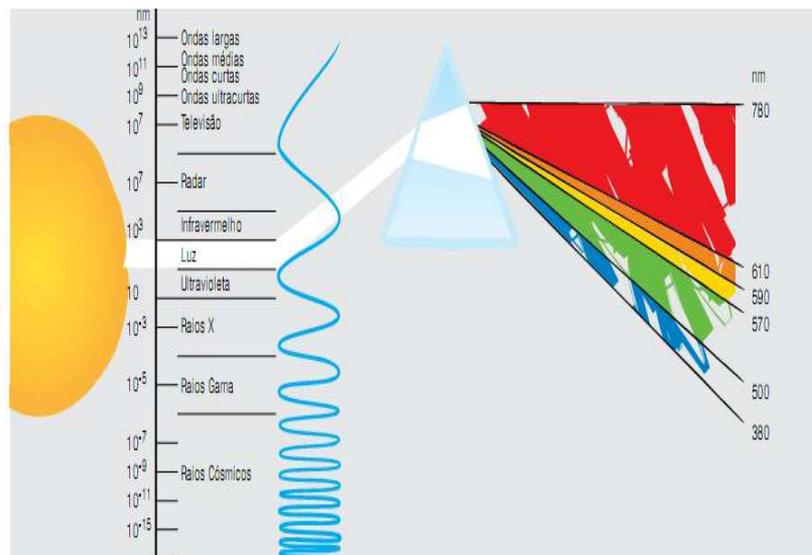


Figura 2. Propriedades da Luz conforme seu comprimento de onda.

Fonte: (5) OSRAM – Manual Luminotécnico Prático.

Vale ressaltar que a luz azul é mais bem visualizada durante a noite, enquanto que a luz vermelha ganha mais visibilidade durante o dia.

Espectro Visível: Examinando a radiação visível, verifica-se que, além da impressão luminosa, obtém-se também a impressão de cor. Sensação esta, que está diretamente ligada aos comprimentos de onda das radiações, uma vez que o olho humano não é igualmente sensível a todas as cores do espectro visível, consoante à Figura 3.

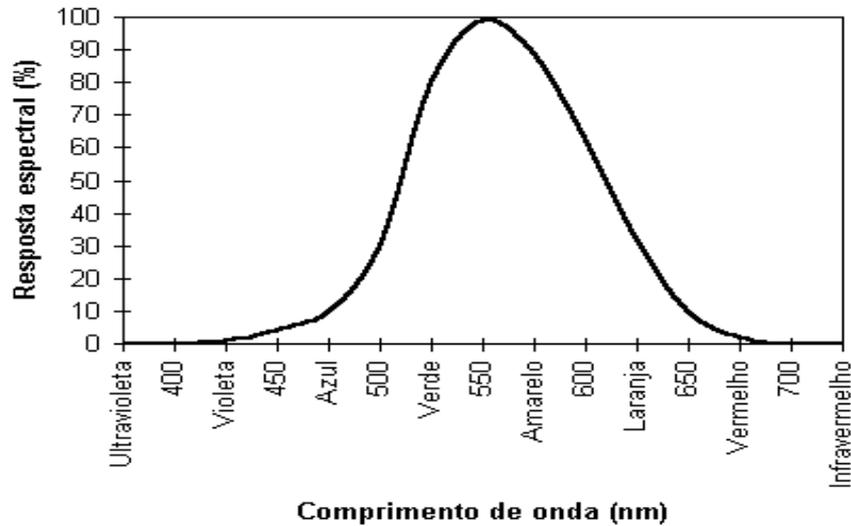


Figura 3. Diferentes sensibilidades da luz ao olho humano.
Fonte: (6) CIE 18.2 [1983].

Através da Figura 3 pode-se notar que o olho humano possui maior sensibilidade por volta do comprimento de onda de valor 550 nm, o que corresponde em termos de cores, entre a cor verde e amarela.

2.1.2 Conceitos básicos de um projeto de Iluminação

Este capítulo apresenta, de maneira bastante sucinta e ilustrativa, os principais conceitos de iluminação utilizados nos projetos luminotécnicos.

Iluminância (E): É o fluxo luminoso que incide sobre uma superfície, situada a uma certa distância da fonte, por unidade de área. No SI (Sistema Internacional) a unidade de medida para iluminância é lumens/m² ou lux (lx). A Figura 4 apresenta um exemplo ilustrativo deste conceito.



Figura 4. Exemplo de Iluminância.
 Fonte: (5) OSRAM – Manual Luminotécnico Prático.

Luminância (L): Medida em candelas por metro quadrado (cd/m^2), é a intensidade luminosa produzida ou refletida por uma superfície aparente. A luminância pode ser considerada como a medida física do brilho de uma superfície iluminada ou de uma fonte de luz, sendo através dela que os seres humanos enxergam. A Figura 5 ilustra um exemplo de luminância.

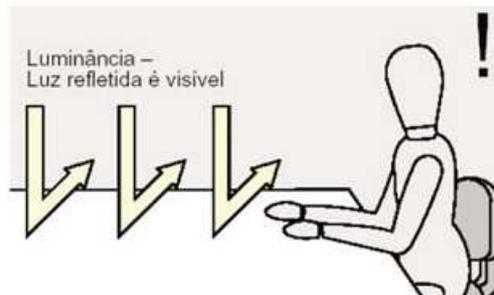


Figura 5. Exemplo de Luminância.
 Fonte: (5) OSRAM – Manual Luminotécnico Prático.

Intensidade Luminosa (IL): é o fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto. Unidade : candela (cd), conforme ilustra a Figura 6.

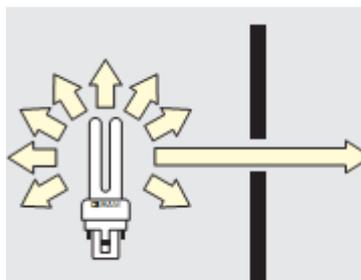


Figura 6. Exemplo ilustrativo da intensidade luminosa.
 Fonte: (5) OSRAM – Manual Luminotécnico Prático.

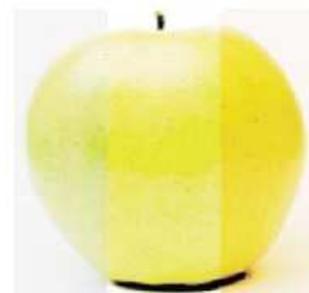
Fluxo Luminoso: Fluxo luminoso é a radiação total da Fonte luminosa entre os limites de comprimento de onda da luz visível (380nm e 780nm). O fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma Fonte, medida em Lumens na tensão nominal de funcionamento (Figura 7).



Figura 7. Fluxo Luminoso de uma lâmpada fluorescente compacta.

Fonte: (7) OSRAM – Iluminação: Conceitos e Projetos.

Índice de Reprodução de Cor (IRC): É a medida de correspondência entre a cor real de um objeto e sua aparência diante de uma Fonte de luz. A luz artificial deve permitir ao olho humano perceber as cores o mais próximo possível da luz natural. Quanto mais alto o índice, isto é, quanto mais próximo este índice for ao IRC 100 (dado à luz solar), mais fielmente as cores serão vistas na decoração, conforme ilustra a Figura 8.



IRC = 70 / 85 / 100

Figura 8. Representação da diferença do IRC para mesmos elementos.

Fonte: (8) LUMICENTER - Catálogo de Iluminação de 2006.

Na Figura 9 tem-se o espectro de luz natural e o espectro produzido por uma lâmpada fluorescente. Percebe-se que o espectro da lâmpada é deficiente em alguns comprimentos de onda, o que acarreta na deficiência de reprodução da respectiva cor.

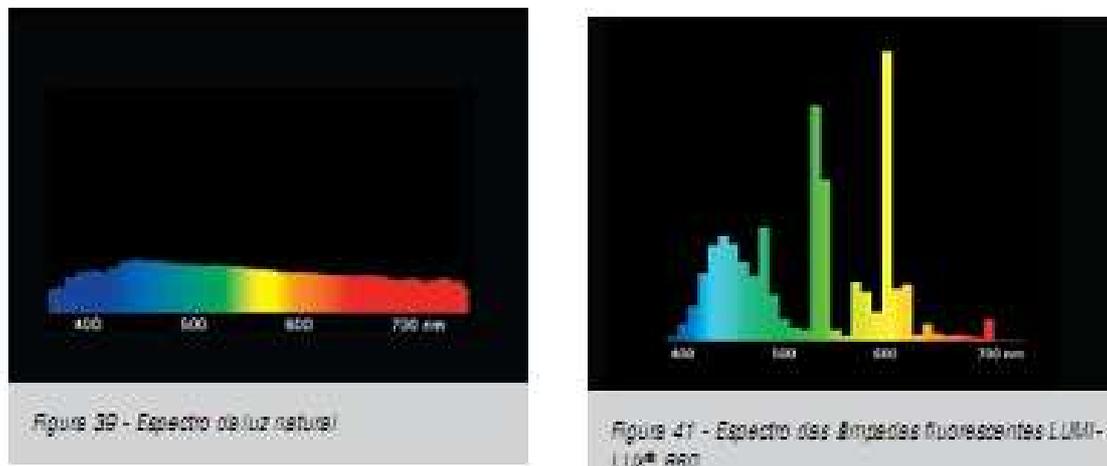


Figura 9. Espectro Visual da luz natural e das lâmpadas fluorescentes.

Fonte: (7) OSRAM – Iluminação: Conceitos e Projetos.

Temperatura de Cor: Os termos “luz quente” ou “luz fria” referem-se a sensação visual de uma luz mais aconchegante ou mais branca, respectivamente. Um dos requisitos para o conforto visual é a utilização da iluminação para dar ao ambiente o aspecto desejado. Sensações de aconchego ou estímulo podem ser provocadas quando se combinam a tonalidade de cor correta da fonte de luz ao nível de Iluminância pretendido. A Figura 10 ilustra exemplos de lâmpadas fluorescentes tubulares com temperaturas de cores diferentes.



Figura 10. Exemplos de Lâmpadas com temperaturas de cores distintas.

Fonte: (7) OSRAM – Iluminação: Conceitos e Projetos.

Esta característica é muito importante de ser observada na escolha de uma lâmpada, pois dependendo do tipo de ambiente há uma temperatura de cor mais adequada para esta aplicação. Na Figura 11 segue escala de temperatura de cor, que indica a aparência de cor da luz.



Figura 11. Escala de Temperatura de cor - associação entre temperatura e cor
Fonte: (8) LUMICENTER - Catálogo de Iluminação 2006.

Vida Útil ou Mortalidade de Lâmpadas: É definida como o tempo em horas, no qual cerca de 25% do fluxo luminoso das lâmpadas testadas foi depreciado. É dependente do número de vezes que se acendem e apagam em um dia. O gráfico da Figura 12 apresenta um comparativo entre vidas úteis médias, das tecnologias de lâmpadas mais utilizadas no dia-a-dia.

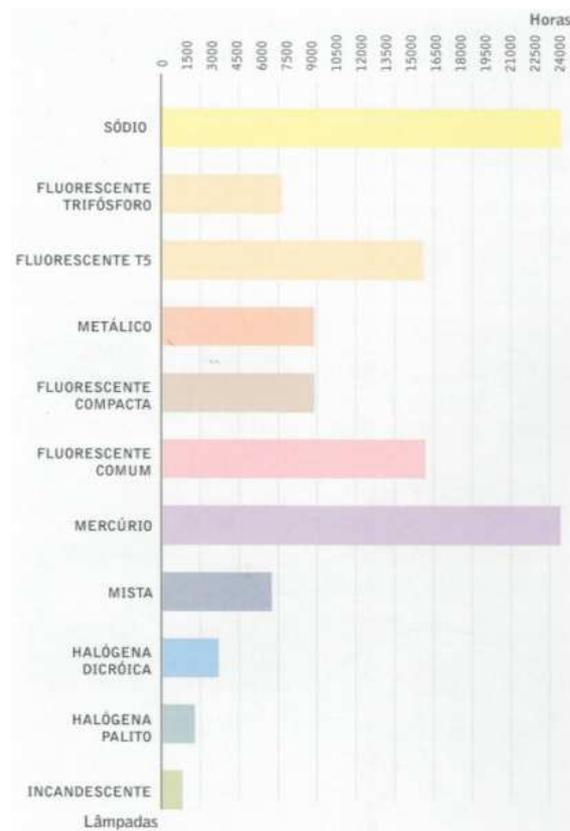


Figura 12. Comparativo da vida útil entre tipos de lâmpadas mais usuais no mercado.
Fonte: (8) LUMICENTER - Catálogo de Iluminação 2006.

Vida Médiana: É definida como o tempo em horas, do qual 50% das lâmpadas de um grupo representativo, testadas sob condições controladas de operação, apresentaram queima.

Depreciação do Fluxo Luminoso: É a diminuição progressiva da iluminância do sistema de iluminação devido ao acúmulo de poeira nas lâmpadas e luminárias, e, ao decréscimo do fluxo luminoso das lâmpadas.

Eficiência Luminosa ou Energética (η_w): É calculada pela divisão entre o fluxo luminoso e a potência da lâmpada em Watts (lm/W) e é de grande importância para trabalhos de eficiência. A Figura 13 apresenta uma ilustração deste conceito.



Figura 13. Ilustração da Eficiência de uma lâmpada.
Fonte: (9) PHILIPS – Guia de Iluminação 2005.

A Tabela 1 apresenta um comparativo entre as eficiências energéticas das lâmpadas mais utilizadas no dia-a-dia.

Tabela 1. Comparativo da eficiência energética entre tipos de lâmpadas.

Lâmpada	Eficiência (lm/W) (valores médios)
Sódio	120 a 150
Mastercolour	95
Metálica	80
Mercúrio	55
Fluorescente Super 80	80
Fluorescentes Compactas	65
Halógenas/Mistas	25
Incandescentes	17

Fonte: (9) PHILIPS – Guia de Iluminação 2005.

Uma lâmpada proporciona uma maior eficiência luminosa quando a energia consumida para gerar um determinado fluxo luminoso é menor do que da outra.

Fator de fluxo luminoso (BF): A maioria das lâmpadas de descarga opera em conjunto com reatores. Logo, Fator de fluxo luminoso (Ballast Factor) é a razão da luminosidade obtida pelo conjunto (lâmpada+reator) pela luminosidade nominal da lâmpada. Ou seja, consiste na quantidade de fluxo luminoso que efetivamente é obtida pelo conjunto lâmpada e reator:

2.1.3 Sistema de Iluminação Natural

A utilização da luz natural é, sob todos os aspectos, o ponto de partida para se obter um sistema de iluminação energeticamente eficiente. Esta é a tendência mundial cada vez mais adotada nos modernos sistemas de iluminação, que encontra, no Brasil, razões ainda mais fortes para ser adotada, visto que se têm características climáticas bem favoráveis.

Um dos grandes problemas da simples utilização da radiação proveniente do sol consiste na sua composição espectral, isto é, aproximadamente 45% da energia recebida pela Terra e composta por radiações infravermelhas, (4) (RODRIGUES, 2002). Logo, um sistema de iluminação que se utiliza deste tipo de Fonte energética deve possuir uma proteção adequada contra esta incidência direta, de modo que essa parcela de radiação não interfira significativamente em outros aspectos de eficiência energética. Caso do aumento da carga térmica a ser suprida por aparelhos de ar condicionado, visto que radiação infravermelha está diretamente associada ao aquecimento do ambiente.

Por outro lado, cerca de 50% da radiação é composta de espectro visível, isto é, o uso da luz natural pode fornecer economias de até 50% no consumo de energia elétrica, se corretamente utilizado. Convergindo a este pensamento, a localização das tarefas passa a ter maior importância, ou seja, os locais de trabalho que possuem mais exigências devem estar situados perto de janelas, de modo a receber de forma adequada esta carga de energia. Novamente deve-se ter o cuidado para que esta iluminação não seja excessiva, ou não

uniforme na sua distribuição, o que pode acarretar outros prejuízos, tais como ofuscamento, ou desconforto visual.

Em uma instalação é necessário, portanto, considerar tanto a iluminação natural, quanto à artificial, sendo que a correta integração entre esses dois sistemas pode tanto atender aos níveis de iluminância adequados, quanto contribuir para a redução do consumo de energia.

2.1.4 Sistemas de Iluminação Artificial

A eficiência da iluminação artificial está associada, diretamente, às características técnicas, à eficiência e ao rendimento de um conjunto de elementos, como lâmpadas, luminárias, reatores, utilização da luz natural, circuitos de controle de iluminação, etc.

2.1.4.1 Lâmpadas

São dispositivos elétricos que transformam energia de origem elétrica em energia luminosa, acrescida de energia térmica através de uma reação características: as lâmpadas convencionais (incandescentes) ou as halógenas produzem luz pela incandescência, assim como o sol. Já as de descarga, aproveitam a luminescência – tais como os relâmpagos e descargas atmosféricas. Os diodos (LED's) utilizam a fotoluminescência, de maneira análoga aos vaga-lumes. (4) (RODRIGUES, p.11, 2002). Existem ainda as lâmpadas mistas, as quais combinam as propriedades descritas anteriormente.

A seguir, segue uma breve explanação dos tipos de lâmpadas citados acima, seu funcionamento, com algumas características e exemplos visuais.

Lâmpadas Incandescentes

- **Lâmpada Incandescente Tradicional:** Funciona através da passagem da corrente elétrica sobre o filamento de tungstênio, o qual aquece e conseqüentemente gera luz. Possui ainda um gás inerte ou vácuo dentro do bulbo que contém o filamento de modo a evitar a sua oxidação. Possui temperatura de cor na faixa de 2700K (amarelada), vida útil

média de 1000 horas, reprodução de cor de 100%, e eficiência variando entre 15 e 20 lm/W.

A Figura 14 ilustra um exemplo deste tipo de lâmpada.



Figura 14. Lâmpada Incandescente Tradicional.
Fonte: (9) PHILIPS – Guia de Iluminação 2005.

- **Lâmpada Incandescente Halógena:** Possuem o mesmo princípio de funcionamento, porém foram incrementadas com a introdução de gases halogênicos, os quais se combinam com as partículas desprendidas de tungstênio. Essa combinação, aliada à corrente térmica de dentro da lâmpada, faz com que essas partículas desprendidas se depositem de volta no filamento, criando o ciclo regenerativo do halogênio. A consequência disto é uma lâmpada com mais vantagens em relação à tradicional, tais como: luz mais branca, brilhante e uniforme, maior vida útil (2000 a 4000 horas) e, conseqüentemente, maior eficiência energética, ou seja, mais luz com potência menor ou igual. A Figura 15 apresenta um exemplo desta lâmpada.



Figura 15. Lâmpada Incandescente Halógena.
Fonte: (9) PHILIPS – Guia de Iluminação 2005.

Lâmpadas de Descarga Elétrica

Nas lâmpadas de descarga utilizadas em iluminação, a luz é produzida pela radiação emitida pela descarga elétrica através de uma mistura gasosa composta de gases inertes e vapores metálicos.

A corrente elétrica provocada pela descarga, que circula pela mistura gasosa, é formada majoritariamente por elétrons emitidos pelo eletrodo negativo (catodo) que são acelerados por uma diferença de potencial externa em direção ao eletrodo positivo (anodo), gerando colisões, elásticas e inelásticas, com os átomos do vapor metálico.

A energia transferida ao átomo pelas colisões elásticas excita elétrons para órbitas mais elevadas e as colisões inelásticas provocam sua ionização gerando novos elétrons. A subsequente transição do átomo para um estado de menor energia é acompanhada da emissão de radiação.

Cabe ressaltar que para este processo ter início, é necessário um processo de ignição para o rompimento da rigidez dielétrica da coluna gasosa. Após a partida, entretanto, é necessário um processo de estabilização do sistema, o qual é realizado pelo elemento conhecido por reator, e que será abordado nas seções subsequentes.

- **Fluorescente Compacta (LFC):** foram desenvolvidas visando obter grande economia de energia através de sua instalação em lugar das incandescentes comuns. São lâmpadas mais eficientes, pois economizam até 80% de energia em relação às lâmpadas incandescentes, vida longa (»10.000 h), ótimo índice de reprodução de cores (»80) e adaptável a base comum (E-27), com potências que variam de 9 a 23W. A Figura 16 ilustra alguns exemplos das LFC's encontradas no mercado.



Figura 16. Lâmpadas Fluorescentes Compactas (LFC).

- **Fluorescente Tubular (FLUOR):** conhecida comercialmente como lâmpada tubular fluorescente - em função da geometria do seu tubo de descarga - este tipo de lâmpada encontra aplicações em praticamente todos os campos de iluminação. A Figura 17 apresenta de forma ilustrativa o princípio de funcionamento e a estrutura interna deste tipo de lâmpada.

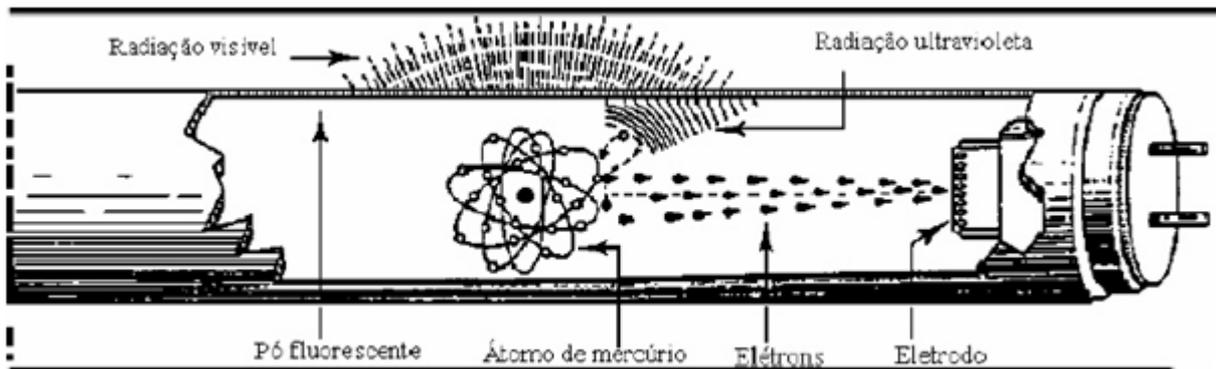


Figura 17. Estrutura interna e princípio de funcionamento.

Fonte: (10) TEIXEIRA, Armínio – Eficiência Energética em instalações de Iluminação.

O tubo de descarga, de vidro transparente, é revestido internamente com uma camada de pó branco, ou pó fluorescente, genericamente conhecido como "fósforo". O "fósforo" atua como um conversor de radiação, ou seja, absorve um comprimento de onda específico de radiação ultravioleta, produzida por uma descarga de vapor de mercúrio a baixa pressão, para emitir luz visível. É da composição deste pó fluorescente que resultam as diferentes alternativas de cor de luz, bem como sua qualidade e quantidade, além da eficiência na reprodução de cor.

Atualmente existem duas versões dessas lâmpadas:

- **Fluorescente Comum:** que apresenta eficiência energética de até 70 lm/W, temperatura de cor variando entre 4100 K e 6100 K e índice de reprodução de cor de 48 a 78.
- **Fluorescente Trifósforo:** com eficiência energética de até 100 lm/W, temperatura de cor variando entre 4000 K e 6000 K e índice de reprodução de cor de 85.

As lâmpadas fluorescentes, comercialmente disponíveis, utilizam bulbos de vidro transparente, designados por uma letra T (de tubular) seguida de um número, que indica o seu diâmetro máximo em oitavos de polegada. Salienta-se que, ao longo dos anos, o processo de melhoria à eficiência desse tipo de tecnologia tem ficado por conta da redução do seu diâmetro. Quanto menor ele for, maior é a possibilidade de desenvolvimento ótico dos refletores, permitindo melhor eficiência das luminárias.

A Figura 18 apresenta os tipos de lâmpadas FLUOR encontradas no mercado, ilustrando as diferenças visuais entre os diâmetros dos tubos.



Figura 18. Comparação entre os diâmetros dos bulbos de vidro de lâmpadas FLUOR.

As versões tradicionais de lâmpadas são produzidos em T12, ou T10, e as versões mais modernas, em T8 e, por último, as T5. Este último modelo é o mais eficiente encontrado no mercado deste tipo de tecnologia.

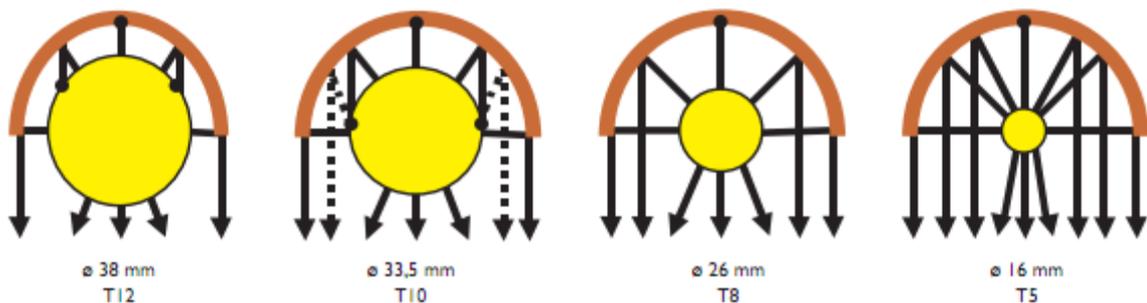


Figura 19. Aproveitamento do fluxo luminoso em luminárias pelas lâmpadas fluorescentes tubulares encontradas.

Fonte: (9) PHILIPS – Guia de Iluminação 2005.

Pode-se notar através da Figura 19 o diâmetro para cada tipo de tecnologia (T12, T10, T8 e T5), além do melhor aproveitamento do fluxo luminoso em uma luminária das tecnologias com diâmetro reduzido – casos da T5 e T8.

- **Vapor de Mercúrio:** A lâmpada de vapor de mercúrio é constituída por um tubo de descarga transparente, inserido em um bulbo de vidro, revestido internamente com uma camada de fósforo para correção do índice de reprodução de cor – de maneira semelhante ao processo de “filtragem” do ultravioleta para radiação visível das lâmpadas fluorescentes.

No interior do tubo de descarga que contém vapor de mercúrio, além de argônio, sendo este último responsável pela ignição da lâmpada. Além disso, o sistema deve ter um reator indutivo de modo a realizar a estabilização da descarga provocada no tubo de arco, controlando a corrente e a tensão de operação. Cabe salientar que este tipo de reator é específico para este tipo de tecnologia.

Essas lâmpadas têm eficiência de 40 a 60 lm/W, temperatura de cor de 4100 a 3550 K, IRC de 40 e potências variando entre 50 W e 1000 W. Na Figura 20 segue um exemplo de uma lâmpada de vapor de mercúrio encontrada em circulação no mercado.



Figura 20. Lâmpada de Vapor de Mercúrio.
Fonte: (9) PHILIPS – Guia de Iluminação 2005.

- **Vapor de Sódio:** as lâmpadas de vapor de sódio possuem duas classificações: de baixa pressão – conhecida pelo acrônimo LPS (*Low Pressure Sodium*) - e de alta pressão – HPS (*High Pressure Sodium*).

As lâmpadas LPS do tipo tradicional possuem eficiência luminosa da ordem de 100 lm/W, e vida útil de 6000 horas. Um agravante desta tecnologia diz respeito a sua composição espectral, sendo quase monocromática (luz amarela), distorcendo as cores, impedindo seu uso em iluminação interior. Porém, devido à sua alta eficiência luminosa, é bastante utilizada na iluminação externa, em locais onde não se é cobrado uma boa reprodução das cores. Na Figura 21 segue um exemplo de uma LPS.



Figura 21. Lâmpada de Vapor de Sódio de Baixa Pressão (LPS).

A lâmpada HPS é a mais eficiente do grupo de lâmpadas de descarga. A luz é produzida pela excitação de átomos de sódio, aliados a um complexo processo de absorção e re-irradiação em diferentes comprimentos de onda. A luz resultante possui uma coloração branco-dourada, com eficiência de 130 lm/W.

As lâmpadas de vapor de sódio são projetadas para funcionar nos mesmos reatores das vapor de mercúrio, sendo assim, uma excelente opção de substituição deste tipo de tecnologia, desde que estejam instaladas em ambiente externos, como em avenidas, auto-estradas, viadutos, etc, consoante à Figura 22.



Figura 22. Lâmpada de Sódio (HPS) utilizada em via pública.

- **Vapor Metálico:** São lâmpadas que combinam iodetos metálicos, apresentando altíssima eficiência energética e excelente reprodução de cor. Construtivamente, são semelhantes às lâmpadas de mercúrio de alta pressão. Sua luz, extremamente branca e brilhante – atualmente a Fonte de luz branca de maior eficiência disponível no mercado, realça e valoriza espaços e ilumina com intensidade, além de apresentar longa durabilidade e baixa carga térmica.

Para o seu funcionamento é necessário utilizar um reator para controlar a tensão e corrente de operação, além de um ignitor para a partida. As lâmpadas de vapor metálico apresentam uma eficácia luminosa de 65 a 100 lm/W e um índice de reprodução de cores superior a 80. A sua vida útil é em geral inferior a 8000 horas. São comercialmente disponíveis lâmpadas de 70 W a 2000 W, e na Figura 23 seguem exemplos de lâmpada de vapor metálico em circulação.



Figura 23. Lâmpada de Vapor Metálico Ovóide e Tubular.
Fonte: (9) PHILIPS – Guia de Iluminação 2005.

- **Lâmpadas Mistas:** As lâmpadas de luz mista, como o próprio nome já diz, são uma combinação de uma lâmpada vapor de mercúrio com uma lâmpada incandescente, isto é, um tubo de descarga de mercúrio ligado em série com um filamento incandescente. O filamento controla a corrente no tubo de arco e ao mesmo tempo contribui com a produção de 20% do total do fluxo luminoso produzido. A combinação da radiação do mercúrio com a radiação do fósforo e a radiação do filamento incandescente, produz uma agradável luz branca.

Este tipo de lâmpada apresenta um índice de reprodução de cor variando de 50 a 70, porém sua eficácia luminosa (até 22 lm/W) é baixa em razão da potência dissipada no filamento, que determina a sua vida útil, em geral de 6000 horas a 10000 horas. A Figura 24 ilustra se este tipo de tecnologia nas potências de 160W, 250W e 500W – as mais encontradas no mercado.



Figura 24. Lâmpadas Mistas de 160W, 250W e 500W.

Vale ressaltar que esta tecnologia não necessita de reator, ignitor e/ou starter para operar, sendo, portanto, alternativa de maior eficiência para substituição de lâmpadas de incandescência de altas potências.

2.1.4.2 Luminárias

São equipamentos que recebem a Fonte de luz (lâmpada), e modificam a distribuição espacial do fluxo luminoso sobre uma superfície qualquer. Em outras palavras, a luminária abriga a lâmpada e direciona a luz de acordo com a configuração desejada.

Pode-se dizer que uma luminária é eficiente, quando esta aperfeiçoa o desempenho do sistema de iluminação. É de suma importância, ao avaliar uma luminária, suas características de emissão e a sua eficiência.

O valor da fração de fluxo que efetivamente é emitido depende de alguns fatores, tais como: materiais empregados na construção da luminária, da refletância das suas superfícies, de sua forma, dos dispositivos usados na proteção das lâmpadas (Difusores) e do seu estado de conservação. As principais partes que compõem uma luminária são:

- **O receptáculo para Fonte luminosa:** elemento de fixação que funciona como contato elétrico entre o circuito de alimentação externo e a lâmpada;
- **Refletores:** dispositivos que servem para modificar a distribuição espacial do fluxo luminoso de uma Fonte. Dispõem de vários perfis (circulares, parabólicos, elípticos), cada um com sua aplicação específica. Os refletores podem ser construídos de vidro ou plásticos espelhados (pouco utilizado devido a sua fragilidade, custo e peso elevado), chapa de aço esmaltado ou pintado de branco e alumínio polido (ótima opção, pois além das vantagens de alta refletância, possui peso reduzido, resistência mecânica razoável e custo relativamente baixo).
- **Refratores:** são dispositivos que alteram a distribuição do fluxo luminoso de uma Fonte através do fenômeno da transmitância. Uma de suas principais utilidades consiste na vedação da luminária, protegendo a parte interna contra poeira, poluição, impactos, etc.
- **Difusores:** Os difusores são elementos translúcidos, foscos ou leitosos, colocados em frente à lâmpada com o intuito de reduzir sua luminosidade, e conseqüentemente, diminuir as possibilidades de ofuscamento. Além disso, podem ser utilizadas para obter-se um aumento da abertura de fecho de uma luminária.
- **Carcaça, órgãos de fixação e de complementação.**

2.1.4.3 Equipamentos Auxiliares

Reatores

Tem por finalidade provocar um aumento de tensão durante a ignição e uma redução na intensidade de corrente durante o funcionamento da lâmpada. Isto é, um estabilizador do funcionamento de muitas lâmpadas. Em termos construtivos podem se apresentar de duas formas: reatores eletromagnéticos e eletrônicos.

- **Reatores eletromagnéticos:** Geralmente compostos de núcleo de ferro, bobinas de cobre e capacitores para correção do fator de potência. Possui consideráveis perdas elétricas, emissão de ruído audível, efeito *flicker* e carga térmica elevada;
- **Reatores Eletrônicos:** Trabalham em alta frequência (20 a 50kHz), sendo mais eficientes que os eletromagnéticos na conversão de potência elétrica em potência luminosa. Porém, possuem a desvantagem de apresentar alta distorção harmônica de corrente (THD);

Ignitores

Dispositivo responsável pela partida das lâmpadas de vapor de sódio e metálicas. Durante a ignição da lâmpada, ela fornece um pico de tensão aos eletrodos da lâmpada, sobrepondo-se à tensão da rede. Após a sua partida, ele automaticamente se desliga.

Sensor de Presença

Um sistema com sensor de presença é composto por um detector de movimento (ultrassônicas ou radiação infravermelha), uma unidade de controle eletrônica e um interruptor controlável (relé). Esse dispositivo se aplica em locais de ocupação imprevisível, ou intermitente, podendo gerar economias significativas.

Sistema por Controle Fotoelétrico

Este sistema possui sensores que identificam a presença da luz natural, e realizam o devido controle ao diminuir, ou até desligar a iluminação artificial através de *dimmers* e/ou relés.

Além de um sistema de gerenciamento, sensores de presença e fotoelétricos são imprescindíveis para a obtenção de um sistema de iluminação inteligente e eficiente.

Dimmers

São dispositivos que controlam a potência média fornecida à lâmpada através de um circuito eletrônico e, por consequência, a sua quantidade de fluxo luminoso.

2.2 Cálculos Luminotécnicos

Basicamente, existem dois métodos para cálculo luminotécnico:

- Método dos Lumens ou Método do Fluxo Luminoso;
- Método Ponto por Ponto.

O método dos Lumens, ou método do Fluxo Luminoso, consiste em determinar a quantidade de fluxo luminoso (lumens) necessária para determinado recinto baseado no tipo de atividade desenvolvida, cores das paredes e teto, e também do tipo de lâmpada-luminária escolhidos. Este método foi desenvolvido para o cálculo de iluminação de ambientes internos, em função das dificuldades do método do ponto a ponto.

O método ponto a ponto, também chamado de método das intensidades luminosas, baseia-se nos conceitos e leis básicas da luminotécnica, entre elas, as leis de Lambert. Consiste em determinar a iluminância (lux) em qualquer ponto da superfície, individualmente, para cada projetor cujo fecho atinja o ponto considerado. O iluminamento total será a soma dos iluminamentos proporcionados pelas unidades individuais. É um método bastante preciso, contudo, envolve grande complexidade de cálculos, além do conhecimento prévio das distribuições fotométricas das Fontes de luz.

Cabe salientar que os cálculos luminotécnicos serão todos realizados através do software gratuito DIALux, o qual efetua as operações luminotécnicas pelo método ponto a ponto. Para tanto, deve-se disponibilizar para o DIALux alguns parâmetros a respeito do projeto, sejam do ambiente em que será inserido o campo de iluminação, ou sejam as distribuições fotométricas das luminárias e lâmpadas escolhidas para o projeto.

2.2.1 Parâmetros relativos ao Ambiente - DIALUX

Os parâmetros pertinentes ao ambiente são:

- ✓ **Índice de refletâncias do teto, parede e piso:** são valores expressos em valor percentual do total de luminosidade refletida pelo elemento sob incidência de alguma

radiação, e dependem fortemente das cores em que estão pintadas. Os valores destes índices para os principais materiais e cores encontram-se listados na Tabela 2 e na Tabela 3.

Tabela 2. Índice de Refletância dos materiais.

Cores	Índice de Reflexão (%)
Branco	70 a 80
Amarelo	50 a 70
Cinza	20 a 50
Verde	20 a 40
Vermelho	20
Preto	3 a 7

Tabela 3. Índice de Refletância das cores.

Materiais	Índice de Reflexão (%)
Gesso	85
Tinta Branca à água	70
Azulejos Brancos	60 a 75
Cimento	55
Madeira Clara	45
Vidro Transparente	6 a 8

Além do material que o compõem estes índices dependem fortemente da própria limpeza, manutenção e vida útil, pois podem estes valores cair até 20% dos nominais mostrados na Tabela 2 e na Tabela 3, com o passar do tempo. (11) (COSTA, 2000). Uma forma bastante prática de se determinar a refletância das superfícies de um ambiente é realizar um pequeno experimento, em que se mensura a quantidade de lux incidida na superfície, e o montante efetivamente refletido. A Tabela 4 apresenta os índices mais utilizados nos cálculos luminotécnicos.

Tabela 4. Índices de Refletâncias usuais.

	Branco	Claro	Médio	Escuro
Teto	75%	50%	50%	30%
Parede		50%	30%	10%
Piso			30%	10%

As refletâncias são dadas através de 3 (três) algarismos que representam as refletâncias do teto, paredes e piso respectivamente. Por exemplo, se o teto for branco (75% de reflexão), as paredes são médias (30% de reflexão) e o piso é escuro (10%), o valor das refletâncias é caracterizado como 7,5/3/1.

✓ **Fator de Manutenção, ou Depreciação:** O fator de depreciação corresponde a uma relação entre o fluxo luminoso no fim do período de manutenção e o fluxo luminoso no início da instalação. É obtido levando-se em conta, não o modelo da luminária, mas sim o

tipo de ambiente e o período previsto para a manutenção, tendo seu valor variável de acordo com o fabricante da luminária, conforme apresenta a Tabela 5.

Tabela 5. Fator de Manutenção.

Ambiente	Período de Manutenção		
	2.500 hs	5.000 hs	7.500hs
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,8
Sujo	0,8	0,66	0,57

Cabe ressaltar que esses valores mostrados na Tabela 5 são os sugeridos pela PHILIPS.

2.2.2 Parâmetros das Luminárias (*plug-ins*)- DIALUX

Após carregar no DIALux as características do ambiente, deve-se escolher o tipo de luminárias e lâmpadas a se instalar. O software calcula a iluminância através das características fotométricas da luminária escolhida, que se encontram carregadas em arquivos de extensão “IES”, disponíveis pelos próprios fabricantes após a realização de ensaios de fotometria. Estes arquivos são conhecidos por “*plug-ins*” e na Figura 25 é apresentado um diagrama polar da distribuição luminosa de uma luminária, cujos valores estão contidos neste arquivo.

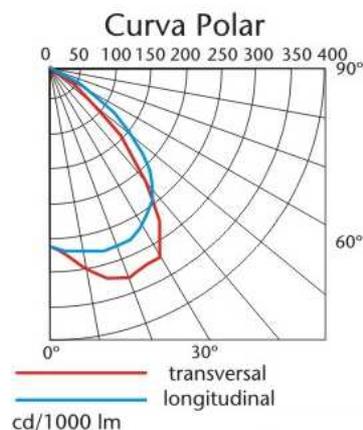


Figura 25. Diagrama polar da distribuição luminosa da luminária INTRAL DS500.
Fonte: (12) INTRAL. Catálogo Geral de Produtos.

A unidade utilizada na distribuição luminosa ilustrada na Figura 25 é candela por 1000 lumens (cd/1000lm).

2.3 Protocolos de Comunicação

Um protocolo de comunicação nada mais é do que um conjunto de convenções que rege o tratamento e, especialmente, a formatação dos dados num sistema de comunicação. Seria a "gramática" de uma "linguagem" de comunicação padronizada. Conhecemos vários protocolos de comunicação e fazemos uso deles diariamente, mas não pensamos neles como protocolos de comunicação.

Dentro do contexto da automação industrial, os protocolos de comunicação estão inseridos no nível de rede de comunicação, conforme se pode observar através da Figura 26.

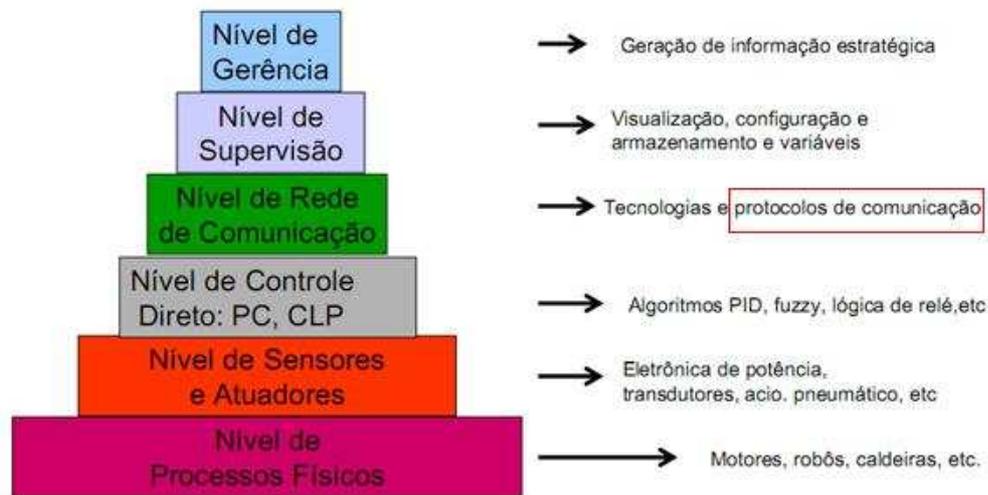


Figura 26. Níveis de Abstração da Automação Industrial, e seus exemplos de aplicação
Fonte: (13) (OLVEIRA, Notas de Aula “Automação na Medição da Indústria de Petróleo”).

Tecnicamente, um protocolo (ou regra) deve definir o formato, a sincronização, a sequência e, ainda, a detecção de erros e falhas na comutação de pacotes, isto é, na transmissão de informação entre as partes envolvidas, por exemplo, os computadores.

Assim, dois ou mais elementos (computadores, por exemplo), para se comunicarem numa rede, têm de falar a mesma linguagem, ou seja, usar o mesmo protocolo. Para existir comunicação é necessário existir pelo menos um canal, um emissor e um receptor e garantir que ambos tenham a faculdade de utilizar um protocolo comum.

2.3.1 Modelo OSI (Open System Interconnect)

Em 1977 foi criado pela ISO (International Organization for Standardization) o modelo de referência OSI com o objetivo de criar padrões de conectividade para interligar sistemas de computadores locais e remotos. Os aspectos gerais da rede estão divididos em sete camadas funcionais, de forma a facilitar a compreensão de questões fundamentais. A Tabela 6 ilustra o modelo ISO/OSI, com as sete camadas de comunicação divididas de forma bem clara.

Tabela 6. As sete camadas de comunicação do modelo OSI/ISO.

7	Aplicação	Esta camada funciona como uma interface de ligação entre os processos de comunicação de rede e as aplicações utilizadas pelo usuário.
6	Apresentação	Aqui os dados são convertidos e garantidos em um formato universal.
5	Sessão	Estabelece e encerra os enlaces de comunicação.
4	Transporte	Efetua os processos de sequenciamento e, em alguns casos, confirmação de recebimento dos pacotes de dados.
3	Rede	O roteamento dos dados através da rede é implementado aqui.
2	Enlace	Aqui a informação é formatada em quadros (<i>frames</i>). Um quadro representa a exata estrutura dos dados fisicamente transmitidos através do fio ou outro meio.
1	Física	Define a conexão física entre o sistema computacional e a rede. Especifica o conector, a pinagem, nível de tensão, dimensões físicas, características mecânicas e elétricas, etc.

Vale ressaltar que nem todos os protocolos utilizam ou seguem, necessariamente, as sete camadas. Alguns unem as funções de duas camadas em uma (geralmente as mais altas), e outros dividem (geralmente as mais baixas).

Além disso, é importante observar que o modelo OSI é simplesmente um modelo que especifica as funções a serem implementadas pelos diversos fabricantes em suas redes. Este modelo não detalha como estas funções devem ser executadas, deixando isto para que cada empresa/organização tenha liberdade para desenvolver.

2.3.2 Configuração Mestre/Escravo

O modelo Mestre/Escravo é o tipo de comunicação em que apenas um único dispositivo, o mestre, pode iniciar transações conhecidas por *queries*. A Figura 27 demonstra um exemplo deste tipo de modelo.

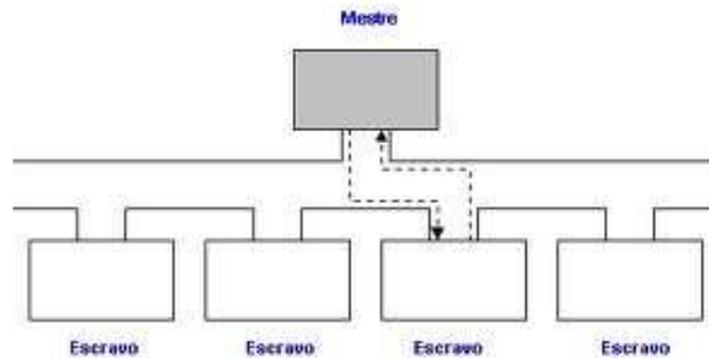


Figura 27. Exemplo de comunicação do tipo Mestre-Escravo ou Cliente/Servidor

Os demais equipamentos da rede, os escravos, respondem suprindo os dados requisitados pelo mestre, ou executando uma ação determinada por ele.

2.3.3 Codificação Manchester

Na Codificação Manchester, o ponto no qual o sinal varia é usado para representar o dado. O *hardware* usado na Codificação Manchester é sensível à borda do pulso de tensão e as transições são conhecidas como borda de subida ou descida – vide Figura 28.

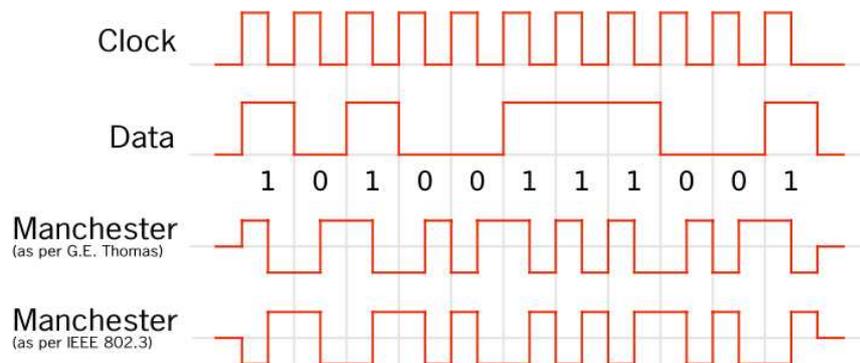


Figura 28. Exemplo de Codificação Manchester.

Com esse tipo de estrutura, cada período de *bit* é dividido em dois intervalos iguais e tem uma transição no meio que facilita para o receptor sincronizar com o transmissor. Para assegurar que haja uma sincronização adequada das janelas de tempo quando da amostragem do sinal pelo receptor, a Codificação Manchester usa um preâmbulo para permitir a sincronização pelo receptor.

O preâmbulo é composto por 64 bits (1's ou 0's) que se alternam, o qual é enviado antes do quadro de dados. Um padrão que alterna “uns” e “zeros” produz uma onda quadrada pela qual o receptor pode determinar o valor das janelas de tempo. O efeito combinado do preâmbulo e da transição no meio do período do bit elimina a necessidade de um *clock* externo para sincronizar o transmissor e receptor.

3 PROTOCOLO DALI

Este tópico tem por objetivo apresentar o protocolo DALI, descrevendo seu princípio de funcionamento e demais características. Alguns conceitos básicos sobre esta tecnologia, e que serão expostos diversas vezes no texto, encontram-se descritos logo a seguir:

- ✓ **Dimerizar:** Ajustar a luminosidade das lâmpadas, aumentando ou reduzindo a quantidade de luz no ambiente.
- ✓ **Grupo:** É o agrupamento de várias luminárias, que serão controladas conjuntamente, ou seja, quando liga-se ou “dimeriza-se” um determinado grupo, todas as luminárias pertencentes àquele grupo serão ligadas ou “dimerizadas” simultaneamente.
- ✓ **Cena:** É o status de cada grupo/luminária presente no ambiente, ou seja, quais estão desligadas, quais estão ligadas, e quais são os níveis de “dimerização” (quantidade de luz) de cada uma delas naquela cena em específico.

3.1 Apresentação

DALI é um acrônimo de “Digital Addressable Lighting Interface”. Trata-se de um padrão internacional especificado pela norma IEC 60929 que independe dos fabricantes dos produtos, o que assegura a intercambialidade e a interoperabilidade de dispositivos “dimerizáveis” de vários fabricantes; entre eles: OSRAM, PHILIPS, HELVAR, HÜCO, TRIDONIC, TRILUX, etc.

Este protocolo é restrito para os componentes do sistema de iluminação, porém, não representa uma desvantagem, pelo contrário, pois simplifica o planejamento e instalação. Os componentes DALI possibilitam a criação de um sistema de iluminação flexível, de custo vantajoso e controle descentralizado.

A Figura 29 apresenta uma topologia de uma rede DALI, indicando algumas características fundamentais, tais como: tipos de endereçamento possíveis, limites (físicos) de utilização, especificação do cabeamento da linha.

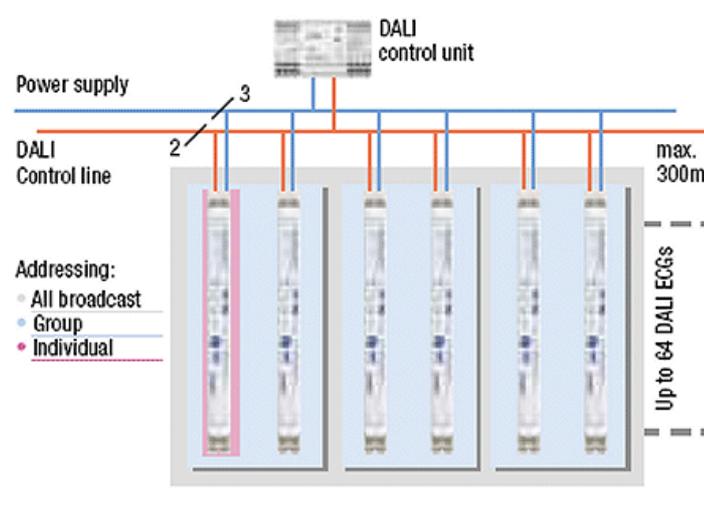


Figura 29. Princípio de funcionamento de uma rede DALI.
 Fonte: (14) OSRAM – Technical Guide DALI/DIM.

Nota-se, portanto, que cada unidade de controle pode endereçar reatores DALI de maneira individual - até 64 unidades -, ou em grupos, ou globalmente, através do comando *broadcast*. A composição da linha DALI é feita de, no mínimo cinco fios, sendo três deles da alimentação do sistema, e dois de controle/transmissão de dados, sendo permitido um máximo de 300 metros de comprimento do barramento.

Cabe ressaltar que no decorrer do capítulo será abordado com maior profundidade as características do protocolo.

3.2 Visão Geral do Sistema

3.2.1 Configuração de Rede

Uma rede DALI pode ter até três configurações: básica, básica com controlador dimerizável, e multi controladores com reatores selecionados. A comunicação se dá através de um barramento de dois fios de dados, sendo as mensagens enviadas através de um chaveamento entre os dois condutores de dados com uma Fonte de alimentação, criando assim os sinais digitais, alto e baixo.

3.2.1.1 Configuração Básica

A rede comporta até 64 dispositivos de iluminação, isto é, reatores, transformadores, gateways, relés, e outros. O barramento de dados deve ser alimentado por pelo menos uma Fonte de energia. A Figura 30 ilustra esta configuração:

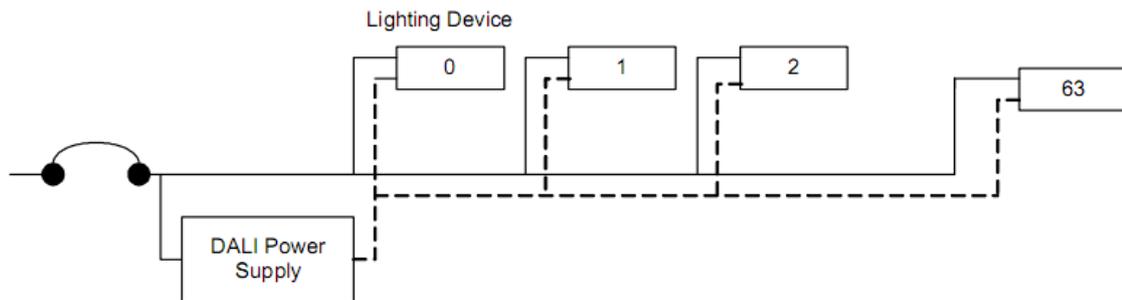


Figura 30. Configuração básica da rede DALI.

Fonte: (15) NEMA STANDARD PUBLICATION 243-2004 – “*DALI Control Devices Protocol*”.

3.2.1.2 Configuração básica com controlador

Nota-se através da Figura 31 que é inserido um controlador de luminosidade na rede, o qual tem por função controlar digitalmente o fluxo luminoso todos os reatores, sendo possível prover até 254 níveis de dimerização para, deste modo, se alcançar uma resposta mais suave.

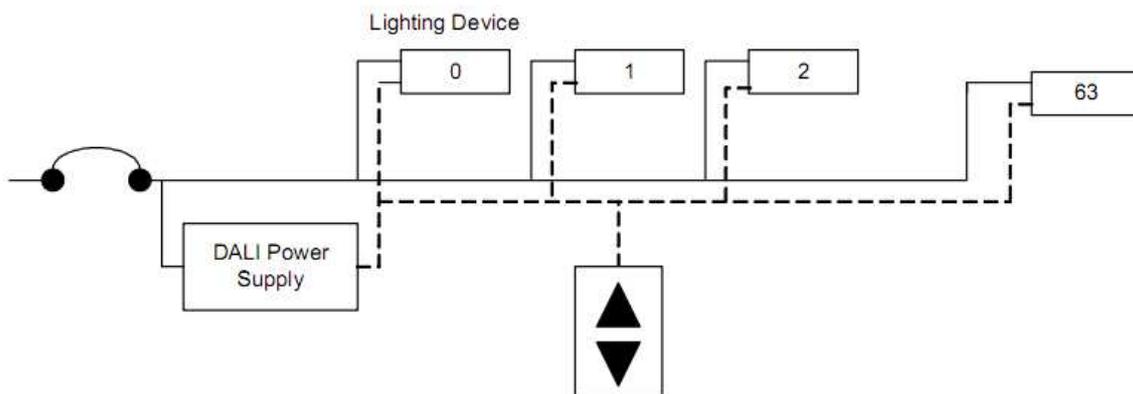


Figura 31. Configuração básica com controlador.

Fonte: (15) NEMA STANDARD PUBLICATION 243-2004 – “*DALI Control Devices Protocol*”.

3.2.1.3 Configuração Multi Controladores

Nesta configuração podem ser adicionados mais 63 controladores na rede, capacitando a rede de endereçar até 128 dispositivos – 64 de controle e 64 de saída. Neste caso, os módulos de controle podem se comunicar, tanto entre si (controladores), como com os

reatores. Estes últimos podem ser endereçados sozinhos, ou por grupos, caso sejam programados - via software de programação – para tanto. A Figura 32 apresenta um esboço desta configuração.

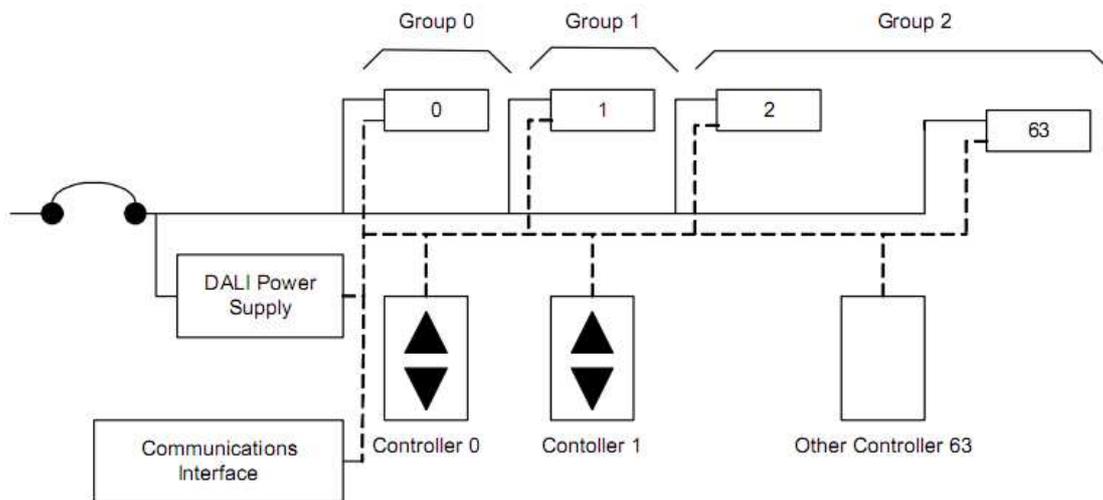


Figura 32. Configuração multi controladores.

Fonte: (15) NEMA STANDARD PUBLICATION 243-2004 – “*DALI Control Devices Protocol*”.

3.2.2 Operação do Sistema

Um dispositivo de controle DALI (controlador) pode ser configurado para controlar diretamente reatores pré-especificados através de comandos de 2 bytes, bem como se comunicar com outros dispositivos de controle através de comandos de 3 bytes, ou até mesmo ambas configurações.

3.2.2.1 Operação Padrão

A operação padrão do dispositivo de controle se destina a fornecer o mínimo de funcionalidades que requerem comissionamento. Isto é, funciona de maneira bastante simples. Todos os reatores conectados na rede irão responder a todos os controles, executando as funções determinadas por eles.

3.2.2.2 Comissionamento

O processo de comissionamento torna a operação do sistema mais robusta. Durante esse processo, o agente de responsável pelo comissionamento fica encarregado de realizar as seguintes tarefas:

- a) Endereçar o Reator;
- b) Endereçar o dispositivo de Controle;
- c) Configurar os parâmetros de controle do sistema.

3.3 Comunicação

No DALI existem dois tipos de comunicação: entre as centrais de controle (controlador-controlador), e entre a central de controle e os demais dispositivos conectados à rede (controlador-reator). Esta última procede seguindo o método de controle de acesso conhecido por Mestre-escravo.

Os tempos de transmissão utilizados tanto para a comunicação **controlador-reator**, ou **controlador-controlador** são os mesmos, porém a última configuração se utiliza de 8 bits extras.

Esta transferência de dados é do tipo assíncrona, *half duplex*, serial sobre um barramento de dois fio de tensão diferencial. O sistema adota a codificação de bits do tipo Manchester, com as transições lógicas definidas conforme a Figura 33.

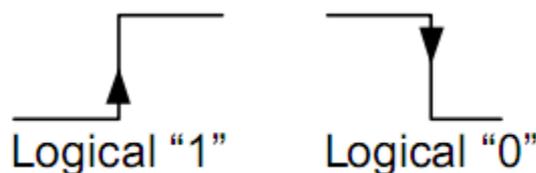


Figura 33. Codificação Manchester.

Fonte: (15) NEMA STANDARD PUBLICATION 243-2004 – “*DALI Control Devices Protocol*”.

Para a rede DALI, o mestre são somente as unidades de controle, enquanto que os demais dispositivos, tais como, reatores, sensores, gateways, interfaces são os escravos.

3.3.1 Comunicação Controlador-Reator

A taxa de transmissão, expressa em largura de banda, é de 1.200 Hz \pm 10% para o canal de envio (*forward*), e para o de recebimento (*backward*).

O frame da mensagem de ida possui 19 bits, conforme ilustra a Figura 34, sendo:

- a) 1 start bit;
- b) 1 byte de endereçamento: 1 bit para indicar se é do tipo individual ou por grupo, 6 bits de endereço, 1 bit de seleção;
- c) 1 byte de dados;
- d) 2 stop bits.

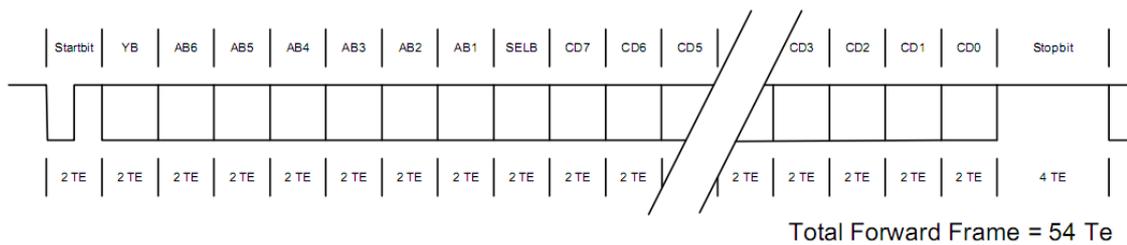


Figura 34. Frame da mensagem de ida.

Fonte: (15) NEMA STANDARD PUBLICATION 243-2004 – “*DALI Control Devices Protocol*”.

A mensagem de recebimento (*backward*), por sua vez, consiste em 11 bits (Figura 35), dos quais:

- a) 1 start bit;
- b) 1 byte de dados;
- c) 2 stop bits;



Figura 35. Frame da mensagem de volta.

Fonte: (15) NEMA STANDARD PUBLICATION 243-2004 – “*DALI Control Devices Protocol*”..

As mensagens *forward* se diferenciam das *backward* no que diz respeito ao endereçamento. Isto porque as mensagens de envio são enviadas pelo controlador, o qual é o mestre da comunicação – sempre lembrando que este tipo de configuração segue o modelo Mestre/Escravo - e este precisa indicar para qual elemento conectado na rede que vai receber a informação.

Já para efetuar a resposta – mensagem de recebimento (*backward*) – o elemento escravo (Reatores DALI, Sensores DALI, etc.) não precisa carregar o endereçamento visto que só é permitido responder a quem solicitou a informação.

Uma rede DALI permite ao controlador que realize até três tipos de endereçamento aos reatores, ou outro dispositivo de saída DALI, de modo a se alcançar a resolução de controle desejada. São eles:

- *Broadcast*;
- Por grupo;
- Individualmente.

3.3.1.1 Comando Broadcast

Todos dispositivos conectados na rede respondem ao mesmo tempo, e da mesma maneira ao mestre quando for enviado um comando broadcast. Nenhum comissionamento é necessário para que “escravos” respondam ao comando.

3.3.1.2 Comando por endereçamento de Grupo

Os reatores devem fazer parte de pelo menos um grupo, entre os 16 possíveis. Comissionamento é necessário para alocar na memória do reator a informação de que ele pertence a algum grupo. Para isso, a unidade deve ser endereçada com este fim através de um

comando de grupo, e todos os dispositivos pertencentes ao grupo devem responder da mesma forma quando solicitados pelo mestre.

3.3.1.3 Comando por endereçamento individual

Todos os reatores devem receber um endereço individual exclusivo, dentre os 64 possíveis em uma rede. Comissionamento é requerido para alocar no reator a mensagem individual, e este deve responder ao mestre quando solicitado.

3.3.1.4 Comando de Cena

Os reatores podem ter até 16 Cenas gravadas em sua memória, sendo que cada uma pode conter 254 níveis digitais de luminosidade. É necessário comissionamento para armazenar as cenas nos reatores, sendo possível acioná-la através dos três comandos anteriores.

3.3.2 Comunicação Controlador-Controlador

A taxa de transmissão de dados - a mesma da comunicação entre controlador-reator - é de 1.200 Hz $\pm 10\%$ para o canal de envio (*forward*), e para o de recebimento (*backward*).

O frame da mensagem de envio é composto por 27 bits, com a composição descrita a seguir.

- a) 1 start bit;
- b) 1 byte (8 bits) de endereçamento;
- c) 2 bytes de dados;
- d) 2 stop bits.

Nota-se que esta mensagem possui dois bytes de dados, um a mais que o frame *forward* da comunicação controlador-reator.

O frame da mensagem de recebimento possui os mesmos 11 bits do frame de recebimento da comunicação controlador-reator (apresentada no item 3.3.1.1) e encontram-se listados abaixo.

- a) 1 start bit;
- b) 1 bytes de dados;
- c) 2 stop bits.

Cabe ressaltar que neste tipo de comunicação – Controlador/Controlador – também ocorre uma diferenciação quanto ao tamanho e composição dos frames de envio e recebimento. Porém, neste caso, além da diferença quanto à ausência de endereçamento da mensagem *backward*, ocorre uma discrepância quanto ao tamanho dos bits de dados, que passam de dezesseis a para oito.

Esta diferença nos bits de dados ocorre, pois alguns comandos necessitam apenas destes 8 bits de dados, pois são comandos mais simples, enquanto que outros precisam de um byte extra para complementar a informação.

3.3.3 **Formatação da Mensagem de Controle DALI**

Esta seção tem por objetivo expor a estrutura das mensagens de controle DALI, e apresentar a lista de tipos de dispositivos de controle DALI. O formato genérico de uma mensagem de controle é descrito abaixo:

- Byte um: Endereçamento (quem);
- Byte dois: Comando (o que);
- Byte três: Dados (quanto).

3.3.3.1 Byte de Endereçamento

O primeiro byte é usado para endereçamento. Ele controla quem irá receber ou reagir à mensagem, existindo cinco tipos de endereçamento suportados pelas mensagens de controle DALI:

- Endereçamento Individual de controle (Enviado para um dispositivo individual);
- Endereçamento Originador de controle (recebido de um dispositivo individual);
- Endereçamento de controle de tipos (enviado a um tipo específico de dispositivos);
- Endereçamento de controle de Grupos (enviado a um grupo de dispositivos)
- Endereçamento de controle Broadcast (enviado a todos dispositivos).

Endereçamento Individual de controle

Não mais que 64 dispositivos de controle são permitidos em um barramento DALI. O limite, na verdade, é determinado pelo consumo de corrente e pela potência disponível para a linha. O endereço individual para o controlador pode ser de 0 a 63. A primeira vista pode parecer que o endereçamento dos controladores e reatores podem ocupar o mesmo espaço, mas não o fazem, visto que a comunicação com os reatores é realizada usando-se comandos de 2 bytes, e não 3 como são os de controle.

Endereçamento individual é especificado quando os dois bits superiores do byte são ambos iguais a zero. Os seis bits restantes é que compõem o valor do endereço, por isso mesmo, que o range de valores vai de 0 a 63, ou o a 0x3f em hexadecimal.

Endereçamento Originador de controle

Alguns dispositivos, tais como sensores de presença e de luminosidade, necessitam enviar periodicamente informações ao controlador. Partindo do pressuposto que podem existir múltiplos sensores em uma mesma rede DALI, é necessário que os sensores se identifiquem

na rede. Para suportar essa função, o campo de endereçamento, que normalmente identifica o receptor da informação, é usado para identificar a Fonte da mensagem.

Quando é usado o Endereçamento Originador de controle, todos os dispositivos do barramento recebem a mensagem, porém apenas os que foram previamente configurados irão agir de acordo com o conteúdo da mensagem.

Este endereçamento é análogo ao individual, porém com um offset de 64. Ele é especificado quando o bit mais significativo do byte é igual a zero, e o seguinte igual a um. Os seis bits restantes carregam o valor do endereço. Desta forma, o range de valores vai de 64 a 127 (0x40 a 0x7f em hexadecimal).

Endereçamento de controle de Tipos

Essa terceira maneira de endereçamento foi concebida de forma a permitir que um elemento na rede se comunique com todos os outros desde que pertençam ao mesmo tipo. Os tipos de dispositivos definidos atualmente são apresentados na Tabela 7, da seção 3.4.3, sendo permitida a definição de até 64 tipos.

Endereçamento de Tipos é especificado quando o bit mais significativo do byte de endereçamento é igual a um e o bit seguinte igual a zero, sendo os bits restantes responsáveis por carregar o valor do endereço, que pode ir de 128 a 191 (0x80 a 0xbf em hexadecimal).

Endereçamento de Grupos

Este tipo de endereçamento é especificado quando os dois bits mais significativos do byte são iguais a um, e o bit seguinte igual a zero. Logo, o valor do endereço está contido nos 5 bits restantes, levando a um range de valores de 192 a 223 (0xc0 a 0xdf em hexadecimal).

Cabe ressaltar que existem ainda os bits de endereçamento reservados para futuras expansões, sendo estes especificados quando os três bits mais significativos do byte de

endereçamento forem iguais a um, levando a um range de valores de 224 a 255 (0xe0 a 0xfe em hexadecimal).

Endereçamento Broadcast de controle

Consiste no quinto tipo de endereçamento suportado, sendo usado quando qualquer controlador na rede queira receber a informação. Ele é especificado quando todos os bits do byte forem iguais a um, correspondendo ao endereço de valor 255, ou 0xff em hexadecimal.

3.3.3.2 Byte de Comando

O segundo dos três bytes da mensagem de controle DALI contém o comando de controle. Ele especifica o que será realizado/executado pelo dispositivo endereçado no primeiro byte. Para obter uma maior eficiência do byte de comando, este pode ser dividido em três partes:

- ✓ Comando de Controle Comum – 0 a 127 (0x00 a 0x7f hexadecimal);
- ✓ Comando de tipo específico – 128 a 191 (0x80 a 0xbf hexadecimal);
- ✓ Comando específico de fabricação – 192 a 355 (0xc0 a 0xff hexadecimal).

A eficiência citada acima é obtida ao saber se diferenciar os comandos que requerem, ou não, dados complementares para uma tarefa. Para os comandos que necessitam de informações adicionais, o segundo byte vai indicar o comando, enquanto que o terceiro byte vai carregar os dados efetivamente.

Já para os casos em que não se precisam dados extras, o segundo byte vai indicar um “*data-less comand*” (comando sem dados), tendo a informação carregada no terceiro byte.

3.3.3.3 Lista de Tipos de dispositivos de controle DALI

A Tabela 7 apresenta a lista de alguns dispositivos de controle quando endereçados pelo endereçamento de tipo.

Tabela 7. Tipos de dispositivos de controle DALI.

Tipo DEC	Tipo HEX	Nome	Comentários
128	0x80	Dispositivo Desconhecido	Se algum dos dispositivos abaixo não se aplicam
129	0x81	Dispositivos Switches	Não é limitado apenas as chaves ON/OFF, mas também aos elementos de troca de cenas, dimerização, etc.
130	0x82	Dimmer Deslizante	Controlador dimerizável analógico/posicional
131	0x83	Sensor de Presença/Movimento	Dispositivo que indica a presença de pessoas em uma área controlada
132	0x84	Controlador de Luminosidade em Malha Aberta	Dispositivo que informa níveis de luminosidade atuais e/ou envia mensagens de controle para atuadores baseados em limites de luminosidade pré-estabelecidos
133	0x85	Controlador de Luminosidade em Malha Fechada	Dispositivo que informa níveis de luminosidade atuais e/ou envia mensagens de controle para atuadores baseados na variação dos níveis de iluminação
134	0x86	Programador	Elemento que estabelece um modo de construção baseado no tempo do dia, ou que fornece saídas de controle
135	0x87	Gateway	Interface para outros sistemas de controle ou barramentos de comunicação
136	0x88	Seqüenciador	Dispositivo que efetua seqüenciamento de cenas de luminosidade
137	0x89	Fonte de Alimentação	Fonte de Alimentação DALI que alimenta o barramento de comunicação
138	0x8a	Controlador de Luminosidade de Emergência	Elemento que é certificado para o uso em controle de luminosidade de emergência, ou, se não é certificado, para luminosidade de reserva não crítica
139	0x8b	Unidade de Entrada Analógica	Dispositivo genérico com entrada analógica
140	0x8c	Data Logger	Unidade que armazenam dados (podem ser dados analógicos ou digitais)

Fonte: (15) NEMA STANDARD PUBLICATION 243-2004 – “*DALI Control Devices Protocol*”..

Nota-se que apesar de serem expostos apenas os tipos de dispositivos com endereço indo de 128 a 140, estes podem variar até o valor 192, conforme apresentou a seção 3.4.1.3.

3.3.4 Especificações Elétricas

Com o DALI, os “telegramas” de dados são produzidos através de um mini-chaveamento dos fios de dados – curto-circuito seguido de uma liberação dos contatos com a Fonte, gerando assim os sinais lógicos “zero” e “um”. Isso pode ser feito tanto pelos reatores como pelos controlados.

Cabe ressaltar que durante o evento de curto circuito da linha (rápido fechamento da chave) a corrente é limitada pela Fonte a 250mA. A Figura 36 ilustra com grande clareza todas as características elétricas de uma transmissão de dados sobre uma interface DALI.

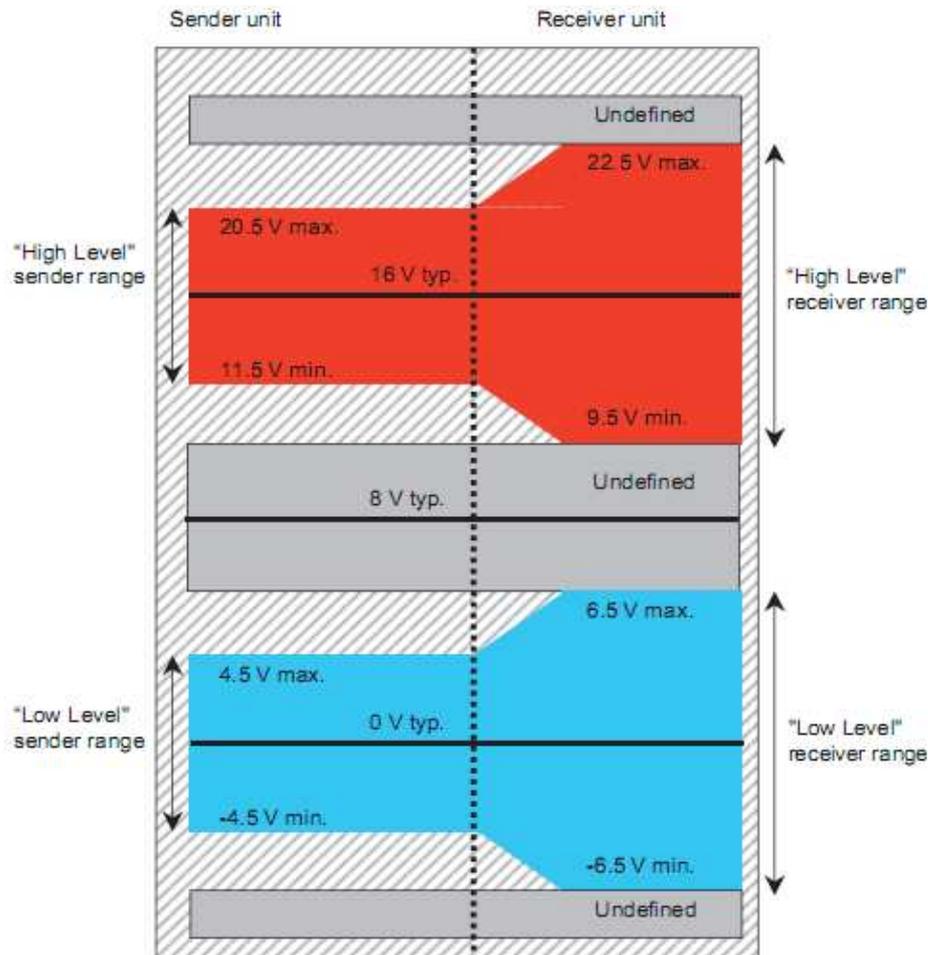


Figura 36. Especificação elétrica durante a transmissão de dados sobre interface DALI.
Fonte: (14) OSRAM – Technical Guide DALI/DIM.

Para uma unidade transmissora, é considerado o sinal lógico “alto” caso ela esteja contida no range de 20,5V a 11,5V, como de forma análoga, a unidade receptora compreende como sinal lógico “baixo” caso a tensão esteja na faixa entre $\pm 6,5V$. Outro ponto importante consiste na máxima diferença de tensão admitida entre as passagens receptor/transmissor, de 2V.

Graças a uma alta relação sinal-ruído e uma baixa frequência de transmissão de dados, torna praticamente impossível uma transferência de dados com DALI ser afetada por interferências, garantindo assim, uma comunicação confiável. Logo, não é necessária a utilização de cabos blindados, além de tornar possível o agrupamento dos fios de controle com os de alimentação pelo mesmo cabeamento, facilitando a instalação, sem comprometer a confiabilidade, conforme evidencia a Figura 37.

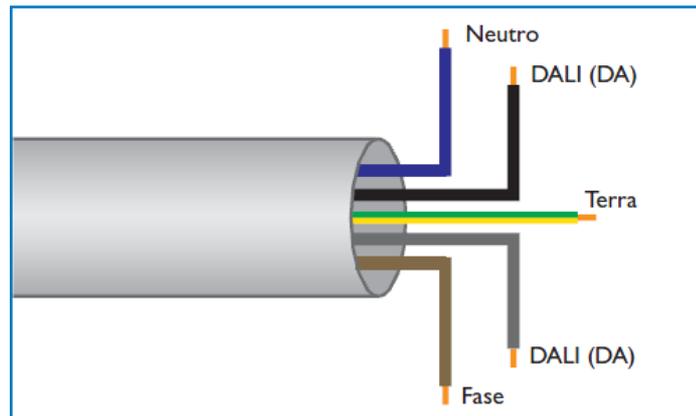


Figura 37. Cabeamento da Rede DALI.
Fonte: (9) PHILIPS – Guia de Iluminação 2005.

A Tabela 8 apresenta a bitola mínima entre os fios de dados de acordo com seu comprimento no barramento geral.

Tabela 8. Relação bitola x Comprimento dos cabos de dados.

Comprimento	Bitola mínima
Até 100 metros	0,5 mm ²
Entre 100 e 150 metros	0,75 mm ²
Acima de 150 metros	1,5 mm ²

Outro ponto importante é que a distância máxima que essa linha pode ter é de 300m de fio, ou uma queda de tensão de 2V ao longo da via, para uma corrente máxima de 250mA. Outra grande vantagem diz respeito à ausência de polaridade do sinal de controle.

3.3.5 Topologia de Rede

As topologias que esta rede comporta é a do tipo barramento, estrela, a do tipo linha, ou uma combinação destas.

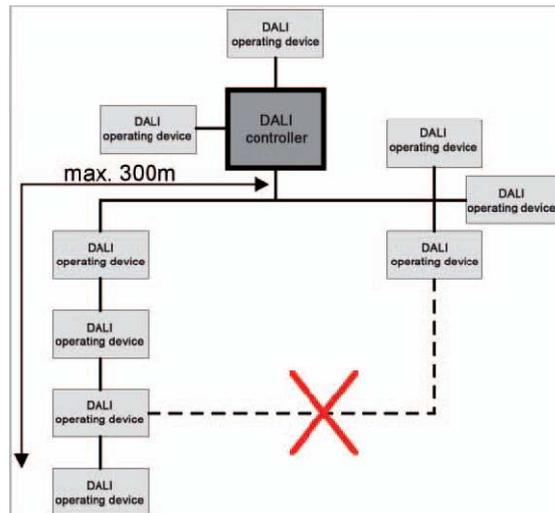


Figura 38. Topologias de rede do DALI.
 Fonte: (14) OSRAM – Technical Guide DALI/DIM.

A Figura 38 apresenta essa característica, evidenciando ainda, a impossibilidade de colocar a rede em formato do tipo anel, além do máximo comprimento que a linha pode ter que são 300 metros.

3.4 Estabelecimento dos Endereços Individuais do Controlador

Existem três métodos para estabelecer o endereço individual dos controladores:

- ✓ Alocação de endereço aleatório: esta técnica atribui um endereço individual para cada elemento oriundo de um grande número aleatório gerado dentro do dispositivo. Essa atribuição não requer a intervenção do usuário, deixando o processo de identificação de qual dispositivo pertence a seu respectivo endereço em aberto.
- ✓ Seleção Física: este método envolve a instalação de uma ferramenta, e o usuário tem papel fundamental na escolha do endereço do controlador, realizando tal feito pressionando um botão, removendo uma lâmpada, etc.
- ✓ Pré-Seleção: consiste em pré atribuir um endereço individual por algum método, tais como: fixado pelo fabricante, endereço atribuído por chaves ou botões, etc. Quando esta atribuição for feita de modo automático, deve-se tomar o cuidado com a possibilidade de duplicação de endereços. Para evitá-los deve-se instalar uma ferramenta que seja capaz de detectar este tipo de ação.

4 ESTUDO DE CASO

Este capítulo tem por finalidade apresentar os projetos de incremento à eficiência energética da iluminação do terceiro pavimento do edifício sede da empresa, APS Soluções em Energia S.A - a qual será referida apenas de APS no decorrer do texto - utilizando-se o método conhecido por *Retrofit* e, posteriormente, a DALI.

Cada projeto contemplará uma análise luminotécnica do ambiente - atendendo os requisitos da norma (16) (NBR 5413, 1992) os investimentos necessários para executar as medidas propostas na análise, as economias energéticas e o tempo retorno de investimento (análise financeira básica).

Para fins de comparação entre os projetos, e também devido à ausência de iluminação do local (o ambiente está em obras atualmente), será montado um cenário de iluminação padrão para este tipo de ambiente (Comercial/escritório), de modo a servir de base para as ações de efficientização propostas durante as análises. Isto é, as economias energéticas advindas da proposição das ações de melhoria a eficiência dos projetos, serão em relação aos resultados desse conjunto padrão. Este sistema será abordado como “Linha de Base”, e será detalhado na seção a seguir.

4.1 Metodologia de Projeto

Baseados nos critérios estabelecidos por (4) (RODRIGUES, 2002), para cada projeto luminotécnico deve-se identificar os seguintes dados:

- ✓ Características do ambiente, observando principalmente as refletâncias e a contribuição da luz natural;
- ✓ Componentes do sistema e da instalação elétrica, verificando as características das lâmpadas, luminárias e reatores;
- ✓ Forma e horário de funcionamento do ambiente analisado;

- ✓ Nível de iluminamento nos planos de trabalho;
- ✓ Faixa etária das pessoas no posto de trabalho.

Com intuito de padronizar a análise, os pontos de iluminação adotarão nomenclatura descrita na Figura 39.



Figura 39. Código para a tipologia de lâmpadas fluorescentes tubulares.

Toda a vez que for utilizada a nomenclatura adotada da Figura 39, já está implícito o uso de reator, logo a potência total do ponto de iluminação será composta, tanto pela própria carga da lâmpada, como também pelas perdas no reator.

4.2 Características do Ambiente

Destaca-se que os projetos luminotécnicos realizados a seguir – Linha de Base, *Retrofit* da Linha de base, e *Retrofit* aliado ao protocolo DALI - foram concebidos para o mesmo ambiente, até para se ter uma base sólida para efetuar a comparação de resultados. Por isso então, que o ambiente será caracterizado apenas uma vez, antes da realização das análises propriamente ditas, de modo a evitar a repetição.

O prédio da APS está situado na Rua Felipe de Oliveira, nº 500, em Porto Alegre, RS. O terceiro pavimento é do tipo Comercial/escritório, isto é, um local em que é importante que se crie excelentes condições visuais e conforto para que as pessoas maximizem a produtividade. Portanto, na medida do possível, são utilizadas tonalidades claras tanto na

pintura quanto na mobília, mantendo-se desta forma harmonia entre as luminâncias, atentando-se sempre para evitar os ofuscamentos diretos ou refletidos.

O pavimento possui um pé direito 2,49 m de altura, e o plano de trabalho utilizado será de 0,8 m para todos os setores, com exceção dos lavabos, que possuem o piso (0m) como plano de trabalho. O ambiente será repartido em três partes, de acordo com o tipo de presença e atividade, para melhor efetuar a análise luminotécnica: área geral de escritórios e recepção, sala de reuniões e lavabos, conforme demonstram os layouts feitos no DIALux através das Figura 40, Figura 41 e Figura 42.

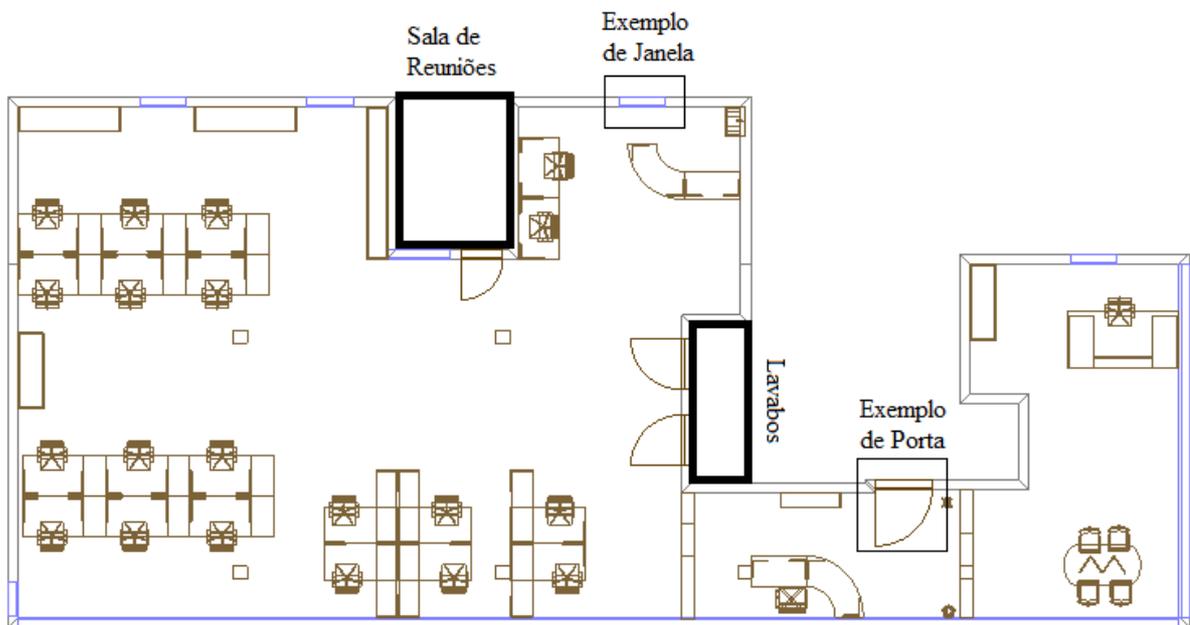


Figura 40. *Layout em 2D* da Área Geral de Escritórios.

Na Figura 40 está indicada a localização dos banheiros e da sala de reuniões, esclarecendo a relação geográfica entre eles no pavimento, além da distribuição de móveis, portas e janelas realizadas sobre o pavimento.

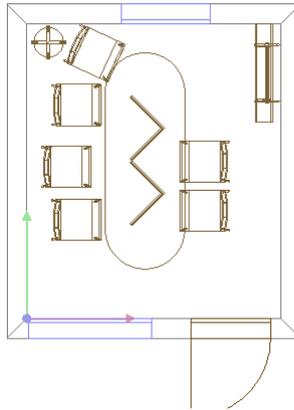


Figura 41. *Layout em 2D da Sala de Reuniões.*

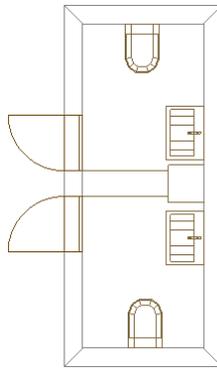


Figura 42. *Layout 2D dos lavabos.*

No total, o local possui 179,98 m² de área útil, sendo 4,54 m² de banheiros, 7,59 m² da sala de reuniões, e 167,85 m² da área geral de escritório e recepção. Os locais possuem janelas bem localizadas, sendo possível o aproveitamento da luz natural, conforme apresenta o layout do ambiente geral através da Figura 43.

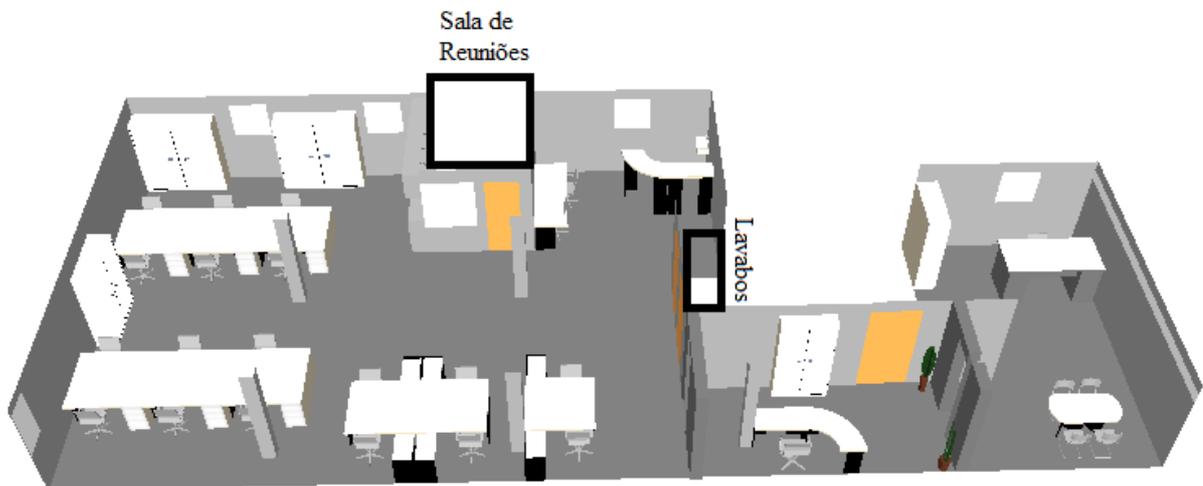


Figura 43. *Layout em 3D da Área De escritórios e Recepção.*

Estas salas são revestidas com materiais de cores claras, como paredes de tinta à água na cor branca; teto de gesso do tipo pacote na cor branca; piso de azulejo na cor branca e os móveis revestidos por madeira clara. Além disso, esses revestimentos apresentam bom estado de conservação, colaborando com a refletância do ambiente.

Portanto, segundo a classificação demonstrada na seção 4.1, para os cálculos luminotécnicos realizados no DIALux, serão utilizados os seguintes valores para os parâmetros relativos ao ambiente:

- Índices de Reflexão: 75/50/30.

Já para o fator de manutenção do ambiente, conforme foi apresentado na Tabela 5, serão adotados os seguintes valores:

- Fator de Manutenção:
 - Aérea Geral e Sala de Reunião: 0,80;
 - Lavabos: 0,88.

Foram adotados fatores de manutenção diferentes para os ambientes, pois os lavabos são menores e menos freqüentados, apresentando menos problemas de manutenção e/ou limpeza, podendo ser considerado um local limpo. Já os outros dois são utilizados com mais freqüência, portanto foram considerados locais normais.

Pela norma, os níveis mínimos de iluminamento para os ambientes identificados na planta encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9. Iluminância por tipo de atividade definida pela NBR 5413.

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de Atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; armazéns, depósitos, banheiros , etc.
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios , etc.

Logo, os projetos luminotécnicos detalhados nas seções a seguir devem atender a essa especificação, sendo de 100 a 200 lux para os banheiros, e de 500 a 1000 lux para as demais tarefas no escritório.

4.3 Linha de Base

A Linha de Base é um sistema ineficiente, que serve de parâmetro para comparação com o sistema proposto eficiente, para assim, determinar os ganhos energéticos e financeiros.

Neste caso, a linha de base será criada, visto que não existe atualmente um sistema de iluminação instalado no ambiente em questão, que é o terceiro pavimento do prédio da empresa APS.

4.3.1 Características do sistema

O sistema de iluminação do terceiro andar é composto por 41 pontos de iluminação, dos quais 39 são FLUOR 4x20W – sendo 36 na Área Geral e 3 na Sala de Reuniões - e 2 são FLUOR 2x20W, instalados nos lavabos. A carga instalada deste sistema é de 4,40 kW, distribuídos conforme o gráfico da Figura 44.



Figura 44. Distribuição da carga de iluminação ineficiente.

A Tabela 10 apresenta a composição de potência de cada uma das tipologias existentes na Linha de base.

Tabela 10. Composição das potências das tipologias da linha de base.

Tipologia	Descrição	Qtidade	Potência Unitária (W)	Potência Total (W)
FLUOR 2x20W	Lâmpada FLUOR 20W	2	20	55
	Reator para FLUOR 2x20W	1	15	
FLUOR 4x20W	Lâmpada FLUOR 20W	4	20	110
	Reator para FLUOR 2x20W	2	15	

As lâmpadas utilizadas são fluorescentes tubulares T10, de 20W, com vida útil de 24.000h, fluxo luminoso de 1060 lumens, temperatura de cor de 5250K e IRC 70, conforme apresenta a Figura 45.



Figura 45. Lâmpada Fluorescente T10, de 20W da OSRAM.
Fonte: (17) OSRAM – Linha de Produtos 2009/2010.

Para as lâmpadas fluorescentes tubulares de 20W foram utilizados reatores eletromagnéticos, de partida rápida, com perdas de 15W, conforme apresenta a foto da Figura 46.



Figura 46. Reator eletromagnético de partida rápida.
Fonte: (18) PHILIPS – Guia Prático Philips Iluminação.

Já a luminária escolhida possui como principais características a ausência de refletor, com instalação sobreposta ao teto, rendimento de 85%, modelo FS840 do fabricante INTRAL, conforme apresenta a Figura 47.



Figura 47. Luminária utilizada na Linha de Base – FS 840 Intral.
Fonte: (12) INTRAL – Catálogo Geral de Produtos.

Apesar da Figura 47 apresentar um modelo com apenas duas lâmpadas, este tipo de luminária possui capacidade para instalação de até 4 (quatro) lâmpadas lado a lado, que foi o modelo utilizado para as luminárias de 4x20W instaladas na Área Geral e Sala de Reuniões.

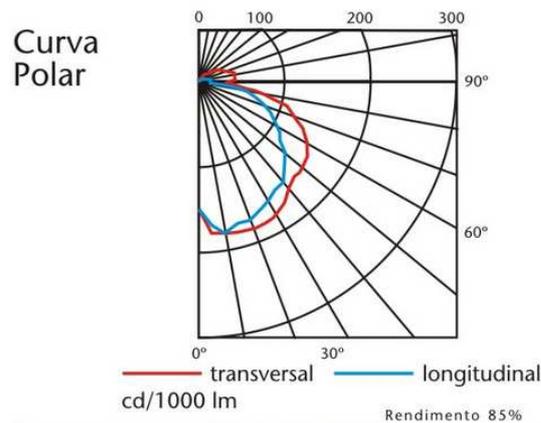


Figura 48. Dados fotométricos da luminária de 4x20W, modelo FS 840 da Intral.
Fonte: (12) INTRAL – Catálogo Geral de Produtos.

Na Figura 48 seguem os dados fotométricos desta luminária utilizados pelo DIALux para realização dos cálculos luminotécnicos, por meio do arquivo de extensão .IES fornecido pelo próprio fabricante (*plugin*).

4.3.2 Formas e Tempos de Funcionamento

Para cada ambiente analisado foi atribuído um tempo de funcionamento das luminárias no decorrer do ano baseado na utilização atual do 5º andar da APS. A Tabela 11 apresenta esses dados.

Tabela 11. Ciclos de Operação por ambiente.

Ambiente	Horas/ dia FP*	Horas/ dia P**	Dias Úteis	Dias Sábado	Dias Domingo	Meses	Horas/ Ano FP*	Horas/ Ano P**	Horas/ Ano Total
Área Geral	9	0	22	0	0	12	2376	0	2376
Sala de Reuniões	6	0	22	0	0	12	1584	0	1584
Lavabos	2	0	22	0	0	12	528	0	528

*FP: Horário Fora de Ponta;

**P: Horário de Ponta

As nove horas atribuídas à área geral se devem ao horário de funcionamento da empresa, que consiste das 8h00 às 18h00, com pausa de uma hora para almoço, das 12h00 às 13h00. Trata-se de uma estimativa bastante conservadora, visto que constantemente membros do corpo técnico ficam mais tempo para resolver assuntos pendentes, deixando a iluminação funcionando, inclusive, no horário de ponta, que para a cidade de Porto Alegre correspondem das 18h às 21h.

Por ser uma empresa de Soluções, a APS se reúne constantemente na sala de reuniões para discutir os projetos em andamento, e demais assuntos relativos à engenharia. Logo, também de forma bastante conservadora, foi atribuído um tempo de apenas 6 horas diárias de funcionamento.

Por último, foram estimadas duas horas diárias de uso dos banheiros, uma vez que a empresa possui quase 30 funcionários por andar, e apenas 2 lavabos. Logo, é aceitável que cada funcionário utilize, ao menos uma vez ao dia, os lavabos por oito minutos.

4.3.3 Resultados Luminotécnicos

Os resultados luminotécnicos oriundos do software DIALux serão expostos para cada um dos ambientes analisados, Área Geral, Sala de Reuniões e Lavabos, nas seções a seguir.

4.3.3.1 Área Geral

Na Figura 49 segue um relatório impresso pelo programa DIALux contendo os principais resultados do cálculo luminotécnico, após a realização da simulação do referido

ambiente com suas respectivas características e luminárias carregadas de acordo com o especificado na seção 2.2 (parâmetros para o DIALux).

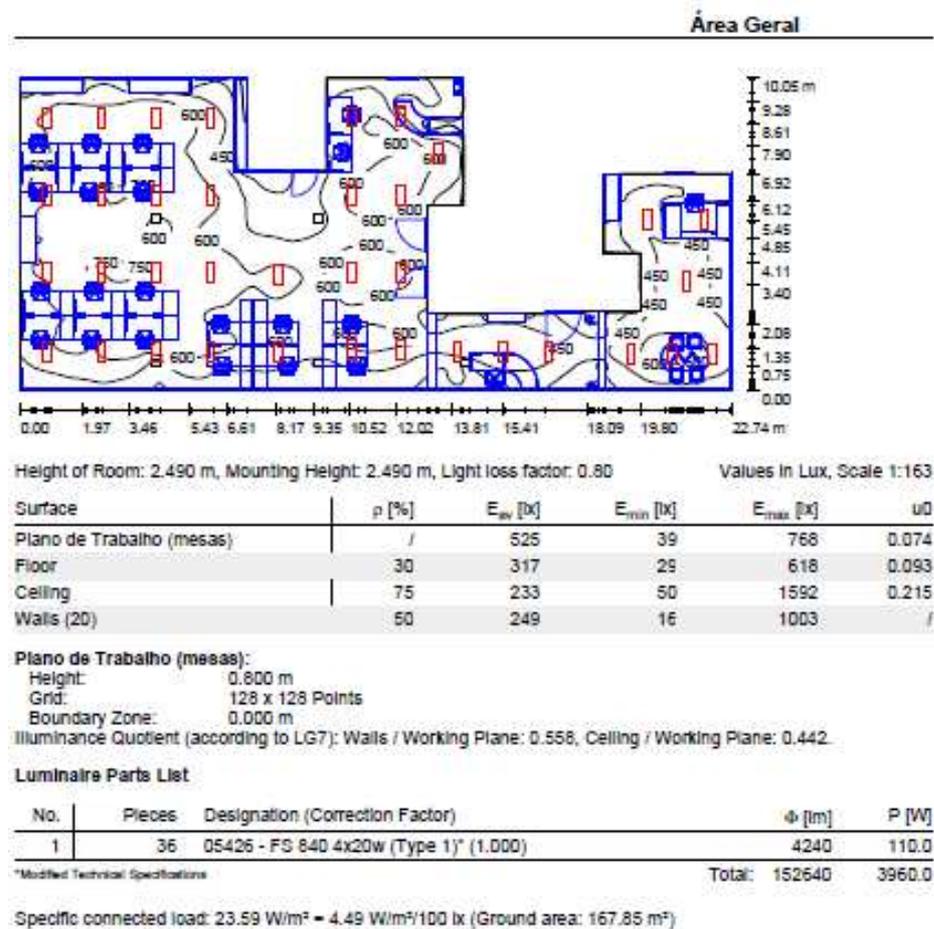


Figura 49. Resultados Luminotécnicos da Área Geral - Linha de Base.

Na parte superior da Figura 49 encontram-se o layout da área geral, inclusive com suas dimensões em metros com a definição da escala (1:163), demonstrando a distribuição das luminárias sobre o ambiente. Ademais, aparecem na simulação as curvas “isolux”, isto é, pontos que possuem a mesma iluminância. Nota-se ainda, que esta distribuição foi feita seguindo as recomendações dos manuais técnicos de iluminação quanto ao distanciamento entre pontos de iluminação.

Além das características apresentadas no parágrafo acima, este relatório apresenta a iluminância média (E_{av}) calculada sobre o plano de trabalho (0,8m para este caso) em todo o ambiente, que foi de 525 lx. Logo, está em concordância com a (16) (NBR 5413), especificada na Tabela 9, que exige uma margem de 500 a 1000 lx.

Outros dados relevantes ao cálculo também podem ser identificados, como o fator de manutenção (“light loss factor”) e os índices de reflexão do teto (“ceiling”), parede (“walls”) e piso (“floor”). Por último, observa-se nesta Figura 49, a quantidade de luminárias utilizadas, bem como suas características, tais como: luxos luminosos, potência e modelo. Para este caso, a potência instalada total foi de 3,96kW. Vale lembrar que nesse valor já está incluído o valor das perdas do reator.

Para uma visualização mais adequada, tanto da distribuição das luminárias, como do fluxo luminoso sobre o ambiente, segue a representação, em 3D, do recinto por meio da Figura 50.

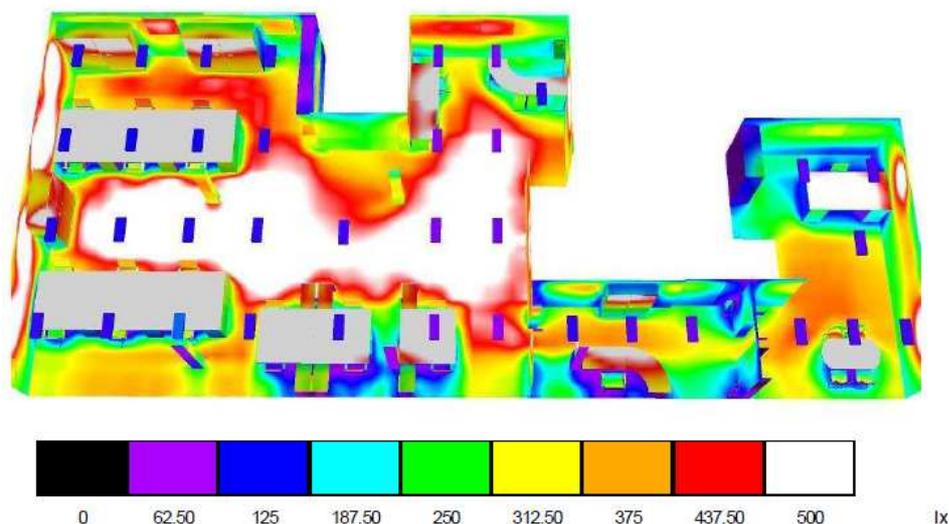


Figura 50. Distribuição de fluxo luminoso sobre a Área Geral - Linha de Base.

Pode-se notar que a distribuição de fluxo luminoso é identificada pelas cores e suas respectivas legendas, que correspondem ao iluminamento naquela superfície. Evidencia-se ainda, que os planos de trabalhos (mesas) estão todos hachurados com a coloração correspondente a 500lx – branca/cinza, comprovando assim o alcance da iluminância exigida pela (16) (NBR5413).

4.3.3.2 Sala de Reuniões

Para este local, segue a Figura 51 contendo os principais resultados oriundos da simulação.

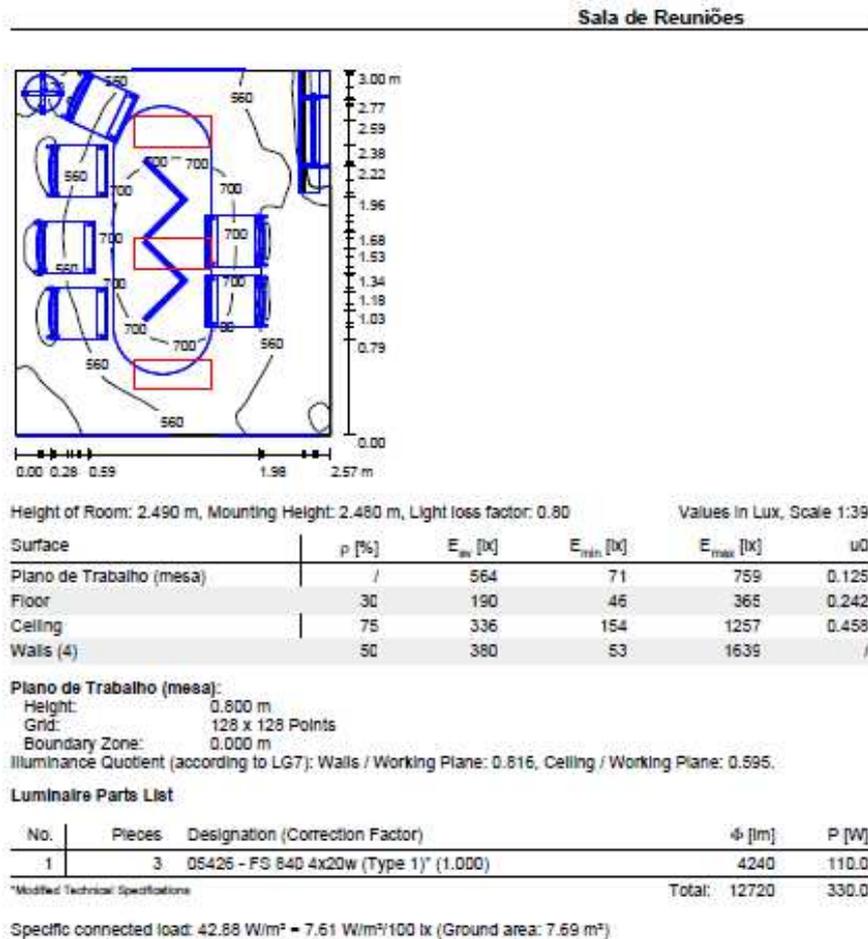


Figura 51. Resultados Luminotécnicos da Sala de Reuniões - Linha de Base.

De maneira análoga à feita a análise da Área Geral, a parte superior da Figura 51 apresenta o layout do ambiente com suas respectivas dimensões e escala (1:39), além da distribuição das luminárias sobre o recinto (retângulos em vermelho).

Verifica-se que a iluminância média (E_{av}) calculada sobre o plano de trabalho (0,8m) ficou dentro do aceitável pela (16) (NBR5413), correspondendo a 564 lx, os índices de reflexão do teto, parede e piso foram 75/50/30 e o fator de manutenção foi de 0,8 (ambiente limpo com manutenção a cada 7500h – como foi pré-definido para área geral também).

A potência total instalada nesse ambiente foi de 0,33 kW, correspondendo à carga das três luminárias 4x20W, modelo FS 840 da INTRAL, além das perdas do reator. Na Figura 52 segue a distribuição, em 3D das luminárias, bem como do fluxo luminoso.

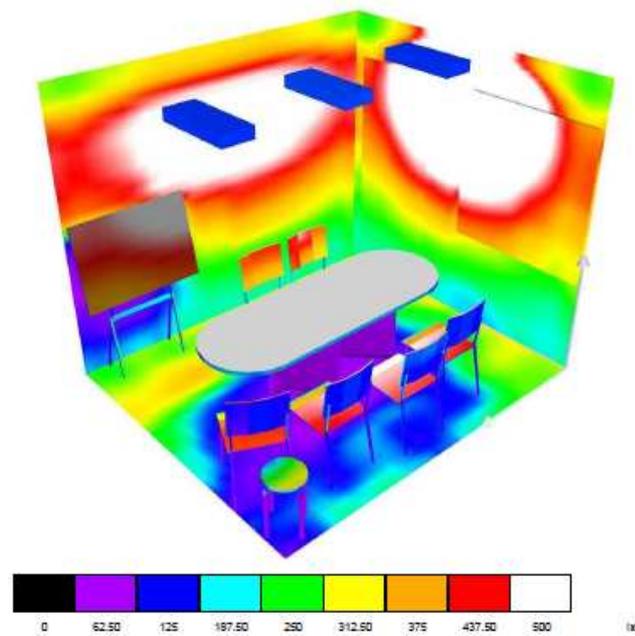


Figura 52. Distribuição de fluxo luminoso sobre a Sala de Reuniões - Linha de Base.

Verifica-se que no plano de trabalho, correspondente à mesa central, a superfície encontra-se toda hachurada de cinza/branco, correspondendo a iluminância média de 500lx, atendendo a exigência da (16) (NBR5413).

4.3.3.3 Lavabos

Na Figura 53 se encontram os principais resultados luminotécnicos dos lavabos, obtidos por meio da simulação no software DIALux.

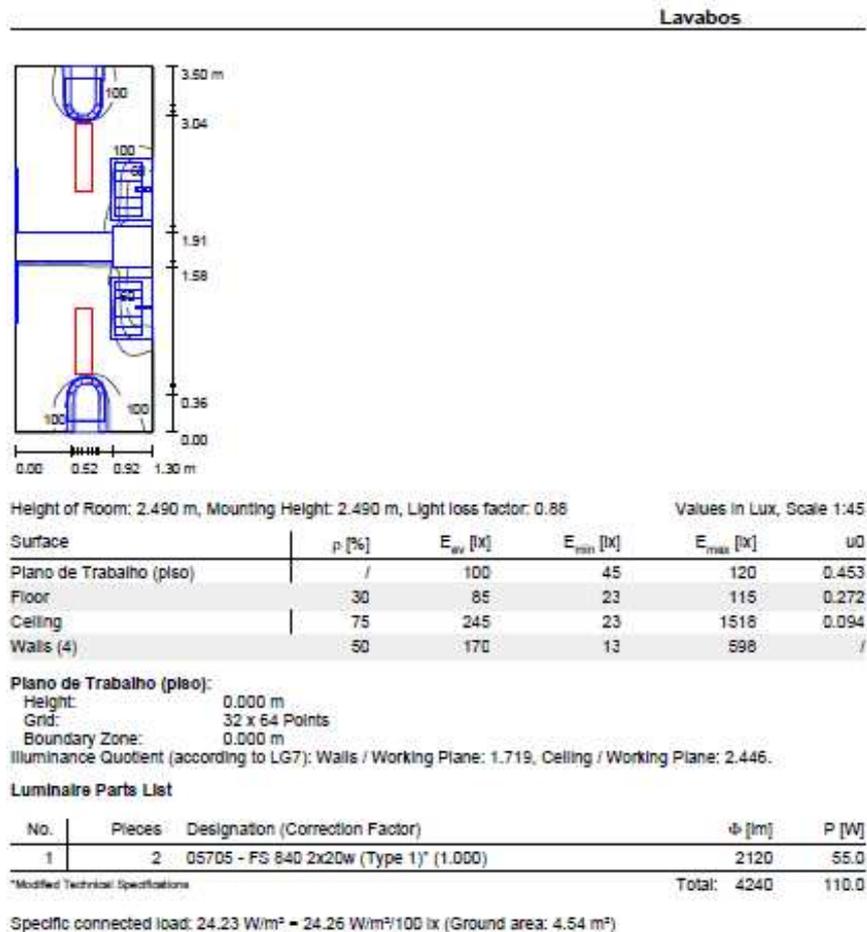


Figura 53. Resultados Luminotécnicos sobre os Lavabos - Linha de Base.

Para este ambiente a norma determina que o iluminamento médio deva ficar entre 100 e 200 lx, o que de fato ocorreu, ficando no limite inferior com uma iluminância de 100lx sobre o piso, que é o plano de trabalho para este caso, consoante à Figura 53. Cabe ressaltar ainda, que neste ambiente foi utilizado um fator de manutenção diferente das outras duas áreas analisadas, sendo de 0,88.

Além disso, foram utilizadas luminárias com apenas 2 lâmpadas de 20W, diferenciando-se, portanto, da área geral e da sala de reuniões, tendo uma potência total de iluminação igual a 0,11kW. A distribuição espacial das luminárias, bem como do fluxo luminoso nos lavabos é caracterizada através Figura 54.

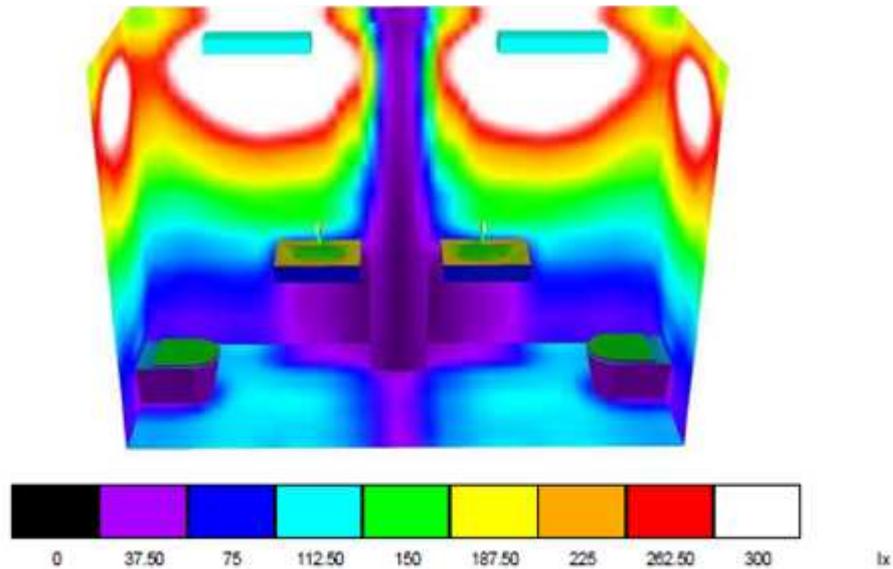


Figura 54. Distribuição de fluxo luminoso dos lavabos – Linha de Base.

A Figura 54 deixa claro que a iluminância no piso, com exceção dos lugares sombreados por causa da pia, alcançou o determinado pela norma (100lx), ficando hachurado com a cor azul celeste, correspondendo a 110lx, aproximadamente.

4.3.4 Resultados Energéticos e Premissas adotadas.

Sabendo-se a potência instalada de iluminação de cada ambiente, juntamente com os ciclos de operação, pode-se determinar a energia consumida do sistema, visto que energia é o produto da potência total do ambiente pelo tempo de funcionamento.

A potência total do ambiente (de iluminação) nada mais é que o produto da potência da tipologia especificada na Tabela 10 (lâmpada+reator), pela quantidade de vezes que ela se encontra instalada no ambiente.

Para a área geral, a energia consumida é apresentada na Tabela 12.

Tabela 12. Energia Consumida na Área Geral – Linha de Base.

Área Geral	
Tipo de Equipamento	FLUOR 4x20W
Pontos Ineficientes	36
Potência Total (kW)	3,96
Tempo de Funcionamento Anual (h)	2376
Energia Estimada (MWh/ano)	9,409

Para a sala de reuniões, a Tabela 13 apresenta os resultados.

Tabela 13 Energia Consumida na Sala de Reuniões – Linha de Base.

Sala de Reuniões	
Tipo de Equipamento	FLUOR 4x20W
Pontos Ineficientes	3
Potência Total (kW)	0,33
Tempo de Funcionamento Anual (h)	1584
Energia Consumida (MWh/ano)	0,523

Para os lavabos, têm-se os resultados mostrados na Tabela 14.

Tabela 14 Energia Consumida nos Lavabos – Linha de Base.

Lavabos	
Tipo de Equipamento	FLUOR 2x20W
Pontos Ineficientes	2
Potência Total (kW)	0,110
Tempo de Funcionamento Anual (h)	528
Energia Consumida (MWh/ano)	0,058

Por fim, chega-se ao valor total de energia consumida da linha de base que correspondeu ao valor de 9,99 MWh/ano, conforme ilustra a Tabela 15.

Tabela 15. Energia Consumida Total – Linha de Base.

SISTEMA ATUAL INEFICIENTE	
Tipo de Equipamento	FLUOR 4x20W e FLUOR 2x20W
Pontos Ineficientes	41
Potência Total (kW)	4,40
Energia Consumida (MWh/ano)	9,99

Todos estes valores partem da premissa que o conjunto lâmpada+reator mantém sua potência constante durante o período de funcionamento. Esses valores são os indicados nos próprios catálogos dos fabricantes.

Outra premissa é a de que as instalações estão em ótimas condições e são bastante recentes, logo, validando a permanência das potências indicadas no relatório, visto que ainda não estão sob efeito de depreciação natural dos equipamentos.

4.4 Projeto de Aplicação – Retrofit

O foco deste projeto consiste no estudo de sistemas de iluminação empregando o protocolo DALI. Apesar disto, é de suma importância ao se realizar uma análise de

viabilidade, comparar esta nova tecnologia com os projetos já existentes e aplicados na indústria e afins.

Os projetos mais usuais dizem a respeito apenas de um “*retrofit*” de equipamentos, ou ainda, uma adequação de fluxo luminoso nos pontos em que não é respeitado o fluxo luminoso mínimo definido pela norma (16) (NB5413), ou ainda os dois juntos “*Retrofit & Adequação*”. A definição de cada um deles é listada abaixo:

- **Retrofit** – Simples troca por equipamentos mais eficientes, seja pela instalação de novas luminárias ou simples troca de lâmpada e reator.
- **Adequação** – O objetivo é adequar os ambientes aos índices de iluminação estabelecidos pela norma brasileira NBR 5413. Para este tipo de ação são necessárias medições luxiométricas do ambiente, estudo da divisão elétrica dos circuitos, levantamento das dimensões e cores da sala e projeto luminotécnico em software específico de iluminação.
- **Retrofit & Adequação** – O estudo parte para um simples *retrofit*, porém com possibilidades de adequação em ambientes com maiores potenciais de economia. Esta percepção fica a cargo do técnico que for a campo realizar o levantamento.

É visível que a adequação exige muito mais trabalho, tanto em campo como para análise, porém nestas ações o impacto energético costuma ser mais significativo que nas ações de *retrofit*. Nas ações de adequação pode-se propor a diminuição/aumento do número de pontos de iluminação, a utilização da luz natural, dimerização da iluminação artificial, sensores de presença, divisão de circuitos e outros métodos de economia de energia elétrica.

A escolha de cada um destes tipos de abordagem está condicionada ao que foi definido junto ao cliente na fase de assinatura de contrato do projeto.

4.4.1 Caracterização do Sistema Proposto

O sistema proposto consiste na substituição dos 41 pontos de iluminação apresentados na linha de base, por outros equipamentos mais eficientes. A Tabela 16 apresenta a medida de troca proposta.

Tabela 16. Medidas Propostas – *Retrofit*.

Existente		Proposto	
Tipologia	Quantidade	Tipologia	Quantidade
Fluor 4x20W	39	Fluor 4x14W	39
Fluor 2x20W	2	Fluor 2x14W	2

A composição de potência de cada uma das tipologias propostas é apresentada na Tabela 17.

Tabela 17. Composição das potências das tipologias propostas – *Retrofit*.

Tipologia	Descrição	Qtde	Potência Unitária (W)	Potência Total (W)
FLUOR 2x14W	Lâmpada FLUOR 14W	2	14	32
	Reator para FLUOR 2x14W	1	4	
FLUOR 4x14W	Lâmpada FLUOR 14W	4	14	64
	Reator para FLUOR 2x14W	2	4	

As lâmpadas usadas nas tipologias apresentadas nas Tabela 16 e Tabela 17 são fluorescentes tubulares de 14W, T5, com vida útil média de 24.000h, fluxo luminoso de 1350 lumens, temperatura de cor de 5.000K, IRC 85, da Philips, conforme ilustra a Figura 55.



Figura 55. Lâmpada Fluorescente T5, de 14W da PHILIPS.

Fonte: (18) PHILIPS – Guia Prático Philips Iluminação.

Os reatores empregados para cada duas lâmpadas T5 de 14W são eletrônicos, com alto fator de potência (0,99), de partida rápida, com perdas de apenas 4W.



Figura 56. Reator eletrônico para lâmpadas fluorescente T5 de 2x14W.
Fonte: (18) PHILIPS – Guia Prático Philips Iluminação.

Já as luminárias propostas foram de dois modelos: uma para a área geral e sala de reuniões (que possuem a tipologia FLUOR 4x14W), e outra para os lavabos (FLUOR 2x14W).

O modelo proposto de luminária para a tipologia FLUOR 4x14W é TBS262/C6, da Philips, embutida no gesso tipo pacote conforme apresenta a Figura 57.



Figura 57. Luminária de 4x14W, de Embutir, modelo TBS 262/C6 – Philips.
Fonte: (19) PHILIPS – Catálogo Luminárias Indoor.

Esta luminária é extremamente eficiente, possuindo corpo em aço fosfatizado na cor branca, com refletor e aletas em sistema tridimensional em alumínio de alta pureza. O diagrama polar da distribuição de fluxo luminoso desta luminária encontra-se na Figura 58.

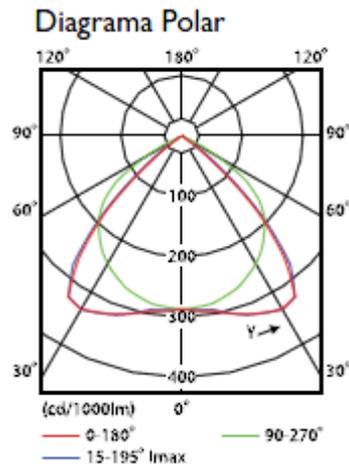


Figura 58. Diagrama Polar da luminária TBS 262/C6 da Philips.
Fonte: (19) PHILIPS – Catálogo Luminárias Indoor.

Cabe ressaltar que esta distribuição é carregada no software DIALux por meio de um *plugin* para a realização dos cálculos luminotécnicos.

As luminárias instaladas nos lavabos são modelo TBS 930/C5 da Philips para tipologia FLUOR 2x14W, com tipo de instalação do tipo embutir, conforme apresenta a Figura 59.



Figura 59. Luminária para FLUOR 2x14W de embutir, modelo TBS 930/C5 da Philips.
Fonte: (19) PHILIPS – Catálogo Luminárias Indoor.

Esta luminária é de alto rendimento, com aletas duplas parabólicas, e refletores laterais facetados em chapa de alumínio anodizado.

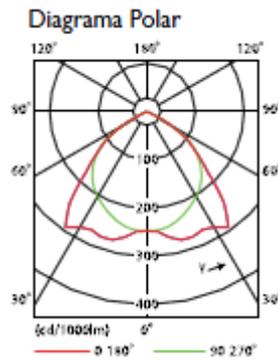


Figura 60. Diagrama Polar da luminária TBS 930/C5.
Fonte: (19) PHILIPS – Catálogo Luminárias Indoor.

O diagrama polar apresentado na Figura 60 ilustra as características da distribuição luminosa desta luminária para duas lâmpadas T5.

4.4.2 Resultados Luminotécnicos

De maneira análoga à realizada na linha de base, os resultados dos luminotécnicos advindos do DIALux serão apresentados separadamente por ambiente.

4.4.2.1 Área Geral

A Figura 61 apresenta o resumo dos resultados da simulação feita pelo software.

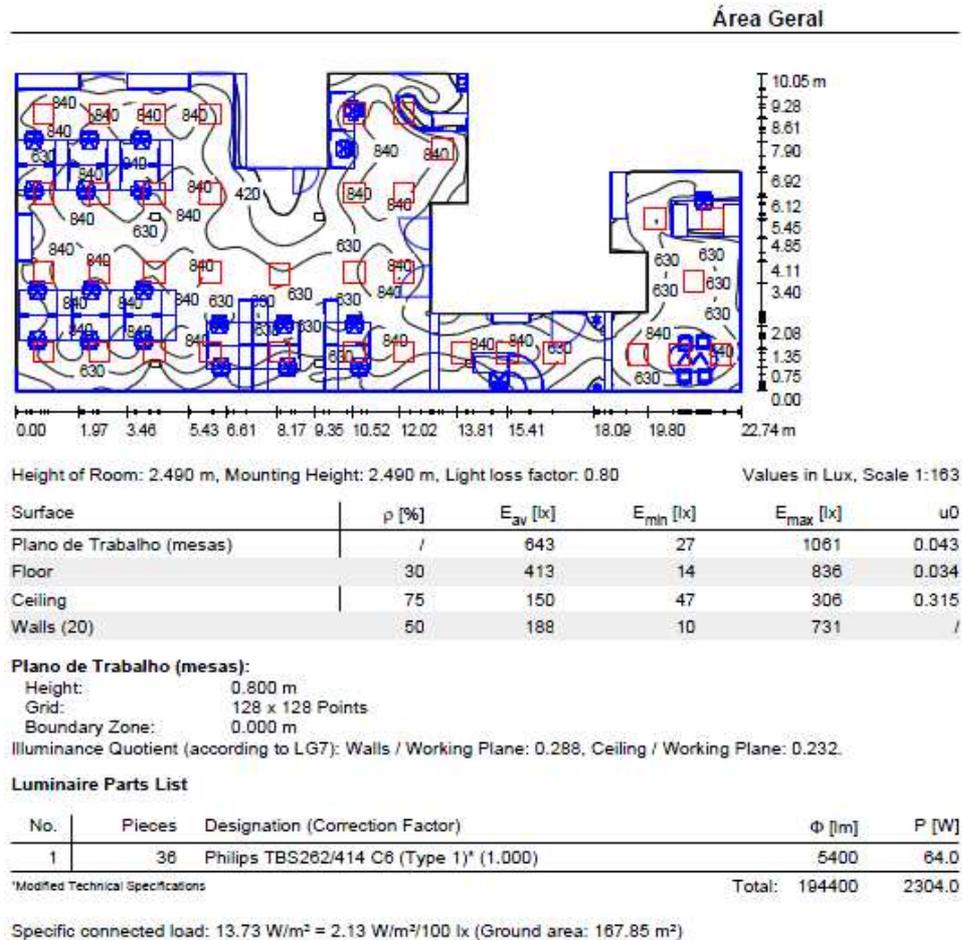


Figura 61. Resultados Luminotécnicos da Sala de Reuniões – Retrofit.

Pode-se verificar por meio da Figura 61 que o *retrofit* da instalação da área geral não só atendeu a quantidade de lux anterior – na verdade superou em mais de 100lx, visto que anteriormente se tinha 525lx - como também reduziu a potência instalada de iluminação em 41,82% (de 3,96kW para 2,304kW), e tudo isso sem alterar as características do ambiente, ou ainda, da instalação.

Já a distribuição de fluxo luminoso deste modelo proposto pode ser mais bem verificada através da Figura 62.

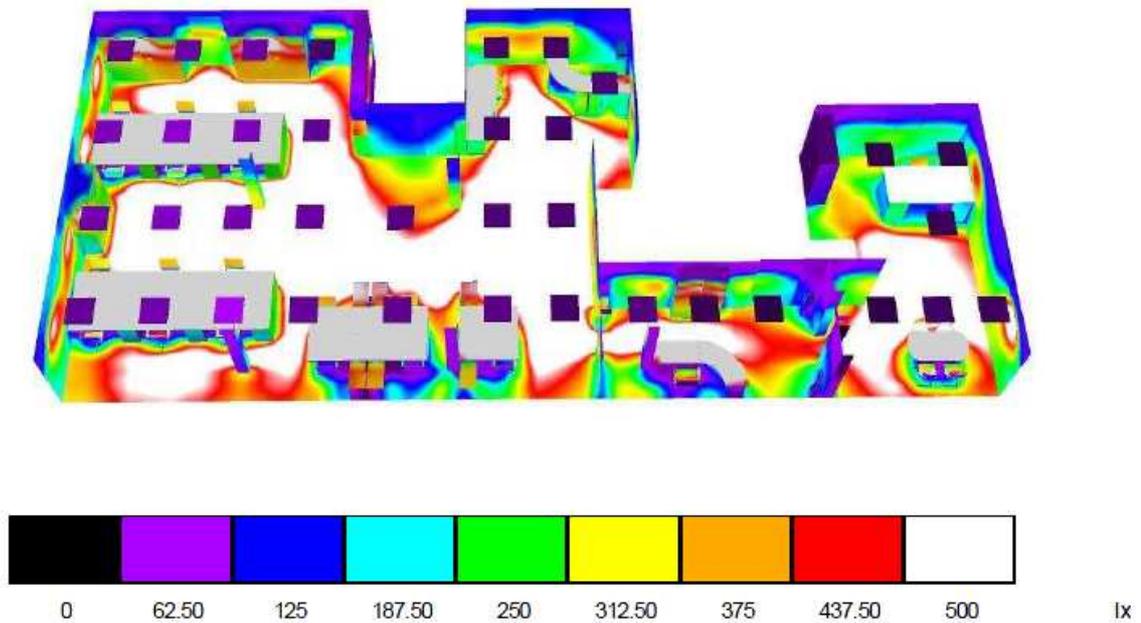


Figura 62. Distribuição de fluxo luminoso da Área Geral – *Retrofit*.

Verifica-se que as superfícies dos planos de trabalho estão hachuradas de cinza/branco, que para este caso, corresponde a superior ou igual 500 lx, atendendo assim a norma (16) (NBR5413).

Além disso, nota-se que o sistema pode estar recebendo luminosidade em excesso em lugares desnecessários, tais como os corredores entre as mesas de trabalho, podendo-se ainda, alterar a instalação, reduzindo ou redistribuindo o número de luminárias. Neste caso, o projeto deixaria de ser “*retrofit*”, e passaria a ser um projeto de adequação, que não é o caso desta seção.

4.4.2.2 Sala de Reuniões

Os resultados luminotécnicos da simulação da sala de reuniões encontram-se detalhados na Figura 63.

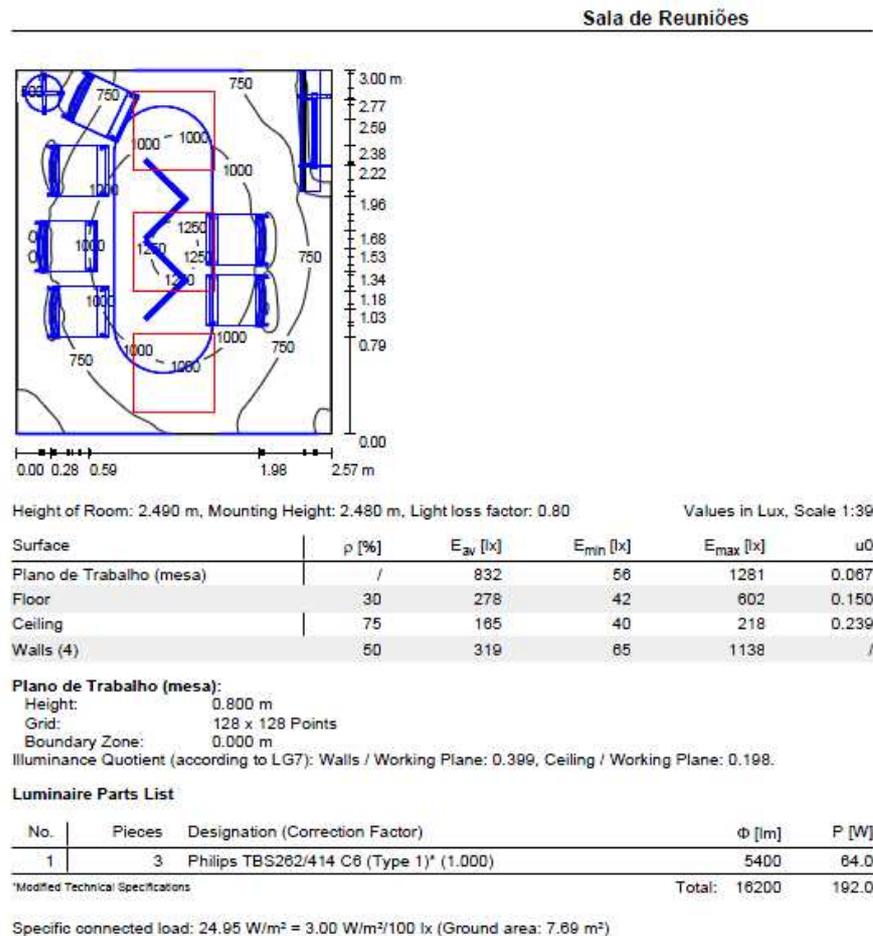


Figura 63. Resultados Luminotécnicos da Sala de Reuniões – Retrofit.

Assim como para a Área Geral, o *retrofit* da iluminação da Sala de Reuniões superou a quantidade de lux médio exigido pela norma, ficando em 832lx no plano de trabalho (0,8m).

O total de redução de potência para este caso também foi de 41,82%, uma vez que a potência instalada proposta é de 0,192kW, frente aos 0,33kW da linha de base. Ela foi igual – em termos percentuais - à verificada na área geral, pois ambos ambientes tiveram a mesma redução de potência por ponto eficientizado.

Sempre lembrando que as condições do ambiente mantiveram-se as mesmas das especificadas na Linha de Base. Isso indica que para este ambiente também seja possível realizar uma adequação da instalação, reduzindo o número de luminárias para assim alcançar uma economia energética e financeira mais atrativa.

Isto pode ser mais esclarecido na Figura 64, que ilustra através da distribuição de cores, as quantidades de lux nas superfícies do ambiente.

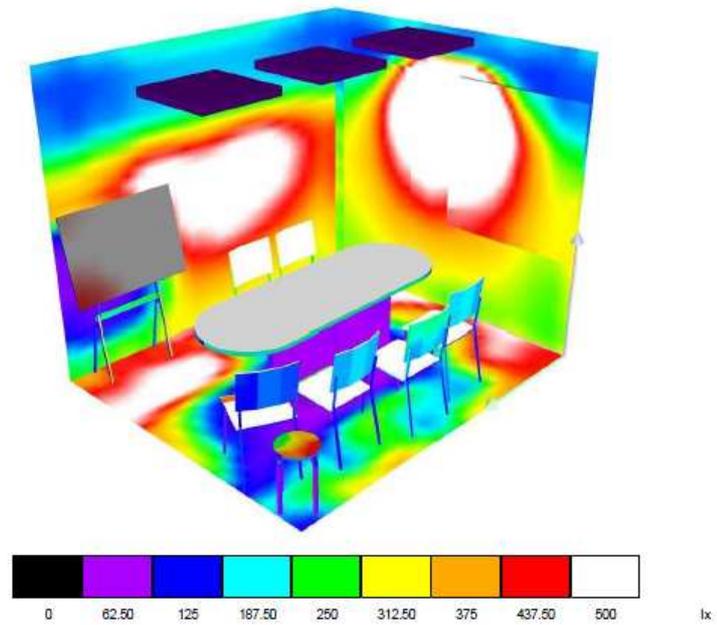


Figura 64. Distribuição luminosa da Sala de Reuniões – Retrofit.

Pode-se ver na Figura 64 que inclusive as cadeiras, que estão em um plano de trabalho mais longe do ponto de luz, estão hachuradas de branco, indicando assim uma iluminância igual ou superior a 500lx.

4.4.2.3 Lavabos

Os resultados luminotécnicos gerais dos lavabos podem ser encontrados na Figura 65.

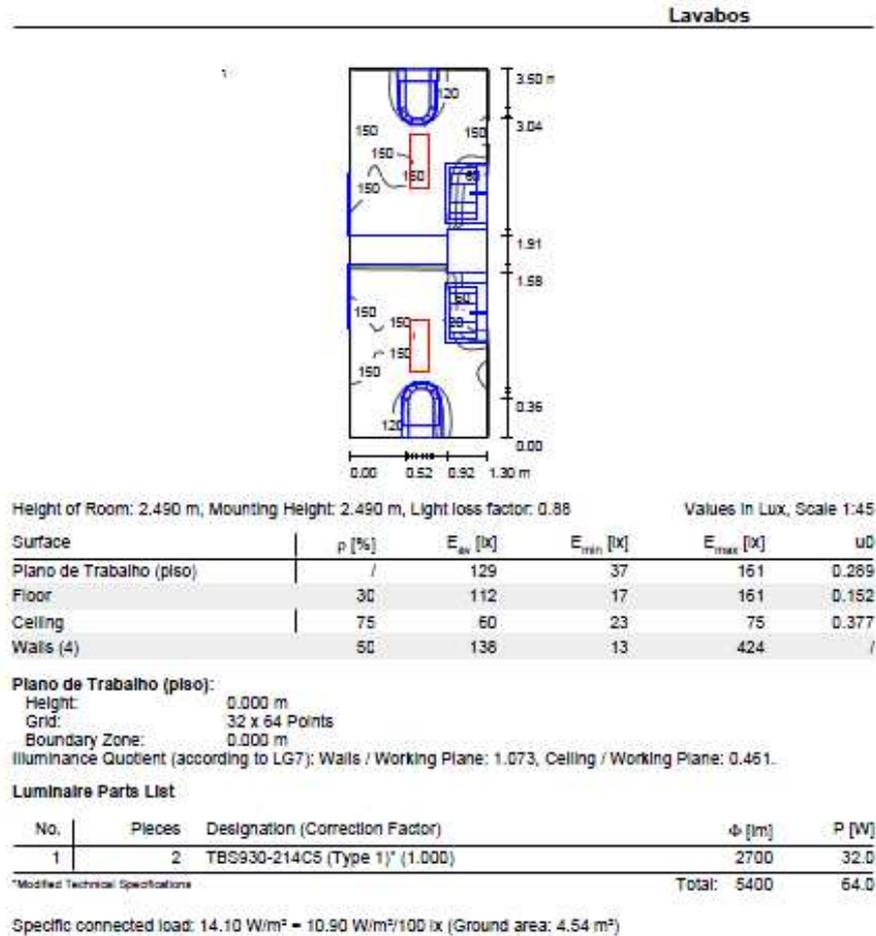


Figura 65. Resultados Luminotécnicos dos Lavabos – Retrofit.

Para os lavabos o *retrofit* do sistema também atendeu as especificações da norma, porém, diferentemente dos outros dois ambientes analisados, não se identificou um excesso de luminosidade, ou grandes possibilidades de adequação, visto que a iluminância média no plano de trabalho ficou dentro do aceitável pela norma, e apenas ligeiramente superior ao especificado na linha de base (de 100lx antes, para 129lx agora).

A redução de potência para este caso também foi de 41,82% (reduzindo de 110W para 64W). Já a distribuição luminosa pode ser visualizada por meio da Figura 66.

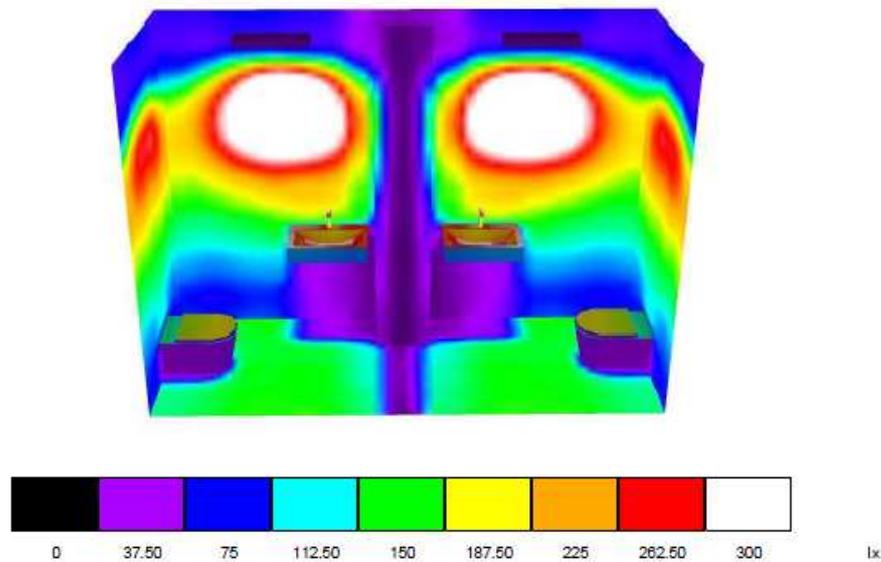


Figura 66. Distribuição Luminosa dos Lavabos – Retrofit.

A Figura 66 evidencia que o piso – que consiste no plano de trabalho para este tipo de ambiente e- está hachurado de verde e anil, que pela legenda apresentada corresponde entre 150 e 112,5 lx..

4.4.3 Investimentos

Para se implementar essas ações de *retrofit*, é necessário o investimento de R\$ 11.744,64 (onze mil, setecentos e quarenta e quatro reais com sessenta e quatro centavos) para aquisição dos materiais e serviços (mão de obra), os quais estão discriminados na Tabela 18.

Tabela 18. Investimentos - Retrofit.

	Descrição do Equipamento	Custo Unitário	Qtd	Custo Total
Materiais	Lâmpada Fluorescente Tubular de 14W	R\$ 11,50	160	R\$ 1.840,00
	Reator Eletrônico 2x14W (127V) Philips - EL214-28A26	R\$ 35,12	80	R\$ 2.809,60
	Luminária T5, Embutir, 4x14W - Philips TB262/C6	R\$ 142,64	39	R\$ 5.562,96
	Luminária T5, Embutir, 2x14W - Philips TB930/C5	R\$ 48,54	2	R\$ 97,08
	Materiais Diversos	R\$ 5,00	41	R\$ 205,00
	SUB TOTAL MATERIAIS			R\$ 10.514,64
M.O.	Implementação	R\$ 30,00	41	R\$ 1.230,00
	TOTAL DO PROJETO [R\$]			R\$ 11.744,64

Os custos relativos a materiais diversos consistem na aquisição de acessórios imprescindíveis de instalação, tais como parafusos, rebites, fita isolantes, etc, que por vezes

não são incluídos nos custos de mão de obra de instalação. Para este caso, estes custos foram estimados em R\$5,00 por ponto.

Os custos de serviços, definidos na Tabela 18 como “Implementação”, foram estimados em R\$ 30,00 por ponto, visto que são pontos de iluminação a serem embutidos no forro, logo requerem mais trabalho. A base desta estimativa se deve à experiência da APS em contratação de empresas terceirizadas que prestam este tipo de serviço.

Cabe ressaltar que esses valores de materiais são adquiridos por meio de parceria da APS com as empresas fornecedoras, PHILIPS, INTRAL e OSRAM, devido à grande demanda de compra e venda acionada pela própria APS.

4.4.4 Resultados Energéticos

Por ser apenas um projeto de *retrofit* da iluminação, os tempos de funcionamento da linha de base devem ser os mesmos. Portanto, a energia consumida pelo sistema proposto nada mais é que o produto do tempo de funcionamento dos ambientes pela sua respectiva potência. De maneira semelhante à realizada para a linha de base, a energia consumida deste sistema será decomposta por ambiente. Para a área geral, os resultados encontram-se na Tabela 19.

Tabela 19. Energia Consumida na Área Geral - Retrofit.

Área Geral	
Tipo de Equipamento	FLUOR 4x14W
Pontos de Iluminação	36
Potência Total (kW)	2,304
Tempo de Funcionamento Anual (h)	2376
Energia Consumida (MWh/ano)	5,474

Para a sala de reuniões, a Tabela 20 contém os resultados.

Tabela 20 Energia Consumida na Sala de Reuniões – Retrofit.

Sala de Reuniões	
Tipo de Equipamento	FLUOR 4x14W
Pontos de Iluminação	3
Potência Total (kW)	0,192
Tempo de Funcionamento Anual (h)	1584
Energia Consumida (MWh/ano)	0,304

Para os lavabos, têm-se os resultados mostrados na Tabela 21.

Tabela 21 Energia Consumida nos Lavabos – Retrofit.

Lavabos	
Tipo de Equipamento	FLUOR 2x14W
Pontos de Iluminação	2
Potência Total (kW)	0,064
Tempo de Funcionamento Anual (h)	528
Energia Consumida (MWh/ano)	0,034

Por fim, chega-se ao valor total de energia consumida do sistema proposto igual a 5,812 MWh/ano, conforme ilustra a Tabela 22.

Tabela 22. Energia Consumida pelo Sistema Proposto. – Retrofit.

SISTEMA PROPOSTO	
Tipo de Equipamento	FLUOR 4x14W e FLUOR 2x14W
Pontos de Iluminação	41
Potência Total (kW)	2,56
Energia Consumida (MWh/ano)	5,812

Em resumo, a economia energética prevista da execução das medidas propostas deste projeto é apresentada na Tabela 23.

Tabela 23. Resultados Energéticos Esperados do *retrofit* da Iluminação.

SISTEMA ATUAL INEFICIENTE	
Tipo de Equipamento	FLUOR 4x20W e FLUOR 2x20W
Pontos Ineficientes	41
Potência Total (kW)	4,40
Energia Estimada (MWh/ano)	9,99
SISTEMA PROPOSTO	
Tipo de Equipamento	FLUOR 4x14W e FLUOR 2x14W
Pontos Eficientizados	41
Potência Total (kW)	2,56
Energia Estimada (MWh/ano)	5,812
RESULTADOS ESPERADOS	
Redução de Potência (kW)	1,84
Energia Conservada (MWh/ano)	4,18
Economia	41,82%

Logo, o total de energia anual conservada por estas ações de incremento à eficiência do sistema é de 4,18MWh/ano, correspondendo a uma redução de 41,82% de economia com relação ao consumido pelo sistema ineficiente projetado para a linha de base.

4.4.5 Análise Financeira

A análise financeira deste projeto será baseada em cima do cálculo do tempo de retorno do investimento simples (*payback*) obtido pela divisão do investimento necessário para adquirir os materiais e serviços, pelas economias financeiras obtidas pelas ações de eficiência.

A economia financeira deste projeto é calculada através da multiplicação do preço pago pela APS pela energia elétrica, com a energia conservada pelas medidas propostas neste projeto.

A APS é classificada, segundo a concessionária (CEEE-D), como um consumidor comercial comum, logo não possui custos relativos à contratação de demanda, pagando apenas pelo consumo de energia, sem diferenciação quanto à sazonalidade e/ou ponta e fora ponta. Custo este que é de R\$ 0,4532407 para cada kWh.

Tabela 24. Análise Financeira – Retrofit.

Ação	Potencial de ganhos / ano		Investimento (R\$)	Economia anual (R\$)	Payback* (anos)
	kW	MWh			
Retrofit da Iluminação	1,84	4,18	11.744,64	1.894,55	6,20

A Tabela 24 reúne, de forma bastante resumida e direta, as principais características deste projeto, apresentando o *payback* simples desta ação de efficientização, que foi de 6,20 anos.

Este parâmetro é de suma importância, pois serve – entre outras coisas – para avaliar qual ação de incremento à eficiência traz maiores benefícios para o cliente e, por consequência, possui mais chances de ser implementada. Para este projeto não será diferente, logo, este valor será comparado com o *payback* obtido pela ação do outro projeto – a ser descrito na seção 4.5 – para então se chegar as devidas conclusões.

4.4.6 Premissas Adotadas

Nos itens a seguir seguem as premissas adotadas para se chegar aos resultados deste projeto de retrofit da iluminação:

- Custo de energia para consumidor comercial comum (CEEE-D);
- Utilização das potências das lâmpadas e reatores iguais ao especificado nos catálogos dos próprios fabricantes;
- Potência fixa no enquanto estiver sobre o ciclo de operação (sem avaliação quanto ao fator de depreciação);
- Ciclo de operação do sistema proposto igual ao da linha de base;

4.5 Projeto de Aplicação – Adequação/DALI

Esta seção tem por objetivo apresentar um projeto de eficiência energética por meio da adequação do sistema de iluminação existente na linha de base utilizando-se a tecnologia DALI.

Nesta adequação, será realizado um estudo luminotécnico em que se otimizará o consumo de energia reduzindo-se o número de luminárias projetadas no *retrofit* (casos da Área Geral e Sala de reuniões), aproveitando-se da iluminação natural e da ausência do corpo técnico de sua estação de trabalho durante o expediente.

Isto será realizado por meio de um sistema de controle, composto por uma unidade central de controle, reatores eletrônicos digitais dimerizáveis, sensores de presença e de luminosidade, além de outros acessórios de interface homem máquina (IHM). A comunicação entre eles se dará por uma rede em que o protocolo utilizado será o DALI.

4.5.1 Metodologia

A seguir, seguem os passos a serem seguidos para a realização deste projeto:

- Adequação do projeto luminotécnico apresentado no retrofit (redução do número de luminária, atendendo ainda, as exigências da (16) (NBR5413)) sem considerar a iluminação natural;
- Definição de cenários de simulação da luminosidade provida pela luz do dia;
- Simulação no DIALux da intensidade de iluminância natural transmitida aos ambientes para cada cenário;
- Criação e definição dos grupos de luminárias em cima dos resultados da simulação de iluminação natural;

- Definição da localização de instalação dos sensores de luminosidade/presença/movimento de modo a se conseguir dimerizar as lâmpadas de acordo com o especificado pelos grupos de luminárias;
- Adequar as potências dos grupos de luminárias de acordo com a necessidade para se atender a (16) (NBR5413), levando-se em consideração os resultados dos cenários de iluminação natural;
- Estimativa dos Ciclos de operação;
- Cálculo da energia consumida para cada grupo de luminárias para um dia, e extrapolar para o ano;
- Especificação dos materiais necessários para o projeto;
- Investimentos;
- Economias e Resultados Financeiros;

4.5.2 Adequação do Projeto Luminotécnico

Nesta seção serão realizadas as simulações da Área Geral e da Sala de reuniões no DIALux, ainda sem a presença de iluminação natural, porém com uma redução do número de luminárias propostas em relação ao *retrofit*, de modo a se obter mais economia de energia mantendo-se os níveis de iluminamento dentro do exigido pela norma.

4.5.2.1 Adequação Área Geral

O *retrofit* da iluminação deste ambiente proporcionou um iluminamento médio de 643lx (Figura 61), dentro dos limites estipulados pela norma, porém ficou visível através da Figura 62, a existência de excessos de luminosidade em lugares desnecessários, logo, com potenciais de economia neste caso.

Por meio de simulações, verificou-se que é possível a redução de 9 (nove) luminárias da instalação, mantendo o ambiente com 27 (vinte e sete) pontos de iluminação. A Figura 67 apresenta os resultados luminotécnicos gerais deste ambiente.

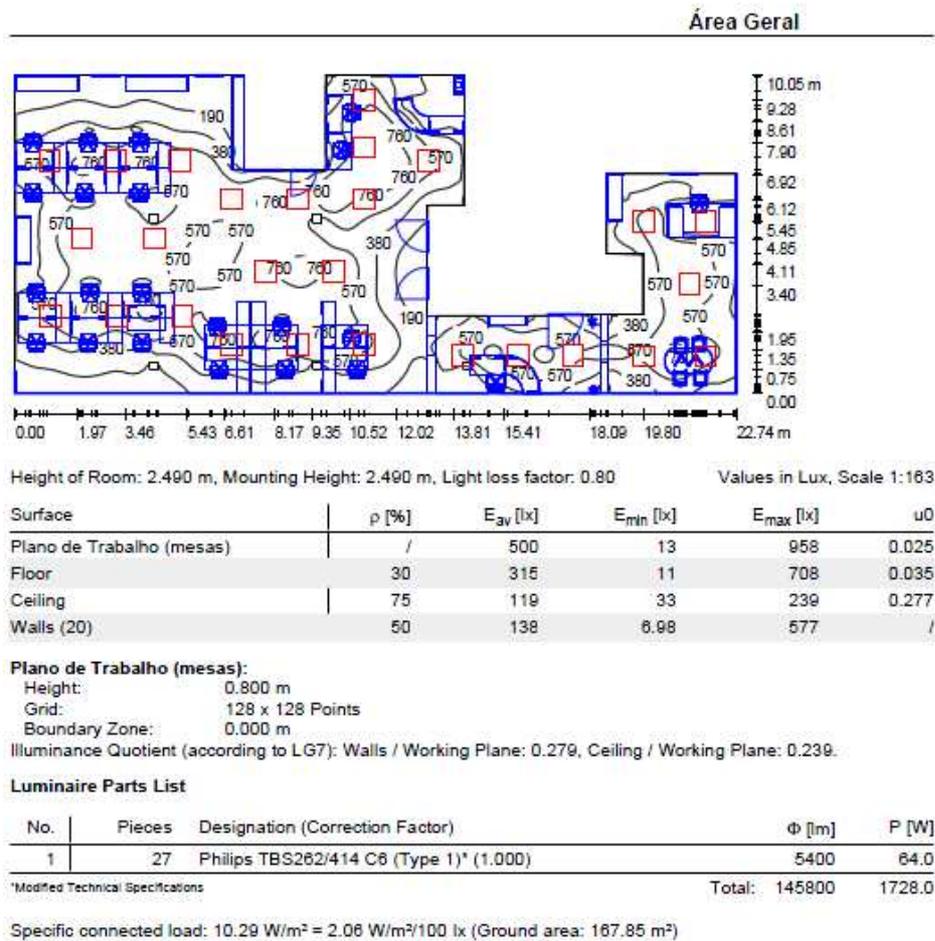


Figura 67. Resultados Luminotécnicos da Área Geral – Adequação.

Verifica-se que o layout final das luminárias também foi alterado (parte superior da Figura 67), obtendo agora uma configuração mais voltada para as tarefas (postos de trabalho). A redução de potência instalada foi de 25% em relação ao *retrofit*, indo de 2,304kW para 1,728kW. Nota-se ainda, que a iluminância média ficou dentro do aceitável, alcançando o valor de 500lx.

A distribuição luminosa desta instalação pode ser mais bem visualizada através da Figura 68.

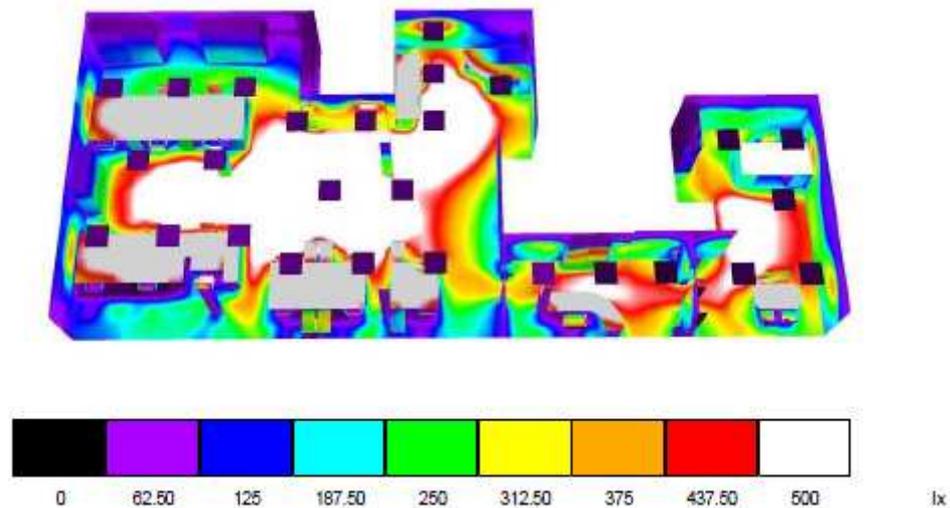


Figura 68. Distribuição Luminosa da Área Geral – Adequação.

Apesar da redução dos pontos de iluminação, pode-se verificar por meio da Figura 68 que os planos de trabalho estão hachurados pela cor cinza/branco, que segundo a legenda apresentada corresponde a 500 lx.

4.5.2.2 Adequação da Sala de Reuniões

O retrofit da instalação da sala de reuniões proporcionou ganhos bastante elevados de luminosidade, tendo como iluminância média igual a 832lx – valor este, bem superior ao recomendado pela norma (500lx).

Para minimizar os gastos energéticos, a adequação deste sistema resulta em reduzir um a quantidade de pontos projetados no *retrofit* da instalação, ficando agora com duas luminárias de 4x14W, conforme apresenta a Figura 69.

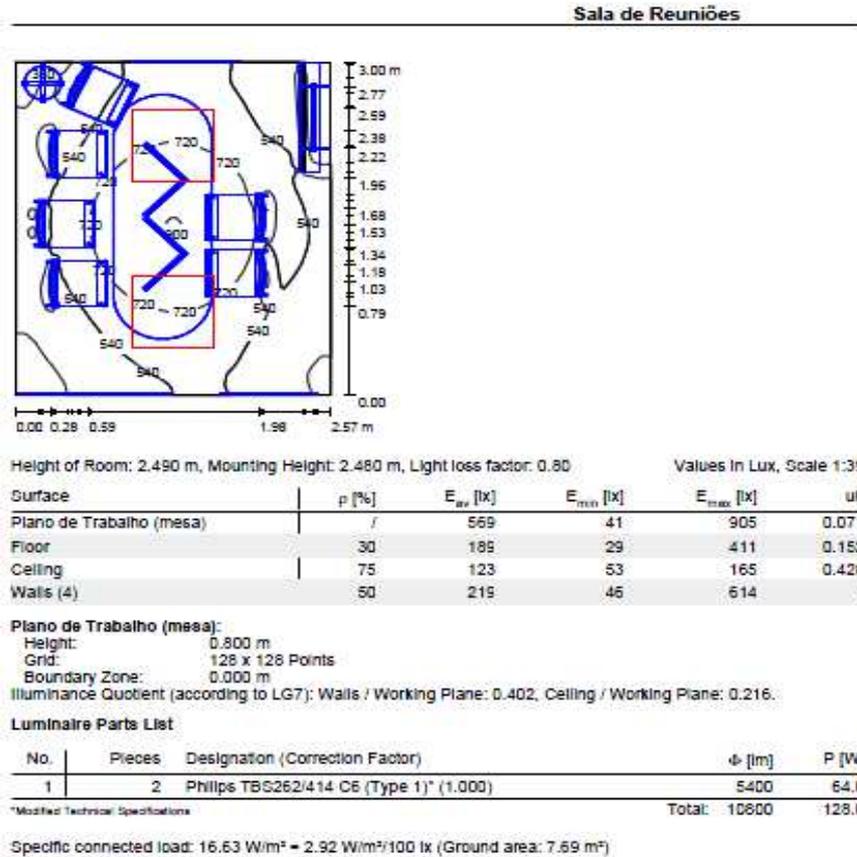


Figura 69. Resultados Luminotécnicos da Sala de Reuniões – Adequação.

Pode-se verificar que mesmo com essa redução da quantidade de luminárias instaladas a iluminância média no plano de trabalho ainda foi superior ao exigido pela (16) (NBR5413), ficando em 569lx, atendendo assim as especificações. A visualização em 3D da distribuição luminosa pode ser observada por meio da Figura 70.

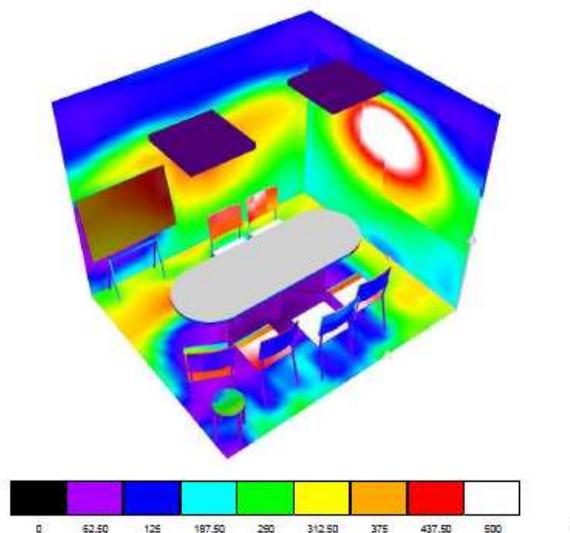


Figura 70. Distribuição Luminosa da Sala de Reuniões- Adequação.

Através da Figura 70 pode-se afirmar que esta configuração está adequada, uma vez que toda a superfície da mesa está hachurada de cinza/branco (lx acima de 500 lx), logo, atendendo as especificações.

4.5.2.3 Resumo dos Resultados

A Tabela 25 resume os resultados obtidos por esta ação de eficiência energética.

Tabela 25. Resumo dos Resultados da Adequação.

Existente		Sistema Proposto			
		Retrofit		Adequação	
Tipologia	Quantidade	Tipologia	Quantidade	Tipologia	Quantidade
Fluor 4x20W	39	Fluor 4x14W	39	Fluor 4x14W	29
Fluor 2x20W	2	Fluor 2x14W	2	Fluor 2x14W	2

Como se pode perceber, do *retrofit* para a adequação houve a redução de 10 luminárias propostas, sendo 9 delas para a Área Geral, e 1 para a Sala de Reuniões. É válido salientar que mesmo com essas reduções de pontos de iluminação, o fluxo luminoso médio no plano de trabalho manteve-se dentro do exigido por norma, ficando em 500lx na Área Geral, e 569lx na Sala de Reuniões.

4.5.3 Cenários de Iluminação Natural

Serão criados quatro cenários, em que cada um deles corresponderá a um período de tempo do dia. O primeiro será das 8h00 até as 10h00. O segundo das 10h00 até as 12h00. O terceiro corresponderá as 13h00 às 15h00. E por fim, o quarto cenário será das 15h00 as 17h00. Os últimos 60min normais de expediente serão tratados como se não existisse mais iluminação natural presente.

Isso será realizado para que seja possível, através das simulações, saber quais os níveis de dimerização necessários para os grupos de luminárias, de modo a se manterem os níveis de iluminamento médio no recinto de acordo com a (16) (NBR5413).

Na verdade, para cada cenário será realizado uma simulação no DIALux, em que o software vai calcular a quantidade de iluminação natural que o ambiente vai estar recebendo naquele período. Por consequência, vai se ajustar as potências necessárias que os grupos de luminárias devem fornecer de modo a se somar com a iluminação natural e assim obter o nível de iluminamento necessário.

Para tanto, deve-se ajustar alguns parâmetros no DIALux, tais como:

✓ O primeiro deles consiste em posicionar geograficamente o ambiente através dos graus de latitude e longitude. O DIALux já possui em seu banco de dados a cidade de porto alegre – e como não se requer muita precisão, não precisa especificar o endereço mais aprofundadamente.

✓ O segundo consiste em indicar o dia em que se passará a simulação. Vale ressaltar que o programa possui um banco de dados climático para cada dia.

✓ O terceiro é a escolha do modelo de céu, se está sem nuvens, ou mesclado ou completamente nublado. Caso a opção escolhida seja céu aberto, ainda existe a possibilidade de optar por incidência direta ou indireta.

✓ O quarto consiste na escolha dos tipos de janelas/clarabóias/telhas translúcidas a serem instaladas. Para cada elemento desses, existem alguns fatores que influenciam diretamente na incidência de radiação. Uns são intrínsecos ao próprio elemento constituinte do equipamento, e outros são relativos ao tipo ou local de instalação. Os parâmetros intrínsecos são: fator de reflexão, transparência e grau de rugosidade. Os fatores relativos à instalação são: fator de poluição de ambiente e tipo de fixação. Cabe ressaltar que todos estes parâmetros já são reconhecidos pelo software para alguns materiais clássicos, tais como vidro, concreto, madeira e etc.

Para este projeto, se efetuarão as simulações considerando sempre os piores casos entre os que sejam possíveis escolher. A cidade não será alterada, será mantida Porto Alegre,

RS. O dia será 21/06/2011 – dia mais curto do ano para o hemisfério sul, onde se encontra Porto Alegre. O tipo de céu será o encoberto, isto é, o que fornece menor quantidade de iluminância direta para o ambiente. Com isso, reduz-se o problema do aumento da carga térmica do recinto por meio da luz do sol, a qual é carregada grande quantidade de radiação infravermelha, que conseqüentemente sobrecarrega os sistemas de refrigeração. Quanto às janelas, estas serão de vidro normal, portanto, com parâmetros já reconhecidos e carregados no próprio software. Por último, dentro do *range* de horários de cada cenário, será escolhido para simulação o horário mais longe do meio dia, que teoricamente possui maior incidência solar, por exemplo: se o cenário vai das 8h00 as 10h00, será escolhido o horário das 8h00 para efetuar os cálculos luminotécnicos. Já para o caso das 13h00 as 15h00, será utilizado as 15h00.

Dessa forma, garante-se na extrapolação de consumo anual, a certeza de que o sistema só tende a produzir resultados melhores do que os simulados.

A Figura 71 apresenta a janela do software que contém as informações que servem para a escolha dos cenários do dia.

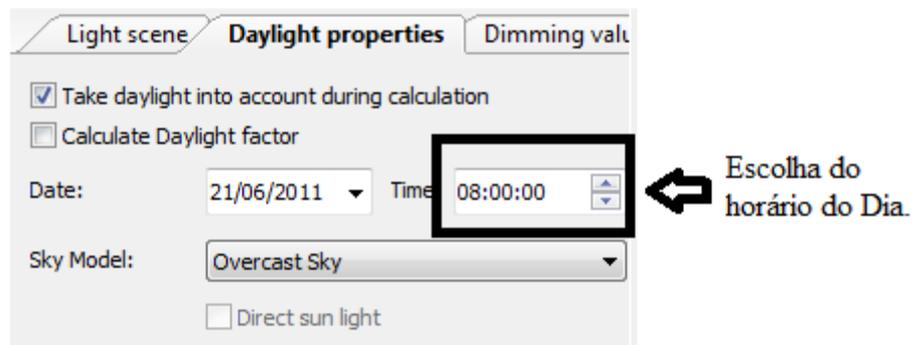


Figura 71. Janela que contém as propriedades do cenário de luz natural.

Pode se verificar que para o caso apresentando na Figura 71, foi escolhido o cenário I, que resulta nos valores de radiação do sol transmitidos ao ambiente das 8h00, da cidade de porto alegre, do dia 21/06/2011. Para a escolha dos outros cenários, basta alterar o campo do horário mostrado na Figura 71.

4.5.4 Iluminação Natural

Esta seção tem por objetivo fornecer os dados que a iluminação natural por si só, configurada com os parâmetros descritos na seção anterior (4.5.3), é capaz de transmitir aos ambientes, Área Geral e Sala de Reuniões, para cada cenário anteriormente descrito.

4.5.4.1 Cenário I

Os resultados luminotécnicos do cenário I, que corresponde ao horário das 8h00 até as 10h00 do dia escolhido (21/06/2011), são apresentados a seguir para cada um dos ambientes analisados.

Área Geral

Os resultados advindos da iluminação natural deste cenário para este ambiente encontram-se expostos na Figura 72.

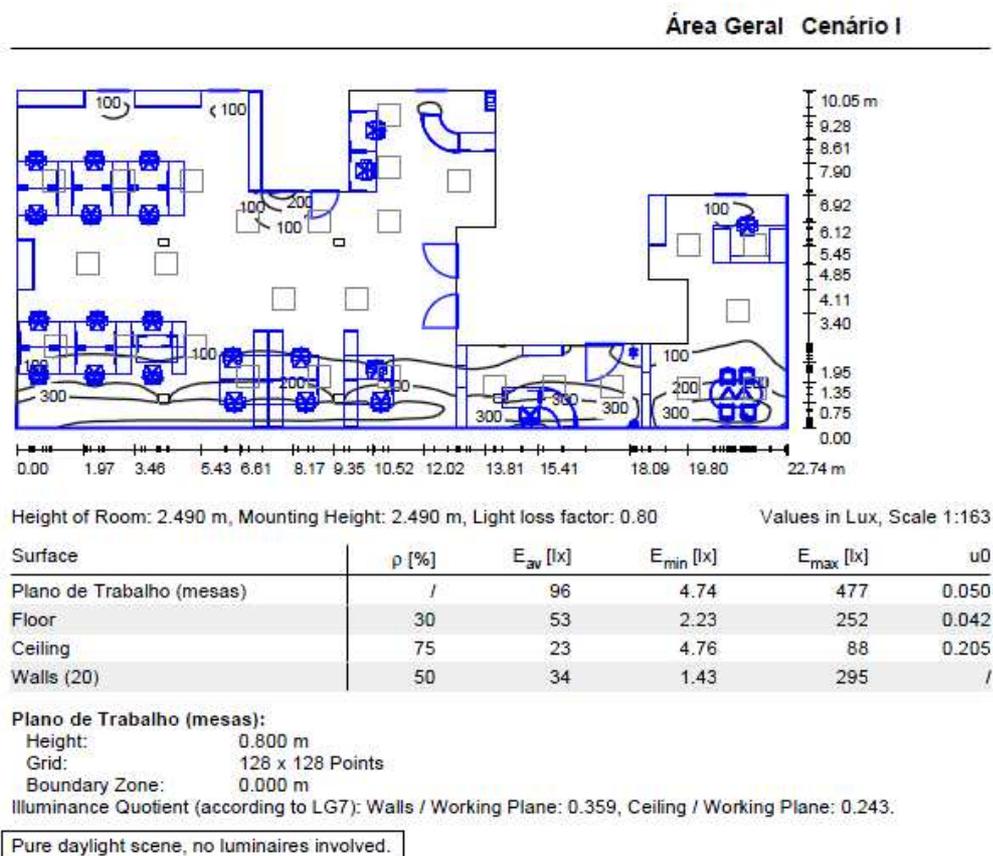


Figura 72. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural da Área Geral – Cenário I.

Pôde notar através da Figura 72 que, realmente, só nos locais próximos às janelas que se observou a existência de radiação. Nos resultados da própria simulação consta que os valores apresentados na Figura 72 não consideraram a utilização das luminárias.

O índice de iluminamento médio no plano de trabalho ficou bem abaixo do exigido, totalizando 96lx, justificando assim a utilização das luminárias quase que na totalidade de sua potência nos locais mais afastados das janelas.

A distribuição de luminosidade em três dimensões pode ser vista na Figura 73.

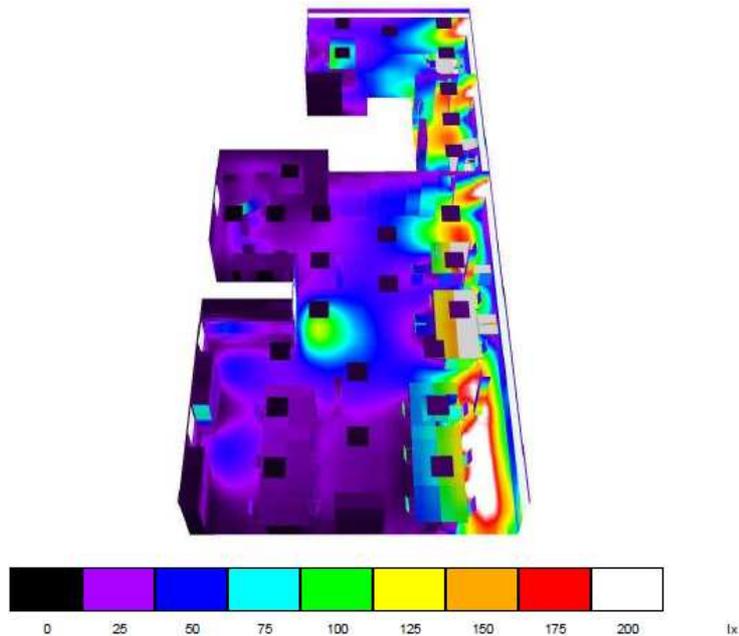


Figura 73. Distribuição Luminosa da Iluminação Natural da Área Geral – Cenário I.

A Figura 73 evidencia, além da distribuição luminosa, as propriedades e localização das janelas existentes no ambiente.

Sala de Reuniões

Para este ambiente, os resultados impressos pela ferramenta DIALux são apresentados na Figura 74.

Sala de Reuniões / Cenário I

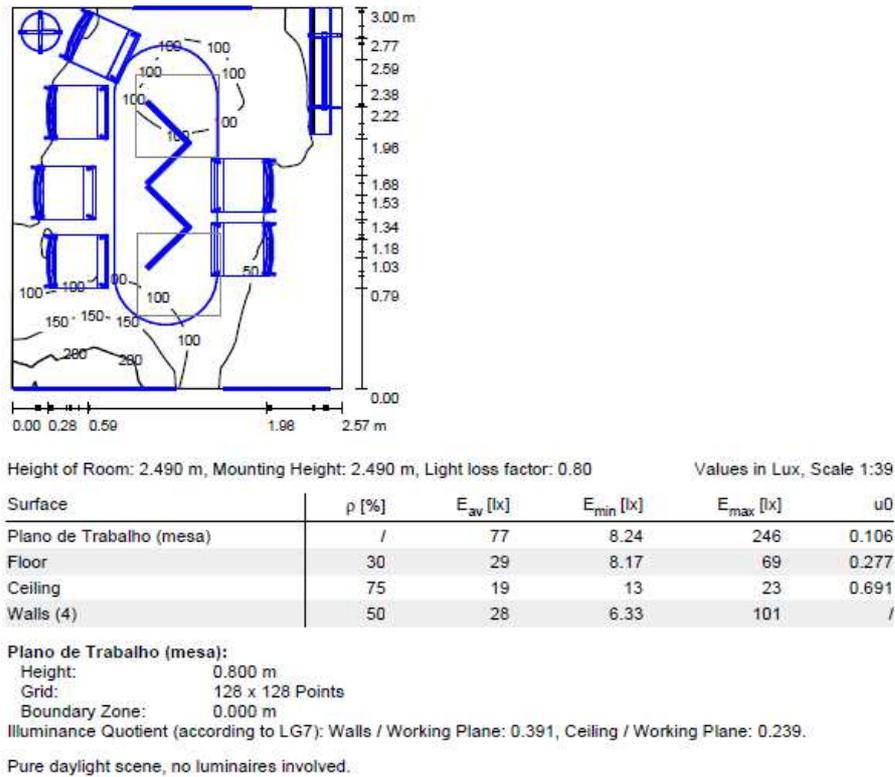


Figura 74. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural da Sala de Reuniões – Cenário I.

Para este cenário, de maneira semelhante à Área Geral, a iluminação natural obteve pouca influência, totalizando apenas 77lx médio no plano de trabalho, exigindo praticamente toda a capacidade de iluminação artificial para este intervalo.

4.5.4.2 Cenário II

Este segundo cenário compreende a simulação da iluminação natural transmitida aos dois ambientes analisados durante o intervalo compreendido das 10h00 às 12h00.

Área Geral

Para a Área Geral a Figura 75 expõe os principais resultados luminotécnicos.

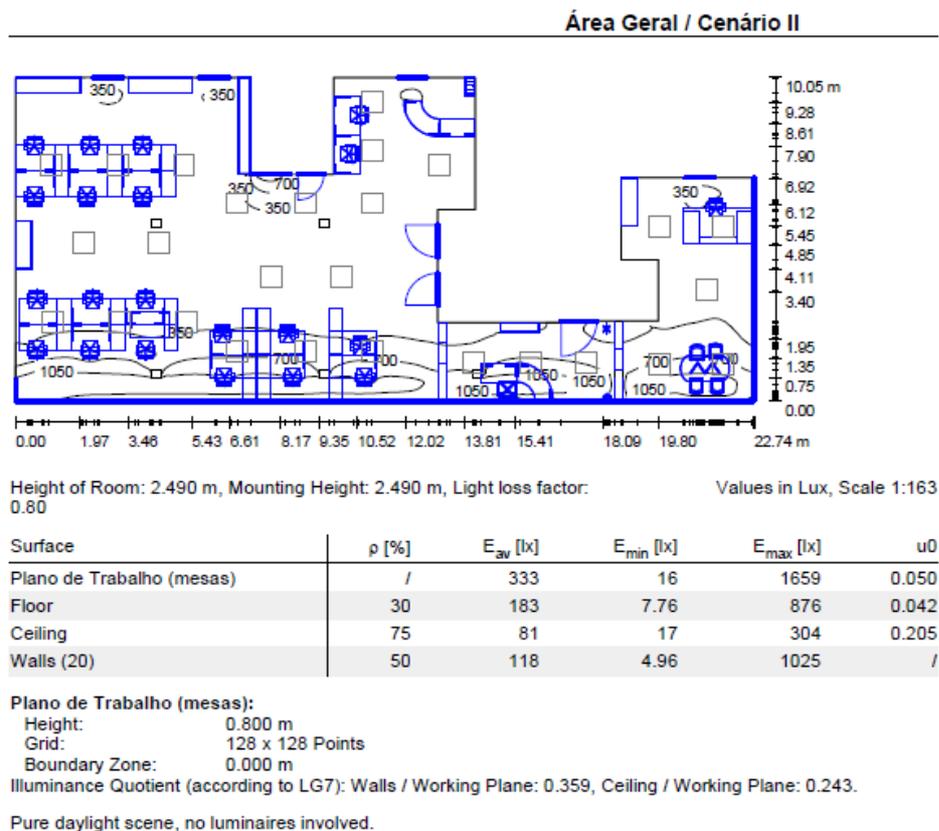


Figura 75. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural Área Geral – Cenário II.

Através destes resultados da Figura 75 pode-se concluir que grande parte do ambiente já está bem suprida de iluminação – a iluminância média do recinto ficou em 333lx, tendo somente que se ter cuidado com o ofuscamento, ou aumento de carga térmica provida pela radiação infravermelha, visto que tiveram pontos com iluminância de até 1600lx.

Maiores detalhes quanto à distribuição luminotécnica são apresentados na Figura 76.

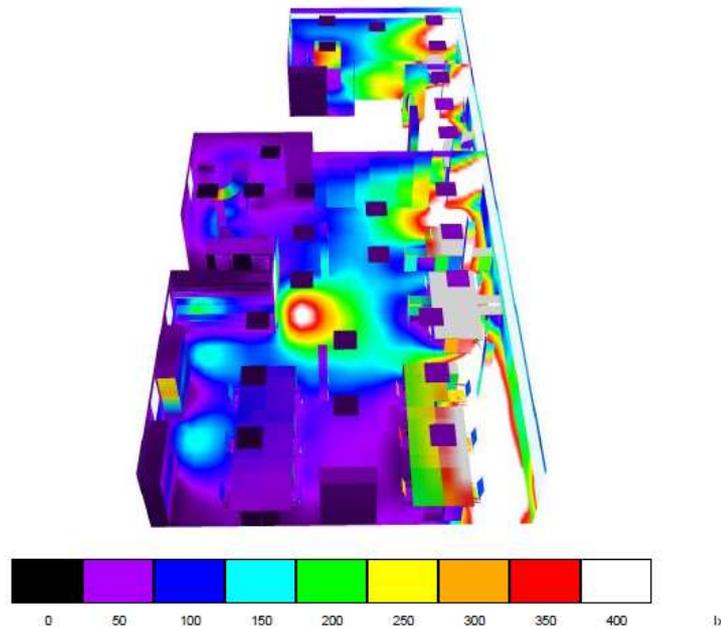


Figura 76. Distribuição Luminosa da Iluminação Natural da Área Geral – Cenário II.

A imagem da Figura 76 evidencia o problema quanto ao excesso de luminosidade recebida nos setores pertos das janelas, acusando assim, a necessidade do uso de venezianas, ou equipamentos similares. Por outro lado, essa radiação externa praticamente elimina a necessidade das luminárias próximas as janelas de estarem ligadas nesse momento.

Sala de Reuniões

Já para a Sala de reuniões, os resultados são mostrados na Figura 77.

Sala de Reuniões / Cenário II

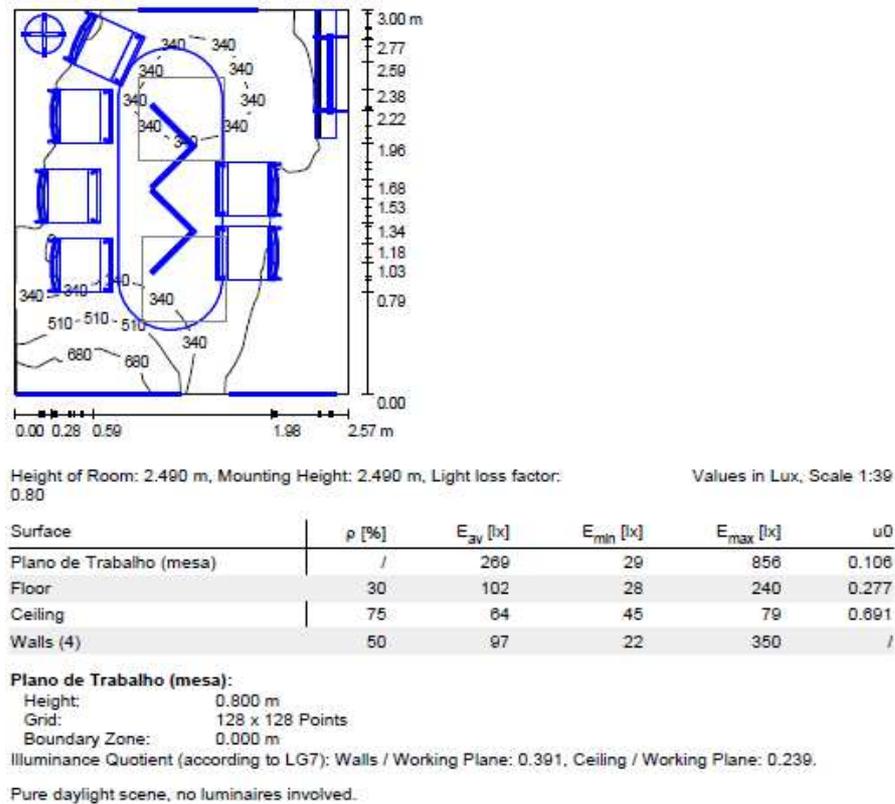


Figura 77. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural da Sala de Reuniões – Cenário II.

Nesta configuração a iluminância média sobre o plano de trabalho ficou em 269lx, porém, segundo layout da Figura 77, esta radiação se concentrou apenas nas regiões bem próximas às janelas, contribuindo pouco para a iluminância efetiva da mesa.

4.5.4.3 Cenário III

Este terceiro cenário compreende a simulação da iluminação natural transmitida aos dois ambientes analisados durante o intervalo compreendido das 13h00 às 15h00.

Área Geral

A impressão dos resultados luminotécnicos mais expressivos para este ambiente pode ser visualizada na Figura 78.

Área Geral / Cenário III

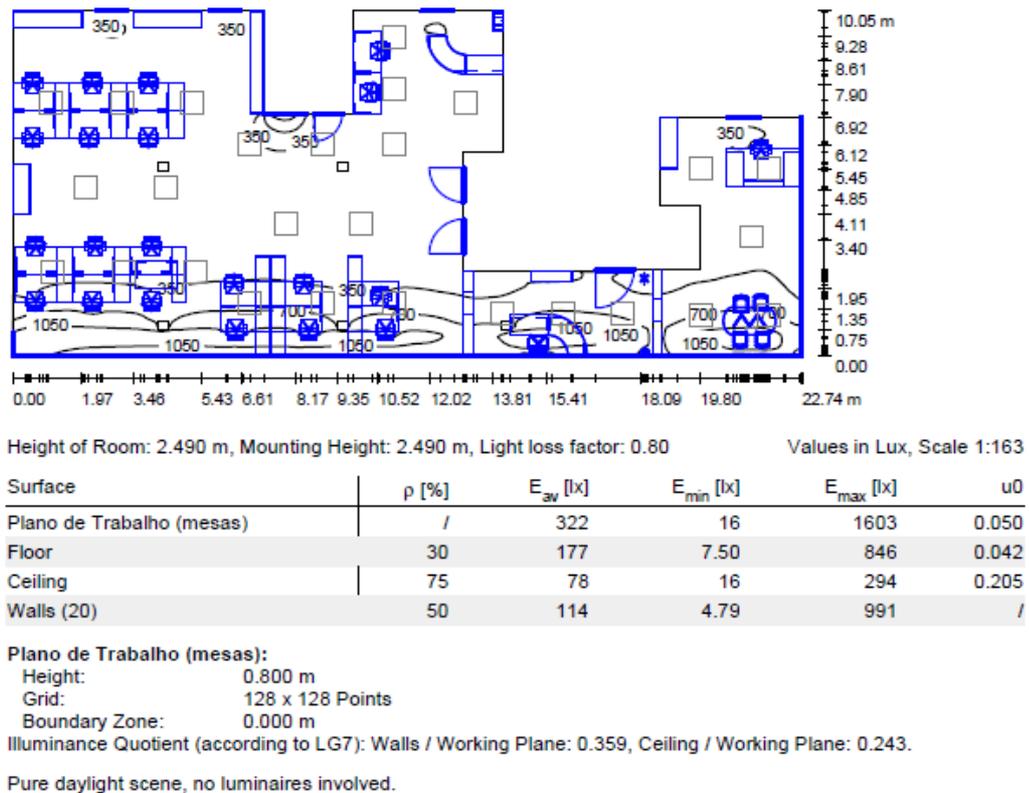


Figura 78. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural da Área Geral – Cenário III.

De maneira bastante semelhante ao cenário II, esta configuração ilustra por meio da Figura 78, a grande quantidade de iluminação natural transmitida ao ambiente nos locais situados próximos às janelas, colocando o nível de iluminamento médio de todo o ambiente em 322lx.

Novamente deve-se apenas tomar o cuidado contra ofuscamentos e/ou aumento da carga térmica. Já a distribuição luminotécnica desta configuração pode ser mais bem visualizada na Figura 79.

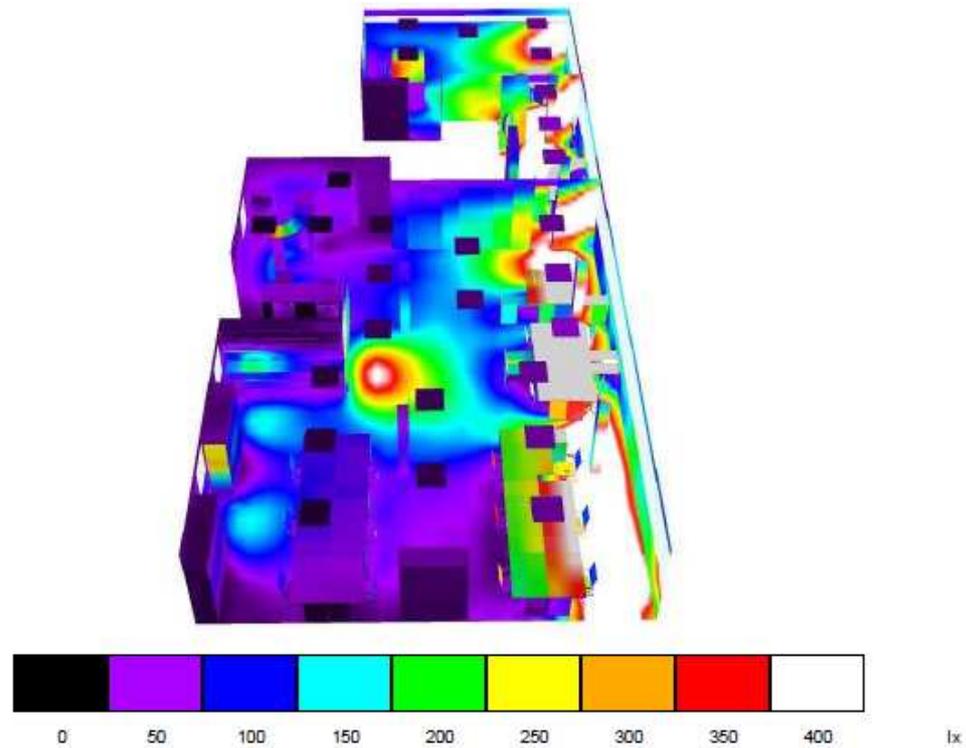


Figura 79. Distribuição Luminosa da Iluminação Natural da Área Geral – Cenário III.

Nesta configuração, as luminárias próximas as janelas quase não precisam ficar ligadas, visto que os planos de trabalho próximos as janelas estão todos hachurados com cores branca/cinza e/ou vermelho.

Sala de Reuniões

Os resultados do cenário III para este ambiente são expostos na Figura 80.

Sala de Reuniões / Cenário III

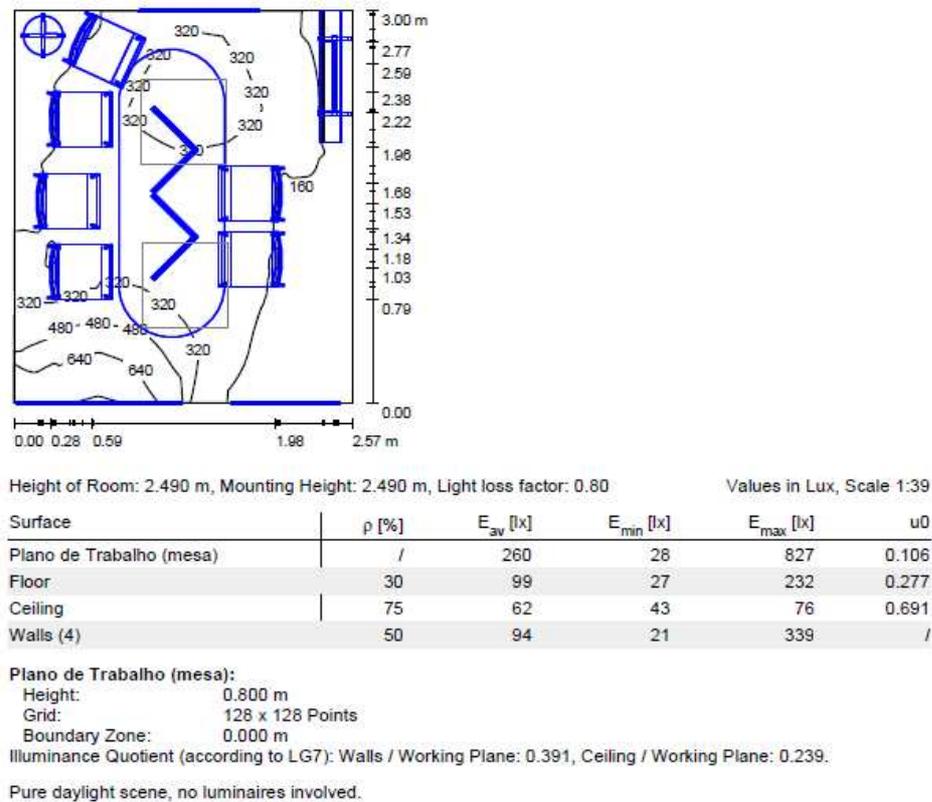


Figura 80. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural da Sala de Reuniões – Cenário III.

Verifica-se através da Figura 80 que a iluminação natural conseguiu prover a quantia de 260lx médio no plano de trabalho. Porém, conforme já explicitado nos casos acima, isto decorre da grande concentração de luminosidade nas aéreas próximas as janelas, que recebem uma carga de iluminação bastante elevada chegando a 827lx.

Portanto, ao se considerar a iluminação natural junto da artificial deve-se atentar, não somente com o fluxo luminoso médio, mas com a distribuição luminosa em todo o plano de trabalho efetivamente utilizado (superfícies dos postos de trabalho).

4.5.4.4 Cenário IV

Este quarto cenário compreende a simulação da iluminação natural transmitida aos dois ambientes analisados durante o intervalo compreendido das 15h00 às 17h00.

Área Geral

Para a área geral, a Figura 81 contém os principais resultados luminotécnicos.

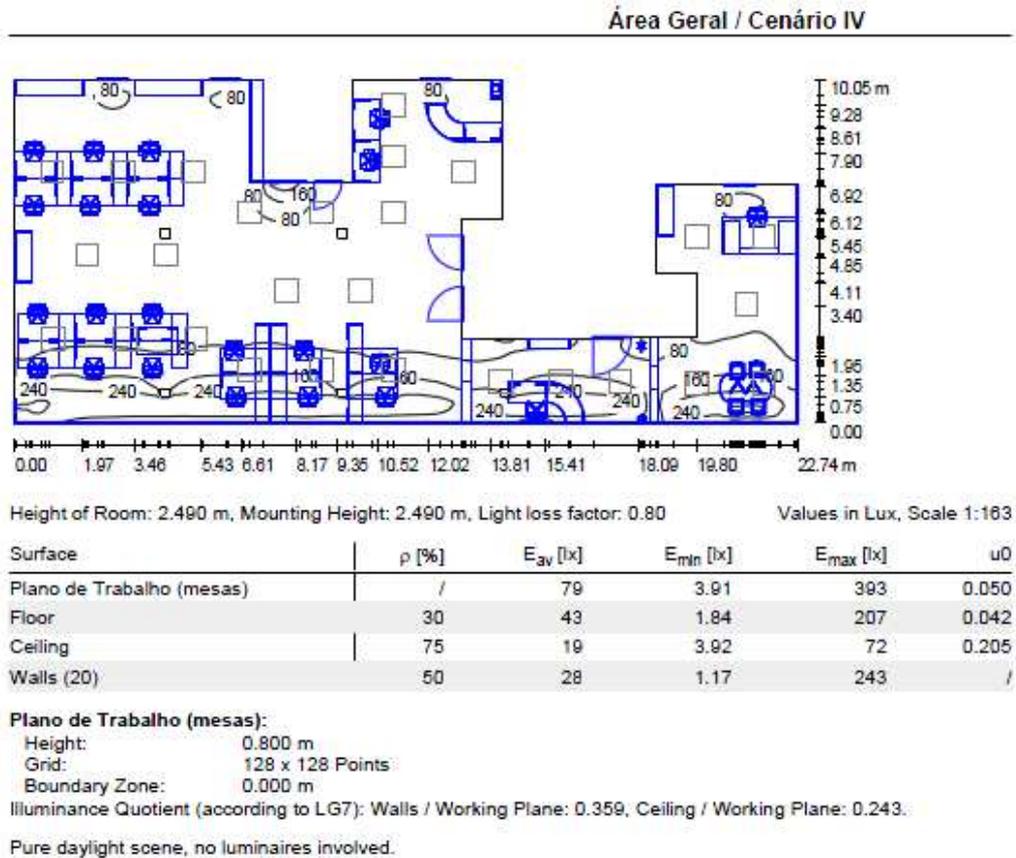


Figura 81. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural da Área Geral – Cenário IV.

Nota-se que para este cenário, neste dia 21/06/2011, praticamente já estava escuro, uma vez que a iluminância média do ambiente no plano de trabalho foi de 79 lx, ficando baixa inclusive nos lugares próximos as janelas. Isto pode ser mais bem visualizado através da distribuição luminotécnica apresentada na Figura 82.

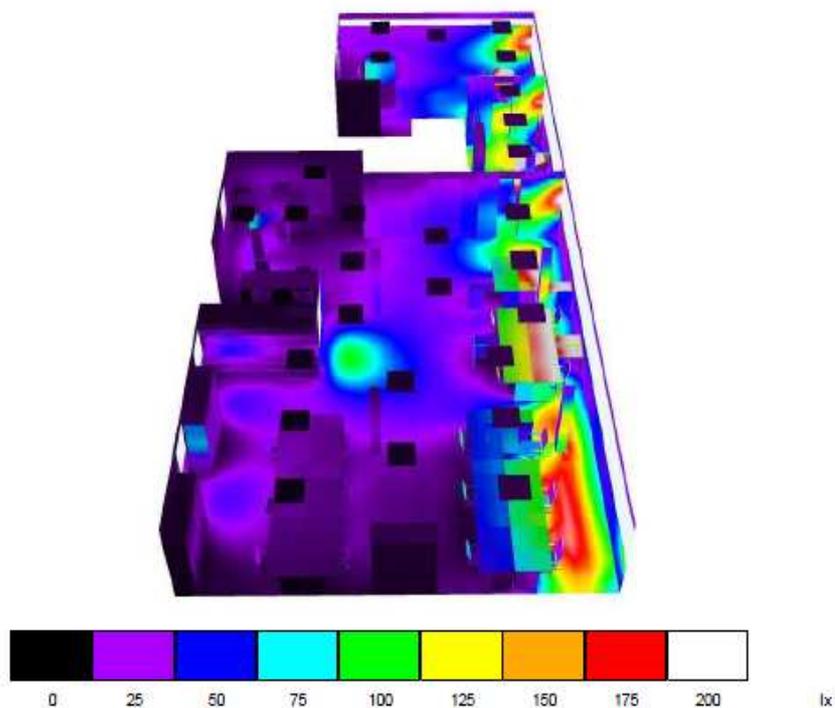


Figura 82. Distribuição Luminosa da Iluminação Natural da Área Geral – Cenário IV.

Através da imagem da Figura 82 fica claro que praticamente inexistente iluminação natural aproveitável no ambiente, pois mesmo nas áreas próximas as janelas as superfícies ficaram hachuradas em tom de verde, que corresponde a 100lx apenas.

Sala de Reuniões

Já para a sala de reuniões, a Figura 83 apresenta os principais dados oriundos da simulação.

Sala de Reuniões / Cenário IV

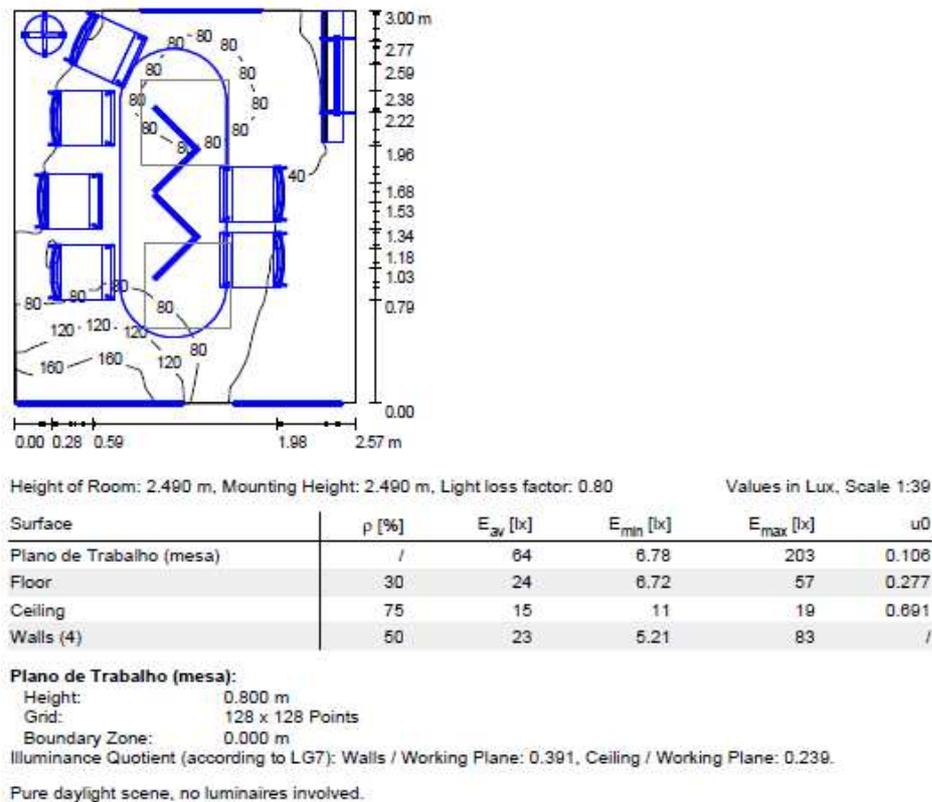


Figura 83. Resultados Luminotécnicos da Iluminação Natural da Sala de Reuniões – Cenário IV.

Nota-se que, de maneira análoga à explicada para a Área Geral, a intensidade de iluminação natural provida nesta situação (17h00 do dia 21/06/2011) é muito pequena, deixando o fluxo luminoso médio no plano de trabalho da sala em 64lx, praticamente não interferindo mais na análise luminotécnica.

4.5.4.5 Resumo dos Resultados

A Tabela 26 apresenta o resumo dos resultados de cada ambiente para cada cenário simulado nesta seção.

Tabela 26. Resumo dos Resultados de Iluminância Natural de cada ambiente.

Lux	Cenário I		Cenário II		Cenário III		Cenário IV	
	Área Geral	Sala de Reuniões	Área Geral	Sala de Reuniões	Área Geral	Sala de Reuniões	Área Geral	Sala de Reuniões
Médio	96	77	333	269	322	260	79	64
Mínimo	4,74	8,24	16	29	16	28	3,91	6,78
Máximo	477	246	1659	856	1603	827	393	203

A Tabela 26 apenas reuniu os valores apresentados nas figuras desta mesma seção, de modo a facilitar a visualização dos resultados.

4.5.5 Definição dos Grupos de Luminárias

Grupo de luminárias, conforme explanado no capítulo 3, são agrupamentos de luminárias que serão controladas em conjunto, ou seja, quando liga-se ou dimeriza-se um determinado grupo, todas as luminárias pertencentes àquele grupo serão ligadas ou dimerizadas simultaneamente.

Neste caso, baseado nos resultados obtidos pela iluminação natural, isto é, iluminância média transmitida ao ambiente, e principalmente, distribuição do fluxo luminoso sobre a superfície, e na disposição das próprias luminárias sobre o ambiente irão se criar os grupos de luminárias que complementem a iluminação natural, promovendo assim um fluxo luminoso adequado ao usuário.

Para a Área Geral, os grupos criados são sinalizados na própria Figura 84.

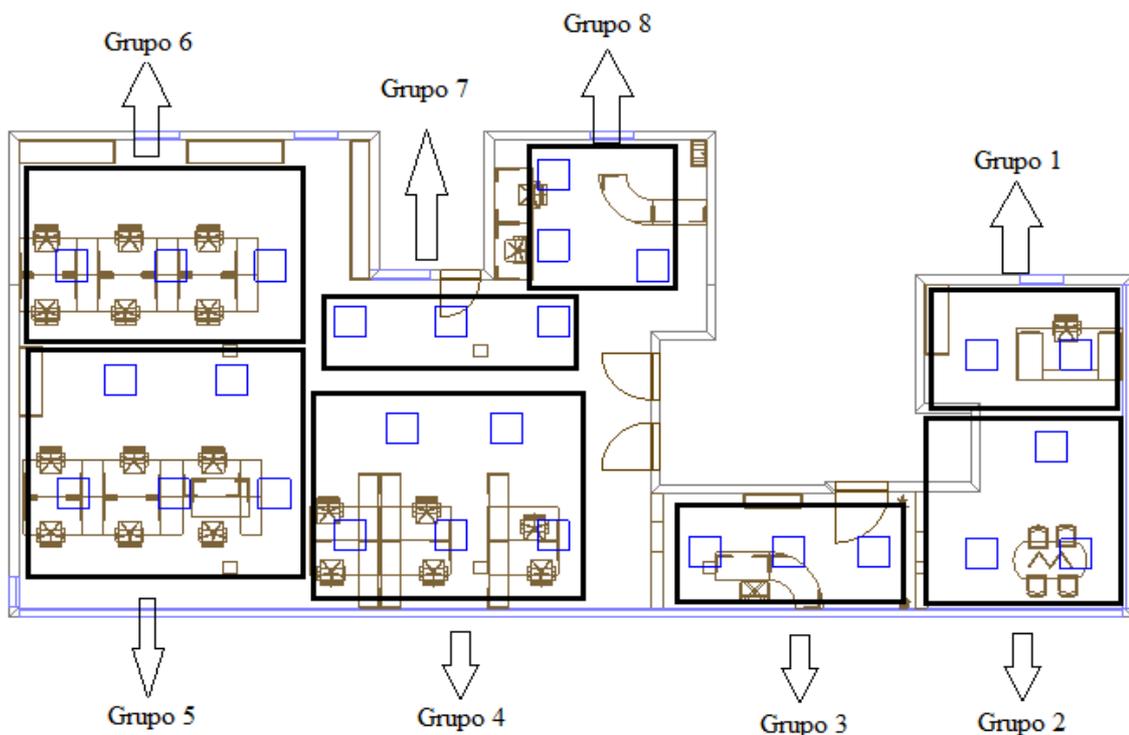


Figura 84. Definição dos Grupos de Luminárias da Área Geral.

Como se pode observar na Figura 84, os oito grupos de luminárias foram formados de acordo com sua posição geográfica, aliado aos resultados gerais provenientes da iluminação natural.

Já para a Sala de Reuniões, será criado apenas um grupo de luminárias, visto que o ambiente é pequeno, com as luminárias bastante próximas uma das outras. Além disso, como o ambiente possui duas janelas em paredes opostas, acaba por distribuir com mais igualdade sobre o plano de trabalho a iluminação natural, não justificando o controle das duas luminárias separadamente.

4.5.6 Alocação dos Sensores

Para realizar o controle de luminosidade sobre os grupos de luminárias definidos anteriormente, são necessários a alocação dos sensores em locais estratégicos, de acordo com as características técnicas de cada dispositivo.

Os sensores escolhidos são fabricados pela OSRAM, de modelo LS/PD MULTI 3 CI, conforme apresenta a Figura 85.

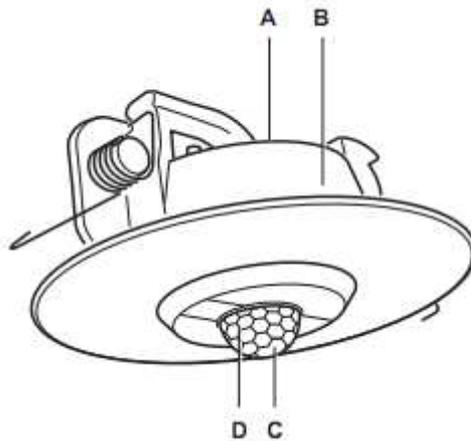


Figura 85. Sensor de Presença/Movimento/Luminosidade.
Fonte: (20) OSRAM – Catálogo LS/PD MULTI 3 CI.

A letra “A” da Figura 85 indica a conexão da alimentação, e dos sinais de controle DALI. A letra “B” ilustra o encapsulamento do dispositivo, enquanto que a letra “C”

apresenta a captação do sensor de luminosidade, e a letra “D” do sensor de presença/movimento.

Este sensor fica instalado no teto, e possui uma faixa de entrada de luminosidade variando de 20 a 600lx, e uma área de detecção de movimento cônica, com 90° de abertura aproximadamente. Para este caso, de instalação no teto a 2,49m de altura, e plano de trabalho a 0,8m do chão, (fazendo um cálculo rápido de geometria espacial) corresponde ao um raio de 3,38m.

Na Figura 86 segue o layout do ambiente com a localização de instalação dos oito sensores para a área geral

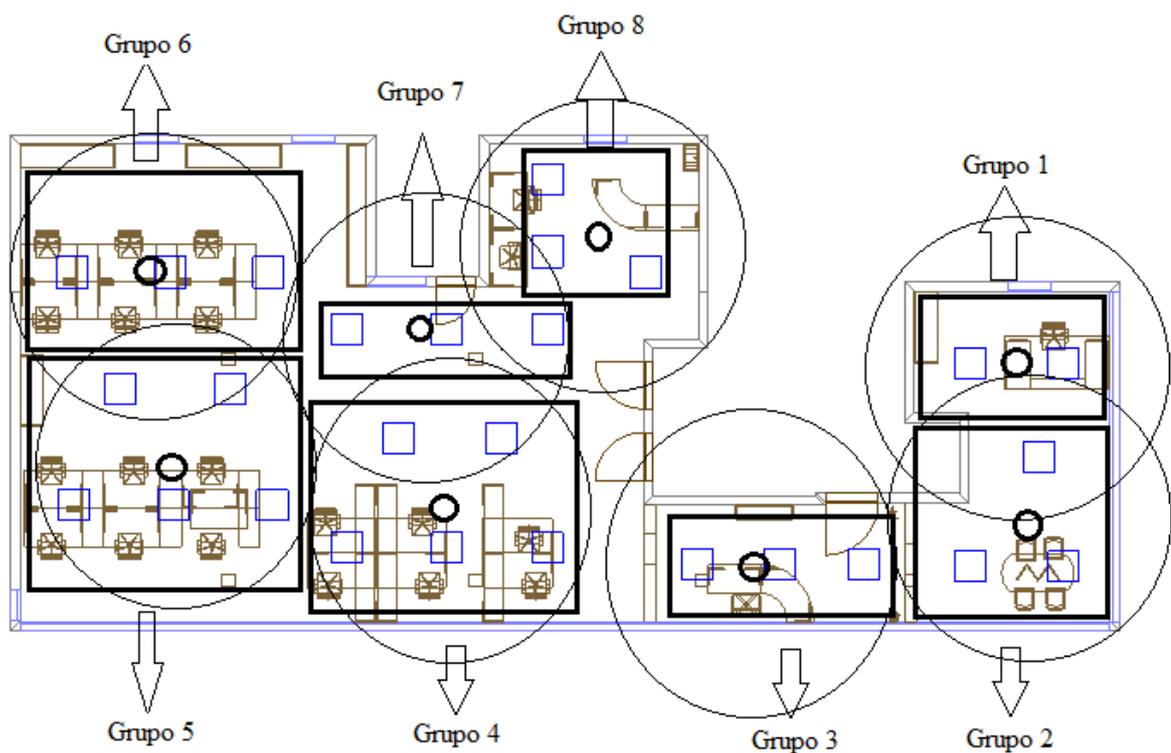


Figura 86. Alocação dos sensores e suas respectivas áreas de captação.

Podem-se verificar pela Figura 86 que os postos de trabalho estão todos cobertos pelas áreas de captação dos sensores, possibilitando assim, que as ações de controle sobre a instalação sejam colocadas em prática.

Cabe ressaltar que estes sensores encontram-se instalados no teto, e suas respectivas áreas de captação estão representadas no plano de trabalho de 0,8 m acima do piso. Ademais, foi instaurado um sensor por grupo de modo a facilitar na programação lógica do sistema.

Para a sala de reuniões, a Figura 87 apresenta a alocação do sensor.

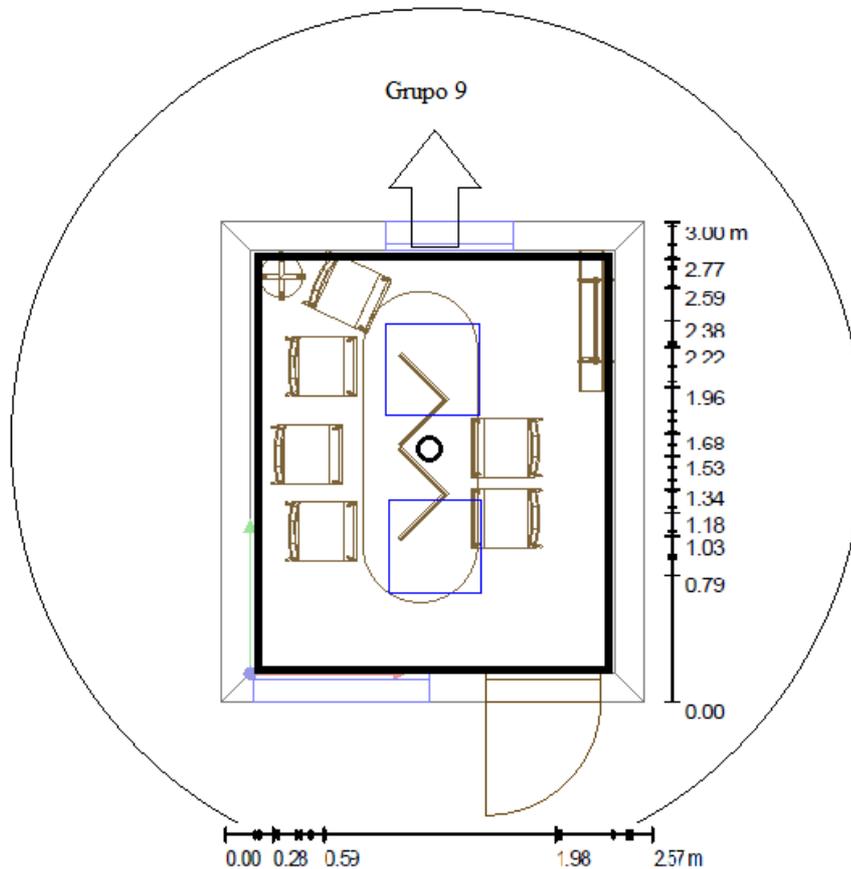


Figura 87. Layout da sala de Reuniões com a alocação do sensor.

Nota-se que para este ambiente a faixa de captação do sensor supera inclusive o tamanho total do local.

4.5.7 Lógica de Funcionamento dos Grupos

A lógica de funcionamento dos grupos é bastante simples, tendo como variáveis de entrada os parâmetros de recebimento pelos sensores - que por sua vez são a iluminância do lugar e a presença ou não de algum indivíduo, e como variável de saída a dimerização das luminárias de seu respectivo arranjo. Na Figura 88 é apresentado o fluxograma desta lógica.

Cabe ressaltar que o fluxograma apresentado na Figura 88 será um lógico diagrama genérico para os grupos, servindo de base para os outros, facilitando ainda a futura programação da lógica no controlador DALI, no momento da execução do projeto.

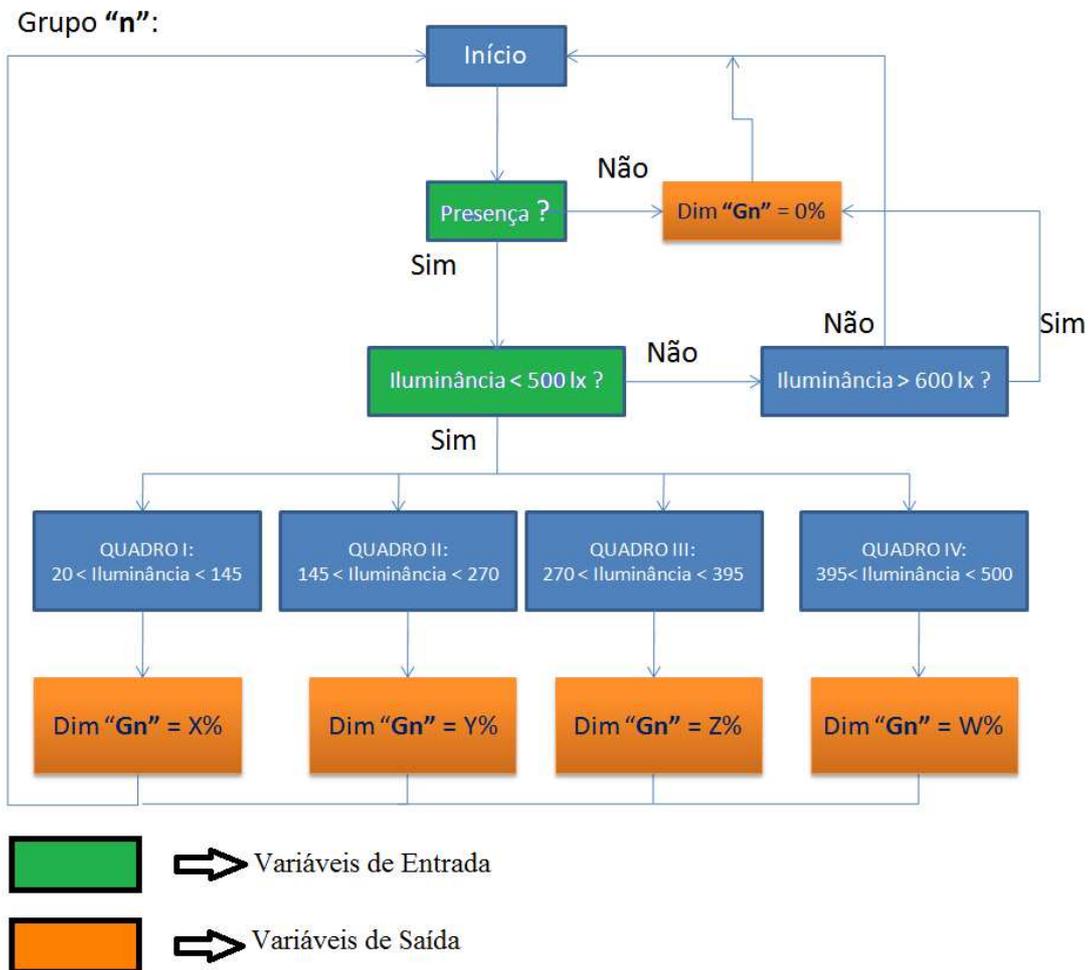


Figura 88. Lógica de Funcionamento dos Grupos de Luminárias com os Sensores.

Nota-se na Figura 88 que para a variável de saída foi utilizado o mnemônico “Dim Gn”, em que “Dim” corresponde a Dimerização, o “G” de Grupo e o “n” servindo para identificar o número do grupo.

Os quadros de iluminância responsáveis pelos “testes” luminotécnicos do fluxograma exposto na Figura 88, com range valores de 125lx para cada um, foram determinados através dos limites de medição do sensor de luminosidade, que vai de 0 a 600lx. Eles servem para relacionar a iluminância do recinto, com a quantidade de dimerização que a luminária deve fornecer representados em variáveis genéricas, “X”, “Y”, “Z” e “W”, e com isso determinar a

função de transferência de cada grupo. São de extrema importância no momento da programação do controlador.

Cabe ressaltar que estes quadros de testes não possuem nenhuma relação com os cenários de iluminação natural. Os valores obtidos pelas simulações do fluxo luminoso da radiação solar servem de parâmetro para dimerizar as luminárias no pior caso possível, e assim, obter a potência média da instalação.

4.5.8 Resultados Luminotécnicos Finais

Esta seção tem por objetivo apresentar os resultados luminotécnicos dos ambientes (Área Geral e Sala de Reuniões) para cada cenário, considerando, além da natural, a iluminação artificial com seus respectivos ajustes de dimerização dos grupos existentes. Sempre atentando para, em todos os casos, se alcançar a iluminância média exigida pela norma.

4.5.8.1 Cenário I - 08h00 as 10h00

Área Geral

Os resultados luminotécnicos deste ambiente encontram-se à mostra na Figura 89.

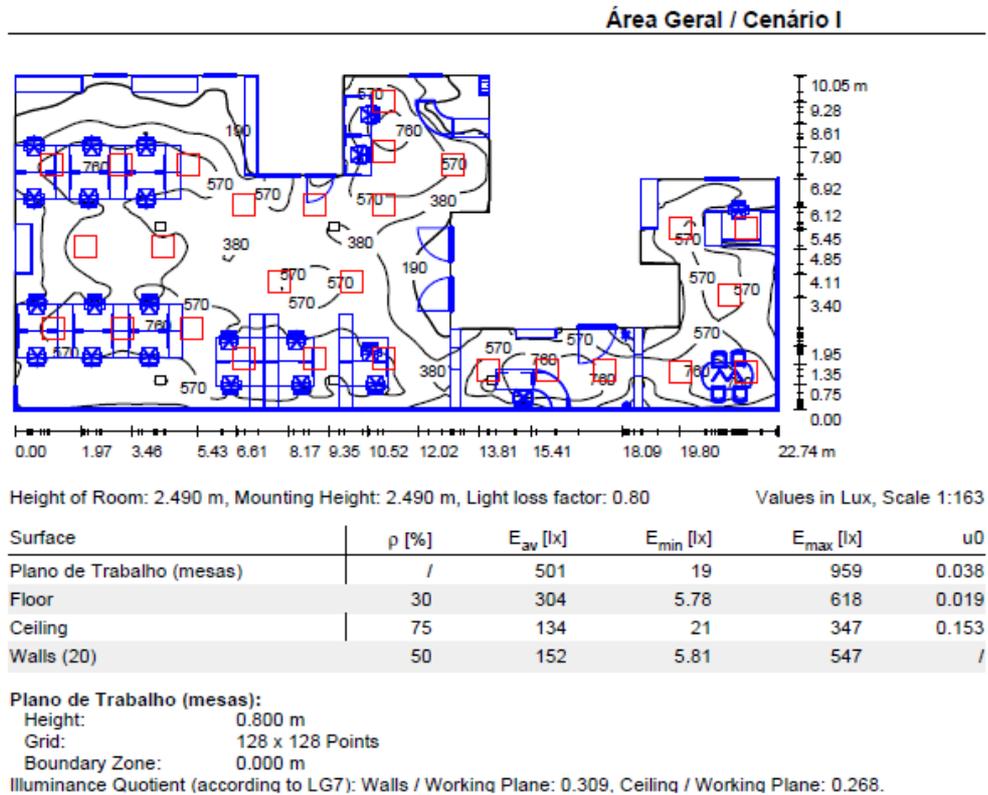


Figura 89. Resultados Luminotécnicos Finais da Área Geral – Cenário I.

Por meio da Figura 89 pode-se verificar que o projeto atendeu as especificações quanto ao iluminamento médio no plano de trabalho, ficando em 501lx, mantendo-se todas as características dos ambientes e da instalação em relação ao apresentado para adequação (Figura 67 – Resultados da Adequação sem iluminação natural), alterando-se apenas o fluxo luminoso de cada luminária (dimerização).

Esses valores de dimerização por luminária, bem como a distribuição luminosa para esta configuração, estão ilustrados na Figura 90.

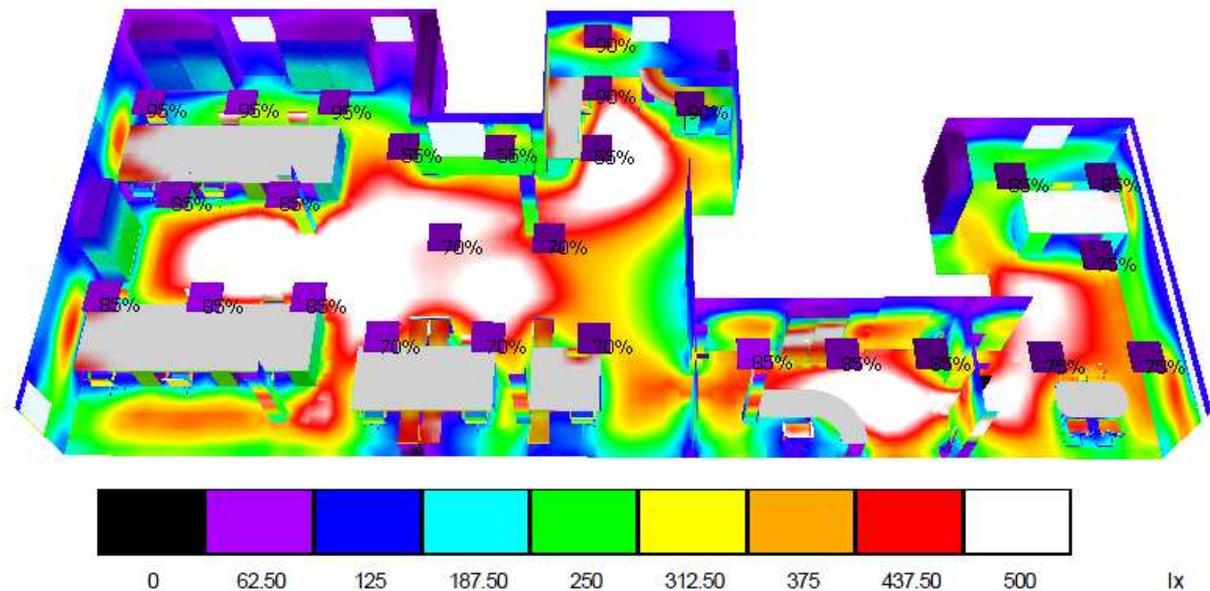


Figura 90. Distribuição Luminosa Final da Área Geral – Cenário I.

Nota-se que a distribuição luminosa se deu de forma bastante uniforme, com poucos dispêndios de fluxo nos corredores, mantendo praticamente todos os postos de trabalho com a superfície hachurada de cinza/branco – que corresponde a 500lx. Além disso, fica evidente que a dimerização foi realizada respeitando a pré-determinação dos grupos nas seções anteriores, uma vez que todas as luminárias de mesmo grupo estão com níveis de dimerização iguais.

A Tabela 27 apresenta os dados relevantes no cálculo da redução de potência de instalação de iluminação pela dimerização.

Tabela 27. Cálculo da redução de potência da Área Geral – Cenário I.

	Qtde de Luminárias	Potência Luminária (W)	Potência Grupo (W)	Nível de Dimerização	Potência Dimerizada (W)	Redução de Potência (W)
Grupo 1	2	64	128	85%	108,8	19,2
Grupo 2	3	64	192	75%	144	48
Grupo 3	3	64	192	85%	163,2	28,8
Grupo 4	5	64	320	70%	224	96
Grupo 5	5	64	320	85%	272	48
Grupo 6	3	64	192	95%	182,4	9,6
Grupo 7	3	64	192	55%	105,6	86,4
Grupo 8	3	64	192	90%	172,8	19,2
TOTAL	27		1728	79,44%	1372,8	355,2

Pelas informações da Tabela 27 chega-se a uma redução da potência de funcionamento em iluminação de 20,56%, equivalente à quantia de 355,2W.

Sala de Reuniões

Para a sala de reuniões, os resultados luminotécnicos encontram-se expostos na Figura 91.

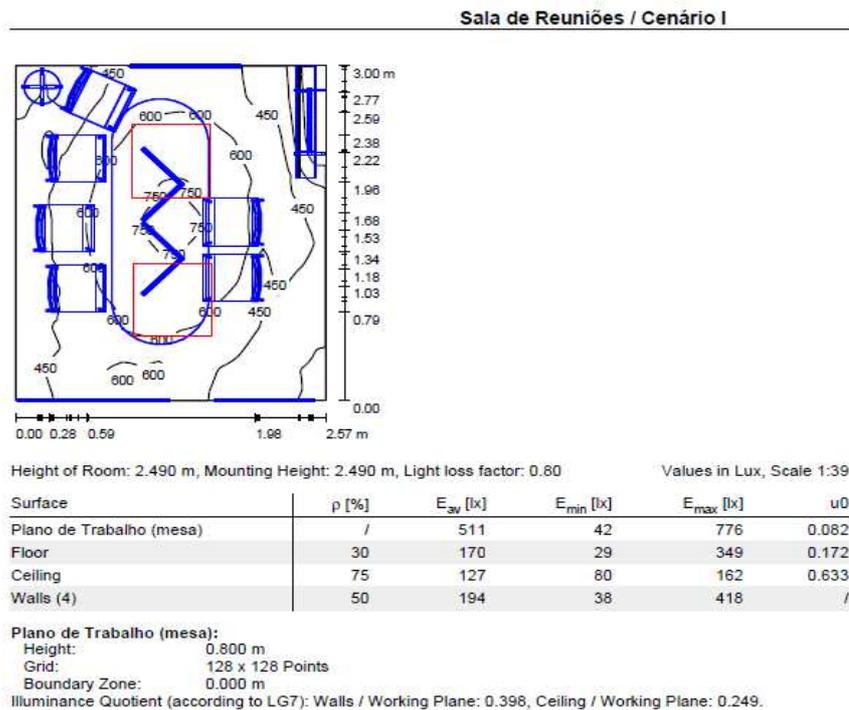


Figura 91. Resultados Luminotécnicos Finais da Sala de Reuniões – Cenário I.

Verifica-se pela Figura 91 que o sistema proposto atendeu ao fluxo luminoso determinado, ficando em 511 lx médios. A distribuição luminosa e os níveis de dimerização do grupo de luminária deste ambiente são apresentados na Figura 92.

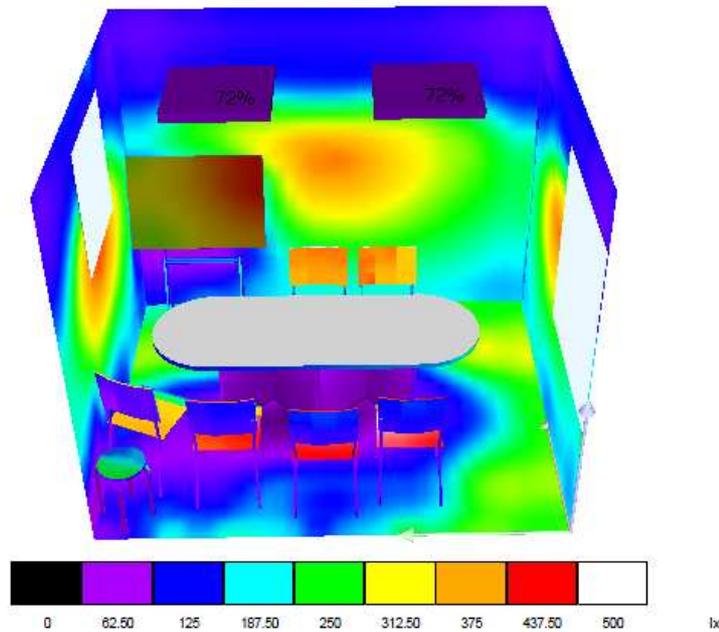


Figura 92. Distribuição Luminosa Final da Sala de Reuniões – Cenário I.

A Figura 92 ilustra que o plano de trabalho do ambiente (mesa) encontra-se totalmente hachurada de cinza/branco, garantindo o fluxo exigido pela norma com as luminárias dimmerizadas com 72% de sua potência apenas. Já na Tabela 28 constam os resultados de redução de potência para este caso.

Tabela 28. Cálculo da redução de potência da Sala de Reuniões – Cenário I.

	Qtde de Luminárias	Potência Luminária (W)	Potência Grupo (W)	Nível de Dimerização (%)	Potência Dimerizada (W)	Redução de Potência (W)
Grupo 1	2	64	128	72%	92,16	35,84
TOTAL	2		128	72,00%	92,16	35,84

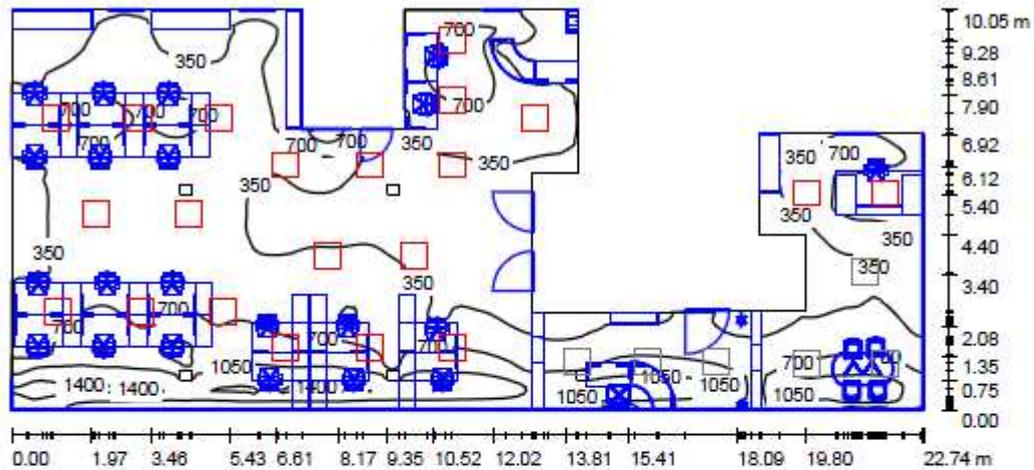
Como era de se esperar – visto que o ambiente possui somente um grupo de luminárias, logo a dimerização do grupo, corresponde diretamente ao total do ambiente – a redução de potência foi de 28% (35,84W).

4.5.8.2 Cenário II - 10h00 as 12h00

Área Geral

Os resultados luminotécnicos deste ambiente encontram-se na Figura 93.

Área Geral / Cenário II



Height of Room: 2.490 m, Mounting Height: 2.490 m, Light loss factor: 0.80

Values in Lux, Scale 1:163

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$u0$
Plano de Trabalho (mesas)	/	548	26	1734	0.047
Floor	30	311	13	966	0.041
Ceiling	75	146	33	353	0.225
Walls (20)	50	180	8.52	1080	/

Plano de Trabalho (mesas):

Height: 0.800 m
 Grid: 128 x 128 Points
 Boundary Zone: 0.000 m

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.346, Ceiling / Working Plane: 0.266.

Figura 93. Resultados Luminotécnicos Finais da Área Geral – Cenário II.

Pela Figura 93 observa-se o atendimento da norma quanto ao iluminamento médio de 500lx no plano de trabalho, mesmo dimerizando os grupos de luminárias. Esses níveis de dimerização, como também a distribuição luminosa para esta configuração é ilustrada na Figura 94.

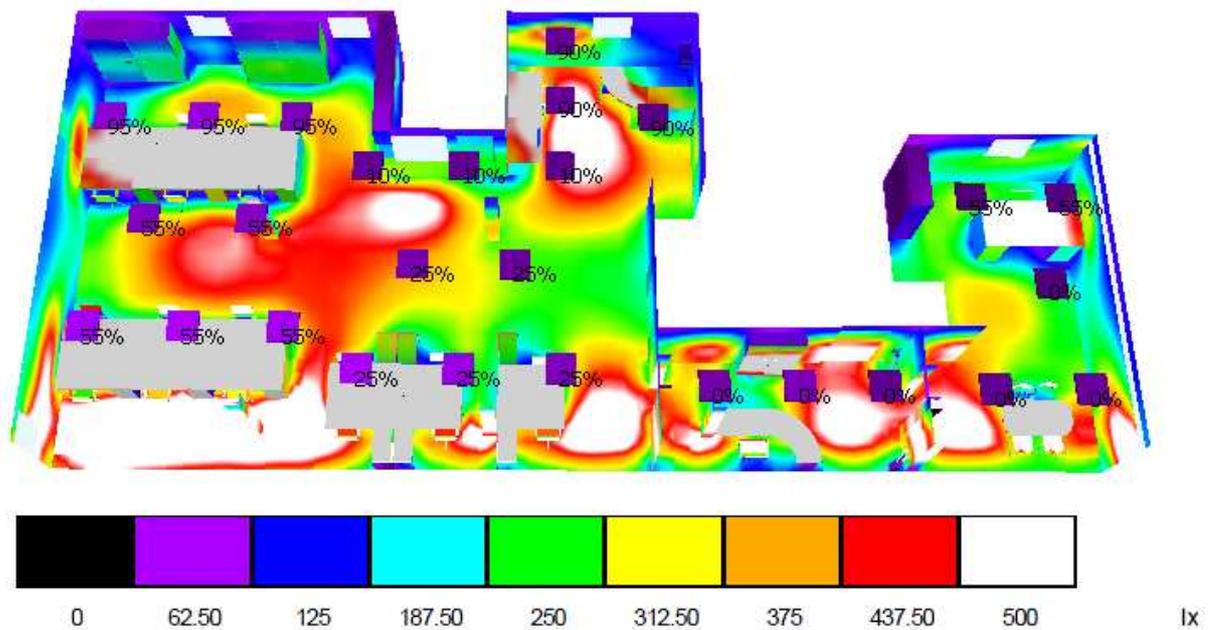


Figura 94. Distribuição Luminosa Final da Área Geral – Cenário II.

O fluxo luminoso está bem distribuído, com pouquíssimo desperdício de luminosidade artificial nos corredores, além das superfícies das mesas estarem – quase na totalidade - sombreadas em cinza/branco que corresponde a 500lx pela legenda apresentada na Figura 94. Além disso, é possível observar junto às luminárias e seus respectivos níveis de dimerização, conforme resume a Tabela 29.

Tabela 29. Cálculo da redução de potência da Área Geral – Cenário II.

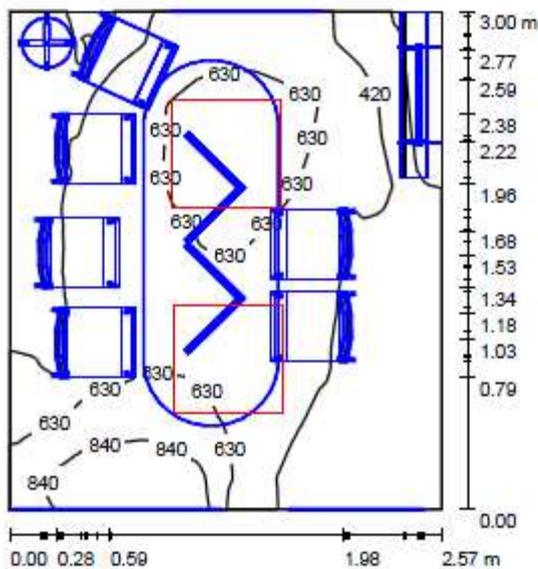
	Qtde de Luminárias	Potência Luminária (W)	Potência Grupo (W)	Nível de Dimerização (%)	Potência Dimerizada (W)	Redução de Potência (W)
Grupo 1	2	64	128	55%	70,4	57,6
Grupo 2	3	64	192	0%	0	192
Grupo 3	3	64	192	0%	0	192
Grupo 4	5	64	320	25%	80	240
Grupo 5	5	64	320	55%	176	144
Grupo 6	3	64	192	95%	182,4	9,6
Grupo 7	3	64	192	10%	19,2	172,8
Grupo 8	3	64	192	90%	172,8	19,2
TOTAL	27		1728	40,56%	700,8	1027,2

Nota-se pela Tabela 29 os valores para obtenção do nível de dimerização total (40,56%) desta configuração, indicando assim, a economia de potência utilizada – que foi de 1027,2 W.

Sala de Reuniões

Os resultados luminotécnicos deste ambiente podem ser visualizados pela Figura 95.

Sala de Reuniões / Cenário II



Height of Room: 2.490 m, Mounting Height: 2.490 m, Light loss factor: 0.80

Values in Lux, Scale 1:39

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$u0$
Plano de Trabalho (mesa)	/	504	49	1063	0.096
Floor	30	178	42	359	0.239
Ceiling	75	123	80	154	0.648
Walls (4)	50	187	37	452	/

Plano de Trabalho (mesa):

Height: 0.800 m
Grid: 128 x 128 Points
Boundary Zone: 0.000 m

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.396, Ceiling / Working Plane: 0.244.

Figura 95. Resultados Luminotécnicos Finais da Sala de Reuniões – Cenário II.

Com um nível de dimerização de 39% da potência, esta configuração atendeu a especificação de 500lx no plano de trabalho, ficando em 504lx. A dispersão de fluxo pelo ambiente é apresentada na Figura 96.

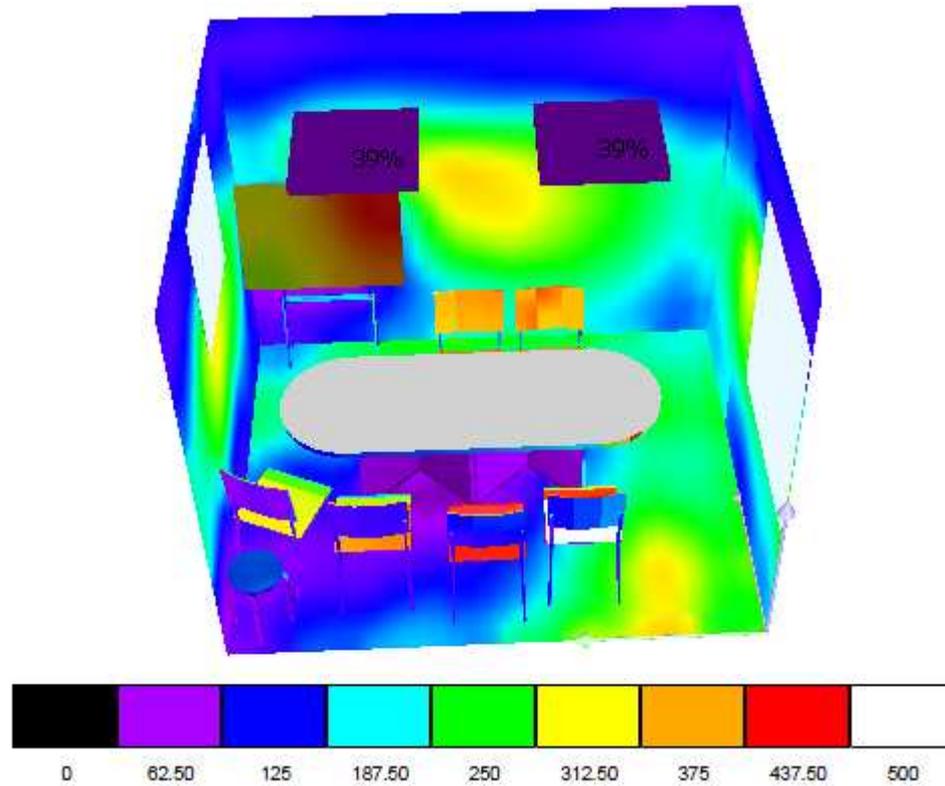


Figura 96. Distribuição Luminosa Final da Sala de Reuniões – Cenário II.

A Figura 96 ratificou o nível de dimerização para o grupo de luminárias, como também a distribuição uniforme de 500lx por toda a superfície da mesa (plano de trabalho para este caso). A Tabela 30 apresenta o cálculo da redução de potência da sala de Reuniões.

Tabela 30. Cálculo da redução de potência da Sala de Reuniões – Cenário II.

	Qtde de Luminárias	Potência Luminária (W)	Potência Grupo (W)	Nível de Dimerização (%)	Potência Dimerizada (W)	Redução de Potência (W)
Grupo 1	2	64	128	39%	49,92	78,08
TOTAL	2		128	39,00%	49,92	78,08

Através destes valores chega-se a uma redução de potência de 78,08W, equivalente a 61% de economia com o sistema proposto sem iluminação natural.

4.5.8.3 Cenário III – 13h00 as 15h00

Área Geral

Os resultados luminotécnicos deste ambiente encontram-se à mostra na Figura 97.

Área Geral / Cenário III

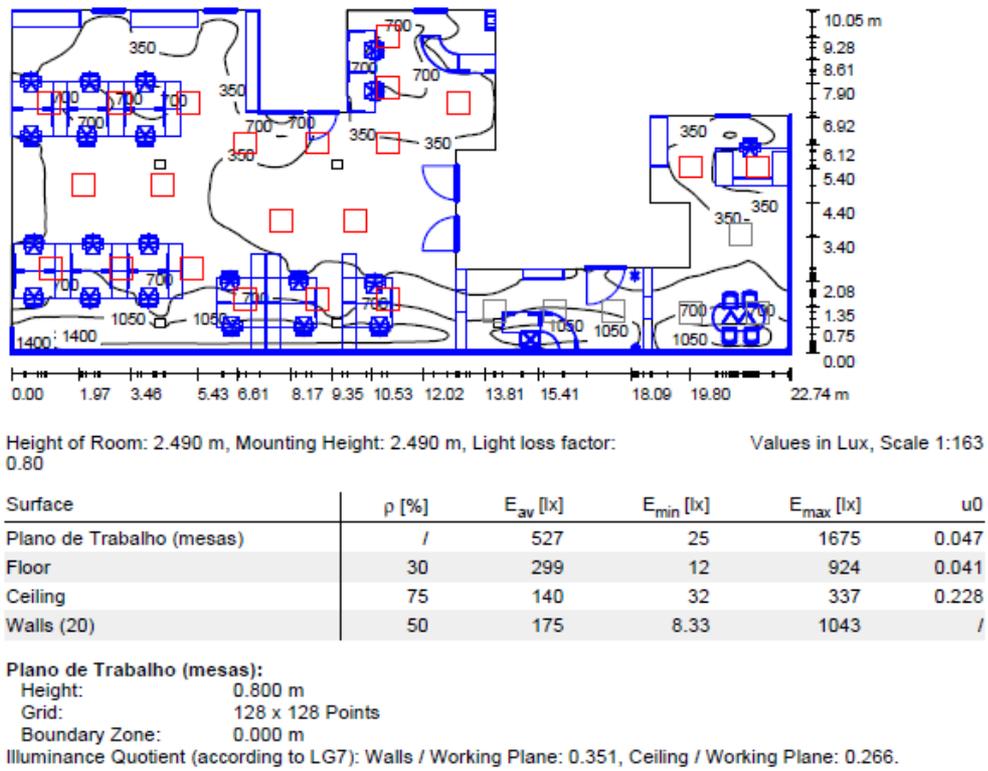


Figura 97. Resultados Luminotécnicos Finais da Área Geral – Cenário III.

A Figura 97 expõe que o iluminamento médio no plano de trabalho foi de 527lx, e uma distribuição de fluxo luminoso de acordo com a Figura 98.

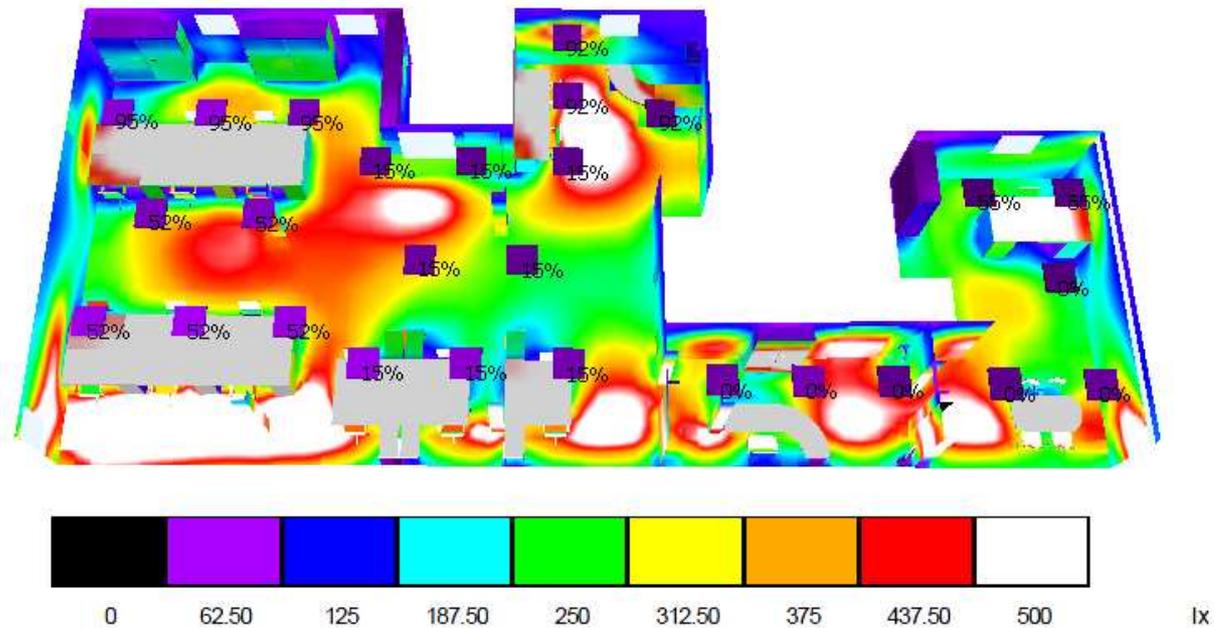


Figura 98. Distribuição Luminosa Final da Área Geral – Cenário III.

Conforme ilustrou a Figura 98, o fluxo luminoso está distribuído de forma bastante eficiente, eliminando praticamente todo o iluminamento desnecessário nos corredores entre os postos de trabalho, e mantendo sobre as superfícies das mesas o nível adequado de 500lx – superfícies hachuradas de cinza/branco. Além disso, podem-se observar os níveis de dimerização de cada grupo de luminárias, contribuindo assim para a redução da potência de iluminação.

A Tabela 31 apresenta os valores utilizados neste cálculo de redução de potência.

Tabela 31. Cálculo da redução de potência da Área Geral – Cenário III.

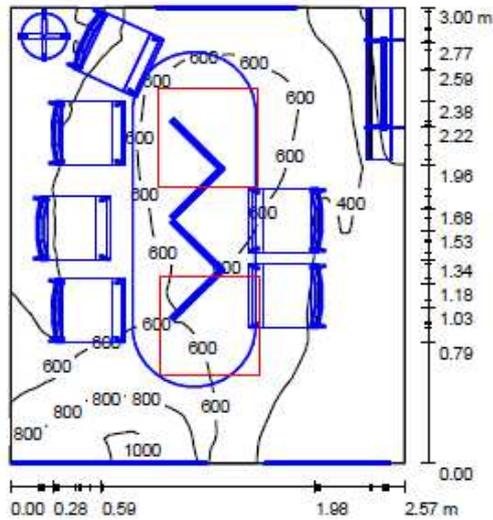
	Qtde de Luminárias	Potência Luminária (W)	Potência Grupo (W)	Nível de Dimerização (%)	Potência Dimerizada (W)	Redução de Potência (W)
Grupo 1	2	64	128	55%	70,4	57,6
Grupo 2	3	64	192	0%	0	192
Grupo 3	3	64	192	0%	0	192
Grupo 4	5	64	320	15%	48	272
Grupo 5	5	64	320	52%	166,4	153,6
Grupo 6	3	64	192	95%	182,4	9,6
Grupo 7	3	64	192	15%	28,8	163,2
Grupo 8	3	64	192	92%	176,64	15,36
TOTAL	27		1728	38,93%	672,64	1055,36

A redução de potência foi de 61,07%, um equivalente a 1055,36W.

Sala de Reuniões

Os resultados luminotécnicos deste ambiente encontram-se à mostra na Figura 99.

Sala de Reuniões / Cenário III



Height of Room: 2.490 m, Mounting Height: 2.490 m, Light loss factor: 0.80

Values in Lux, Scale 1:39

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u_0
Plano de Trabalho (mesa)	/	501	48	1040	0.096
Floor	30	176	42	357	0.238
Ceiling	75	122	79	153	0.645
Walls (4)	50	186	36	443	/

Plano de Trabalho (mesa):

Height: 0.800 m
 Grid: 128 x 128 Points
 Boundary Zone: 0.000 m

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.396, Ceiling / Working Plane: 0.244.

Figura 99. Resultados Luminotécnicos Finais da Sala de Reuniões – Cenário III.

Para um nível de 40% de dimerização do grupo de luminárias, este ambiente atingiu a quantia de 501 lx médios no plano de trabalho. A distribuição luminosa para esta configuração é ilustrada na Figura 100.

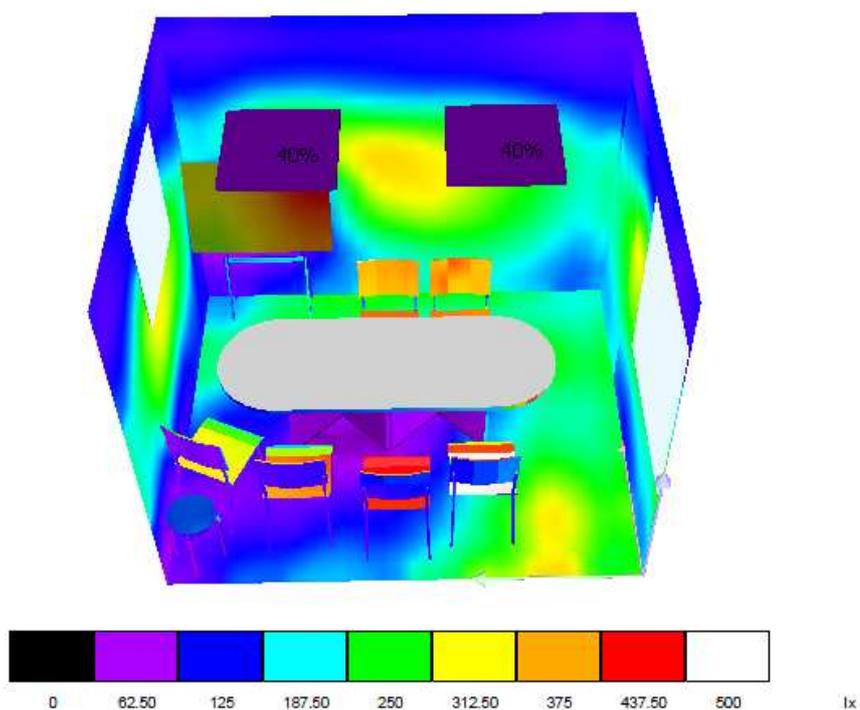


Figura 100. Distribuição Luminosa Final da Sala de Reuniões – Cenário III.

Conforme demonstrou a Figura 100 a superfície do plano de trabalho está completamente hachurada de cinza/branco, que para este caso, corresponde ao valor de 500lx. Ademais, são apresentados individualmente os níveis de dimerização de cada luminária, que foi de 40%.

Tabela 32. Cálculo da redução de potência da Sala de Reuniões – Cenário III.

	Qtde de Luminárias	Potência Luminária (W)	Potência Grupo (W)	Nível de Dimerização (%)	Potência Dimerizada (W)	Redução de Potência (W)
Grupo 1	2	64	128	40%	51,2	76,8
TOTAL	2		128	40,00%	51,2	76,8

Logo a economia de potência do sistema para este cenário é de 60%, que corresponde a 76,8W, conforme apresentou a Tabela 32.

4.5.8.4 Cenário IV – 15h00 as 17h00

Área Geral

Os resultados luminotécnicos deste ambiente encontram-se à mostra na Figura 101.

Área Geral / Cenário IV

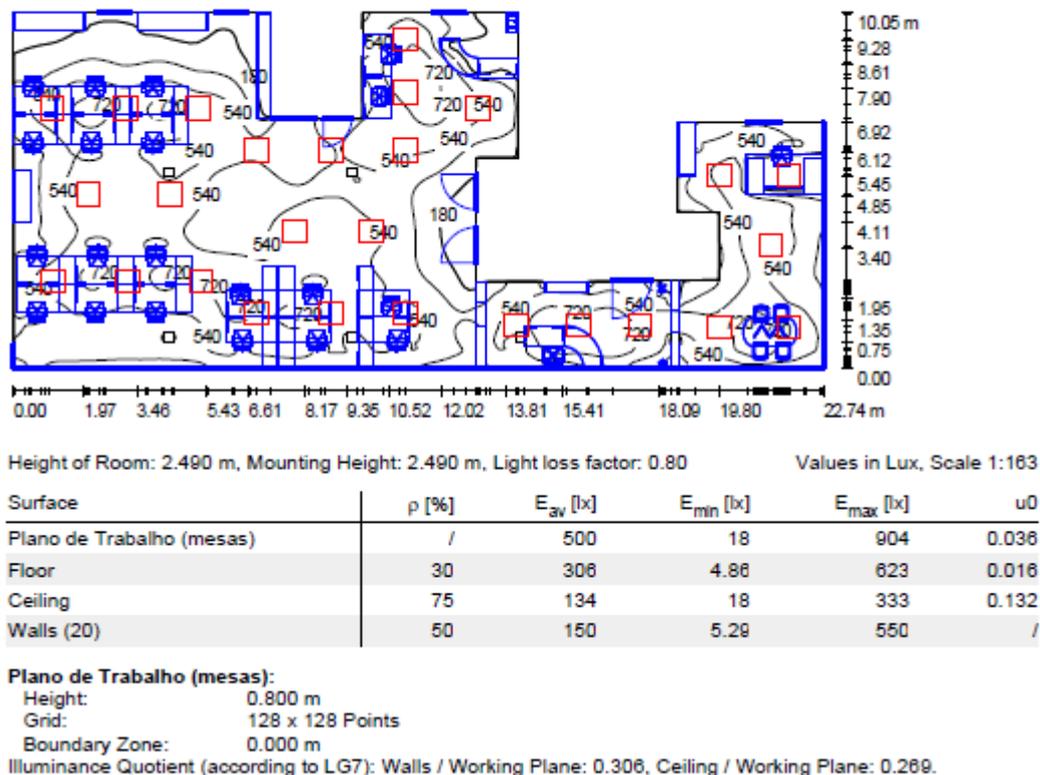


Figura 101. Resultados Luminotécnicos Finais da Área Geral – Cenário IV.

A Figura 101 mostra que se atendeu a norma, deixando o fluxo luminoso médio no plano de trabalho em exatos 500lx, sem modificações das características do ambiente, ou layout das luminárias, variando-se apenas os níveis de dimerização dos grupos de acordo com os resultados da iluminação natural para este cenário.

A distribuição luminosa, bem como os níveis de dimerização para cada luminária desta configuração é ilustrada na Figura 102.

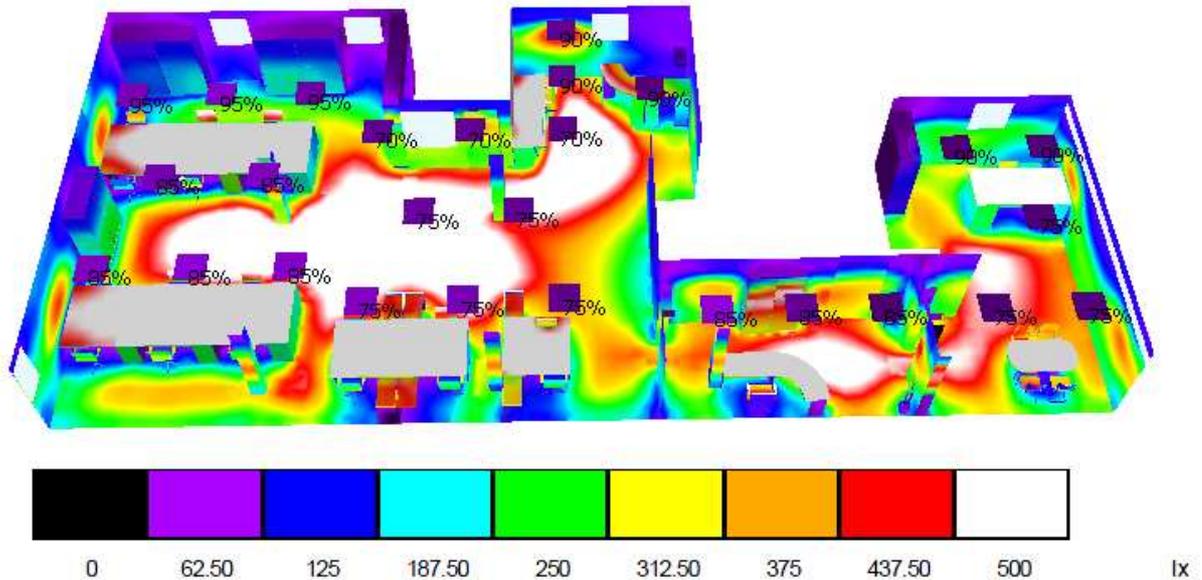


Figura 102. Distribuição Luminosa Final da Área Geral – Cenário IV.

Conforme ilustrou a Figura 102 o fluxo luminoso está bem distribuído, e as superfícies dos planos de trabalho estão hachuradas em cinza/branco, reforçando a adequação do iluminamento médio perante o exigido pela (16) (NBR5413).

A redução de potência, juntamente com os níveis de dimerização por grupo de luminárias, é apresentada na Tabela 33.

Tabela 33. Cálculo da redução de potência da Área Geral – Cenário IV.

	Qtde de Luminárias	Potência Luminária (W)	Potência Grupo (W)	Nível de Dimerização (%)	Potência Dimerizada (W)	Redução de Potência (W)
Grupo 1	2	64	128	90%	115,2	12,8
Grupo 2	3	64	192	75%	144	48
Grupo 3	3	64	192	85%	163,2	28,8
Grupo 4	5	64	320	75%	240	80
Grupo 5	5	64	320	85%	272	48
Grupo 6	3	64	192	95%	182,4	9,6
Grupo 7	3	64	192	70%	134,4	57,6
Grupo 8	3	64	192	90%	172,8	19,2
TOTAL	27		1728	82,41%	1424	304

Obteve-se um nível de dimerização médio das luminárias para este cenário de 82,41%, promovendo uma redução de potência de 304W, equivalente à 17,59% da potência total de adequação.

Sala de Reuniões

Os resultados luminotécnicos deste ambiente encontram-se à mostra na Figura 103.

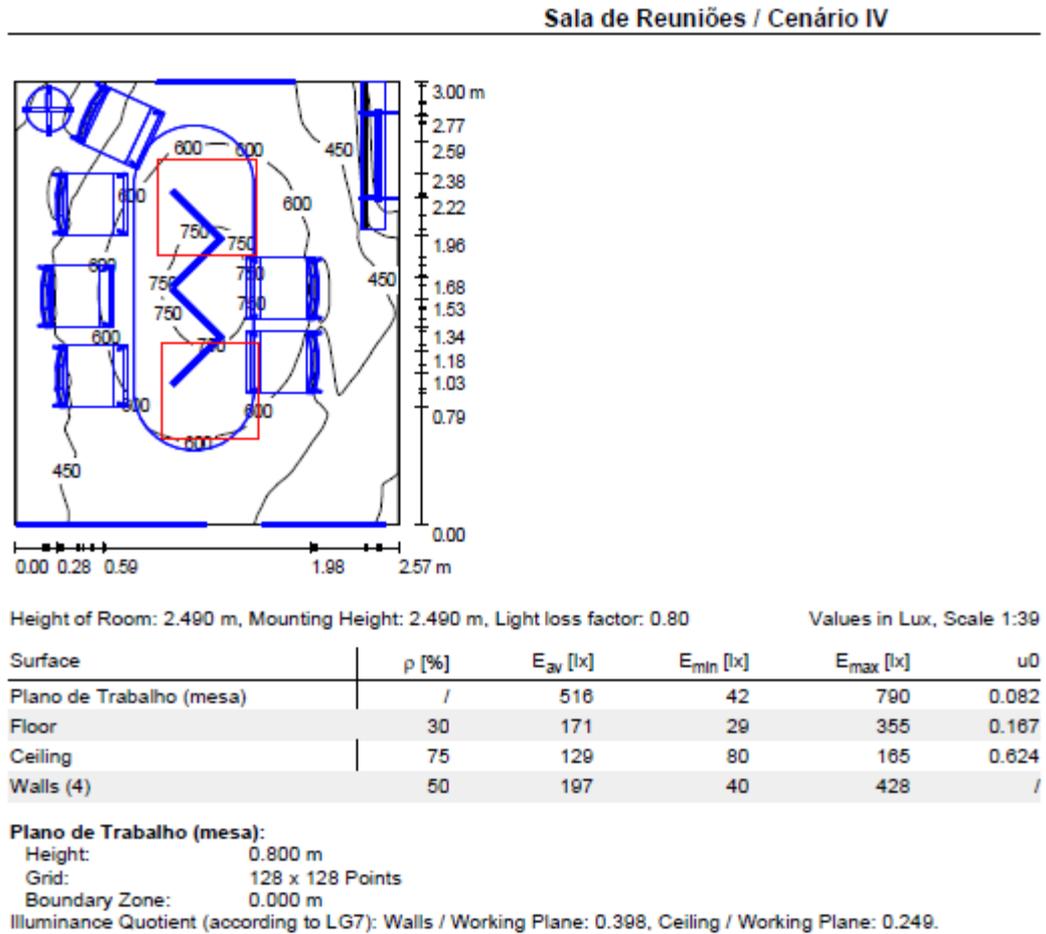


Figura 103. Resultados Luminotécnicos Finais da Sala de Reuniões – Cenário IV.

Para a sala de reuniões, o fluxo médio no plano de 0,8m acima do piso alcançou o valor de 516lx, mantendo-se as características da instalação, aproveitando-se da iluminação natural do cenário IV, apenas. A distribuição de fluxo luminoso das luminárias, com seus respectivos valores de dimerização são expostos na Figura 104.

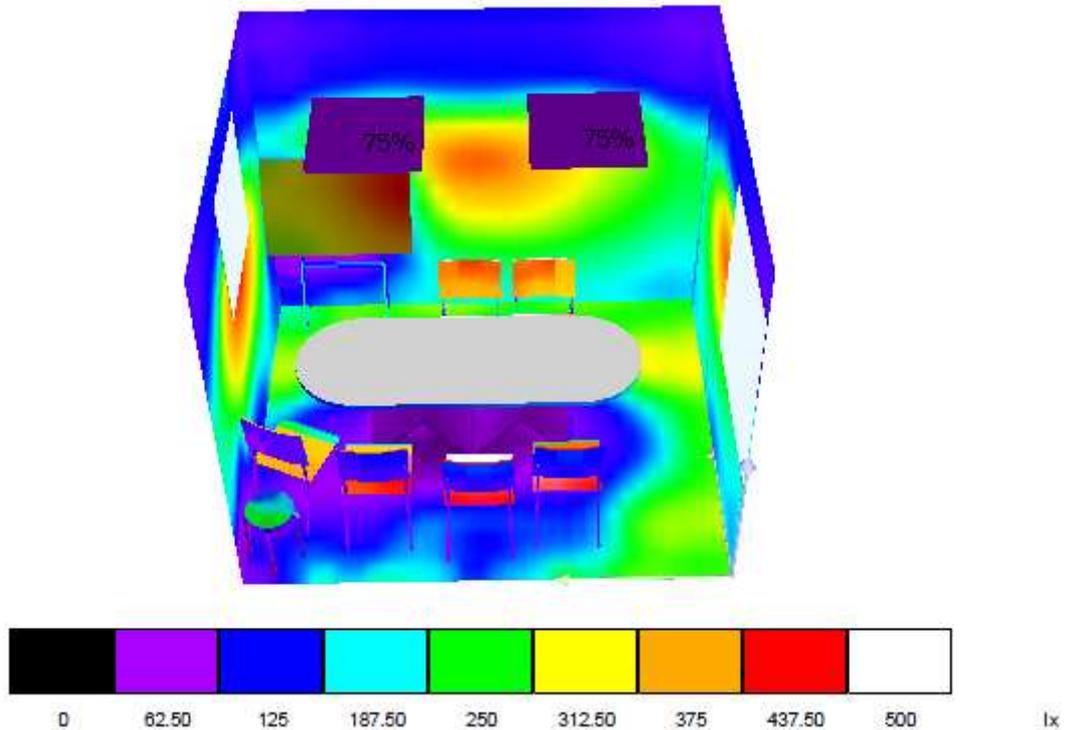


Figura 104. Distribuição Luminosa Final da Sala de Reuniões – Cenário IV.

Com os níveis de dimerização das luminárias em 75%, a superfície da mesa central ficou, em toda sua extensão, pintada de cinza, garantindo o grau de iluminamento médio exigido, reduzindo a potência efetiva da iluminação, conforme a Tabela 34.

Tabela 34. Cálculo da redução de potência da Sala de Reuniões – Cenário IV.

	Qtde de Luminárias	Potência Luminária (W)	Potência Grupo (W)	Nível de Dimerização (%)	Potência Dimerizada (W)	Redução de Potência (W)
Grupo 1	2	64	128	75%	96	32
TOTAL	2		128	75,00%	96	32

De acordo com a Tabela 34, a redução de potência foi de em 25%, que para esta configuração, equivale a 32W.

4.5.8.5 Resumo dos Resultados com Dimerização

A Tabela 35 apresenta o resumo dos resultados luminotécnicos para a área geral, expondo os níveis de dimerização dos grupos por cenário, e seus respectivos iluminamentos médios.

Tabela 35. Resumo dos Resultados Luminotécnicos com Dimerização – Área Geral.

	G* 1	G* 2	G* 3	G* 4	G* 5	G* 6	G* 7	G* 8	Dim** Média	Lux Médio
Cenário I	85%	75%	85%	70%	85%	95%	55%	90%	79,44%	501
Cenário II	55%	0%	0%	25%	55%	95%	10%	90%	40,56%	548
Cenário III	55%	0%	0%	15%	52%	95%	15%	92%	38,93%	527
Cenário IV	90%	75%	85%	75%	85%	95%	70%	90%	82,41%	500

*G: Grupo;

**Dim: Dimerização.

Cabe ressaltar que a dimerização média apresentada na Tabela 35 não é apenas a média simples dos níveis de dimerização. Este parâmetro é uma média dos níveis de dimerização de cada grupo ponderada pela quantidade de luminárias que cada grupo ostenta. Para a sala de reuniões, o resumo dos dados finais encontra-se descrito na Tabela 36.

Tabela 36. Resumo dos Resultados Luminotécnicos com Dimerização – Sala de Reuniões.

	G* 9	Lux Médio
Cenário I	72%	511
Cenário II	39%	504
Cenário III	40%	501
Cenário IV	75%	516

*G: Grupo;

Para a sala de reuniões o valor de dimerização média é a própria dimerização dos grupos visto que possui apenas um configurado.

Nota-se, tanto para Tabela 35, como para a Tabela 36, que em todos os cenários o índice de iluminação médio ficou acima dos 500lx, atendendo a especificação da (16) (NBR5413) para estes tipos de ambientes.

4.5.9 Resultados Energéticos

Sabendo os níveis de dimerização de cada grupo de luminárias para seu respectivo cenário, pode-se montar o perfil de consumo dos ambientes para o dia em questão, e depois extrapolar para o ano.

A Tabela 37 apresenta os resultados energéticos para a área geral.

Tabela 37. Resultados Energéticos – Adequação /DALI – Área Geral.

	Potência Média (W)	Ciclo de Operação (h/dia)	Energia Consumida (kWh/dia)	Ciclo de Operação (dias/ano)	Energia Consumida (MWh/ano)
Cenário I	1372,7	2	2,745	264	0,725
Cenário II	700,9	2	1,402	264	0,370
Cenário III	672,7	2	1,345	264	0,355
Cenário IV	1424,0	2	2,848	264	0,752
Cenário V*	1728	1	1,728	264	0,456
Total	1118,7	9	10,07	264	2,658

*Este cenário representa o período do final do expediente, correspondente das 17h as 18h, em que não é considerada a influência da iluminação natural.

Pode-se ver pela Tabela 37 que o total de energia estimada de consumo anual para a área geral foi de 2,658 MWh, considerando os tempos de funcionamento dos equipamentos os mesmos da linha de base e do *retrofit*, que foi de 9 horas por dia, 22 dias por mês e 12 meses no ano.

Os resultados da Sala de Reuniões encontram-se na Tabela 38.

Tabela 38. Resultados Energéticos – Adequação /DALI – Sala de Reuniões.

	Potência Média (W)	Ciclo de Operação (h/dia)	Energia Consumida (kWh/dia)	Ciclo de Operação (dias/ano)	Energia Consumida (MWh/ano)
Cenário I	92,16	2	0,184	176	0,032
Cenário II	49,92	2	0,100	176	0,018
Cenário III	51,2	2	0,102	176	0,018
Cenário IV	96	2	0,192	176	0,034
Cenário V*	128	1	0,128	176	0,023
Total	78,51	9	0,71	176	0,124

Para este ambiente, o total de consumo estimado para todo o ano foi de 0,124 MWh, mantendo-se os tempos de funcionamento apresentados para a Linha de Base e para o *retrofit* sendo de 6 horas por dia, 22 dias por mês e 12 meses no ano – totalizando 1584 horas. Esse valor total de horas de operação anual foi dividido por 9h, obtendo-se a equivalência de dias normais de trabalho em que a sala de reuniões ficaria funcionando caso esse valor diário de operação fosse o escolhido.

Os resultados energéticos esperados finais para esta ação encontram-se expostos na Tabela 39.

Tabela 39. Resultados Energéticos Finais – Adequação/DALI.

SISTEMA ATUAL INEFICIENTE	
Tipo de Equipamento	FLUOR 4x40W e FLUOR 2x40W
Pontos Ineficientes	41
Potência Total (kW)	4,40
Energia Estimada (MWh/ano)	9,99
SISTEMA PROPOSTO	
Tipo de Equipamento	Adequação da Iluminação com DALI
Pontos Eficientizados	31
Potência Total (kW)	1,26
Energia Estimada (MWh/ano)	2,816
RESULTADOS ESPERADOS	
Redução de Potência (kW)	3,14
Energia Conservada (MWh/ano)	7,17
Economia (%)	71,81%

Com a implantação desta ação de efficientização, espera-se obter uma redução de potência de iluminação de 3,14kW, e uma conservação de energia de 7,17 MWh/ano com relação à Linha de Base, que corresponde a uma economia de 71,81%.

4.5.10 Materiais Empregados

A topologia da OSRAM, “DALI PROFESSIONAL” será a utilizada neste projeto de modo a se alcançar as funcionalidades propostas para esta ação de eficiência energética. A Figura 105 ilustra a topologia com seus dispositivos, equipamentos e ligações necessárias para o funcionamento do sistema.

DALI PROFESSIONAL

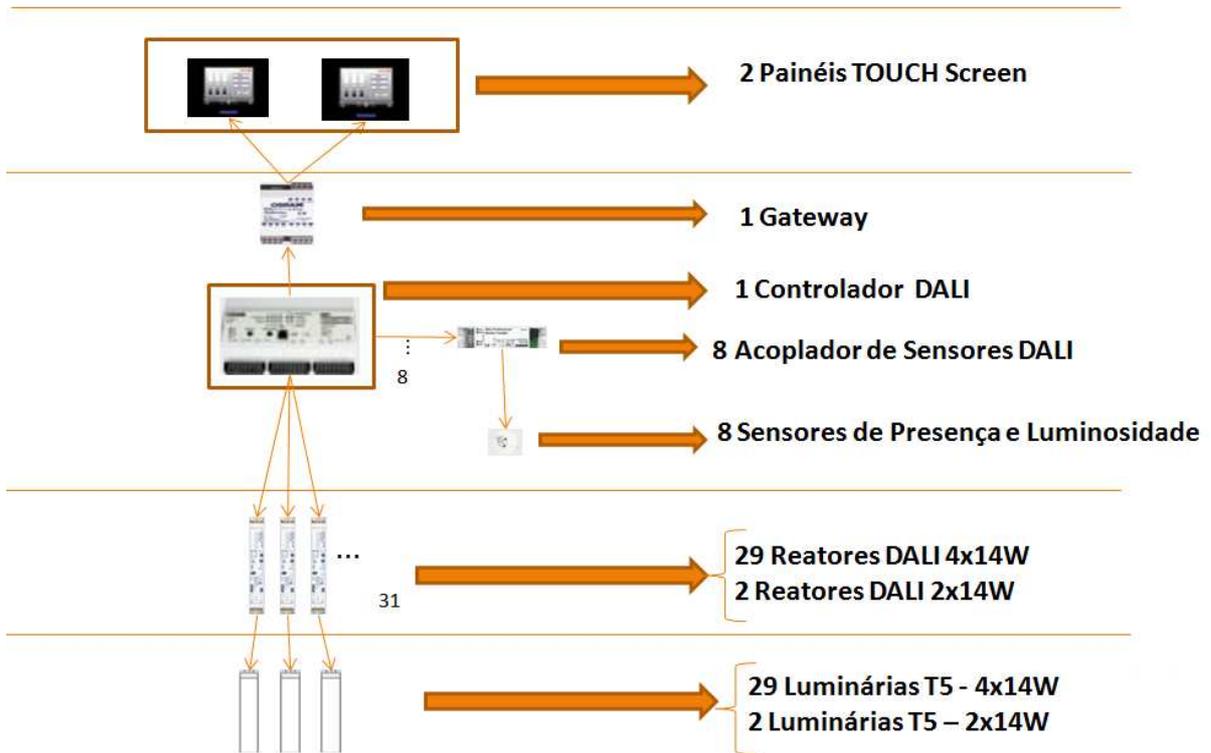


Figura 105. Topologia DALI PROFESSIONAL adaptada para este projeto.

Nota-se pela Figura 105 que esta topologia apresenta os painéis “*Touch Screen*” pertencentes ao nível de integração com o usuário, em outras palavras, realizando a IHM (Interface Homem Máquina) do sistema.

Já o controlador DALI - responsável por controlar todos os elementos da rede, atribuir suas funcionalidades, endereços, etc. faz parte do nível de controle.

Por fim, o gateway, os acopladores de sensores e os sensores propriamente ditos, e os reatores respondem aos comandos do controlador quando for solicitada alguma ordem. Cabe ressaltar que são os reatores que efetuam a dimerização do fluxo luminoso das lâmpadas.

4.5.11 Investimentos

A Tabela 40 apresenta os custos de cada equipamento utilizado na análise, bem como os valores de mão de obra para implementação desta medida de incremento à eficiência energética.

Tabela 40. Investimentos – Adequação/DALI.

	Descrição do Equipamento	Custo Unit (R\$)	Qtd	Custo Total (R\$)
Materiais	Lâmpada Fluorescente Tubular T5 de 14W	11,50	120	1380,00
	Reator Eletrônico Dimerizável DALI, 4x14W - Philips	127,14	29	3687,06
	Reator Eletrônico Dimerizável DALI, 2x14W - Philips	99,06	2	198,12
	Luminária T5, Embutir 4x14W - Philips TB262/C6	142,64	29	4136,56
	Luminária T5, Embutir 2x14W - Philips TB930/C5	48,54	2	97,08
	Controlador DALI PRO CONT-4 - OSRAM	600,00	1	600,00
	DALI Pro Sensor <i>Coupler</i> - OSRAM	288,00	8	2304,00
	LS/PD MULTI 3CI - OSRAM	176,12	8	1408,96
	E:BUS DALI Gateway -- OSRAM	388,00	1	388,00
	DALI PRO Touch Panel - OSRAM	950,00	2	1900,00
	Materiais Diversos	5,00	31	155,00
	SUB TOTAL MATERIAIS [R\$]			R\$ 16.254,78
M.O.	Implementação	30,00	31	930,00
	TOTAL DO PROJETO [R\$]			R\$ 17.184,78

Pela Tabela 40, o total deste projeto é de R\$ 17.184,78 (dezesete mil, cento e oitenta e quatro reais, com setenta e oito centavos), sendo R\$16.254,78 (dezesesseis mil, duzentos e cinquenta e quatro reais, com setenta e oito centavos) referente a aquisição de materiais, e R\$ 930,00 (novecentos e trinta reais) de mão de obra para execução da ação.

4.5.12 Análise Financeira

Da mesma forma que para o projeto de *retrofit* da instalação, a análise financeira se dará pelo cálculo do retorno do investimento simples. A Tabela 41 apresenta os principais parâmetros para o cálculo do “*payback*”.

Tabela 41. Análise Financeira – Adequação/DALI.

Ação	Potencial de ganhos / ano		Investimento (R\$)	Economia anual (R\$)	Payback* (anos)
	kW	MWh			
Adequação do sistema de iluminação com DALI	3,14	7,17	17.184,78	3.251,31	5,29

Considerando o custo da energia elétrica usufruída pela APS de R\$0,4532407 para cada kWh, esta ação proposta promove uma economia anual de R\$3.251,31 (três mil e

duzentos e cinquenta e um reais, com trinta e um centavos), que perante os investimentos de R\$ 17.184,78 (dezesete mil, cento e oitenta e quatro reais, com setenta e oito centavos), resultou em um “*payback*” de 5,27 anos.

4.5.13 Premissas Adotadas

Nos itens a seguir seguem as premissas adotadas para se chegar aos resultados deste projeto de Adequação da iluminação:

- Custo de energia para consumidor comercial comum (CEEE-D);
- Utilização das potências das lâmpadas e reatores iguais ao especificado nos catálogos dos próprios fabricantes;
- Potência fixa no enquanto estiver sobre o ciclo de operação (sem avaliação quanto ao fator de depreciação);
- Ciclo de operação do sistema proposto igual ao da linha de base;
- Cálculos Luminotécnicos utilizando o software DIALux;
- Utilização do dia 21/06/2011 para simulação da iluminação natural da cidade de Porto Alegre, com céu encoberto.

5 COMPARATIVO DOS RESULTADOS

Esta seção tem por objetivo comparar os resultados energéticos e financeiros do projeto de aplicação utilizando apenas o *retrofit* da instalação e do projeto de adequação com DALI do sistema de iluminação. A Tabela 42 apresenta os dados de consumo do sistema atual, bem como do *retrofit* e também da adequação.

Tabela 42. Comparativo dos Resultados Energéticos – Retrofit e Adequação/DALI.

SISTEMA ATUAL INEFICIENTE	
Tipo de Equipamento	FLUOR 4x40W e FLUOR 2x40W
Pontos Ineficientes	41
Potência Total (kW)	4,40
Energia Estimada (MWh/ano)	9,99
SISTEMA PROPOSTO - RETROFIT	
Tipo de Equipamento	Retrofit da Iluminação
Pontos Eficientizados	41
Potência Total (kW)	2,56
Energia Estimada (MWh/ano)	5,812
Economia (%)	41,82%
SISTEMA PROPOSTO – ADEQUAÇÃO/DALI	
Tipo de Equipamento	Adequação da Iluminação com DALI
Pontos Eficientizados	31
Potência Total (kW)	1,26
Energia Estimada (MWh/ano)	2,816
Economia (%)	71,81%

Fica evidente pelos resultados da Tabela 42 que a ação de adequação/DALI traz mais benefícios do ponto de vista energético, reduzindo em 50,78% (1,3kW) a potência instalada e 51,54% (2,996 MWh/ano) de energia elétrica em comparação com o proposto na simples troca de tecnologia. O comparativo financeiro das duas ações é apresentado na Tabela 43.

Tabela 43. Comparativo dos Resultados Financeiros – Retrofit e Adequação/DALI.

Ação	Potencial de ganhos / ano		Investimento (R\$)	Economia anual (R\$)	Payback* (anos)
	kW	MWh			
Retrofit da Iluminação	1,84	4,18	11.744,64	1.894,55	6,20
Adequação do sistema de iluminação com DALI	3,14	7,17	17.184,78	3.251,31	5,29

Notam-se pelos dados apresentados na Tabela 43, que a ação de Adequação/DALI requer investimentos de maior valor quando comparados ao da ação de retrofit (46,32%), promovendo, por outro lado, uma economia financeira tal (71,61%), que resulta em um *payback* menor (5,29 anos perante os 6,20 anos do *retrofit*).

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este estudo de viabilidade da utilização da tecnologia DALI, aliada a técnicas de eficiência energética de iluminação, apresentou resultados bastante satisfatórios, uma vez que se alcançou um retorno de investimento simples menor (5,29 anos), se comparado ao outro projeto de aplicação realizado (*Retrofit*) (6,20 anos), justificando assim o emprego desta ação na possível execução da obra do terceiro pavimento do prédio da APS.

Isto foi, de certo modo, surpreendente, visto que os equipamentos DALI ainda são poucos difundidos no mercado brasileiro, principalmente na indústria, o que faz com que os custos destes equipamentos sejam um pouco elevados. Porém isso não se confirmou para este caso, uma vez que as economias proporcionadas por tal ação superaram o investimento inicial necessário para se executar. Sempre lembrando que os resultados utilizados para a comparação são em relação à linha de base criada.

Além disso, vale lembrar que se utilizando a tecnologia DALI obtêm-se vários outros ganhos em relação aos projetos de iluminação comuns, tais como:

- Sem características especiais para cabeamento;
- Relés externos não são necessários, devido á característica digital de comando liga/desliga;
- Não é necessária a criação de grupos previamente;
- Não é necessário estudo prévio de alocação de interruptores e outros componentes referentes à instalação elétrica;
- Mudanças podem ser executadas sem retrabalho de cabeamento, somente via software.

Outro fator bastante satisfatório, é que o valor agregado do projeto torna-se maior, pelo fato desta ação de adequação/DALI utilizar-se de vários preceitos e definições das mais diversas áreas da engenharia, e não somente da iluminação – que normalmente é o que

acontece com projetos de “*retrofit*” puro. Sem contar nos ganhos indiretos por se estar trabalhando com uma tecnologia bastante nobre, de alto rendimento e inovadora na área de eficiência energética.

Para o trabalho apresentado, existem algumas melhorias que poderiam ser realizadas em trabalhos futuros dando prosseguimento ao estudo nesta área de atuação – eficiência energética, iluminação e automação, tais como:

- Elaboração de um algoritmo (fluxograma) para as lógicas de funcionamento do sistema integrado com os sensores mais sofisticado/robusto.
- Utilização de maior número de simulações da iluminação naturais, podendo assim, trabalhar com intervalos menores para os cenários, deixando os cálculos de consumo e, conseqüentemente, das economias, mais assertivo.
- Inclusão de estudos quanto ao aumento da carga térmica do recinto devido a iluminação natural;

Cabe ressaltar que projetos que envolvam aumento da eficiência de energia, além de contribuírem com planeta, seja na diminuição da emissão de gás carbônico, ou promoção de ações de maior sustentabilidade, promovem uma redução de custos propriamente dita – seja a curto ou em longo prazo, aliado a um incremento de tecnologia ao usuário.

7 REFERÊNCIAS

1. Operador Nacional do Sistema. **Históricos de Carga da Região Sul dos últimos 10 anos.** Disponível em www.ons.org.br/historico/carga_propria_de_energia.aspx. Pesquisa Realizada em 12.03.2011.
2. **Grupo ComEnergy.** Disponível em www.grupocom.com.br/comenergy/site/. Pesquisa realizada em 01.05.2011.
3. LAMBERTS, Roberto, et.al. **Eficiência Energética na arquitetura.** São Paulo: PW, 1997. 192p.
4. RODRIGUES, Pierre. **Manual de Iluminação eficiente.** PROCEL - Programa nacional de conservação de energia elétrica. 1ª, Ed. Jul 2002.
5. OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático.** 2000.
6. CIE 18.2 (1983). **The Basis of Physical Photometry.** Publication CIE nº 18.2 (TC-1.2). Commission Internationale de L'Éclairage, France.
7. OSRAM. **Iluminação: Conceitos e Projetos.**
8. LUMICENTER – Engenharia de Iluminação. **Catálogo de Iluminação.** 2006. Projeto 02:135.02-004.
9. PHILIPS. **Guia de Iluminação.** São Paulo: 2005.
10. TEIXEIRA, Arminio. **Eficiência Energética em instalações de iluminação.** Disponível em <http://paginas.fe.up.pt/~arminio/>. Pesquisa realizada em 04.05.2011.
11. COSTA, Gilberto José Corrêa da. **Iluminação Econômica: Cálculo e avaliação.** 2ª, Ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2000.
12. INTRAL. **Catálogo Geral de Produtos.** Caxias do Sul: Março 2010.
13. OLIVEIRA, Luiz Affonso H. Guedes de. **Notas de Aula “Automação na Medição da Indústria de Petróleo”.** Disponível em www.dca.ufrn.br/~affonso. Pesquisa realizada em 12.02.2011.
14. OSRAM. **Technical Guide QUICKTRONIC DALI/DIM.** Janeiro 2009.
15. NEMA STANDARD PUBLICATION 243-2004. **Digital Addressable Lighting Interface (DALI) Control Devices Protocol.** Rosslyn, Virginia, USA: 2004.
16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5413 – Iluminância de Interiores.** Rio de Janeiro, 1992.
17. OSRAM. **Linha de Produtos 2009/2010.** São Paulo: 2009.
18. PHILIPS. **Guia Prático Philips de Iluminação.** São Paulo: 2009.
19. PHILIPS. **Catálogo Luminárias Indoor.** São Paulo: 2010.

20. OSRAM. **Catálogo LS/PD MULTI 3 CI.** Disponível em <http://www.osram.com>. Pesquisa realizada em 25.06.2011.